

국방과학기술

1. 미래전장에서的人工智能 기술
2. 증거(Evidence) 기반의 정책 평가 방법론
3. 국방전자도서관(국방대 도서관)의 메타버스 기술 적용방안
4. 국방우주력 발전을 위한 국방과학기술



국방과학기술



국방대학교
국가안전보장문제연구소

2022 안보연구시리즈 제4권 4호

국방과학기술

인 쇄 2022년 12월 31일

발 행 2022년 12월 31일

발 행 처 국가안전보장문제연구소

발 행 인 국가안전보장문제연구소장

주 소 33021 충청남도 논산시 양촌면 황산별로 1040

전 화 TEL : 041-831-6412 FAX : 02-748-7588

홈페이지 <http://www/kndu.ac.kr>

<http://www/kndu.ac.kr/rinsa>

디자인 및 인쇄 좋은사람들OSP TEL : 02-830-6123

© 국가안전보장문제연구소 2022

비매품

ISSN 2586-5323

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 본 연구보고서 내용은 연구진의 개인적인 견해이며 소속 기관의 공식적인 견해가 아닙니다.2. 본 연구보고서는 정책입안시 참고자료로만 활용하고 타기관에 불필요한 자료유출을 삼가주시기 바랍니다. |
|---|

국방대학교 국가안전보장문제연구소는 매년 국방부, 합참, 각 군 본부 등의 의견을 수렴하여 국가안보 및 국방정책 정책 수행과 관련하여 필요한 연구 주제를 선정하고, 관련 분야의 전문성을 가진 교내·외 연구자들에게 심층적인 연구를 의뢰하고 있습니다. 2022년도는 외교·안보와 북한, 국방정책 및 군사전략, 경제안보와 국방관리, 국방과학기술의 4개 주제를 중심으로 15개의 정기(기초)연구과제를 선정하였습니다.

2022년도는 국내·외 안보정세에 관한 대전환의 시기라고 해도 과언이 아닐 것입니다. 2월에 발생한 러시아의 우크라이나 전쟁은, 냉전 종식 이후 글로벌 차원에서 가능성이 희박해졌다고 여겨진 강대국 간의 무력대결이 여전히 국제질서에 나타날 수 있음을 보여주었습니다. 미국과 중국 간의 전략적 경쟁이 심화되면서, 특히 대만 해협 방면에서는 중국의 군사력 투사와 이에 대응하는 미국의 자유항행 작전이 반복적으로 전개되었습니다. 북한은 핵 및 미사일 능력을 증강하며 70여회에 달하는 탄도미사일 도발을 한반도 주변 해역을 무대로 감행하였습니다. 이 같은 대내·외 안보환경 하에서 출범한 한국의 윤석열 정부는 한미동맹 및 글로벌 민주주의 국가와의 연대를 강화하는 안보정책을 추구하였습니다.

이 같은 국내·외 안보현상을 심층적으로 관찰하면서 국방정책, 한미동맹, 남북관계, 인공지능과 같은 과학기술의 안보적 활용 등 국가안보정책 차원에서 대응 방향을 모색하는 연구가 진행되었고, 그 연구결과를 종합하여 『2022 안보연구시리즈』로 내놓습니다. 제한된 기간에도 불구하고 국가안보를 위한 연구에 수고를 아끼지 않으신 교내·외 연구자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

이러한 연구결과가 국가안보 및 국방정책 관련 부처의 정책개발 및 집행과정에 기여하고, 이 분야를 연구하는 연구자 및 학생들에게 유용한 참고자료로 활용될 수 있기를 기대합니다.

2022년 12월 31일
국방대학교 국가안전보장문제연구소장 교수 **박영준**

1. 미래전장에서의 인공지능 기술	1
(인하대학교 김재오·조성일·유동현)	
I 연구개요	3
II 데이터 증강	5
III 연합학습	33
IV 대규모 병렬 처리를 위한 그래픽스 연산 장치의 활용	57
V 결론	83
2. 증거(Evidence) 기반의 정책 평가 방법론	85
(국방대학교 윤봉규·이춘주·이원재·남광식)	
I 서론	87
II 마코비안 모형 기반 정책평가 방법	93
III R활용 마코비안 기반 정책 평가 방안	114
IV 결론	132
3. 국방전자도서관(국방대 도서관)의 메타버스 기술 적용방안	143
(국방대학교 권태욱)	
I 연구 개요	145
II 도서관과 국방통합전자도서관	147
III 메타버스 기술 분석	163
IV 메타버스 적용 사례분석	207
V 국방대 도서관 메타버스 적용방안	218
VI 결론	233

4. 국방우주력 발전을 위한 국방과학기술 237

(국방대학교 이두열 / 서울대학교 권기범)

I 서론.....	237
II 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사·분석.....	248
III 우주작전(전력)별 우주무기체계 소요/기술 분석.....	260
IV 국방우주분야 주요 중점기술 도출.....	280
V 교육방향 제언.....	294
VI 결 언.....	302

미래전장에서의 인공지능 기술

인하대학교 김재오·조성일·유동현

- I. 연구개요
- II. 데이터 증강
- III. 연합학습
- IV. 대규모 병렬 처리를 위한 그래픽스 연산 장치의 활용
- V. 결론

요약문

머신러닝(machine learning)과 그것의 하위 분야로 매우 각광받고 있는 딥러닝(deep learning)은 모델의 특성상 입력 데이터의 양과 질에 그 성능이 의존된다. 이러한 이유로 인공지능 학습용 데이터를 대규모로 구축하기 위해 일명 데이터댐 사업을 추진하고 있으며, 민간에서도 인공지능의 상용화를 위해 양질의 데이터 확보를 위해 각고의 노력을 다하고 있다. 국방분야는 군사작전의 빈도와 군사보안을 고려할 때 그 어느 분야보다도 방대한 실제 학습 데이터를 확보하는 것이 매우 어려운 것이 현실이다. 그럼에도 불구하고 미래 전장에서 인공지능의 역할은 줄어드는 병역자원에 대한 해결 뿐 아니라 전투의 승패를 좌우할 지배적인 과학기술임이 분명하다. 이러한 상황에서 국방 분야에서 충분한 학습 데이터의 확보 방안 및 학습 데이터를 가능한 효율적으로 활용하는 방안에 대한 연구는 그 필요성이 매우 크다. 또한 실시간 의사결정을 위해 인공지능 알고리즘 연산의 병렬처리를 위한 그래픽스 연산 장치(graphics processing unit, GPU)의 효율적 활용에 대한 연구도 중요한 상황이다. 본 연구에서는 학습 데이터의 확보 및 학습 방안, 그래픽스 연산 장치의 활용에 대해 이론 연구에 그치는 것이 아니라 민간 및 군사적 적용 방안을 고찰함으로써 기존 연구와의 차별성을 갖고 연구를 수행하였다.

먼저, 본 연구에서는 인공지능 학습용 데이터의 확보 방안에 대한 연구를 위해 데이터 증강(data augmentation) 기법에 대한 이론과 배경, 민간 및 군사적 적용 사례에 대해 연구하였다. 데이터 증강은 딥러닝 학습용 데이터의 부족 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 기법으로 본 연구에서는 많은 활용이 가능한 영상인식 분야의 데이터 증강 기법에 대해 제시하였다. 데이터 증강 기법은 크게 기본 이미지의 조작(manipulation)과 딥러닝 기반의 방법을 활용하는 것으로 구분된다. 위와 같이 구분된 각 방법의 하위에는 많은 기법들이 다양하게 연구되고 있으며 본 연구에서는 최신 연구를 중심으로 상세히 설명하였다. 데이터 증강이 가장 활발히 적용되는 민간 사례인 의료 분야에 적용에 대해 설명하였다. 또한 국방 적용 방안에 대해서는 영상을 기반으로 하는 군사적 과제에 적용이 가능한 데이터 증강 활용 방안을 데이터 증강 기법을 활용하는 것과 시뮬레이션 모델을 활용하는 것으로 구분하여 제시하였다.

둘째, 인공지능 학습 데이터의 효율적 활용 측면에서 연합학습(federated learning)에 대한 이론과 배경, 민간 및 군사적 적용 사례에 대해 연구하였다. 연합학습은 스마트폰, 노트북, 태블릿 컴퓨터와 같은 개별 기기나 기관, 연구소 등 여러 위치에 생성, 저장되어 있는 분산형 데이터를 중앙 서버로 모아 데이터 자체를 직접 공유하지 않고, 데이터가 생성, 저장되어 있는 곳에서 바로 데이터를 분석하고 전체적인 인공지능 모델을 학습시킬 수 있는 분산형 머신러닝 방법이다. 연합학습을 가장 활발하게 사용하고 있는 대표적인 분야로 의료를 들 수 있다. 의료 데이터의 경우에는 특정 질병에 대한 환자 데이터나 임상 데이터가 여러 병원에 흩어져 있는 경우가 많고, 또한 환자들의 프라이버시 문제가 중요하기 때문에 모든 데이터를 한곳으로 모아서 분석하는 기존의 AI 모델 학습 방법보다는 연합학습이 효율적인 방법이라 할 수 있다. 프라이버시 보호와 보안성 강화를 중심으로 많은 민간 분야의 활용이 이루어지고 있는 반면, 군사적 적용에서는 동시에 많은 무인 전투체계를 운용하기 위해 필요한 복잡한 계산을 효율적으로 수행하거나 이질적 특성을 갖는 다양한 부대의 인공지능 학습 아키텍처 측면에서 접근이 가능하다. 연합학습 시스템을 적용하여 멀티-무인항공기 네트워크를 구성하여 지상의 지휘소에서 다수의 무인항공기를 통제하는 연구사례를 소개하고, 육군의 차세대 과학화경제시스템에 적용이 가능한 연합학습 적용 아키텍처와 개념을 설명하였다.

끝으로, 범용 계산(general-purpose computing)에 활용이 가능한 GPU의 관련 기술에 대한 소개 및 동향을 제시하고, Python에서의 CUDA GPU 병렬 연산 결과를 바탕으로 수치 선형 대수의 연산에 대한 GPU 병렬 연산의 구현 방법들 및 최적화 알고리즘 구현에서의 GPU 병렬 연산 구현 방법들을 소개하고 실제 구현의 예시를 제공하였다. 선형 대수적 연산을 GPU를 활용한 병렬 연산으로 구현하는 것에 대하여 살펴보았으며 두 행렬의 곱

의 연산은 PyTorch가 인공신경망 모형의 효율적 연산으로 최적화가 잘 되어 있어 가장 효율적이고 구현이 용이함을 확인하였다. 또한 두 벡터의 합의 경우에는 상대적으로 커널 합수를 활용한 구현이 더 효율적임을 확인하였다. 이러한 GPU 활용에 대한 구현 예시 및 비교 연구는 최근 병렬연산이 필요한 많은 국방 분야에 GPU 활용을 독려함으로써 기여할 것으로 판단된다.

I. 연구개요

1.1 연구 배경 및 필요성

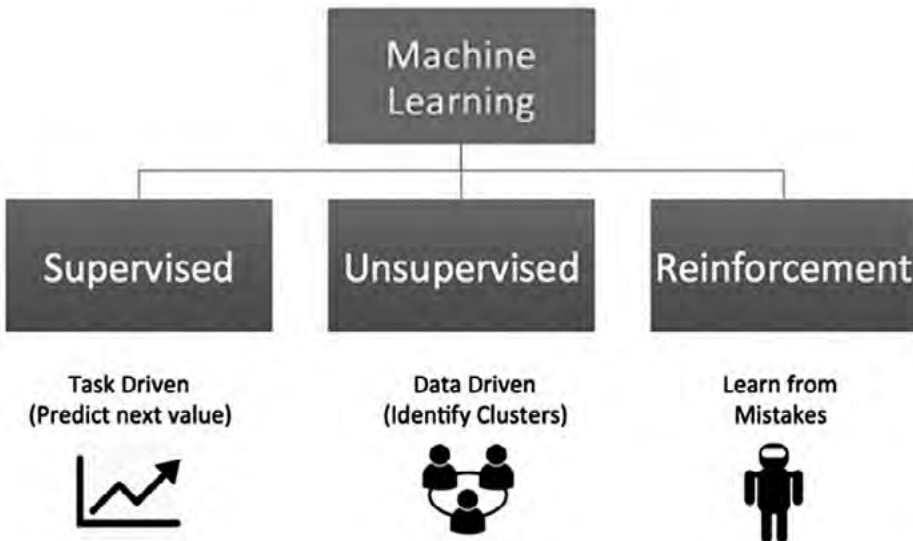
Arthur Lee Samuel은 1959년 머신러닝이라는 용어를 처음 사용하면서 컴퓨터가 명시적으로 프로그램되지 않고도 학습할 수 있는 연구분야(field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed)로 정의하였다. 이후 머신러닝은 <그림 1-1>과 같이 입력과 결과값을 이용한 지도학습(supervised learning), 입력만을 이용한 비지도학습(unsupervised learning), 결과값 대신 보상(reward)이 주어지는 강화학습(reinforcement learning)으로 분류되어 활발히 연구 및 활용되고 있다. 한편, 자연어 처리(natural language processing), 영상인식(image recognition) 등 최근 각광받고 있으며 많은 연구에 적용되고 있는 심층학습(deep learning, 이후 딥러닝)은 머신러닝의 특정한 한 분야로 일종의 하위 개념이지만, 매우 강력한 성능을 바탕으로 인공지능의 대표적인 방법으로 인식되고 있다. 딥러닝은 연속된 층(layer)에서 점진적으로 의미있는 표현을 학습하는 방식으로 층 기반 표현 학습(layered representations learning) 또는 계층적 표현 학습(hierarchical representations learning)으로 연구되고 있다. 딥러닝에서는 기본 층을 겹겹이 쌓아 올려 구성한 인공신경망(artificial neural network) 모델을 사용하여 표현 층을 학습하는 것으로 입력 데이터의 양과 질에 성능이 의존된다. 이러한 이유로 인해 우리 정부에서는 인공지능 학습용 데이터를 대규모로 구축하기 위해 일명 데이터댐 사업을 추진하고 있으며, 민간에서도 인공지능의 상용화를 위해 양질의 데이터 확보를 위해 각고의 노력을 다하고 있는 실정이다.

다양한 국방 분야에서도 인공지능 기술의 활용 시도는 점차 증가하고 있으며, 이 중 군사작전의 기본이라 할 수 있는 경계작전에서 인공지능의 활용은 그 효용 가치가 매우 높다고 할 수 있다. 이는 경계작전이 전·평시 작전 전체에 걸친 지속적 과정으로 실패 시에 대군(對軍) 신뢰도 및 부대 사기의 심각한 저하 및 심리적 마비의 원인이 될 뿐 아니라, 미야

전교범 작전(operation)에 명시된 바와 같이 작전 환경, 적의 위협, 기습에 대한 아군의 취약성을 줄여 행동의 자유를 증대하지 못함으로써 돌이킬 수 없는 작전상 과오의 원인이 될 수 있기 때문이다. 이러한 상황에서 과도한 오경보 등 많은 문제가 지적되고 있는 현재 과학화 경계시스템은 인공지능 기술을 적용한 새로운 경계시스템으로 개선되어야 하며 이는 미래 전장에서 중요한 역할을 할 것으로 기대할 수 있다.

그러나 인공지능 모델의 학습에 필요한 방대한 실제 학습 데이터를 확보하는 것은 군사적 특성을 고려할 때 매우 어려운 과업이다. 특히, 비무장지대에 대한 GOP 경계작전의 현장을 고려하면 학습 데이터는 소량만이 확보될 것으로 판단된다. 이러한 상황에서 국방 분야에서 충분한 학습 데이터의 확보 방안 및 학습 데이터를 가능한 효율적으로 활용하는 방안에 대한 연구는 그 필요성이 매우 크다. 또한, 실시간 의사결정을 위해 인공지능 알고리즘 연산의 병렬처리를 위한 그래픽스 연산 장치의 효율적 활용에 대한 연구도 중요한 상황이다. 본 연구에서는 학습 데이터의 확보 및 학습 방안, 그래픽스 연산 장치의 활용에 대해 이론 연구에 그치는 것이 아니라 민간 및 군사적 적용 방안을 고찰함으로써 기존 연구와의 차별성을 갖고 연구를 수행하고자 한다.

Types of Machine Learning



〈그림 1-1〉 머신러닝의 분류

1.2 연구 목표

본 연구의 목표는 미래 전장에 활용이 가능한 효과적인 데이터 획득 및 인공지능 모델의 학습 방법에 대한 이론적 연구와 적용 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 먼저 양질의 데이터를 확보하기 위한 방법인 데이터 증강의 이론 및 민간과 군사적 적용 방안을 고찰하고, 둘째 인공지능 시스템 측면에서 효율적인 학습을 위한 연합학습 방법의 이론 및 민간과 군사적 적용 방안을 제안한다. 끝으로 인공지능 기술에 필수적인 대규모 병렬처리간 그래픽스 처리 장치의 효율적 활용방법을 설명한다.

1.3 연구의 방법 및 기대효과

본 연구는 연구에 필요한 관련 문헌을 통해 주로 수행한다. 특히, 인공지능 및 머신러닝 분야의 저명한 논문에 최근 발표된 문헌(Shorten과 Khoshgoftaar의 연구¹⁾, McMahan 등²⁾, Cho 등의 연구³⁾) 등을 통해 이론적 사항을 연구하고자 한다. 또한, 군사적 적용 방안은 국방분야에서 발표한 관련 정책 및 추진과제를 바탕으로 실질적인 방안을 제시하고자 한다.

본 연구를 통해 데이터 증강, 연합학습 및 대규모 병렬처리를 위한 그래픽스 연산 장치의 활용 분야의 발전 뿐 아니라 이를 군사적으로 적용하는 방안에 대해서도 기여할 것이다. 이는 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 첨단과학기술군으로 도약하려는 우리 군에 시사하는 바가 클 것으로 판단된다.

II. 데이터 증강

2.1 데이터 증강 기법에 대한 배경 및 소개

데이터 증강은 딥러닝 학습간 데이터의 부족 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 기법으

-
- 1) Shorten, C. and Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of big data*, 6(1), 1-48.
 - 2) McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., and y Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In *proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2017, USA*.
 - 3) Cho, Y., Kim, J., and Yu, D. (2022). "Comparative study of CUDA GPU implementations in Python with the fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for LASSO", IEEE ACCESS.

로 다양한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 영상인식 등에서 활발하게 활용되는 합성곱 신경망(convolutional neural networks, CNN)은 데이터의 회전(rotation), 크기(scale), 밀림(shearing), 반사(reflection), 이동(translation)과 같은 2차원 변환인 어파인 변환(affine transform)에 취약하여 이를 증강함으로써 보완하게 되면 모델의 예측력을 향상할 수 있는 효과가 있다. 데이터 증강 기법의 분류 체계는 <그림 2-1>과 같으며, 크게 기본 이미지의 조작(manipulation)과 딥러닝 기반의 방법을 활용하는 것으로 구분할 수 있다.

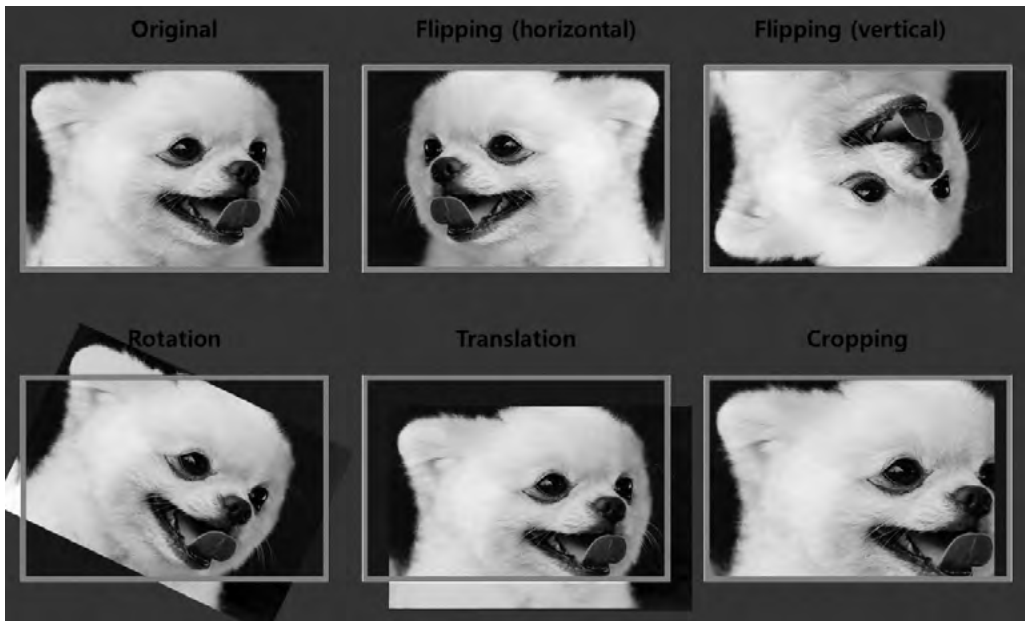


<그림 2-1> 데이터 증강 기법의 분류⁴⁾

먼저, 가장 기본적인 데이터 증강 방법인 기하학적 변환(geometric transformations) 측면의 데이터 증강 기법이다. 기하학적 변환은 뒤집기(flipping), 자르기(cropping), 회전(rotation), 변환(translation) 등이 대표적이다. <그림 2-2>에서 볼 수 있듯이 좌측 상단의 기본 데이터를 수직과 수평으로 뒤집고, 회전할 수 있다. 뒤집기는 가장 구현이 용이하고 많이 활용되는 증강 기법으로 숫자 6과 9와 같이 뒤집기에 유의해야하는 데이터가 있다. 이러한 이유로 수평 뒤집기가 수직 뒤집기보다 일반적으로 많이 활용되고 있으며

4) Wang, J. and Perez, L. (2017). The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. Convolutional Neural Networks Vis. Recognit, 11, 1-8.

ImageNet 데이터셋에서 유용한 것으로 입증되었다. MNIST 또는 SVHN과 같은 텍스트 인식과 관련된 데이터셋에 뒤집기 기법은 출력값을 보존하는 증강 기법이 아니다. 변환의 경우 일정 부분의 기본 데이터를 포함하고 나머지 부분은 여백으로 채워지게 되며, 자르는 입력의 크기가 변화될 수 있는 점에서 이미지 공간의 크기가 보존되는 변환과는 상이하다. 그러나, 무작위(random) 자르기를 실시하게 되는 경우 변환과 유사한 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

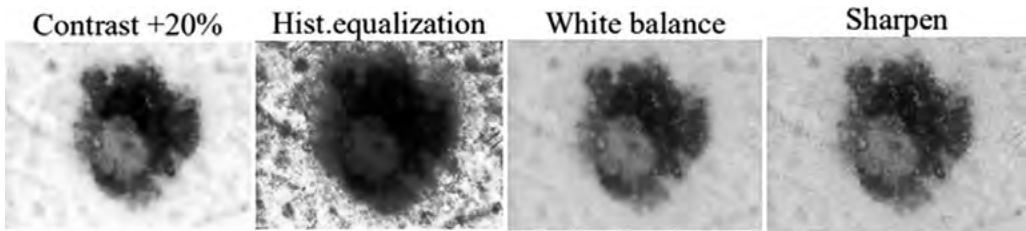


〈그림 2-2〉 기본적인 데이터 증강 기법 (기하학적 변환)

앞서 알아본 기하학적 변환은 이미지의 정중앙에만 물체가 있는 것과 같이 훈련 데이터셋에 위치 편향이 있는 경우 매우 효과적인 방법이지만 때때로 결과값을 변환해야 하는지 수동으로 확인이 필요할 수 있으며, 의료데이터의 경우 매우 신중하게 기하학적 변환을 적용해야 하는 등의 단점이 있다. 반면, 색상에 기반한 방법은 노이즈를 적절하게 추가함으로써 효과적인 데이터 증강을 실시할 수 있는 장점이 있다. 이미지 데이터는 기본적으로 적색, 초록, 파란색을 가지고 있으며 이 값을 조정함으로써 증강을 할 수 있다. 대표적인 색상에 기반한 데이터 증강 기법인 잡음 주입(noise injection)은 정규분포로부터 추출된 확률행렬로부터 구성하는 것이 일반적이며, Moreno-Barea 등⁵⁾은 9개의 데이터셋에 대해 잡

5) Moreno-Barea, F. J., Strazzera, F., Jerez, J. M., Urda, D., and Franco, L. (2018). Forward noise adjustment scheme for data augmentation. In 2018 IEEE symposium series on computational intelligence (SSCI), 728-734

음 주입을 실시한 결과 더 강건한 CNN 모형을 입증한 바 있다. 잡음 주입 시 <그림 2-3>과 같이 대비(contrast) 조정, 히스토그램 평활화(historam equalization), 백색 균형(white balance), 선명함(sharpen) 효과 등 다양한 잡음 효과를 부여하여 데이터를 증강할 수 있다. 이 중 히스토그램 평활화는 이미지 전처리(pre-processing)의 하나로 이미지의 대비를 향상하기 위해 이미지 각 픽셀의 누적분포함수를 0~255사이에 고르게 분포하도록 변환하는 방법이다.



<그림 2-3> 피부암 이미지 데이터에 대해 잡음 주입 기법을 통해 데이터 증강을 실시한 사례⁶⁾

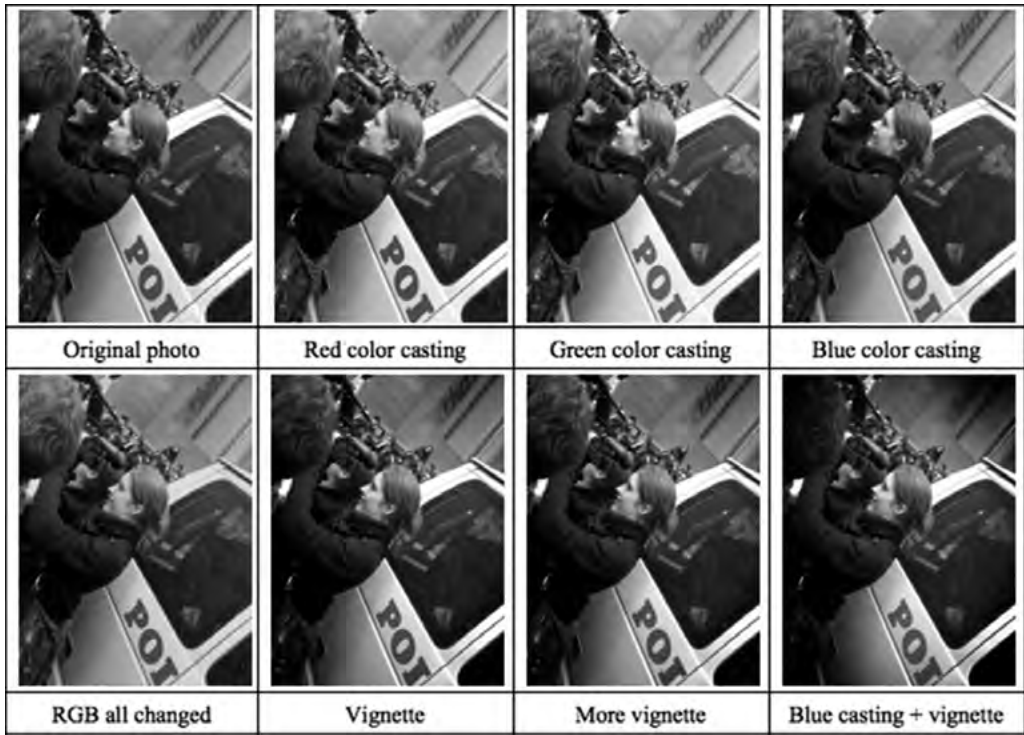
색상에 기반한 방법은 <그림 2-3>에서와 같이 다양하게 적용할 수 있으며 이러한 데이터 증강은 이미지의 밝기에 대한 편향이 있는 많은 훈련 데이터셋에 효과적으로 활용할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 감성분석(sentiment analysis) 등에는 유의하여 적용할 필요가 있다. 이는 때때로 감성이 혈액과 같이 색상으로부터 인지될 수 있기 때문이며 훈련 데이터셋의 색상 편향을 감소하는 것과 데이터 셋의 중요한 특징을 보존하는 것 사이에 유의하여 적용해야 한다. 또한 훈련 데이터셋의 색상을 모두 그레이 스케일(gray scale)로 변환하면 모델의 학습속도는 상대적으로 빠르지만 정확도는 저하되는 것으로 알려져 있다.

Taylor와 Nitschke⁸⁾는 지금까지 알아본 기본적인 데이터 증강 방법에 대한 성능을 비교한 연구를 수행하였으며, Caltech101 데이터셋에 대해 자르기가 매우 효과적인 방법임을 확인하였다. 그러나 기본적인 데이터 증강 방법의 성능은 데이터셋의 종류, 적용하는 기법의 세부사항 등에 따라 크게 변동될 수 있으므로 Taylor와 Nitschke의 연구를 통해 기본적인 데이터 증강만을 통해서도 일정부분 모델의 정확도를 향상할 수 있음을 이해하는 것이 더 중요하다.

6) Mikołajczyk, A. and Grochowski, M. (2018). Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. In 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW), 117-122.

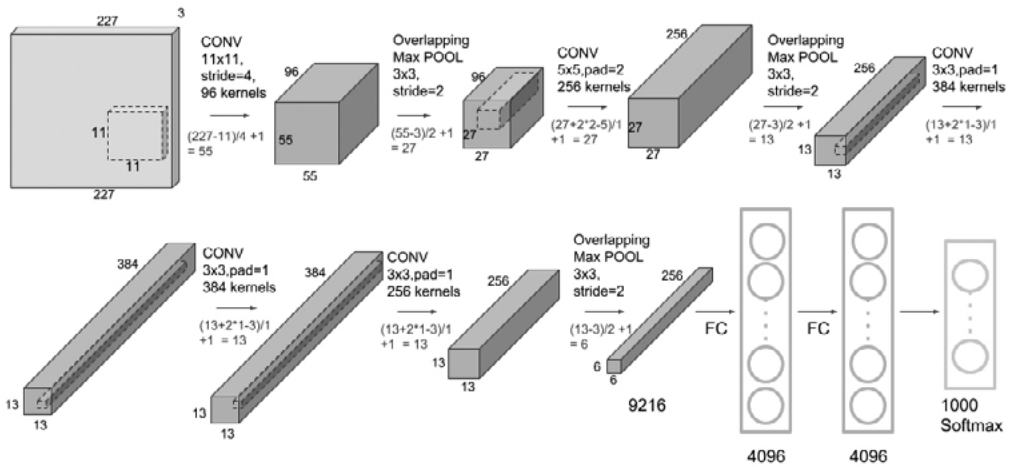
7) Wu, R., Yan, S., Shan, Y., Dang, Q., and Sun, G. (2015). Deep image: Scaling up image recognition. arXiv preprint arXiv:1501.02876.

8) Taylor, L. and Nitschke, G. (2018). Improving deep learning with generic data augmentation. In 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 1542-1547.

〈그림 2-3〉 색상에 기반한 데이터 증강 사례⁷⁾

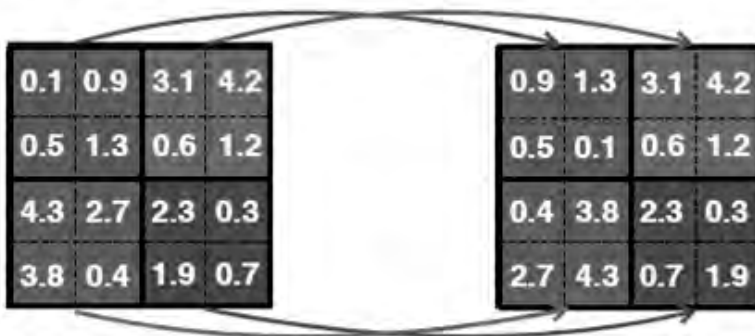
커널필터(kernel filter)를 사용하는 방법을 설명하기에 앞서 CNN의 적용되는 필터의 개념에 대해 먼저 알아보자. CNN은 〈그림 2-4〉와 같이 Convolutional layer, Pooling layer, ReLU layer, Fully connected layer로 구성되는 것이 일반적이며, 이때 Convolution layer에서 필터(혹은 kernel, neuron)는 이미지의 특징을 추출하는 역할을 한다. 일반적으로 3×3크기와 같이 입력 이미지의 크기보다 작게 구성되어 입력 이미지를 차례로 훑으며(sliding) dot product 연산을 수행하며, 필터당 하나의 activation map(혹은 feature map)을 생성하게 된다. 또한 〈그림 2-4〉에서 볼 수 있듯이 필터의 크기는 특정 단계에서의 파라미터의 수를 의미한다.

대표적인 데이터 증강의 커널필터는 이미지를 흐리게 만드는 가우시안(Gaussian) 필터와 이미지를 선명하게 만드는 엣지(edge) 필터가 있다. 이미지를 선명하게 처리하면 목표하는 객체에 대한 특징을 더 많이 추출할 수 있게 되며, 흐리게 처리하면 다소 불명확한 데이터에 대해서도 정확도를 높임으로써 전체적으로 흐려짐(blurrier)에 대한 저항을 얻을 수 있다. 이러한 커널필터는 고전적인 방법이며 Kang 등이 2017년 발표한 PatchShuffle



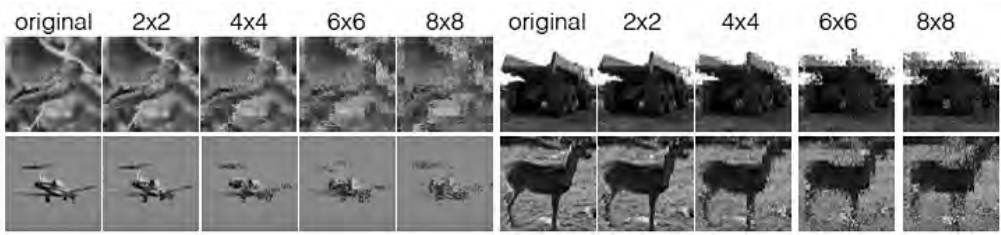
〈그림 2-4〉 AlexNet의 구조 및 파라미터 개수 예제

Regularization⁹⁾에 주목할 필요가 있다. 〈그림 2-5〉에서는 $n \times n$ 슬라이딩 윈도우에서 픽셀의 값을 랜덤하게 교환하는 고유한 커널필터를 활용하는 PatchShuffle Regularization의 간단한 예를 나타낸다. 우측 하단처럼 기존 데이터셋과 동일하게 변환될 수도 있다. 이를 실제 데이터에 활용한 결과가 〈그림 2-6〉이다. $n \times n$ 슬라이딩 윈도우의 픽셀이 랜덤하게 교환되는 결과로 필터가 커질수록 흐려짐의 효과가 커지는 것을 알 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 커널필터는 CNN의 내부 알고리즘과 매우 유사하며 이는 때때로 단점이 될 수 있다. 다시 말하면, 커널필터를 활용하여 데이터 증강의 효과를 보기 위해서는 증강을 위한 많은 노력과 추가적인 학습시간, 컴퓨터 자원 등이 필요한 반면, CNN 모델 내 계층을 추가하거나 수정함으로써 이를 상대적으로 더 용이하게 해결할 수 있다.



〈그림 2-5〉 PatchShuffle Regularization의 예제

9) Kang, G., Dong, X., Zheng, L., and Yang, Y. (2017). Patchshuffle regularization. arXiv preprint arXiv:1707.07103.



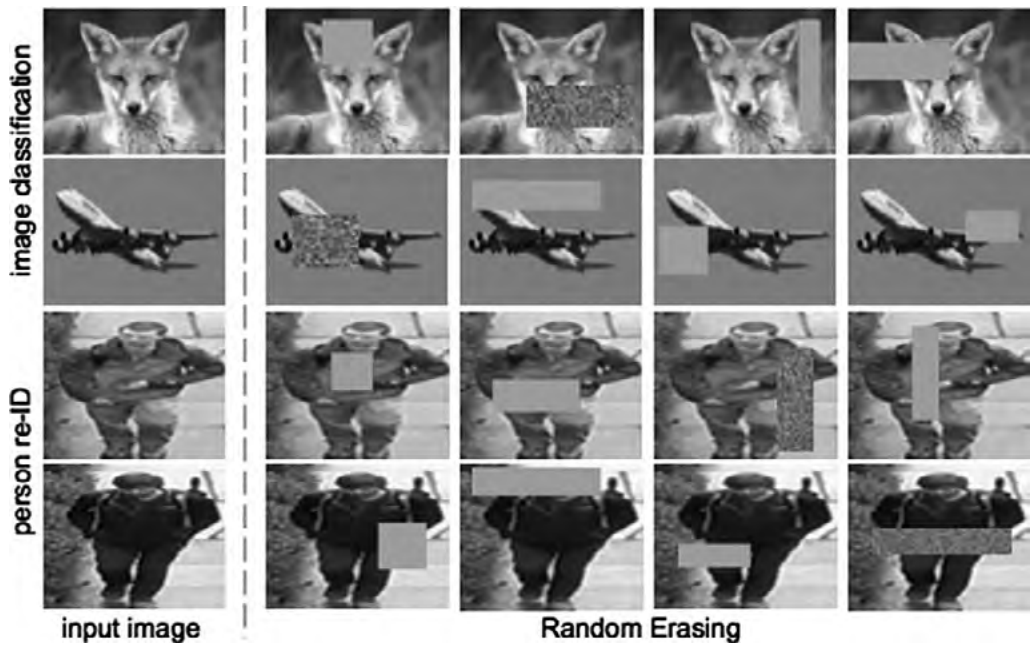
〈그림 2-6〉 실제 데이터에 PatchShuffle Regularization를 다양한 필터의 크기로 적용한 결과

무작위 삭제(random erasing)는 딥러닝의 과적합을 방지하기 위한 dropout 정규화 기법에서 아이디어를 확장한 것이다. 이는 〈그림 2-7〉 및 〈그림 2-8〉과 같이 훈련 이미지에서 특정 부분을 무작위로 삭제하는 것이다. 무작위 삭제는 모델이 주어진 훈련 데이터의 특정 특징에 과도하게 적합함으로써 발생하는 문제를 극복할 수 있다. 다시 말하면, 입력 데이터의 특정한 특징을 적절한 수준에서 제거함으로써 모델이 다른 특성을 찾도록 유도하는 것이다. 이 방법을 활용하여 Zhun 등¹⁰⁾은 CIFAR-10 데이터셋으로부터 오류율을 유의하게 감소하는 것을 제시하였으며, DeVries와 Taylor¹¹⁾은 Cutout Regularization이라는 방법을 통해 삭제 대신 마스킹을 하는 방법을 제안하였다. 또한 Mikołajczyk와 Grochowski¹²⁾은 무작위 삭제된 곳에 일부를 인공지능 알고리즘을 활용하여 채우는 방법을 제안하였다. 무작위 삭제는 과적합을 적절히 방지함과 동시에 데이터 증강을 통한 직접적인 효과가 있는 반면, 출력값이 항상 보존되는 것이 아니므로 활용에 주의가 필요하다. 예를 들어 숫자 8의 일부를 삭제하면 6이 될 수 있다.

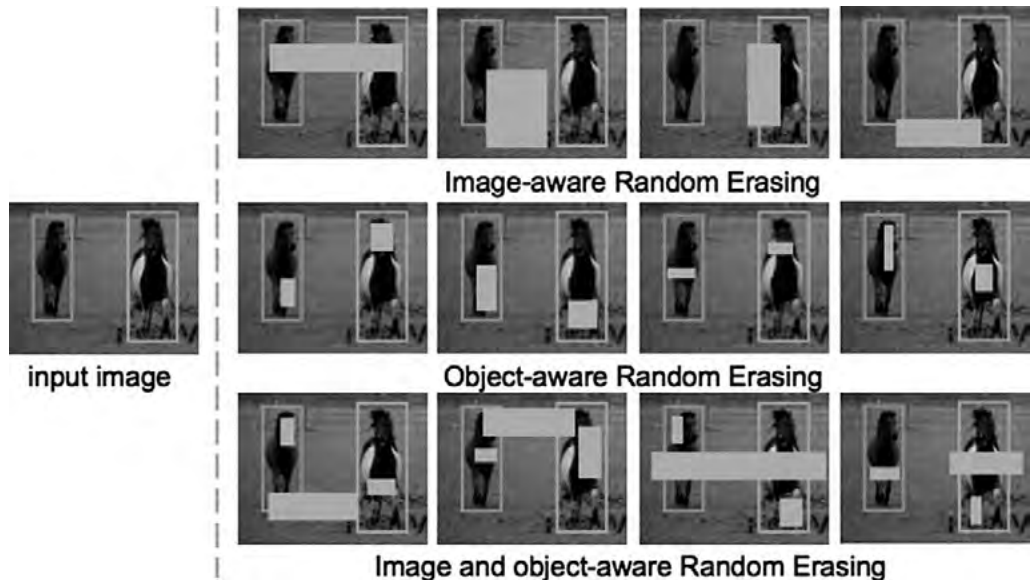
10) Zhun, Z., Liang, Z., Guoliang, K., and Shaozi, L. (2017). Y. Yi. Random erasing data augmentation. arXiv preprint arXiv:1708.04896.

11) DeVries, T. and Taylor, G. W. (2017). Improved regularization of convolutional neural networks with cutout. arXiv preprint arXiv:1708.04552.

12) Mikołajczyk, A. and Grochowski, M. (2018). Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. In 2018 international interdisciplinary PhD workshop (IIPhDW), 117-122.



〈그림 2-7〉 객체 인식 모델을 위한 무작위 삭제의 사례¹³⁾

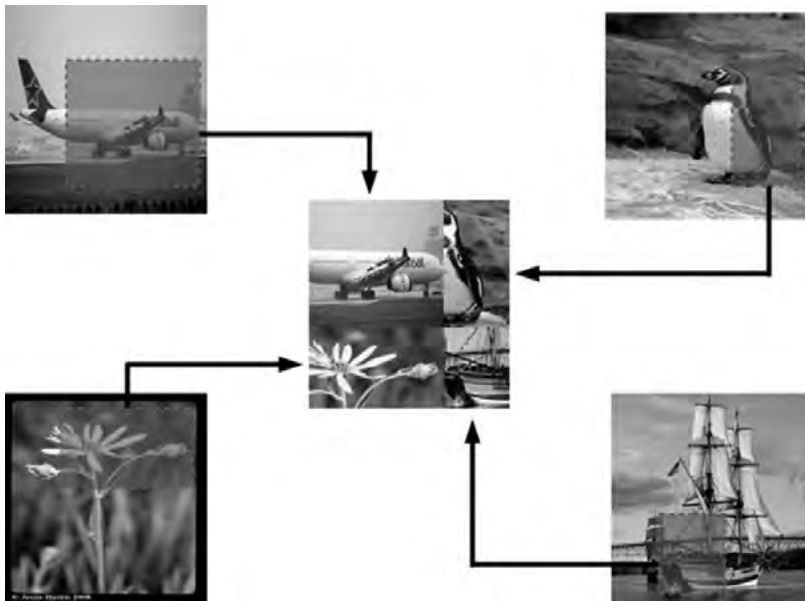


〈그림 2-8〉 객체 검출 모델을 위한 무작위 삭제의 사례¹⁴⁾

13) Zhun, Z., Liang, Z., Guoliang, K., and Shaozi, L. (2017). Y. Yi. Random erasing data augmentation. arXiv preprint arXiv:1708.04896.

14) Zhun, Z., Liang, Z., Guoliang, K., and Shaozi, L. (2017). Y. Yi. Random erasing data augmentation. arXiv preprint arXiv:1708.04896.

픽셀 값의 평균으로부터 이미지를 혼합하는 것은 <그림 2-9>에서 보듯이 인간에게는 합리적인 증강으로 인식되지 않을 수 있다. 이러한 이미지의 혼합을 통해 CNN 모델의 성능 향상에 대해서 직관적인 이해는 어렵지만, 혼합 이미지(mixing images) 기법을 통해 훈련 데이터셋의 크기가 증가하면서 다양한 특성을 더 많이 추출할 수 있다. Inoue¹⁵⁾은 두 이미지를 무작위로 자르고 수평으로 뒤집기를 수행한 뒤 RGB 픽셀값을 평균하여 혼합하는 SamplePairing 증강 방법을 제안했다. <그림 2-10>에서는 이 방법을 통해 두 개의 이미지가 혼합되는 방법을 상세히 설명하고 있다. Inoue의 연구에서는 이러한 방법을 활용하여 오류율을 43.1%에서 31%로 감소한 결과를 제시하였다. 또한 Summers와 Dinneen¹⁶⁾의 연구에서도 유사한 방법을 통해 유의하게 성능이 향상됨을 보였다.



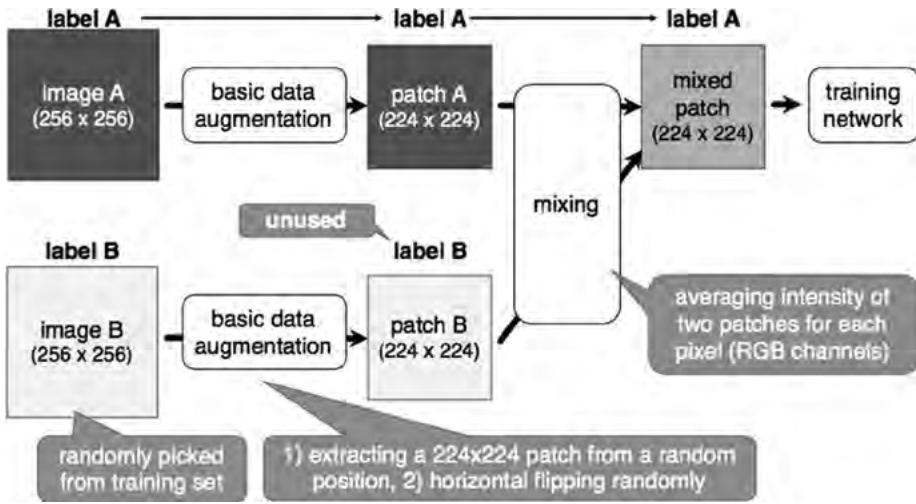
<그림 2-9> 무작위 자르기와 붙이기를 통해 생성된 혼합 이미지 사례¹⁷⁾

특히, Summers와 Dinneen은 <그림 2-11>과 같이 선형 및 비선형 방법을 고려하여 이미지를 혼합하는 방법을 제시하였으며 유의하게 향상된 성능을 보였다. 혼합 이미지 기법을 통해 모델의 성능이 향상되는 것의 기본은 충분한 수준으로 훈련 데이터셋의 크기를 증

15) Inoue, H. (2018). Data augmentation by pairing samples for images classification. arXiv preprint arXiv:1801.02929.

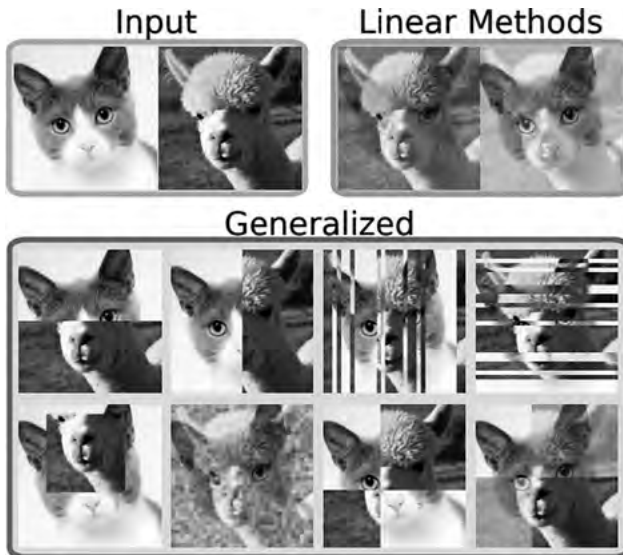
16) Summers, C. and Dinneen, M. J. (2019). Improved mixed-example data augmentation. In 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 1262-1270.

17) Takahashi, R., Matsubara, T., and Uehara, K. (2019). Data augmentation using random image cropping and patching for deep CNNs. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 30(9), 2917-2931.



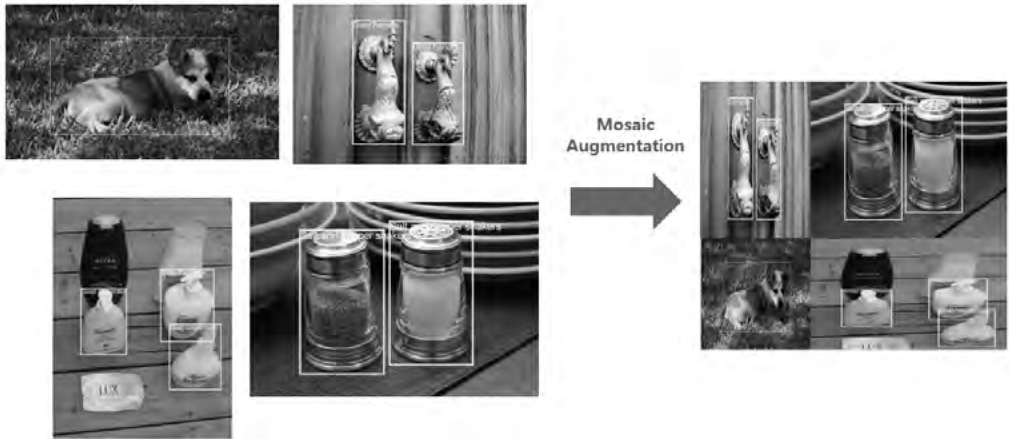
〈그림 2-10〉 SamplePairing 증강 방법

가시키는데 있다. 기존 훈련데이터셋의 크기가 n 이었을 때 Ionue의 연구에서는 $n^2 + n$ 개로 데이터셋의 크기를 증가하였으며, Krizhevsky 등¹⁸⁾의 연구에서도 유사한 방법으로 $(2048 \times n)^2$ 으로 데이터셋의 크기를 증가시켰다. 또한, 전체 모델의 학습 중 초반에는 원본 및 혼합 이미지 기법을 통해 증강된 데이터를 활용하고 후반에는 원본 이미지만을 활용하는 등의 전략도 최근 다양하게 연구되고 있어 주목할 필요가 있다.



〈그림 2-11〉 선형 및 비선형 혼합 이미지 사례

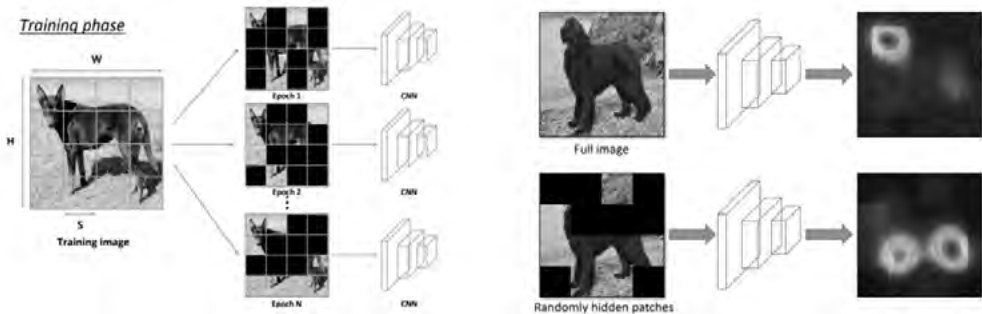
18) Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural information processing systems, 25.



〈그림 2-12〉 YOLO version 4.에 제시된 모자이크 증강¹⁹⁾

또한 〈그림 2-12〉와 같이 무작위로 선택된 4개의 이미지를 하나의 이미지로 통합하는 모자이크(mosaic) 증강 기법이 있다. 이것은 각 미니배치에 상대적으로 큰 이미지가 포함되어 있어 배치 크기를 크게 설정하지 않아도 되는 장점이 있다.

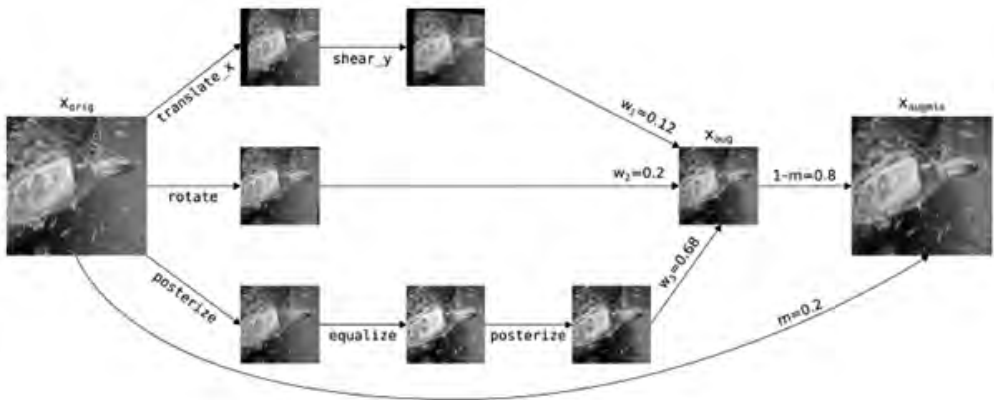
〈그림 2-13〉과 같이 주어지는 입력 이미지에 격자를 나누어 매 반복마다 무작위로 일부를 지워가며 학습하여 데이터 증강의 효과를 나타내는 hide and seek 기법도 각광을 받고 있다. 특히, 이 방법은 이미지의 한 부분에만 집중하는 것이 아니라 전반적으로 특징을 추출하는 효과가 있다. 또한, 모델의 강건성을 강화하기 위해 제안된 augmix 기법은 〈그림 2-14〉와 같이 여러 증강 기법을 직렬 및 병렬로 적용하는 것으로 연산량을 감소하는 효과가 있다.



〈그림 2-13〉 hide and seek 기법을 활용한 사례²⁰⁾

19) Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., and Liao, H. Y. M. (2020). Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.

20) Singh, K. K., Yu, H., Sarmasi, A., Pradeep, G., and Lee, Y. J. (2018). Hide-and-seek: A data augmentation technique for weakly-supervised localization and beyond. arXiv preprint arXiv:1811.02545.



<그림 2-14> Augmix 기법을 활용한 사례²¹⁾

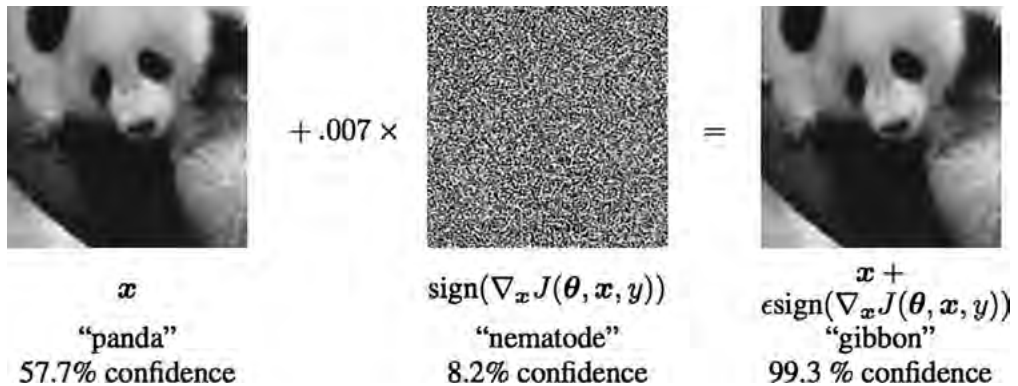
둘째, 기하학적 변환과 같이 기본적인 데이터 증강 방법과 구분되는 접근방법은 딥러닝 모델을 활용한 데이터 증강 방법이다. 본 연구에서는 데이터 증강에 대한 Shorten과 Khoshgofaar의 리뷰 연구의 일부를 기반으로 딥러닝 기반 방법을 설명한다. CNN 모델에서는 합성곱층(convolutional layer)과 풀링층(pooling layer)를 통해 입력 이미지의 특징인 특징맵을 추출함으로써 특징 공간(feature space)을 생성하게 된다. 이러한 특징 공간은 입력 데이터의 차원보다 낮은 것이 일반적이다. Terrance와 Graham²²⁾은 이 공간을 증강하는 기법을 제안하였으며 이를 기존의 입력 공간의 기하학적 변환 등과 성능을 비교하여 우수함을 제시했다. 이 기법은 불균형 클래스에 대한 전통적인 통계적 방법 중 하나인 SMOTE(synthetic minority over-sampling technique)의 개념을 활용한다. SMOTE는 음성, 양성과 같이 이진 분류되는 데이터의 불균형이 있는 경우 적용할 수 있는 대표적인 oversampling의 하나로 임의의 소수 두 객체간 벡터를 생성하고 이 벡터상에서 새로운 데이터를 추출하는 방법이다. 그러나 특징 공간의 증강을 통한 데이터 증강 기법은 벡터 데이터에 대한 해석이 매우 어렵다는 치명적인 단점을 가지고 있다. 이론적으로 오토인코더(auto-encoder)를 활용하여 새로운 벡터에 대한 이미지를 복구할 수 있지만, CNN 모델의 규모가 커지고 학습 시간이 많이 걸리는 경우 현실적으로 이를 적용하는 것은 어려운 일이다. 다시 말하면, 훈련 중인 CNN 모델의 인코딩 부분을 분리하여 활용하

21) Hendrycks, D., Mu, N., Cubuk, E. D., Zoph, B., Gilmer, J., and Lakshminarayanan, B. (2019). Augmix: A simple data processing method to improve robustness and uncertainty. arXiv preprint arXiv:1912.02781.

22) Terrance, V. and Graham, W. T. (2017). Dataset augmentation in feature space. In Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML), workshop track.

는 단계를 데이터 증강을 위해 실시해야하는 문제가 있다. 이것에 대해 Wong 등²³⁾의 연구에 따르면 데이터 공간상에서 충분히 이미지를 변환할 수 있다면 데이터 공간의 확장이 특정 공간의 확장보다 정확도 측면에서 우수한 성능을 보이며 과적합을 유의하게 감소할 수 있음을 설명한다.

다음은 증강 공간을 탐색하기 위한 적대적 훈련(adversarial training)이다. CNN 모델이 잡음에 취약하다는 것은 적대적 훈련을 통한 증강의 필요성을 설명할 수 있다. <그림 2-15>에서 좌측의 팬더에 무작위 잡음을 주입하여 오른쪽 팬더로 만든 경우 인간은 거의 동일하게 팬더라고 인식하는 반면, CNN 모델은 좌측을 57.7% 팬더로 인식하고, 우측을 99.3% 긴팔 원숭이로 인식하는 결과를 보였다. 뿐만 아니라 Su 등²⁴⁾은 픽셀 중 매우 작은 부분만 변경하더라도 CNN 모델이 이미지를 잘못 분류할 수 있음을 확인하였으며, Zajac 등²⁵⁾도 이미지의 경계부분만 변경했을 때 큰 오분류가 발생하는 것을 설명한 바 있다. 이러한 CNN 모델의 특성을 고려할 때 적대적 훈련은 오분류를 유도하는 훈련 데이터를 모델의 훈련에 포함하여 최종적으로 더 강건하고 정확도가 높은 모델을 구성하기 위한 것이다. 대표적인 적대적 훈련의 방법으로는 FGSM(fast gradient sign method)²⁶⁾가 있으며, MNIST 분류에 있어 오분류율을 17.9% 감소한 결과를 제시하였다.



<그림 2-15> 적대적 오분류 사례²⁷⁾

23) Wong, S. C., Gatt, A., Stamatescu, V., and McDonnell, M. D. (2016). Understanding data augmentation for classification: when to warp?. In 2016 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 1-6.

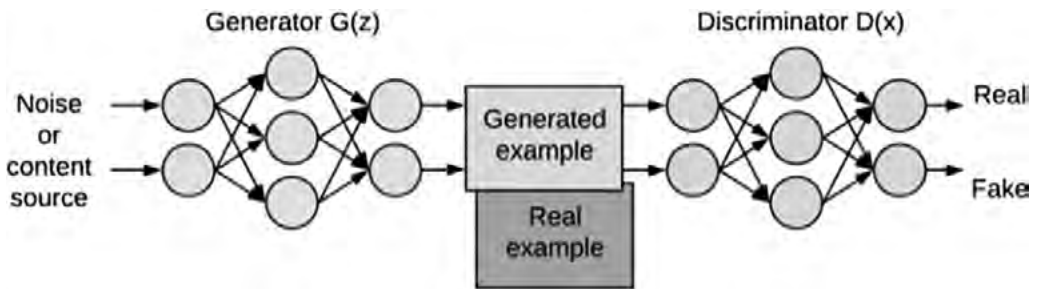
24) Su, J., Vargas, D. V., and Sakurai, K. (2019). One pixel attack for fooling deep neural networks. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 23(5), 828-841.

25) Zajac, M., Zolna, K., Rostamzadeh, N., and Pinheiro, P. O. (2019). Adversarial framing for image and video classification. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence 33(1), 10077-10078.

26) Goodfellow, I. J., Warde-Farley, D., Mirza, M., Courville, A., and Bengio, Y. Maxout networks. arXiv 2013. arXiv preprint arXiv:1302.4389.

27) Goodfellow, I. J., Shlens, J., and Szegedy, C. (2014). Explaining and harnessing adversarial examples.

생성적 적대 신경망(generative adversarial network, GAN)을 활용한 데이터 증강은 앞서 설명한 적대적 훈련을 확장한 것으로 최근 매우 각광을 받고 있는 분야이다. GAN²⁸⁾은 2016년 세계적인 인공지능 학술대회인 NIPS(Neural Information Processing System)에서 처음 소개된 이후 구글 딥마인드에 의해 사람의 행동을 흉내 내는 인공지능의 개발, 각종 이미지의 생성과 낮은 화질의 이미지 복원, 신약 개발 등 매우 활발하게 활용되고 있으며 인공지능 분야에 새로운 지평을 제시한 것으로 평가받고 있다. GAN의 주요 개념은 <그림 2-16>와 같이 생성자(generator)와 식별자(discriminator)가 서로 경쟁(adversarial)하며 데이터를 생성(generation)하는 모델을 말하는 것으로 위조지폐를 만드는 시스템과 이를 감별하는 시스템이 있다고 가정하면 두 시스템이 경쟁하여 더 이상 위조지폐를 감별할 수 없을 때까지 학습하는 것이다. 또한 GAN의 핵심 사항은 두 확률분포간 차이를 계산하기 위해 KLD(Kullback-Leibler divergence)의 단점을 극복한 JSD(Jensen-Shannon divergence)을 척도로 적용하여 원본 데이터의 확률분포와 생성자가 만든 확률분포간 차이를 최소화하는 것이다.



<그림 2-16> GAN 개념²⁹⁾

DCGAN(deep convolutional GAN)³⁰⁾은 2015년 GAN에서 직접 파생된 모델로 GAN의 혁신적인 개념에도 불구하고 불안정성이 치명적인 단점으로 지적된 것에 대해 <그림 2-17>과 같이 합성곱층(convolutional layer)을 GAN에 포함하여 보완한 것이다. 현재 많은 GAN을 이용한 방법은 DCGAN의 구조를 따르고 있는 점에서 매우 효과적인 방법이

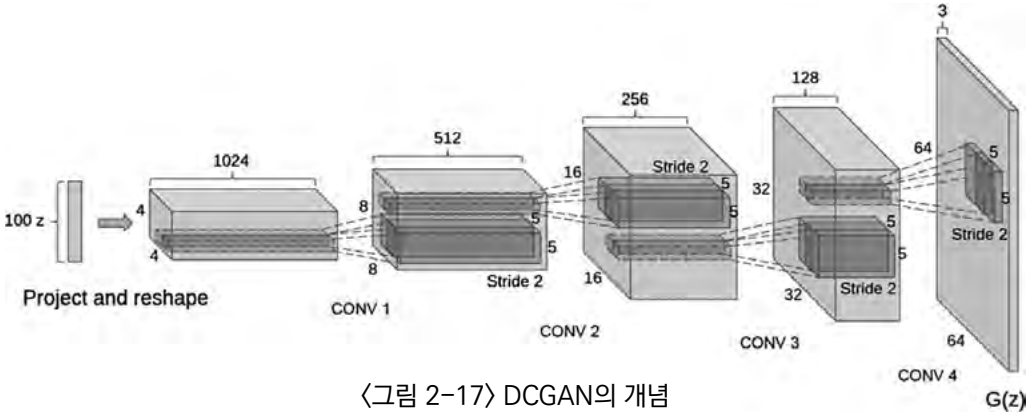
arXiv preprint arXiv:1412.6572.

28) Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S. and Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27.

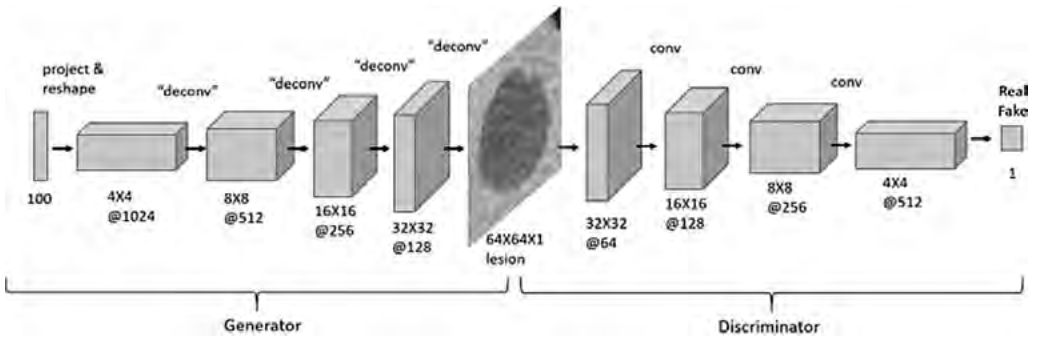
29) Mikołajczyk, A. and Grochowski, M. (2018, May). Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. In *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW)*, 117-122.

30) Radford, A., Metz, L., and Chintala, S. (2015). Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1511.06434.

다. 데이터 증강을 위해 DCGAN을 활용한 연구가 활발하며 <그림 2-18>에서는 간 병변의 이미지를 증강한 사례를 나타낸다.



<그림 2-17> DCGAN의 개념



<그림 2-18> DCGAN을 활용한 간 병변 이미지 생성의 사례³¹⁾

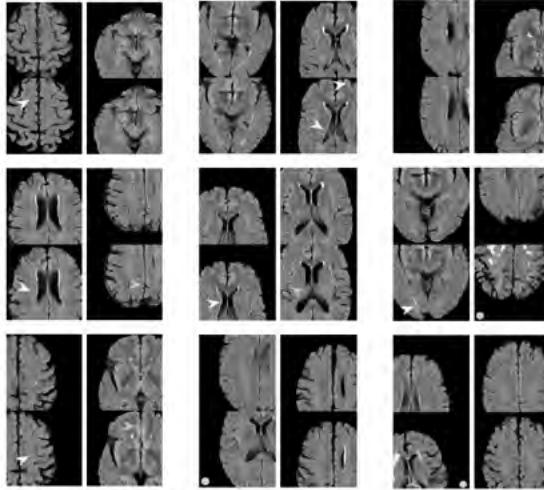
2017년 NVIDIA에서 발표한 Progressive Growing of GANs(PGGAN)³²⁾은 기존의 GAN이 해결하지 못한 고해상도 이미지를 생성할 수 있는 방법을 제안한 것이다. GAN으로 고해상도 이미지를 생성하는 것이 어려운 이유는 해상도가 높아질수록 식별자가 생성자가 생성한 이미지를 거짓으로 판별하기 쉽기 때문이며 또한 고해상도 이미지를 생성하더라도 메모리 제약으로 인해 미니배치크기를 줄여야 하므로 학습이 불안정하기 때문이다. Bowles 등³³⁾은 원본 데이터셋으로부터 충분한 양의 이미지를 PGGAN으로 학습하여 가상

31) Frid-Adar, M., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J., and Greenspan, H. (2018). Gan-based data augmentation for improved liver lesion classification.

32) Karras, T., Aila, T., Laine, S., and Lehtinen, J. (2017). Progressive growing of gans for improved quality, stability, and variation. arXiv preprint arXiv:1710.10196.

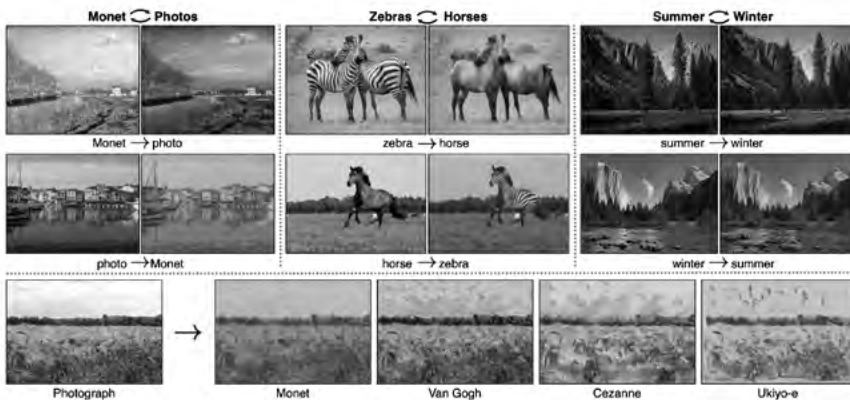
33) Bowles, C., Chen, L., Guerrero, R., Bentley, P., Gunn, R., Hammers, A., Dickie, D. A., Hernandez, M. V., Wardlaw, J., and Rueckert, D. (2018). Gan augmentation: Augmenting training data using generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1810.10863.

데이터를 생성한 뒤 원본 데이터와 가상 데이터를 CNN 모델로 학습하는 방법을 실험하였다. 이 연구에서는 원본 데이터의 양, 가상 데이터의 양, 자르기, 회전 등 기본적인 데이터 증강 기법을 변경해가며 결과를 비교하였다.



〈그림 2-19〉 각 그림의 원본(아래)과 생성된 이미지(위쪽)의 쌍

CycleGAN³⁴⁾은 image-to-image translation을 위해 사전에 쌍을 이룬 이미지를 사용하지 않고 〈그림 2-20〉과 같이 두 도메인간의 이미지를 변환하는 기법을 제안한 것이다. 이 기법은 〈그림 2-21〉과 같이 얼굴의 이미지를 이용해 감정을 분류하는 것으로 응용이 가능하며 이를 데이터 증강에 활용할 수 있다.



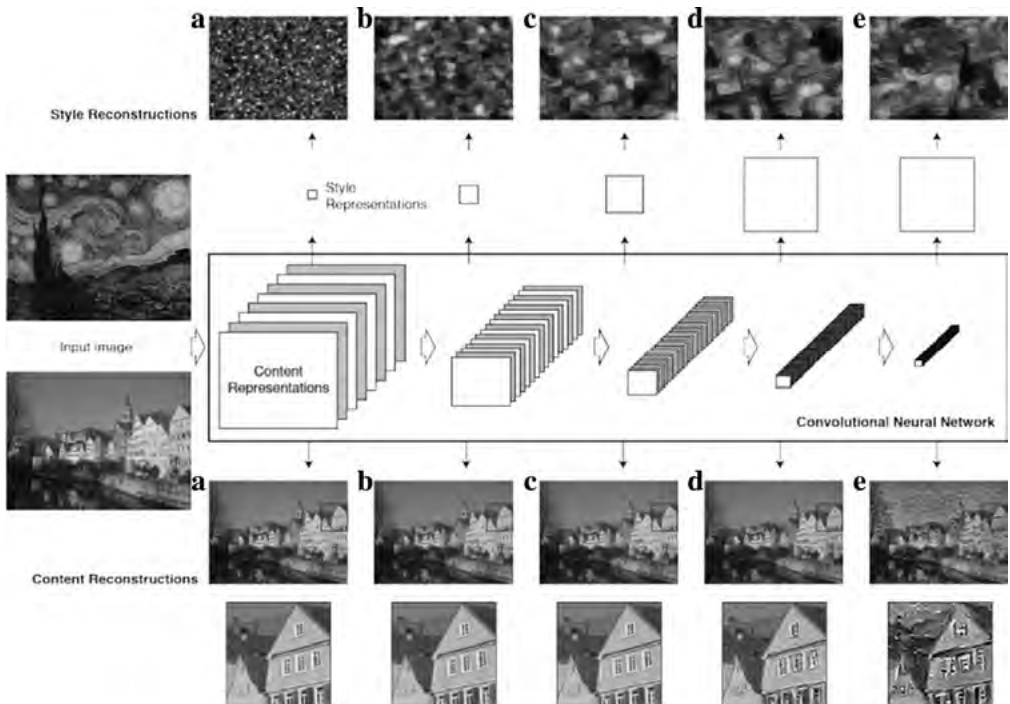
〈그림 2-20〉 두 도메인간 이미지가 변환된 사례

34) Zhu, J. Y., Park, T., Isola, P., and Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2223-2232.



〈그림 2-21〉 CycleGAN을 활용한 감정 분류 사례³⁵⁾

NST(Neural style transfer)³⁶⁾는 이미지의 화풍을 학습하는 기법으로 〈그림 2-22〉와 같이 CNN 모델을 활용하되 기존 CNN 모델에서와 같이 layer를 깊게하여 특징을 추출하



〈그림 2-22〉 Neural style transfer 방법의 개념과 사례

35) Zhu, X., Liu, Y., Qin, Z., and Li, J. (2017). Data augmentation in emotion classification using generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1711.00648.

36) Gatys, L. A., Ecker, A. S., and Bethge, M. (2015). A neural algorithm of artistic style. arXiv preprint arXiv:1508.06576.

는 것이 아니라 layer의 깊이를 적절하게 조정하여 추상적인 특징을 추출하고 이렇게 추출된 특징맵으로부터 특정 화풍의 이미지를 재구성하는 개념이다. NST를 활용한 모델로 새로운 화풍의 이미지를 생성할 수 있으며 이는 데이터 증강에 직접적인 적용이 가능한 기법이다.

2.2 데이터 증강의 민간 적용 사례

데이터 증강 기법을 활용하는 다양한 민간 적용 사례 중 대표적인 하나는 의료영상 분석이라 할 수 있다. 의료영상의 경우 개인 정보 문제 등으로 인해 인공지능 모델의 학습에 필요한 충분한 데이터의 수집이 어렵고, 수집이 된다 하더라도 각 클래스(예: 정상 환자 vs 비정상 환자)에 해당하는 데이터 개수의 불균형이 심하다. 따라서 인공지능 모델의 성능을 향상시키는데 어려움이 있다³⁷⁾. 이에 다양한 방법을 활용하여 의료영상 데이터가 가진 문제를 해결하는 노력을 지속적으로 시도하고 있으며, 학습 데이터를 증강시키는 기법이 최근 활발하게 연구되고 있다. 아래에 제시된 연구결과들은 의료영상 분석에서 데이터 증강 기법의 필요성을 잘 나타내는 사례들이다.

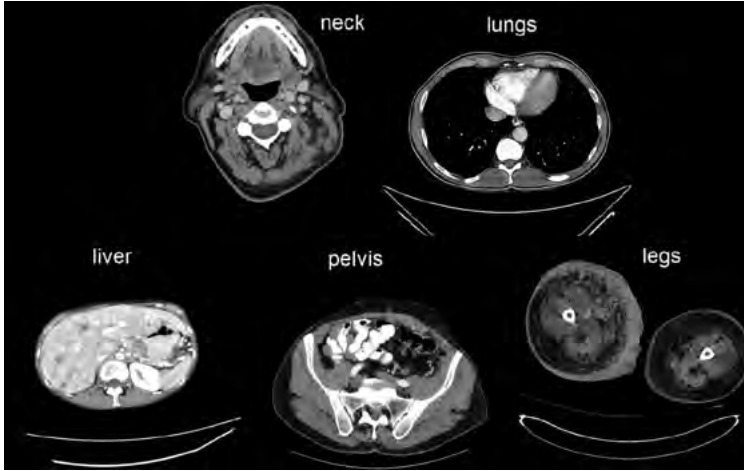
Roth 등³⁸⁾은 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography, CT)을 통해 얻어진 의료영상 데이터를 딥러닝 방법 중 CNN 모델을 활용하여 사람의 신체에서 두 가지 장기(폐, 간)와 세 가지 특정부분(목, 다리, 골반)등 다섯 가지(〈그림 2-23〉 참조)로 분류하는 연구(컴퓨터 보조 진단 시스템의 중요한 전제조건)를 수행하였다. 이 연구과정에서 저자들은 데이터 증강 기법으로 〈그림 2-24〉에서 보이는 것과 같이 랜덤이동(random translation), 랜덤회전(random rotation), 그리고 2차원에서 규칙적으로 흩어져 있는 K 개의 제어점(control point)들 $\{\omega_i; i = 1, 2, \dots, K\}$ 에 박막스플라인(thin-plate spline, TPS) 보간법을 적용하여 계산된 비강체변형(non-rigid deformation)을 사용하였다. 데이터 증강 기법을 사용하기 전과 후의 CNN 모델을 활용한 분류분석의 결과 오분류율(mis-classification error rate)은 0.096에서 0.059로 감소하였으며, 수신자 조작 특성(receiver operating characteristics, ROC)의 곡선 아래의 면적(area under the ROC curve, AUC)은 0.994에서 0.998로 증가되었음을 보였다. 이는 데이터 증강 기법을 통해 분류모델의 성능이 향상되었음을 의미한다. 참고로 다음의 식은 비강체변형에 사용하였던 박막스플라인 보간법을

37) 김민규, 배현진 (2020). 딥러닝 기반 의료영상 분석을 위한 데이터 증강 기법. 대한영상의학회지, 81(6), 1290-1304.

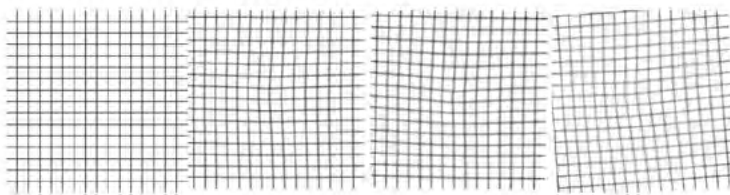
38) Roth, H. R., Lee, C. T., Shin, H. Seff, A., Kim, L., Yao, J., Lu, L., and Summers, R. M. (2015). Anatomy-specific classification of medical images using deep convolutional nets. In 2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 101-104.

나타낸다.

$$t(x) = \sum_{i=1}^K c_i \|x - \omega_i\|^2 \log(\|x - \omega_i\|).$$



〈그림 2-23〉 분류에 사용된 신체의 다섯 부분의 핵심 이미지

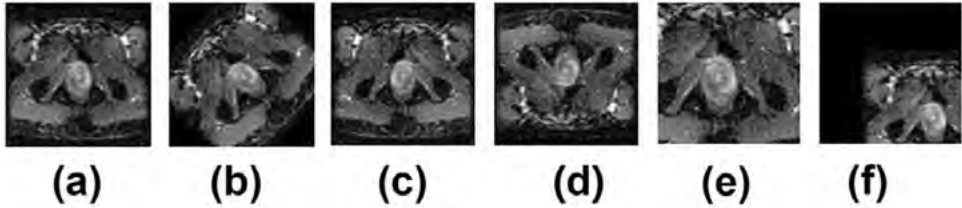


〈그림 2-24〉 랜덤변형, 랜덤회전, 비강체변형을 활용한 데이터 증강 기법

Hao 등³⁹⁾은 전립선암(prostate cancer) 검출을 위해 확산강조 자기공명영상(diffusion-weighted magnetic resonance imaging, DW-MRI) 데이터에 〈그림 2-25〉에서 보이는 좌와 같이 랜덤회전(b), 좌우-뒤집기(horizontal flip)(c), 위아래-뒤집기(vertical flip)(d), 랜덤자르기(random crop)(e), 랜덤이동(f) 등 다섯 가지의 데이터 증강 기법을 각각 적용하여 얇은(shallow) CNN 모델과 깊(deep) CNN 모델의 분류 성능에 미치는 영향을 비교 조사하였다. 그 결과 분류성능에 있어서 랜덤회전 데이터 증강 기법을 적용한 후 얇은 CNN 모델의 성능이 AUC기준으로 5.2%가 향상됨을 보였고, 이러한 분류 결과에 대한 이유로 전립선의 확산강조 자기공명영상의 대칭적인 특성을 보이기 때문인 것으로 제시하였다. 이번 Hao 등의 연구에서 알 수 있는 중요한 내용은 데이터 증강 기법은 의료영

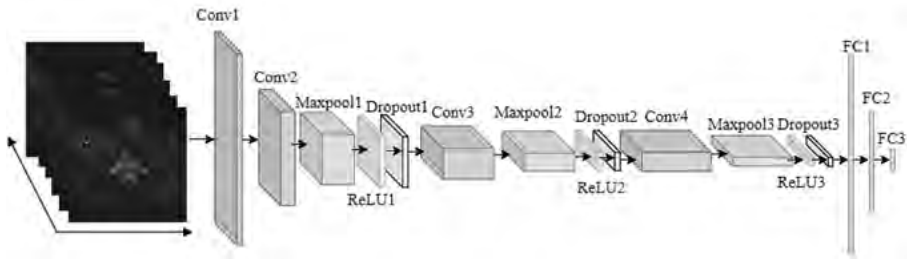
39) Hao, R., Namdar, K., Liu, L., Haider, M. A., and Khalvati F. (2021). A comprehensive study of data augmentation strategies for prostate cancer detection in diffusion-weighted MRI using convolutional neural networks. *Journal of Digital Imaging*, 34, 862-876.

상 데이터 분석에서 분류 모델의 성능을 향상시키기 위해 필수적인 과정이라는 것과, 분석하고자 하는 의료영상 데이터의 특성에 맞게 데이터 증강 기법을 선택해야 한다는 것이다.

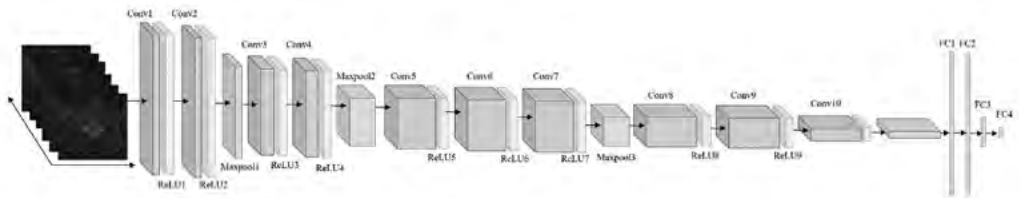


〈그림 2-25〉 다섯 가지 데이터 증강 기법의 효과: (a)-원본, (b)-랜덤회전, (c)-좌우 뒤집기, (d)-위아래 뒤집기, (e)-랜덤자르기, (f)-랜덤이동

아래의 〈그림 2-26〉과 〈그림 2-27〉은 Hao 등에서 사용한 shallow CNN(SCNN) 모델과 deep CNN(DCNN) 모델의 구조를 나타낸다.



〈그림 2-26〉 Shallow CNN 모델의 구조

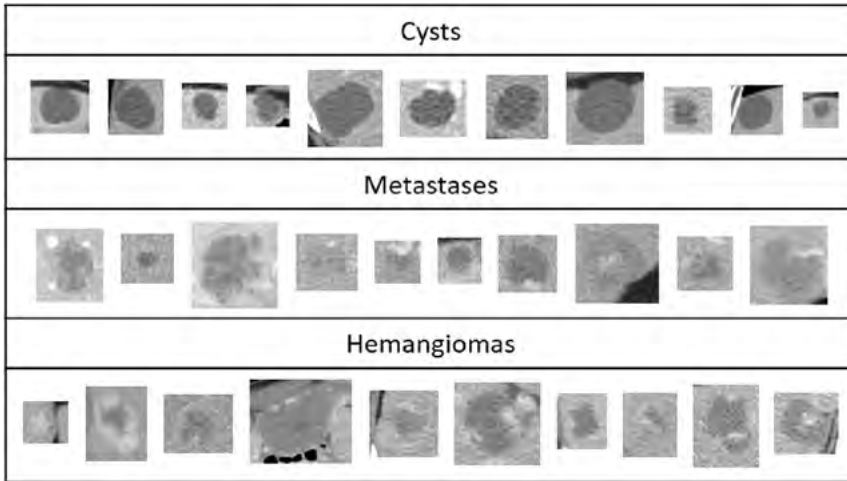


〈그림 2-27〉 Deep CNN 모델의 구조

Frid-Adar 등⁴⁰⁾에서는 간이 손상된 182명의 환자로부터 얻은 CT 영상 데이터에서 〈그림 2-28〉과 같이 나타나는 53개의 낭포(cysts), 64개의 전이(metastases), 그리고 65개의 혈관종(hemangiomas)을 분류하기 위해 CNN 모델을 활용한 연구를 수행하였다. 이 과정에서 저자들은 CNN 모델의 학습에서 부족한 데이터를 늘리기 위해 가장 기본적인 데이

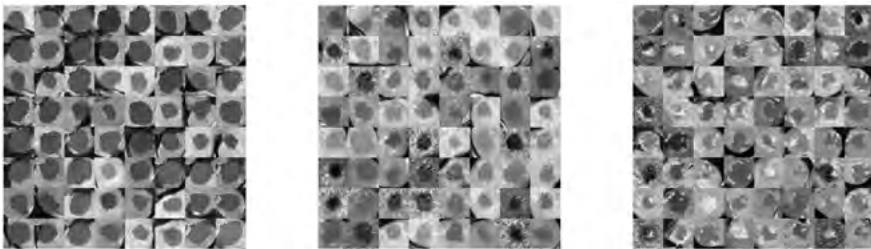
40) Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang, E., Amitai, M., Goldberger, J., and Greenspan, H. (2018). GAN-based synthetic medical image augmentation for increased CNN performance in liver lesion classification. Neurocomputing, 321(10), 321-331.

터 증강 기법인 기하학적 변환 측면의 데이터 증강 기법과 DCGAN 기반의 증강 기법을 동시에 활용하였다. 좀 더 구체적으로 설명하면, 기하학적 변환 측면의 증강 기법을 이용하여 증강한 데이터에 DCGAN을 활용한 증강 기법으로부터 증강된 데이터를 합하여 모델을 학습시켜 분류 모델의 성능을 향상시켰다.



〈그림 2-28〉 낭포, 전이, 혈관종에 해당하는 데이터의 예

다음의 〈그림 2-29〉는 DCGAN 기반의 증강 기법을 통해 증강된 데이터를 나타낸다. 해당 그림에서 (a)는 낭포에 대한 증강된 데이터의 예를 나타내고, (b)는 전이에 대한 증강된 데이터, 마지막 (c)는 혈관종에 해당하는 증강된 데이터의 예이다.

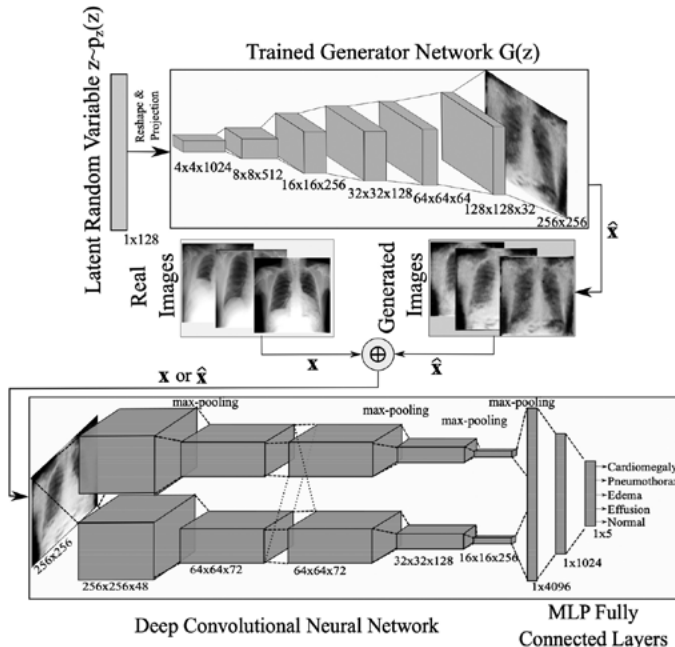


〈그림 2-29〉 DCGAN 기반의 증강 기법을 통해 증강된 데이터의 예

Salehinejad 등⁴¹⁾에서는 흉부(chest) X-ray 영상 데이터에서 정상을 포함한 5가지의 질환(정상(normal), 심비대증(cardiomegaly), 흉막 삼출(pleural effusion), 폐부종(pulmonary edema), 기흉(pneumothorax))을 DCNN 모델을 활용하여 분류하는 연구를 실

41) Salehinejad, H., Valaee, S., Dowdell, T., Colak, E., and Barfett, J. (2018). Generalization of deep neural networks for chest pathology classification in X-rays using generative adversarial networks. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 990-994.

시하였다. 그러나, 해당 연구에 사용된 데이터는 각 질환에 대해 정상 15781명, 심비대증 17098명, 흉막 삼출 14510명, 폐부종 5018명, 기흉 4013명 등 불균형이 심하여, DCNN 분류 모델의 성능이 낮은 문제가 있었다. 이에 저자들은 데이터의 불균형으로부터 나타나는 성능저하 문제를 해결하고자 DCGAN을 활용하여 데이터의 수가 적은 질환에 대해 데이터를 증강하여 데이터 수의 균형을 맞춘 후 DCNN 분류 모델을 학습시키는 연구를 진행하였고, 분류 정확도의 측면에서 기존 불균형 자료에 대한 분류 정확도 70.89%가 92.10%로 증가하여 DCNN 분류 모델의 성능이 크게 향상됨을 확인하였다. 이러한 연구의 결과는 클래스 간 데이터 수의 불균형이 심할 때, DCGAN 기반의 데이터 증강 기법을 통해 데이터 수의 균형을 맞추는 것이 분류 모델의 성능을 향상시키는데 필수적인 요소임을 알 수 있는 결과라 할 수 있다. 아래의 <그림 2-29>는 Salehinejad 등에서 제안한 데이터 증강을 통해 데이터 수의 균형을 맞춘 후에 딥 CNN을 적용시키는 과정을 나타내는 모델 구조이다.



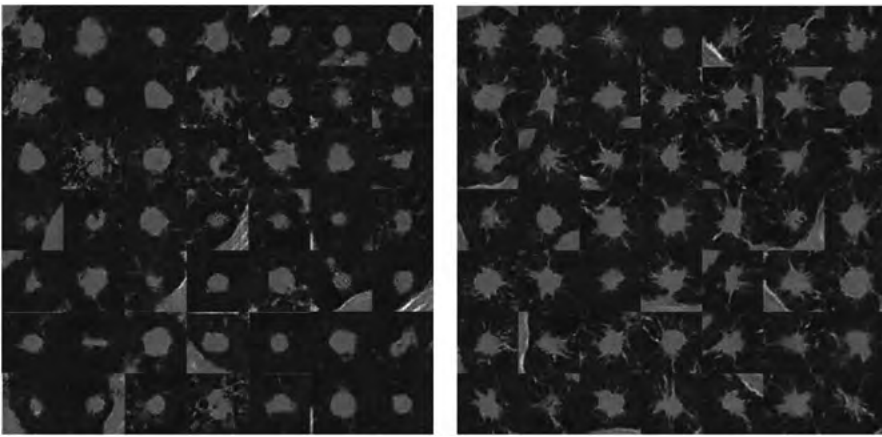
<그림 2-30> 데이터 증강을 통해 클래스 간 데이터 수의 균형을 맞춘 후 적용하는 딥 CNN의 구조

Onishi 등⁴²⁾에서는 Wasserstein GAN⁴³⁾ 기반의 데이터 증강 기법을 통해 <그림 2-31>

42) Onishi, Y., Teramoto, A., Tsujimoto, M., Tsukamoto, T., Saito, K., Toyama, H., Imaizumi, K., and Fujita, H. (2019). Automated pulmonary nodule classification in computed tomography images using a deep convolutional neural network trained by generative adversarial networks. *BioMed Research International*, 2019(6051939), 1-9.

43) Arjovsky, M., Chintala, S., and Bottou, L. (2017). Wasserstein GAN. *arXiv preprint arXiv:1701.07875*.

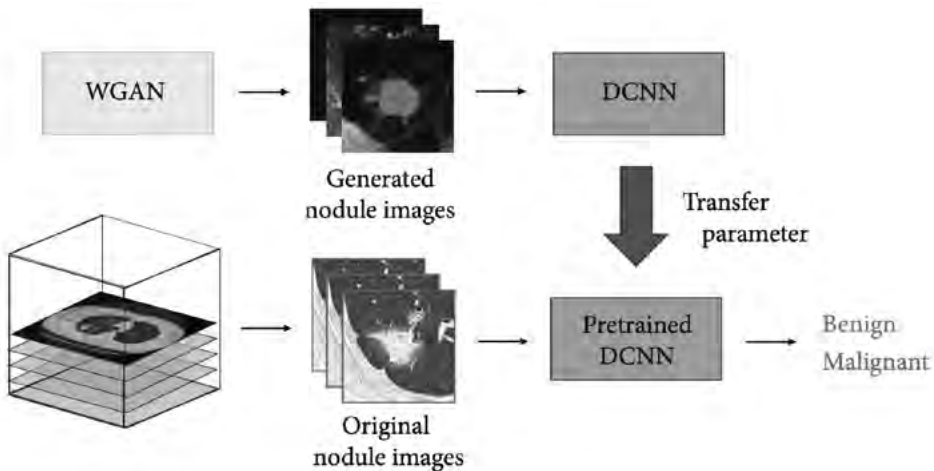
에서 보이는 바와 같이 (a) 양성 폐결절(benign pulmonary nodule)과 (b) 악성 폐결절(malignant pulmonary nodule)의 CT 영상 데이터를 증강한 후 AlexNet 기반의 DCNN 모델을 훈련시켜 악성 폐결절 여부를 분류하는 분류기를 구축하는 연구를 진행하였다. 이 연구에서 저자들은 정확한 분류를 시행하기 위해 <그림 2-32>와 같이 두 단계를 거치는 모형을 구축하였는데, 첫 번째 단계에서는 Wasserstein GAN을 통해 증강된 CT 영상 데이터를 이용하여 DCNN 모델을 훈련시키고 두 번째 단계에서 실제 CT 영상 데이터를 활용하여 기존에 훈련된 DCNN 모델을 전이학습(transfer learning)을 통해 미세조정(fine-tuning) 한 후 분류를 실시하였다.



(a) 양성 폐결절

(b) 악성 폐결절

<그림 2-31> Wasserstein GAN을 사용하여 생성된 영상 데이터



<그림 2-32> 두 단계를 거쳐 구축된 분류 모델의 구조

구축된 분류 모델의 성능평가를 위해 이 연구에서는 60건(27건의 악성 폐결절, 33건의 양성 폐결절)의 CT 영상 데이터에 적용하였고, 그 결과 기존의 모델에 비해 분류 정확도 측면에서 약 15% 정도의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 이는 데이터 증강 기법을 통해 증강된 데이터를 이용해 모델을 학습한 후, 전이학습을 통해 모델의 미세조정을 하는 경우 분류 모델의 정확도를 높일 수 있음을 의미한다고 할 수 있다. 참고로 아래의 <그림 2-33>은 Arjovsky 등에 의해 제안된 Wasserstein GAN의 알고리즘이다.

Require: : α , the learning rate. c , the clipping parameter. m , the batch size. n_{critic} , the number of iterations of the critic per generator iteration.

Require: : w_0 , initial critic parameters. θ_0 , initial generator's parameters.

- 1: **while** θ has not converged **do**
- 2: **for** $t = 0, \dots, n_{\text{critic}}$ **do**
- 3: Sample $\{x^{(i)}\}_{i=1}^m \sim \mathbb{P}_r$ a batch from the real data.
- 4: Sample $\{z^{(i)}\}_{i=1}^m \sim p(z)$ a batch of prior samples.
- 5: $g_w \leftarrow \nabla_w \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_w(x^{(i)}) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_w(g_\theta(z^{(i)})) \right]$
- 6: $w \leftarrow w + \alpha \cdot \text{RMSProp}(w, g_w)$
- 7: $w \leftarrow \text{clip}(w, -c, c)$
- 8: **end for**
- 9: Sample $\{z^{(i)}\}_{i=1}^m \sim p(z)$ a batch of prior samples.
- 10: $g_\theta \leftarrow -\nabla_\theta \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_w(g_\theta(z^{(i)}))$
- 11: $\theta \leftarrow \theta - \alpha \cdot \text{RMSProp}(\theta, g_\theta)$
- 12: **end while**

<그림 2-33> Wasserstein GAN의 알고리즘

2.3 데이터 증강의 군사적 적용 방안

인공지능은 미래 군사혁신을 위한 기술적 돌파구로서 국방력의 향상과 직결되어 있으며, 특히 첨단 전투력의 강화, 병력부족 문제 해결 및 복잡한 군사 운용체계와 다층적인 전장 정보를 효과적으로 관리할 수 있는 측면에서 그 중요성이 어느 때보다 높다. <그림 2-34>에서는 우리 육군이 미래 전장에서 추진하고자 하는 인공지능의 개념도를 제시하고 있다. 다양한 정보체계와 유무인 무기체계로부터 데이터를 수집하고 이를 전장 지능화센터에서 분석하여 전평시 작전 및 교육훈련, 부대관리 등을 수행하는 모습이다. 이를 위해 선행되어야 될 것은 양질의 학습용 데이터 확보이며 이는 어느 분야보다도 국방분야에 그 필요성이 높다고 할 수 있다.



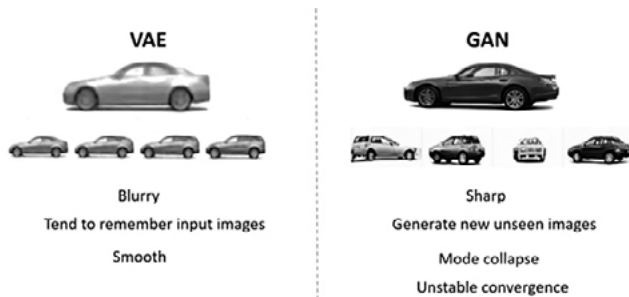
〈그림 2-34〉 육군의 인공지능 활용 개념도⁴⁴⁾

실제 전투상황의 자료가 매우 적을 뿐 아니라 경계작전 현장에서조차 획득할 수 있는 데이터가 한정된 군사적 특성상 데이터 증강은 매우 국방 인공지능 분야에 연구가 필요하기 때문이다. 본 연구에서는 인공지능 중 특히 영상을 기반으로 하는 군사적 과제에 적용이 가능한 데이터 증강 활용 방안을 데이터 증강 기법을 활용하는 것과 시뮬레이션 모델을 활용하는 것으로 구분하여 제시하고자 한다.

먼저 데이터 증강 기법을 활용하는 방안이다. 경계작전 현장에서 획득된 데이터에 대해 기하학적 변환과 같이 기본적인 증강 기법을 적용하여 데이터셋을 구축하는 것은 모델의 정확도를 향상하기 위해 필수적으로 수행되어야 될 사항이다. 이것은 데이터의 라벨링을 변경하지 않고 쉽게 데이터를 증강할 수 있다. 파이썬에서는 ImageDataGenerator 라이브러리를 활용하여 임의 회전각도(rotation_range), 수평이동(width_shift_range) 등 몇 가지 매개변수를 통해 쉽게 데이터 증강을 실시할 수 있다. 색상에 기반하여 노이즈를 추가하거나 가우시안 필터 혹은 엣지 필터 등을 적용하는 기법도 비교적 용이하게 적용할 수 있다. 또한 무작위 삭제와 자르기 및 붙이기 기법도 특별한 이유가 없다면 기본적으로 적용해야 데이터를 증강하도록 해야 한다. 특히, YOLO 알고리즘을 활용한다면 모자이크 증

44) <https://www.army.mil.kr/>

강 기법을 적용하여 상대적인 객체 크기를 작게 변형하고 이를 통해 경계작전 현장에서 원거리에서부터 객체인식이 가능하도록 모델을 유도할 수 있다. Ding 등⁴⁵⁾의 연구에서는 비행기나 인공위성 등의 탑재체의 움직임으로 얻어지는 안테나 위치의 연속적 변화를 이용하여 각 안테나의 위치에서 얻어진 자료들을 조합하여 고해상도의 영상을 합성하는 방식으로 군사적으로 매우 많은 응용이 이루어지는 SAR(synthetic aperture radar)의 데이터를 증강하여 활용한 바 있다. Belloni 등⁴⁶⁾도 SAR의 데이터를 증강하여 더 우수한 예측력을 제시한 연구를 수행하였다. 2.1절에서 설명한 딥러닝 모델을 활용한 데이터 증강도 고려가 필요하다. 예를 들어 하절기에 획득된 데이터를 동일한 상황에서 동절기 상황으로 증강할 수 있으며, 산악 환경 등 특정 부대에서 획득된 데이터는 도로 및 해안 등 다른 부대의 상황으로 데이터를 증강할 수 있다. 또한 경계현장에서의 일정 수준의 학습 데이터를 활용하면 GAN 모델을 구현할 수 있다. 이렇게 구현된 GAN 모델로부터 실제와 거의 유사한 가상 데이터를 생성해 낼 수 있다. 개념상 GAN을 활용하여 데이터를 생성하는 것은 매우 효과적인 방법이지만, GAN을 일정 수준 이상으로 구현하는 것이 일반적으로 쉽지 않으며 학습 불안정성, 특히 모드붕괴(mode collapse) 현상이 많이 발생하는 점에 주의해야 한다. GAN 모델을 통해 데이터 증강을 위한 데이터셋을 확보하는 것이 제한될 때에는 우선적으로 VAE(variational auto-encoder) 모델을 고려할 수 있다. VAE는 인코더와 디코더로 구성되어 인코더에서는 입력 데이터의 차원을 축소하여 중요한 특징을 추출하고 디코더에서는 입력 데이터와 유사한 새로운 데이터를 생성하는 구조이다. VAE는 확률 분포를 이용해 어떤 새로운 데이터를 생성하는 것을 목적으로 개발되었으며, 일종의 생성모델(generative model)이다. VAE를 통해 데이터 증강은 가능하나 GAN과 비교하여 흐림 현상(blurry)이 있으며 다소 불명확할 수 있음에 유의해야 한다.



〈그림 2-35〉 VAE와 GAN에 의해 생성된 이미지 사례⁴⁷⁾

45) Ding, J., Chen, B., Liu, H., and Huang, M. (2016). Convolutional neural network with data augmentation for SAR target recognition. IEEE Geoscience and remote sensing letters, 13(3), 364-368.

46) Belloni, C., Aouf, N., Le Caillec, J. M., and Merlet, T. (2019, September). SAR specific noise based data augmentation for deep learning. In 2019 International Radar Conference (RADAR), 1-5.

47) <https://di-bigdata-study.tistory.com/>

다음으로 시뮬레이션 모델을 활용하는 방안이다. 국방 M&S(modeling and simulation)는 대규모 실험 및 군사훈련에 필요한 물리적 제약을 극복하는 수단으로 오래전부터 발전되어 왔다. 특히, 최근에는 가상현실(virtual reality, VR)과 증강현실(augmented reality, AR) 기술을 접목하여 그 활용이 더욱 증대되고 있다. 이러한 상황에서 국방 분야의 고해상도 시뮬레이션 모델을 활용한 데이터 증강에 대한 연구와 시도는 일부 이루어지고 있다. Öhman⁴⁸⁾은 VBS3(virtual battle space)3 모델을 활용하여 인공지능 학습용 데이터 증강에 대해 연구하였다. VBS3는 Bohemia Interactive사에서 군사 훈련용으로 개발한 워게임 모델로 <그림 2-36>에서와 같이 고해상도 그래픽을 제공한다. Öhman의 연구에서는 VBS3의 가상 데이터를 적절하게 실제 데이터와 혼합하여 우수한 성능을 제시하였다.



<그림 2-36> VBS3 모델 화면 전시 사례

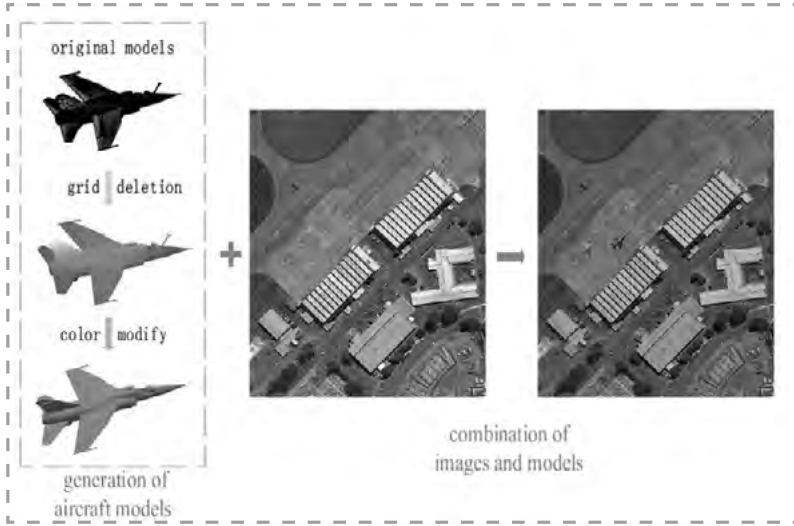
Yan 등⁴⁹⁾도 유사한 연구를 수행하였다. 이들은 특정 형태의 군용 항공기를 탐지하는 CNN 기반의 모델의 성능을 향상하기 위해 간단한 시뮬레이션 모델로부터 데이터를 증강하였다. <그림 2-37>에서는 시뮬레이션 모델로 만든 특정 형태의 항공기 이미지를 실제 활주로 사진에 혼합하여 적용함으로써 학습용 데이터를 생성한다. <그림 2-38>은 이러한 방법을 통해 최종 생성된 데이터이다. 이러한 방식으로 증강된 데이터를 활용함으로써 CNN

48) Öhman, W. (2019). Data augmentation using military simulators in deep learning object detection applications.

49) Yan, Y., Zhang, Y., and Su, N. (2019). A novel data augmentation method for detection of specific aircraft in remote sensing RGB images. IEEE Access, 7, 56051-56061.

기반의 모델에서 향상된 결과를 제시하였다. 이 연구를 통해 VBS3와 같이 고해상도 위계 임모델이 없더라도 필요한 데이터를 증강할 수 있음을 알 수 있다.

국방출판지원단에서는 3D 기반의 다양한 콘텐츠를 개발하고 있으며 이러한 콘텐츠는 인공지능 학습용 데이터 증강에 활용이 가능하다. <그림 2-39>에서와 같이 특정 장비에 대한 3D 콘텐츠는 그 자체로 혹은 실제 이미지에 혼합 적용함으로써 증강의 효과를 기대할 수 있다.



<그림 2-37> 시뮬레이션 이미지의 적용 방법



<그림 2-38> 최종 증강된 이미지 데이터 사례



〈그림 2-39〉 국방출판지원단에서 지원하는 3D 콘텐츠 사례

Ⅲ. 연합학습

3.1 연합학습에 대한 배경 및 소개

스마트 폰, 태블릿 컴퓨터와 같은 스마트 기기, 사물 인터넷(IoT), 엣지 컴퓨팅(edge computing) 등은 디지털 기술의 발전과 함께 다양한 응용분야로 확산되고 있으며, 사람들의 생활 전반에 걸쳐 스며들면서 방대한 데이터가 개별 기기와 기관에 독립적으로 쌓이고 있다. 이러한 데이터에는 개인의 활동 및 앱 사용 정보 등 스마트 기기에 저장되는 사용자 개개인의 데이터와 가정 내의 다양한 가전(디지털)제품에서 수집되는 데이터 등이 포함된다.⁵⁰⁾ 그 뿐만 아니라, 병원에서의 진료 혹은 임상 데이터, 은행의 결제 데이터, 연구소의 실험 데이터 등 동일 목적을 위해 생산된 데이터를 유사한 형태로 각 기관에서 개별적으로 저장하는 경우도 많이 있다. 향후 4차 산업시대에 디지털 기술이 더욱 발전하게 되면서 이러한 분산형 데이터의 종류와 규모는 기하급수적으로 증가할 것으로 보이며, 특히 엣지 컴퓨팅 기술의 발전은 이러한 데이터의 생산을 더욱 가속할 것이다.⁵¹⁾

분산형 데이터의 증가는 데이터를 처리하는 방식이나 정책, 사용 전략의 측면에서 새로운 방향성을 필요로 하고 있다. 특히, 기존의 방식인 분산형 데이터를 중앙에 있는 서버에 모아서 인공지능 혹은 머신러닝, 더 나아가 딥러닝 알고리즘을 훈련시키는 방식은 흩어져 있는 방대한 양의 데이터를 모으는데 걸리는 지연 시간과 데이터를 처리하는 시간, 데이터를 저장하는 저장 공간이 기하급수적으로 증가하게 되고, 이러한 상황에서 데이터를 소유

50) 홍성은, 방준일, 김화중 (2021). 2021년도 한국통신학회 하계종합학술발표회.

51) 이승민 (2020). 연합학습 기술 동향 및 산업적 시사점. 한국전자통신연구원.

하고 있는 각 기관 혹은 개인의 이해관계나 개인정보보호 문제와도 연관되면서 심각한 문제가 발생하고 있다.⁵²⁾ 예를 들어, 여러 병원에 흩어져 있는 난치성 질환을 가지고 있는 환자의 정보나 코로나19(COVID-19)와 같은 신종 감염병 데이터(예: 감염병 확진자의 동선 등)를 공유하여 의미 있는 결과를 도출하고자 하는 경우를 생각해 볼 수 있다.

개인정보보호에 관련하여 2018년 5월 유럽연합은 EU 회원국에 속한 시민의 사생활 보호하는 일반 데이터 보호 규정(general data protection regulation, GDPR)을 시행하여 적용하고 있으며, 미국의 경우 캘리포니아 주는 캘리포니아 소비자 프라이버시 보호법(California consumer privacy Act, CCPA)을 2020년 1월에 시행하고 있다. 우리나라의 경우에는 <표 3-1>에 제시된 데이터 3법(개인정보보호법, 정보통신망법, 신용정보법)이 2020년 1월에 국회 본회의를 통과된 후 같은 해 하반기부터 본격 시행되고 있다.⁵³⁾⁵⁴⁾ 이렇듯 개인의 정보를 보호하는 문제에 대한 인식은 전 세계적으로 점점 더 커져 가고 있으나, 데이터 활용의 측면에서는 예를 들어 서로 다른 기관에서 보유하고 있는 개인정보의 결합하여 유용한 결과를 도출하는 문제에 있어서는 또 다른 제약이 따르고 있는 실정이다.

<표 3-1> 데이터 3법의 주요 내용

구분	주요 내용
개인정보보호법	1. 가명정보 데이터 서비스 개발에 활용가능 2. 개인정보 보호 기관 개인정보보호위로 일원화
정보통신망법	1. 가명정보 금융분야 빅데이터 분석에 이용 가능 2. 가명정보 주체 동의없이 활용가능
신용정보법	1. 온라인상 개인정보 감독 기능 개인정보보호위로 이관

위에서 언급한 개인정보보호 및 중앙 집중적인 데이터 처리 방법 문제를 해결하기 위해 최근 새롭게 등장한 모델이 구글(Google)에서 제시한 연합학습(federated learning, FL)이다. 연합학습은 데이터를 중앙에 위치한 서버로 보내지 않고 각종 기기와 개별 기관에 흩어져 있는 로컬 저장소에서 데이터를 처리하기 때문에 개인 데이터를 보호하면서, 서로 데이터가 가진 정보를 공유하고 협력하여 유용한 정보를 이끌어 낼 수 있는 모델이기 때문에 분산형 데이터를 학습하는데 있어서 적합한 분산학습 모델이다. 게다가 연합학습은 중앙 서버에서 한 번에 데이터를 처리하는 방법에 비해 학습에 필요한 시간을 획기적으로 줄일

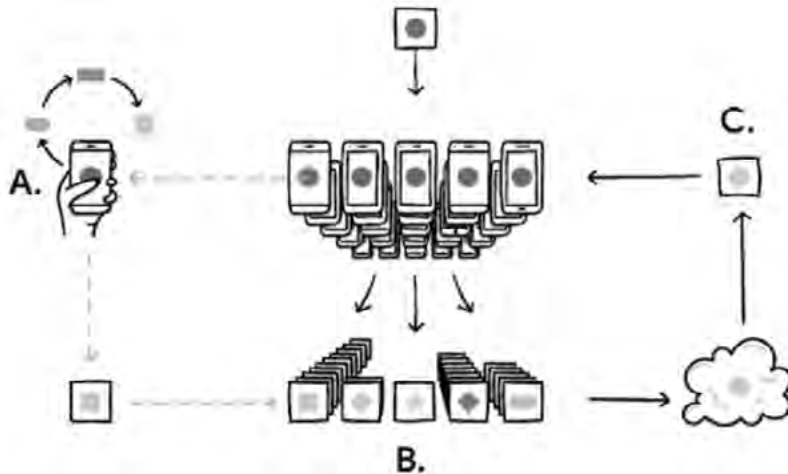
52) Ziegeldorf, J. H., Morchon, O. G., and Wehrle, K. (2014). Privacy in the internet of things: threats and challenges. Secur. and Commum. Netw., vol. 7, no. 12, pp. 2728-2741.

53) 이승민 (2020). 연합학습 기술 동향 및 산업적 시사점. 한국전자통신연구원.

54) 최영환, 고범수, 김태홍 (2021). 한국컴퓨터종합학술대회 논문집.

수 있어 다양한 응용분야에서 활용 가치를 보여주고 있다.⁵⁵⁾⁵⁶⁾

연합학습이란 구글의 McMahan 등 (2017)⁵⁷⁾에 의해 제안된 방법으로 <그림 3-1>에서 보이는 것처럼 스마트폰, 노트북, 태블릿 컴퓨터와 같은 개별 기기나 기관, 연구소 등 여러 위치에 생성, 저장되어 있는 분산형 데이터를 중앙 서버로 모아 데이터 자체를 직접 공유하지 않고, 데이터가 생성, 저장되어 있는 곳에서 바로 데이터를 분석하고 전체적인 인공지능 모델을 학습시킬 수 있는 분산형 머신러닝 방법이다. 이처럼 연합학습은 인공지능 모델의 학습 시에 각 로컬서버(각 데이터를 저장하는 분산장치)에서 가지고 있는 원본 데이터를 중앙서버로 전달하지 않음으로써, 기존의 머신러닝 기법과 달리 데이터의 익명성이 보장되어 개인정보보호문제가 비교적 적게 발생하는 장점을 가지고 있다. 그러나 연합학습에 참여하는 로컬서버가 많아지게 되면, 각 로컬서버에 생성, 저장되어 있는 로컬 데이터의 확률분포가 서로 다르기 때문에, 시스템의 이질성(system heterogeneity), 데이터의 통계적 이질성(data heterogeneity, Non-I.I.D.), 데이터 수의 불균형(imbalance data) 문제 및 통신비용(communication costs)이 기존의 머신러닝 방법에 비해 크게 발생할 수 있는 단점을 가지고 있다.⁵⁸⁾



<그림 3-1> 스마트폰의 연합학습 활용 예⁵⁹⁾

55) McMahan, H. B. (2016). Federated learning of deep networks using model averaging, arXiv:1602.05629v1.

56) Konecny, J. et al. (2016) Federated learning: strategies for improving communication efficiency, arXiv:1610.05492.

57) McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., and y Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2017, USA.

58) Kairouz, P. et al. (2019). Advances and open problems in federated learning. CoRR, vol. abs/1912.04977.

59) Google (2017). Federated learning: collaborative machine learning without centralized training data.

다음 <표 3-2>는 연합학습의 주요 두 가지 유형을 비교한 것이고, <표 3-3>은 위에서 언급한 연합학습의 문제점(해결 과제)을 정리한 것이다.

<표 3-2> 연합학습의 주요 유형의 비교

구분	Cross-silo	Cross-device
참여환경	서로 다른 기관, 기업	모바일 기기, IoT 장치
데이터 가용성	모든 로컬서버(클라이언트)	일부 로컬서버는 특정 순간에 가용
규모	2~100개의 로컬서버	대규모 병렬
주요병목점	연산 혹은 통신 속도	통신 속도
데이터 분할	수평 또는 수직적 고정분할	수평적 고정분할
신뢰성	클라이언트 참여 실패 가능성 적음	매 Round에 실패가능성이 존재
상태유지	모든 클라이언트 매 Round에 참여하고 상태 전달	클라이언트가 작업에 한번만 참여할 수 있음
주소지정	고유주소	주소를 가지고 있지 않음

<표 3-3> 연합학습의 문제점⁶⁰⁾⁶¹⁾

구분	연합학습의 문제점
통신 비용	<ul style="list-style-type: none"> - 로컬 단말과 중앙서버 간의 통신은 연합학습을 위해 구성된 전체 네트워크(연합 네트워크)에서 중요한 병목 현상을 유발 - 실제로 연합 네트워크는 수백만 대의 스마트폰으로 구성되는 경우, 네트워크 통신 속도는 로컬 컴퓨터보다 수십 배 느릴 수 있음 - 글로벌 모델을 학습하고 단말과 서버 간 데이터 전달 과정에서 통신이 효율적으로 작동하도록 방법을 개발해야 함 - 이때, 고려해야 할 두 가지 요소는 단말과 서버간 통신 횟수와 회당 전송되는 데이터 크기를 줄이는 것
시스템 이질성	<ul style="list-style-type: none"> - 연합학습에 참여한 로컬 단말(장치)는 저장공간, 계산 및 통신 성능, 배터리 수준 등이 매우 다양함 - 각 단말의 시스템과 네트워크의 제약으로 인해서 특정 시간에 참여할 수 있는 단말의 수가 신뢰할 수 없거나 학습 과정에서 사라질 수 있음 - 따라서 참여한 단말의 수의 변화, 기기종 하드웨어 등에 강인한 연합학습 메커니즘이 개발되어야 함

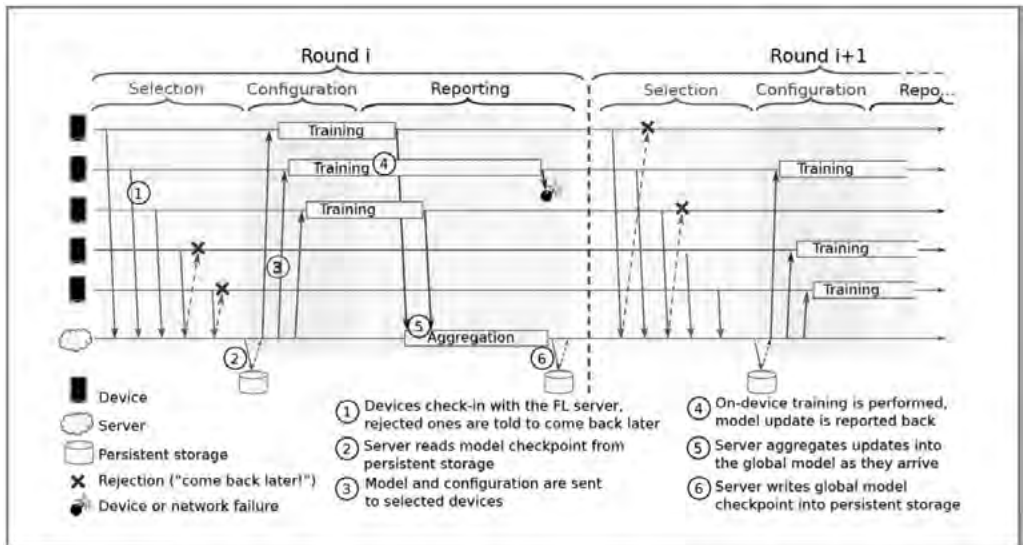
Google AI Blog.

60) Li, T., Sahu, A. K., Talwalkar, A., and Smith A. (2019). Federated Learning: challenges, methods, and future directions, IEEE Signal Processing Magazine, 37(3), 50-60.

61) 이승민 (2020). 연합학습 기술 동향 및 산업적 시사점. 한국전자통신연구원

통계적 이질성	<ul style="list-style-type: none"> - 연합학습은 참여한 단말이 수집한 데이터가 독립적이고 동일한 확률 분포(IID: independent and identically distributed)라고 가정함 - 그러나 스마트폰 사용자의 사용 언어, 데이터 연결점의 개수 등이 다를 수 있어 모델 생성 및 분석 과정에서 복잡성이 매우 높아질 수 있음 - 각 단말에서 수집하는 데이터의 통계적 이질성을 다룰 수 있는 연합학습 방법 연구가 필요함
---------	---

연합학습에서 인공지능 모델의 학습 과정은 여러 Round로 구성되며 각 Round는 크게 3단계로 이루어진다. 1) 로컬 모델 학습 단계: 각 로컬서버(개별 기기, 각 기관 등)가 갖고 있는 로컬 데이터를 로컬 인공지능 모델을 이용하여 학습한다. 로컬 인공지능 모델의 학습 결과로써 도출된 각 로컬서버별 가중치를 중앙서버로 전송한다. 2) 글로벌 모델 갱신 단계: 1단계에서 도출된 가중치를 중앙서버에서 전송받은 후, 가중치를 다양한 방법(예, FedAvg, FedSGD, FedSD⁶²⁾ 등)으로 결합한다. 3) 로컬 모델 갱신 단계: 중앙 서버에서 결합된 글로벌 모델의 가중치를 각 로컬서버에 전송한다. 참고로 각 로컬서버에 전송된 가중치는 다음 Round의 초기치로 사용된다. 아래의 <그림 3-2>는 연합학습의 기본적인 프로토콜을 묘사한다.



<그림 3-2> 연합학습 프로토콜⁶³⁾

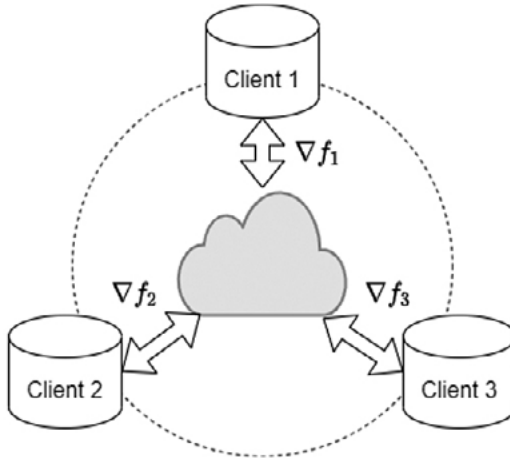
62) Kim, H., Kim, Y., Woo, G., Kim, J., and Park, H. (2021). FedSD: federated learning algorithm with standard deviation of weights for each user. In Proc. Symp. KICS, 662-663.

63) Bonawitz, K. et al. (2019) Towards federated learning at scale: system design, arXiv:1902.01046.

연합학습의 인공지능 모델 학습 과정 중 각 로컬서버에서 학습된 가중치를 중앙서버에서 합치는 주요 알고리즘에는 McMahan 등(2017)의 Federated Averaging(FedAVG)과 Federated Stochastic Gradient Descent(FedSGD)이 있고, 그밖에는 최근에 Kim 등(2021)에 의해 가중치의 표준편차를 이용하는 FedSD가 제안되었다. 먼저, FedSGD 알고리즘은 기존 로컬서버에서 인공지능 모델을 학습하는 SGD 알고리즘을 연합학습에 적용한 방법으로 아래의 식을 이용하여 글로벌 모델의 가중치를 학습한다.

$$\omega_{t+1} \leftarrow \omega_t - \eta \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{n} \nabla f_k$$

〈그림 3-3〉은 FedSGD 알고리즘을 로컬서버(클라이언트)가 3개일 때의 예로 표현한 것이다.



〈그림 3-3〉 FedSGD⁶⁴⁾

FedAVG 알고리즘은 FedSGD 알고리즘이 가지고 있는 한계점을 극복하기 위해 제안되었다. 각 로컬서버와 중앙서버 간의 소통할 수 있는 속도에는 한계가 존재하기 때문에 이러한 소통의 빈도를 줄이기 위해 사용된다. 또한, 각 로컬서버에서 단순히 기울기를 구하는 과정보다 일정한 횟수 만큼 반복적으로 학습한 후 가중치 값을 중앙서버에 전달하는 방식으로, 각 로컬서버가 독립적이고 더 효율적으로 학습을 하게 한다. 아래의 〈그림 3-4〉는 개의 로컬서버가 있는 연합학습에 적용하는 FedAVG 알고리즘의 구체적인 단계를 보여준다.

64) Park, S. (2022) Introduction to federated learning, lecture note, UNIST.

Algorithm 1 FederatedAveraging. The K clients are indexed by k ; B is the local minibatch size, E is the number of local epochs, and η is the learning rate.

Server executes:

```

initialize  $w_0$ 
for each round  $t = 1, 2, \dots$  do
   $m \leftarrow \max(C \cdot K, 1)$ 
   $S_t \leftarrow$  (random set of  $m$  clients)
  for each client  $k \in S_t$  in parallel do
     $w_{t+1}^k \leftarrow$  ClientUpdate( $k, w_t$ )
   $w_{t+1} \leftarrow \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{n} w_{t+1}^k$ 

```

ClientUpdate(k, w): // Run on client k

```

 $\mathcal{B} \leftarrow$  (split  $\mathcal{P}_k$  into batches of size  $B$ )
for each local epoch  $i$  from 1 to  $E$  do
  for batch  $b \in \mathcal{B}$  do
     $w \leftarrow w - \eta \nabla \ell(w; b)$ 
  return  $w$  to server

```

〈그림 3-4〉 FedAVG 알고리즘⁶⁵⁾

최근 연합학습을 다양한 환경에서 수행할 수 있는 Python 프레임워크들이 개발되고 있다. 그 중 대표적인 프레임워크로는 구글에서 개발한 TensorFlow(TF) 기반의 TensorFlow Federated(TFF)⁶⁶⁾, Webbank의 Federated AI Technology Enabler Framework(FATE)⁶⁷⁾, 그리고 OpenMind에서 주관하는 PyTorch 기반의 Pysyft⁶⁸⁾가 있다. 먼저, TFF는 오픈소스 프레임워크로써 분산 저장된 데이터에 대한 머신러닝 및 다양한 계산을 제공하고 있고, 현재 2.4.0버전의 TensorFlow를 기반으로 0.18.0 버전이 공개되어 있다. TFF는 아래와 같이 Federated Learning(FL) API와 Federated Core(FC) API 두 개

65) McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., and y Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS) 2017, USA.

66) TensorFlow Federated: Machine Learning on Decentralized Data. <https://www.tensorflow.org/federated>

67) An Industrial Grade Federated Learning Framework. <https://fate.fedai.org/>

68) Let's Solve Privacy. <https://openmined.org/>

의 레이어로 구성된다.

- FL API: TF에서 구현되어있는 기존의 다양한 머신러닝 모델들을 사용하여 연합학습 환경에서 학습과 평가를 할 수 있게 해주는 인터페이스로 모델, 데이터셋, 페더레이션 계산 빌더로 구성되어 있다.

- FC API: 이 레이어에서는 TF와 분산 통신 연산자를 결합하여 분산 계산을 구현하게 해주는 프로그래밍 환경으로, 연합 알고리즘을 간결하게 표현할 수 있게 해주는 하위 수준 인터페이스를 제공한다.

현재 TFF의 버전에서는 연합학습의 모의실험에 적합한 최적의 신경망을 제공할 수 있지만, 로컬 노드에서 가상으로 실행하는 모의실험 모드와 차등 개인정보보호 기능만을 지원하고 있어 활용에 있어서 다소 제약적이다. 또한 현재까지는 분산형 구조의 구축이나 수직 및 하이브리드 데이터 분할은 지원하지 않고 있다. 아래의 <그림 3-5>에서 제시하고 있는 Python 코드는 TFF를 이용하여 연합학습 모델을 학습하는 가장 기본적인 코드를 나타낸다.

```
import tensorflow as tf
import tensorflow_federated as tff

# Load simulation data.
source, _ = tff.simulation.datasets.emnist.load_data()
def client_data(n):
    return source.create_tf_dataset_for_client(source.client_ids[n]).map(
        lambda e: (tf.reshape(e['pixels'], [-1]), e['label'])
    ).repeat(10).batch(20)

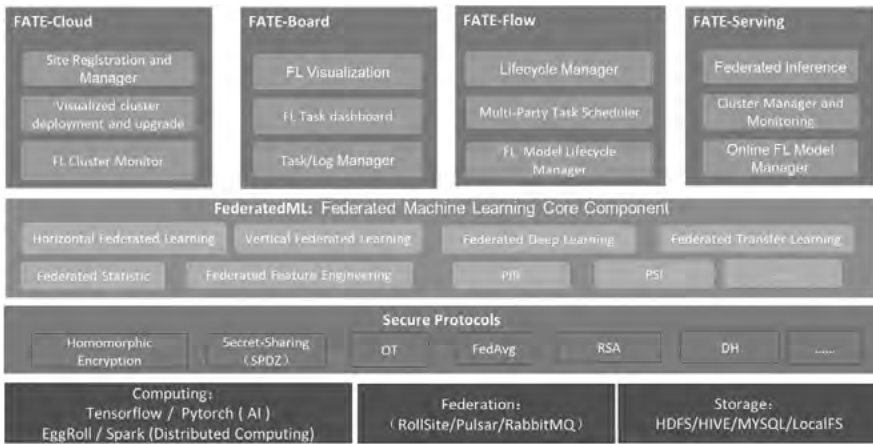
# Pick a subset of client devices to participate in training.
train_data = [client_data(n) for n in range(3)]

# Wrap a Keras model for use with TFF.
def model_fn():
    model = tf.keras.models.Sequential([
        tf.keras.layers.Dense(10, tf.nn.softmax, input_shape=(784,),
            kernel_initializer='zeros')
    ])
    return tff.learning.from_keras_model(
        model,
        input_spec=train_data[0].element_spec,
        loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(),
        metrics=[tf.keras.metrics.SparseCategoricalAccuracy()])

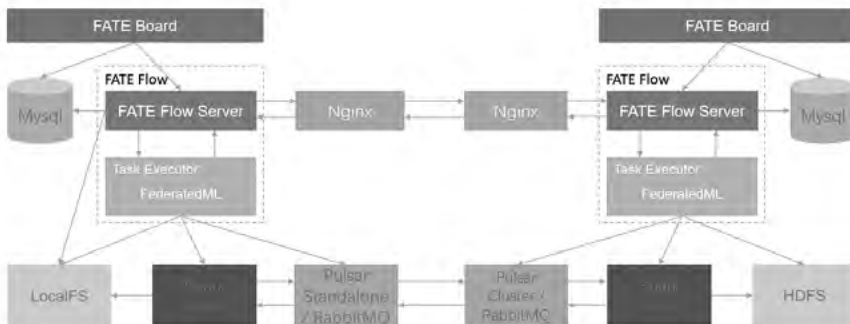
# Simulate a few rounds of training with the selected client devices.
trainer = tff.learning.build_federated_averaging_process(
    model_fn,
    client_optimizer_fn=lambda: tf.keras.optimizers.SGD(0.1))
state = trainer.initialize()
for _ in range(5):
    state, metrics = trainer.next(state, train_data)
    print(metrics['train']['loss'])
```

<그림 3-5> TFF를 활용한 연합학습의 예시 코드

FATE는 Webank사의 AI 부서에서 개발한 오픈 소스 프로젝트로써 Federated AI ecosystem을 지원하는 안전한 계산 프레임워크이다. FATE는 현재 딥러닝 모델을 학습하기 위해 1.4버전의 TF를 기초로 하고 있으며, 신경망 모델과 회귀(regression) 모델, 그리고 결정 트리(decision tree) 모델의 구현이 가능하고 수평 및 수직 데이터 분할 분석을 제공하고 있다. FATE의 구조는 세 부분으로 구성되어 있는데, 모델의 통합 및 학습을 담당하는 서버와 연합학습의 학습과정을 스케줄링하는 스케줄러, 연합학습의 알고리즘을 구현하는 실행자로 구분된다. FATE의 장점으로는 단일 노드에서 실행하는 모의실험 모드와 실제 환경처럼 클러스터(gRPC⁶⁹) 프로토콜 사용)에 배포하여 실행할 수 있는 모드 둘 다 지원하고 있다는 것을 들 수 있다. <그림 3-6>은 FATE의 기본 아키텍처를 나타내고, <그림 3-7>은 Spark⁷⁰에서의 FATE 개발에 대한 기본 아키텍처를 나타낸다.



<그림 3-6> FATE의 아키텍처



<그림 3-7> Spark에서의 FATE 개발에 대한 아키텍처

69) gRPC(Google Remote Procedure Call)는 구글이 최초로 개발한 오픈 소스 원격 프로시저 호출 시스템을 나타냄. <https://grpc.io/faq/>

70) Spark(Apache Spark)는 SQL, 스트리밍, 머신러닝 및 그래프 처리를 위한 기본 제공 모듈이 있는 대규모 데이터 처리용 통합 분석 엔진을 나타냄. <http://spark.apache.org/>

OpenMind 주관으로 개발된 Pysyft는 앞서 설명한 TF 기반의 프레임워크와 달리 Py-torch 기반의 Python 라이브러리로서 데이터에서 개인정보를 분리하여 처리할 수 있도록 연합학습이나 개인정보보호 및 암호화된 계산을 지원하고 있다. Pysyft는 현재 0.5.0버전이 제공되고 있으며, 모의실험 모드만 제공하고 있어 아직까지는 다른 프레임워크에 비해 다소 미흡한 실정이다. 다음 <표 3-4>은 지금까지 설명한 세 가지 연합학습 프레임워크를 비교한 것이다.

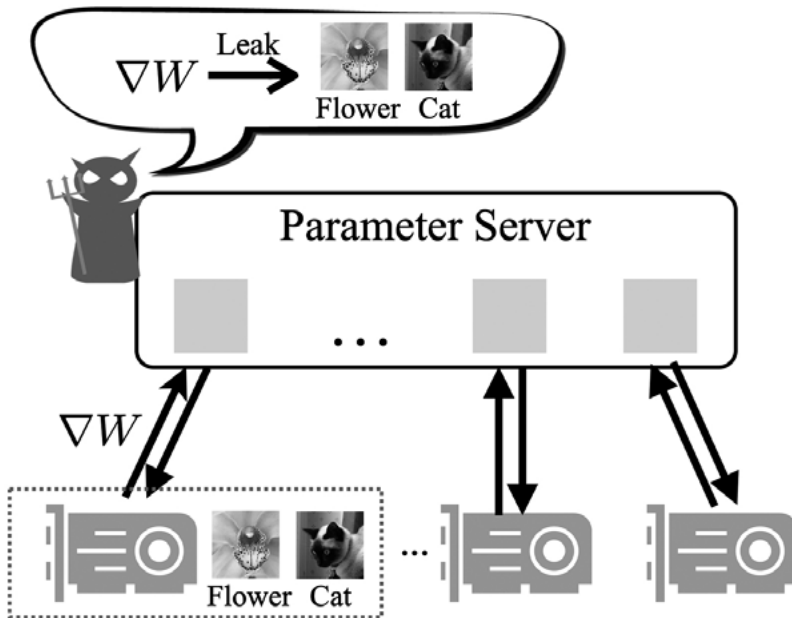
<표 3-4> 연합학습의 세 가지 프레임워크 비교⁷¹⁾

	TFF	FATE	Pysyft
주관	Google	OpenMined	Webank
버전	0.18.0	0.5.0	1.6.0
OS	Linux, Mac	Linux, Window, Mac, Android, ios(예정)	Linux, Mac
구동환경	로컬 환경(모의실험)	로컬 환경(모의실험) 연합환경(예정)	로컬 환경(모의실험) 연합환경
프로토콜	gRPC(예정)	없음	gRPC
제공모델	TensorFlow	PyTorch	TensorFlow

최근 진행되는 연구에 따르면 지금까지 설명한 연합학습의 장점에도 불구하고 현재의 알고리즘만으로는 완벽한 프라이버시 보호가 이루어지지 않는다는 것이 나타나고 있다. 이것에 대한 대표적인 예로 Zhu 등 (2019)⁷²⁾에서는 단말에서 중앙 서버로 전달하는 gradient의 값을 통해서 특정 속성을 가지는 학습용 데이터가 어느 batch에 있는 것인지를 확인할 수 있거나, GAN을 통해 학습용 데이터와 유사하게 데이터를 생성할 수 있다는 것을 보였다. 게다가, 원래의 학습에 사용된 학습용 데이터까지 복원이 가능하다는 것도 보였다. <그림 3-8>은 Zhu 등(2019)이 논문에서 제시한 프라이버시 문제점을 표현한 것이다.

71) 최영환, 고범수, 김태홍 (2021) 한국컴퓨터종합학술대회 논문집.

72) Zhu, L., Liu, Z., and Han, S. (2019) deep leakage from gradients. In 33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019).



〈그림 3-8〉 Zhu 등 (2019)에서 제시한 연합학습의 프라이버시 문제

이러한 연합학습의 프라이버시 및 보안 문제를 해결하기 위해 최근 여러 연구자들에 의해 다양한 알고리즘이 개발되고 있다. 대표적으로는 프라이버시 보장형 연합학습(Privacy-Preserving FL), 보안 연합학습(Secure FL), 보안 및 프라이버시 보장형 연합학습(Secure and Privacy-Preserving FL) 등 기존의 연합학습 알고리즘에 다른 추가적인 알고리즘을 적용하여 프라이버시와 보안을 강화하는 방법들이 있으며, 최근 이와 관련하여 차등정보보호(Differential Privacy)⁷³⁾, 동형암호(Homomorphic Encryption)⁷⁴⁾, 안전한 다자간 계산(Secure Multi-Party Computation)⁷⁵⁾ 등이 주목받고 있다. 먼저, Dwork (2006)에 의해 제안된 차등정보보호는 원본 데이터에 수학적 노이즈를 추가하여 프라이버시 노출 위험을 낮추려는 기술로, 공개된 자료에 특정인의 정보가 포함되지 않았더라도 그 사람의 개인정보가 노출될 위험이 있는 주장에서 시작되었다. Dwork (2006)은 전체 자료에 하나의 개인정보가 추가적으로 포함될 때 증가하는 노출 위험을 차등정보보호라고 정의하고, 수학적으로 측정하는 방법을 개발하였다. 좀 더 구체적으로 개발된 방법을 얘기하면, 주어진 질의(query)를 하나의 개인정보만 차이가 있는 두 개의 데이터베이스에 적

73) Dwork, C. (2006) Differential privacy. In Inference Control in Statistical Databases. 1-12. Springer.

74) Rivest, R., Adleman, L., and Dertouzos, M. (1978) On data banks and privacy homomorphisms. Foundations of Secure Computation. Academia Press.

75) Yao, A. C. (1982). Protocols for secure computations. In 23rd Annual Symposium on Foundations of Computer Science. pp. 160-164.

용했을 때, 질의 결과의 차이를 제어함으로써 해당 개인정보에 대한 노출 위험을 제한하는 방법이다. 아래의 <그림 3-9>는 Dwork (2006)에서 제안한 차등정보보호의 수학적 정의를 나타낸다.

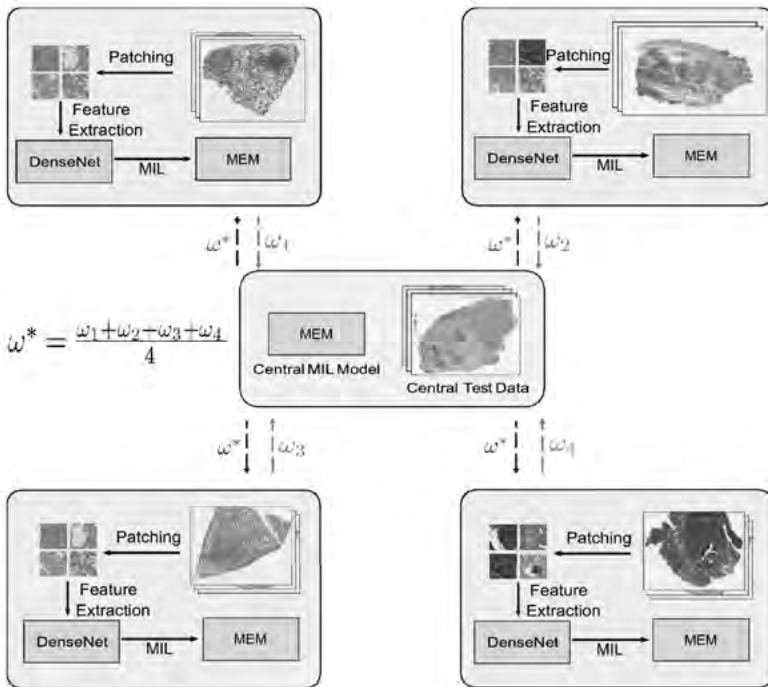
정의 4.1 (Dwork, 2006) $\kappa : \mathbf{Y} \rightarrow \kappa(\mathbf{Y})$ 를 어떤 랜덤화 함수(randomized function)라고 정의하고, 어떤 두개의 데이터베이스 \mathbf{Y}_1 과 \mathbf{Y}_2 간에 오직 한 명의 개인 정보만 다르고, 다른 개인들의 정보는 모두 동일하다고 가정한다. 만약 모든 경우의 집합 $S \subset \text{Range}(\kappa)$ 에 대해서

$$\log \left(\frac{\Pr[\kappa(\mathbf{Y}_1) \in S]}{\Pr[\kappa(\mathbf{Y}_2) \in S]} \right) \leq \epsilon \tag{4.1}$$

이 성립한다면, 랜덤화 함수 κ 는 ϵ -차등정보보호를 보장한다. ϵ 의 값이 0에 가까울수록, 강한 수준의 정보보호 상태가 보장된다.

<그림 3-9> 차등정보보호의 수학적 정의⁷⁶⁾

차등정보보호 기술은 기존의 연합학습 알고리즘인 FedSDG와 FedAVG를 사용하여 로컬 단말에서 학습한 결과 값을 중앙 서버로 전달하는 과정에 적용한다. 즉, 파라미터에 노이즈를 추가하여 프라이버시 노출을 방지한다. 아래의 <그림 3-10>은 FedAVG 알고리즘에 차등정보보호를 적용한 방법을 의료 이미지 자료에 적용한 예시이다.

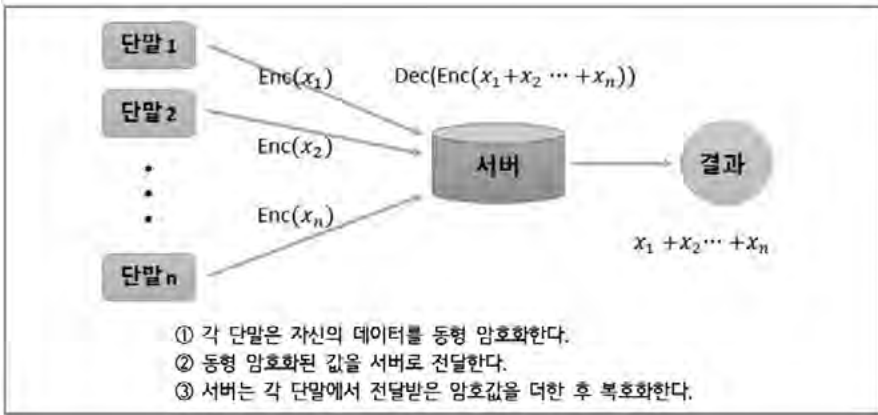


<그림 3-10> 차등정보보호 방법을 의료 이미지 자료에 적용한 예시⁷⁷⁾

76) 박민정, 김향준 (2016) 마이크로데이터 공표를 위한 통계적 노출제어 방법론 고찰. 응용통계연구, 29(6), 1041-1059.

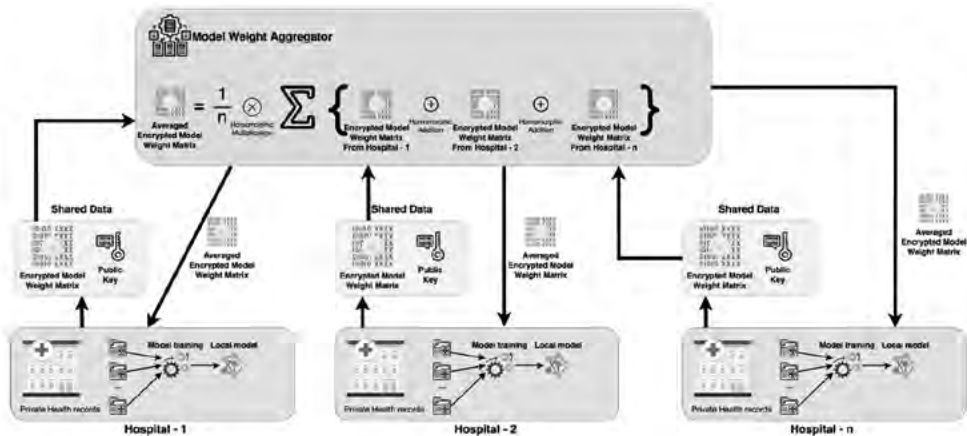
77) Adnan, M., Kalra, S., Cresswell, J. C., Taylor, G. W., and Tizoosh, H. R. (2022) Federated learning and

다음으로, Rivest 등 (1978)의 동형암호는 암호화된 데이터를 복호화(descrambling) 없이 연산을 할 수 있는 암호기술로, 평문을 암호화한 상태에서 각종 연산을 하였을 때 연산의 결과가 암호화하지 않고 계산한 결과와 동일하게 나오는 암호 알고리즘이다. 아래의 <그림 3-11>은 연합학습 알고리즘에 동형암호를 추가적으로 적용하는 방법을 설명하는 것으로, 로컬 단말에서 학습한 결과 값을 동형화하여 중앙 서버로 전달하면 해당 서버는 암호화된 값의 합을 구한 후 복호화하여 사용할 수 있음을 보여준다.



<그림 3-11> 연합학습에서 동형암호 적용 예

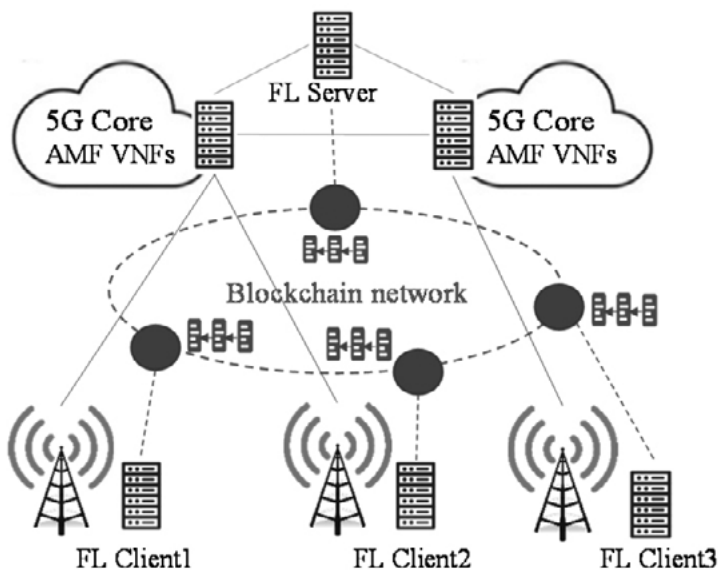
<그림 3-12>는 여러 병원에서 진행되는 COVID-19 진단 자료를 활용하여 연합학습을 구성할 때 추가적으로 동형암호 방법을 적용한 예를 나타낸다.



<그림 3-12> 연합학습에 동형암호를 적용하여 COVID-19를 분석하는 예⁷⁸⁾

differential privacy for medical image analysis. Scientific Reports, vol. 12, 1953.
 78) Wibawa, F., Catak, F. O., Sarp, S., Kuzlu, M., and Cali, U. (2022) Homomorphic encryption and

Yao (1982)의 양자간 계산에서 발전한 안전한 다자간 계산은 동형암호와 경쟁적인 알고리즘으로, 동형암호와 유사하게 각 로컬 단말에서 서버로 전달하는 원래의 값을 노출하지 않으면서 전체 합을 알 수 있도록 하는 알고리즘이다. Bonawitz 등 (2016)⁷⁹⁾의 Secure Aggregation은 연합학습에 안전한 다자간 계산을 적용한 대표적인 알고리즘으로, 보안성과 프라이버시를 강화하면서 서버에 대한 공격에도 강인한 방법으로 알려져 있다. 다음의 <그림 3-13>은 교통량 예측을 위해 연합학습을 구성한 것으로 Secure Aggregation을 추가적으로 적용하여 프라이버시와 보안을 강화한 사례이다.



<그림 3-13> 교통량 예측을 위해 연합학습에 다자간 계산을 적용한 예⁸⁰⁾

프라이버시 문제 이외에 통계적 이질성 문제와 클래스 불균형 문제를 해결하려는 연구가 최근 계속되고 있다. 김선욱 등 (2021)⁸¹⁾은 통계적 이질성 문제를 해결하기 위해 로컬 서버에 저장된 로컬 데이터의 분포를 기초로 하여 중앙 서버에 저장된 글로벌 데이터의 분포를 추정하고, 확률적으로 데이터 샘플링을 수행하는 프로세스 <그림 3-14>를 제안하였다. 김

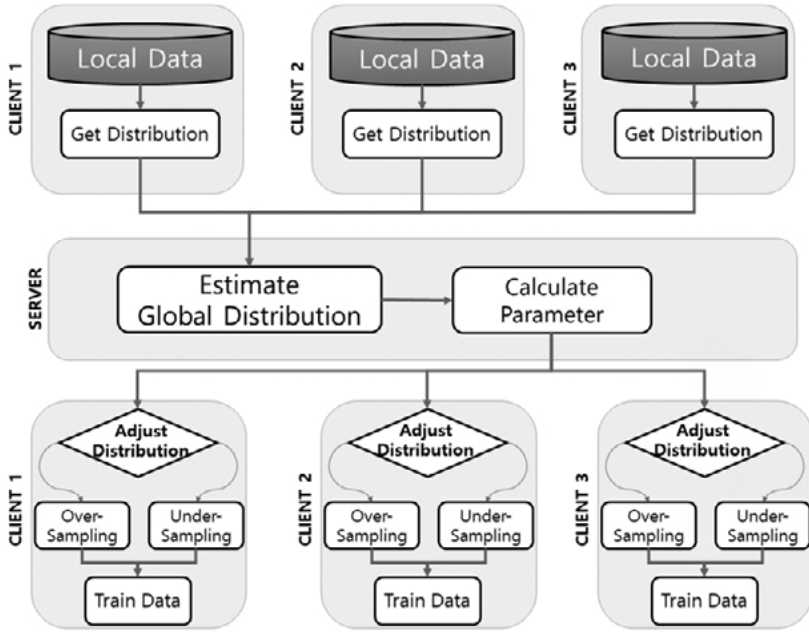
federated learning based privacy-preserving CNN training: COVID-19 detection use-case. arXiv:2204.07752v1.

79) Bonawitz, K., Ivanov, V., Kreuter, B., Marcedone, A., McMaha, H. B., Patel, S., Ramage, D., Segal, A., and Seth, K. (2016) Practical secure aggregation for federated learning on user-held data. arXiv:1611.04482v1.

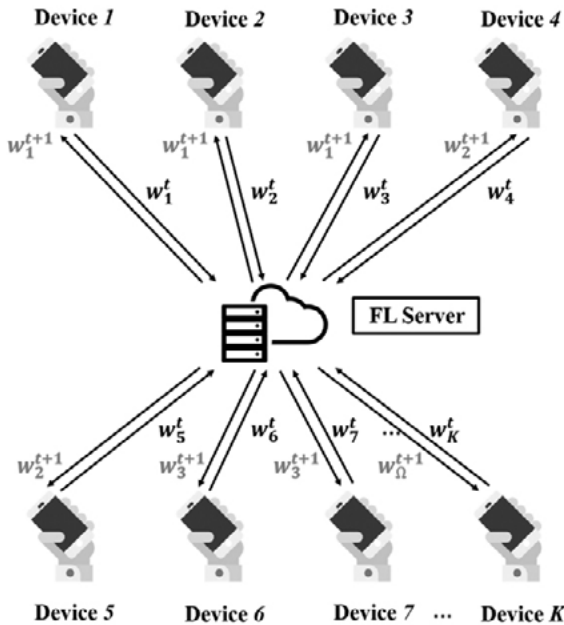
80) Zhang, Q., Palacharla, P., Sekiya, M., Suga, J., and Katagiri, T. (2021) Blockchain-based secure aggregation for federated learning with a traffic prediction use case, In 2021 IEEE 7th International Conference on Network Softwarization (NetSoft).

81) 김선욱, 이현수, 방준일, 홍성은, 김화중 (2021). 통계적 이질성 문제 해결을 위한 데이터 분포 추정 기반 확률적 샘플링 기법을 적용한 연합학습 구현, 한국통신학회, 46(11), 1941-1949.

선욱 등 (2021)은 제안된 프로세스를 MNIST 데이터를 분류하는 모델의 학습용 데이터로 사용하고 성능평가를 하여 우수성을 입증하였다.



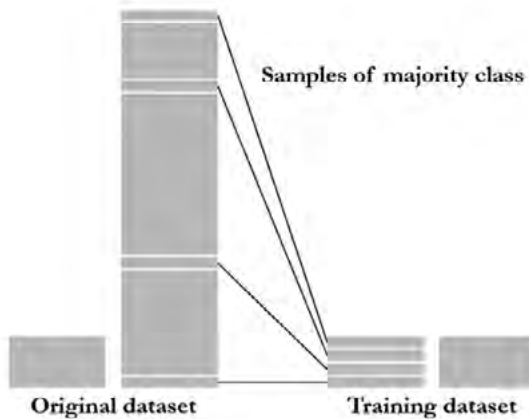
〈그림 3-14〉 확률분포 추정을 통한 데이터 샘플링 프로세스



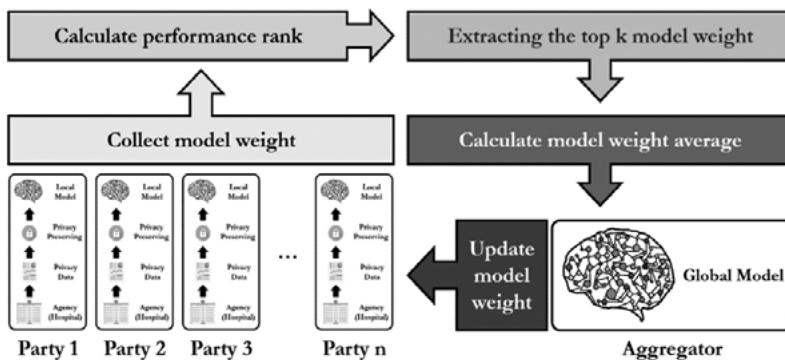
〈그림 3-15〉 EDC 알고리즘

김형빈 등 (2022)⁸²⁾는 대규모의 데이터를 가지고 훈련시키는 연합학습이 갖는 데이터의 통계적 이질성 문제를 개선하기 위해 로컬 서버의 가중치에 따라 연합학습을 분리하고, 분리해야 할 연합학습 수(Ω)의 최적값을 찾는 기법인 Efficient Distributed Clustering(EDC) 알고리즘 <그림 3-15>을 제안하였다. 기존 알고리즘과 EDC 알고리즘의 가장 큰 차이는 로컬 모델의 학습이 아닌 기존 연합학습의 글로벌 모델 갱신 단계 및 로컬 모델 갱신 단계에서 나타난다.

이현수, 홍성은, 방준일, 김화중 (2021)⁸³⁾은 연합학습에서 발생하는 클래스 불균형 문제를 연구하였다. 구체적으로는 의료데이터의 연합학습에서 자주 발생하는 클래스 불균형 문제에 다양한 최적화 기법을 적용하여 성능비교를 실시하였고, 그 중 언더 샘플링(under-sampling) <그림 3-16> 및 TopkAvg 기법 <그림 3-17>을 동시에 적용한 모델이 가장 좋



<그림 3-16> 언더 샘플링의 개념



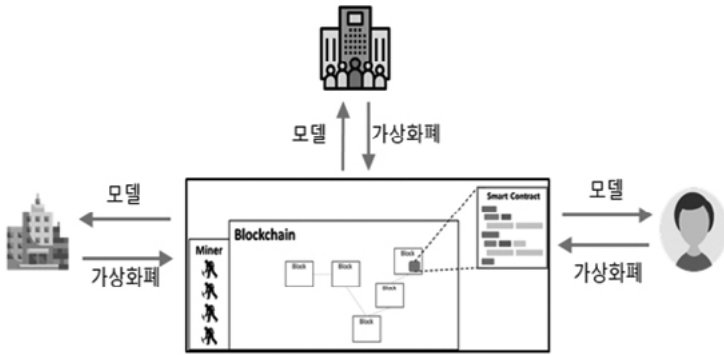
<그림 3-17> TopkAvg 기법의 개념

82) 김형빈, 김용호, 유철우, 박현희 (2022) 대규모 연합학습을 위한 효율적 분산 클러스터링 기법, 한국통신학회, 47(1), 198-205.

83) 이현수, 홍성은, 방준일, 김화중 (2021) 클래스 불균형 문제에 연합학습 적용을 위한 최적화 기법연구, 한국기술정보학회논문지, 19(1), 43-54.

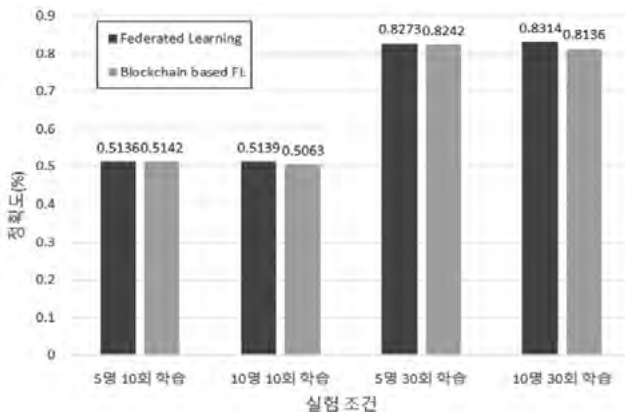
은 성능을 보임을 실험을 통해 입증하였다.

지금까지 언급한 연구 외에도 새로운 연합학습 알고리즘을 개발하려는 시도가 계속 이어지고 있다. 예를 들어, 박준범, 박종서 (2020)⁸⁴⁾는 서버의 역할을 블록체인(blockchain)⁸⁵⁾⁸⁶⁾으로 대체하는 블록체인 기반의 연합학습을 개발하고, <그림 3-19>에서 보이는 것처럼 인공지능을 위한 블록체인 생태계⁸⁷⁾를 구축하는데 활용하였다. 박준범, 박종서 (2020)에 따르면 서버의 역할을 블록체인으로 대체함으로써 사용자들의 정보 및 데이터에 익명성을 부여하여 프라이버시 문제를 개선할 수 있다.



<그림 3-19> 인공지능을 위한 블록체인 생태계 구축

아래의 <그림 3-20>은 기존의 연합학습과 블록체인 기반 연합학습의 실험조건에 따른 학습 정확도를 나타낸다.



<그림 3-20> 연합학습과 블록체인 기반 연합학습의 성능 비교

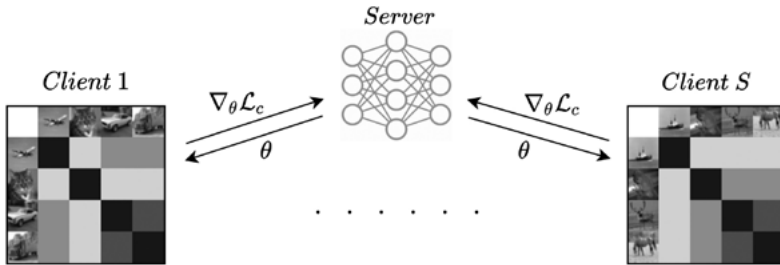
84) 박준범, 박종서 (2020). 블록체인 기반의 연합학습 구현, 한국빅데이터학회지, 5(1), 89-96.

85) Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

86) Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform, cryptorating.eu.

87) Gawehn, E., Hiss, J. A., and Schneider, G. (2016). Deep learning in drug discovery, *Molecular informatics*, 35(1), 3-14.

Achituve 등 (2021)⁸⁸⁾은 가우시안 확률과정(Gaussian process)⁸⁹⁾을 기초로 하는 연합 학습을 제안하였다. 가우시안 확률과정은 무한차원의 함수 공간에서 정의되는 확률분포로서 임의의 유한한 함수들의 주변분포가 다변량 정규분포(multivariate normal distribution)를 따를 때 정의되고, 베이지안 추론(Bayesian inference)에서 함수에 대한 사전분포(prior distribution)로 사용된다. 가우시안 확률과정은 평균 함수(mean function)와 공분산 커널 함수(covariance kernel function)로 정의할 수 있는 특징을 가지는데, 본 논문에서는 모든 로컬 서버들이 공유하는 NN을 활용하여 데이터를 매핑하고, 모델의 학습을 위해 각 로컬 서버에서는 동일한 공분산 커널 함수를 가지는 가우시안 확률과정 모델을 적용하여 학습하는 방법 <그림 3-21>와 같이 제안하였다.



<그림 3-21> 가우시안 확률과정 기반의 연합학습

아래의 <그림 3-22>는 본 연구에서 제안한 방법의 구체적인 알고리즘을 나타낸다.

Algorithm 1 *pFedGP*. C clients indexed by c ; E - number of local epochs; $|S|$ - number of sampled clients; M - number of inducing inputs per class

Server executes:

Initialize shared network $\theta \leftarrow \theta_0$
 Initialize M inducing inputs per class for all classes in the system # in pFedGP-IP variants only
for each round $t \leftarrow 1, 2, \dots$ **do:**
 Sample S clients uniformly at random
 for each client $c \in S$ **in parallel:**
 $\theta_{t+1}^c, M_{t+1}^c \leftarrow \text{ClientUpdate}(\theta_t, M_t)$ # obtain updates from client c
 Update θ_{t+1}, M_{t+1} using FedAvg [51] update rule.

ClientUpdate(θ, M):

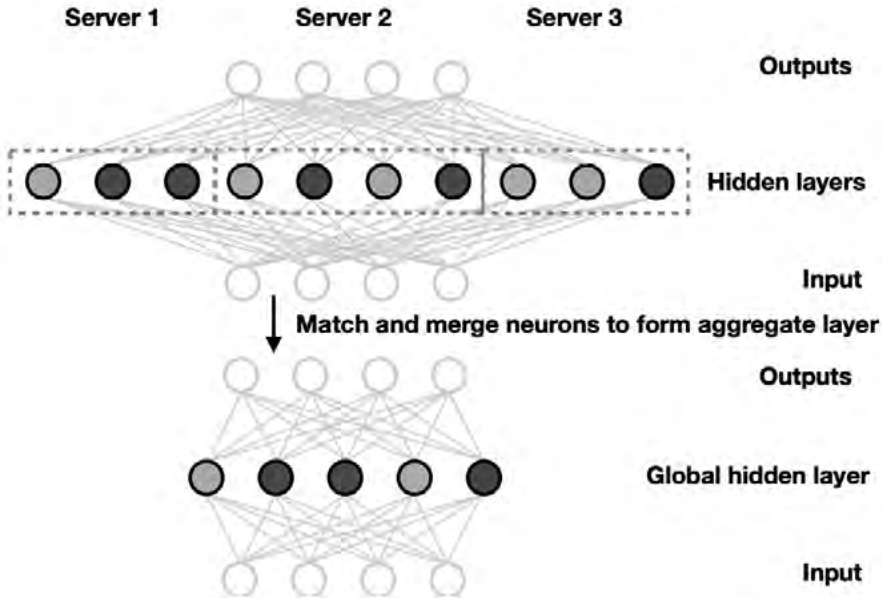
for each local epoch $e \leftarrow 1, \dots, E$ **do:**
 if $e = 1$:
 Build GP tree classifier using the personal dataset D_c
 Update θ, M using gradient-based optimization methods on D_c with \mathcal{L}^{ML} or \mathcal{L}^{PD}
return θ, M

<그림 3-22> 가우시안 확률과정 기반의 연합학습 알고리즘

88) Achituve, I., Shamsian, A., Navon, A., Chechik, G., & Fetaya, E. (2021). Personalized federated learning with Gaussian processes. In 35th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2021).

89) Rasmussen, C. E., Williams, C. K. (2006). Gaussian processes for machine learning, The MIT Press.

Yurochkin 등 (2019)⁹⁰⁾은 NN기반의 연합학습에 대하여 베이지안 비모수 프레임워크를 제안하였다. 특히, 무한차원에서 정의되는 베타-베르누이 확률과정(Beta-Bernoulli process)⁹¹⁾와 잠재 요인 분석모형에서 자주 사용되는 인디언 뷔페 확률과정(Indian buffet process)⁹²⁾를 기반으로 하는 단층 구조를 갖는 프레임 워크와 다층 구조를 갖는 프레임 워크를 제안하였다. <그림 3-23>은 그 중 단층 구조를 갖는 연합학습의 프레임 워크를 나타낸다.



<그림 3-23> 단층 구조를 갖는 프레임 워크

3.2 연합학습의 민간 적용 사례

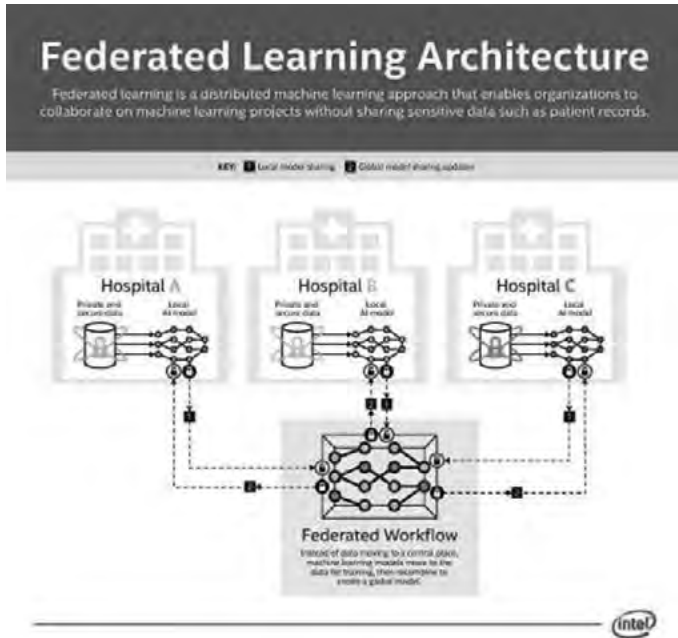
연합학습을 가장 활발하게 사용하고 있는 대표적인 분야로 의료를 들 수 있다. 의료 데이터의 경우에는 특정 질병에 대한 환자 데이터나 임상 데이터가 여러 병원에 흩어져 있는 경우가 많고, 또한 환자들의 프라이버시 문제가 중요하기 때문에 모든 데이터를 한곳으로 모아 분석하는 기존의 AI 모델 학습 방법보다는 연합학습이 효율적인 방법이라 할 수 있다.

90) Yurochkin, M., Agarwal, M., Ghosh, S., Greenewald, K., Hoang, T. N., and Khazaeni, Y. (2019). Bayesian nonparametric federated learning of neural networks. In Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, PMLR 97.

91) Thibaux, R. and Jordan, M. I. (2007). Hierarchical Beta processes and the Indian buffet process. In Artificial Intelligence and Statistics, 564-571.

92) Griffiths, T. L. and Ghahramani, Z. (2011). The Indian buffet process: an introduction and review. Journal of Machine Learning Research, 12, 1185-1224.

연합학습을 의료 데이터에 활용한 최근의 연구 중 가장 대표적인 연구는 인텔 랩과 펜실 베니아 대학교 패럴만 의과대학 소속의 Sheller 등 (2018)⁹³⁾이다. 이 연구에서 저자들은 뇌 종양 식별 정확도가 프라이버시를 고려하지 않은 기존의 AI 모델 학습 방법의 99% 이상의 정확도에 근접할 수 있는 연합학습의 결과를 제시하였다. 아래의 <그림 3-24>는 인텔에서 제공하는 연합학습 시스템 구조를 나타낸다.

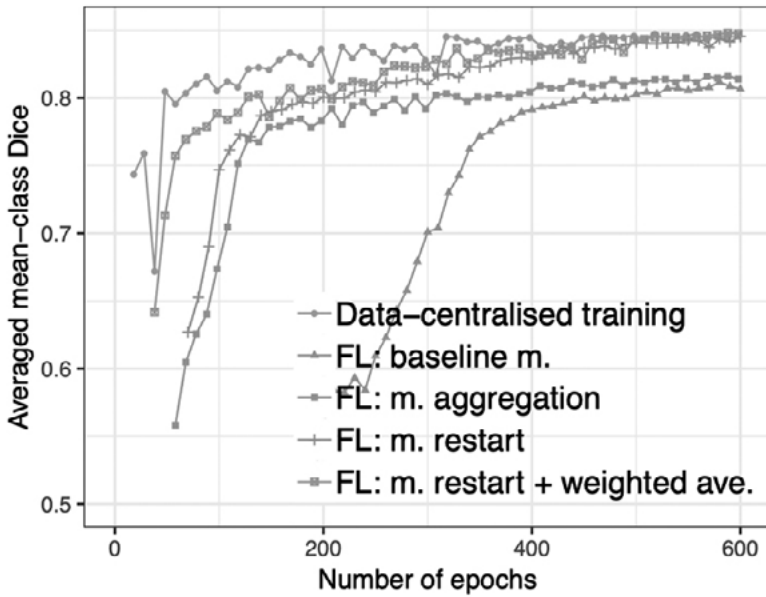


<그림 3-24> 인텔의 연합학습 시스템 구조

NVIDIA는 2019년 의료 영상 기술학회에서 킹스 칼리지 런던과 함께 뇌종양 식별을 위한 신경망 기반의 연합학습 알고리즘을 제안하였다.⁹⁴⁾ 해당 연구에서 저자들은 뇌종양 환자 258명의 MRI 스캔을 포함한 'BraTS 2018' 데이터셋을 활용하여, 자료를 중앙으로 모아 실시하는 기존의 AI 모델 학습방법과 제안된 연합학습 방법의 성능이 비슷함을 보였다. <그림 3-25>는 Li 등 (2019)에서 뇌종양 식별에 대한 연합학습과 기존의 AI 모델에 대한 성능을 비교한 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이, 연합학습을 이용을 하더라도 기존의 AI 모델의 성능과 비슷해짐을 알 수 있다.

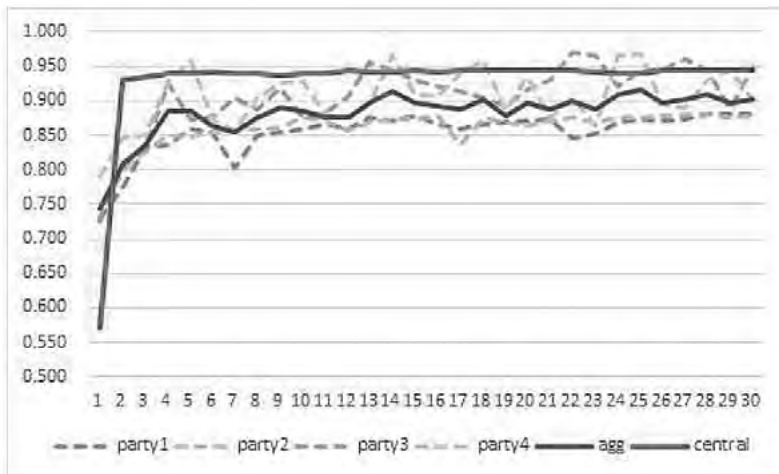
93) Sheller, M. J., Reina, G. A., Edwards, B., Martin, J., & Bakas, S. (2018) Multi-Institutional deep learning modeling without sharing patient data: a feasibility study on brain tumor segmentation. arXiv:1810.04304v2.

94) Li, W., Milletari, F., Xu, D., Rieke, N., Hancox, J., Zhu, W., Baust, M., Cheng, Y., Ourselin, S., Cardoso, M. J., & Feng, A. (2019). Privacy-preserving federated brain tumour segmentation. International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging, MLMI 2019: Machine Learning in Medical Imaging, 133-141.



〈그림 3-25〉 뇌종양 식별 성능비교

의료 데이터에 적용한 또 다른 예로는 2021년 한국통신학회 하계종합학술발표회에서 발표한 홍성은 등 (2021)⁹⁵⁾의 연구가 있다. 본 연구는 Kaggle⁹⁶⁾에서 제공하는 COVID-19 Lung X-ray Scan 이미지 데이터를 활용하여 COVID-19를 진단할 수 있는 모델 개발에 목적이 있었고, 해당 데이터를 CNN 기반의 연합학습 알고리즘에 적용하여 기존의 AI 모델과의 성능을 비교하였다. 아래의 〈그림 3-26〉은 COVID-19 이미지 자료에서 연합학습



〈그림 3-26〉 COVID-19자료에서의 연합학습 성능 비교

95) 홍성은, 방준일, 김화중 (2021) 한국통신학회 하계종합학술발표회.

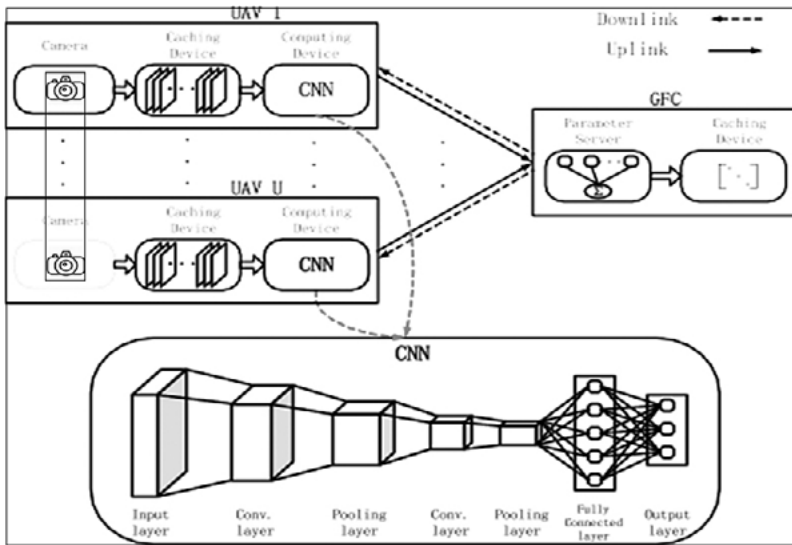
96) Kaggle : <https://www.kaggle.com>

을 활용한 진단의 성능이 중앙 서버에 모든 자료를 저장한 후 학습하는 기존 AI 모델의 성능과 비슷해짐을 보여주는 결과이다.

3.3 연합학습의 군사적 적용 방안

연합학습은 기존 분산 학습의 개념과 유사하지만 분산된 데이터 자체를 보호하면서 통합된 모델을 생성할 수 있는 점에 많은 활용이 가능하다. 연합학습이 프라이버시 보호와 보안성 강화를 중심으로 많은 민간 분야의 활용이 이루어지고 있는 반면, 군사적 적용에서는 동시에 많은 무인 전투체계를 운용하기 위해 필요한 복잡한 계산을 효율적으로 수행하거나 이질적 특성을 갖는 다양한 부대의 인공지능 학습 아키텍처 측면에서 접근이 가능하다.

Zhang과 Hanzo의 연구⁹⁷⁾에서는 목표하는 이미지 분류를 수행할 수 있도록 CNN 모델이 탑재된 UAV(unmanned aerial vehicles)을 동시에 여러 대를 통합 운용하기 위한 연합학습 알고리즘의 적용을 제시하였다. <그림 3-27>에서는 각 UAV와 지상융합센터(ground fusion center, GFC)간 연합학습 알고리즘이 적용된 개념도를 나타낸다.



<그림 3-27> UAV와 GFC간 연합학습 개념도

멀티-UAV 네트워크를 구성하기 위해 GFC에 의해 여러 대의 UAV가 조정되도록 연합 학습 시스템을 활용한다. 다시 말하면, 각 UAV는 이미지 분류를 할 수 있는 CNN 모델이

97) Zhang, H. and Hanzo, L. (2020). Federated learning assisted multi-UAV networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 69(11), 14104-14109.

탑재된 상태로 새로운 학습 데이터에 의해 자체적으로 CNN 모델의 가중치를 갱신하며 이를 서버로 송신하여 전체 CNN 모델을 갱신하게 된다. 이때 실제 이미지가 전송되지 않고 가중치 갱신 정보만을 대상으로 송수신하므로 통신 부하량을 크게 감소할 수 있으며, 전체 CNN 모델의 이미지 분류 정확도를 향상할 수 있다. Zhang과 Hanzo의 연구는 갱신된 가중치를 전송하는 방법에 주목하여 통신 부하량 감소하는 것에 초점을 맞춰져 있으나 이러한 개념의 방법은 이미지 분류 모델이 탑재되는 다양한 무기체계에 확대 적용이 가능하다. 특히, 네트워크중심전(network centric warfare) 수행 환경의 기반인 Link-K, KVMF, ISDL-A/B 등 우리 군의 다양한 전술데이터링크(tactical data link)를 고려할 때 연합학습 개념의 적용을 위한 기반체계가 구축되어 있다고 볼 수 있다. 즉, 이미 활용 중인 전술데이터링크를 기반으로 각 플랫폼 단위의 무기체계에 CNN 등의 모델과 중앙 본부의 서버간 연합학습 개념의 인공지능 학습 아키텍처의 구성이 용이하게 가능하다.

다음은 과학화 경계시스템의 적용 방안이다. 현재 우리 육군의 과학화 경계시스템은 2009년 제0보병사단에 시범 운용을 시작으로 확대 적용 중이다. GOP 과학화 경계시스템은 감시(surveillance), 감지(sensor), 통제(control)시스템으로 구성되며 감시시스템은 근거리 카메라와 중거리 카메라로 구성되어 이를 통해 철책선 및 철책 전방을 감시하고 탐지하여 정보 및 추적한다. 감지시스템은 광신호 손실 및 절단에 따른 이상 신호를 포착할 시 신속하게 경고를 발생하는 광망이며, 통제시스템은 감시 및 감지시스템을 제어하고 각종 상황을 녹화 및 저장, 전송 및 접수를 할 수 있는 시스템이다. 이를 통해 필요시 실시간 모니터링을 하면서 타격수단 및 상황조치 방법을 결심하는 등 지휘 통제를 할 수 있다⁹⁸⁾

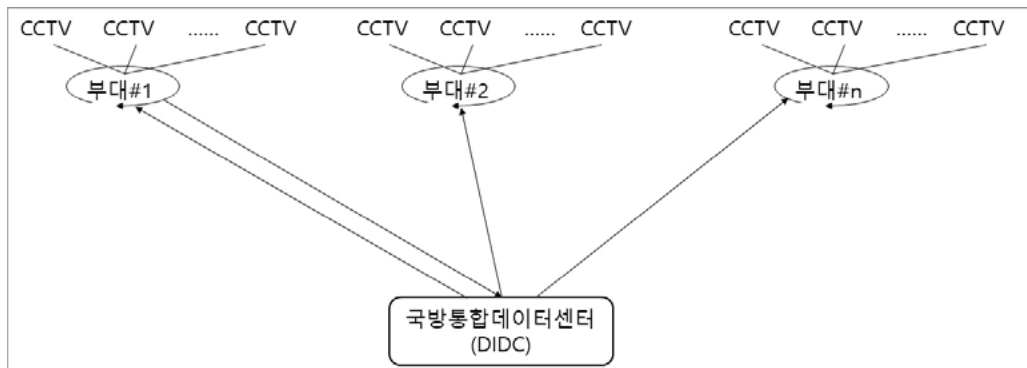
김재오 등 연구⁹⁹⁾에 따르면 현재의 과학화 경계시스템은 CCTV의 화면내 일정 비율의 픽셀 변화를 감지하여 경고하기 때문에 경계병력을 절감하고, 비교적 쾌적한 환경에서 경계 작전을 수행할 뿐 아니라 유사시 녹화된 영상을 바탕으로 상황을 재확인하는 등 많은 장점에도 불구하고 많은 오경보가 발생하는 본질적인 문제를 갖는다. 즉, 바람에 의해 수풀이 흔들리거나, 곤충이나 동물이 나타나는 등의 상황에 오경보를 발생시켜 경계병의 경계작전 매너리즘을 야기함으로써 경계작전의 실패를 야기할 수 있다. 또한 극저속으로 침투하는 적의 경우 일정 시간내 화면 픽셀의 변화가 없을 수 있어 완벽한 경계작전의 수행이 제한된다. 이러한 현 과학화 경계시스템의 문제점을 극복하기 위해 국방부와 육군은 다양한 방법을 강구하고 있다. 각 부대에서는 현 과학화 경계시스템의 오경고를 줄이기 위해 감시

98) 박태웅, 김태호, & 한현진. (2020). GOP 과학화 경계시스템에 대한 평가와 개선방안: 지휘관 및 참모 대상 설문조사 결과를 중심으로. 한국국방경영분석학회지, 46(2), 57-72.

99) 안진우, 김도형 and 김재오. (2022). 합성곱 신경망을 활용한 군사용 CCTV 객체 인식. 한국시물레이션학회 논문지, 31(2), 11-20.

제외구역을 세심하게 선정하고 민감도를 조절하는 등의 노력을 하고 있으며, 국방부에서는 지면에 센서를 부착하여 진동을 감지하여 경계력을 보강하는 시스템 등의 도입을 고려하고 있다. 그러나 이러한 노력은 현 과학화 경계시스템의 근본적인 문제를 해결하기 어려우며 이를 근본적으로 해결하기 위해서는 기존의 화면 픽셀 변화를 감지하는 시스템에서 목표하는 객체만을 정확히 탐지하는 방법이 필요하다. 대부분의 군사용 CCTV에서는 사람 객체를 탐지하는 것이 요구되며 이는 CNN 기반의 방법을 활용하여 효과적으로 해결이 가능하다. 이러한 상황에서 국방부와 육군을 중심으로 CNN 모델에 기반한 다양한 사업과 과제가 추진되고 있으며 이는 모두 단일 CNN 모델을 학습하여 특정 부대에 적용하는 일반적인 인공지능 학습 개념으로 볼 수 있다.

〈그림 3-28〉에서는 과학화 경계시스템의 연합학습 적용 개념도를 나타낸다. 먼저 국방통합데이터센터 등의 중앙에서 초기 CNN 모델을 각 부대에 전송하여 경계작전을 실시한다. 각 부대는 자체 획득된 데이터를 활용하여 자체 부대별 CNN 모델을 스스로 갱신한 뒤, 가중치 갱신 정보를 중앙 서버로 전송한다. 중앙 서버에서는 특정 부대로부터 수신한 가중치 갱신 정보를 활용하여 전체 CNN 모델을 갱신하고 이 정보를 다른 부대들에 전송함으로써 한 사이클이 종료된다. 이러한 방법은 각 부대별로 획득되는 데이터를 직접 전송하지 않으므로써 통신 부하량을 감소할 뿐 아니라 각 부대의 모델과 전체 모델간 가중치만으로 갱신 정보를 교환하여 군사보안 측면에서도 장점이 있다.



〈그림 3-28〉 과학화 경계시스템의 연합학습 적용 개념도

IV. 대규모 병렬 처리를 위한 그래픽스 연산 장치의 활용

4.1 그래픽스 연산 장치의 소개 및 동향

그래픽스 연산 장치(graphics processing unit, GPU)는 1990년대 Microsoft의 Graphics User Interface(GUI) 기반의 운영체제(operating systems, OS)인 Windows가 보급됨에 따라 중앙처리장치(central processing unit, CPU)의 화면 그래픽 정보 처리의 부담을 낮추기 위한 목적으로 개발되었다. GPU는 하드웨어 차원에서 CPU의 부담을 줄일 수 있도록 설계되었으며 운영체제 내부에서 이러한 목적에만 활용하도록 통제되어 실제 컴퓨터를 사용하는 사용자가 직접 접근하거나 사용하는 것에는 제약이 있었다. 즉, 초기 GPU는 개발 목적에 따라 화면의 그래픽 처리를 위한 수단으로만 사용되었고 GPU를 활용하기 위해서는 Silicon Graphics의 OpenGL 언어를 활용하거나 Microsoft의 DirectX 등의 표준 그래픽스 어플리케이션을 활용해야만 했다. 이후 2000년대에 들어서면서 GPU를 화면의 정보 처리 외에 범용 계산(general-purpose computing)에도 활용하기 시작하였다. 하지만 여전히 그래픽 관련 연산 지원을 목적으로 설계된 GPU의 하드웨어적 한계로 인하여 단순한 문제나 그래픽 연산 관련 형태로 재표현이 가능한 문제들에만 적용이 가능하였다. 예를 들어, 초기 GPU는 화면 상의 픽셀 색상 연산과 관련된 산술 연산 장치인 픽셀 셰이더(pixel shader)를 활용하여 범용 계산이 이루어졌다. 하지만 픽셀 셰이더를 활용하는 경우, 범용 수치 연산을 적용할 수는 있으나 화면의 위치 및 색상 정보 등을 이용하여 풀고자 하는 문제가 재표현되어야만 연산이 가능하다는 단점이 존재하였다.¹⁰⁰⁾

이후 게임 산업의 발달과 함께 그래픽 처리의 관심도가 상승하며 GPU 연구 및 개발이 급속도로 진행되기 시작하였다. 특히 NVIDIA에서 2006년 Compute Unified Device Architecture(CUDA)를 발표하면서 하드웨어 설계 차원에서 범용 계산이 가능하도록 지원되기 시작하였다. CUDA는 이전의 GPU와는 다르게 소프트웨어와 하드웨어의 통합환경을 제공하여 범용 계산을 수행하도록 작성된 프로그램이 GPU에 있는 모든 산술-논리 연산 장치(arithmetic-logic unit, ALU)와 부동소수점 연산 장치(floating-point unit, FPU)를 통제할 수 있으며 GPU 자체의 메모리의 할당 및 제어가 가능하게 한다. 하지만 CUDA 기반의 GPU를 이용하여 범용 계산을 진행하기 위해서는 여전히 GPU에 접근 및 제어가 가능한 OpenGL 언어나 DirectX와 같은 어플리케이션을 활용해야만 하였다. 이를 해결하기 위하여 NVIDIA는 많은 개발자들이 활용할 수 있도록 기존의 C 언어와 호환이 되도록

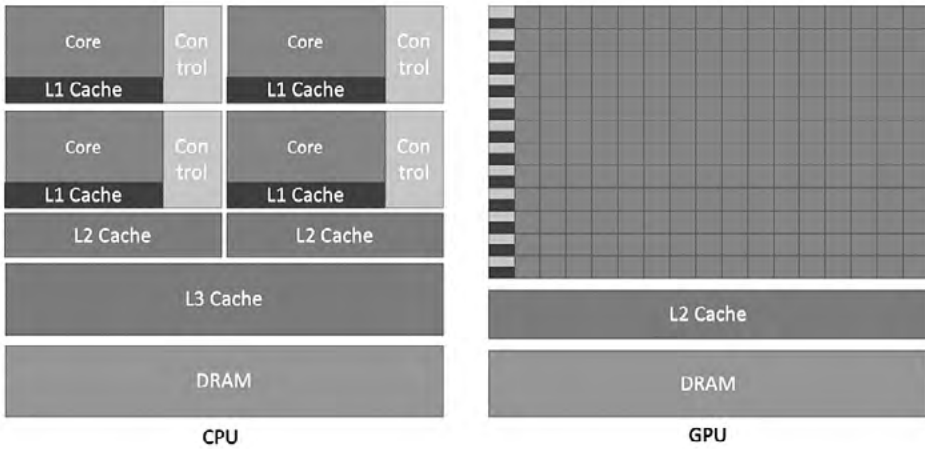
100) 유동현, 임요한 (2013), GPU를 이용한 범용 계산의 소개.

CUDA C를 개발하고 배포하여 현재 많은 개발자들이 C 언어를 활용하여 GPU 범용 계산이 가능하게 하였다.¹⁰¹⁾ 최근에는 C 언어 이외에도 CUDA Fortran, CUDA C++를 지원하며 Python에서 활용 가능한 다양한 라이브러리도 개발되어 있다. 본 연구에서는 현재 개발되어 있는 다양한 라이브러리들을 소개하고 GPU를 이용한 범용 계산에 어떠한 라이브러리가 효율적인지 살펴보고자 한다. 이를 통해 인공지능 학습 및 이를 위한 학습용 데이터의 대규모 병렬 처리 시 보다 효율적으로 GPU를 활용할 수 있을 것이라 기대한다.

GPU를 활용한 범용 계산을 효율적으로 진행하기 위해서는 먼저 GPU 자체의 하드웨어적 특성을 이해하고 이를 기반으로 구현 및 운용해야한다. 최근 GPU는 Intel, Apple의 내장형 GPU와 AMD 및 NVIDIA의 외장형 GPU로 크게 구분할 수 있으며 GPU의 범용 계산에는 CUDA의 장점으로 대부분 NVIDIA의 GPU가 활용되고 있다. NVIDIA의 GPU를 제외한 다른 GPU는 OpenCL 언어만을 이용하여 범용 계산이 가능하므로 본 연구에서는 사용자 편의성 및 범용성을 고려하여 NVIDIA의 GPU만을 대상으로 살펴보고자 한다. NVIDIA의 GPU는 CUDA의 아키텍처 설계 구조에 따라 세대를 구분하고 있으며 Tesla 아키텍처를 1세대로 하여 현재 8세대인 Ampere 아키텍처까지 개발되어 판매되고 있다. 사용자 편의성이 높은 PyCUDA, TensorFlow, PyTorch와 같은 라이브러리는 직접적으로 하드웨어 설계에 따른 CUDA Compute Capability를 명시적으로 요구하지 않으나 직접적으로 CUDA C 언어를 작성하고 컴파일하기 위해서는 아키텍처의 설계적 특성을 어느정도 이해할 필요가 있다. 따라서 실제 GPU 병렬 계산의 구현에 앞서 CUDA 아키텍처의 구조에 대하여 간략히 살펴보고자 한다.

먼저 <그림 4-1>에 나타낸 CPU와 GPU의 구조를 살펴보면 CPU는 소수의 연산 능력이 우수한 코어와 L1, L2, L3 Cache를 지녀 복잡한 연산에 유리하며 GPU는 연산 능력은 CPU의 연산 코어와 비교하여 낮은 연산 능력을 지니나 코어의 수가 매우 많으며 L1, L2 Cache를 지니기에 간단한 연산을 대규모로 처리하기에 적합함을 알 수 있다. 이후 설명의 용이성을 위하여 CUDA 기반의 GPU의 연산 코어는 Streaming Processor (SP) 또는 cuda core라 지칭하며 Control Unit과 L1 Cache, Special Function Unit (SFU) 및 다수의 SP를 포함하는 모듈을 Streaming Multiprocessor (SM)이라 정의한다.

101) NVIDIA, CUDA C++ Programming Guide, 2022. [Online]. Available: https://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf



〈그림 4-1〉 CPU와 GPU의 하드웨어적 구성¹⁰²⁾

NVIDIA의 GPU는 SP와 SM의 설계 구조에 따라 각 세대별 구분이 있으며 성능 개선을 위하여 몇 개의 SP를 포함하는 SM을 설계하는지와 Control Unit, L1/L2 Cache의 구조 등을 통하여 점점 성능이 개선되어왔다. 먼저 〈표 4-1〉에서 각 세대의 명칭, Cuda Compute Capability와 공개 시기를 요약하였다.

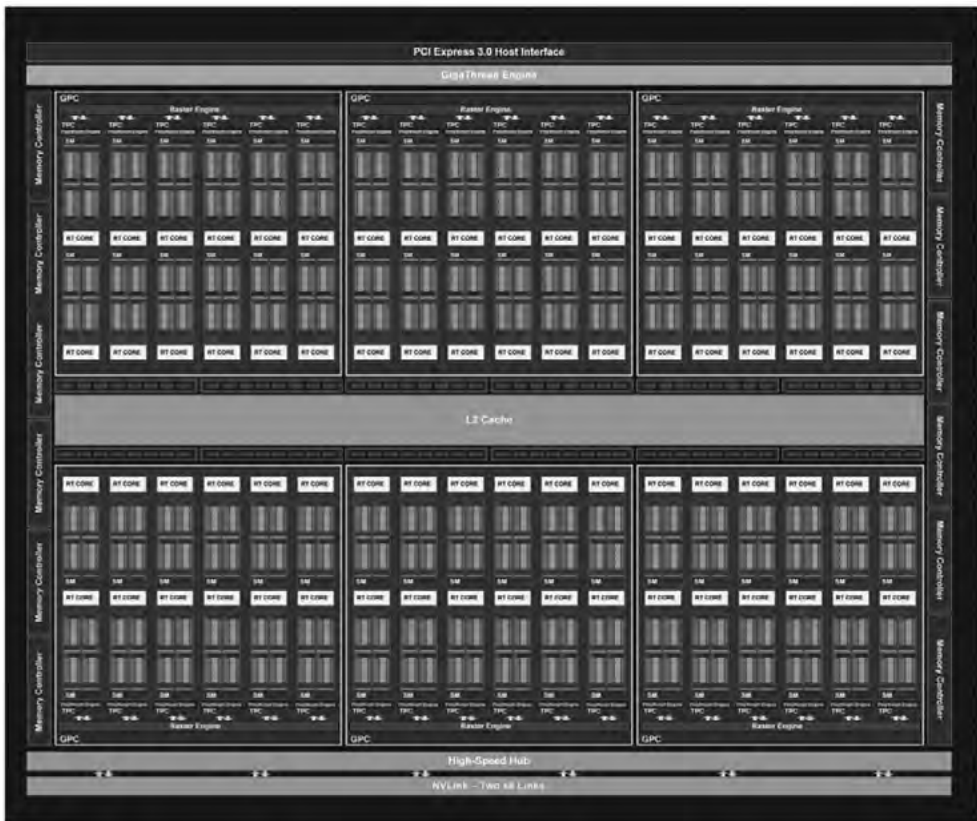
〈표 4-1〉 NVIDIA CUDA GPU의 세대별 정보

세대 구분	명칭	Compute Capability	공개 시기
1	Tesla	1.x	2007
2	Fermi	2.x	2009
3	Kepler	3.x	2012
4	Maxwell	5.x	2014
5	Pascal	6.x	2016
6	Volta	7.0	2017
7	Turing	7.5	2018
8	Ampere	8.x	2020

CUDA 기반의 GPU 리스트는 <https://developer.nvidia.com/cuda-gpus> 웹페이지에서 확인할 수 있으며 High Performance Computing 서버급에 사용되는 NVIDIA

102) NVIDIA, CUDA C++ Programming Guide, 2022. [Online]. Available: https://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf

Datacenter Products와 서버 및 워크스테이션급에 활용되는 NVIDIA Quadro and RTX Desktop GPU, 워크스테이션과 개인 데스크톱에 사용되는 GeForce 계열의 GPU로 구분된다. 최근에 유통되는 GPU는 Turing 및 Ampere 세대로 Compute Capability는 각각 7.5와 8.6에 해당한다. 하드웨어적 설계에 대한 이해는 GPU 범용 계산 성능의 최적화를 위해서도 필요한 내용으로 본 연구에서는 7세대와 8세대에 대하여 보다 자세히 살펴보고자 한다. 먼저 7세대인 Turing 아키텍처의 고성능 GPU인 TU102 GPU의 구조를 <그림 4-2>에 제공하였으며 <표 4-2>에 6세대인 Pascal 아키텍처의 고성능 GPU인 GP102 GPU와 비교 결과를 제시하였다.¹⁰³⁾



<그림 4-2> Turing 아키텍처 TU102 GPU 구조 (72개의 SM 포함)

103) NVIDIA, NVIDIA Turing GPU architecture, 2022. Available at <https://images.nvidia.com/aem-dam/en-zz/Solutions/design-visualization/technologies/turing-architecture/NVIDIA-Turing-Architecture-Whitepaper.pdf>

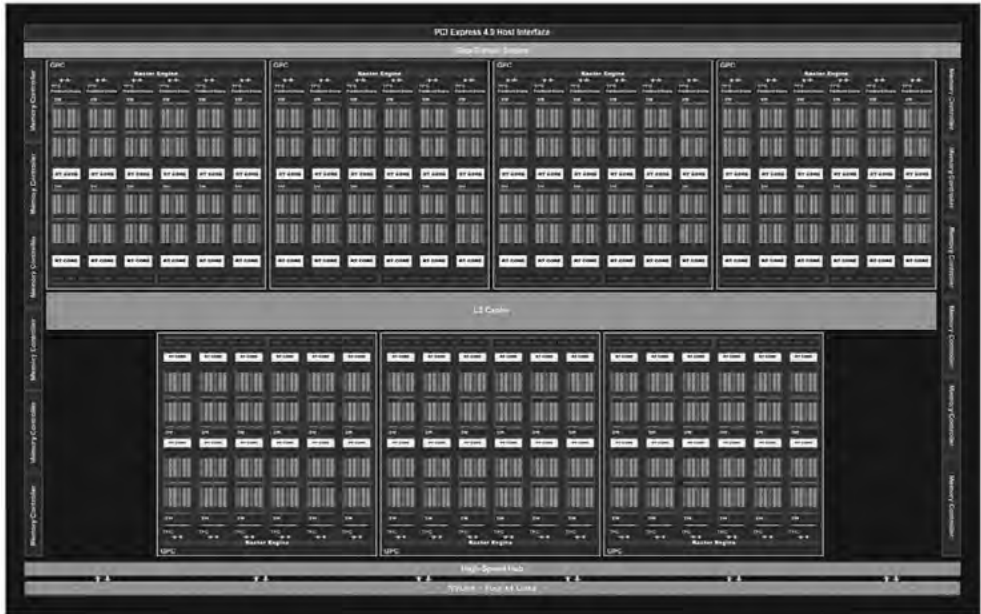
〈표 4-2〉 Pascal 아키텍처 GP102와 Turing 아키텍처 TU102 GPU 비교

GPU Features	GTX 1080Ti	RTX 2080Ti	Quadro P6000	Quadro RTX 6000
Architecture	Pascal	Turing	Pascal	Turing
GPCs	6	6	6	6
TPCs	28	34	30	36
SMs	28	68	30	72
CUDA cores/SM	128	64	128	64
CUDA cores/GPU	3584	4352	3840	4608
Tensor Cores/SM	NA	8	NA	8
Tensor Cores/GPU	NA	544	NA	576
RT Cores	NA	68	NA	72
Boost Clock (MHz)	1607	1545	1645	1770

먼저 〈그림 4-2〉에서 보인 것처럼 TU102 GPU (72개 SM 포함)는 6개의 Graphics Processing Cluster(GPC)를 가지고 있으며 각 GPC 당 6개의 Texture Processing Cluster(TPC)를 지니고 있어 총 36개의 TPC를 지닌다. 또한 각 GPC 당 12개의 SM을 지니며 SM당 CUDA core 수는 64개로 총 4608개의 CUDA core (SP)를 지닌다. 〈표 4-2〉에 제시된 6세대 Pascal 아키텍처와 비교하여 SM 당 CUDA core의 수를 줄이면서 SM의 수를 늘린 구조를 지녀 전력 효율성을 높인 구조라 볼 수 있다. 추가로 7세대인 Turing 아키텍처가 되면서 Tensor 및 행렬 연산에 최적화된 Tensor Core를 지원하며 Ray tracing을 위한 RT core도 지원되는 점에서 차이가 있다.

다음으로 8세대인 Ampere 아키텍처의 고성능 GPU인 GA102 GPU의 구조를 〈그림 4-3〉에 제공하였으며 〈표 4-3〉에 7세대인 Turing 아키텍처의 고성능 GPU인 TU102 GPU와 비교 결과를 제시하였다.¹⁰⁴⁾

104) NVIDIA, NVIDIA Ampere GA102 GPU architecture, 2022. Available at <https://www.nvidia.com/content/PDF/nvidia-ampere-ga-102-gpu-architecture-whitepaper-v2.1.pdf>



〈그림 4-3〉 Ampere 아키텍처 GA102 GPU 구조 (84개의 SM 포함)

〈표 4-3〉 Turing 아키텍처 TU102와 Ampere 아키텍처 GA102 GPU 비교

GPU Features	RTX 2080Ti	RTX 3080	Quadro RTX 6000	RTX A6000
Architecture	Turing	Ampere	Turing	Ampere
GPCs	6	6	6	7
TPCs	34	34	36	42
SMs	68	68	72	84
CUDA cores/SM	64	128	64	128
CUDA cores/GPU	4352	8704	4608	10752
Tensor Cores/SM	8	4	8	4
Tensor Cores/GPU	544	272	576	336
RT Cores	68	68	72	84
Boost Clock (MHz)	1545	1710	1770	1800

앞서 7세대 아키텍처에서 살펴본 것과 유사하게 <그림 4-3>을 통하여 확인하면 GA102 GPU (84개 SM 포함)는 7개의 GPC를 가지고 있으며 각 GPC 당 6개의 TPC를 지니고 있어 총 42개의 TPC를 지닌다. 또한 각 GPC 당 12개의 SM을 지니며 SM당 CUDA core 수는 128개로 총 10752개의 CUDA core를 지닌다. <표 4-3>에 제시된 7세대 Turing 아키텍처와 비교하면 SM 당 CUDA core의 수를 다시 증가시켰으며 Tensor core와 RT core의 성능을 향상 시킨 아키텍처이다. Ampere 아키텍처가 가장 최근의 CUDA 아키텍처이며 <표 4-3>의 RTX A6000이 서버 및 워크스테이션급에서 가장 고성능 사양의 GPU이다.¹⁰⁵⁾

지금까지는 하드웨어적 측면에서 GPU 동향에 대하여 살펴보았다. 하지만 실제 GPU를 이용한 대규모 병렬 처리 또는 인공지능 학습에 GPU 연산을 활용하기 위해서는 소프트웨어적 접근이 보다 실용적이다. 본 절에서는 GPU를 활용한 범용 연산에 대하여 개략적으로 소개하고 보다 실제적인 적용은 4.2절과 4.3절에서 다루고자 한다. 먼저 하드웨어적 측면에서 CUDA GPU 아키텍처를 설명하였으나 CUDA는 하드웨어와 소프트웨어의 계산을 위한 통합 설계로 소프트웨어적 접근에서도 CUDA 용어를 사용하게 된다. 즉, GPU의 범용 연산을 위한 프로그래밍 언어에서 CUDA C, CUDA Fortran, CUDA C++과 같이 표현한다. GPU를 이용하는 프로그램을 작성하기 위해서는 먼저 CUDA 기능이 동작할 수 있도록 CUDA Toolkit을 설치하여야 한다. CUDA Toolkit은 CUDA Toolkit 홈페이지¹⁰⁶⁾에서 다운로드하여 설치할 수 있으며 CUDA Toolkit은 배포 버전에 따라 요구되는 NVIDIA 그래픽 드라이버의 버전이 상이하니 CUDA Toolkit 홈페이지에서 각 요구사항을 확인하여 그래픽 드라이버 설치 후 설치를 진행하여야 한다. 윈도우즈의 경우에는 Visual studio와 빌드 커스터마이제이션이 자동으로 진행되니 Visual studio에 익숙한 사용자는 미리 Visual studio를 설치 한 뒤 CUDA Toolkit 설치를 진행하는 것을 권장한다. 리눅스 계열의 유저는 컴파일러 gcc 설치 여부와 Linux kernel 버전 등 사전 체크 항목을 체크하여 이상이 없으면 다운로드 받은 CUDA Toolkit을 이용하여 설치를 진행할 수 있다. 인공지능 기술의 적용 시 일반적으로 리눅스 서버를 활용하게 되므로 CUDA Toolkit 11 버전 설치의 자세한 사항은 리눅스 환경 중 Ubuntu 20.04 OS를 기준으로 설명하고자 한다. 윈도우즈의 설치에 대한 자세한 사항은 CUDA Toolkit의 문서 윈도우즈에서의 설치 웹페이지¹⁰⁷⁾에서 확인할 수 있다.

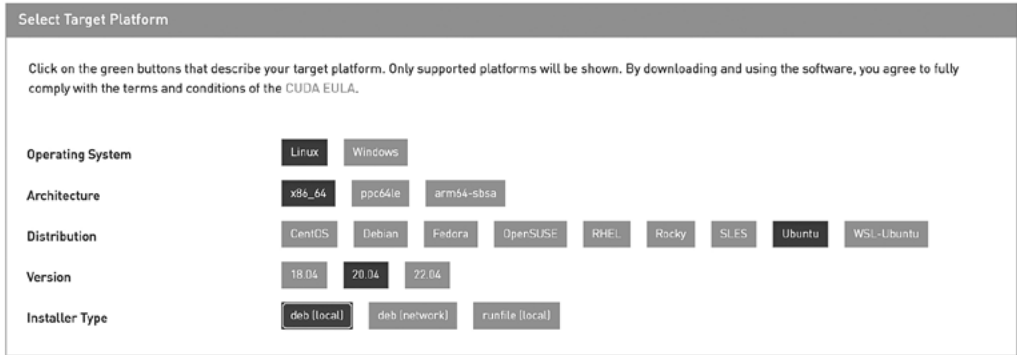
CUDA Toolkit의 설치를 위해서는 먼저 CUDA 기반의 GPU와 CUDA C 등 프로그래

105) GPU Compute Capability, <https://developer.nvidia.com/cuda-gpus>

106) <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>

107) <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-installation-guide-microsoft-windows/index.html>

밍을 위한 gcc 컴파일러 및 관련 도구들의 설치 확인이 필요하고 이상이 없으면 CUDA Toolkit을 설치하게 된다. CUDA Toolkit의 웹페이지를 방문하면 현재 CUDA Toolkit 11.7을 다운로드 할 수 있으며 처음 선택 시 <그림 4-4>와 같이 해당 플랫폼을 선택하면 된다.



<그림 4-4> CUDA Toolkit 다운로드 플랫폼 선택

<그림 4-4>에서 제시한 것과 같이 선택하면 바로 아래에 <그림 4-5>와 같이 Ubuntu 터미널 환경에서의 설치 명령어가 제시된다.



<그림 4-5> CUDA Toolkit 설치 명령어

<그림 4-5>의 설치 명령어를 순차적으로 실행하면 CUDA Toolkit 11의 기본적인 설치가 완료된다. 이후 CUDA runtime 라이브러리 및 cuBLAS 라이브러리 등 기본 라이브러리를 활용하여 프로그램을 작성하기 위해서는 CUDA Toolkit 설치 문서의 13장에 해당하는 Post-installation actions를 수행해야한다.¹⁰⁸⁾

후속 조치를 수행하기 위해서는 아래와 같이 2개의 환경변수 PATH와 LD_LIBRARY_PATH를 수정하여야 한다.

108) <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-installation-guide-linux/index.html#post-installation-actions>

```
export PATH=/usr/local/cuda-11.7/bin${PATH:+:${PATH}}

export LD_LIBRARY_PATH=/usr/local/cuda-11.7/lib64\
${LD_LIBRARY_PATH:+:${LD_LIBRARY_PATH}}
```

일반적으로 환경변수 설정의 용이성을 위하여 계정 .profile에서 위의 설정을 적용한다. 모든 설정 이후, 정상적인 설치 확인을 위하여 `nvcc -V`를 실행하면 `nvcc` 컴파일러의 정상 동작 및 버전 정보를 확인이 가능하다.

기본적인 CUDA Toolkit의 설치를 마치면 CUDA GPU를 이용한 범용 연산 프로그램의 구현 및 실행이 가능하게 되지만 CUDA GPU 프로그램을 작성하기 위해서는 더 알아두어야 할 사항이 있다. 현재 보다 손쉽게 GPU 병렬 연산이 가능하도록 TensorFlow나 PyTorch와 같은 인공지능을 위한 라이브러리들이 GPU 병렬 연산 기능을 제공하고 있으나 기본적인 수치 선형 대수 연산이 주를 이루고 있어 다양한 병렬 처리를 위해서는 CUDA C 또는 CUDA C++ 등의 저수준 언어를 다룰 필요성이 있다. 본 절에서는 마지막으로 CUDA C 프로그래밍을 위한 기초적 내용에 대하여 다루고 이후 4.2절과 4.3절에서 실제 각 구현 방법에 따른 특징과 구현 사례를 제공하고자 한다.

CUDA C 프로그래밍의 자세한 설명은 NVIDIA의 CUDA C++ Programming Guide에서 자세히 확인이 가능하며 본 연구에서는 기초적인 내용에 대한 설명을 제공하고자 한다.¹⁰⁹⁾ 먼저 CUDA C 프로그래밍에서는 CPU와 GPU를 호스트(host)와 디바이스(device)로 구분하여 호스트에서 수행하는 함수와 디바이스에서 수행하는 함수를 구분한다. CUDA C 프로그래밍에서 작성하는 함수를 구분하면 아래의 3가지 함수로 구분할 수 있으며 함수 정의 시 한정자(qualifier)를 활용한다.

1) 호스트 함수(host function)

호스트 함수는 호스트에서 호출되고 호스트에서 실행되는 함수를 나타내며 함수 정의 시 `__host__` 한정자를 사용한다.

2) 디바이스 함수(device function)

디바이스 함수는 디바이스에서 호출되고 디바이스에서 실행되는 함수를 나타내며 함수 정의 시 `__device__` 한정자를 사용한다.

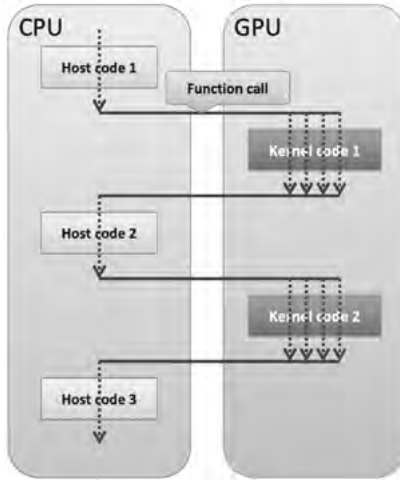
3) 커널 함수(kernel function)

커널 함수는 GPU 병렬 연산의 핵심적 기능을 하는 함수로 호스트에서 호출되고 디바이스에서 병렬적으로 실행되는 함수를 나타낸다. 함수 정의 시 `__global__` 한정자를 활용하며 반환 타입으로 `void` 타입의 제약을 지닌다. 커널함수는 호스트에서 호출

109) NVIDIA, CUDA C++ Programming Guide, 2022. [Online]. Available: https://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf

시 “함수명<<<Grid의 차원, Block의 차원>>> (함수의 인수들)” 형태로 호출되는 점에서 호스트 함수, 디바이스 함수(호출 시 “함수명(함수의 인수들)”)와 차이가 있다.

실제 호스트와 디바이스에서 커널 함수의 실행을 도식화하면 <그림 4-6>과 같다.



<그림 4-6> 커널함수의 호출 및 실행

커널 함수의 작성 및 호출이 GPU 기반의 병렬 연산의 핵심 기능으로 커널 함수의 작성을 위해서는 호스트와 디바이스 간의 차이와 디바이스에서 사용되는 메모리 계층구조 등 기존의 프로그래밍과의 차이점이 존재한다. 앞서 소개한 3가지 종류의 함수들의 특징을 비교하면 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> CUDA C의 함수 타입 및 특징

함수 타입	특징
호스트 함수	<ul style="list-style-type: none"> • CPU에서 호출 및 실행 • 메인보드의 RAM에 저장된 데이터 접근 가능 • GPU 내의 RAM에 저장된 데이터 접근 불가
디바이스 함수	<ul style="list-style-type: none"> • GPU에서 호출 및 실행 • GPU의 RAM에 저장된 데이터 접근 가능 • 메인보드의 RAM에 저장된 데이터 접근 불가
커널 함수	<ul style="list-style-type: none"> • CPU에서 호출, GPU에서 실행 • GPU의 RAM에 저장된 데이터 접근 가능 • 메인보드의 RAM에 저장된 데이터 직접적 접근 불가 (CUDA 지원 기능 적용 시 메인보드의 RAM에 있는 변수 참조 가능)

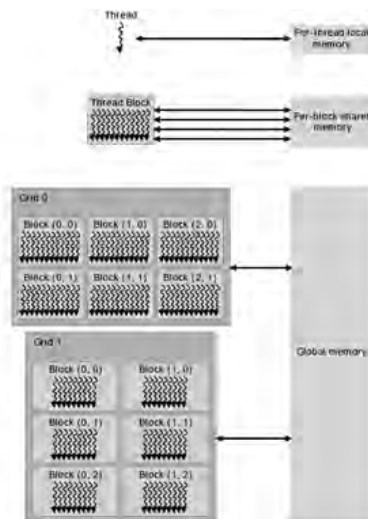
디바이스에서 고려되는 메모리의 계층 구조의 이해를 위해서는 CUDA의 병렬 연산 시 연산의 단위에 대한 이해가 요구된다. 커널 함수 호출 시 적용되는 CUDA 병렬 연산의 기본단위는 <표 4-5>와 같다.

<표 4-4> CUDA C의 병렬 연산 단위

연산 단위	특징
스레드(thread)	• 커널 함수의 병렬 연산의 기초 단위
블록(block)	• 여러 스레드의 그룹 (차원은 최대 3차원)
그리드(grid)	• 여러 블록의 그룹 (차원은 최대 3차원)
와프(warp)	• 32개의 스레드 모임 (스레드 실행 및 처리 단위)

스레드는 커널 함수의 병렬 연산 기본단위로 하나의 스레드가 하나의 연산에 대응하여 병렬적으로 실행되며 스레드 블록은 스레드가 특정 차원의 인덱스에 매핑하여 연산이 이루어질 경우 활용되거나 효율적인 메모리 접근을 위해 shared memory를 활용하는 경우에 활용된다. CUDA 아키텍처에 따라서 GPU에서 지원하는 블록당 스레드의 수와 그리드당 블록의 수가 제한적이며 최근 배포되는 GPU들은 블록당 최대 1024개의 스레드와 그리드당 최대 65535개의 블록을 설정할 수 있다. 이에 대한 자세한 사항은 CUDA C++ Programming Guide의 Appendix K.1을 참조하기 바란다.¹¹⁰⁾

CUDA C 프로그래밍에서 기억해두어야 할 메모리 계층 구조는 <그림 4-7>과 같다.



<그림 4-7> CUDA C의 메모리 계층 구조

110) <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html#compute-capabilities>

〈그림 4-7〉에서 제시된 메모리는 3가지 종류로 스레드에 대응하는 지역적 메모리(local memory)는 L2 cache에 해당하여 속도가 빠르지만 용량이 제한적이라 자동적으로 생성되는 변수들에만 적용된다. 공유 메모리(shared memory)는 각 스레드 블록마다 분리되며 각 스레드 블록들이 동일한 공유 메모리에 동시적으로 접근 가능하다. 각 스레드 블록들이 여러 데이터에 접근하는 경우에는 전역 메모리(global memory)에서 공유 메모리로 데이터 복사 후 연산을 수행하면 연산 효율을 증가시킬 수 있다. 전역 메모리는 GPU의 RAM에 해당하며 모든 병렬 연산 단위에서 접근이 가능하나 속도 측면에서는 제일 느리다는 단점이 있다.

추가로 GPU를 활용한 병렬 연산에서 반드시 기억해야 할 부분은 메인보드의 RAM, 즉 호스트 메모리와 GPU의 RAM 디바이스 메모리가 분리되어 연산에 활용되는 점이다. 다시 말하면 GPU에서 연산을 수행하고자 할 경우, 호스트 메모리에서 디바이스 메모리로 데이터 전달이 수행되어야 하고 디바이스에서 실제 연산이 수행이 종료된 이후에 연산 결과를 다시 호스트 메모리로 전달하는 과정을 거치게 된다. 또한 호스트와 디바이스 메모리 간의 메모리 전달은 다른 메모리 전달과 비교하여 속도 측면에서 비효율적이므로 GPU를 이용한 병렬 처리를 효율적으로 하기 위해서는 호스트와 디바이스 간 통신을 최소화하는 것이 바람직하다.

이상으로 본 절에서는 GPU에 대한 전반적인 소개와 최근 동향 및 GPU를 활용한 범용 계산에서 필요한 기본적인 내용을 다루었다. 이후 4.2절과 4.3절에서는 Cho 등 (2022)¹¹¹⁾에서 다룬 Python에서의 CUDA GPU 병렬 연산 결과를 바탕으로 수치 선형 대수의 연산에 대한 GPU 병렬 연산의 구현 방법들 및 최적화 알고리즘 구현에서의 GPU 병렬 연산 구현 방법들을 소개하고 실제 구현의 예시를 제공하고자 한다.

4.2 그래픽스 연산 장치를 활용한 선형 대수 연산의 소개 및 구현 예시

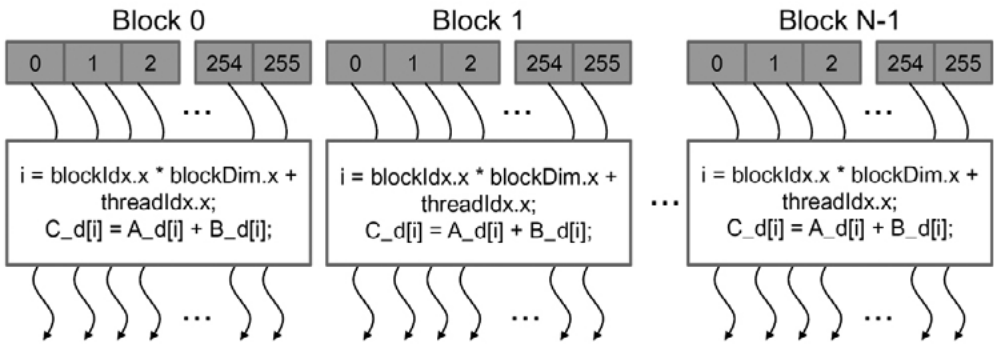
그래픽스 연산 장치는 4.1절에서 설명한 바와 같이 낮은 연산 강도를 갖는 대규모 병렬 연산에 적합하므로 병렬화 단계 중 Single Instruction Multiple Data (SIMD)에 해당된다. 즉, GPU를 이용한 범용 연산은 동일한 연산을 다수의 데이터에 적용할 경우에만 연산의 효율을 증가시킨다. 이러한 GPU 병렬 연산은 이미지 데이터에서의 데이터 증강에 효율적으로 적용될 수 있다. 본 절에서는 SIMD에 적합한 수치 선형 대수의 연산들 중 두 벡터의 합과 두 행렬의 곱에 대하여 GPU를 이용한 연산을 소개하고 실제 구현 예시를 제공

111) Cho, Y., Kim, J., and Yu, D. (2022). "Comparative study of CUDA GPU implementations in Python with the fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for LASSO", IEEE ACCESS.

하고자 한다.

4.2.1 두 벡터의 합

CUDA C 프로그래밍을 이용하여 두 벡터의 합을 구현하기에 앞서 GPU 병렬 연산에서의 두 벡터의 합의 구조를 파악할 필요가 있다. 길이 n 인 두 벡터는 A 와 B 에 저장되어 있다고 가정하고 $C=A+B$ 의 연산을 고려하고 있다. 먼저 GPU 병렬 연산을 진행하기 위해서 전체 연산을 병렬 연산 단위인 스레드와 스레드 블록으로 구분한다. 고려하는 스레드 블록의 수를 이라 할 때 스레드와 스레드 블록의 구조는 <그림 4-8>과 같다.



<그림 4-8> 벡터 합의 GPU 병렬 연산 구조¹¹²⁾

<그림 4-8>에서 $n = 256 \times N$ 을 가정하고 도식화하였으며 1차원의 스레드블록 구조로 각 스레드 블록은 256개의 스레드를 갖는 것을 가정하였다. 각 스레드는 각각의 스레드 인덱스를 지니며 이를 통하여 벡터의 원소의 접근을 정의하였다. <그림 4-8>에서 i 는 i 번째 벡터의 원소에 대한 접근을 위한 인덱스 변수로 blockIdx.x , blockDim.x 및 threadIdx.x 의 CUDA C 프로그래밍에서 제공되는 사전 정의 변수를 이용하여 정의되었다. 여기서 blockIdx.x 는 1차원 구조에서 스레드 블록의 인덱스를 나타내며 blockDim.x 는 스레드 블록이 지닌 스레드의 차원(<그림 4-8>에서 256을 의미)을 나타낸다. threadIdx.x 는 각 스레드 블록 내에서 스레드의 인덱스를 나타낸다. 본 절의 시작에서 언급한 바와 같이 GPU 병렬연산은 스레드 및 스레드 블록의 인덱스를 통하여 데이터 접근을 동시에 진행하여 동일한 병렬 연산을 수행하게 된다. <그림 4-8>의 예에서도 벡터의 원소 접근에 대한 인덱스 차이가 존재할 뿐 실제 연산은 $C[i] = A[i] + B[i]$ 로 동일한 연산이 병렬적으로 수행된다.

112) Kirk, D. B. and Hwu, W. W. (2012). Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach, 2nd Ed., Morgan Kaufmann.

이어서 실제 CUDA C 프로그래밍을 통하여 벡터의 합 연산에 대한 구현을 진행한다. 기본적으로 CUDA 기반의 GPU 병렬 연산은 실제 병렬 연산을 수행하는 커널 함수 작성으로 시작되며 이후 호스트 함수에서 커널 함수를 호출하는 방식으로 최종 구현된다. 보통 실제 컴파일 및 메인 함수 호출은 커맨드 라인 실행 방식(터미널에서 실행하는 방식)을 수행하기도 하나 본 과제의 목적과 실제 사용자의 편의성을 고려하여 Python 내에서 GPU 병렬 연산을 수행할 수 있도록 구현 예시를 제공하고자 한다. 벡터의 합에 대한 커널 함수는 <그림 4-9>에 제시하였고 커널 함수를 호출하는 호스트 함수는 <그림 4-10>에 제시하였다.

```
__global__ void d_VecAdd(float *A, float *B, float *C, int n)
{
    int i = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
    if (i<n) {
        C[i]=A[i]+B[i];
    }
}
```

<그림 4-9> 벡터의 합에 대한 커널 함수

```
extern "C" void VecAdd(float *A, float *B, float *C, int *N)
{
    float *dA, *dB, *dC;
    int n = *N;
    size_t sz = n * sizeof(float);

    dim3 threadsPerBlock;
    dim3 blocksPerGrid;

    threadsPerBlock.x = 256;
    blocksPerGrid.x = ceil(float(n) / float(threadsPerBlock.x));

    cudaMalloc(&dA, sz);
    cudaMalloc(&dB, sz);
    cudaMalloc(&dC, sz);

    cudaMemcpy(dA, A, sz, HTD);
    cudaMemcpy(dB, B, sz, HTD);

    d_VecAdd<<<blocksPerGrid, threadsPerBlock>>>(dA, dB, dC, n);

    cudaMemcpy(C, dC, sz, DTH);

    cudaFree(dA);
    cudaFree(dB);
    cudaFree(dC);
}
```

<그림 4-10> 벡터의 합에 대한 호스트 함수

<그림 4-9>와 <그림 4-10>에서 제시한 함수들의 전처리 부분에는 CUDA C 관련 확장 함수 및 변수들을 이용하기 위한 헤더 파일 포함 및 코딩의 효율성을 위한 매크로를 다음

과 같이 적용하였다.

```
#include <cuda.h>
#include <cuda_runtime.h>

#define HTD cudaMemcpyHostToDevice
#define DTH cudaMemcpyDeviceToHost
#define DTD cudaMemcpyDeviceToDevice
```

여기서 cuda.h와 cuda_runtime.h는 스레드 및 스레드 블록 구조의 변수들 및 CUDA 확장 문법의 적용을 위해 포함해야한다. 매크로를 이용하여 HTD, DTH, DTD로 간략화하여 정의된 cudaMemcpyHostToDevice, cudaMemcpyDeviceToHost, cudaMemcpyDeviceToDevice 키워드들은 cudaMemcpy() 함수에서 사용되는 키워드로 호스트에서 디바이스(HostToDevice), 디바이스에서 호스트(DeviceToHost), 디바이스에서 디바이스(DeviceToDevice)로 메모리 복제를 하는 경우에 사용되는 키워드들이다.

〈그림 4-9〉의 커널 함수를 먼저 살펴보면 __global__ 한정자를 이용하여 정의되었고 함수의 반환 타입은 void로 정의되었다. 디바이스에서 수행되는 성격 상 커널 함수의 모든 인수는 포인터 타입의 변수로 정의된다. 따라서 연산의 수행을 위한 A, B, C의 메모리 주소와 차원을 나타내는 n 변수의 주소를 인수로 갖는다. 실제 구현된 커널 함수는 〈그림 4-8〉에 도식화 한 것과 일치하며 차이는 IF문을 통하여 $i < n$ 인 경우에 해당하는 인덱스에서만 연산이 이루어지도록 제한한 것이다. 이는 실제 벡터의 차원이 스레드 블록 차원의 배수가 아닌 경우의 메모리 참조 및 연산 오류를 방지하기 위하여 적용되었다. 일반적인 연산에서 사전에 정의한 스레드 블록의 차원의 배수로 연산 대상의 크기가 정해지지 않으므로 보통 GPU 병렬 연산에서는 연산 대상의 차원 정보를 전달 받아 IF문을 통하여 연산 범위를 제한한다.

〈그림 4-10〉에서는 extern “C” 한정자를 적용하였는데 보통의 커맨드 라인 실행의 경우 필요하지 않으나 Python 환경에서 함수 호출을 위해 extern “C” 한정자를 적용하였다. 커널 함수를 호출하는 호스트 함수인 VecAdd() 함수는 Python으로부터 데이터를 전달받기 위하여 A, B, C의 벡터에 대한 포인터 변수와 벡터 크기에 대한 포인터 변수 N을 인수로 갖는다. 실제 호스트로부터 전달받은 인수는 호스트 메모리(RAM)에 저장된 데이터의 주소로 GPU에서 연산하기 위해서는 메모리를 디바이스 메모리로 복제해야한다. 이를 위해 float 타입의 포인터 변수 dA, dB, dC를 정의하였다. 메모리 할당을 위한 배열의 크기를 지정하기 위해 sz 변수에 배열의 크기를 저장하였다. dim3 타입은 CUDA C 확장 문법에서 제공하는 변수 타입으로 3차원의 unsigned integer (x, y, z 3가지 멤버변수를 갖는 구조체)로 정의된다. 〈그림 4-10〉의 예에서는 threadsPerBlock, blocksPerGrid 변수명으로 각각

스레드 블록의 차원(블록당 스레드 수), 스레드 그리드의 차원(그리드 당 블록의 수)를 정의하기 위하여 사용하였다. 이해를 돕기 위하여 변수명을 실제 의미를 포함하도록 정의하였으나 변수명은 자유롭게 정의할 수 있다. <그림 4-10>의 예에서는 1차원의 블록 구조로 각 블록이 256개의 스레드를 지니도록 정의하였으며 전체 연산 범위를 충족하기 위하여 블록의 수는 벡터의 차원을 256으로 나눈 값의 올림 값을 이용하였다. 디바이스 메모리에 변수를 할당하기 위하여 `cudaMalloc()` 함수를 사용하였으며 실제 디바이스 메모리에 할당된 주소를 다시 호스트에서 정의한 포인터 변수에 지정하게 되므로 `cudaMalloc()`의 첫 번째 인수는 이중포인터 변수로 정의되고 두 번째 인수로 배열의 크기를 받는다. 따라서 포인터 변수로 정의된 `dA`의 메모리 주소를 전달하는 방식으로 `cudaMalloc(&dA, sz)` 형태로 디바이스에서 메모리 할당이 이루어진다. 디바이스에 메모리 할당을 먼저 수행한 뒤에는 실제 호스트에서의 데이터를 디바이스 메모리로 전송한다. 메모리의 전송은 `cudaMemcpy()` 함수를 이용하여 수행하며 `cudaMemcpy(복사되어 저장될 변수, 복사할 대상 변수, 복사의 방향 키워드)`의 형식으로 적용한다. 복사의 방향 키워드는 앞서 매크로로 정의한 `HTD`, `DTH`, `DTD`에 해당한다.

실제 커널 함수의 호출은 <그림 4-10>에서 제시한 것처럼

```
d_VecAdd<<<(blocksPerGrid, threadsPerBlock)>>>(dA, dB, dC, n)
```

의 형태로 진행하게 되며 커널 함수명<<<블록 당 스레드 차원, 그리드 당 블록의 차원>>>(함수의 인수들) 형식으로 호출한다. 커널 함수의 연산 이후 연산 결과는 디바이스 메모리에 저장되어 있으므로 이를 사용자가 확인하고 이용하기 위해서는 다시 호스트 메모리로 연산 결과를 전송해야 한다. 이를 위해 `cudaMemcpy(C, dC, sz, DTH)`를 적용하였다. 모든 연산이 종료된 이후에는 `cudaFree()` 함수를 이용하여 디바이스 메모리에 정의된 배열인 `dA`, `dB`, `dC`의 변수들의 메모리 할당을 해제한다.

이제 구현한 벡터의 합 함수를 실행하는 절차에 대하여 살펴본다. 먼저 지금까지 살펴본 <그림 4-9>, <그림 4-10> 및 전처리 부의 내용을 `vecadd_cuda.cu`의 파일 이름으로 저장한다. 현재 설명하는 내용은 Python의 `ctypes` 모듈을 이용하는 절차로 먼저 CUDA C 구현 코드를 컴파일 한 뒤 Python에서 `ctypes` 모듈을 이용하여 실행한다. 첫 번째로 작성한 함수를 동적라이브러리로 컴파일 하기 위하여 CUDA Toolkit에서 제공하는 `nvcc` 컴파일러를 이용한다. `nvcc`를 활용한 동적 컴파일러의 명령어는 다음과 같다.

```
> nvcc vecadd_cuda.cu -o vecadd_cuda.so --shared -Xcompiler -fPIC
-gencode arch=compute_61,code=sm_61
```

여기서 첫 번째 인수로 소스 코드 파일을 입력 후 출력 라이브러리 이름을 `vecadd_cuda.so`로 설정하였다. 옵션인 `--shared -Xcompiler -fPIC`는 동적라이브러리 정의를 위한 옵션이며 `-gencode arch=compute_xx,code=sm_xx`에서 `xx`는 Compute Capability의 수를 의미하여 본 과제의 예시를 위해 적용한 예서 이용한 NVIDIA GTX 1080Ti의 경우 6.1로 `xx`는 61로 설정된다. `arch`, `code`를 다르게 설정할 수 있게 되어있으나 하나의 디바이스의 Compute Capability는 동일하므로 일반적으로 같게 설정한다.

소스 코드를 컴파일하여 동적라이브러리 생성이 완료되면 Python에서 GPU 병렬 연산 수행이 가능해진다. Python에서 동적라이브러리는 `ctypes` 모듈을 활용하여 로드 및 내부 함수를 사용할 수 있다. 여기서는 `ctypes` 모듈 내의 `CDLL()` 함수를 활용하여 벡터의 합을 진행하는 예제를 <그림 4-11>에 제공하였다.

```

from ctypes import *
import numpy as np

libc_vecadd = CDLL("./vecadd_cuda.so")
vecadd = libc_vecadd.VecAdd

vecadd.restype = None
vecadd.argtypes = (POINTER(c_float), POINTER(c_float),
                   POINTER(c_float), POINTER(c_int))

np.random.seed(2022)
n = 500
A = np.random.randn(n,1).astype(np.float32)
B = np.random.randn(n,1).astype(np.float32)
C = np.zeros_like(A).astype(np.float32)

N = A.shape[0]
N_c = c_int(N)
A_cr = A.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))
B_cr = B.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))
C_cr = C.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))

vecadd(A_cr, B_cr, C_cr, N_c)

```

<그림 4-11> 벡터의 합 Python 실행 예제 코드

<그림 4-11>에서 `ctypes` 모듈의 사용을 위해 `from ctypes import *`구문을 실행하였으며 `ctypes.xxx`로 시작하지 않고 바로 사용하기 위해 `import ctypes` 대신 `from ctypes import *`로 실행하였다. `ctypes.CDLL()` 함수를 이용하여 컴파일된 동적라이브러리 `vecadd_cuda.so` 파일을 로드하여 `libc_vecadd`에 저장하였고 이를 이용하여 실제 구현된 벡터 합의 호스트 함수 `VecAdd`를 `vecadd = libc_vecadd.VecAdd` 구문으로

vecadd 이름으로 정의하였다. ctypes.CDLL() 함수를 이용하여 VecAdd 함수를 실행하기 위해서는 반환 타입과 인수의 타입을 지정해야 한다. 정의된 vecadd 함수의 반환 타입은 vecadd.restype = None 으로 void 타입임을 명시하고 vecadd.argtypes에 4 개의 인수에 대한 타입을 ctypes.c_float, ctypes.c_int, ctypes.POINTER()를 이용하여 정의하였다. ctypes.c_float는 C 언어의 float 타입, ctypes.c_int는 C 언어의 int 타입을 의미하여 ctypes.POINTER() 함수는 포인터 변수의 정의를 위하여 사용된다. 실제 벡터의 합을 수행하기 위하여 numpy 모듈의 numpy.random.randn() 함수를 이용하여 크기 n의 정규난수 벡터 A와 B를 생성하였다. 반환값을 받기 위하여 A와 같은 크기의 C 벡터를 미리 정의하였고 세 벡터 모두 numpy ndarray 객체의 astype() 함수를 이용하여 np.float32 (C 언어의 float) 타입으로 변환하였다. 실제 인수의 전달을 위하여 ctypes 모듈 기반의 CDLL과 호환을 위하여 각각 ctypes.c_int, ctypes.c_float 타입을 맞추어 각각의 인수를 N_c, A_cr, B_cr, C_cr에 정의하였다. A_cr, B_cr, C_cr에 정의된 값은 원래의 A, B, C의 메모리 주소를 저장하는 포인터 변수로 vecadd(A_cr, B_cr, C_cr, N_c) 수행 후 결과는 C_cr이 아니라 C 벡터 자체에 저장된다.

다음으로 계산적인 효율성은 다소 감소하지만 구현의 편의성이 매우 높다고 알려진 PyTorch를 이용한 GPU 병렬 연산 기반의 벡터의 합 구현에 대하여 소개한다.¹¹³⁾ PyTorch는 pip install torch를 이용하여 설치가 가능하며 conda 환경에서는 conda install pytorch -c pytorch의 명령어를 이용하여 설치할 수 있다, 보통 pytorch 단독으로 설치하기 보다는 컴퓨터비전 관련 모듈을 제공하는 torchvision과 음성 처리 관련 모듈을 제공하는 torchaudio 모듈을 함께 설치한다. 설치 이후에는 import torch 구문을 사용하여 PyTorch 모듈을 불러와서 사용하게 된다. PyTorch를 이용하여 GPU 병렬 연산을 수행하기 전에 GPU 디바이스 관련 함수를 소개하고자 한다. PyTorch는 여러 GPU 디바이스 관련 함수를 제공하는데 그 중에서 4개의 GPU 디바이스 확인과 관련한 함수를 소개한다. torch.cuda.is_available() 함수는 GPU 디바이스가 설치되었고 PyTorch에서 사용가능한지 확인하는 함수이며 사용이 가능한 경우 True를 반환한다. 두 번째로 현재 이용하는 컴퓨터에서 가용한 GPU 디바이스를 확인하는 torch.cuda.device_count() 함수가 있다. 함수를 실행하면 가용한 GPU 디바이스의 수를 반환한다. 세 번째로 torch.cuda.get_device_name() 함수는 현재 설치된 GPU 디바이스의 이름을 반환하며 여러 디바이스가 가용한 경우에는 함수의 인수로 0에서부터 (디바이스의 수-1)까지의 값을 활용하여 설치된 디바이스의 이름을 확인할 수 있다. 마지막으로 torch.cuda.get_device_capability() 함

113) Cho, Y., Kim, J. and Yu, D. (2022). "Comparative study of CUDA GPU implementations in Python with the fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for LASSO", IEEE ACCESS.

수는 현재 설치된 CUDA GPU 디바이스의 Compute Capability를 반환한다. 여러 디바이스가 가용한 경우 `get_device_name()` 함수와 동일하게 0에서 (디바이스의 수-1)의 값을 인수로 전달하여 각각의 디바이스의 Compute Capability를 확인할 수 있다. 반환값으로는 튜플(tuple) 형식의 값을 반환하며 (Major, Minor)의 형식으로 정의된다. 예를 들어 NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti의 경우에는 Compute Capability가 6.1이므로 (6,1)이 반환된다.

PyTorch를 이용하여 GPU 병렬 연산을 수행하기 위해서는 매우 간단한 절차를 따른다. 먼저 호스트의 데이터를 PyTorch에서 사용하는 Tensor 객체로 정의한 뒤 이를 디바이스 메모리로 전송한다. 디바이스 메모리로 전송한 이후에는 PyTorch 자체에서 정의된 함수들을 적용하여 간단히 병렬 연산을 수행할 수 있다. 여기서 사용자는 간단히 Python 함수를 활용하여 GPU 병렬 연산을 수행하지만 내부적으로는 앞서 살펴본 커널 함수 형태로 병렬 연산이 이루어진다. PyTorch를 활용한 GPU 병렬 벡터의 합 예제 코드를 <그림 4-12>에 제시하였다.

```
np.random.seed(2022)
n = 500
A = np.random.randn(n,1).astype(np.float32)
B = np.random.randn(n,1).astype(np.float32)
dA = torch.tensor(A).to('cuda:0')
dB = torch.tensor(B).to('cuda:0')
dC = torch.add(dA,dB)
C = dC.to('cpu')
```

<그림 4-12> PyTorch를 이용한 벡터의 합 예제 코드

<그림 4-12>에서 보는 바와 같이 처음 4개의 코드는 데이터 생성 및 타입 변환에 관련된 코드이며 실제 벡터의 합을 병렬로 수행하기 위한 코드는 아래 4개의 코드로 매우 간단하며 컴파일 과정이 요구되지 않는다. 보다 자세히 살펴보면 호스트에 저장된 A와 B 벡터를 `torch.tensor()` 함수를 이용하여 PyTorch의 Tensor 객체로 정의하고 `torch.tensor.to()` 함수를 이용하여 `cuda:0`로 정의된 GPU 디바이스 메모리로 전송하게 된다. 여기서 `cuda`는 CUDA GPU 디바이스를 나타내며 콜론(:) 다음의 수는 GPU 디바이스의 인덱스를 나타낸다. 여러 디바이스가 가용할 경우 디바이스를 나타내기 위하여 `cuda:x`와 같은 형식을 사용하게 된다. GPU 디바이스로 데이터 전송 후 `torch.add()` 함수를 이용하여 tensor 객체 간 원소별 합을 수행하게 되고 해당 결과를 저장하면 현재 연산의 위치인 GPU 디바이스 메모리에 저장된다. 최종적으로 연산 결과 처리의 확인 및 저장 등을 수행하기 위하여

tensor.to() 함수의 인수로 'cpu'를 적용하여 호스트 메모리로 다시 연산 결과를 전송한다.

지금까지 벡터의 합에 대한 GPU 병렬 연산을 CUDA C 프로그래밍 기반의 커널 함수 예제와 PyTorch의 Tensor 합 함수를 활용한 예제를 살펴보았다. 실제 효율성을 확인하기 위하여 벡터의 합을 반복문을 이용하여 수행하는 호스트 함수를 <그림 4-13>과 같이 작성하였으며 세 가지의 구현 방법을 10번 반복하여 평균 수행 시간을 측정하였다. 벡터의 합 연산은 매우 간단한 연산으로 각 방법의 수행 시간 차이를 확인하기 위하여 50,000,000의 차원을 갖는 벡터를 생성하여 수행 시간을 측정하였고 <표 4-5>에 정리하였다.

```
extern "C" void VecAdd_Host(float *A, float *B, float *C, int *N)
{
    int i, n = *N;
    for(i=0;i<n;i++) {
        C[i]=A[i]+B[i];
    }
}
```

<그림 4-13> 반복문을 이용한 벡터의 합 구현 예제 코드

<표 4-5> 벡터의 합 평균 수행 시간 비교

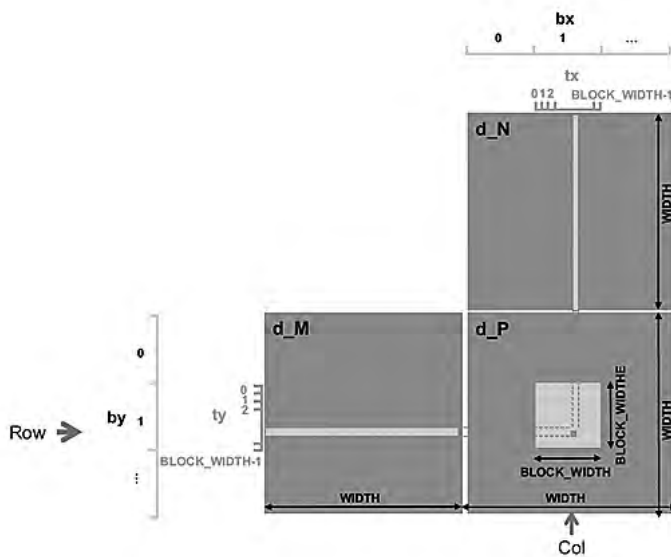
구현 방법	커널함수(GPU)	PyTorch(GPU)	반복문(CPU)
평균 수행 시간	0.0740	0.1957	0.1093
표준 편차	0.0005	0.0006	0.0003

10번의 반복을 통한 평균 수행 시간을 비교하면 커널 함수를 이용하여 직접 구현한 GPU 병렬 연산이 가장 빠르게 나타나며 호스트 함수로 단순히 반복문을 이용한 경우가 두 번째, 그 다음이 PyTorch로 구현한 경우이다. 이 경우는 PyTorch 자체의 Tensor 객체의 생성 시간이 포함되어 시간이 증가한 경우로 판단되며 Tensor 객체 정의 후 병렬 연산 자체는 효율적으로 수행된다. 따라서 대규모 병렬 처리 시 간단한 연산의 경우도 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 경우에 따라 직접적으로 커널 함수를 작성하여 병렬 처리를 수행하는 것이 보다 효율적일 수 있다.

4.2.2 두 행렬의 곱

4.2.1절에서 소개한 벡터의 합과 유사하게 본 절에서는 두 행렬의 곱에 대한 GPU 병렬 연산에 대하여 소개하고자 한다. 논의를 진행하기에 앞서 본 절에서 사용하는 표기 및 연산의 구조를 살펴보려고 한다. 본 절에서 연산의 대상인 두 행렬은 M 과 N 으로 정의하며 정방

행렬(square matrix)를 가정하고 각 차원은 n or WIDTH로 표기한다. 따라서 본 절에서 수행하고자 하는 연산은 $P = M \times N$ 의 행렬 연산이다. 행렬 연산을 연산의 결과인 행렬 P 의 원소별로 살펴보면 i 행 j 열의 원소인 P_{ij} 는 $P_{ij} = \sum_{k=1}^n M_{ik} N_{kj}$ 의 연산에 의해서 정의되며 P_{ij} 의 계산에는 M 의 i 행과 N 의 j 열의 데이터가 사용되며 각각의 P_{ij} 는 서로 영향을 주지 않으므로 정확하게 SIMD 병렬화 단계에 일치하는 연산이다. 따라서 각 P_{ij} 에 대한 연산을 각각의 스레드에 매칭하여 연산을 병렬적으로 수행할 수 있다. 4.2.1절의 벡터의 합에 예제와 다른 점은 P_{ij} 는 2차원의 인덱스를 지니므로 스레드 블록, 그리드의 차원 구조를 2차원 구조를 활용하는 것이 연산의 직관적 이해 및 구현에 용이함을 알 수 있다. 4.2.1 절에서 살펴본 Dim3 타입은 3차원의 구조체로 정의가능하며 블록당 스레드 및 그리드당 블록의 구조를 3차원까지 정의할 수 있으므로 스레드 연산 구조를 2차원에 쉽게 매핑할 수 있다. 이를 스레드 연산 구조로 도식화하여 <그림 4-14>에 제시하였다.



<그림 4-14> 두 행렬의 곱에 대한 병렬 연산 스레드 구조¹¹⁴⁾

<그림 4-14>에서 M , N , P 의 행렬이 디바이스 메모리에 저장되었음을 나타내기 위하여 d_M , d_N , d_P 로 표기하였다. P_{ij} 에서 i 행은 Row로 j 열은 Col로 나타냈으며 bx , by 는 2차원의 스레드 블록 구조에서 블록의 2차원 인덱스를 나타내며 tx , ty 는 2차원의 스레드 구조에서 각 스레드의 2차원 인덱스를 나타낸다. 따라서 실제 Row와 Col은 다음과 같이 정의된다.

114) Kirk, D. B. and Hwu, W. W. (2012). Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach, 2nd Ed., Morgan Kaufmann.

$$\text{Row} = \text{BlockWidth} \times \text{bx} + \text{tx}$$

$$\text{Col} = \text{BlockWidth} \times \text{by} + \text{ty}$$

따라서 실제 병렬 연산에서는 2차원 구조의 인덱스가 정의되어 2차원 스레드에 매핑되면 각 스레드는 Row와 Col의 정보를 통하여 행렬 M 과 N 의 연산에 해당하는 행, 열 데이터를 참조하여 연산을 수행한다.

이어서 4.2.1절에서 다룬 것과 같이 두 행렬의 곱에 대하여 커널 함수를 이용한 구현, PyTorch를 이용한 구현에 대하여 소개하고자 한다. 먼저 커널 함수를 이용한 직접적인 구현에 대하여 살펴본다. 앞서 살펴본 스레드 연산 구조를 기반으로 2차원 스레드 구조를 기반으로 연산을 수행하는 커널 함수 `d_MatMul()`을 작성하여 <그림 4-15>에 제시하였다.

```

__global__ void d_MatMul(float *M, float *N, float *P, int n)
{
    int i = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
    int j = blockIdx.y * blockDim.y + threadIdx.y;

    if ((i<n) && (j<n)) {
        float Pvalue = 0.0;
        for (int k = 0; k < n; ++k) {
            Pvalue += M[i*n+k]*N[k*n+j];
        }
        P[i*n+j] = Pvalue;
    }
}

```

<그림 4-15> 두 행렬의 곱에 대한 커널 함수

<그림 4-15>에서 보는 것처럼 행과 열에 해당하는 인덱스는 각 `blockIdx.x`, `blockIdx.y`, `blockDim.x`, `blockDim.y`, `threadIdx.x`, `threadIdx.y`를 이용하여 2차원으로 정의되었다. 앞서 살펴본 연산 구조에서 `BlockWidth`는 `blockDim.x`와 `blockDim.y`에 대응하며 `bx`와 `by`는 각각 `blockIdx.x`와 `blockIdx.y`에 대응한다. 스레드에 대한 인덱스인 `threadIdx.x`와 `threadIdx.y`는 `tx`와 `ty`에 대응한다. `d_MatMul()` 커널 함수는 연산의 대상인 행렬 M 과 N 을 인수로 받으며 반환 타입이 `void`인 커널 함수의 특성 상 연산 결과를 저장할 행렬 P 도 커널 함수의 인수로 설정한다. 현재 정방 행렬을 가정하고 구현을 진행하여 행렬의 차원은 n 의 인수로 받는다. 실제 연산에서 블록당 스레드의 차원의 배수로 n 이 정의되지 않으므로 메모리 참조 오류를 피하기 위해 IF문을 이용하여 행과 열의 연산이 차원의 값인 n 을 넘지 않도록 제한하였으며 각 행과 열에 해당하는 행렬 P 의 원소에 따라서 $\sum_{k=1}^n M_{ik} N_{kj}$ 의 연산이 수행된다. 반복문을 통한 누적합 계산이 수행되어 이를 저장하기 위한 `Pvalue` 변수를 도입하여 각 스레드가 연산 초기에 정의 및 초기화하도록 설정하였

고 최종 연산 결과인 Pvalue를 P_{ij} 에 저장하도록 구현하였다. 추가로 Python의 Numpy 모듈을 사용한다고 가정하여 Row-major 순서를 기반으로 포인터 변수를 통한 참조를 적용하였다. 즉, 배열이 저장되는 순서가 행기반으로 1행, 2행 이렇게 순차적으로 메모리에 배열이 저장되어 차원 정방 행렬 를 1차원 배열 인덱스로 접근할 경우 $i \times n + j$ 의 형태로 접근하게 된다.

이어서 커널 함수를 호출하는 호스트 함수 MatMul() 함수를 <그림 4-16>에 제시하였다.

```
extern "C" void MatMul(float *M, float *N, float *P, int *WIDTH)
{
    float *dM, *dN, *dP;
    int n = *WIDTH;
    size_t sz = n * n * sizeof(float);

    dim3 threadsPerBlock;
    dim3 blocksPerGrid;

    threadsPerBlock.x = 32;
    threadsPerBlock.y = 32;
    blocksPerGrid.x =
        ceil(float(n) / float(threadsPerBlock.x));
    blocksPerGrid.y =
        ceil(float(n) / float(threadsPerBlock.y));

    cudaMalloc(&dM, sz);
    cudaMalloc(&dN, sz);
    cudaMalloc(&dP, sz);

    cudaMemcpy(dM, M, sz, HTD);
    cudaMemcpy(dN, N, sz, HTD);

    d_MatMul<<<blocksPerGrid, threadsPerBlock>>>(dM, dN, dP, n);

    cudaMemcpy(P, dP, sz, DTH);

    cudaFree(dM);
    cudaFree(dN);
    cudaFree(dP);
}
```

<그림 4-16> 두 행렬의 곱의 커널 함수에 대한 호스트 함수

<그림 4-16>에 제시한 호스트 함수는 4개의 인수 M, N, P, WIDTH를 가지며 Python 으로부터 데이터를 받기 위하여 모두 포인터 변수로 정의되었다. 함수의 시작 부분에서는 커널 함수 호출을 위해 Python의 데이터를 디바이스 메모리로 복제하기 위하여 디바이스 메모리 할당을 위한 포인터 변수들 dM, dN, dP를 정의하였다. 또한 2차원의 스레드 및 스

레드 블록 구조를 정의하기 위하여 threadsPerBlock.x와 threadsPerBlock.y에 각각 32를 할당하였으며 blocksPerGrid.x와 blocksPerGrid.y에는 주어진 WIDTH를 각 블록의 스레드 차원으로 나누어 그리드당 블록의 수를 2차원 구조로 정의하였다. 단, 여기서 블록당 스레드를 2차원으로 구성하면서 32를 적용한 이유는 최근 GPU 디바이스는 블록당 최대 스레드의 수를 1024개로 제한하고 있어 제약 조건을 만족하면서 최대의 스레드 사이즈를 구성하기 위하여 각 블록당 스레드 차원의 수를 32로 설정하였다. 이후 코드는 벡터의 합 예제와 동일하게 cudaMalloc()을 이용하여 디바이스 메모리 할당과 cudaMemcpy()를 이용하여 호스트 메모리에서 디바이스 메모리로 데이터 전송을 수행하였고 정의한 스레드 구조 변수들을 이용하여 커널 함수를 수행하였다. 모든 연산이 종료되면 디바이스 메모리의 연산 결과를 호스트 메모리로 전송하고 디바이스 메모리 할당을 해제하여 함수를 종료하게 된다. 4.2.1절에서 제시한 전처리 부분을 동일하게 구성한 뒤 <그림 4-15>와 <그림 4-16>에서 제시한 코드를 하나의 코드로 matmul_kernel_f.cu에 저장하였다고 가정한다. 4.2.1절에 제시한 nvcc 명령어 예시를 이용하여 동적라이브러리 matmul_kernel_f.so로 생성한다. 생성된 동적라이브러리를 활용하여 두 벡터의 합의 예제와 동일하게 Python의 ctypes 모듈을 이용하여 두 행렬의 곱을 병렬적으로 연산할 수 있다. Python에서

```

from ctypes import *
import numpy as np

libc_matmul32 = CDLL("./matmul_kernel_f.so")
matmul32 = libc_matmul32.MatMul
matmul32.restype = None
matmul32.argtypes = (POINTER(c_float), POINTER(c_float),
                     POINTER(c_float), POINTER(c_int))

np.random.seed(2022)
n = 500
A = np.random.randn(n,n).astype(np.float32)
B = np.random.randn(n,n).astype(np.float32)
C = np.zeros_like(A).astype(np.float32)

N = A.shape[0]
N_c = c_int(N)
c_int(N)
A_cr = A.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))
B_cr = B.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))
C_cr = C.ravel(order='C').ctypes.data_as(POINTER(c_float))

matmul32(A_cr, B_cr, C_cr, N_c)

```

<그림 4-17> 두 행렬의 곱에 대한 커널 함수 호출 Python 코드

구현된 커널 함수와 호스트 함수를 이용하여 GPU 병렬 연산을 수행하는 Python 예제 코드를 <그림 4-17>에 제시하였다.

두 행렬의 곱에 대한 커널 함수 기반 GPU 병렬 연산도 벡터의 합에서 제공한 Python 예제 코드와 동일한 구조로 실행된다. ctypes 모듈의 사용 편의성을 위하여 from ctypes import * 구문을 먼저 실행하였으며 Numpy 모듈의 이용을 위하여 import numpy as np 구문을 실행하였다. 이후 ctypes.CDLL() 함수를 이용하여 동적라이브러리로 정의된 matmul_kernel_f.so를 로드한 뒤 커널 함수를 호출하는 MatMul() 함수를 matmul32의 이름으로 정의하였다. 두 벡터의 합 예제와 동일하게 restype 및 argstype을 설정하였으며 데이터 생성은 numpy.random.randn() 함수를 활용하여 표준정규분포에서 생성하였다. MatMul() 함수의 인수를 ctypes의 데이터 타입과 호환되도록 N_c, A_cr, B_cr, C_cr을 정의하여 matmul32 함수의 인수로 전달하여 GPU 병렬 연산을 수행하였다.

다음으로 두 행렬의 곱을 PyTorch를 이용하여 구현하는 방법에 대하여 <그림 4-18>에 제시하였다. PyTorch를 활용한 두 행렬의 곱은 두 벡터의 합과 동일하게 PyTorch에서 직접 구현된 함수를 제공하므로 torch.add() 함수를 torch.matmul() 함수로 변경만 하면 되므로 매우 간단하게 구현할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 함수의 변경 외에는 벡터의 합 예제와 동일하므로 각 코드의 자세한 설명은 생략한다.

```
import numpy as np
import torch
np.random.seed(2022)
n = 500
A = np.random.randn(n,n).astype(np.float64)
B = np.random.randn(n,n).astype(np.float64)
dA = torch.tensor(A).to('cuda:0')
dB = torch.tensor(B).to('cuda:0')
dC = torch.matmul(dA,dB)
C = dC.to('cpu')
```

<그림 4-18> 두 행렬의 곱에 대한 PyTorch 예제 코드

4.2.1절과 동일하게 GPU 병렬 연산의 효율성을 확인하기 위하여 두 행렬의 곱에 대한 순차적 계산을 진행하는 호스트 함수를 <그림 4-19>와 같이 작성하고 matmul_host.so로 동적라이브러리를 생성하였다.

```
extern "C" void MatMul_Host(float *M, float *N, float *P, int *WIDTH)
{
    int i,j,k,n = *WIDTH;
    float Pvalue = 0;
    for(i=0;i<n;i++) {
        for(j=0;j<n;j++) {
            Pvalue = 0;
            for(k=0;k<n;k++) {
                Pvalue += M[i*n+k]*N[k*n+j];
            }
            P[i*n+j] = Pvalue;
        }
    }
}
```

〈그림 4-19〉 두 행렬의 곱에 대한 순차적 계산 호스트 함수

두 행렬의 곱에 대한 순차적 계산의 예시 코드를 보면 행렬의 경우 순차적으로 계산하기 위하여 모든 행과 열에 대한 반복을 위한 반복문이 2중으로 구성되어 있으며 각 행렬의 원소를 계산하기 위한 반복문이 추가로 구성되어 3중 구조의 반복문이 수행됨을 확인할 수 있다. 이와 비교하여 GPU 병렬 연산은 각 원소별 병렬적으로 연산이 수행되므로 병렬 연산으로 인한 효과가 매우 크게 나타나리라 예상할 수 있다. 이를 수치 실험을 통하여 확인하기 위하여 WIDTH를 2500으로 설정하고 10번 반복을 통하여 평균시간을 계산하여 〈표 4-6〉에 제시하였다.

〈표 4-6〉 두 행렬의 곱에 대한 평균 수행 시간 비교

구현 방법	커널함수(GPU)	PyTorch(GPU)	반복문(CPU)
평균 수행 시간	0.1280	0.0174	60.3950
표준 편차	0.0167	0.0045	0.9223

〈표 4-6〉에서 확인할 수 있는 사항은 두 행렬의 곱의 경우 예상한 것과 동일하게 GPU 병렬 연산의 효과가 매우 크게 나타나는 것을 확연히 볼 수 있다. 크기 2500의 정방 행렬의 원소의 수는 625만개로 해당하는 원소들을 모두 순차적으로 계산할 경우 CPU의 경우는 평균적으로 60초의 수행 시간이 소요되었으나 GPU 병렬 연산의 경우 커널 함수 활용 시 약 0.1초 PyTorch 활용 시 약 0.02초로 매우 짧은 시간 내에 연산이 완료됨을 확인할 수 있다. 벡터의 합과 다르게 두 행렬의 곱에서 PyTorch가 매우 빠르게 연산이 되는 것은 인공지능망 모형의 특성 상 각 노드와 층의 연산에서 대부분 행렬의 곱이 연산되므로 두 행렬의 곱에 대한 연산의 최적화가 매우 잘 이루어져 있는 결과라 예상되며 커널 함수로 직접 구현한 경우에는 여러 속도 향상을 위한 절차들을 생략하고 간단하게 작성한 예제이므로

상대적으로 느리게 나타났다고 볼 수 있다. 실제 행렬의 곱은 NVIDIA에서 제공하는 라이브러리 중 cuBLAS 라이브러리를 활용하면 더욱 빠르게 연산할 수 있음을 Cho 등 (2022)에서 보였다.¹¹⁵⁾

지금까지 선형 대수적 연산을 GPU를 활용한 병렬 연산으로 구현하는 것에 대하여 살펴 보았으며 두 행렬의 곱의 연산은 PyTorch가 인공지능망 모형의 효율적 연산으로 최적화가 잘 되어 있어 가장 효율적이고 구현이 용이함을 확인하였으며 두 벡터의 합의 경우에는 상대적으로 커널 함수를 활용한 구현이 더 효율적임을 확인하였다. 대체적으로 PyTorch를 이용한 GPU 병렬 연산이 구현의 용이성 측면에서 더 선호될 것이라 예상되나 대규모 병렬 처리에서 효율성을 극대화하는 측면에서는 해당 문제에 최적화된 커널 함수를 구현하여 처리하는 것도 충분히 고려할 수 있을 것이라 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 4차 산업혁명 기술을 활용하여 군사적 혁신을 추진하고 있는 국방분야에 대해 충분한 학습 데이터의 확보 방안 및 학습 데이터를 가능한 효율적으로 활용하는 방안 에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 데이터 증강 기법에 대한 상세한 설명, 최신 인공지능 방법 중 하나인 연합학습에 대한 이론과 배경, 민간 및 군사적 적용 사례, GPGPU에 대한 연산방법에 대한 구현을 제시하였다. 데이터 증강은 딥러닝 학습간 데이터의 부족 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 기법으로 본 연구에서는 많은 활용이 가능한 영상인식 분야의 데이터 증강 기법에 대해 설명하였다. 연합학습 시스템을 적용하여 멀티-무인항공기 네트워크를 구성하여 지상의 지휘소에서 다수의 무인항공기를 통제하는 연구사례를 소개하고, 육군의 차세대 과학화경계시스템에 적용이 가능한 연합학습 적용 아키텍처와 개념을 구체적으로 설명함으로써 군사적 적용 방안을 고찰하였다. GPGPU에 대한 연산방법에 대한 연구는 병렬연산이 필요한 많은 국방 분야에 GPU 활용을 독려할 수 있다. 인공지능 모델 적용을 고려하는 정부를 비롯한 글로벌 기업에서조차 학습 데이터의 부족과 효율적 사용은 매우 중요한 문제이며 알고리즘의 개발만큼 연산속도의 향상도 함께 다루어져야 하는 주제인 점을 고려하면 본 연구에서 다룬 3가지 소 주제들은 시대적 흐름상 적절한 것이라 사료된다. 이러한 이유로 이 소 주제들은 다양한 국방분야에 적용을 염두하고 정책, 기술적으로 좀 더 심도깊은 검토와 연구가 필요할 것이다.

115) Cho, Y., Kim, J., and Yu, D. (2022). "Comparative study of CUDA GPU implementations in Python with the fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for LASSO", IEEE ACCESS.

본 연구의 특성상 국방에 필요한 학술이론 중 미래 중요한 연구주제를 검토하는데 집중하기 위하여 군의 적 장비 및 시설 영상 자료 획득 수준에 대한 현황 분석을 기반으로 실제 인공지능 기반의 모델에 적용을 검증 및 평가하고 군의 소요기술 확보방안을 제시하는 것은 추가적인 연구로 남긴다. 아울러 데이터증강에 대한 구체적인 군사적 적용방안을 제시하는 것은 적용사례에 따라 방법과 알고리즘의 차이가 상당할 것이므로 이에 대한 구체적인 분석결과 제시 또한 향후 연구로 남긴다.

증거(Evidence) 기반의 정책 평가 방법론

국방대학교 교수 **윤봉규·이춘주**

국방대학교 박사과정 **이원재·남광식**

- I. 서론
- II. 마코비안 모형 기반 정책평가 방법
- III. R활용 마코비안 기반 정책 평가 방안
- IV. 결론

요약

증거 기반의 정책(Evidence Based Policy)은 증거 기반 의학(Evidence Based Medicine)에서 시작해서 경제, 복지를 포함한 각종 정부 정책 분야로 확장된 개념이다. 증거 기반의 정책은 “큰 규모의 영향을 미치는 의사결정은 정책의 실행(Delivery)과 관리가 증거에 기반해야 한다(Oliver et al., 2014)”는 일종의 사상이자 Magenta Book(HM Treasury, 2000), 통계기반정책평가지침(통계청, 2022) 등과 같이 다양한 지침과 절차를 포함한 실질적인 정책 집행 방법이기도 한 광범위한 스펙트럼을 가진 개념이다. 증거 기반의 정책은 실증적이고 객관적인 증거를 요하기 때문에 증거 기반의 정책평가와 동전의 양면과 같다. 광범위한 스펙트럼에 불구하고 증거 기반의 정책/평가를 한마디로 정의한다면, 정책을 수립하고 집행하는 과정에서 전반적으로 합리적이고 과학적인 실증 증거에 기반해서 의사결정을 내림으로써 정책의 효과를 높이는 방법으로 요약할 수 있다.

과학적인 의사결정을 통해 정책 효과를 높이는 것에 반대할 사람은 한 사람도 없겠지만, 기술 변화에 따라 정책평가 환경이 변화하고 증거 기반 정책에 대한 다양한 이해가 존재해 방법론의 선택에서 방법론 적용의 깊이에 이르기까지 다양한 스펙트럼이 존재한다. 그 결과 정책평가 결과가 적극적으로 활용되는 살아 있는 지침이 되지 못하고 통과 의례가 되거

나, 의도에 따라서 평가 결과의 편차가 클 개연성이 존재한다. 본 연구에서는 증거 기반의 정책평가 방법론이 가진 문제를 살펴보고 이를 개선할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 우선 증거 기반의 정책의 개념을 간단히 살펴보고, 증거 기반의 정책 평가 방법론에 관심을 가지게 만든 최근의 정책 환경 변화에 대해서 살펴보자.

4차 산업혁명과 빅데이터로 대표되는 여러 기술의 발전으로 컴퓨팅 비용이 극적인 수준으로 감소했고, 이는 컴퓨팅 환경의 분산으로 이어졌다. 스마트폰의 확산은 컴퓨팅 환경 분산의 대표적 사건이자 자료 축적과 분석/종합 차원에서 새로운 변화를 더욱 가속하는 결정적 요소이기도 하다. 스마트폰으로 축적되는 자료의 특성에서 알 수 있듯이 낮은 비용의 분산된 컴퓨팅 환경은 관심 대상의 변화(활동)를 거의 실시간으로 기록하거나 과거에 비해 획기적으로 낮은 비용으로 활동에 관한 자료를 수집할 수 있는 환경을 만들었다. 다양한 시계열 자료 수집이 용이해진 것이다.

시계열 자료는 시간에 따른 변화를 나타내는 자료이므로, 정적인 횡단면(Cross-sectional) 자료와는 달리 관심 대상의 동적인 변화를 추적할 수 있으나, 분석을 위한 기초지식과 이론적 배경을 습득하는 것이 상대적으로 어렵다. 시계열 분석(Time-series Analysis)이 선형회귀모형(Linear Regression Model)이나 기초통계의 수준을 넘어선 기법이라는 점은 이를 명시적으로 보여준다. 그러나 시계열 자료는 정적인 횡단면 자료를 통한 분석과는 달리 현실의 동적인 특징을 담고 있다는 점에서 정책 효과에 대한 이해와 효과 예측의 수준을 한층 높일 수 있다.

동적 시계열 자료가 있음에도 불구하고, 분석 기법에 대한 이해의 어려움으로 인해서 이를 활용하지 않는 것은 어두운 골목길에서 무언가를 찾을 때 가로등 불이 켜진 부분만 열심히 찾다가 끝내 원하던 것을 찾지 못하고 골목을 떠나는 안타까운 상황과 같다. 정책 효과를 높일 수 있는 가능성을 있음에도 제대로 활용하지 못하는 안타까운 상황이 되는 것이다. 결국 문제는 시계열 자료의 동적 특징을 활용하면서 동시에 실무에서 활용 가능할 정도로 난이도가 높지 않은 정책평가/분석 방법론이 있는가이다.

한편, 증거 기반 정책 의사결정은 정책 의사결정 과정의 특징으로 인해서 책임과 소통을 문제를 야기한다. 정책은 목표와 수단이 분명한 객관적이고 투명하게 진행될 수 있는 행위일 것이라고 생각할 수도 있겠지만, 실상은 다양한 요소와 이해관계가 난마처럼 얽혀 있는 복잡한 과정이다. 특히 정책 의사결정을 수행하는 사람과 이에 대한 근거를 분석하고 연구하는 연구자 사이의 관계가 매우 복잡해서 이를 복잡계 이론(Complexity Theory)로 분석해야 한다는 주장이 나올 정도로 복잡한 문제가 얽혀 있다(Smith and Joyce, 2012). 이런 주장을 그대로 받아들이지는 않더라도 정책은 경험과 전문성, 판단, 가용한 자원, 가치, 전통, 이익집단, 현실적 상황 등의 다양한 요소들이 정책이 가져올 변화에 대한 객관적 증거

와 상호작용한 결과로 나타나는 것(Davies, 2004)이므로 단순히 과학적 분석 결과가 그대로 채택되기를 기대하기는 어렵고 분석 결과가 채택될 수 있는 추가적인 노력이 필요하다.

객관적이고 과학적인 분석을 통해 도출한 결과를 활용한다면 정책의 성공 가능성을 높일 수 있다는 주장에 동의한다면 이제 문제는 복잡한 정책 의사결정 과정에서 과학적 분석 결과들이 경시되거나 비중 있게 다루이지 못하는 이유를 찾아 이를 개선하는 것이 증거 기반의 정책/평가 방법론을 확산하고 이를 통해 정책의 가시성과 성공 가능성을 높이는 출발점이 될 것이다. 이런 맥락에서 본 연구는 변화된 정책 환경과 정책결정 과정의 책임과 소통의 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 정책결정자들이 이해하기 쉽고, 전문가들과 논의 과정에서 방법론 상의 난해함으로 인해서 논의의 초점을 잃지 않을 수 있는 증거 기반의 정책평가 방법론을 제시하고, 이를 활용하여 정책의 특징을 파악하고 그 효과를 예측하는 방법을 살펴보고자 한다. 결론적으로 시계열 자료의 동적특성을 분석하면서도 정책결정자들이 직접 활용할 수 있는 증거기반의 정책평가 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위해 I장에서는 증거 기반 정책 평가 방법론이 지향해야 하는 바를 기존 연구와 더불어 살펴봄으로써 본 연구에서 제시하는 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론의 의의를 개념적으로 살펴보고, II장에서는 새로운 증거기반의 정책평가 방법론인 마코비안 모형 기반 정책 평가 방법론을 상세하게 살펴본다. III장에서는 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론을 실무에서 쉽게 활용할 수 있도록 R 코드로 구현하는 방안을 사례와 함께 제시한다. 이를 통해 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론을 현실 문제에 적용하는 과정을 살펴봄으로써 현실 응용 가능성과 더불어 응용시 발생할 수 있는 여러 문제에 대해서 살펴볼 수 있는 기회를 제공한다.

I. 서론

1. 연구배경 및 필요성

금융위기에 대한 경고로 유명한 나심 탈레브(2019)는 금융위기, 중동의 분쟁 지속 등 다양한 사회 문제가 의사결정자가 책임을 지지 않는 현재의 시스템에서 비롯된다고 갈파하며, 권한과 책임의 불균형으로 인해 다양한 분야에서 발생한 문제를 분석했다. 그가 인용한 “말을 하는 사람은 행동해야 하고, 오직 행동하는 사람만이 말을 해야한다”는 경구에서 드러나듯이 책임을 지지 않는 예측이나 분석은 신뢰하기 매우 어렵다는 것이 나심 탈레브의 주장의 핵심이다. 이 문제는 증거 기반의 정책평가에서도 지속적으로 제기되어온 문제이다. 정책에 대한 직접적 책임을 지는 정책결정자와 정책의 효과만을 분석하는 전문가/연

구자 사이의 권한과 책임의 불균형과, 여기에서 비롯되는 객관적 증거에 대한 인식의 차이는 증거 기반의 정책평가 방법론 확산의 근본적인 문제이다.

의사결정자와 전문가/연구자 사이의 정책과 관련된 증거에 대한 인식 차이로 인해서 정책이 객관적 증거에 기반하지 못할 수 있다는 주장은 Weiss(1980) 이후에 다양한 연구자에 의해서 제기되었다(Oliver et al., 2014). 또한, 증거에 대한 인식은 문화적 맥락과 분야별 특징에 따라서도 달라질 수 있다(Lorenc et al., 2014). 이런 다양한 인식의 차이는 증거의 객관성과 비증에 대해서 천차만별의 해석으로 이어질 수 있고, 그 결과는 증거의 신뢰성 저하로 이어질 수 있다.

정책은 한 번에 실행되고 변화를 추구하는 것도 있지만 대부분 장기간에 걸쳐서 실행되고 여러 이해 관계자들의 의사결정이 모여서 이루어지는 것이 대부분이므로, 정책결정은 협상의 과정으로 볼 수도 있다(Kingdon, 2010). 이런 맥락에서 증거 기반의 정책평가를 위한 방법론은 전문가/연구자 사이의 인식의 차이나 문화적 맥락과 분야별 특성으로 인한 편차를 최소화할 수 있어야 한다. 그래야만 정책결정과정에서 다양한 이해관계자들의 건설적인 토론과 합의를 위한 기반을 제공할 수 있을 것이다.

책임과 권한의 불균형과 문화적 배경을 포함한 다양한 요인의 영향으로 발생할 수 있는, 객관적 증거에 대한 가치 부여와 관련된 인식의 차이를 극복하기 위해서는 정책결정자들이 직접 정책에 대한 증거를 확인할 수 있거나, 전문가/연구자들이 제시하는 정책효과를 분석하는 방법론을 정책결정자가 속속들이 이해할 수 있어야 한다. 이를 위해 증거 기반의 정책평가 방법론이 가져야 할 특징은 1)배경이론의 난이도가 일정수준을 넘어서지 않으면서, 2)빅데이터로 축적된 시계열 데이터를 활용해서 정책의 동적 특징을 파악할 수 있어야 하며, 3)다양한 상황에 유연하게 적용 가능한 범용성을 갖추는 것으로 요약할 수 있다.

1)난이도와 2)동적 특징 파악은 정책 환경이나 빅데이터 축적 방식의 변화를 수용하기 위해서는 직접적으로 필요한 속성이지만, 3)다양한 상황에 적용할 수 있는 범용성은 약간의 설명이 필요하다. 정책평가 때마다 새로운 방법론을 사용해야 한다면, 난이도와 동적 특징 파악이라는 속성을 만족하는 방법론이라고 하더라도 상황에 따라 매번 다른 방법론에 대한 이해가 필요한 상황으로 이어진다. 이는 정책결정자들이 전문가/연구자의 연구결과를 충분히 이해하기 어렵게 만드는 장벽으로 작용할 수 있다.

매번 새로운 방법론을 활용해야 상황을 약간 과장해서 말하자면, 방법론상의 표준이 없는 것과 마찬가지이다. 정부 정책평가의 특성상 법이나 지침으로 표준화가 필요할 것은 자명하므로, 표준화되지 않은 방법론을 표준화된 지침으로 만들면 일반적인 지침에 그치게 될 가능성이 크다. 이는 분석하는 상황과 사람에 따라서 분석결과와 품질 편차가 클 가능성이 높아진다. 분석 결과의 품질 편차는 증거의 신뢰도에 중요한 요소이므로 3)유연한 범용

성은 증거 기반의 정책평가 방법론의 중요한 속성이다.

본 연구에서는 위에서 제시한 세 가지 속성을 가지는 정책평가 방법론을 제시하고 이를 통해 객관적 증거에 기반하여 정책을 수립하고 실행할 수 있는 기반을 강화하고자 한다.

2. 기존 연구 분석

정책결정 과정에서 토론과 합의를 위한 기반이 될 수 있는 증거 기반의 정책평가 방법론에 대한 기존 연구는 크게 1)증거 기반 정책의 개념과 더불어 정책의사결정자와 전문가/연구자 사이의 인식 차이를 비롯한 증거 기반의 정책의 방법론 상의 이슈에 대한 연구와 2) 증거 기반의 정책효과 평가 방법론을 활용하여 구체적인 정책을 분석한 연구로 구분할 수 있다.

증거 기반 정책의 기본 개념은 Pawson(2006), Justine(2017)이 기존의 논의를 정리해서 설명하고 있으며, Sohrabi and Zarghi(2015)는 증거 기반의 정책이 공공분야 뿐 아니라 민간 분야까지 확장시킬 수 있는 보편성 있는 방법론임을 밝히면서 증거 기반 정책평가의 개요를 비교적 쉽게 정리했다. 증거 기반 정책의 문제점과 실증적 자료를 이용한 연구 결과의 신뢰도 문제를 다루는, 방법론 상의 이슈에 관한 연구는 Cartwright and Hardie(2012), Pawson(2002), Oliver et al.(2014)에 상세히 정리되어 있다. 한편, 최근 기존 데이터와 수집 방식, 특성 등이 다른 빅데이터를 활용할 때 나타나는 기존의 증거 기반 정책평가 방법론의 한계에 초점을 맞춘 논의가 Dunleavy (2016)에 제시되어 있으나 개선 방안을 구체적으로 제시하기 보다는 문제점을 파악하고 있는 수준이다. 방법론과 관련된 이슈에 대한 국내 연구는 김선영(2020), 이도연&김근환(2021), 이진(2012), 유종성외(2020), 최지현(2021)과 같이 증거 기반 정책을 국내 현실에 맞추어 적용하기 위한 방안에 초점을 맞추고 있다.

증거 기반 정책평가 방법론을 활용한 구체적인 사례 연구는 정책 환경이나 증거 기반 정책에 대한 인식이 국가별로 차이가 있는 점을 고려해서 국내 연구를 중심으로 <표 1>과 같이 살펴보았다. <표 1>는 사례 연구에서 활용한 방법론을 기준으로 국내의 증거 기반의 정책평가 관련 연구를 살펴본 것으로, 다양한 분야에서 분석 방법론을 명시적으로 제시한 정책평가 관련 연구결과를 정리한 표이다.

〈표 1〉 정책평가 관련 국내연구

방법론 범주	연구	구체적 방법론
도메인/물리 모형	<ul style="list-style-type: none"> - 이소진&함수한(2020) - 중소기업청(2016) - 정규진외(2012) - 강민석 (2010) - 금재호외(2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 분석 모형 - 산업연관분석/DEA - 시뮬레이션 - 자본시장 모형 - 거시경제모형/시뮬레이션
통계모형(회귀분석)	<ul style="list-style-type: none"> - 한국은행(2022) - 장우현(2020) - 조영미외(2015) - 손종철(2010) - 김윤영&이종은(2012) - 김우영&김현정(2010) 	<ul style="list-style-type: none"> - 회귀분석 - 회귀분석 - 회귀분석 - 베이지언 VAR - VAR 모형 - 패널 프로빗(Probit) 모형
비용/편익분석	<ul style="list-style-type: none"> - 김병찬&안단(2021) - 오수영&이향숙(2021) - 이병권외(2019) - 김진모외(2018) - 이호준외(2015) 	<ul style="list-style-type: none"> - 간단한 효과추정식 - 시뮬레이션 - 물리모형 기반 경제적 효과 추정 - 내부수익률 기반 추정 - WBS 구조의 비용추정
기타(사례 비교 연구 등)	<ul style="list-style-type: none"> - 김동욱외(2017) - 김병배(2017) - 오병돈&김기현(2013) - 농림축산부(2015) - 우제운외(2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - 사례 비교 - 현황 조사 - 설문 조사 - 경제적, 비경제적 효과 - WBS 구조의 효과추정

정책평가 관련 기존 연구를 통해, 경제(한국은행;2022, 중소기업청;2016, 금재호 외;2005, 장우현&강희우;2020), 사회(이병권외;2019, 김진모외;2018, 조영미외;2015, 농림축산부;2015), 복지(이소진&함수한;2020, 강민석;2010), 국방(김병찬&안단;2021, 이호준외;2015, 우제운외;2005) 등의 다양한 정책 분야에서 정책효과에 대한 실증적 연구를 바탕으로 증거 기반의 정책을 수립하고 실행하려는 노력을 경주하고 있음을 확인할 수 있었다. 방법론 측면에서는 분야별 배경 이론에 기초한 도메인 모형을 활용하는 연구, 회귀 분석에 기초한 통계적 기법을 활용하는 연구, 비용/편익 분석이라는 이름으로 다양한 계량 기법을 활용하는 연구, 설문과 문헌조사에 근거한 사례 비교 연구로 범주를 나눌 수 있었다.

기존 연구를 통해 다양한 분야에서 증거 기반의 정책평가가 진행되고 있으며, 다양한 방

방법론이 활용되고 있음을 확인할 수 있었다. 다만, 정책결정자가 직접 연구에 참여한 경우는 드물고 대부분 학술적인 연구를 중심으로 논의가 진행되고 있다는 점에서 정책결정자와 연구자의 괴리 문제를 포함한 증거 기반의 정책 관련 연구가 가지고 있는 문제는 국내에도 존재할 가능성이 높다는 점과, 앞서 언급한 쉽고 동적 분석이 가능한 범용성 있는 방법론을 발굴하는 것이 가치가 있다는 점을 확인할 수 있었다.

지금까지 살펴본 기존 연구를 통해 통계모형의 범주에 들어가는 연구외에는 분야와 연구 주제에 따라서 사용하는 방법론의 종류가 다양하고, 분석의 수준도 단순한 사례 비교에서 벡터자기회귀모형(VAR)과 산업연관분석과 같은 다양한 가정과 전문적인 배경지식이 필요한 연구까지 스펙트럼이 다양하다는 점을 확인할 수 있었다. 비교적 유사한 방법론을 사용할 것 같은 통계 모형의 경우에도 계량경제학에서 사용하는 여러 기법들을 사용해서 하나의 범주로 묶기에 주저할 정도로 방법론의 종류가 다양했으며, 비용/편익 분석은 제목과 키워드는 모두 비용/편익분석이지만 재무적인 기법부터 단순한 산식에 기초한 효과 추정에 이르기까지 방법론의 스펙트럼이 가장 넓었다. 또한, 도메인/물리모델은 도메인 지식에 기초하는 방법론이라서 방법론의 동질성을 기대하는 것 자체가 어려운 일이었다. 결론적으로 기존의 증거기반의 정책평가 방법론은 배경이론의 난이도가 높고, 방법론의 범용성이 낮았다. 한편, 시계열 데이터를 활용한 동적인 정책평가는 손종철(2010), 김윤영&이종은(2012), 김우영&김현정(2010)이 있었으나, 주로 경제학 분야의 계량경제적 기법을 사용해서 실제 현장의 정책결정자가 쉽게 활용하기에는 진입장벽이 있는 아쉬움이 있었다.

3. 연구방법 및 기대효과

실증적인 증거 기반의 정책평가를 통해 정책의 효과를 극대화하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 증거 기반 정책과 관련된 책임과 권한의 불균형, 정책 환경의 변화와 같은 다양한 사항을 수용할 수 있는 방법론이 필요하다. 본 연구에서는 앞서 연구목표에서 제시한 증거 기반의 정책평가 방법론의 중요한 속성인 1)적절한 난이도, 2)정책의 동적 특징 반영, 3)범용성 이라는 세가지 속성을 충족할 수 있는 방안으로 이산시간 마코비안 체인(Discrete-time Markov Chain)에 기반한 정책평가 방법론을 제시하고 한다.

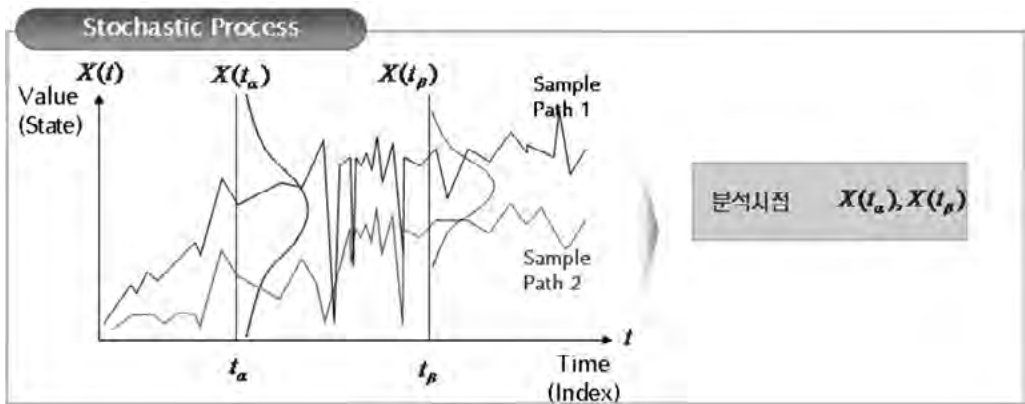
확률적으로 변화하는 현상을 확률과정(Stochastic Process)이라고 하며, 마코프 체인(Markov Chain)은 확률과정을 모형화하고 분석하기 위한 방법론이다. <그림 1>은 확률과정을 표현한 것으로 x축은 시간의 변화를 y축은 분석 대상이 되는 현상의 상태를 나타낸다. 정책의 결과 또한 다양한 요소의 영향으로 불확실성을 띄며 확률적으로 변화하기 때문에 일종의 확률과정이라고 할 수 있으므로 마코프 체인으로 분석 가능하다.

마코프 체인(Markov Chain)은 미래의 사건(Event) 발생이 과거의 이력 (History)과는 무관하게(Independent) 현재의 상태(State)에 의해서만 결정된다는 무기억속성(Memoryless) 가정에 기초하여 <그림 1>과 같이 복잡한 동적인 현상을 비교적 쉽게 모델링하는 방법론으로 확률모형 방법론의 가장 기본적이고 중요한 방법론이다(윤봉규, 2009a). $X(t)$ 를 시점 t에서 확률과정의 상태(정책의 결과)라고 하고, $P\{A|B\}$ 를 B라는 조건하에서 A가 일어날 확률로 정의하면, 이산시간 마코프 체인은 다음을 만족하는 경우를 일컫는다(윤봉규, 2009b).

$$P\{X(t+1) = j | X(t) = i, X(t-1) = i_{t-1}, \dots, X(1) = i_1, X(0) = i_0\} \quad (2.1)$$

$$= P\{X(t+1) = j | X(t) = i\}$$

(단, i_s 는 시점 s의 확률과정의 상태)



<그림 1> 확률과정(정책효과)의 변화(윤봉규, 2009a)

식 (2.1)을 만족하는 확률과정을 무기억속성 혹은 마코프속성(Markovity)를 가진다고 하며, 이런 현상은 마코프 체인을 활용하여 $X(t)$ 의 동적인(Dynamic) 변화를 채프만-콜모고로프 방정식(Chapman-Kolmogov Equation)을 이용하여 행렬의 단순한 곱으로 분석 가능하다. 즉, 정책효과의 동적변화를 단순한 행렬의 곱으로 구할 수 있다. 그 결과 시점 별 정책효과를 평가할 수 있고, 오랜 시간이 지난 후의 정책의 결과가 포함된 구조적인 변화를 안정상태(Steady State) 분석을 통해 확인할 수 있다.

마코프체인은 <그림 1>에서 알 수 있듯이, 기본적으로 시간에 따른 상태의 동적변화를 분석하기 위한 방법론이다. 또한, 고등학교 교과서에도 소개될 정도로 개념적으로 이해하기 쉬운 이론에 기초하고 있으며, 기초확률론의 중요한 방법이다(Ross, 2019). 이런 맥락에서 1)방법론의 난이도와 2)정책의 동적 특징 분석 측면에서 장점을 가지고 있다. 한편, 마

코프 체인은 상태 변화에 초점을 맞추는 분석 방법론이므로 정책이 의도하는 결과를 측정하기만 한다면 어떤 분야의 정책에도 적용할 수 있는 3) 범용성을 가지고 있다. 본 연구에서는 마코프 체인이 가진 방법론 상의 특징을 좀 더 상세히 살펴보고 이를 정책평가에 활용할 수 있음을 보일 것이다.

구체적으로는 마코프 체인을 활용하여 다음과 같은 정책평가 방안을 제시하고자 한다. 첫째, 전이확률의 동일성 검정을 활용하여 정책개입 이전의 일정 기간 동안의 전이 구조가 정책 개입 이후에 변화했는지를 평가함으로써 정책의 단기적인 성과를 평가하고자 한다. 둘째, 극한확률(Limiting Probability)을 활용하여 정책 개입 이전 일정 기간 동안의 변화를 기반으로 계산한 확률과정(정책결과)의 안정상태(Steady State)와 정책 개입 이후 안정상태 비교를 통해 장기적으로 정책의 효과가 어떻게 나타났는지 평가하고자 한다. 셋째, 고유치(Eigen Value) 분석을 통해 확률과정(정책결과)이 안정화 되는 기간을 측정하여 정책 개입의 효과가 구조적으로 안착하는 기간을 예측하고자 한다.

한편, 정책효과 분석 결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 방법론의 주요 가정에 대한 검증이 반드시 필요하다. 기존의 정책평가 방법론은 방법론의 기본 가정을 평가하기 어렵거나 (예: 비용/편익 분석의 세부 항목간의 독립성), 가정이 숨어 있어(예: 회귀분석의 정규성) 결과에 대한 신뢰도를 확신하기 어려운 경우가 발생할 수 있었다. 본 연구에서 활용하고자 하는 마코프 체인은 무기억속성 또는 마코프속성(Markovity) 가정이 가장 기본적인 가정이자 유일한 가정이다. 따라서 이를 확인하기만 하면 방법론 상의 숨겨진 가정이 없는 가시성 높은 방법이다.

II. 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론

마코비안 모형 기반 정책 평가 방법론은 마코프체인의 동적인 특징과 카이제곱검정 (Chi-square Test)을 확장한 마코비티 검정을 기반으로 이루어져 있으므로 본 장에서는 두 개념을 중심으로 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론을 살펴본다.

1. 마코프체인의 동적 특징

1) 마코프체인 분석법과 특징

쉽고, 동적 특징을 분석 가능하면서, 범용성을 갖춘 마코비안 모형 기반 정책 평가 방법론은 마코프 체인을 이론적 기반으로 삼는다. 마코프체인은 앞 장에서 간략히 소개한 바와

같이 무기억속성(Memoryless Property)을 갖는 확률적 현상을 모형화하는 기법이다. 마코프체인에 대한 소개는 이호우(2006)와 Ross(2019)에 정리되어 있으며, 국방분야에 초점을 맞춘 개념 소개는 윤봉규(2009b)에 제시되어 있다. 한편, 확률모형 분야를 처음 접하는 사람들을 위한 개념 소개는 조남석외(2021)를 참고하기 바란다. 여기에서는 앞으로의 분석에 사용할 내용을 중심으로 간단한 사례를 통해 마코프체인을 소개하고, 이를 통해 마코비안 모형을 활용한 정책 분석의 장점을 살펴본다.

정책 목표 달성여부를 매년 성공과 실패로만 구분해서 기록한다고 생각해보자. 목표 달성 즉, 성공을 상태 1, 실패를 상태 2라고 정의하고 올해 성공/실패 여부는 전년도에 결과에 영향을 받는다고 가정하자. 전년도 성공시 올해에 연이어 성공할 가능성이 실패할 가능성보다 두 배 높고, 전년도 성과가 실패였을 때 올해의 성과는 실패할 가능성이 성공할 가능성의 두배라고 가정하자. 이를 테이블의 형태로 정리하면 다음과 같다.

$$P_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서 행은 전년도의 성과를 열은 올해의 성과를 나타내고 있다. 첫행은 전년도 성공인 상태 1, 둘째 행은 전년도 실패인 상태 2를 나타내고, 열은 각각 올해의 성과를 의미한다. 대괄호 사이에 들어 있는 숫자는 상태변화확률을 의미하며, 앞서 가정한 바와 같이 전년도 상태 1에서 올해 상태 1로 변화할 확률이 상태 1에서 상태 0으로 변화할 확률에 비해서 2/3로 두 배 높고, 실패할 확률은 그 반대이다. 식 (3.1)은 상태의 변화를 나타내는 정보이고, 테이블이 행렬의 형태로 제시되어 있으므로 전이확률행렬(Transition Probability Matrix)라고 한다.

식 (3.1)의 전이확률행렬은 1년 사이의 변화를 보여주는 정보이고, 정책 분석에는 몇 년 이상의 축적된 성과를 추적하는 것이 필요하다. 만약 2년 동안의 변화를 추적하고자 한다면, Y0→Y1→Y2의 경로를 추적해야 한다. 예를 들어 Y0에 상태 1이었는데 Y2에 상태 1로 변화하는 경로는 상태를 기준으로 (1→1→1)과 (1→2→1)이 있다. 이 경로로 전이할 확률을 각각 구하면 4/9(=2/3×2/3)와 1/9(=1/3×1/3)이 되므로 두 경로의 확률을 더하면 Y0에 상태 1이었는데 Y2에 상태 1로 변화할 확률인 5/9를 구할 수 있다. 그런데 식 (3.1)의 행렬 P₁을 행렬곱(Matrix Product)하면 다음과 같으며, 첫행 첫열의 원소가 5/9로 Y0에 상태 1이었는데 Y2에 상태 1로 변화하는 확률로 나타난다.

$$P_1^2 = \begin{matrix} Y_2 \rightarrow & 1 & 2 \\ Y_0 \downarrow & & \\ 1 & \left[\begin{array}{cc} 5 & 4 \\ 9 & 9 \end{array} \right] \\ 2 & \left[\begin{array}{cc} 4 & 5 \\ 9 & 9 \end{array} \right] \end{matrix} \quad (3.2)$$

식 (3.2)와 같이 행렬의 곱으로 장기간에 걸친 상태변화확률을 구하는 과정을 채프만-콜로고로프 방정식(Chapman-Kolmogorov Equation)이라고 하며 이로 인해 마코프체인으로 분석하면 동적 특징을 파악하는 것이 단순한 행렬곱이 되어 분석이 쉬워진다. 즉, n개 년도의 변화는 식 (3.1)의 전이확률행렬을 n제곱하면 쉽게 구할 수 있다.

지금까지 마코비안 기반 정책 분석 방법의 근간을 이루는 마코프체인이 쉽고, 동적 특징 분석에 용이하다는 점을 살펴보았다. 이제 범용성에 대해서 살펴보자. 모든 정책은 정책 목표가 있고, 대부분의 정책 목표는 정량적 지표의 형태를 띠고 있다. 마코프체인은 상태를 정의하고 이를 분석하는 방법론이므로 정책 목표를 상태로 정의할 수 있는 모든 정책에서 활용 가능하다.

몇 가지 사례를 통해 마코프체인의 범용성 측면에서 잠재력을 살펴보면, 경제 정책의 목표로 경제성장률을 정책 목표로 삼는다면 이를 상태로 정의해서 분석할 수 있으며, 가구의 소득 변화를 목표로 하는 정책이라면 소득을 상태로 정의할 수도 있다. 사회분야 정책으로 중산층 확대를 위한 정책을 실행한다면 소득 수준을 상태로 정의하여 소득 수준의 변화를 분석할 수 있다. 상태는 꼭 정량적일 필요는 없다. 거주형태에 영향을 미치기 위한 정책을 분석하는 경우 거주형태가 상태로 정의될 수도 있다. 군사작전의 목표가 특정 지역을 정찰하는 것이라면 지역에 일련번호를 부여하여 이를 상태로 정의할 수도 있다. 이렇듯 마코비안 모형 기반의 정책 평가 방법론은 정책의 결과를 상태로 정의해서 분석함으로써 다양한 분야에 적용될 수 있는 범용성이 높다.

상태 정의에 대한 다양한 사례를 통해 범용성을 인정한다고 하더라도 식 (3.1)과 같이 간단한 구조를 가지는 마코비안 모형이 복잡한 현실을 묘사할 수 있는가라는 의문을 여전히 가질 수 있다. 이에 대해서는 직접적인 대답 대신에 마코프체인으로 복잡한 주식 시장의 변동과 부의 축적과정 (Sinha et al.;2011과 그 안의 참고 문헌 참조 바람)을 묘사하기도 하고, 복잡하게 얽혀 있는 인터넷 홈페이지 네트워크의 중요도를 평가하는 구글의 페이지랭크 기법도 마코프체인을 활용한다는 사례를 제시하고자 한다. 복잡한 경제 활동의 결과와 여러 가지 사회적 활동의 결과로 나타난 연결망인 인터넷망처럼 복잡한 실체의 특성을 분석할 수 있는 방법론이 현실을 묘사할 수 없다는 주장을 하려면 그 주장에 대한 입증 책임

은 마코프체인의 가치를 수용하려는 사람에게 있지는 않을 것이다.

다만 마코프체인의 기본 가정인 무기억속성에 대해서 의문을 제기하는 것은 정당한 주장이다. 세상의 복잡한 현상들이 단지 직전의 상태에만 영향을 받는 무기억속성을 만족한다는 것이 과연 타당한가라는 의문을 갖는 것은 자연스럽다. 이에 대한 대답으로는 무기억속성을 확장하는 다음과 같은 방법을 고려할 수 있다.

정책의 성과가 1년이 아니라 2년 동안 축적된 결과에 따라서 결정된다고 가정해보자. 즉, Y0와 Y1의 결과에 따라서 Y2의 결과가 달라진다고 가정하자. 이 경우 상태는 2년 동안의 성과를 묶어서 정의할 수 있다. 즉, 상태는 11, 12, 21, 22가 된다. 상태 전이는 11에서는 11, 12로만 가능하고, 12에서는 21, 22로만 가능하다. 그 이유는 2년간 성과가 11이었다면 Y0, Y1이 모든 성과를 달성한 것이고 Y1, Y2의 성과달성 여부중 이미 Y1은 결정되어 있기 때문이다. 이제 과거 2년간 모두 성과를 달성했으면 올해 성과를 달성할 가능성이 실패하는 경우보다 3배 높다고 가정해 보자. 과거 2년간 성과 달성에 실패했다면 올해 성과 달성에 실패할 가능성도 성공하는 경우보다 3배 높다고 가정해 보자. 이를 고려한 전이확률 행렬은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 11 & 12 & 21 & 22 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 11 \\ 12 \\ 21 \\ 22 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{3}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{3}{4} \\ \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{3}{4} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.3)$$

식 (3.3)의 전이확률 행렬은 1년이 아니라 2년간의 상태를 기준으로 정의한 것이고 중간년도(Y1)가 매개의 역할을 하므로 주의해서 읽어야 한다. 1행 1열의 전이확률은 11에서 11로 전이하는 것으로 과거 2년간 성공한 상태에서 올해도 성공하는 변화이고 12로 전이하는 것은 올해 실패하는 것이다. 상태 11에서는 21이나 22로 전이하지 못한다. 그 이유는 상태가 중간년도에 의해서 매개되기 때문이다. 이전상태 11은 Y0, Y1의 정책 성과의 묶음이다. 따라서 Y1, Y2로의 변화는 Y1이 1인 11, 12로만 가능하고, 21, 22는 전이가 불가능하다.

식 (3.3)의 전이확률은 과거 2개년도의 상태에 따라서 전이확률이 달라지므로 2차 무기억속성 또는 2차 마코비티(Second Order Markovity)가 성립한다고 말한다. 이론적으로 무기억속성은 과거에 영향을 받는 상태를 계속 확장해서 정의할 수 있다. n차 무기억속성은 과거 n년의 상태가 올해의 성과를 결정한다는 것을 의미한다. 어떤 정책이든 그 효과가 무한히 지속될 수는 없고 정책의 효과는 점점 약해질 것이므로 무기억속성은 언젠가는 성립

하게 된다. 그 결과 무기억속성은 광범위한 현상에 적용될 수 있다.

2) 안정상태 확률(Steady State Probability)과 스펙트럼 분석(Spectrum Analysis)

식 (3.1)과 (3.3)에서 정의된 전이확률행렬은 시간 변화에 따른 전이확률의 변화를 행렬을 계속해서 곱함으로써 구할 수 있다. 이를 계속 반복해서 일정시점이 지나면 다음과 같은 흥미로운 극한특성(Limiting Property)을 확인할 수 있다.¹⁾

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_1^n = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.4a)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_2^n = \begin{bmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.4b)$$

식 (3.4)에서 오랜 시간이 지난 후의 전이는 처음 상태와 무관하게 다음 상태가 결정되는 것을 알 수 있다. 오랜 시간 이후의 전이확률을 상태가 안정되어 있다는 점을 강조하여 안정상태확률(Steady-state Probability)이라고 하기도 하고 시간이 오래 경과된 후의 전이확률이라는 점을 강조하여 극한확률(Limiting Probability)이라고 하기도 한다.

안정상태확률이 나타나는 것은 확률적 현상의 일반적 특징으로 동전던지기를 생각하면 쉽게 이해할 수 있다. 동전을 던져서 앞면이 나온 비율을 기록하면 처음에는 그 비율의 등락이 불규칙하지만 동전을 오랫동안 던지면 앞면이 나온 비율을 0.5에 수렴한다. 이런 현상은 확률적 현상이 복잡해지더라도 동일하게 나타난다. 다만, 안정상태가 존재하려면 마코프체인의 상태가 서로 유한한 시간 만에 전이 가능해야 하고, 일정한 주기로 동일 상태를 방문하는 현상이 없어야 한다. 이런 조건을 에르고드 속성(Ergodicity)이라고 한다.²⁾

1) 극한 특성을 분석적으로 확인할 수 있지만, 이보다는 컴퓨터를 활용한 수치계산으로 확인하는 것이 훨씬 쉽다. R을 활용하여 식 (3.4a)를 구하는 것은 다음 명령으로 가능하다. 단, ‘)’는 R 명령창 표시이므로 실제 명령어는 그 다음에 나오는 문구이다.

```
>library(expm) #행렬연산을 위한 패키지
P1 = matrix(c(2/3,1/3,1/3,2/3),byrow=T,nrow=2) #행렬정의
P1%100%100 #행렬의 100제곱
```

2) 이에 대한 이론적 정의는 Ross(2019)를 포함한 마코프체인을 설명하는 모든 책에 정리되어 있으며 100개의 동전을

안정상태확률은 초기상태에 관계없이 다음 상태가 결정되므로 확률적 현상의 구조적 특징으로 이해할 수 있다. 이를 정책 실행에 적용해보면 어떤 정책의 결과과 초기에는 여러 불확실성으로 인해 불규칙적으로 나타나지만 시간이 어느 정도 지나고 안정화되면 그 정책의 불확실성이 완화되어 정책 본연의 효과가 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 이런 측면에서 안정상태확률은 정책의 효과를 판단할 때 중요한 의미를 가진다. 앞서 언급한 바와 같이 정책시행 이전과 이후의 성과지표 안정상태를 비교함으로써 정책의 효과를 우연한 요소에 의한 차이를 제외하고 비교할 수 있다.

식 (3.4)의 결과는 이론적으로 P_1, P_2 를 무한번 곱해야 구할 수 있지만, 컴퓨터는 유한기계(Finite Machine)이므로 어떤 연산을 무한번 할 수 없고, 수치 에러로 인해서 어느 정도 연산 후에는 의미없는 연산이 반복되기 마련이다. 따라서 어느 정도 연산 후에는 일정한 값으로 수렴하게 되는데, P_1 은 대략 15번, P_2 는 45번 곱한 이후에 식 (3.4)의 결과를 얻게 된다. 즉, 수렴값을 얻게 된다. 이는 P_1 으로 분석하는 정책의 경우 15년이 정책 안정화에 필요한 기간이고, P_2 로 분석하는 정책은 45년이 안정화 기간이라고 할 수 있다. 문제는 상황에 따라서 정책 안정화 기간이 달라진다는 것이다.

안정화까지 걸리는 시간은 마코프체인의 중요한 문제이나, 이는 수리적으로는 간단한 문제이다. 이를 살펴보기 위해 마코프체인의 전이확률행렬의 특징을 살펴보자. 전이확률행렬, P 는 다음과 같은 속성을 만족한다.

$$S \cdot P = A \cdot S \tag{3.5}$$

식 (3.5)는 행렬 S 의 역행렬이 존재하므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P = S^{-1} \cdot A \cdot S \tag{3.6a}$$

식 (3.6a)의 우변을 계속해서 곱하면 역행렬의 곱은 단위행렬이므로 식 (3.6b)가 된다. 이를 통해 전이행렬 P 의 거듭제곱을 행렬 A 의 거듭제곱과 행렬 S 와 그 역행렬의 곱으로 표현할 수 있다.

$$P^n = S^{-1} \cdot A^n \cdot S \tag{3.6b}$$

식 (3.6b)는 행렬의 곱을 계산할 때 연산 속도를 높이는 획기적인 방법으로 행렬의 대각

동시에 던져서 얻는 앞면의 비율(양상률 평균)과 하나의 동전을 100번 던져서 얻는 앞면의 비율(시간 평균)이 일치하기 위한 조건으로 매우 중요한 가정이다. 이의 중요성에 관해서는 나심 탈레브(2019)를 참고하기 바란다. 확률이론에서는 현실에서 경험하는 대부분의 현상이 에르고드 속성을 만족하는 것으로 가정하지만, 탈레브는 파국이 존재하는 현실에서 이 조건은 만족하지 않으며, 경제정책 실패는 경제학이 에르고드 속성을 기본 가정으로 받아들이기 때 문이라는 주장을 하기도 한다. 정책의사결정을 위한 모형 구축 전에 이에 대해서 한 번쯤은 생각해 볼 필요가 있다.

화(Diagonalization)라고 한다.³⁾ 식 (3.6)이 특별한 이유는 행렬 가 대각원소 즉, 1행 1열, 2행 2열과 같이 행과 열이 동일한 위치에만 원소를 갖는 대각행렬(Diagonal Matrix)이기 때문이다. 대각행렬은 행렬의 거듭제곱이 각 원소의 거듭제곱과 일치하는 특징이 있다. 식 (3.6)을 구성하는 행렬 S , A 를 구하는 것은 고유치(Eigen Value)와 고유벡터(Eigen Vector)를 구하는 과정이며, 이에 대한 자세한 논의는 본 연구의 범위를 벗어나므로 여기에서는 간단한 사례를 통해 대각화의 의미를 확인해 보기로 한다.

P_1 의 고유치와 고유벡터로 구성된 행렬 A_1 , S_1 , S_1^{-1} 다음과 같다.⁴⁾

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \end{bmatrix}, S_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, S_1^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

식 (3.7)을 식 (3.6a)의 우변에 대입하면 식 (3.1)에 정의된 P_1 을 얻을 수 있으며 식 (3.6b)도 유사한 방식으로 다음과 같음을 확인할 수 있다.⁵⁾

$$P_1^n = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1^n & 0 \\ 0 & (\frac{1}{3})^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

위 식 (3.8)을 약간의 수학적 정리 기술을 사용해서 달리 표현하면 아래 식 (3.9)와 같이 표현할 수 있다.⁶⁾

$$P_1^n = \left[\left(\frac{1}{2} \right) \cdot 1^n + \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{3} \right)^n, \left(\frac{1}{2} \right) \cdot 1^n - \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{3} \right)^n \right] \quad (3.9)$$

식 (3.9)를 통해 시간이 지나면 전이확률은 1^n 이 곱해진 벡터에 의해서 결정이 되며, $(\frac{1}{3})^n$ 이 곱해진 벡터는 점점 전이확률에 미치는 영향이 줄어든다는 것을 알 수 있다. 결국 P_1 으로 정의된 마코프체인의 안정상태확률은 (3.4a)와 같이 1^n 이 곱해진 벡터의 조합인, $\left[\left(\frac{1}{2} \right), \left(\frac{1}{2} \right) \right]$ 에 수렴한다. 한편 $(\frac{1}{3})^n$ 이 곱해진 벡터는 전이확률에 약간씩 변화를 주면서 소멸되지만, 그 변화폭이 초기에는 전이확률 전체에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

3) 대각화는 선형대수의 중요한 이론이며, 고유치(Eigen Value)를 구하는 문제로 환원된다. 이에 대한 이론적이고 자세한 논의는 Strang(2016) 6장을 참고하기 바란다.

4) 고유치와 고유벡터는 R에서 'eigen(P1)'이라는 간단한 명령어로 구할 수 있으며 S_1 의 역행렬은 'solve(S1)'로 구할 수 있다.

5) 이때 $A_1^n = \begin{bmatrix} 1^n & 0 \\ 0 & (\frac{1}{3})^n \end{bmatrix}$ 이 됨을 주목할 필요가 있다. 즉, 복잡한 행렬의 거듭제곱이 원소의 거듭제곱으로 변한다.

6) 이렇게 정리하는 것은 어렵지는 않지만 선형대수를 활용해서 연립차분방정식을 푸는 과정이므로 선형대수에 대한 어느 정도의 숙련이 필요하다는 것을 참고하기 바란다.

지금까지의 논의를 선형대수의 관점으로 살펴보면 1과 $\frac{1}{3}$ 은 행렬 P_1 의 고유치이며, 1^n , $(\frac{1}{3})^n$ 에 곱해진 벡터는 고유벡터이다. 마코프체인의 상태변화는 고유치와 고유벡터에 의해서 결정되며, 안정상태확률은 고유치 1과 관련된 고유벡터에 의해서 결정되고, 나머지 고유치와 관련된 고유벡터는 전이확률행렬에 약간의 변화를 주며 소멸해 간다. λ_i , x_i 를 마코프체인의 전이확률행렬 P 의 고유치와 고유벡터라고 하고, $c_{ij}(1 \leq i, j \leq k)$ 를 고유벡터의 원소라고 하면⁷⁾ 대각화 기법을 통해 다음 식이 성립한다.

$$P^n = [x_1 \cdot (\lambda_1)^n c_{11} + \dots + x_k \cdot (\lambda_k)^n c_{1k}, \dots, x_1 \cdot (\lambda_1)^n c_{kl} + \dots + x_k \cdot (\lambda_k)^n c_{lk}]$$

(단, $\lambda_i \geq \lambda_{i+1}$) (3.10)

식 (3.10)을 통해 마코프체인의 안정상태확률은 고유치에 의해서 결정되며, 특히 고유치 1과 관련된 고유벡터가 극한적 특성을 결정함을 알 수 있다. 또한, 1을 제외한 나머지 고유치가 전이확률행렬의 변동을 결정함을 알 수 있다. 고유치에 의해서 전이확률행렬의 원소가 변화되고, 특정 시점 사이의 변화확률은 고유치의 다양한 조합으로 결정되므로 다양한 스펙트럼의 조합으로 빛의 색깔이 결정되는 것에 빗대어 고유치를 활용한 변화를 파악하는 과정을 ‘스펙트럼 분석(Spectral Analysis)’라고 하기도 한다. 정책의 결과에 영향을 미치는 다양한 요소들이 각각의 고유치라고 할 수 있으며, 이 요소들이 어우러져 성과가 결정된다는 면에서 다양한 스펙트럼을 가진 파장이 어우러져 우리가 보는 색을 결정하는 물리적 스펙트럼과 유사한 과정이라는 면에서 스펙트럼 분석이라는 용어는 적절한 용어라고 할 수 있다.

마코프체인의 고유치는 안정상태가 있다면 하나의 1과 절대값이 1보다 작은 다수의 고유치로 구성된다. 만약 어느 하나라도 고유치가 1보다 크면 이 정책은 안정적이지 않게 된다. 한편, 안정적인 구조로 수렴하는 속도는 1을 제외한 나머지 고유치에 의해서 결정되며, 나머지 고유치가 0에 가까울수록 안정상태확률로 수렴하는 속도가 빨라진다. P_1 의 고유치는 1, $\frac{1}{3}$ 이었지만, P_2 의 고유치는 1, 0.683012701892219, -0.183012701892219, 0이다. P_2 의 고유치 중 0.683012701892219은 P_1 의 고유치는 $\frac{1}{3}$ 보다는 오랫동안 전이확률에 영향을 미치게 되어 앞서 설명한 바와 같이 P_1 은 15번, P_2 는 45번 곱한 이후에는 식 (3.4)의 결과를 얻게 된다. 컴퓨터 사양과 사용하는 계산 패키지에 따라서 차이가 나겠지만, $(\frac{1}{3})^{15}$ 과 $(0.683012701892219)^{45}$ 은 모두 10^{-8} 수준의 숫자라는 점은 단순한 우연이 아니다.

7) 정확하게 표현하자면, x_i 는 S^{-1} 와 관련되어 있고 c_{ij} 는 S 의 전치행렬의 i 행 j 열의 원소이다. 다만 행을 기준으로 고유치를 구하느냐 열을 기준으로 구하느냐에 따라서 둘의 관계가 바뀔 수 있으며, 마코비안 모형은 행을 기준으로 일반적 선형대수는 열을 기준으로 연산하는 관계가 있어 둘을 구분하지 않았음을 참고하기 바란다.

지금까지의 마코프체인으로 정책을 분석할 때 정책의 구조적 성과는 안정상태확률을 통해서 확인할 수 있으며, 구조적인 성과를 확인할 때까지 걸리는 시간은 전이확률행렬의 고유치를 살펴봄으로써 가능하다는 것을 살펴봤다. 논의를 심화시키기 위해 안정상태확률의 의미를 살펴보자.

앞서 안정상태확률을 가지기 위해서는 확률과정이 에르고드 속성을 만족해야 한다고 언급했다. 에르고드 속성은 동시 실험(시행)과 오랜 기간에 걸친 실험 결과의 분포가 동일하기 위한 조건이다. 동시 실험의 결과를 앙상블평균(Ensemble Average)이라고 하고 오랜 기간에 걸친 실험 결과를 시간평균(Time Average)이라고 한다. 마코프체인의 안정상태확률은 앙상블 평균과 시간평균이 일치한다는 가정에서 출발한 척도이므로 이 확률을 두 가지 의미 모두로 해석할 수 있다. 즉, P_1 의 전이구조를 가지는 정책 성과와 관련된 안정상태확률이 1/2, 1/2인 것은 시간평균의 관점에서 이 정책의 성과가 성공, 실패를 불규칙적으로 반복할 때 성공한 연도와 실패한 연도의 비율이 동일할 것이라고 해석할 수도 있다. 다른 한편으로는 이런 정책을 여러 지역에서 동시 시행하면 성공한 지역과 실패한 지역의 비율이 특정 시점에 동일할 것이라고 앙상블평균의 관점에서 해석할 수도 있다.

소득 계층의 이동을 마코프체인으로 분석한다고 가정해보자. 상태를 소득계층으로 정의하면 전이확률은 계층이 변화할 확률이 될 것이다. 분석 결과 안정상태확률을 구했다면 이 결과는 한 명이 일생동안 경험하는 계층이동의 궤적으로 시간평균의 관점에서 해석할 수도 있고, 특정시점에 전체 구성원 중 특정 계층이 차지하는 비율인 앙상블평균으로 해석할 수도 있다. 무기체계의 상태를 운행중, 정비중 두 가지 상태를 가지는 마코프체인으로 분석해서 안정상태확률 3/4, 1/4을 가지는 것을 확인했다면 이는 한 대의 무기체계를 100일 운영하면 평균 75일 운행중 상태에 있었다고 해석할 수도 있고, 100대의 상태를 특정한 날에 관찰하면 75대가 운행중 상태가 있다고 해석할 수도 있다. 전자는 시간평균, 후자는 앙상블평균이다.

마코프체인의 에르고드 속성은 분석모형을 만들 때는 전형적인 하나의 개체를 기준으로 모형을 구축하지만, 결과는 시간과 다수의 개체 두 가지 관점 모두로 해석 가능하게 만들어 준다. 모형 구축의 관점에서는 복수의 개체를 동시에 고려하는 방식보다는 하나의 개체를 오랫동안 관찰하는 방식으로 생각하는 것이 일반적으로 편리하므로 이는 마코비안 기반 정책 평가 방법론의 또 다른 장점이다.⁸⁾

8) 일반적으로 여러 개체를 동시에 고려하는 확률모형은 상호작용의 복잡도로 인해서 구축이 어렵다.

2. 마코비티 검정

지금까지 마코프체인을 중심으로 마코비안 모형 기반 정책평가 방법론이 쉽고, 동적 특징을 분석할 수 있으며 동시에 범용성을 가진 방법론임을 살펴봤다. 마코비안 모형 기반 분석 방법론의 장점에도 불구하고 마코프속성이 성립하지 않으면 이 방법론은 사용할 수 없다. 다행히 마코프속성은 시간이 오래지나면 두 시점 사이의 정책 성과의 연관성이 떨어지는 자연스러운 현상으로 인해서 결과적으로 성립하지만 마코프속성이 성립하는지를 파악하는 것은 마코비안 모형 기반 정책 평가시 중요한 사항이다. 마코프속성이 성립여부를 확인하는 여러 방법이 있지만, 여기에서는 직관적으로 이해하기 쉽고 이산시간 마코비안 모형에 응용이 쉬운 카이제곱검정(Chi-square Test)을 응용한 방법을 살펴본다.

마코비티 검정은 Anderson and Goodman(1957)과 Kullback(1962)에 상세히 연구된 비교적 역사가 깊은 방법론으로 최근에는 Bode and Bickenbach(2002)의 연구에서 소득분포의 변화와 지역간 격차 분석에 활용되었다. Anderson and Goodman(1957)과 Kullback(1962)의 연구는 계산 비용(Computation Cost)이 높은 시기에 작성된 논문으로 통계량 계산시 근사값을 사용한다는 단점이고 있고, Bode and Bickenbach(2002)는 응용에 초점을 맞추고 방법론에 대한 자세한 소개는 제시하지 않아, 이론적 배경지식 없이 이해하기 어렵다.

본 연구가 추구하는 중요한 가치 중 하나가 실무 수준에서도 쉽게 활용할 수 있는 방법론이므로, 배경 이론에 대한 깊은 지식이 없어도 마코비티 검정의 개념을 이해하고 활용할 수 있도록 카이제곱 검정의 기본 아이디어를 소개하고 이를 확장하는 방법으로 마코비티 검정 방법을 살펴보고자 한다.

한편, 카이제곱검정 방법은 기초통계에서 다룰 정도로 난이도가 높지 않지만, 본 연구에서 제시하는 검정법은 시계열 자료의 특징으로 인해서 카이제곱검정을 위한 자유도 계산과정이 복잡해질 수 있다. R에서 제공하는 마코프체인 패키지('markovchain'⁹⁾)에 대한 설명(Spedicato et al., 2015)과 Bode and Bickenbach(2002)는 복잡한 자료 구조에 대한 충분한 이해 없이는 구하기 어려운 방식으로 자유도를 제시했다. 이런 이유로 본 연구에서는 자료의 기본 데이터 구조를 반영하여 검정 통계량의 자유도 계산을 위한 비교적 쉬운 방안을 제시하고자 한다.

9) 'markovchain'은 R에서 제공하는 마코프체인을 다루기 위한 패키지이다. 이 패키지는 마코프체인 활용에 필요한 다양한 함수를 제공하는 하지만, 정형화된 입력 데이터를 요구하고 마코비티 검정에 필요한 자유도 계산 과정 등이 명시적으로 제시되어 않아 간단한 전이 구조를 가지는 마코프체인 이외에는 분석 결과의 타당성을 확신하기 어렵다. 본 연구에서는 투명하고 가시적으로 분석 방법을 확인할 수 있는 R 코드를 제시한다.

1) 카이제곱검정(Chi-Square Test)

카이제곱검정은 확률적 현상이 특정 분포를 따르는지를 검정하는 대표적인 방법이다. 카이제곱검정은 확률적 현상의 출현 빈도를 정리한 분할표(Contingency Table)에 근거하여 검정에 필요한 정보를 도출하고 의사결정하는 통계적 기법이다.

카이제곱검정의 개념을 간단히 살펴보기 위해서 확률적 현상을 측정된 결과 <표 2>와 같은 분할표(Contingency Table)를 얻었다고 가정해 보자. $V(=1 \cdots c)$ 는 범주를 나타내는 변수를, f_j 범주 j 의 관찰/출현빈도(Observation Frequency)를 나타낸다. 예를 들어 주사위를 30($n=30$)번 던져서 나온 눈금을 분할표로 정리한다면 범주는 1, 2, 3, 4, 5, 6 이 되고, f_j 는 각 눈금이 나온 숫자가 된다.

<표 2> 간단한 분할표

범주 (V)	1	...	j	...	c	합계
출현빈도(f_j)	f_1	...	f_j	...	f_c	n

논의를 쉽게 하기 위해서 주사위를 30번 던져서 <표3>과 같은 분할표를 얻었다고 가정하자. 만약 보통의 주사위라면 각 눈금(변수)별로 평균적으로 5개씩 관찰이 되어야 하지만, 확률적 현상이므로 모든 값이 5개씩 관찰될 수는 없고 <표 3>과 같은 변수별 빈도의 차이가 있다. 카이제곱검정은 이차이가 정상적 주사위에서 나온 단순한 오차인지 아니면 주사위가 잘못된 것인지 가리는 검정이다. 이를 좀 더 이론적인 용어를 써서 말한다면 특정한 분포를 따르는지 적합성(Goodness of Fit)을 검정하는 것이다.

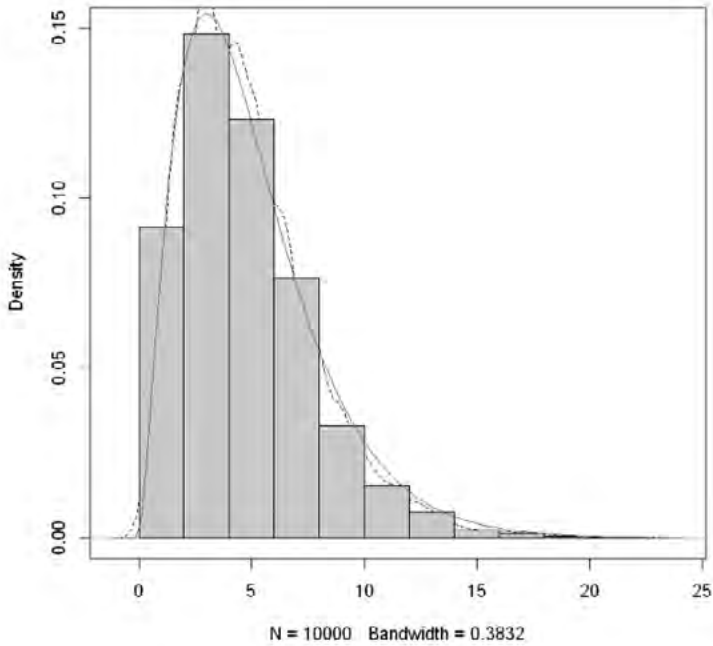
<표 3> 주사위 던지기 분할표

범주 (V)	1	2	3	4	5	6	합계
출현빈도(f_j)	6	5	3	6	5	5	$n=30$

검정을 위해서 E_j 를 특정한 분포를 따를 때 나타나야 하는 평균적인 빈도수(기대값; Expectation)라고 하면 주사위 던지기에서는 총 빈도 30에 각 눈금이 나올 확률 1/6을 곱해서 E_j 가 모두 5가 된다. 그런데 관측값과 기대값의 차이를 제곱해서 기대값으로 나눈 다음 다음 식은 카이제곱분포를 따른다.

$$\sum_{j=1}^6 \frac{(f_j - E_j)^2}{E_j} \sim \chi^2(6-1) \quad (3.11)$$

〈표 3〉을 식 (3.11)에 적용하면 1.2가 나온다. 주사위를 30번 던져서 분할표를 여러 번 만든다면 분할표를 만들 때마다 다른 값이 나올 것이고 식 (3.11)은 이 값의 분포가 일정한 패턴인 카이제곱분포를 따른다는 것이다. R을 활용해서 주사위를 30번 던지는 시뮬레이션 하면 〈그림 2〉의 결과를 얻는다.¹⁰⁾ 파란색 점선으로 표시된 관측값과, 기대값(기대빈도)의 차이 제곱합을 기대값으로 나눈 합 $(f_1 - E_1)^2/E_1 + (f_2 - E_2)^2/E_2 + \dots + (f_6 - E_6)^2/E_6$ 의 분포가 빨간색 실선으로 표시된 자유도 5인 카이제곱분포¹¹⁾와 거의 일치한다는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 주사위 던지기 관측빈도와 기대빈도의 오차 제곱값 분포
(점선: 관측빈도의 분포, 실선: $\chi^2(5)$ 의 확률밀도함수)

10) 다음 R 코드를 통해 〈그림 2〉를 구할 수 있다. ‘#’는 주석문 표시로 실제 실행되지 않는다.

```
> result=c() #시뮬레이션 결과 저장 변수
for(i in 1:10000){ # 분할표를 10000번 반복적으로 구성함
  n = 30 # 시행횟수
  roll_dice = ceiling(runif(n,0,6)) # 주사위 n번 던지기
  O = table(roll_dice) # 분할표 만들어 O에 저장
  E = n / 6 # 기대빈도수
  result[i] = sum((O - E)^2 / E) #식 (3.11) 값을 result에 차례로 저장하기
}
plot(density(result),ylim=c(0,0.15),col="blue") #파란색으로 result에 저장된 값 분포 그리기
hist(result,add=T,prob=T) # result 값의 히스토그램 그리기
curve(dchisq(x,6-1),add=T,col="red") # 자유도 5(6-1)인 카이제곱분포의 pdf를 빨간색으로 표시
```

11) 자유도 a인 카이제곱분포를 $\chi^2(a)$ 로 표기한다.

주사위 던지기를 사례로 삼아 살펴본 카이제곱검정을 일반적으로 확장해보자. 확률적 현상이 범주 j 가 될 확률을 $p_j(=P[V=j])$ 라고 하면 E_j 는 총 관측횟수와 p_j 의 곱으로 식 (3.12)와 같이 구할 수 있다.

$$E_j = n \times p_j \quad (3.12)$$

c 를 관측 범주의 종류¹²⁾라고 하고 관측빈도와 기대빈도의 편차 제곱합을 기대빈도로 나눈 값을 의사결정을 위한 정보라는 측면에서 DI(Decision Information or Index)라고 하면 식 (3.11)을 다음과 같이 확장할 수 있다. 즉, DI는 카이제곱분포를 따른다(Kullback, 1962).

$$DI = \sum_{j=1}^c \frac{(f_j - E_j)^2}{E_j} \sim \chi^2(c-1)^{13} \quad (3.13)$$

식 (3.13)에 따라 계산한 값이 정상적 범위 내에 있으면 이 확률적 현상은 기대빈도 E_j 를 계산할 때 했던 가정인 (j) 범주가 나타날 확률이 p_j 인 현상이라고 판단한다. 유의수준 α 라고 할 때 식 (3.13)으로 구한 DI 값이 카이제곱분포를 따르는 확률적 현상의 $(1-\alpha) \times 100\%$ 의 값이 나타나는 경계값인 $\chi^2_{1-\alpha}(c-1)$ 보다 작으면 (j) 범주가 나타날 확률이 p_j 인 확률적 현상이라고 판단한다.¹⁴⁾ 유의수준 5%라고 하면 정상의 경계는 약 11.07이므로 1.2는 그 경계보다 매우 작으므로 정상적인 주사위라고 판단한다.

식 (3.13)의 자유도는 사전에 결정되지 않은 또는 알 수 없는 정보의 수라고 이해하면 된다. <표 2>의 분할표에서 총 관측횟수 n 은 알고 있다고 할 때, 각 범주에 속하는 빈도수 f_j 는 관측 후에야 알 수 있는 값이지 사전에 결정하거나 알 수 있는 값이 아니다. 그런데, 총 관측빈도 n 을 알고 있으므로 f_c 는 f_1, \dots, f_{c-1} 을 알면 따로 측정하지 않아도 총합계에서 f_1, \dots, f_{c-1} 의 합을 빼서 구할 수 있다. 즉, 사전에 결정되지 않은 정보의 수는 c 개가 아니라 $c-1$ 개가 된다.

이제 논의를 확장하기 전에 <표 2>의 분할표에 대해서 좀더 살펴보자. <표 2>의 일차원 분할표는 카이제곱검정의 가장 기본적인 분할표로서 일반화되고 확장된 다차원 분할표도 <표 2>의 구조가 반복되므로 특징을 잘 알아두는 것이 좋다. 특히 분할표의 행에 있는 빈도

12) 주사위의 경우에는 $c=6$

13) 식 (3.13)이 카이제곱분포를 따르는 증명은 대부분의 통계학 교과서에 제시되어 있으므로 참고하기 바란다. 특히 김우철 외(2006)에는 정규분포를 따르는 확률변수를 제공한 것이 카이제곱 확률변수라는 개념과 카이제곱분포의 가법성에 근거해서 복잡한 수식없이 식 (3.13)을 유도할 수 있는 증명법이 제시되어 있다.

14) $\chi^2_{1-\alpha}(c-1)$ 는 R에서 'qchisq' 명령어로 구할 수 있다. 유의수준 α 가 0.05 (5%)이고 자유도가 5라면 $\chi^2_{1-\alpha}(c-1)$ 는 'qchisq(0.95,5)'를 입력해서 11.0704976935164를 결과로 얻는다.

의 합이 총 빈도가 될 뿐만 아니라 확률적 현상의 결과로 나타날 수 있는 모든 범주가 분할 표에 제시되어 있다는 점에 주목할 필요가 있다. 그 결과 행의 각 범주에 속하는 확률적 현상이 나타날 확률은 반드시 1이 되어야 한다. 즉, $\sum p_j$ 는 반드시 1이어야 한다.¹⁵⁾

이제 분할표를 <표 4>와 같이 이차원으로 확장해보자. f_{ij} 는 i 행 j 열에 해당하는 범주의 관측빈도이고, $f_{i.}$ 은 같은 행에 있는 관측빈도를 합한 값($\sum_{j=1}^c f_{ij}$)이고 $f_{.j}$ 는 유사하게 같은 열에 있는 관측빈도를 합한 값($\sum_{i=1}^r f_{ij}$)이다. 총 범주는 rc 개 존재하고 총 관측빈도는 n 개이다.

이차원 분할표를 쉽게 이해하기 위해서 간단한 사례를 살펴보자. <표 4>의 분할표는 동일한 분포를 가질 것으로 기대되는 확률적 현상을 여러 번(r 번) 관측한 결과이다. 예를 들어 서로 다른 3개의 주사위를 30번씩 던져서 얻은 분할표라고 하면 n 은 90이 되고 $f_{i.}$ ($i=1,2,3$)는 30이 된다. 다른 사례를 들어보면 연령분포가 도시별로 차이가 있는지 검토하기 위해서 서울, 부산, 대구, 대전, 광주 5개 도시에서 연령을 10개의 구간으로 나누어 조사했다고 가정해보자. 도시가 5개이므로 $r=5$ 가 되며, 연령분포는 10개 구간으로 나누었으므로 $c=10$ 이 된다. 이렇듯 이차원 분할표는 <표 2>의 분할표가 여러 개 반복되어 있는 것으로 생각해도 무방하다.

<표 4> 이차원 분할표

범주 ($V_2 \setminus V_1$)	1	...	j	...	c	합계
1	f_{11}	...	f_{1j}	...	f_{1c}	$f_{1.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
i	f_{i1}	...	f_{ij}	...	f_{ic}	$f_{i.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
r	f_{r1}	...	f_{rj}	...	f_{rc}	$f_{r.}$
합계	$f_{.1}$	...	$f_{.j}$	...	$f_{.c}$	$f_{..} (=n)$

이차원 분할표를 활용하기 위해서 세 개의 주사위가 각 눈금이 나타날 확률이 1/6로 동일한 주사위인지 여부를 검정한다고 가정하자. 세 개의 주사위가 각 눈금이 나타날 확률이 1/6인 동일한 특징을 가지는 주사위라면 (i,j) 범주에 속하는 현상을 관측할 기대값은 $f_{i.} \times 1/6$ 이 된다. P_{ij} 를 (i,j) 범주에 속하는 현상을 관찰하게 될 확률로 정의하면 주사위가 동일한 확

15) 이 조건이 만족되어야 분할표에 정리된 확률적 현상이 다항분포를 따른다는 가정이 성립하며, 이 가정에 성립되어 야 DI가 카이제곱분포를 따른다. 이에 대한 이론적 논의는 Kullback(1962)를 참고하기 바란다.

률을 가졌다면 관측빈도의 기대값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{ij} = f_{i.} \times p_{ij} \quad (3.14)$$

〈표 4〉의 이차원 분할표는 〈표 3〉으로 표현된 주사위 던지기의 일차원 분할표 세 개를 쌓아 놓은 것이라고 볼 수 있으므로 식 (3.13)에 따라서 다음이 성립한다.

$$\sum_{j=1}^c \frac{(f_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \sim \chi^2(c-1) \quad (3.15)$$

식 (3.15)는 식 (3.13)에서 이차원 분할표의 관측빈도를 표현하기 위해 첨자 i 가 붙은 것 외에는 동일하다. 카이제곱분포는 가법성 즉, 카이제곱분포를 따르는 두 값을 더하면 자유도만 커지고 카이제곱분포¹⁶⁾라는 특징은 그대로 유지되므로 의사결정 기준이 되는 값 DI 는 다음과 같은 특징을 가진다.

$$DI = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(f_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \sim \chi^2(r(c-1)) \quad (3.16)$$

식 (3.16)을 세 개의 다른 주사위를 던진 것에 적용하면 $r=3$, $c=6$ 이므로, 세 개의 주사위가 동일한 특징을 가지는 주사위라면 식 (3.16)에 따라 계산한 값은 자유도 15인 카이제곱분포를 따른다. 그리고 세 개의 주사위가 동일한 확률적 특징을 가지는 주사위인지를 판단하는 기준은 유의수준 α 에서는 $\chi^2_{1-\alpha}(15)$ 가 된다.

이제 서울, 부산, 대구, 대전, 광주 5개 도시의 연령분포가 동일한지를 검토하는 사례를 살펴보자. $r=5$, $c=10$ 이므로 50개 범주에 대해서 관측빈도, f_{ij} 가 나타난다. 기대빈도는 식 (3.14)와 같이 계산해서 식 (3.16)을 활용해서 주사위 사례와 같이 의사결정할 수 있을 것 같지만, 조금 상황이 다르다. 주사위는 각 눈금이 나올 확률 P_{ij} 가 1/6임을 알았음에 반해 도시의 각 범주에 속하는 연령의 분포는 사전에 알지 못한다는 점이다. P_{ij} 는 추정을 해야 하며, 상식적으로 추정값, \hat{p}_{ij} 는 $f_{.j}/n$ 이 된다. 문제는 자유도가 추정한 정보의 숫자만큼 감소한다는 것이다. 모든 j 에 대해서 추정해야 하므로 c 개를 추정하지만 확률합이 1이라는 성질을 이용해 마지막 \hat{p}_{ic} 는 추정하지 않아도 된다. 따라서 실제로 추정해야 하는 값의 갯수는 $(c-1)$ 개가 되며 원래 자유도 $r(c-1)$ 에 $(c-1)$ 을 뺀 $(r-1)(c-1)$ 이 카이제곱분포의 자유도가 된다.

최초 분포를 알 수 없는 경우에 확률적 현상이 동일한 분포를 따르는지를 결정하기 위해

16) 두 확률변수 X, Y 가 자유도 a, b 인 카이제곱분포를 따른다면, $X+Y$ 는 자유도가 $a+b$ 인 동일한 분포가 된다.

서는 자유도를 조정해 주어야 한다. 추정에 따른 자유도 조정은 카이제곱검정의 일반적 특징이다. 추정이 있는 경우에는 원래의 자유도에서 추정한 모수의 갯수를 빼야만 제대로 된 자유도가 된다. 5개 도시, 10개의 연령 그룹으로 나눈 분할표를 토대로 연령 분포가 동일한지 검정하는 것은 자유도가 45가 아닌 36인 카이제곱분포를 활용해야 한다.

지금까지 살펴본 카이제곱검정을 확실하게 이해하기 위해서 독립성검정(Independence Test)라고 불리는 카이제곱검정을 살펴보자. 독립성검정은 두 확률변수 V_1, V_2 가 서로 독립인지를 검정하는 것으로 두 확률변수가 (i,j) 범주에 속할 확률 P_{ij} 가 다음과 같이 각각의 확률의 곱으로 분해될 수 있는지 여부를 따지는 검정이다.

$$P[V_1 = i, V_2 = j] = P[V_1 = i] \cdot P[V_2 = j] \tag{3.17}$$

〈표 4〉와 같은 이차원 분할표를 가지고 있는 경우 의사결정을 위한 정보를 구하기 위해서 (i,j) 범주의 기대빈도는 식 (3.17)이 성립한다면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_{ij} = n \times p_{ij} = n \times p_{i \cdot} \cdot p_{\cdot j} \tag{3.18}$$

($p_{i \cdot}, p_{\cdot j}$ 는 각각 $P[V_1 = i], P[V_2 = j]$ 임)

문제는 〈표 4〉의 이차원 분할표를 두 확률변수의 독립성검정에 활용할 때 특정 행이 정해지더라도 각 열의 모든 범주가 나올 확률합 $\sum_j p_{ij}$ 가 1이 안된다는 점이다. 〈표 4〉에서 살펴봤지만, 이차원 분할표의 각 행은 동일한 현상을 반복한 것이므로 각 행의 확률합이 1이 되도록 범주를 구성해서 분할표를 작성해야 한다. 그런데 독립성 검정에는 $\sum_j p_{ij}$ 대신 $\sum_i \sum_j p_{ij}$ 가 1이 된다. 따라서 〈표 4〉를 다음과 같이 변형해서 차원을 축소한 형태로 정리해야 카이제곱검정에 활용할 수 있는 분할표가 된다. 〈표 5〉의 각 범주에 속할 확률을 행을 기준으로 더하면 1이 된다는 점을 주목하기 바란다.

〈표 5〉 차원이 축소된 이차원 분할표

범주 ($V_1 \otimes V_2$) ¹⁾	(1,1)	...	(1,c)	...	(i,j)	...	(r,1)	...	(r,c)	합계
출현빈도 (f_{ij})	f_{11}	...	f_{1c}	...	f_{ij}	...	f_{r1}	...	f_{rc}	n

〈표 5〉와 같이 분할표를 재구성하면 식 (3.16)에 제시된 DI가 자유도가 rc-1이 됨을 쉽게 파악할 수 있다. 그런데 식 (3.18)을 통해 기대빈도를 구하기 위해서는 $p_{i \cdot}$ 과 $p_{\cdot j}$ 를 알아야 한다. 이 값을 사전에 알고 있다면 식 (3.18)을 통해서 구한 기대빈도를 활용하여 식

17) \otimes 는 두 집합의 원소를 사전식으로 나열하는 것을 나타내는 기호이다. 예를 들어 $A=\{1,2\}$, $B=\{1,2,3\}$ 이라면 $A \otimes B = \{(1,1),(1,2),(1,3),(2,1),(2,2),(2,3)\}$ 이 된다.

(3.16)과 같이 의사결정을 위한 제공합 정보를 계산할 수 있다. rc 개의 f_{ij} 모두가 사전에 알 수 없는 정보이고 총 관측빈도 n 이 결정되어 있다면 마지막 관측빈도인 f_{rc} 는 $rc-1$ 개의 나머지 관측빈도를 안다면 따로 구할 필요가 없는 정보이므로 실제로 사전에 결정할 수 없는 정보의 수가 $rc-1$ 이 된다. 따라서 자유도가 $rc-1$ 이 된다.

$p_{i.}$, $p_{.j}$ 값을 모른다면 이를 다음 식 (3.19)와 같이 추정해야 하며, 추정한 값의 수는 $\widehat{p}_{i.}$ $r-1$ 개, $\widehat{p}_{.j}$ $c-1$ 로 총 $r+c-2$ 개가 된다. 그 결과, 자유도 $rc-1$ 에서 추정한 값의 수 $r+c-2$ 를 뺀 $(r-1)(c-1)$ 이 최종적인 자유도가 된다.

$$\widehat{p}_{i.} = f_{i.}/n, \widehat{p}_{.j} = f_{.j}/n \quad (3.19)$$

지금까지 살펴본 카이제곱검정법을 정리하면 다음과 같다. ① 각 범주에 속하는 관측빈도를 기록한 <표 2, 4, 5>와 같은 분할표를 만든다. 카이제곱검정은 분할표 정보를 활용하여 확률적 현상이 특정한 분포를 따르는지 여부를 검정하는 방법이다. 분할표를 만들 때는 행의 확률합이 1이 되도록 정리해 두는 것이 필요하고, 그렇지 않은 경우에는 <표 5>와 같이 차원축소의 방법을 통해 분할표를 재구성해야 한다. ② 검정을 위해서 우선 각 범주에 속하는 기대빈도, E_j 나 E_{ij} 를 구한다. 그리고 관측빈도와 기대빈도의 차이 제곱합을 기대빈도로 나눈 값을 합한 DI가 식 (3.13, 16)과 같이 카이제곱분포를 따른다는 점을 활용하여 검정을 한다. ③ 검정을 위해 필요한 카이제곱분포의 자유도는 사전에 알 수 없는 정보의 숫자에서 계산과정에서 추정해서 사용한 정보의 수를 감하여 결정한다.

2) 마코비티검정

마코프체인은 무기억속성(마코비티, Markovity)을 기본 가정으로 갖는다. 무기억속성은 미래의 상태가 현재의 상태에만 영향을 받고 과거 상태와는 무관하다는 가정이다. 이는 식 (2.1)과 같이 표현할 수 있으며, 식 (2.1)에서 시점 $t-1$, t , $t+1$ 의 마코프체인의 상태 $X(t-1)$, $X(t)$, $X(t+1)$ 을 각각 V_1 , V_2 , V_3 로 표시하면 무기억속성은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$P\{V_3 = k | V_2 = j, V_1 = i\} = P\{V_3 = k | V_2 = j\} \quad (3.20)$$

마코비티검정을 위해서 <표 6>과 같은 분할표를 고려하자. <표 6>은 행은 V_1 , V_2 를 차원 축소 후 나열했고, 열은 V_3 의 범주를 구분한 것이다. 즉, 행은 $t-1$ 과 t 시점의 상태 조합이고, 열은 $t+1$ 시점의 상태이다. f_{ijk} 는 $t-1$ 시점에 상태 i , t 시점에 상태 j , $t+1$ 시점에 상태 k 인 확률적 현상을 관찰한 빈도이다. <표 6>의 각 행별로 V_3 범주가 관찰될 확률을 더하면 1이 되도록 분할표가 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

〈표 6〉 마코비티검정을 위한 분할표

범주 ($V_1 \otimes V_2 \setminus V_3$)	1	...	k	...	d	합계
(1,1)	f_{111}	...	f_{11k}	...	f_{11d}	$f_{11.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(1, j)	f_{1j1}	...	f_{1jk}	...	f_{1jd}	$f_{1j.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(1, c)	f_{1c1}	...	f_{1ck}	...	f_{1cd}	$f_{1c.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i ,1)	f_{i11}	...	f_{i1k}	...	f_{i1d}	$f_{i1.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i , j)	f_{ij1}	...	f_{ijk}	...	f_{ijd}	$f_{ij.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i , c)	f_{ic1}	...	f_{ick}	...	f_{icd}	$f_{ic.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r ,1)	f_{r11}	...	f_{r1k}	...	f_{r1d}	$f_{r1.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r , j)	f_{rj1}	...	f_{rjk}	...	f_{rjd}	$f_{rj.}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r , c)	f_{rc1}	...	f_{rck}	...	f_{rcd}	$f_{rc.}$
합계	$f_{. . 1}$	...	$f_{. . j}$	...	$f_{. . c}$	$f_{. . .} (=n)$

〈표 6〉은 이차원 분할표로 기대관측빈도 E_{ijk} 는 행의 빈도수 합계 $f_{ij.}$ 에 $P\{V_3 = k | V_2 = j, V_1 = i\}$ 를 곱해서 구할 수 있고, 무기억속성이 성립하면 식 (3.20)에 따라서 다음 식 (3.21)과 같이 구할 수 있다.

$$E_{ijk} = f_{ij.} \times p_{jk} \tag{3.21}$$

$$(p_{jk} = P[V_3 = k | V_2 = j])$$

p_{jk} 는 마코프체인이 상태 j 에서 상태 k 로 전이할 확률이므로 마코프체인의 전이확률행렬의 j 행 k 열의 원소이다. 마코비티검정을 위한 DI는 다음과 같다.

$$DI = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^d \frac{(f_{ijk} - E_{ijk})^2}{E_{ijk}} \tag{3.22}$$

(a) 전이확률(p_{jk})을 알고 있는 경우

식 (3.22)에서 구한 값은 카이제곱분포를 따른다. 다만 자유도는 를 알고 있을 때는 각 행

에서 사전에 알 수 없는 값이 $(d-1)$ 개이고 이런 행이 rc 개 있으므로 총 자유도는 $rc(d-1)$ 이 된다. p_{jk} 를 사전에 알 수 없는 경우에는 이를 추정해야 하며, 추정한 수만큼 자유도가 감소한다. p_{jk} 를 추정해야 하는 경우의 자유도를 계산하기 전에 마코비티 검정에서 자유도와 관련하여 일반적인 적합도검정과는 다른 특징인 이 0인 경우를 먼저 고려해 보자.

$f_{ij \cdot}$ 이 0인 경우는 (i,j,k) 범주의 관측빈도 f_{ijk} 가 모든 k 에 대해서 관해서 전혀 관측되지 않았다는 것을 의미한다. 따라서 f_{ijk}, E_{ijk} 모두 0이다. 이 경우에는 식 (3.22) 계산시 분자, 분모 모두 0이 되어 계산상 문제가 발생할 뿐 아니라 분모가 0이 아니더라도 분자의 편차제곱합도 0이 되어 사실상 의미없는 값을 더하고 자유도만 높아지는 결과가 되어 문제가 발생한다. 따라서 $f_{ij \cdot}$ 가 0인 경우에는 그에 해당하는 값을 제외해야 하며 이를 반영하여 자유도를 감소시켜야 한다. $f_{ij \cdot}$ 가 0이라면 <표 6>의 분할표에서 (i,j) 행이 아예 없는 것으로 생각할 수 있으며 (i,j) 행의 자유도 기여가 $(d-1)$ 이므로 $f_{ij \cdot}$ 가 0인 경우에는 원래 자유도에서 $(d-1)$ 을 감소시켜야 한다. 따라서 z 를 식 (3.23b)에 정의된 집합 Z 의 원소의 갯수(Cardinality)라고 하면, 식 (3.22)의 DI는 식 (3.23a)와 같이 수정이 되고 자유도 $(rc-z)(d-1)$ 를 가지는 카이제곱분포를 따른다.

$$DI = \sum_{i,j \notin Z} \sum_{k=1}^d \frac{(f_{ijk} - E_{ijk})^2}{E_{ijk}} \quad (3.23a)$$

$$Z = \{(i,j) | f_{ij \cdot} = 0\} \quad (3.23b)$$

(b) 전이확률(p_{jk})을 추정해야 하는 경우

이제 좀더 현실적인 상황인 p_{jk} 를 추정해야 하는 경우의 자유도를 고려해 보자. 우선 p_{jk} 는 다음 식으로 추정할 수 있다.

$$\hat{p}_{jk} = f_{\cdot jk} / f_{\cdot j} \quad (3.24)$$

식 (3.24)는 t 시점에 상태 j 에 있었고 $t+1$ 시점에 상태 k 에 있었던 모든 관측치($f_{\cdot jk}$)를 t 시점에 상태 j 에 있었던 모든 관측치($f_{\cdot j}$)로 나눈 것으로 전이확률의 개념을 생각하면 이해가 쉽다.

〈표 7〉 \hat{p}_{jk} 추정을 위한 분할표

범주 ($V_2 \setminus V_3$)	1	...	k	...	d	합계
1	$f_{\cdot 11}$	...	$f_{\cdot 1k}$	...	$f_{\cdot 1d}$	$f_{\cdot 1\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
j	$f_{\cdot j1}$	...	$f_{\cdot jk}$	...	$f_{\cdot jd}$	$f_{\cdot j\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
c	$f_{\cdot c1}$	...	$f_{\cdot ck}$	...	$f_{\cdot cd}$	$f_{\cdot c\cdot}$
합계	$f_{\cdot \cdot 1}$	...	$f_{\cdot \cdot j}$	...	$f_{\cdot \cdot c}$	$f_{\cdot \cdot \cdot} (=n)$

식 (3.24)에서 구한 p_{jk} 의 추정치 \hat{p}_{jk} 를 식 (3.21)에 대입하여 구한 기대빈도를 활용하여 구한 DI는 자유도가 $(rc-z)(d-1)$ 에서 \hat{p}_{jk} 를 추정으로 인한 자유도 감소분을 반영해야 한다. \hat{p}_{jk} 추정을 위한 분할표인 〈표 7〉을 통해 각 행의 자유도가 $(d-1)$ 이고 행의 수가 c 이므로 \hat{p}_{jk} 추정으로 인한 자유도 감소량은 $c(d-1)$ 이 됨을 확인할 수 있다. $\hat{p}_{j1}, \dots, \hat{p}_{jd-1}$ 을 알면 \hat{p}_{jd} 는 확률합이 1이라는 특성을 활용해서 추정하지 않아도 되므로 추정해야 하는 \hat{p}_{jk} 의 갯수는 $c(d-1)$ 이 된다. 결과적으로 p_{jk} 를 추정해야 하는 경우에는 다음 식이 성립한다.

$$DI = \sum_{i,j \notin Z} \sum_{k=1}^d \frac{(f_{ijk} - E_{ijk})^2}{E_{ijk}} \sim \chi^2((rc-c-z)(d-1))^{18} \quad (3.25)$$

(c) $p_{jk}=0$ 이 존재하는 경우

정책의 결과를 분석할 때 모든 상태간의 전이가 존재하는 경우는 드물다. 예를 들어 소득 최하위 계층이 소득 최상위 계층으로 한 번에 전이되는 것은 불가능하다. 이렇듯 정책의 결과를 상태로 정의하여 마코프체인으로 분석하는 경우 일부 상태 사이에서만 변화가 가능하고 전이가 불가능한 상태가 존재할 수 있다. 이 경우에는 전이가 관측되지도 않고, 기대빈도도 0이므로 DI의 자유도에 영향을 준다. 이를 반영한 p_{jk} 가 0인 경우의 마코비티검정을 위한 분할표는 〈표 6〉이 〈표 8〉과 같이 바뀐다. 〈표 8〉에서 (V_2, V_3)가 (j,k)범주에 속하는 경우 관찰할 수 없으므로 f_{ijk} 는 0이 된다. 따라서 해당 행에서는 관측빈도의 수가 d 가 아니라 $d-1$ 개로 감소하게 된다. 따라서 p_{jk} 가 0으로 인해 영향받는 행이 기여하는 자유도는 $d-1$ 이 아니라 $d-2$ 가 된다. 이를 일반화하기 위해서 집합 W_j 를 상태 j 에서 전이할 확률이

18) 논지 전개의 일관성을 위해 V_1, V_2, V_3 범주의 갯수를 r, c, d 로 정의했으나, 마코프체인은 상태의 수가 변하지 않으므로 마코프체인의 상태를 m 이라고 한다면 마코비티검정에서 $r=c=d=m$ 이다. 따라서 자유도를 $(m^2-m-z)(m-1)$ 로 표현할 수 있다.

0인 상태의 집합이라고 하면, W_j 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$W_j = \{k | p_{jk} = 0\} \tag{3.26}$$

w_j 를 집합 W_j 의 원소의 갯수라고 정의하면 <표 8>의 분할표 각 행에서 사전에 알 수 없는 관측빈도의 수는 $d - w_j$ 이다. 확률합이 1이라는 성질을 반영하여, $p_{jk}=0$ 이 존재하는 경우의 \hat{p}_{jk} 추정 전 DI의 자유도는 $\sum_{i,j \in Z} (d - w_j - 1)$ 이 된다.

<표 8> 마코비티검정을 위한 분할표($p_{jk}=0$)

범주 ($V_1 \otimes V_2 \setminus V_3$)	1	...	k	...	d	합계
(1,1)	f_{111}	...	f_{11k}	...	f_{11d}	$f_{11\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(1, j)	f_{1j1}	...	$f_{1jk} = 0$	...	f_{1jd}	$f_{1j\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(1, c)	f_{1c1}	...	f_{1ck}	...	f_{1cd}	$f_{1c\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i ,1)	f_{i11}	...	f_{i1k}	...	f_{i1d}	$f_{i1\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i , j)	f_{ij1}	...	$f_{ijk} = 0$	...	f_{ijd}	$f_{ij\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(i , c)	f_{ic1}	...	f_{ick}	...	f_{icd}	$f_{ic\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r ,1)	f_{r11}	...	f_{r1k}	...	f_{r1d}	$f_{r1\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r , j)	f_{rj1}	...	$f_{rjk} = 0$	...	f_{rjd}	$f_{rj\cdot}$
⋮	⋮		⋮		⋮	⋮
(r , c)	f_{rc1}	...	f_{rck}	...	f_{rcd}	$f_{rc\cdot}$
합계	$f_{\cdot\cdot 1}$	...	$f_{\cdot\cdot j}$	...	$f_{\cdot\cdot c}$	$f_{\cdot\cdot\cdot} (=n)$

$p_{jk}=0$ 이 존재하는 경우에는 추정해야 하는 \hat{p}_{jk} 의 갯수도 달라진다. 0으로 이미 알고 있는 p_{jk} 는 따로 추정할 필요가 없으므로 추정해야 하는 \hat{p}_{jk} 의 갯수는 $\sum_{j=1}^c (d - w_j - 1)$ 가 된다. 결론적으로 $p_{jk}=0$ 이 존재하는 경우에는 다음 식 (3.27)과 같이 DI가 자유도 df 인 카이제곱분포를 따른다.

$$DI = \sum_{i,j \notin Z} \sum_{k \in W_j} \frac{(f_{ijk} - E_{ijk})^2}{E_{ijk}} \sim \chi^2(df) \quad (3.27a)$$

$$(df = \sum_{i,j \notin Z} (d - w_j - 1) - \sum_{j=1}^c (d - w_j - 1)) \quad (3.27b)$$

식 (3.27b)의 자유도를 모든 전이확률이 0이 아닌 경우($w_j=0$)에 적용하면 식 (3.25)의 자유도와 동일함을 확인할 수 있다.

3) 전이구조 차이비교

정책의 성과 변화를 추적한 결과 마코비티가 성립하면 해당 정책은 마코프체인을 통해서 동적인 특징과 미래의 변화상을 예측할 수 있다. 증거 기반의 정책 평가의 중요한 측면 중 하나는 평가 방법론을 통해서 정책 실행으로 인한 변화를 파악하는 것이다. 마코비안 기반 정책 평가 방법론에서 정책 실행으로 인한 차이를 파악하는 것은 특정 기간 동안의 전이행렬이 구조적 차이가 있느냐 여부를 결정하는 것이다.

전이구조의 차이비교를 위해서는 시점 $t, t+1$ 의 마코프체인의 상태 $X(t), X(t+1)$ 을 V_2, V_3 로 정의하고 V_1 은 정책효과 구분을 위한 기간으로 정의해서 분할표를 구성해야 한다. 예를 들어 2000년에서 2010년의 기간과 2011년에서 2021년까지의 기간이 정책으로 인한 동적구조가 차이가 있는지를 파악하고자 하는 경우 두 기간의 전이확률이 동일한지 여부를 검정하면 된다. 2000년에서 2010년까지의 구간을 $V_1=1$ 로 정의하고 2011년에서 2021년까지의 구간을 $V_1=2$ 로 정의하면 <표 6>의 형태로 분할표를 구성할 수 있다. 일반적으로 비교하고자 하는 구간이 r 개라고 하면 <표 6>의 분할표와 동일한 분할표를 만들 수 있다. 각 범주가 의미하는 바가 다르기는 하지만 분할표가 동일하므로 식 (3.27a,b)를 활용해서 기간별 동적 구조의 차이에 대해서도 검정할 수 있다.

III. R활용 마코비안 기반 정책 평가 방안

마코비안 기반 정책 평가 방법론을 실제 활용하기 위해서는 정책과 관련된 자료를 정리하여 분할표를 만들고 이 분할표에서 필요한 정보를 가공하여 DI를 계산하고, 전이확률을 추정하는 것이 필요하다. 전이확률을 추정한 후에는 마코프체인의 동적 특징을 분석하는 등 다양한 자료 처리와 계산이 필요하다. 여기에서는 지금까지 살펴본 마코비안 기반 정책 평가 방법론을 실제 활용할 수 있도록 자료 처리와 계산을 위한 알고리즘과 이를 반영한 R

코드를 살펴본다. 코드에 대한 이해를 높이기 위해 실제 사례를 중심으로 실제 분석하는 과정을 살펴본다. 앞 장에서 살펴본 방법론을 R 코드로 구현하는 과정을 살펴봄으로써 개념적인 방법론 이해에 그치지 않고 현실 정책 분석에 바로 활용할 수 있는 방안을 제시한다.

1. 분석 사례

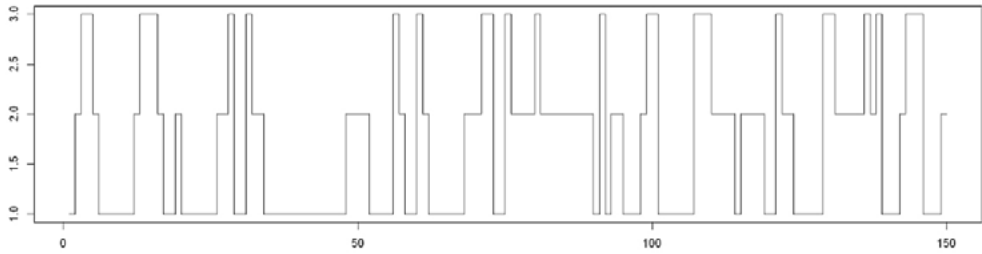
안정적인 경제 성장을 위해서 새로운 국가 경제 정책을 실행했고 매월 경제 상황을 측정 한 결과 <표 9>와 같은 경기 변동과 관련된 자료를 수집했다고 가정하자. 경기는 경기침체, 안정, 경기과열 세 가지 상태로 측정했으며, 각 상태는 1, 2, 3으로 정의했다. ‘1 2 3’으로 시작하는 <표 9>는 경제 정책 변화 이후 경기가 ‘침체→안정→과열’로 변화하고 있음을 나타낸다.

이해를 돕기 위해서 경제 상황을 사례로 들었지만, <표 9>의 자료는 군 인식 변화를 위한 정책 실행 후 국민의 인식 변화를 측정 한 것으로 생각할 수도 있고, 안보 정책 변화 이후 한반도 상황의 변화로 생각할 수도 있다. 앞 장에서 설명한 바와 같이 마코비안 기반 정책 분석 방법론은 정책의 결과를 상태로 정의하여 분석하므로 다양한 상황에 적용될 수 있다. <그림 3>은 <표 9>에서 제시된 150기간 동안의 동적 상태변화를 그래프로 표현한 것이다.

<표 9> 150기간 동안의 상태 변화¹⁹⁾

Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1	2	3	3	2	1	1	1	1	1
11	1	2	3	3	3	2	1	1	2	1
22	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1
31	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
51	2	1	1	1	1	3	2	1	1	3
61	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
71	3	3	1	1	3	2	2	2	2	3
81	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
91	3	1	2	2	1	1	1	2	3	3
101	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2
111	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1
121	3	2	2	1	1	1	1	1	3	3
131	2	2	2	2	2	3	2	3	1	1
141	1	2	3	3	3	1	1	1	2	2

19) <표 9>는 Kullback(1962)이 마코비과정 예제로 사용한 자료를 기초로 본 연구에 맞게 변형한 자료이다. ‘2 3 3’으로 시작하는 자료는 확률적 현상의 상태변화를 150기간 동안 기록한 것이다.



〈그림 3〉 150기간 동안의 상태 변화

〈표 9〉의 자료를 기반으로 마코비안 기반 정책 분석 방법론을 활용하여 경제 정책의 효과를 확인하기 위해서는 먼저 마코비티검정을 수행해야 한다. 마코비티검정은 마코비안 기반 정책 분석 방법론을 활용할 수 있는지 여부를 판단하는 가장 중요한 분석이다. 무기역속성을 만족하지 않는 자료를 가지고 마코프체인을 활용한 분석으로 정책을 평가한다는 것은 어불성설이다. 마코비티검정을 통과하면 추정된 전이확률행렬을 활용하여 마코프체인의 안정상태와 동적 특징을 파악할 수 있다. 그 결과 정책이 어떤 방식으로 안착하고 변화를 일으키는지 이해할 수 있다.

2. 자료 입력과 정리

1) 자료입력

모든 분석의 출발점은 기초 자료를 분석에 필요한 자료로 변환하는 것이다. 이 과정은 자료의 입력과 입력된 자료의 정리로 이루어진다. 우선 R에서 자료를 입력하는 과정부터 살펴보자.

〈표 9〉의 자료는 파일의 형태로 제공될 가능성이 크다. 이 파일은 쉼표로 분리된 값(Comma Splited Value:CSV)로 제공될 가능성이 크다. R에서 csv 파일을 읽는 명령어는 다음과 같다.

```
> ss1 <- read.table("test.csv",sep=",",head=T) (4.1a)
```

```
ss1 <- mutate(ss1,x=as.character(x)) (4.1b)
```

식 (4.1a)는 test.csv 파일에 있는 쉼표(,)로 분리된 값을 첫 행은 제목(Header)이니 무시하고 읽으라는 명령어이다. 값이 탭으로 분리되어 있으면 ‘sep=,’ 대신에 ‘sep="\t”’를 넣은 명령어를 사용하면 값을 다음 〈그림 4〉와 같이 읽어서 ‘ss1’이라는 변수에 저장한

다.²⁰⁾ (4.1b)는 자료 처리의 편리함을 위해서 숫자로 된 값을 문자로 변형시키는('mutate') 명령어이다.

```
A data.frame:
  150 × 1
      x
  <chr>
1     1
2     2
3     3
4     3
5     2
6     1
7     1
8     1
9     1
10    1
```

〈그림 4〉 read.table 결과

〈그림 4〉에서 ss1은 데이터프레임(Dataframe)이라는 자료 형태로 저장되어 있음을 알 수 있다. 데이터프레임은 가장 일반적인 통계자료의 형태로 행(Row)은 관측값, 열(Column)은 속성(Attribute)으로 구성되어 있는 자료 형태이다. 예를 들어 한 반의 키, 몸무게, 시력, 성별을 조사해서 테이블로 정리한다면 이름, 키, 몸무게, 시력, 성별이 열을 구성하고, 각 행은 구성된 하나하나의 정보가 들어간다. 이런 형태의 데이터를 데이터프레임이라고 한다(윤봉규, 2021).

2) 전이테이블(Transition Table) 만들기

분석을 위해서는 우선 분할표를 만들어야 한다. 분할표를 만들기 위해서는 $X(t-1)$, $X(t)$, $X(t+1)$ 시점 사이의 상태전이를 나타내는 전이테이블(Transition Table)을 만들어야 한다. 전이테이블은 각 시점의 경제 상황이 저장되어 있는 'ss1'의 $X(1)$ 에서 $X(150)$ 까지 상태변화를 V_1 , V_2 , V_3 범주로 표현하는 것이다. $X(1)$ 에서 $X(148)$ 은, $X(2)$ 에서 $X(149)$ 는 V_2 , $X(3)$ 에서 $X(150)$ 을 V_3 라는 변수에 넣어 〈그림 5〉와 같이 만든다.

20) 브라우저로 파일을 찾아서 읽어오는 것이 아니기 때문에 파일이 저장되어 있는 디렉토리(폴더)를 제대로 R에게 알려 줘야 파일을 불러올 수 있다. 현재 기본으로 설정되어 있는 디렉토리(폴더)는 'getwd()'를 실행하면 알 수 있고, 파일이 "C:/Users/BKYOON1"에 있다면, 'setwd("C:/Users/BKYOON1")'을 실행해서 기본 디렉토리(폴더)를 지정한 후 'read.table' 명령을 수행해야 한다.

```
>V1 <- ss1$x[1:148]
V2 <- ss1$x[2:149]
V3 <- ss1$x[3:150]
TT1 <- data.frame(V1,V2,V3)
```

식 (4.2)는 ‘ss1’의 x라는 이름 밑에 있는 값 중 1~148번째 자료는 V1에 2~149번째 값은 V2에 3~150번째 값은 V3에 넣어서 이 자료를 합쳐서 ‘TT1’이라는 이름의 데이터프레임으로 만들라는 명령이다.

A data.frame: 148 × 3

V1	V2	V3
<chr>	<chr>	<chr>
1	2	3
2	3	3
3	3	2
3	2	1
2	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	2

<그림 5> 전이테이블

전이테이블을 다음 식 (4.3)과 같은 코드로 쉽게 만들 수 있다. 이런 코드는 함수형태로 작성된 코드라고 하며, 보통의 함수와 같이 입력을 받아서 결과를 출력을 하는 방식으로 작동한다. 코드를 함수로 사전에 정의해두면 ‘make_transition_table1’과 같은 함수의 이름을 명령어처럼 사용해 ‘{, }’에 들어가 있는 여러 명령어를 실행한 결과만 받을 수 있으므로 편리하다.

```
> make_transition_table1 <- function(sequence,m_order=1){
TT <- matrix(ncol=m_order+1,nrow=length(sequence) - m_order)
for(i in 1:(m_order+1)){
TT[i,] <- sequence[i:(length(sequence)-(m_order+1)+i)]
}
}
```

```
TT
}
```

‘make_transition_table1(sequence,m_order=1)’은 ‘sequence’를 입력 데이터로 해서 3개 시점(V_1, V_2, V_3)으로 ‘sequence’의 값을 나누라는 함수 명령어이다. 입력변수 ‘m_order’는 기본값이 1로 정해져 있는 입력변수이며, 입력을 생략하면 기본적으로 열이 두 개인 전이테이블이 생성한다. 입력을 생략하지 않고, 2를 입력하면 열이 세 개인 전이테이블을 3을 입력하면 열이 네 개인 전이테이블을 만든다. 즉, 식 (4.3)은 R의 함수 형태로 작성된 전이테이블을 만드는 함수 코드이며, 전이테이블을 만들 입력데이터와 전이테이블의 차원을 입력하면 전이테이블을 만들어 준다. 식 (4.3)의 코드를 R에서 실행한후 <표 4>의 결과는 다음 명령어를 실행해도 얻을 수 있다. 식 (4.2)와 식 (4.4)를 비교해보면 식 (4.4)는 입력만 지정하면 자료의 크기나 상세 내용을 알 필요가 없이 전이테이블을 쉽게 만들어 주는 것을 알 수 있다.²¹⁾

```
> TT1 <- data.frame(make_transition_table1(ss1$x,2)) %>%
  setNames(c("V1", "V2", "V3"))
```

(4.4)

식 (4.4)에서 식 (4.4)는 전이테이블을 만들어서 데이터프레임으로 변환하고, 그 이후 데이터프레임의 변수명은 V1, V2, V3로 정해서 TT1에 저장하라는 명령어이다. ‘%>%’는 파이프(Pipe) 연산자이며, R에서 데이터프레임 처리시 자주 활용되는 방법이다. 파이프 연산은 데이터를 원하는 형태로 점차 만들어 가는 방법으로 이에 대한 소개는 윤봉규(2021)를 참고하기 바란다.

경제 상황에 대한 조사중 결측치가 있는 경우 이를 제외하고 전이테이블을 만들어야 한다. 식 (4.5)는 전이테이블에서 결측치를 제외하는 코드(‘na.omit’)를 추가한 함수이다.

```
> make_transition_table <- function(T_seq,m_order=1){
```

21) 본 연구에서는 앞으로 분석 절차는 함수의 형태로 제공하고 함수의 간단한 개요만 설명한다. 그 이유는 함수의 코드에 대한 상세한 설명은 R에 대한 깊이 있는 이해가 필요한 경우가 있고, 함수를 쓰는 방법만 알아도 분석을 수행하는 데 전혀 문제가 없기 때문이다. RF 모듈, 주파수 대역, 리튬배터리와 같은 휴대폰의 상세 내용을 다 알아야만 휴대폰을 활용할 수 있는 것은 아니듯이 분석을 수행하기 위해서 분석 절차를 축약한 R 함수의 상세 내용을 반드시 알아야 하는 것은 아니기 때문이다. 물론, 함수로 주어진 코드를 완전히 이해하면 더 좋다. 그러나 정책을 분석할 때는 함수의 형태로 주어진 명령어를 이용해도 충분하다. 본 연구의 목적이 쉽고, 동적분석이 가능한 범용성 있는 방법론을 제시하는 것이므로 R 코드 분석을 위해 시간을 쓰는 것 보다는 개념을 이해하고 함수 형태로 제시된 명령어를 활용하면서 분석 결과의 의미에 집중하는 것이 원래 목적에 더 부합할 것이다.

```
data.frame(make_transition_table1(T_seq,m_order)) %>% na.omit %>% set-
Names(c(paste0("V",1:(m_order+1)))) (4.5)
}
```

식 (4.5)을 활용하면 식 (4.4) 대신 간단한 다음 명령어로 <그림 5>와 같은 전이테이블을 만들 수 있다.

```
> TT1 <- make_transition_table(ss1$x,2) (4.6)
```

3. 분할표 만들기

1) 전이테이블로 분할표 만들기

분할표는 <표 4>에 있는 전이테이블에서 나타나는 각 범주의 횟수를 세어서 정리하면 된다. 이는 식 (4.7)을 통해서 가능하다. 식 (4.7)은 전이테이블에서 나타나는 전이를 V_1, V_2, V_3 에 있는 범주를 기준으로 그룹으로 묶어('group_by'), 빈도('n()')를 세어 'Fijk'에 저장하는 코드이다. 식 (4.7)을 실행하면 'Fijk'에 <그림 6>와 같은 결과가 저장된다.

```
> Fijk <- TT1 %>% group_by(V1,V2,V3) %>% summarize(fijk=n()) (4.7)
```

한편, <그림 6>의 왼쪽에 있는 분할표는 V_1, V_2, V_3 가 3, 1, 3인 전이(범주)가 빠져 있기 때문에 완전한 분할표가 아니다. 완전한 분할표는 (3,1,3) 전이의 빈도가 0이라는 정보가 포함되어 있어야 한다. 이를 반영한 완전한 분할표를 만들기 위해서는 모든 가능한 전이를 고려한 완전한 분할표를 만들고 실제 자료에서 나타난 빈도를 완전한 분할표에 반영하는 방법으로 분할표를 만들어야 한다. 다음 식 (4.8)은 완전한 분할표를 만드는 함수이다. 식 (4.8a)는 가능한 모든 전이 경로를 만드는 함수이고, (4.8b)는 (4.8a)의 결과를 받아서 빠진 경로가 없는 완전한 전이테이블을 만드는 함수이다.

```
> all_possible_state <- function(T_seq,order=1){
  state1 <- unique(as.vector(T_seq))%>% na.omit
  state <-c("")
  for(i in 1:order){ (4.8a)
    state <- outer(state,state1,paste0) %>% as.vector
```

A grouped_df: 26 × 4				A data.frame: 27 × 4			
V1	V2	V3	fijk	V1	V2	V3	fijk
<chr>	<chr>	<chr>	<int>	<chr>	<chr>	<chr>	<dbl>
1	1	1	36	1	1	1	36
1	1	2	8	1	1	2	8
1	1	3	7	1	1	3	7
1	2	1	1	1	2	1	1
1	2	2	6	1	2	2	6
1	2	3	4	1	2	3	4
1	3	1	1	1	3	1	1
1	3	2	5	1	3	2	5
1	3	3	2	1	3	3	2
2	1	1	10	2	1	1	10
2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	3	1	2	1	3	1
2	2	1	7	2	2	1	7
2	2	2	19	2	2	2	19
2	2	3	4	2	2	3	4
2	3	1	2	2	3	1	2
2	3	2	2	2	3	2	2
2	3	3	5	2	3	3	5
3	1	1	5	3	1	1	5
3	1	2	1	3	1	2	1
3	2	1	4	3	1	3	0
3	2	2	6	3	2	1	4
3	2	3	1	3	2	2	6
3	3	1	3	3	2	3	1
3	3	2	4	3	3	1	3
3	3	3	3	3	3	2	4

<그림 6> 분할표(왼쪽: 불안전, 오른쪽: 완전)

```

)%>% sort
}
state
}

> state_expn1 <- function(T_seq,order=2){
  state <- all_possible_state(T_seq,1)
  temp <- data.frame(state)
  for(i in 1:order){
    temp <- temp %>% full_join(data.frame(state),by=character())
  }
  temp %>% setNames(paste0("V",1:(order+1)))
}
    
```

(4.8b)

식 (4.8)을 활용하여 식 (4.9)의 코드를 수행하면 <그림 6>의 오른쪽과 같은 완전한 분할표를 구성하기 위한 V_1, V_2, V_3 의 가능한 모든 경로(범주)를 포함한 데이터프레임이 만들어진다.

```
> comp_tt1 <- state_expn1(ss1$x) (4.9a)
```

```
> Fijk <- comp_tt1 %>% full_join(Fijk,by=c("V1","V2","V3")) %>%  
  mutate(fijk=coalesce(fijk,0)) (4.9b)
```

식 (4.9)를 수행한 결과 새롭게 만들어진 <그림 6>의 오른쪽 분할표, 'Fijk'는 왼쪽의 분할표와 달리 행의 수가 27개이다. 상태 세 개로 만들 수 있는 전이 경로는 모두 27개이므로 Fijk에는 완전한 분할표가 저장되어 있다. 오른쪽 분할표에는 전이(범주) (3,1,3)의 빈도수가 0임이 포함되어 있다. <식 4.9>의 'full_join(Fijk,by=c("V1","V2","V3"))'는 변수 V_1, V_2, V_3 를 기준으로 'comp_tt1'에 있는 완전한 경로를 가진 전이테이블과 불완전한 전이테이블 'Fijk'를 합치라는 명령어이다. 한편, 합친 후에는 불완전 전이테이블에는 경로 (3,1,3)이 없었으므로 관측빈도('fijk') 자리에 'NA'값이 들어가 있을 것이다. 'mutate(fijk=coalesce(fijk,0))'은 'fijk'에 NA값 대신 0을 넣으라는 명령어이다.

<그림 6>의 분할표는 <표 6>의 마코비티 검정을 위한 이차원 분할표와는 다른 형식처럼 보인다. 그런데, <표 6>의 이차원 분할표의 각 열에 있는 V_3 값을 행의 범주에 맞추어 밑으로 나열하면 <그림 6>과 같은 분할표가 된다. <그림 6>의 분할표는 긴 데이터 형태(Long Data Format)이라고 하고 <표 6>의 분할표는 넓은 데이터 형태(Wide Data Format)라고 한다. 각 데이터 형태는 'spread', 'gather' 명령어를 통해 R에서 상호 변환 가능하다. 결과적으로 두 분할표는 동일한 자료이다.

2) 분할표의 각종 통계량 구하기

마코비티검정을 위한 의사결정 정보인 DI를 구하기 위해 식 (3.22, 23, 24)에 정의된 각종 통계량을 구해야 한다. 우선 기대빈도(E_{ijk})를 구하고, 필요한 경우 전이확률인 p_{jk} 를 추정해야 한다. 이를 위해서는 분할표의 관측빈도(f_{ijk})를 필요한 통계량으로 바꾸는 작업을 해야한다. 기대빈도와 전이확률 추정을 위해서 필요한 통계량은 $f_{ij..}, f_{.jk}, f_{.j.}$ 이며, 식 (4.10)에 정의된 코드를 통해 구할 수 있다.

```
> Fij. <- Fijk %>% group_by(V1,V2) %>% summarize(fij. = sum(fijk)) (4.10a)
```

```
> F.jk <- Fijk %>% group_by(V2,V3) %>% summarize(f.jk = sum(fijk))
```

(4.10b)

```
> F.j. <- Fij. %>% group_by(V2) %>% summarize(f.j. = sum(fij.))
```

(4.10c)

식 (4.10a)은 'Fijk'에 저장되어 있는 분할표의 관측빈도 'fijk'의 값을 V_1 , V_2 범주를 기준으로 그룹으로 만들어 ('group_by(V1,V2)') 합한 값을 'fij.'이라는 이름의 열로 생성해서('summarize(fij. = sum(fijk))') 이를 'Fij.'에 저장하라는 명령어이며, 식 (4.10b,c)도 유사한 명령어이다. 이렇게 만든 $f_{ij.}$, $f_{.jk}$, $f_{.j}$ 값은 다음 식 (4.11a)를 통해 분할표에 통합된다.

```
> F <- Fijk %>% full_join(Fij.) %>% full_join(F.jk) %>% full_join(F.j) %>%
ungroup
```

(4.11a)²²⁾

식 (4.11a)을 수행하면 <그림 7>과 같은 자료가 'F'에 저장된다.

분석에 필요한 분할표를 만들어 'F'에 저장한 후 식 (4.11b, c)와 같이 분석을 위한 r, c, d를 포함한 추가적인 몇 가지 값을 더 구해 놓으면 이후 분석에 유용하게 사용할 수 있다. (4.11b)는 r, c, d와 같은 차원을 정하는 코드이다. 'c'는 R에서 중요한 의미가 있는 문자이므로 대신 'sc'를 사용했다. 식 (4.11c)는 다음 장에서 논의하게 될 p_{jk} 가 0이 되는 경우를 고려하기 위한 초기 설정이다. p_{jk} 가 0이 없는 경우는 신경쓰지 않아도 되며, 그렇지 않은 경우는 추후 설명하겠다.

```
r <<- length(unique(F$V1))23)
```

```
sc <<- length(unique(F$V2))
```

(4.11b)

```
d <<- length(unique(F$V3))
```

```
pjk0 <<- matrix(1,nrow=sc,ncol=d)
```

(4.11c)

22) 'ungroup'은 나중의 계산을 위해서 앞서 $f_{ij.}$, $f_{.jk}$, $f_{.j}$ 계산시 활용한 그룹을 해제하는 명령어로 이렇게 하는 것이 추후 계산시 문제 발생 가능성을 줄인다.

23) '<<-'는 변수를 전역변수(Global Variable)로 취급하라는 명령어이다. '<-'대신 '<<-'를 사용하면 그 변수는 어디에서나 불러올 수 있는 변수가 된다.

A data frame: 27 × 7

V1	V2	V3	fijk	fij.	f.jk	f.j.
<chr>	<chr>	<chr>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
1	1	1	36	51	51	69
1	1	2	8	51	10	69
1	1	3	7	51	8	69
1	2	1	1	11	12	52
1	2	2	6	11	31	52
1	2	3	4	11	9	52
1	3	1	1	8	6	27
1	3	2	5	8	11	27
1	3	3	2	8	10	27
2	1	1	10	12	51	69
2	1	2	1	12	10	69
2	1	3	1	12	8	69
2	2	1	7	30	12	52
2	2	2	19	30	31	52
2	2	3	4	30	9	52
2	3	1	2	9	6	27
2	3	2	2	9	11	27
2	3	3	5	9	10	27
3	1	1	5	6	51	69
3	1	2	1	6	10	69
3	1	3	0	6	8	69
3	2	1	4	11	12	52
3	2	2	6	11	31	52
3	2	3	1	11	9	52
3	3	1	3	10	6	27
3	3	2	4	10	11	27
3	3	3	3	10	10	27

〈그림 7〉 통계량이 포함된 분할표

4. 마코비티 검정

분할표를 구했으면, 이제 마코비티검정을 위한 준비가 다 된 것이다. 이제 분할표를 활용하여 DI와 자유도를 계산하면 마코비티검정을 수행할 수 있다.

1) DI와 자유도 계산

DI 계산을 위해서는 아래 식 (4.12)을 통해서 p_{jk} , E_{ijk} 등을 계산하고 이를 활용하여 DI를 구해야 한다. ‘transform’은 데이터프레임에서 열의 정보를 이용해서 계산을 수행한 후 새로운 열을 추가하는 명령어이다. ‘cbind(data.frame(notz = F\$fij. > 0))’는 f_{ij} .가 0이 아닌, 식 (3.23b)에 정의된 집합 Z에 포함되지 않은 범주(‘notz’)를 구분하기 위한 열을 추가하는 명령어이다.

```
>F <- F %>% transform(pjk = f.jk/f.j.) %>% transform(Eijk = fij. * pjk) %>%
transform(dis = (fijk - Eijk)^2 / Eijk) %>%
cbind(data.frame(notz = F$fij. > 0))
```

(4.12)

A data.frame: 27 × 11

V1	V2	V3	fijk	fij.	f.jk	f.j.	pjk	Eijk	dis	notz
<chr>	<chr>	<chr>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<lg1>
1	1	1	36	51	51	69	0.7391304	37.6956522	0.0762750113	TRUE
1	1	2	8	51	10	69	0.1449275	7.3913043	0.0501278772	TRUE
1	1	3	7	51	8	69	0.1159420	5.9130435	0.1998081841	TRUE
1	2	1	1	11	12	52	0.2307692	2.5384615	0.9324009324	TRUE
1	2	2	6	11	31	52	0.5961538	6.5576923	0.0474283781	TRUE
1	2	3	4	11	9	52	0.1730769	1.9038462	2.3078865579	TRUE
1	3	1	1	8	6	27	0.2222222	1.7777778	0.3402777778	TRUE
1	3	2	5	8	11	27	0.4074074	3.2592593	0.9297138047	TRUE
1	3	3	2	8	10	27	0.3703704	2.9629630	0.3129629630	TRUE
2	1	1	10	12	51	69	0.7391304	8.8695652	0.1440750213	TRUE
2	1	2	1	12	10	69	0.1449275	1.7391304	0.3141304348	TRUE
2	1	3	1	12	8	69	0.1159420	1.3913043	0.1100543478	TRUE
2	2	1	7	30	12	52	0.2307692	6.9230769	0.0008547009	TRUE
2	2	2	19	30	31	52	0.5961538	17.8846154	0.0695616212	TRUE
2	2	3	4	30	9	52	0.1730769	5.1923077	0.2737891738	TRUE
2	3	1	2	9	6	27	0.2222222	2.0000000	0.0000000000	TRUE
2	3	2	2	9	11	27	0.4074074	3.6666667	0.7575757576	TRUE
2	3	3	5	9	10	27	0.3703704	3.3333333	0.8333333333	TRUE
3	1	1	5	6	51	69	0.7391304	4.4347826	0.0720375107	TRUE
3	1	2	1	6	10	69	0.1449275	0.8695652	0.0195652174	TRUE
3	1	3	0	6	8	69	0.1159420	0.6956522	0.6956521739	TRUE
3	2	1	4	11	12	52	0.2307692	2.5384615	0.8414918415	TRUE
3	2	2	6	11	31	52	0.5961538	6.5576923	0.0474283781	TRUE
3	2	3	1	11	9	52	0.1730769	1.9038462	0.4290986791	TRUE
3	3	1	3	10	6	27	0.2222222	2.2222222	0.2722222222	TRUE
3	3	2	4	10	11	27	0.4074074	4.0740741	0.0013468013	TRUE
3	3	3	3	10	10	27	0.3703704	3.7037037	0.1337037037	TRUE

〈그림 8〉 각종 통계량을 계산한 후의 분할표, F

〈그림 8〉에 제시된 분할표에서 DI는 E_{ijk} 가 0이 되는(Z에 포함되거나 p_{jk} 가 0) 경우를 제외한 제곱합을 더하는 식 (4.13)에 제시되어 있는 명령어를 통해서 구할 수 있다. 그 값은 10.2128024050266이다.

```
> sum(F$dis,na.rm=TRUE)24)
```

(4.13)

24) 'sum(F\$dis,na.rm=TRUE)'는 'F\$dis' 값중 NaN값을 제외하고 더하라는 명령어이다.

A data frame: 27 × 11

V1	V2	V3	fijk	fij.	f.jk	f.j.	pjk	Eijk	dis	notz
<chr>	<chr>	<chr>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<lg>
1	1	1	36	51	51	69	0.7391304	37.6956522	0.07627501	TRUE
1	1	2	8	51	10	69	0.1449275	7.3913043	0.05012788	TRUE
1	1	3	7	51	8	69	0.1159420	5.9130435	0.19980818	TRUE
1	2	1	0	0	11	41	0.2682927	0.0000000	NaN	FALSE
1	2	2	0	0	25	41	0.6097561	0.0000000	NaN	FALSE
1	2	3	0	0	5	41	0.1219512	0.0000000	NaN	FALSE
1	3	1	1	8	4	18	0.2222222	1.7777778	0.34027778	TRUE
1	3	2	5	8	9	18	0.5000000	4.0000000	0.25000000	TRUE
1	3	3	2	8	5	18	0.2777778	2.2222222	0.02222222	TRUE
2	1	1	10	12	51	69	0.7391304	8.8695652	0.14407502	TRUE
2	1	2	1	12	10	69	0.1449275	1.7391304	0.31413043	TRUE
2	1	3	1	12	8	69	0.1159420	1.3913043	0.11005435	TRUE
2	2	1	7	30	11	41	0.2682927	8.0487805	0.13665928	TRUE
2	2	2	19	30	25	41	0.6097561	18.2928829	0.02734959	TRUE
2	2	3	4	30	5	41	0.1219512	3.6585366	0.03186992	TRUE
2	3	1	0	0	4	18	0.2222222	0.0000000	NaN	FALSE
2	3	2	0	0	9	18	0.5000000	0.0000000	NaN	FALSE
2	3	3	0	0	5	18	0.2777778	0.0000000	NaN	FALSE
3	1	1	5	6	51	69	0.7391304	4.4347826	0.07203751	TRUE
3	1	2	1	6	10	69	0.1449275	0.8695652	0.01956522	TRUE
3	1	3	0	6	8	69	0.1159420	0.6956522	0.69565217	TRUE
3	2	1	4	11	11	41	0.2682927	2.9512195	0.37270712	TRUE
3	2	2	6	11	25	41	0.6097561	6.7073171	0.07458980	TRUE
3	2	3	1	11	5	41	0.1219512	1.3414634	0.08691796	TRUE
3	3	1	3	10	4	18	0.2222222	2.2222222	0.27222222	TRUE
3	3	2	4	10	9	18	0.5000000	5.0000000	0.20000000	TRUE
3	3	3	3	10	5	18	0.2777778	2.7777778	0.01777778	TRUE

〈그림 9〉 $f_{12.} = f_{23.} = 0$ 인 새로운 분할표
(왼쪽:분할표, 오른쪽: $p_{jk}=0$ 반영 통계량 계산 분할표)

DI는 카이제곱분포를 따르므로, 이제 카이제곱분포의 자유도만 결정하면 마코비티검정을 통해 의사결정을 할 수 있다. 지금까지 살펴본 사례는 $f_{ij.}$ 이 모두 0이 아니고, p_{jk} 도 0이 아닌 사례를 살펴봤지만, 일반화를 위해서 $f_{ij.}$, p_{jk} 가 0인 경우가 존재하도록 사례를 조금 수정해 보자. 분할표를 구한 결과가 다음 〈그림 9〉와 같다고 가정해보자. 이 분할표에서 $f_{12.} = f_{23.} = 0$ 이므로 $Z = \{(1,2), (2,3)\}$ 이 된다. 〈그림 9〉의 오른쪽을 보면 $f_{ij.}$ 이 0인 경우에는 E_{ijk} 가 0이고 따라서 'dis'값이 계산되지 않아 'NA'로 표시되어 있음을 확인할 수 있다. 이를 반영하여 'notz' 변수 값이 'FALSE'로 표시되어 있어 DI 계산시 제외된다. $f_{12.} = f_{23.} = 0$ 인 새로운 분할표에서 DI값은 3.51431944245856이다.

자유도는 다음 식 (4.14)을 통해 구할 수 있다. 식 (4.14)는 식 (3.27b)에서 이미 정의된

수식이다. $c=d=3$, p_{jk} 가 0인 경우가 없으므로 w_j 는 모두 0이고, $\{i, j \notin Z\}$ 인 집합의 갯수가 7이므로 자유도가 $8(=7 \times 2 - 3 \times 2)$ 이 된다. 가정을 추가해서 $p_{12} = p_{23} = 0$ 이라고 하면 식 (3.23)에 의해서 $p_{jk}(k=1, \dots, d)$ 에서 확률 값이 0인 전이확률의 수인 w_j 는 $w_1 = 1, w_2 = 1$ 이 된다. 이를 반영하여 식 (4.14)에 따라 자유도를 구하면 $5(=9-4)$ 가 된다.²⁵⁾

$$df = \sum_{i,j \notin Z} (d - w_j - 1) - \sum_{j=1}^c (d - w_j - 1) \quad (4.14)$$

식 (4.14)에 따라서 자유도를 구하는 것은 f_{ij} , p_{jk} 가 서로 정보가 완전히 독립적이지 않으므로 계산이 쉽지 않다. 여기에서는 자유도 계산을 쉽게하기 위해서 다음 행렬을 정의한다. 행렬 D, W 는 모두 차원이 $r \times c$ 이며, D 는 모든 원소가 V_3 범주(상태)의 갯수, d 이며, W 는 W_j 집합의 원소의 갯수로 이루어진 벡터가 r 행 반복되는 식 (4.15)와 같은 행렬이다.

$$D = \begin{pmatrix} d & \dots & d \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d & \dots & d \end{pmatrix}, \quad W = \begin{pmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_c \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 & w_2 & \dots & w_c \end{pmatrix} \quad (4.15)$$

식 (4.15)와 같이 D, W 를 정의하면 식 (4.14)의 첫째항은 $D-W-1$ 의 원소를 Z 에 속하지 않는 첨자에 대해서만 더하면 되고, 두 번째 항은 $D-W-1$ 의 첫 행으로 $(d \dots d) - (w_1 w_2 \dots w_c) - 1$ 의 모든 원소를 더하면 구할 수 있다. 식 (4.16)은 이를 반영한 자유도를 구하는 코드이다.

식 (4.16a)은 $p_{jk}=0$ 인 전이확률을 정의하고, 이를 계산한 후 행렬 W 를 구성하는 코드이다. 식 (4.16b)는 $D-W-1$ 을 구하고 f_{ij} 이 0인 값은 자유도에 포함되지 않도록 0으로 만드는 코드이다.²⁶⁾ 식 (4.16c)는 식 (4.14)의 우변 두 번째 항을 구하고, 각 원소를 합해서 자유도를 구하는 코드이다. 사례를 적용하면 결과는 5가 된다.

```

> pjk0[1,2]<-pjk0[2,3]<-0 #p12, p23 =0
w <- d-rowSums(pjk0) #p12, p23 =0 w1 = 1, w2 = 1
W <- matrix(w,byrow=T,nrow=r, ncol=sc)
    
```

(4.16a)

25) (i,j)의 값중 집합 Z에 속하지 않는 원소(i,j)는 (1,1), (1,3), (2,1), (2,2), (3,1), (3,2), (3,3)이고 그 때 $d-w_j-1$ 의 값은 각각 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2이다. 이를 식 (4.14)에 대입해서 계산하면 자유도 계산이 가능하다.

26) R이 자료를 다루는 독특한 방식으로 인해서 스칼라인 d를 행렬 W와 연산할 수 있다. 이 경우 행렬 W의 차원에 맞게 d를 확장해서 계산한다.

```
A <- d - W - 1
A <- A * matrix(F %>% select(V1,V2,notz) %>% unique %>% select(notz) %>%
as.matrix %>% as.vector ,byrow=T,nrow=r)
(4.16b)
```

```
B <- d - w - 1
df <- sum(A)-sum(B)
(4.16c)
```

이제 모든 통계량을 구했으므로, 유의수준 5%에서 p-value는 ‘1- pchisq(DI,df,0.95)’를 실행하면 구할 수 있다. 사례에서는 p-value가 0.621222030223147로 0.05보다 높으므로 마코비티가 성립한다.²⁷⁾

2) 마코비티검정과 절차 간소화

지금까지와 같이 마코비티검정을 위해 실행한 다양한 코드를 그대로 따라하면 마코비티검정이 가능하다. 이런 방식은 설명을 위해 조각조각 흩어져 있는 여러 코드들을 실행해야 하므로 비효율적이다. 실제 분석시에는 지금까지의 절차를 모두 함수의 형태로 만들어 마코비티검정을 식 (4.17)과 같이 함수 명령어로 만들어 실행하는 것이 효율적이다.

명령어 함수는 ①전이테이블 만들기, ②분할표 만들기, ③각종 통계량 구하기, ④마코비티검정, 4단계 절차에 대해 총 7개로 구성되어 있으며 지금까지 설명한 코드를 활용하여 작성했다. 상세 코드는 <부록 1>에 첨부되어 있다. <부록 1>의 코드를 그대로 복사해서 R에서 실행한 후 다음과 같은 4단계의 절차를 실행하면 마코비티검정을 할 수 있다.

```
> TT1 <- make_transition_table(ss1$x,2) #①전이테이블 만들기
Fijk <- make_Fijk(TT1) # ②분할표 만들기
F <- make_F(Fijk) # ③각종 통계량 구하기
pjk0[1,2]<-pjk0[2,3]<-0 #④-1마코비티검정, pjk = 0이 없으면 건너뛰
test_markovity(F,pjk0) #④-2 마코비티 검정
(4.17)
```

식 (4.17)에서 마코비티검정을 위한 ‘test_markovity’함수는 p_{jk} 에 관한 정보를 담고 있는 ‘pjk0’을 반드시 필요로 한다. 이 정보는 명령어 함수 ③각종 통계량 구하기(‘make_Fijk’)에 자동으로 기본값(p_{jk} 가 0인 없는 경우)이 생성되도록 포함되어 p_{jk} 가 0인 경우가

27) p-value는 유의수준보다 클수록 귀무가설을 강하게 암시한다. 마코비티검정에서 ‘귀무가설은 마코비티가 성립한다’이다.

없으면 실행할 필요가 없는 코드이다.

5. 동적 분석

1) 안정상태확률과 스펙트럼 분석

전이확률은 분할표에 p_{jk} 의 값인 'F\$pjk'를 활용하여 다음 식 (4.18) 같이 구할 수 있다. 이 코드는 이미 'test_markovity' 함수에 포함되어 있다.

```
P <- matrix(F %>% select(V2,V3,pjk) %>% unique %>% select(pjk) %>%
as.matrix %>% as.vector,byrow=T,nrow=sc, ncol=d) * pjk0      (4.18a)
```

```
P <- P/rowSums(P)      (4.18b)
```

식 (4.18a)의 첫번째 'matrix(F %>% select(V2,V3,pjk)...'는 전이확률 정보를 추출해서 행렬로 만드는 코드이고, 'pjk0'를 곱하는 이유는 $p_{jk}=0$ 인 부분을 반영하기 위한 코드이다. (4.18b)는 $p_{jk}=0$ 임에도 관측된 빈도가 있는 경우 이를 전이확률 계산에서 배제하기 위한 코드이다. 식 (4.18)을 통해 다음 전이행렬을 결과를 얻을 수 있다.

```
A matrix: 3 × 3 of type dbl
 0.8644068  0.0000000  0.1355932
 0.3055556  0.6944444  0.0000000
 0.2222222  0.5000000  0.2777778
```

〈그림 10〉 경기 변동 전이확률행렬

〈그림 10〉에 정의된 전이확률 행렬을 P라고 하면 ' $P\%^{100}$ '을 실행하면 안정상태확률 0.668913, 0.2055023, 0.1255847을 구할 수 있다. 이런 전이구조를 가지는 경제 상황은 장기적으로 침체국면에 있을 가능성이 66.89%, 안정국면에 있는 가능성이 20.55%, 과열상태에 있을 가능성은 12.56%라고 해석할 수 있다. 결과적으로 이 경제 정책은 경기 침체 국면을 겪을 가능성이 상당히 높은 정책으로 분석할 수 있다.

2) 구조적 변화

분석의 편의를 위해서 f_{ij} 과 p_{jk} 값에 0이 존재하지 않은 처음 사례로 돌아가 보자. <표 9>에서 제시된 사례에서 1에서 50기간까지는 정책 실행 전이고, 51기간부터 끝까지는 정책 실행후라고 가정해서 두 기간 동안의 경제 상황 변화에 차이가 있는지 검토해 보자. 앞에서 살펴본 바와 같이 전이구조의 차이비교는 시점 $t, t+1$ 의 마코프체인의 상태 $X(t), X(t+1)$ 을 V_2, V_3 로 정의하고 V_1 은 정책효과 구분을 위한 기간으로 정의해서 분할표를 구성하는 것 외에는 마코비티검정과 동일하다. 시점 $t, t+1$ 의 마코프체인의 상태 $X(t), X(t+1)$ 를 V_2, V_3 로 정의하기 위해서 'ss1'에 저장되어 있는 상태전이를 다음 식 (4.19)과 같이 'ss11', 'ss12'로 나누어 정리한다. 'make_transition_table(ss11,1)' 입력값으로 2대신 1이 들어가 있음을 주목할 필요가 있다. 일반적 마코비티검정과 달리 V_2, V_3 전이만을 전이 테이블에 반영해야 하므로 범주의 차원을 하나 줄인 것이다. 식 (4.19)의 시행결과가 <그림 11>에 제시되어 있다. V_2, V_3 는 전이상태를, V_1 은 비교를 위한 기간을 나타낸다. V_1 이 1이면 1-50기간의 전이를, 2이면 나머지 전이를 나타내도록 전이테이블이 구성되어 있다.

```

>ss11 <- ss1$x[1:50]
ss12 <- ss1$x[51:150]
TT11 <- make_transition_table(ss11,1) %>% setNames(c("V2","V3")) %>%
cbind(V1="1")
TT12 <- make_transition_table(ss12,1) %>% setNames(c("V2","V3")) %>%
cbind(V1="2")
    
```

(4.19)

이제 두 기간의 전이테이블을 합치고 V_1 이 전이상태가 아니므로 r 이 c, d 와 같지 않아 생기는 문제를 해결하면 분할표를 만들 수 있다.²⁸⁾

```

> TT1c <- rbind(TT11,TT12)
Fijk <- make_Fijk(TT1c)
Fijk <- Fijk[1:18,]29)
    
```

(4.19)

나머지는 마코비티검정과 동일하게 다음 식 (4.20)에 있는 코드를 실행하면 되면 p-val-

28) Fijk[1:18,]

29) 'Fijk[1:18,]'는 이 1,2 밖에 없어서 나타나는 문제를 해결하기 위한 코드이다. 이 코드는 이 3인 부분은 제외하고 'Fijk'를 고려하는 코드이다.

ue 0.318014489138119을 얻게 되어 두 기간 동안의 경제 상황 변화에 구조적 차이가 없다고 할 수 있다. 즉, 정책으로 인한 경기변동 구조의 변화는 없는 것으로 판단할 수 있다.

```
> F <- make_F(Fijk)
test_markovity(F,pjk0)
```

(4.20)³⁰⁾

A data.frame: 49 × 3				A data.frame: 99 × 3			
	V2	V3	V1		V2	V3	V1
	<chr>	<chr>	<chr>		<chr>	<chr>	<chr>
1	1	2	1	1	2	1	2
2	2	3	1	2	1	1	2
3	3	3	1	3	1	1	2
4	3	2	1	4	1	1	2
5	2	1	1	5	1	3	2
6	1	1	1	6	3	2	2
7	1	1	1	7	2	1	2
8	1	1	1	8	1	1	2
9	1	1	1	9	1	3	2
10	1	1	1	10	3	2	2
11	1	2	1	11	2	1	2
12	2	3	1	12	1	1	2
13	3	3	1	13	1	1	2
14	3	3	1	14	1	1	2
15	3	2	1	15	1	1	2

〈그림 11〉 두 기간으로 구분한 전이테이블
(왼쪽 TT11': 1-50, 오른쪽 TT12': 51-150)

30) 식 (4.20)에서는 p_{jk} 가 0인 경우가 없으므로 이를 정의하는 코드가 빠져있음을 주목하기 바란다.

IV. 결론

본 연구는 마코프 체인을 증거 기반의 정책평가 방법론으로 활용하는 방안을 제시함으로써 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 본 연구에서는 비교적 이해가 용이한 마코프 체인을 증거 기반의 정책평가 방법론으로 활용하여 방법론의 복잡도를 낮추고, 이를 통해 정책 수립 및 실행에 관련된 이해 관계자들이 정책 본연의 영역에 집중할 수 있는 기반을 제공한다. 앞서 살펴본 바와 같이 기존의 정책평가 방법론은 분야와 분석 문제에 따라서 배경 이론의 난이도가 높고 범용성이 떨어져 전반적으로 방법론의 복잡도가 높아진다. 특히 시계열 자료를 포함한 동적 특성을 분석하는 경우에는 그 복잡도가 기하급수적으로 증가한다.

둘째, 본 연구는 정책의 동적 특징을 분석 가능한 방법론을 제공한다. 정책은 복잡하고 다양한 변화를 수반하므로 횡단면 자료만으로는 정책을 제대로 평가할 수 없다. 따라서 횡단면 자료에 기반한 분석은 분석 결과의 신뢰성을 저하시킨다. 한편, 빅데이터의 영향으로 동적 정보를 포함한 자료의 습득이 용이해진 점과 인구통계조사와 같이 주기적인 정보 수집을 특징으로 하는 행정 정보의 특징을 감안할 때 동적 특징을 반영한 정책평가가 가능한 환경이 이미 조성되었다고 할 수 있다. 본 연구에서 제시한 마코프 체인에 기반한 방법론은 변화한 정책 환경을 반영하여 동적인 정책평가를 수행할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다.

셋째, 본 연구는 다양한 현실적인 상황 분석이 가능한 방안을 제시한다. 본 연구에서 제시한 방법론은 정책 실행의 결과 변화를 추적하여 정책의 효과를 평가하는 방안이므로 다양한 정책평가에 적용될 수 있다. 정치, 경제, 사회, 복지 등 어느 분야의 정책이라고 하더라도 정책의 목표가 있으므로 그 목표를 추적할 수만 있다면 본 연구에서 제시한 방법론을 활용할 수 있다는 점에서 분야별, 주제별로 상이한 방법론을 사용했던 기존의 증거 기반의 정책평가 방법론과는 차별화되며, 현장에서 적용 가능성이 높은 방법론이라고 할 수 있다.

마지막으로, 본 연구는 패키지를 활용하여 실제 현장에 바로 적용할 수 있는 분석 방안을 제시했다. 정책의사결정자들의 증거 기반 정책평가 방법론에 대한 접근성을 높이기 위해서는, 기본 이론에 대한 이해만 있으면 분석결과를 도출할 수 있도록 복잡한 분석 과정을 패키지 형태로 제공하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 데이터 분석 패키지인 R을 활용하여 원시 데이터를 가공하여 분석에 필요한 빈도표(Frequency Table)를 만드는 과정부터, 마코비티 검정을 포함한 다양한 분석 방안을 직접 수행하는 절차를 R 코드의 형태로 제시했다. 또한, 알고리즘의 형태로 제시한 검정통계량의 자유도 계산 방법도 코드의 형태로 제시하여 본 연구에서 소개된 방법론의 모든 결과를 R에 대한 기본적인 사용법만 알고 있으면 쉽게 활용할 수 있도록 one-stop 솔루션을 제시했다.

이렇듯 쉽고, 현실성이 높으며, 응용 가능성이 높은 정책 평가 방안을 패키지의 형태로 제시함으로써 본 연구는 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 정책 이해 관계자들의 소통 활성화를 통한 정책 수립/집행 과정의 가시성을 높일 수 있다. 본 연구를 통해 국내에서 객관적 증거에 기반한 증거 기반 정책이 주로 연구자 집단을 중심으로 논의되고 있는 원인으로 작용하는 방법론 상의 문제점을 개선할 수 있다. 이를 통해 정책의사결정자, 전문가, 정책 수혜자 사이에서 정책의 효과에 대한 논의를 활성화하고, 정책 수립 및 집행 과정의 가시성을 제고함으로써 정책 효과 달성 가능성을 높일 수 있다. 둘째, 단기와 중장기 정책효과를 동시에 고려할 수 있는 기반을 제공함으로써 정책 효과를 제공할 수 있다. 마코프 체인에 기반한 정책평가 방법론을 활용하여 시간에 따른 정책 효과를 분석하고, 단기와 중장기 효과를 동시에 파악함으로써 정책의 파급효과에 대한 이해도 증가와 더불어 단기적 효과 달성 여부에 초점을 맞추어 정책의 추진 동력이 좌우되는 상황을 피할 수 있는 근거를 제공할 수 있다. 이를 통해 단기적 목표를 가진 정책과 중장기 목표를 가진 정책의 균형을 통해 정책 실행의 효과를 제고할 수 있다. 이는 증거 기반 정책의 확산으로 이어지고, 그 결과가 다시 정책 집행 효과를 제고할 수 있는 선순환 고리를 만들 수 있다.

마지막으로, 본 연구에서 제시한 방법론은 다양한 정책 분야에서 활용될 수 있는 방법론이지만 국방분야에서 활용도 또한 높다. 예를 들어 군수(Military Logistics)에서 시행하는 수리부속 재고관리 정책결정에 활용할 수 있다. 군은 수리부속 재고부족으로 무기체계(항공기, 함정, 전차 등)가 불가동되는 상황을 방지하기 위해 수리부속 수요예측 정확도 향상, 물류수송시간 단축을 위한 각종 수리부속 재고관리 정책을 시행하고 있다. 그러나 정책 실행의 효과에 대한 분석은 현 시점의 무기체계 불가동 발생건수와 과거 시점 대비 무기체계 불가동 발생건수 변동량을 확인하는 수준에 그치고 있다. 이로 인해 지휘관, 담당자 마다 정책 시행 효과에 대한 해석이 다양하여 정책 실행 즉시 무기체계 불가동 발생건수 감소가 나타나지 않으면 정책을 폐기해 버리는 경우가 빈번하다. 이는 군수 이외에도 작전, 인사, 재정 등 국방분야 전반에 공통적으로 발생하는 문제이다.

본 연구에서 제시한 정책평가 방법론을 국방분야에 활용한다면 기존의 데이터를 활용하면서도 정책 시행 결과에 대한 두 시점 간의 단순한 성과 비교가 아닌 동적인 변화를 분석함으로써 중·장기적 관점에서의 정량적인 정책 평가가 이루어질 수 있다. 더불어, 사전에 정책 효과를 검증하고 그 결과를 확인하는 과정에서 신뢰성 높은 자료를 축적하고 이 자료가 다시 정책평가의 객관성을 높이는 방식으로 효과적인 정책 수립의 선순환 고리가 형성될 수 있다.

또, 정책의 결과와 관련된 객관적인 증거에 대한 정보가 축적됨에 따라서 정책 목표나 효과에 대한 좀더 구체적인 계획의 수립이 가능해지고, 정책 목표에 대한 지속적인 관심을 통

해 정책에 대한 관심도를 제고하고 상황 변화에 신속하게 대응할 수 역량을 갖출 수 있다.
그 결과 국방 분야의 정책 효율성 증대에 기여할 수 있다.

참고 문헌

- 강민석 (2010). “공간·자본시장 모형을 통한 주택 정책 효과 분석.” 건국대학교 박사학위 논문.
- 금재호, 박순찬, 김우영, 이철인, 장동구(2005). “거시경제정책의 고용효과.” 한국노동연구원.
- 김동욱, 김준형, 유민이(2021). “증거기반 이민정책 수립을 위한 방향 : 이민정보 수집관리 전문기관 설치를 중심으로.” 2021년 한국이민정책학회 하계학술대회 발표논문집: 85-97.
- 김우철, 김재주, 박병욱, 박성현, 소문섭(2006), 현대통계학(제4개정판), 영지문화사.
- 김병배 (2017). “소년 보호관찰 분야에서의 증거기반 정책 채택과 향후 과제.” 보호관찰 17(1): 41-81.
- 김병찬, 안단(2021). “방위력개선사업의 비용편익 분석을 통한 획득대안 분석 연구.” 융합정보논문지 11(6): 113-119.
- 김선영(2020), “증거기반 정책에서의 빅데이터에 관한 연구.” 한국정책학 회보 29(10): 69-91.
- 김우영, 김현정(2010). “가계부채의 결정요인 분석.” 국제경제연구 16(1):39-78.
- 김윤영, 이종은(2012). “우리나라 주택시장의 매매·전세 가격변동 거시 결정요인의 동태 분석.” 경제학연구 60(3): 127-153.
- 김진모, 최수정, 전영욱, 류지은, 김선근(2018). “중등단계 직업교육의 비용편익 분석.” 농업교육과 인적자원개발 50(3):1-16.
- 농림축산식품부, 한국농어촌공사(2015). “소규모 지역축제 효과 분석 및 활성화 모델 개발.” 진한엠앤비.
- 나심 탈레브(김원호역, 2019), 스킨인더게임, 비즈니스북스.
- 손종철(2010). “통화정책 및 실물·금융변수와 주택가격간 동태적 상관관계 분석.” 경제학연구 58(2): 179-219.
- 오수영, 이향숙(2021). “전기 화물차 도입에 따른 도로운송분야의 이산화탄소 배출량 및 환경적 비용편익 분석.” 대한교통학회지 39(4):474-492.
- 우제운, 박주현, 백재욱, 이혁수(2005), “국방개혁에 따른 국민경제·사회적 효과.” 국방연구원.
- 유종성, 전병유, 신광영, 이도훈, 최성수(2020). “증거기반 정책연구를 위한 행정자료의 활용.” 한국사회정책 27(1):5-37.

- 윤봉규 (2009a). “전장/군수 최적화를 위한 확률적 모델링 및 분석 기법.” 군사과학정책연구 3(1).
- 윤봉규 (2009b). “전장 모델링 실무자를 위한 마코프 체인에 대한 소고.” 국방과학기술 2(3): 47-61.
- 윤봉규 (2021). “간소화된 그래픽 문법(Grammer of Graphics) 기반 데이터 시각화.” 군사과학연구지 14(1): 29-41.
- 이건(2012). “증거기반 정책과정에서 서베이조사방법의 역할 탐색.” 한국정책논집 12:94-113.
- 이도연, 김근환(2021). “증거기반 연구개발 정책 지원을 위한 정보 분석 프레임워크에 대한 연구: 정책과정의 합리성 제고에 관한 실무적 고찰.” 정보화정책 28(1):77-93.
- 이병권, 선효성, 최준규(2019), “소음노출의 위해성을 고려한 비용편익 연구.” 한국환경영연구원 기본연구보고서.
- 이소진, 함수한(2020). “서울형 미세먼지 정책효과 평가모델 개발과 적용.” 서울연구원.
- 이호우(2006), “대기행렬이론:확률과정론적 분석”, 시그마프레스.
- 이호준, 김근우, 김종하, 안단, 최봉완(2015). “국방무기체계 비용편익 및 경제적 파급효과 연구 - 000 유도로켓을 중심으로 -.” 한국방위산업학회지 22(4):24-48.
- 장우현, 강희우(2020). “공정경제 구현을 위한 과징금 유효성 제고방안에 관한 연구.” 한국조세재정연구원.
- 조남석, 윤봉규, 이춘주. (2021). “4차 산업혁명시대의 스마트 국방을 위한 국방사업관리 분석기법 연구.” 안보시리즈 4, 국가안전보장문제연구소.
- 조영미, 장진희, 이수연(2015). “서울시 여성가족정책 효과분석 및 정책수요조사-서울시 여성안전정책을 중심으로.” 서울시 여성가족재단 연구 보고서.
- 정규진, 사인석, 김용희(2012). “시스템다이내믹스와 인구통계학적 요인을 고려한 증거기반(Evidence-Based) 사회기반시설 정책수요분석.” 한국정책분석평가학회보 22(4): 95-126.
- 중소기업청(2016). “소기업·소상공인 신용보증 지원효과 분석 보고서.” 중소기업청연구보고서.
- 최지현(2021). “증거기반 정책결정과 절차적 정의 — 에너지 전환과 기후변화영향평가를 중심으로 —.” 환경법연구 43(1):137-170.
- 통계청 (2022). 통계기반정책평가지침. 통계청.
- 한국은행(2022). “통화신용정책보고서.” 한국은행 조사보고서.

- Anderson, TW and Goodman LA(1957). "Statistical Inference about Markov Chains." *The Annals of Mathematical Statistics* 28(1): 89-110.
- Bode E and Bickenbach F.(2002) "Markov or not Markov - this should be a question." 42nd Congress of the European Regional Science Association: From Industry to Advanced Services - Perspectives of European Metropolitan Regions. European Regional Science Association (ERSA), Louvain-laNeuve.
- Dunleavy P(2016). "Big Data and Policy Learning." in *Evidence-Based Policy-making in the Social Science: Methods that Matter*. Policy Press: 143-167.
- Cartwright N and Hardie J(2012). *Evidence Based Policy*. Oxford University Press.
- Davies (2004). "Is evidence-based government possible?.' Jerry Lee Lecture, presented at the 4th Annual Campbell Collaboration Colloquium, Washington DC.
- HM Tresurey(2020). *Magenta Book: Central Government guidance on evaluation*. UK.
- Justine P(2017). *The Politics of Evidence: from Evidence-based Ploicy to the Good Government of Evidence*. Routledge Studies in Governance and Public Policy.
- Lorenc T, Tyner E, Petticrew M, Duffy S, Martineau F, Philips G, and Lock K. (2014) "Cultures of evidence across policy sectors: systematic review of qualitative evidence." *European Journal of Public Health* 24(6):1041-7.
- Kingdon J(2010). *Agendas, Alternatives, and Public Policies*. 3rd edition. Little, Brown.
- Kullback SM, Kupperman M, and Ku H(1962). "Tests for Contingency Tables and Markov Chains." *Technometrics* 4(4): 573-608.
- Oliver K, Lorenc T and Innvær S(2014). "New directions in evidence-based policy research:a critical analysis of the literature." *Health Research Policy and Systems* 12(34) retrieved at <https://health-policy-systems.biomed-central.com/articles/10.1186/1478-4505-12-34>.
- Pawson R(2006). *Evidence-based Policy: A Realist Perspective*. Sage Publica-

- tions Ltd.
- Pawson R(2002). "Evidence-based Policy: In Search of a Method." *Evaluation* 8(2): 157-181
- Ross, S(2019). *Introduction to Probability Models*. Elsevier 12th ed., New York.
- Sinha, Sitabhra, Arnab Chatterjee, Anirban Chakraborti, and Bikas K. Chakrabarti(2011). *Econophysics: An Introduction*. Wiley-VCH.
- Smith K and Joyce K(2012). "Capturing complex realities: understanding efforts to achieve evidence-based policy and practice in public health." *Evidence and Policy* 8:57-78.
- Spedicato, G.A., Tae Seung Kang, Sai Bhargav Yalamanchi, Deepak Yadav, Ignacio Córdón(2015). "The markovchain Package: A Package for Easily Handling Discrete Markov Chains in R." retrieved at https://cran.r-project.org/web/packages/markovchain/vignettes/an_introduction_to_markovchain_package.pdf.
- Strang, G(2016). *Introduction to Linear Algebra* (5th ed.). Wellesley Publishers(India).
- Weiss CH, Bucuvalas MJ(1980) *Social Science Research and Decision-Making*. New York: Columbia University Press.
- Zohreh Sohrabi, Nazila Zarghi(2015). "Evidence-Based Management: An Overview." *Creative Education* 6(16): 1776-1781.

부록 1. 마코비티검정 코드³¹⁾

① 전이테이블 만들기

#1-1 상태전이를 나타내는 값(sequence)을 받아서 order에 따라 상태전이 행렬을 만들

```
make_transition_table1 <- function(sequence,m_order=1){
  TT <- matrix(ncol=m_order+1,nrow=length(sequence) - m_order)
#empty matrix size of 2, length(seq) - 1
  for(i in 1:(m_order+1)){
    TT[,i] <- sequence[i:(length(sequence)-(m_order+1)+i)]
  }
  TT
}
```

#1-2 결측값(NA) 제거 및 data.frame으로 만들기

```
make_transition_table <- function(T_seq,m_order=1){
  data.frame(make_transition_table1(T_seq,m_order)) %>% na.omit %>%
setNames(c(paste0("V",1:(m_order+1))))
}
```

② 분할표 만들기

#2-1 모든 가능한 전이 만들기

```
all_possible_state <- function(T_seq,order=1){
  state1 <- unique(as.vector(T_seq))%>% na.omit
  state <-c("")
  for(i in 1:order){
    state <- outer(state,state1,paste0) %>% as.vector %>% sort
  }
  state
}
```

31) 코드 전체를 복사해서 R에서 실행하면 마코비티검정 수행 가능하도록 제목을 주석문(#)의 형태로 표현했음. 139

#2-2 모든 가능 전이 경로를 포함하는 분할표 만들기

```
state_expn1 <- function(T_seq,order=2){
  # 모든 가능한 전이경로 포함하는 Contingency table만들기
  state <- all_possible_state(T_seq,1)
  temp <- data.frame(state)
  for(i in 1:order){
    temp <- temp %>% full_join(data.frame(state),by=character())
  }
  temp %>% setNames(paste0("V",1:(order+1)))
}
```

#2-3 Fijk 만들기

```
make_Fijk <- function(TT1){
  comp_tt1 <- state_expn1(c(TT1$V1,tail(TT1$V3,2)))
  Fijk <- TT1 %>% group_by(V1,V2,V3) %>% summarize(fijk=n())
  Fijk <- comp_tt1 %>% full_join(Fijk,by=c("V1","V2","V3")) %>% mutate(fijk=-
coalesce(fijk,0))
  Fijk
}
```

③ 각종 통계량 구하기

3 각종 통계량 구하기

```
make_F <- function(Fijk){
  Fij. <- Fijk %>% group_by(V1,V2) %>% summarize(fij. = sum(fijk))
  F.jk <- Fijk %>% group_by(V2,V3) %>% summarize(f.jk = sum(fijk))
  F.j. <- Fij. %>% group_by(V2) %>% summarize(f.j. = sum(fij.))
  F <- Fijk %>% full_join(Fij.) %>% full_join(F.jk)%>% full_join(F.j.) %>%
ungroup
  F <- F %>% transform(pjk = f.jk/f.j.) %>% transform(Eijk = fij. * pjk) %>%
transform(dis = (fijk - Eijk)^2 / Eijk) %>%
  cbind(data.frame(notz = F$fij. > 0))
```

```

#additional info.
r <- length(unique(F$V1))
sc <- length(unique(F$V2))
d <- length(unique(F$V3))
pjk0 <- matrix(1,nrow=sc,ncol=d)

F
}

# ④ 마코비티검정
#4 makrovity test 함수
test_markovity <- function(F,pjk0){

  w <- d-rowSums(pjk0)
  W <- matrix(w,byrow=T,nrow=r, ncol=sc)

  A <- d - W - 1
  A <- A * matrix(F %>% select(V1,V2,notz) %>% unique %>% select(notz) %>%
as.matrix %>% as.vector ,byrow=T,nrow=r)

  B <- d - w -1

  test_stat <- sum(F$dis,na.rm=TRUE)
  df <- sum(A)-sum(B)
  p_value <- 1- pchisq(test_stat,df)
  P <- matrix(F %>% select(V2,V3,pjk) %>% unique %>% select(pjk) %>%
as.matrix %>% as.vector,byrow=T,nrow=sc, ncol=d) * pjk0
  P <- P/rowSums(P)

  list(stat = test_stat, df = df, p_value = 1- pchisq(test_stat,df),P = P)
}

```


국방전자도서관(국방대 도서관)의 메타버스 기술 적용방안

국방대학교 교수 권태욱

- I. 연구 개요
- II. 도서관과 국방통합전자도서관
- III. 메타버스 기술 분석
- IV. 메타버스 적용 사례분석
- V. 국방대 도서관 메타버스 적용방안
- VI. 결론

요약

도서관은 다양한 자료를 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 한 시설이자 문화 및 정보의 중심로, 특히 학교기관에서의 도서관의 역할과 임무는 매우 중요하다.

메타버스(Metaverse)는 복합/가상/초월을 의미하는 *메타(Meta)*와 세계/우주를 의미하는 *유니버스(Universe)*를 합성한 신조어로, 현실을 디지털 기반의 가상 세계로 구현하여 가상의 공간에서 현실과 유사한 활동을 할 수 있게 만드는 시스템 또는 기술이다. 이와 같은 메타버스 기술을 도서관에 활용한다면 현재 도서관의 기본 임무인 다양한 자료를 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 하는 업무를 새로운 환경에서 색다른 접근으로 제공하여 사용자들의 접근, 활용 및 만족도를 높일 수 있고, 또한 학교의 문화 및 정보의 중심로서의 도서관의 역할을 더욱 충실하게 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

이번 연구를 통하여 1) 도서관의 개념·유형·운영방식 그리고 국방대학교 국방통합전자도서관에 관한 연구와 2) 메타버스 기술의 개념·유형·주요 플랫폼·발전 방향 및 도전과

제(문제점) 등에 관한 연구, 3) 메타버스 기술의 도서관 적용 사례연구, 그리고 4) 국방대 도서관에 메타버스 기술의 적용방안에 관하여 연구를 진행하였다.

메타버스의 주요 국외 플랫폼을 분석한 결과 Animal Crossing (동물의 숲), Second Life, Roblox, Minecraft, Fortnite 등 게임 기반의 플랫폼들이 주류를 형성하고 있다. 반면 Gather-Town은 화상회의의 기반에 메타버스 기술을 추가한 기능을 제공하고 있다. 국내 플랫폼인 Zepeto는 가상세계 제작 서비스를 제공하고, iFlands는 웹 기반의 플랫폼을 제공하고 있다. 위에서 언급한 주요 국내·외 플랫폼들의 기능 및 특성과 도서관의 기본 임무와 기능을 고려할 때 화상회의에 메타버스 기술을 추가한 Gather-Town이나 3D 아바타 기반의 가상세계 구축을 지원해 주는 Zepeto 플랫폼을 국방대 도서관에 적용할 메타버스 기본 플랫폼으로 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다.

이들 플랫폼을 기반으로 국방대 도서관의 적용방안으로 메타버스가 제공하는 체험 및 견학 등의 일반기능 3가지 적용방안, 현재 국방대 도서관이 특별하게 제공하고 있는 그룹 스터디룸, 카페테리아, 옥외정원 등 전문기능 6가지 적용방안, 마지막으로 현실적으로는 많은 시·공간 및 비용적인 제한을 극복하고 가상의 공간만이 가지는 장점을 활용할 수 있는 가상 작가와의 만남, 가상 독서토론회 등 가상기능 3가지 적용방안 등 총 12가지 적용방안에 대한 연구결과를 제안하였다.

이번 연구를 통하여 새로운 기술의 도입 및 적용을 위한 접근방법과 이러한 연구를 통하여 달성할 수 있는 기대효과 등에 관한 체계적인 연구의 사례가 될 것으로 판단된다. 그러나 모든 기술은 그 당시의 기술환경이나 외부 환경에 따라 유동적으로 변화를 하고 있다. 그리고 국방대는 학부와 대학원이 함께 공존하는 일반 대학교와는 다르게 대학원만으로 운영되는 특수한 성격의 대학원이며, 따라서 도서관 사용자의 주요 대상이 안보과정과 학위과정 학생들, 직무교육원과 국제평화활동센터 피교육생, 그리고 교직원이다. 따라서 메타버스와 같은 이러한 기술의 적용을 검토할 때는 사용대상자와 사용환경, 그리고 구성할 콘텐츠의 내용 등에 대한 체계적이고 전문적인 분석에 따라 진행되어야 추구하고자 하는 목적을 성공적으로 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

I. 연구 개요

1.1 연구 배경 및 목적

도서관(圖書館, Library)[01]은 책, 잡지, 영상 매체, 마이크로필름 등의 다양한 자료를 공공기관, 단체나 개인이 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 한 시설이자 문화 및 정보의 중심로, 특히 학교기관에서의 도서관의 역할과 임무는 매우 중요하다.

대학도서관의 개념에 관한 정의들은 대동소이한데, 설립 주체는 대학이고, 설립목적은 대학의 교육·연구·사회봉사에 대한 지원이며, 그 대상은 교수와 학생이고, 봉사 도구는 정보와 자료이다. 이들을 종합하여 “대학도서관은 학생과 교수들에게 교육, 연구, 사회 봉사 활동에 필요한 유형의 정보자료와 무형의 정보봉사를 제공할 목적으로 설립·운영하는 대학 내의 도서관”이라 정의할 수 있다.

대학도서관의 역할과 기능은 대학교육이란 고도의 지적 문화의 계승전달과 창조, 발전 및 국가사회의 지도자 양성이라는 전통적인 목적 이외에 산학협동체제의 강화를 통한 현실사회의 개조라는 새로운 목적까지도 수행하기 때문에 정보요구도의 증가에 대한 대처와 도서관 자료를 통한 교수학습, 연구, 조사자 간의 좀 더 긴밀한 상호 유기적인 관계의 정립이 더욱 필요한 것이다.

국방대 위치한 국방통합전자도서관[02]은 군 도서관의 일관성 있고 표준화된 정보유통 체계를 확립하고 내외부 시스템과의 연계, 연동을 통한 정보 활용의 범위를 확대하고, 도서관 정보시스템 운영을 위한 기본 인프라 구축 지원, 도서관 운영업무의 효율적인 개선으로 이용자 정보서비스 개선과 만족도 향상 제고를 목적으로 하였다. 국방통합전자도서관은 통합서버를 활용하여 다수의 도서관이 개별기관 업무 운영과 동시에 공동활용 자원의 구축과 관리를 수행하게 되는 협력기반 통합시스템 체계로 구성되었고, 기존의 체계가 개별적, 독립적 운용으로 정보공유 및 활용이 이루어지지 않아 중복 작업으로 인한 시간 낭비, 인력 낭비 등의 요인을 개선할 필요성으로 2009년 추진하였고, 미래 정보서비스를 선도하는 국방전자도서관 구축이라는 목표를 가지고 2020년 10월부터 2022년 6월까지 고도화 사업을 추진하였다.

메타버스(Metaverse)[03][04]는 복합/가상/초월을 의미하는 *메타(Meta)*와 세계/우주를 의미하는 *유니버스(Universe)*를 합성한 신조어로, *가상 우주/세계*라고 번역하기도 한다. 이는 3차원에서 실제 생활과 법적으로 인정되는 활동인 직업, 금융, 학습 등이 연결된 가상세계를 뜻한다. 현실을 디지털 기반의 가상세계로 구현하여 가상의 공간에서 현실과

유사한 활동을 할 수 있게 만드는 시스템이다. 구체적으로, 정치와 경제, 사회, 문화의 전반적 측면에서 현실과 비현실이 공존하는 생활형, 게임형 가상세계라는 의미로 폭넓게 사용되기도 한다.

메타버스 별마당도서관은 신세계프라퍼티가 iFlands를 활용하여 오픈한 시·공간을 초월해 실시간으로 소통하고 서로의 영감을 주고받는 친목 공간으로, 이곳에서는 인문, 물리, 정보기술(IT¹⁾) 등 매회 흥미로운 주제의 명사 초청특강이 열려 많은 호응을 얻고 있다. 성균관대 물리학과 김범준 고수의 ‘관계의 과학’을 주제로 한 강연을 시작으로 지금까지 10차례 이상의 명사 초청특강을 진행하는 등 많은 활용 사례들이 소개되고 있다.

이와 같은 메타버스 기술을 도서관에 활용한다면 현재 도서관의 기본 임무인 다양한 자료를 단체나 개인이 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 하는 임무를 새로운 환경에서 색다른 접근으로 제공하여 사용자들의 접근, 활용 및 만족도를 높일 수 있고, 또한 학교의 문화 및 정보의 중심로서의 역할을 더욱 충실하게 수행할 수 있을 것으로 판단되어 이번 연구를 수행하게 되었다.

1.2 연구 범위 및 목표

이번 연구를 통하여 달성하려는 연구 목표는 메타버스 기술의 속성과 관련 주요기술과 기능을 분석하고, 이들 기능을 활용하여 국방전자도서관의 기능과 역할을 향상시킬 수 있는 메타버스 기술의 국방대 도서관 적용방안을 도출하는 것이다.

이를 위하여 연구 기간 중 수행할 연구 범위는 아래와 같다.

첫째는 메타버스 기술의 적용 대상인 도서관의 임무와 기능에 관하여 연구한다. 이를 위하여 도서관의 개념, 유형, 운영방식, 그리고 메타버스 기술의 직접 적용 대상인 국방대학교 전자통합도서관에 관하여 연구한다.

둘째는 메타버스 기술에 관하여 연구한다. 이를 위하여 메타버스 기술의 개념, 메타버스의 유형, 메타버스의 주요 플랫폼, 그리고 발전 방향 및 도전과제(문제점) 등에 관하여 연구한다.

1) IT : Information Technology

셋째는 메타버스 기술의 도서관 적용 사례에 관하여 연구한다. 이를 위하여 크게 2가지 분류로 구분하여, 하나는 공공 및 일반 도서관에 관한 적용 사례를 분석하고, 다른 하나는 대학교 도서관에 관한 적용사례를 연구한다.

넷째는 앞에서 연구한 내용을 바탕으로 국방대 도서관에 메타버스 기술의 적용방안에 관하여 연구한다. 이를 위하여 우선 두 번째 연구에서 진행한 메타버스 주요 플랫폼들을 비교 분석하여 국방대 도서관에 제일 적합한 플랫폼 유형을 선정하고, 그리고 이 기술을 이용하여 국방대 도서관의 기능별 메타버스 기술의 적용방안을 연구하여 제안한다.

II. 도서관과 국방통합전자도서관

2.1 도서관의 개념과 역할

도서관(圖書館, Library)[01]은 책, 잡지, 영상 매체, 마이크로필름 등의 다양한 자료를 공공기관, 단체나 개인이 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 한 시설이자 문화 및 정보의 중심지다. 도서를 비롯한 각종 정보자료를 수집, 정리 및 보존함으로써 교육 체계와 정보의 축적, 검색에 매우 중요한 역할을 하며 독서, 조사, 연구에 이용될 수 있다. 도서관 이용자는 도서관에 있는 매체를 통해 여러 세대에 걸쳐 축적된 지식을 열람할 수 있다. 또한, 교육·업무·여가 선용에도 중요한 역할을 수행을 한다. 도서관의 종류에는 국가가 운영하는 국립도서관, 지역사회 주민들이 이용하는 공공도서관, 대학도서관, 초·중·고등학교의 학교도서관, 개인·협회·기업·정부 기관의 요구에 따라 필요한 정보를 수집해서 제공하는 전문·특수 도서관이 있다.

일반적으로 학술도서관(Academic Library)과 연구도서관(Research Library)의 속성을 내포하는 대학도서관의 개념에 대해서는 많이 정의되었다. 미국도서관협회(ALA²⁾)의 도서관 정보학 용어사전에서는 대학도서관을 “학생과 교원의 정보요구에 부응하고 교육과 연구 및 봉사프로그램을 지원하기 위하여 대학이 설치·지원·운영하는 도서관이나 도서관 시스템”이라고 정의하였다. 일본의 도서관정보학 한도붓쿠는 “대학의 교육 및 연구에 필요한 자료를 수집·정리·보존하고, 교직원과 학생에게 봉사하는 것을 목적으로 설립된 도서

2) ALA : American Library Association

관”으로 정의를 한다.

우리나라의 도서관 및 독서 진흥법 제2조 제5항에서는 “교육법에 의하여 설립된 대학(교육대학·사범대학·방송통신대학·개방대학·전문대학과 이에 준하는 각종학교를 포함한다) 및 다른 법률의 규정에 의하여 설립된 대학 교육과정 이상의 교육기관에서 교수와 학생의 연구 및 교육을 지원함을 주된 목적으로 하는 도서관”으로 명시하고 있다.

도서관[05]은 단순히 전시를 목적으로 하는 것이 아니라 이를 사용하기 위해 쉽게 접근할 수 있는 자료, 책 또는 매체의 집합체이다. 사용자의 요구를 매일 충족시키기 위해 업데이트된 정보를 보관할 책임이 있다. 도서관은 물리적(하드 카피 문서) 또는 디지털 액세스(소프트 카피) 자료를 제공하며 물리적 위치나 가상공간 또는 둘 다일 수 있다. 도서관의 자료집에는 DVD³⁾, CD⁴⁾, 카세트와 같은 다양한 형식의 인쇄 자료와 기타 물리적 자원뿐만 아니라 서지 데이터베이스에 저장된 정보, 음악 또는 기타 콘텐츠에 대한 접근도 포함될 수 있다.

도서관은 그 규모가 매우 다양하여 정부, 학교, 박물관 등의 기관, 법인 또는 개인에 의하여 이용과 유지·관리할 수 있다. 도서관은 자료를 제공할 뿐만 아니라 정보를 찾고, 선택, 순환 및 정리하고, 정보요구를 해석하고, 매우 많은 양의 정보를 다양한 자원으로 탐색 및 분석하는 데 훈련된 사서와 전문가의 서비스도 아울러 제공하고 있다.

도서관 건물은 종종 단체 수업과 협업을 위한 공동 영역뿐만 아니라 공부를 위한 조용하고 도움이 되는 영역을 제공하며, 또한 컴퓨터와 인터넷 접속과 같은 전자 자원에 접근할 수 있는 공공시설을 제공할 수 있다. 도서관은 또한 프로그램이 전달되고 사람들이 평생 학습에 참여하는 커뮤니티 허브가 될 수 있다. 현대 도서관은 인터넷을 통해 가정에서 전자적 방법으로 접근할 수 있는 자료를 제공함으로써 건물의 물리적 벽을 넘어 서비스를 확장한다. 따라서 도서관으로부터 멀리 떨어진 외딴 지역이나 다른 장소에 있는 사람들에게 해 정보가 제공되거나 가상으로 접근될 수 있기에 정보 세계에서 정보의 관리가 매우 쉬워졌다. 도서관이 제공하는 서비스는 도서관 서비스, 정보서비스, 또는 도서관과 정보서비스의 조합으로 다양하게 설명되지만, 기관 및 출처마다 이러한 용어를 다르게 정의하고 있다.

도서관의 역사[06]는 문서들을 정리하려는 첫 번째 노력에서 시작되었다. 최초의 도서관은 수메르에서 발견된 설형문자로 된 점토판, 기원전 2600년으로 거슬러 올라가는 기록 보관소로 구성되어 있다. 책으로 구성된 개인 또는 개인 도서관은 기원전 5세기 고전 그리스에서 나타났다. 고전주의 시대가 한창이던 6세기에 지중해 세계의 큰 도서관들은 콘스탄티노플과 알렉산드리아 도서관으로 남았다.

파티마 왕조(재위 909-1171)는 그들의 영역 내에 많은 위대한 도서관을 가지고 있었다.

3) DVD : Digital Video, Digital Versatile Disc

4) CD : Compact Disc

역사학자 Shafique[07]는 당시 지구상에서 가장 많은 문헌을 소장하고 있었던 궁궐 도서관을 “세계의 신비”라고 묘사하고 있다. 역사를 통틀어, 유혈 학살과 함께, 도서관의 파괴는 패망한 공동체의 기록된 기억의 모든 흔적을 없애기를 원하는 정복자들의 결정적인 행위들이었다. 1256년 몽골이 알라무트에서 니자리를 학살한 사건을 예로 들 수 있다. 팀북투 도서관은 14세기에 세워졌고 전 세계의 학자들을 끌어들였다.

최근 사회적 이슈로 떠오르고 있는 공정사회를 실현하기 위해서는 기회의 균등이 필요하다. 디지털로 모든 것이 이루어진 현대사회에서 균등한 기회를 시민들이 누리기 위해서는 최소한의 ICT⁵⁾에 대한 이해와 4차 산업 관련 기술에 대한 새로운 지식이 절대적으로 필요하다.

과거에 글을 읽지 못하는 문맹자들은 정보를 입수하지 못해 경제적, 사회적으로 많은 불이익을 감수하여야만 했고 사회에서 소외되었다. 현대에 디지털 문맹자들이 감내해야 할 불이익은 과거와 비교할 수 없을 정도로 막대해졌다. 우리나라는 공공도서관의 역할을 ‘공중의 정보이용·독서 활동·문화 활동 및 평생교육을 위한 기관’으로 도서관법에 명시하고 있다. 평생교육을 공공도서관의 역할로 설정한 것은 급격한 사회변화에 능동적으로 대처하기 위해서 모든 시민은 지속적으로 사회에서 요구하는 지식과 정보를 습득해야 하기 때문이다. 따라서 공공도서관은 전통적인 도서관 업무이외에 정보의 교육(Information literacy)을 담당하는 시민 교육기관으로의 역할도 수행해야 한다.

공공도서관은 법에서 명시한 ‘사회 전반에 대한 자료의 효율적인 제공과 유통, 정보 접근 및 이용의 격차 해소, 평생교육의 증진 등 국가 및 사회의 문화발전에 이바지함’이라는 목적을 4차 산업혁명시대에 맞게 구체적으로 설정하여야 한다. 특히 정보 접근 및 이용의 격차 해소는 디지털시대에 공정과 포용이라는 새로운 서비스 철학을 도서관 서비스 목적에 편입시켜야 한다. 이를 통해 미래 공공도서관은 디지털 소외계층을 포함한 모든 이용자에게 디지털 사회 편익성과 복지적 혜택을 적극적으로 영위할 수 있는 소양과 역량의 강화를 시켜주는 평등과 포용의 공간으로 거듭나고 있다.

디지털 포용 공간으로서 도서관은 시민들에게 개인의 문제와 지역의 문제를 파악할 수 있는 문제 인식 능력을 제공하고, 누구에게나 차별 없고, 올바른 정보를 활용할 수 있는 정보 교육을 평등하게 교육받을 기회의 공간이다. 궁극적으로 공공도서관은 힘 있는 시민 교육 플랫폼 역할을 수행을 하고, 공공도서관 사서는 디지털 시민성장을 지원하는 조력자(Facilitator) 역할의 수행을 하는 것이다. 그럼으로써 공공도서관과 사서의 노력이 존재하는 디지털 사회는 더 이상 디지털 격차가 존재하지 않고, 시민 모두가 공정하고 행복한 시

5) ICT : Information and Communications Technology

민사회로 성장할 것이다. 사회가 공정하고 행복한 디지털 시민사회로 한 단계 더 성장하기 위해서는 공공도서관의 역할이 과거 어떤 시대보다 중요하고 절실하게 필요한 시점이다.

2.2 도서관의 종류 및 운영방식

도서관의 유형은 다른 기관들에게 자료를 대출할 것으로 예상되는 도서관과 기관, 또는 다른 도서관에 자료를 대여하지 않는 참고 도서관을 구분한다. 현대의 도서관은 종종 이 두 가지가 혼합되어 있으며, 유통을 위한 일반 수집을 포함하고 있고, 도서관 구내로 제한되는 참조 자료를 포함하고 있다. 또한, 점점 더 디지털 자료는 인쇄물에서 유통되지 않는 자료에 대한 더 넓은 접근을 가능하게 하며, 도서관이 더 큰 시설을 짓지 않고도 자료를 확장할 수 있게 한다. Lamba[08]는 “오늘날의 도서관은 점점 더 다분야적 이고 협력적이며 네트워킹화 되었다”며 “도서관에 Web 2.0 도구를 적용하면 사용자와 커뮤니티를 연결하고 커뮤니케이션을 강화할 뿐만 아니라 사서들이 도서관 활동인 서비스를 촉진하는 데 도움이 될 것”이라고 주장함으로써 이러한 생각을 강조했다.

2.2.1 운영형태에 따른 구분

● **학술도서관(Academic Library)**은 일반적으로 대학 및 대학 캠퍼스에 위치하고 있으며, 주로 대학 및 기타 학술 기관의 학생과 교수들에게 서비스를 제공한다. 일부 학술도서관, 특히 공공기관에 있는 도서관들은 일반 대중들의 전체 또는 일부에 접근할 수 있다. 따라서 도서관 서비스는 일반 대중에게 유료로 확장되며, 대부분의 학술도서관은 지역사회의 읽고 쓰는 능력 수준을 향상시키기 위해 그러한 서비스를 제공한다. 도서관은 세계 각지의 독서문화 발전을 가능하게 하는 기관으로 알려져 있다.



〈그림 2-1〉 캐나다 토론토 대학도서관 전경
<https://library.utoronto.ca/>

학술도서관은 대학과 같은 중등 교육기관에서 주최하는 도서관이다. 이들의 주요 기능은 교육기관의 학생과 교직원들을 위한 연구, 컨설팅, 자원 연계 지원을 제공하는 것이다. 학술도서관은 학생과 교직원의 정보 요구사항을 충족시키는 역할을 하는 모든 분야에 걸쳐 퍼져 있는 신뢰할 수 있는 최신 정보 자원을 수용한다. 그러나 모든 책이 보관되어 있지 않은 경우는 백업을 제공하기 위해 특정 기관을 구독하는 온라인-참조를 제공하며 모든 유형의 정보를 보유하는 것만이 가능한 것은 아니며, 대부분의 도서관은 책을 교환하기 위해 다

른 도서관들과 상호협력 한다.

특정 강좌 관련 자료는 보통 도서관이 제공하는데, 이를테면 예약에 따라 제공되는 교재 사본과 기사 낭독본 등이 그것이다. 일부 학술도서관은 랩톱 컴퓨터, 웹 카메라 또는 과학 계산기를 체크아웃하는 기능과 같이 일반적으로 라이브러리와 연결되지 않은 자료들도 제공한다.

학술도서관은 정규, 채점 과정 이외의 워크샵과 과정을 제공하며, 이는 학생들이 프로그램에서 실행하는데 필요한 도구를 제공하기 위한 것이다. 이러한 워크숍에는 인용, 효과적인 검색 기법, 저널 데이터베이스 및 전자 인용 소프트웨어에 대한 도움이 포함될 수 있다. 이러한 워크숍은 학생들에게 그들이 교실 안에서 배우지 못할 수도 있는 학업 경력에서 성공을 달성하는 데 도움을 줄 수 있는 기술을 제공한다.

학술도서관은 캠퍼스에 학생들을 위한 조용한 공부 공간을 제공한다. 그것은 또한 회의실과 같은 단체 학습 공간을 제공할 수 있다. 북미, 유럽, 그리고 세계의 다른 지역에서, 학술도서관은 점점 디지털 지향적으로 변하고 있다. 도서관은 학생과 연구자들이 인쇄물 및 디지털의 다양한 자원에 접근할 수 있는 경로를 제공한다. 학술 기관은 전자 저널 데이터베이스를 구독하고, 연구 및 학술 문서 소프트웨어를 제공하며, 학생들이 저널, 도서관 검색 데이터베이스 및 포털, 기관의 디지털 자원, 인터넷 액세스, 과정 또는 과제 관련 소프트웨어에 액세스할 수 있는 컴퓨터 워크스테이션 또는 컴퓨터 랩을 제공한다. 예를 들어, 일부 학술도서관은 학생들의 논문과 논문의 디지털 사본 수집 및 큐레이션과 같은 기관 학술 연구와 학술 지식을 위한 전자 저장소 역할을 담당한다. 또한, 학술도서관은 완전히 개방된 기관 출판사의 형태로 비영리 기반에서 점점 더 스스로 출판사 역할도 수행하고 있다.

● **어린이 도서관(Children's library)**은 청소년 독자들을 위한 특별한 도서 모음 공간으로, 보통 일반 공공도서관의 별도 방에 제공된다. 일부 어린이 도서관은 큰 도서관에 전용 층이나 날개를 갖추고 있거나 작은 도서관에는 어린이를 위한 별도의 방이나 공간이 있다.



〈그림 2-2〉 몬트리올 어린이 도서관 1943년(좌)과 현재(우)
<http://www.mwcl.ca/>

청소년들에게 세계문학을 알리고 독서 사랑을 함양하려는 교육기관이다. 그들의 업무는 공립학교의 업무를 보충하기도 한다.

공공도서관이 일반적으로 제공하는 서비스에는 유아, 미취학 아동, 방과 후 프로그램을 위한 스토리텔링 시간이 포함될 수 있으며, 모두 조기 문학 능력 및 책 사랑을 함양하기 위한 목적으로 제공된다. 공공도서관에서 제공되는 가장 인기 있는 프로그램 중 하나는 어린이, 가족, 어른들을 위한 여름 독서 프로그램이다. 아이들에게 인기 있는 또 다른 독서 프로그램은 아이들이 공인된 치료견에게 책을 읽어줄 수 있는 프로그램이다. 동물들은 마음을 가라앉히는 영향을 주고 판단력이 없기 때문에, 아이들은 자신감과 독서에 대한 사랑을 배운다. 많은 곳에서 이런 종류의 프로그램을 가지고 있다.

● **국립도서관(National Library)**은 국가정보의 보고 역할을 하며 법정예탁권을 가지고 있는데, 이는 전국의 출판사가 각 출판물의 사본을 도서관과 함께 예탁해야 하는 법적 요건이다. 국립도서관은 공공도서관과 달리 시민들이 책을 빌릴 수 있도록 하는 경우가 거의 없다. 종종, 그들의 수집품들은 희귀하고, 가치 있거나, 중요한 작품들을 포함한다. 국립도서관의 정의가 넓어지면서 저장소 성격에 대한 강조가 줄어들었다. 최초의 국립도서관은 군주나 국가의 최고 기관들의 왕실 소장품에서 비롯되었다.



〈그림 2-3〉 핀란드 국립도서관 내부
<https://www.kansalliskirjasto.fi/>

많은 국립도서관은 국제도서관협회 및 기관연합(IFLA⁶⁾의 국립도서관 부문 내에서 공동의 업무를 논의하고, 공통 표준을 정의 및 홍보하며, 그들이 의무를 이행할 수 있도록 돕는 프로젝트를 수행하기 위해 협력하고 있다. 유럽의 국립도서관들은 유럽 국립 사서 회의(CENL⁷⁾)의 서비스인 유럽 도서관에 참여한다.

● **공공도서관(Public Library)**은 일반 대중에게 서비스를 제공한다. 도서관이 지역 전체 도서관시스템의 일부인 경우, 해당 지역에서 활성화된 도서관 카드를 소지한 시민은 도서관시스템과 연계된 도서관 분점을 이용할 수 있다. 그러나 도서관은 지역 도서관시스템의 구성원이 아닌 경우 지역에서만 서비스를 제공할 수 있다.

공공도서관에 있는 대부분의 자료들은 대여가 가능하다. 도서관 직원은 이용객들이 빌릴

6) IFLA : International Function of Library Association

7) CENL : Conference of European National Libraries

수 있는 물품의 수, 그리고 대출 시간의 세부 사항을 결정한다. 일반적으로 도서관은 책을 빌리기를 원하는 지역사회 구성원들에게 도서관 카드를 발급한다. 종종 도시를 방문하는 사람들은 공공도서관 카드를 얻을 수 있다.

많은 공공도서관이 독서 모임, 유아 이야기 시간 등 대중에게 무료 서비스와 이벤트를 제공하는 지역사회 단체 역할도 하고 있다. 많은 공동체에 도서관은 넓은 세계와의 연결, 얻을 수 있는 지식과 이해, 그리고 오락의 원천이다. 펜실베이니아 도서관 협회의 연구에 따르면, 공공도서관 서비스는 청소년들의 문맹률 감소에 주요 역할을 한다. 공공도서관은 공공도서관이 서비스하는 공공의 보호와 자금 지원을 받는다.

도서관 개설 이후 도서관의 도서 수가 꾸준히 증가하면서 적절한 조명과 함께 간결하게 보관하고 접근해야 할 필요성이 커졌다. 스택 시스템은 도서관의 장서들을 열람실과 분리된 공간에 보관하는 것을 포함한다. 책꽂이는 금세 표준적인 형태로 발전하여 책장을 지탱하는 주철과 강철 골조가 바닥을 받쳐주기도 했다. 전기조명의 도입은 도서관의 운영방식에 큰 영향을 미쳤다. 유리 바닥의 사용은 대부분 중단되었지만, 바닥은 여전히 공기가 여러 층에서 순환할 수 있도록 금속 격자로 구성되어 있다. 공간이 더 필요하게 됨에 따라, 선로 위의 선반을 이동하는 방법이 도입되어 낭비되는 통로 공간을 줄일 수 있게 되었다.

● **참조도서관(Reference Library)**은 책과 다른 물품들을 빌려주지 않는다. 대신에 도서관에서만 읽을 수 있다. 일반적으로 이러한 도서관은 예를 들어 대학에서 연구 목적으로 사용된다. 참조도서관의 일부 항목은 역사적이고 고유할 수도 있다. 많은 참조도서관은 일반적인 참고 도서인 사전과 같은 책을 보관하는 참조 자료 섹션을 포함하고 있고 따라서 대출되지 않는다. 이러한 참조 섹션은 신문과 정기 간행물을 포함할 수 있는 열람실로 지칭할 수 있다. 열람실의 예로는 오스틴에 있는 텍사스 대학교의 해리 랜섬 센터에 있는 헤이즐 H. 랜섬 독서실이 있는데, 그곳은 문학 에이전트인 오드리 우드의 논문 등을 보관하고 있다.



〈그림 2-4〉 보스턴 공공도서관 내부
<https://www.bpl.org/>



〈그림 2-5〉 해리 랜섬 센터 전경
<http://www.hrc.utexas.edu/>

● **연구도서관(Research Library)**은 하나 이상의 주제에 대한 자료 모음이다. 연구도서관은 학술적 또는 과학적 연구를 지원하며 일반적으로 1차 자료와 2차 자료를 포함한다. 연구도서관은 학술도서관이나 국립도서관인 경우가 가장 많지만, 큰 특수 도서관은 그 전문 분야 내에 연구도서관을 둘 수 있으며, 가장 큰 공공도서관들 중 극소수만이 연구도서관의 역할을 한다. 큰 대학도서관은 연구도서관으로 간주될 수 있으며, 북미에서는 연구도서관 협회에 속할 수 있다. 영국에서는 RLUK(Research Libraries UK)의 회원이 될 수 있다.

연구도서관은 소장품을 빌려주지 않는 참고도서관이 될 수도 있고 소장품의 전부 또는 일부를 빌려주지 않는 도서관이 될 수도 있다. 적어도 미국과 영국에 있는 대부분의 학술 연구도서관들은 책을 빌려주지만 정기 간행물이나 다른 자료들은 빌려주지 않는다. 많은 연구도서관이 부모단체에 부속되어 그 조직의 구성원들에게만 봉사한다. 연구도서관의 예로는 대영 도서관, 옥스포드 대학의 보들리언 도서관, 맨해튼 42번가에 있는 뉴욕 공공도서관 본관, 러시아 과학 아카데미 시베리아 지부의 국립 공공과학기술 도서관 등이 있다.



〈그림 2-6〉 대영 도서관 전경
<https://www.bl.uk/>

● **디지털도서관(Digital Library)**은 디지털 자원을 보관하는 도서관이다. 이들은 디지털 작품에 대한 접근을 제공하는 서비스가 아닌 조직으로 정의되며, 자료에 대한 접근을 제공하는 보존 책임을 가지고 있으며, 이러한 항목들을 쉽고 저렴하게 제공한다. 디지털도서관은 다양한 소프트웨어, 네트워킹 기술 및 표준을 사용하여 지정된 사용자 커뮤니티에 대한 디지털 콘텐츠 및 데이터에 대한 접근을 용이하게 한다. 디지털도서관에 대한 접근은 여러 요소에 의해 개별적으로 또는 함께 영향을 받을 수 있다. 액세스에 영향을 미치는 가장 일반적인 요인은 다음과 같다. 도서관의 콘텐츠, 대상 사용자의 특성과 정보요구, 도서관의 디지털 인터페이스, 도서관 조직 구조의 목표와 목표, 도서관 이용을 좌우하는 표준과 규정 등이 그것이다. 액세스는 관심 있는 문서와 필요한 문서를 검색하고 검색할 수 있는 사용자의 능력에 따라 달라진다.



〈그림 2-7〉 런던 여성도서관 전경
<https://www.womenlib.uk/>

디지털도서관의 가장 큰 고려 사항 중 하나는 자원에 대한 장기적인 액세스를 제공해야 한다는 것이다. 이를 위해서는 두 가지 주의할 필요가 있다. 미디어 오류 및 포맷이 노후화이다. 미디어 오류가 발생하면 특정 디지털 항목을 일종의 오류 또는 문제로 인해 사용할 수 없습니다. 예를 들어, 회손된 CD-ROM은 콘텐츠를 올바르게 표시하지 않지만, 회손되지 않은 다른 디스크는 이러한 문제를 겪지 않는다. 포맷 노후화는 디지털 포맷이 새로운 기술로 대체되어 이전 포맷의 항목들을 읽을 수 없게 되고 사용할 수 없게 되는 것을 말한다. 미디어 장애에 대처하는 것은 사후 대응적인 과정으로, 문제가 나타날 때에만 무언가가 수행되기 때문이다. 이와는 대조적으로, 포맷의 노후화는 준비적인데, 이는 변화가 예상되고 문제가 발생하기 전에 해결책을 찾기 때문이다.

● **특수도서관(Special Library)**은 병원, 교회, 박물관, 연구실, 법무법인, 그리고 많은 정부 부처와 기관들을 포함한 많은 민간 기업들과 공공 기관들에서 직원들이 업무와 관련된 전문 연구를 할 때 사용할 수 있도록 자체에서 운영하는 도서관을 의미한다. 특수도서관은 특정 기관에 따라 일반인 또는 그 요소가 열람할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 법무법인이나 연구소와 같은 보다 전문화된 기관에서는 특수도서관에 고용된 사서가 일반적으로 교육받은 사서라기보다는 해당 기관의 분야의 전문가이며, 전문화된 내용과 고객들로 인해 특정 도서관 관련 분야의 고급 학위를 취득할 필요가 없는 경우가 많다.

특수도서관에는 여성과 LGBTQ⁸⁾ 공동체의 요구를 충족시키는 여성도서관이나 LGBTQ 도서관이 포함될 수 있다. 도서관과 LGBTQ 커뮤니티는 광범위한 역사를 가지고 있고, 현재 LGBTQ 커뮤니티를 보존하고 돕는 데 전념하는 많은 도서관, 아카이브 및 특별 컬렉션이 있다. 밴쿠버 여성도서관은 여성과 소녀들에게 서비스를 제공하고 여성사에 초점을 맞춘 특수도서관의 예이다.

정부법률도서관, 병원도서관, 군사기지도서관 등 일부 특수도서관은 해당 기관을 방문하는 일반인에게 개방돼 있다. 도서관과 도서관이 제공하는 고객층에 따라, 특별한 도서관은 연구, 참고, 공공, 학술, 어린이 도서관과 유사한 서비스를 제공할 수 있다. 특수 도서관의 개별성이 매우 높은 특성을 감안할 때, 특별한 도서관을 방문하는 사람들은 종종 그 도서관에 어떤 서비스와 제한이 적용되는지 확인하라는 권고를 받는다. 특수도서관은 희귀 도서, 원고, 기타 특수 자료들을 위한 도서관 분관이나 일부와 구별되지만, 일부 특수도서관은 일반적으로 도서관의 전문 주제 영역과 관련된 특별한 자료들을 가지고 있다.

8) LGBTQ : 성소수자 중 레즈비언(Lesbian), 게이(Gay), 양성애자(Bisexual), 트랜스젠더(Transgender), 퀴어(Queer)를 합하여 부르는 단어

2.2.2 운영주체에 따른 구분

도서관의 종류는 설치/운영 주체에 따라 국립도서관, 공립도서관, 사립도서관으로 나뉘며 사립도서관은 다시 그 목적에 따라 특수도서관과 공공도서관으로 나뉘고 특수도서관은 다시 학교도서관, 대학도서관, 전문도서관 등으로 구분된다.

- **국립도서관(National Library)**은 국가 도서관이라고도 하며 국가가 직접 관리하는 도서관으로 일반적으로 한 나라를 대표하는 도서관이기에 한 국가당 하나의 국립도서관만을 두며 그 산하에 세부 도서관을 두고 있는 경우가 많다. 세계적으로 유명한 국립도서관에는 영국의 대영 도서관, 미국 의회 도서관, 프랑스의 국민 도서관, 러시아 국립도서관, 일본 국립국회도서관, 중국 북경도서관 등이 있다. 한국의 국립도서관으로는 국립중앙도서관과 국회도서관이 있다.

- **공립도서관(Public Library)**은 지방 자치 단체가 설치와 운영을 담당하고 있는 도서관으로 대한민국의 경우 각각의 지방 자치 단체와 교육청들이 도서관의 설치와 운영을 맡고 있다. 세계적으로 유명한 공립도서관에는 미국의 뉴욕 공립도서관이 있다.

- **사립도서관(Private Library)**은 민법의 규정에 의한 법인에 의해 설치된 도서관으로 설치 목적에 따라 전문도서관과 공공도서관으로 나뉜다. 일반적으로 국가가 아니라 법인 소속이기에 사립도서관들은 폭넓은 자료 수집과 함께 특정 자료에 대한 집중적인 수집이 함께 이루어지는 경우가 많다. 예를 들어 특수 도서관의 하위 도서관 중 하나인 점자 도서관의 경우 대다수의 자료 수집을 점자와 오디오북을 대상으로 하고 있다. 대표적인 대한민국의 사립도서관으로는 용인시에 위치한 느티나무도서관 재단이 운영하는 느티나무도서관이 있다.



〈그림 2-8〉 느티나무도서관 전경
<http://www.neutinamu.org/>

- **학교도서관(School Library)**이란 대학교를 제외한 초·중·등 교육기관에 설치된 도서관을 말하며, 과거의 학교도서관이 자료의 수집, 소장, 관리, 단순한 대출 및 반납 업무에 치중해 있었다면, 현재의 학교도서관은 21세기 지식정보사회에서 학습자들의 정보 활용능력을 길러주기 위해 다양한 정보자료를 제공하여 학습자들이 스스로 지식을 구성해 학습할 수 있는 환경을 제공한다.

2.2.3 도서관의 운영방식

자료실의 운영방식은 두 가지로 나뉜다. 한 도서관 내에서도 자료실에 따라 운영방식을 달리하기도 한다. 언뜻 보면 개가제가 폐가제와 비교하여 인력 부담이 적을 것 같지만 실제로는 비슷하다.

● 개가제(開架制)

이용자가 직접 서가에서 책을 찾아볼 수 있도록 하는 운영방식으로 중세~근대 시기 출판량의 급증에 따라 책의 가치가 떨어지면서 점차 확산되기 시작한 시스템이다. 폐가제와 비교하여 많은 이용자가 열람할 수 있으나 대신 책을 잃어버리거나 훼손될 가능성이 높다. 이용자가 많은 자료실이나, 보존 가치가 낮은 자료실에서 주로 이 방식으로 운영된다.

● 폐가제(閉架制)

이용자가 사서에게 책을 신청하면 사서가 이용자에게 책을 가져다 주는 운영방식으로 개가제와 비교하여 역사가 길어 고대~근대까지의 거의 모든 도서관은 이 방식을 채택했다. 모든 자료의 출납이 기록되므로 개가제와 비교하여 책을 잃어버리거나 훼손될 가능성이 적다. 이용자가 적은 자료실이나, 보존 가치가 높은 자료실에서 주로 이 방식으로 운영된다. 주로 이 방식으로 운영되는 것은 고전이나 학위 논문 등으로 이용률은 낮다.

대한민국의 도서관에는 주로 열람실이 있다. 열람실에서 본인이 갖고 온 책을 보며 공부할 수 있다. 그러나 이는 도서관 본연의 기능을 저해하는 것이므로, 최근에는 열람실을 아예 만들지 않거나, 만들어도 크게 만들지 않는 도서관도 생기고 있다.

2.3 국방통합전자도서관

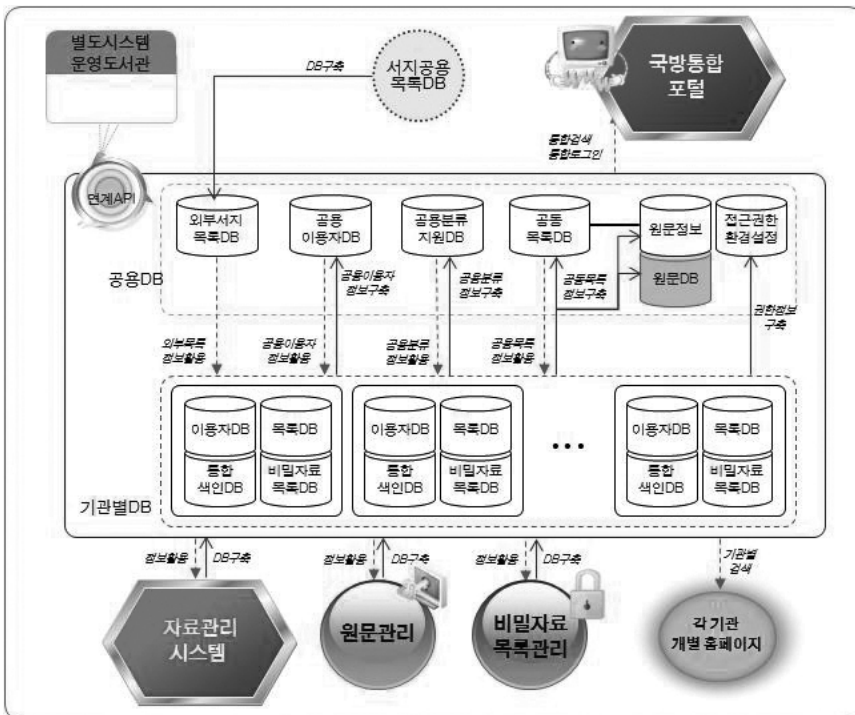
국방대학교 도서관은 군내 가장 규모가 크고 기능이 종합된 도서관으로 2009년 국방전자도서관 구축 사업을 통하여 국방의 핵심 도서관으로의 임무와 기능을 수행하고 있다. 국방대 도서관은 1955년 국방대 창설과 동시에 도서관으로서 관훈동에 설립되어 그 임무를 시작하였다. 그 후 1993년 국방대가 수색지역으로 이전함에 따라 수색에 도서관을 신축하였다.



〈그림 2-9〉 구 국방대 도서관 전경

2009년도 추진된 국방통합전자도서관[02] 사업은 표준화 및 일관성이 결여된 군 도서관의 학술정보, 지식정보의 관리 및 이용체계를 개선하고 미진한 군 도서관 정보화 사업의 달성을 위해 사전 문제점을 제거하고, 효율적, 성공적 체계구축을 위해 표준화, 통합화, 체계화된 국방통합전자도서관 운용개념을 정립하고자 추진되었다. 주요 추진 내용은 도서 원문 관리, 국방통합포털 서비스 지원, 웹 기반 자료관리, 비밀자료목록관리, 기관별 표준 홈페이지 구축, 공동활용 DB 구축, 내외부 시스템 연계 등의 업무가 주요 사업추진 내용이다.

국방통합전자도서관체계는 웹-기반 자료관리, 원문관리, 비밀자료목록관리, 국방통합포털 및 각 기관 개별 홈페이지 기능으로 구성되며 국방대학교에 통합서버를 구축하여 운용한다. 구축되는 모든 데이터는 통합서버에서 공동으로 관리되며, 공동활용 DB를 구성하여 모든 기관이 목록 및 이용자 DB의 공동 구축 및 공동활용을 목적으로 하였다. 외부서지 목록 구축을 위해 국가자료 공동목록 연계, 민간서비스를 위한 국가전자도서관과 국가지식포털 연계, 군 관련 연구기관과의 통합검색 연계를 지원하며 국방망과 인터넷 전자도서관 간의 데이터 이전 작업 수행등을 포함하여 진행하였다. 통합서버는 국방망과 인터넷망으로 분리 운영되며, 대부분의 도서관은 국방망 서버를 통해 운영되나 간호사, 육사, 해사, 공사는 인터넷망에서 서비스되고, 인터넷 운용 외부기관 연계 업무도 인터넷 서버에서 수행하는 것으로 계획하였다. 체계의 전체 구성도는 아래 그림과 같다.



(그림 2-10) 국방전자통합도서관 체계구성도(2009년)

국방통합전자도서관의 사용기관은 아래 [표 2-1]과 같이 국방대학교, 합동군사대학교, 공군1전투비행단, 육군종합군수학교, 지상작전사령부, 육군교육사령부 등 71개 기관이며, 운영기관은 국방대학교(체계), 국방전산정보원(시스템)이다. 기존 국방업무체계와 연동체계는 DTiMS⁹⁾(인트라넷)과 국가전자도서관(인터넷)이며, 운영환경은 인트라넷에서 도서관 리 및 원문서비스를 수행하고 인터넷 도서목록 검색기능을 지원을 목표로 하였다.

[표 2-1] 국방통합도서관 사용기관(2009년)

구분	기관명	비고
국방부직할 (11)	국방부, 합동참모본부, 국방대학교, 국군간호사, 국군의무사, 국군군의학교, 기무사령부, 기무학교, 방위사업청, 군사편찬연구소 정보자료실, 3군대학	
육군 (20)	육군본부, 육군사관학교, 육군3사관학교, 육군교육사령부 자료정보처, 정보통신학교, 종합군수학교, 종합행정학교, 정보학교, 항공학교, 육군훈련소, 부사관학교, 방공학교, 보병학교, 포병학교, 화학학교, 공병학교, 기계화학교, 과학화전투훈련단, 전투지휘훈련단, 학생중앙군사학교	
해군 (8)	해군본부, 해군진기사, 해병대사령부, 해군전투병과학교, 해군기술병과학교, 해군총무공, 해병교육훈련단, 해군사관학교	
공군 (6)	공군본부, 공군교육사, 방공포병학교, 공군군수사령부, 공군보라매리더십센터, 공군사관학교	
연구기관 (3)	한국국방연구원, 국방과학연구소, 국방기술품질원	연계

2017년 논산지역으로 국방대학교 이전과 함께 현재 국방대 캠퍼스 도서관을 신축하였고, 2019년 국방전자도서관 정보체계 고도화 개념연구를 실시하고 2020년 국방전자도서관 체계 고도화 사업을 착수하여 2022년 6월 완료하였다.

국방전자도서관체계 고도화 사업[09]은 노후화된 국방전자도서관체계를 노후장비 교체, 최신기술 적용 및 업무기능 개선, 데이터 관리기능 개선, 맞춤형 서비스 제공 및 서비스 개선, 다양한 표준 준수, 그리고 자료관리 효율성 및 장



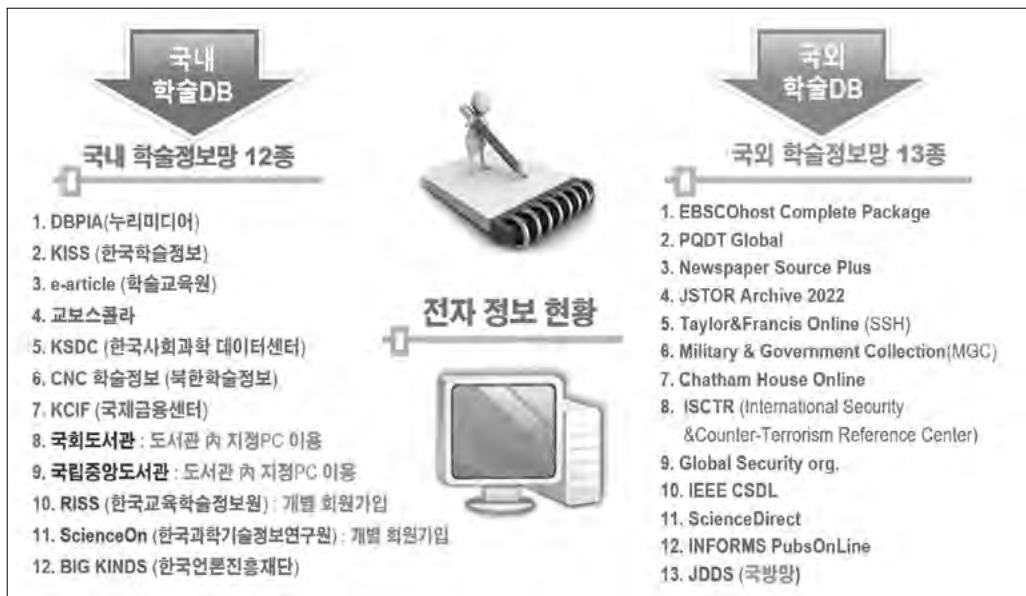
〈그림 2-11〉 현 국방대 도서관 전경

9) DTiMS : Defense Technology Information Management System

비연동 개선 등의 주요 내용을 통하여 국방전자도서관 통합포털 구축, 국방전자도서관 서비스체계 개선, 그리고 군사자료 통합 DB 구축 등의 국방 도서관 통합 업무플랫폼 및 서비스 체계의 구축 필요성에 의하여 추진되었다.

국방전자도서관체계 고도화 사업은 2020년 10월부터 2022년 6월까지 19개월 동안 국방전산정보원의 사업관리로 총예산 25.58억원의 규모로 추진되었다. 체계개발 주요내용은 **통합 업무플랫폼 구축과 4차 산업혁명 기술 전략적 도입**이라는 목표하에 세부 개발내용은 사용자 맞춤형 서비스 개발, 다양한 콘텐츠 제공 및 관리기술 개발, 통합서비스 제공을 위한 인프라 구성, 그리고 AI 기반 지능형 서비스 제공 등을 통하여 통합과 공유, 다양성과 편의성, 호환성과 확장성, 그리고 미래를 선도하는 지능정보화 서비스 제공 등의 서비스를 최종 목표로 설정하였다.

현재 국방대 도서관 총 546,000여권의 도서를 소장하고 있고, 전자정보 제공을 위하여 국내 학술정보망 국회도서관 등 12종과 정보를 공유하고 있고, 국외는 IEEE¹⁰⁾ CSDL¹¹⁾ 등 13종에 대한 정보공유 협정을 체결하여 지원하고 있다. 세부 정보공유 협정 내용은 아래 그림과 같다.



〈그림 2-12〉 국내·외 정보공유 협정 현황

10) IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers(전기전자공학자협회)

11) CSDL : Computer Society Digital Library



〈그림 2-13〉 국방대 도서관 종합구성

국방대학교 도서관은 지하 1층, 지상 4층 총 5층 건물로 구성되어 있으며, 층별 구성 및 기능은 그림 2-13과 같이, 지하 1층에는 보존자료실과 입수자료 보관실, 1층에는 다목적 행사실(로비), 자유 열람실, 테마코너, 카페테리아, 정보검색실, KNDU 출판물코너로 구성되어 있다. 2층에는 연속간행물, 단행본, 논문참고실, 군사자료실, 권장도서, 과정별 필독 도서 코커가 운영된다. 3층은 국내 단행본, 신착/아동도서, 특수자료(북한), 개인 기증실, 개인 및 그룹 스테디움 등으로 구성된다. 4층은 멀티미디어 자료실, 시네마룸, DVD 시청 존, 그룹 스테디움, S-캐럴 등이 구성되어 있다.

지하1층에 위치한 **보존자료실**은 2000년 이전 자료와 최근 입수된 단행본 및 연속간행물이 등록되고 지정된 위치로 배치되기 전에 잠시 보관하는 장소로 운영되고 있다. 이들 자료는 열람·대출·반납시 담당 직원을 통하여 운영되는 폐가제 운영방식으로 운영되고 있다.



〈그림 2-14〉 지하1층 보존자료실 전경

도서관 1층은 다목적홀 로비 형식으로 구성되어 있으며, 정보검색실, KNDU 출판코너, 테마코너, 자유(가족)열람실, 갤러리, 그리고 카페테리아 등으로 운영되고 있다.



〈그림 2-15〉 도서관 1층(좌)과 2층(우) 구성

도서관 2층은 연속간행물, 국외현장학습, 국외 신착코너, 권장도서, 국외 단행본, 과정보별 필독도서 코너와 논문참고실, 그리고 군사자료 및 교리문헌실로 구성되어 있다. 이중 논문참고실은 안보과정, 학위과정, 그리고 합동고급과정 논문 자료가 소장되어 있다. 이들 자료는 웹을 통합 Full-Text 형식으로 열람과 출력이 가능하다. 반면 군사자료실 및 교리문헌실은 군 관련 기관에서 발행하는 단행본, 연구보고서와 군 교범 등 교리문헌 등을 소장하는 곳으로 민간 학생들은 일부 사용에 제한을 받을 수 있다.

도서관 3층은 국내 단행본과 특수(북한) 자료실로 운영되며, 개가제 운영방식으로 운영되고 있다. 도서관 4층은 멀티미디어 자료실로 DVD 시청존 25석, 6인 시네마룸 3실, 28인 시네마룸 1실로 구성되어 있고 좌석관리 시스템을 운용하여 예약 및 좌석 예약제에 의하여 운영된다.



〈그림 2-16〉 도서관 3층(좌)과 4층(우) 구성

이외에도 2-4층에는 학생들의 개인 및 집단 학습을 위하여 40개의 1인 스터디룸, 7개의 6인 스터디룸, 12인 스터디룸과 24인용 스터디룸이 각각 1개씩 구성되어 있고, 어학 학습을 위한 37개의 S-케털 등의 시설이 구비되어 운영되고 있다. 이들은 관리시스템에 의하여 예약 및 지정제로 운영되고 있다.



〈그림 2-17〉 그룹 스테디룸(좌)과 S-케셀(우)

Ⅲ. 메타버스 기술 분석

3.1 메타버스 개요

메타버스(Metaverse)[03][04] 개념의 뚜렷한 정의는 지금까지 확립되지 않았다. 일반적으로는 *현실 세계와 같은 사회적·경제적 활동이 통용되는 3차원 가상공간* 정도의 의미로 사용되고 있으나, 학자나 기관마다 나름의 정의를 내리고 있어 다양한 의미로 사용되고 있다. 메타버스는 사회적 연결에 초점을 맞춘 3D 가상세계의 네트워크이기도 하다. 미래주의와 공상 과학 소설에서 이 용어는 종종 가상 및 증강현실 헤드셋을 사용하여 촉진되는 하나의 보편적인 가상 세계로서 인터넷상 가상의 반복으로 설명된다.



〈그림 3-1〉 Snow Crash 책 표지(좌)와 Metaverse 소개 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=PBTCCLIBxFPi>(우)

메타버스는 확장/복합/가상/초월을 의미하는 **메타(Meta)**와 세계/우주를 의미하는 **유니버스(Universe)**를 합성한 신조어로 **가상세계/우주**라고 번역하기도 한다. Metaverse라는 용어는 1992년 스티븐슨의 SF 소설 Snow Crash에서 Meta와 Universe의 합성어로 유래되었다. 스티븐슨의 메타버스는 100m 너비의 단일 도로인 거리를 따라 개발된 도시 환경으로, 특징 없는 검은색의 완벽한 구형의 행성의 전체 둘레 65,536km를 가로지른다. 가상 부동산은 실제 컴퓨팅 기계 협회의 허구적인 부분인 글로벌 멀티미디어 프로토콜 그룹이 소유하고 있으며, 구매와 그에 따른 건물 개발이 가능하다. 메타버스에 대한 접근은 글로벌 광섬유 네트워크를 통해 이루어지며, 이 네트워크는 소규모 케이블 텔레비전 프랜차이즈의 집합체로부터 세계적인 통신 독점체제로 성장했으며 전통적인 전화 시스템을 대체한다. 메타버스 사용자들은 고품질의 가상현실 디스플레이를 사용자가 착용한 고글에 투영하는 개인용 단말기나 부스의 저품질의 공공 단말기를 통해 접속할 수 있다. 스티븐슨은 또한 휴대용 단말기, 고글 및 기타 장비를 착용함으로써 메타버스와 지속적으로 연결되는 것을 선택하는 사람들의 하위문화를 묘사한다. 메타버스 사용자들은 1인칭 관점에서 그것을 경험한다.

Second Life와 같은 가상세계 플랫폼과 같이 대중적 사용을 위해 다양한 메타버스 플랫폼들이 개발되었다. 일부 메타버스는 가상 및 물리적 공간과 가상경제 간의 통합을 포함하며, 종종 가상현실 기술 발전에 대한 상당한 관심을 포함한다. 이는 3차원에서 실제 생활과 법적으로 인정되는 활동인 직업, 금융, 학습 등이 연결된 가상세계를 뜻한다. 가상현실, 증강현실보다 상위 개념으로서, 현실을 디지털 기반의 가상세계로 확장시켜 가상의 공간에서 모든 활동을 할 수 있게 만든 시스템이라 할 수 있다. 구체적으로, 정치와 경제, 사회, 문화의 전반적 측면에서 현실과 비현실이 공존하는 생활형, 게임형 가상세계라는 의미로 폭넓게 사용한다.

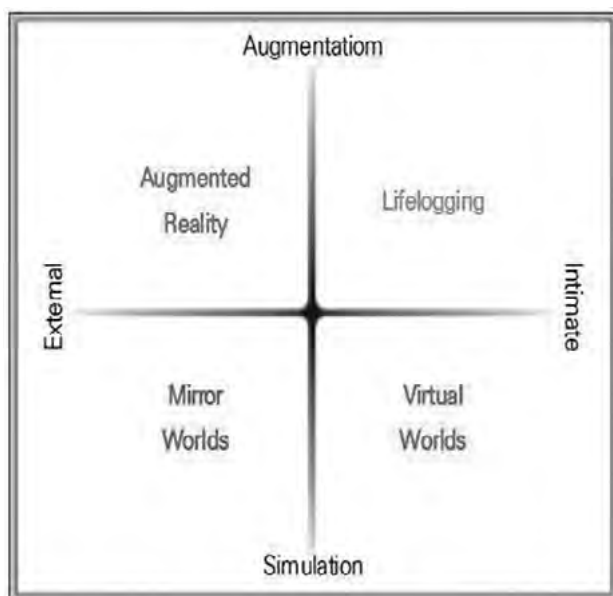
미국전기전자학회[10]의 정의에 따르면 메타버스는 **지각되는 가상세계와 연결된 영구적인 3차원 가상공간들로 구성된 진보된 인터넷**이라는 의미로 정의한다. 비영리 기술 연구 단체인 ASF(Acceleration Studies Foundation) [11]은 메타버스를 **가상적으로 향상된 물리적 현실과 물리적으로 영구적인 가상공간의 융합**이라고 정의한다.

우리나라의 경우, 동아대 심임보 교수는 대한민국 4차 산업혁명 페스티벌 기조 강연에서, 메타버스를 **가상 자아인 아바타를 통해 경제, 사회, 문화, 정치 활동 등을 이어가는 4차원 가상 시·공간**으로 정의하였다. 이 외에 **모든 사람들이 아바타를 이용하여 사회, 경제, 문화적 활동을 하게 되는 가상의 세계**[12], **생활형 가상세계**, **‘실생활과 같이 사회, 경제적 기회가 주어지는 가상현실 공간**[13], **단순한 3차원 가상공간이 아니라, 가상공간과 현실이 적극적으로 상호작용하는 공간이며 방식 그 자체, 현실과 가상세계의 교차점이 3d**

기술로 구현된 또 하나의 세계 등으로 정의한다. 건국대 권오현[14] 교수는 웹 2.0의 경제학에서 메타버스를 기존의 현실 공간이었던 현실세계 (도구로서의 가상공간)와 현실의 것을 가상세계로 흡수한 것이었던 이상세계 (현실의 모사공간), 그리고 현실과 다른 상상력에 의한 대안의 가상현실인 환상세계 (인간의 환상과 욕망이 표출되는 공간)가 융합된 공간이라 정의를 한다.

3.2 메타버스 유형

메타버스는 어떤 요소들로 구성되었을까? Paffendorf[15]는 아래의 그림과 같이 메타버스를 기술적 측면에서 증강(Augmentation)-시뮬레이션(Simulation) 축, 사용자 측면에서 내적(Intimate)-외적(External) 축 등 두 축의 결합으로 4가지 유형으로 구분하여 설명하였다.



〈그림 3-2〉 Metaverse의 유형

첫 번째 요소인 증강(Augmentation)은 물리적 환경에 대한 우리의 인식에 새로운 정보를 쌓아 올리는 기술을 의미한다. 두 번째 시뮬레이션(Simulation)은 이용자와 객체가 상호작용을 하기 위한 장소로 현실을 모방한 가상의 세계를 제공하는 기술이다. 세 번째 내적(Intimate) 요소는 아바타, 온라인 프로필 등의 방법으로 이용자의 정체성과 행위성의 발현에 초점을 둔 기술이다. 마지막으로 외적(External) 요소는 사용자 주변의 세계에 대한 정

보와 통제권을 제공하는 기술을 의미한다. 메타버스는 이러한 네 가지 요소의 결합에 따라 라이프로그킹(Life-Logging), 증강현실(Augmented Reality), 거울세계(Mirror Worlds), 가상세계(Virtual Worlds)의 유형으로 구분하고 있다.

3.2.1 Life-Logging (일상기록)

일상기록[16]은 사물과 사람에 대한 일상적인 경험과 정보를 캡처하고 저장하고 묘사하는 기술이다. 사용자는 일상생활에서 일어나는 모든 순간을 텍스트, 영상, 사운드 등으로 캡처하고 그 내용을 서버에 저장하여 이를 정리하고, 다른 사용자와 공유가 가능하다. 센서가 부착된 스포츠웨어를 네트워크 연결이 가능한 MP3 플레이어와 연동하여 사용해서 달린 거리, 소비 칼로리, 선곡 음악 등의 정보를 저장하고 공유하는 등의 행위가 일상기록의 사례이다.

일상기록은 **삶의 기록**을 뜻하는 말로, 스마트 기기 등을 활용해 개인의 일상을 인터넷(소셜미디어)이나 스마트폰 등에 기록·저장하는 것을 말한다. 즉, 라이프로그는 취미·건강·여가 등에서 생성되는 개인 생활 전반의 기록을 정리·보관하는(때로는 공유) 활동으로, 일상의 **디지털화**라 할 수 있다. 이제는 우리에게 매우 익숙해진 소셜네트워크서비스(SNS¹²⁾)가 대표적인 일상기록, 라이프로그의 사례이다.



〈그림 3-3〉 Life-Logging 소개 동영상(좌)과 구현 사례(우)
https://www.youtube.com/watch?v=3krKl_CvV6E(좌)

라이프로그 시스템은 일반적으로 사용자가 경험하는 모든 정보를 기록할 수 있는 장치, 수집된 정보를 체계적으로 인식해 분류하는 장치, 분류된 방대한 정보를 저장하는 저장 장치로 구성된다. 즉, 라이프로그는 사물인터넷(IoT¹³⁾), 웨어러블 기기, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 등과 밀접한 관계를 맺고 있다.

12) SNS : Social Network Service

13) IoT : Internet of Things

이러한 라이프로그를 남기는 행위를 라이프로그킹이라고 하며, 이러한 라이프로그킹을 가능하게 하는 모바일과 웹상의 모든 서비스를 라이프로그킹 서비스(Life-Logging service)라고 한다. 구체적으로 라이프로그킹 서비스는 개인이 일상생활에서 경험하는 모든 정보를 기록하고, 이를 활용하기 편하도록 분류해 저장한 뒤 추후에 필요할 때 검색할 수 있도록 하는 기술을 의미한다.

라이프로그에는 사용자가 직접 기록한 사진, 동영상, 메모 등 개인이 직접 기록한 정보는 물론 위치정보, 생체정보, 운동량, 수면시간, 식사기록 등을 분석해 일정한 패턴을 찾아내고 다양한 방법으로 활용하는 과정도 포함된다. 특히 의료 분야에서는 웨어러블 디바이스(Wearable Device)를 이용해 환자의 심박수, 식단, 혈압 및 혈당, 신체 활동량, 수면시간 등의 생체정보 등을 저장해 진료 시 활용하기도 한다. 또 라이프로그를 통해 수집된 정보는 스마트폰이 본인이 좋아하는 음악을 자동으로 추천하거나, 계획된 지출을 넘어설 경우 경고 메시지 등을 띄우는 등의 서비스도 가능하게 한다.

● 관련 기술

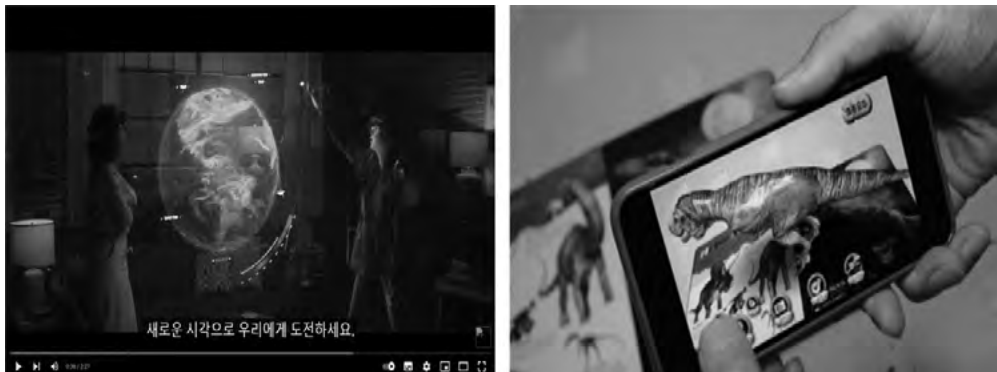
Internet of Things (IoT, 사물인터넷)은 생활 속 사물들을 유무선 네트워크로 연결해 정보를 공유하는 환경을 말한다. 즉, 각종 사물에 통신 기능을 내장해 인터넷에 연결되도록 해 사람과 사물, 사물과 사물 간의 인터넷 기반 상호 소통을 이루는 것이다. 이 개념은 1999년 MIT에서 내놓은 것으로, 기기가 스스로 알아서 일을 처리해 준다는 의미로 M2M(Machine to Machine)이라고도 부른다.

Big Data (빅데이터)는 데이터의 생성 양·주기·형식 등이 기존 데이터와 비교하여 너무 크기 때문에, 종래의 방법으로는 수집·저장·검색·분석이 어려운 방대한 데이터를 말한다. 빅데이터는 각종 센서와 인터넷의 발달로 데이터가 늘어나면서 등장했다. 빅데이터는 초대용량의 데이터양(Volume), 다양한 형태(Variety), 빠른 생성속도(Velocity)라는 뜻에서 3V라고 불리며, 여기에 네 번째 특징으로 가치(Value)를 더해 4V라고 정의하기도 한다.

Cloud Computing (클라우드컴퓨팅)은 데스크톱PC·휴대폰·노트북 등 물리적으로 서로 다른 위치에 존재하는 다양한 정보들을 웹 기반 애플리케이션을 활용, 대용량 데이터베이스를 가상화 기술로 통합해 제공하는 기술 및 환경을 말한다. 즉, 소프트웨어와 데이터를 인터넷과 연결된 중앙컴퓨터에 저장하고, 기본 기능을 갖춘 단말기로 인터넷에 접속하기만 하면 언제 어디서든 컴퓨터 작업을 할 수 있는 기술이다.

3.2.2 Augmented Reality (AR, 증강현실)

증강현실(AR)[17]은 현실 세계에 존재하는 물체들이 시각, 청각, 촉각, 체감 및 후각을 포함한 여러 감각에 걸쳐 컴퓨터가 생성한 지각 정보에 의해 강화되는 실제 환경의 대화형 경험을 제공하는 시스템이다. 증강현실[18]은 3가지 기본 기능, 즉 실세계와 가상세계의 결합, 실시간 상호작용, 가상과 실제 객체의 정확한 3D 등록이 통합된 시스템으로 정의할 수 있다. 이 경험은 실제 환경의 몰입적인 측면으로 인식될 정도로 물리적 세계와 매끄럽게 연계되어 있다. 이러한 방식으로 증강현실은 실제 환경에 대한 지속적인 인식을 변화시키는 반면, 가상현실은 사용자의 실제 환경을 시뮬레이션 환경으로 완전히 대체한다. 증강현실은 크게 두 동의어인 혼합현실(Mixed Reality)과 컴퓨터 매개현실(Mediated Reality)과 관련이 있다.



〈그림 3-4〉 Augmented Reality 소개 동영상(좌)과 구현 사례(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=Jd2GK0qDtRg>(좌)

증강현실의 일차적 가치는 단순한 데이터 디스플레이가 아니라 환경의 일부로 인식되는 몰입감(Immersive Sens)의 통합을 통해 디지털 세계의 구성요소가 사람의 현실 인식에 녹아드는 방식이다. 사용자에게 몰입감 있는 혼합현실 경험을 제공한 최초의 기능성 AR 시스템은 1992년 미 공군 암스트롱 연구소에서 개발된 가상 설비 시스템을 시작으로 1990년대 초에 발명되었다. 상업적인 증강현실 경험은 엔터테인먼트와 게임 사업에 처음 도입되었다. 그 후, 증강현실 애플리케이션은 교육, 통신, 의료 및 엔터테인먼트와 같은 상업 산업에까지 확장되었다. 교육에서는 모바일 장치로 이미지를 스캔하거나 보거나 AR 기술을 사용하여 콘텐츠에 액세스할 수 있다.

증강현실은 자연환경이나 상황을 개선하고 지각적으로 풍부한 경험을 제공하는 데 사용된다. 첨단 AR 기술(예: 컴퓨터 비전 추가, 스마트폰 애플리케이션 및 객체 인식에 AR 카메라 통합)을 통해 사용자의 주변 현실 세계에 대한 정보가 대화식 및 디지털 방식으로 조작된다. 환경과 그 물체에 대한 정보는 현실 세계에 중첩된다. 이 정보는 가상일 수 있다. 증

강현실은 이미 존재하는 현실에 인공적이고 추가된 모든 경험이다. 예를 들어, 전자기 전파와 같은 실제 감지되거나 측정된 정보를 실제 공간의 위치와 정확히 정렬하여 보는 것이다. 증강현실은 암묵적 지식을 모으고 공유하는데 있어서도 많은 잠재력을 가지고 있다. 증강현실은 일반적으로 환경 요소와 의미론적 맥락에서 실시간으로 수행된다. 몰입형 지각 정보는 때때로 스포츠 이벤트의 실시간 비디오 피드를 통한 점수와 같은 보충 정보와 결합된다. 이것은 증강현실 기술과 헤드업 디스플레이 기술의 장점을 결합한다.

● 관련 기술

Display(전시/표현) 기술은 인체에 착용하는 광학 프로젝션 시스템, 모니터, 핸드헬드 디바이스, 디스플레이 시스템 등 다양한 기술이 증강현실 렌더링에 활용된다. 머리에 착용하는 디스플레이 HMD¹⁴⁾는 이마에 착용하는 디스플레이 장치이다. HMD는 물리적 환경과 가상 개체의 이미지를 모두 사용자의 시야에 배치한다. 현대의 HMD는 시스템이 가상 정보를 물리적 세계



〈그림 3-5〉 삼성 GEAR HMD

에 맞추고 사용자의 머리 움직임에 따라 조정할 수 있도록 하는 6가지 자유도 모니터링용 센서를 종종 사용한다. HMD는 VR 사용자에게 모바일 및 협업 경험을 제공할 수 있다. uSens 및 Gestigon과 같은 특정 장치는 완전한 가상 몰입도를 위한 제스처 제어를 제공한다.

Eyeglasses(안경) 기술은 AR 디스플레이는 안경과 같은 장치에서 렌더링할 수 있다. 버전에는 카메라를 사용하여 실제 뷰를 가로채고 안구를 통해 증강 뷰를 다시 표시하는 아이웨어와 AR 이미지가 아이웨어 렌즈 표면을 통해 투영되거나 반사되는 장치가 포함된다.

HUD(헤드업 디스플레이) 기술은 사용자가 일반적인 관점에서 멀리 볼 필요 없이 데이터를 표시하는 투명 디스플레이이다. 증강현실을 위한 선형기술인 헤드업 디스플레이는 1950년대에 조종사들을 위해 처음 개발되었으며, 단순한 비행 데이터를 시



〈그림 3-6〉 F/A-18 Hornet HUD

14) HMD : Head Mounted Display

야에 투사하여, 그들이 기구를 내려다보지 않고 머리 위로를 유지할 수 있게 했다. HUD 증강현실 기기는 사용자가 실물을 보는 동안 데이터와 정보, 이미지 등을 보여줄 수 있어 휴대용 헤드업 디스플레이로 활용할 수 있다. 증강현실에 대한 많은 정의는 그것을 단지 정보의 중첩으로 정의한다. 이것은 기본적으로 헤드업 디스플레이가 하는 일이다. 그러나 실질적으로 말하면 증강현실은 중첩된 지각, 감각, 정보, 데이터 및 이미지와 현실 세계의 일부 사이의 등록과 추적을 포함할 것으로 예상된다.

Contact Lenses(콘택트렌즈) 기술은 AR 영상을 표시하기 위해 개발 중인 장치이다. 이러한 생체 공학 콘택트렌즈는 통합 회로, LED¹⁵⁾ 및 무선 통신을 위한 안테나를 포함하여 렌즈에 디스플레이를 위한 요소를 포함할 수 있다. 최초의 콘택트렌즈 디스플레이는 1999년 스티브만이 특허를 받았으며 AR 안경과 함께 사용할 예정이었으나 11년 후인 2011년에 프로젝트가 중단되었다. 미군용으로 개발 중인 또 다른 버전의 콘택트렌즈는 AR 안경과 함께 작동하도록 설계되어 병사들이 안경과 먼 실제 물체에 동시에 눈에 가까운 AR 영상에 집중할 수 있게 해준다.



〈그림 3-7〉 Mojo Vision의 AR 콘택트렌즈

많은 과학자들은 다양한 기술적 분야에서 콘택트렌즈를 연구하고 있다. 삼성은 AR 콘택트렌즈에 대해 소개하고 있는데, 완성되면 렌즈 자체에 내장된 카메라가 포함될 것이다. 눈을 깜박임으로써 인터페이스를 제어하기 위한 설계이다. 사용자의 스마트폰과 연동해 영상을 검토하고 별도로 제어할 수도 있다. 만약 성공한다면, 그 렌즈는 그 안에 카메라 또는 센서를 특징으로 할 것이다. 조도 센서부터 온도 센서까지 무엇이든 될 수 있다고 한다.

Virtual Retinal Display(VRD, 가상 망막 디스플레이) 기술은 워싱턴 대학교 휴먼 인터페이스 기술 연구소에서 개발 중인 개인용 디스플레이 장치이다. 이 기술을 통해 디스플레이는 시청자의 눈의 망막에 직접 투영된다. 따라서 고해상도 및 고대비 이미지의 밝은 이미지가 생성된다. 시청자는 우주에 떠 있는 전통적인 디스플레이로 보이는 것을 된다.

VRD의 안전성을 분석하기 위해 몇 가지 테스트가 수행되었다. 테스트에서 황반변성(망막을 퇴화하는 질환) 또는 각막원추(Keratoconus)를 가진 부분 시력 상실을 가진 환자를 선

15) LED : Light Emitting Diode

택하여 이 기술을 사용하여 영상을 보았다.

황반변성군에서는 피실험자 8명 중 5명이 음극선관(CRT¹⁶⁾이나 종이영상보다 VRD영상을 선호했고 더 좋고 밝으며 동등하거나 더 나은 해상도 수준을 볼 수 있다고 생각했다. 케라토코누스 환자들은 자신의 수정이 아닌 VRD를 사용하여 여러 라인 테스트에서 더 작은 라인을 모두 해결할 수 있었다. 그들은 또한 VRD 이미지가 더



〈그림 3-8〉 Kickstarter의 VRD 사례

보기 쉽고 선명하다는 것을 발견했다. 이러한 여러 테스트의 결과, 가상 망막 디스플레이는 안전한 기술로 평가되고 있다. 가상 망막 디스플레이는 주변 일광과 실내조명에서 볼 수 있는 이미지를 만든다. VRD는 고해상도와 높은 대비 및 밝기의 조합으로 수술용 디스플레이에 사용하기에 선호되는 후보로 간주된다. 추가 실험 결과 VRD가 시력이 낮은 환자의 디스플레이 기술로 활용될 가능성이 높은 것으로 평가되었다.

Handheld(휴대용) 기술은 휴대용 디스플레이는 사용자의 손에 들어가는 작은 디스플레이를 사용한다. 모든 휴대용 AR 솔루션은 비디오 시스루를 선택한다. 처음에 휴대용 AR은 GPS 장치와 디지털 나침반, 6도 자유도 가속도계-자이로스코프와 같은 MEMS¹⁷⁾ 센서를 사용하였다. 오늘날 병렬 추적 및 매핑(PTAM¹⁸⁾)과 같은 동시 로컬라이제이션 매핑(SLAM¹⁹⁾) 마커리스 추적이 사용되기 시작했다. 휴대용 디스플레이 AR은 AR 기술의 첫 번째 상업적 성공을 약속한다. 휴대용 AR의 두 가지 주요 장점은 휴대용 장치의 휴대성과 카메라 폰의 유비쿼터스 특성이다. 단점은 사용자가 항상 휴대용 기기를 앞에 두고 있어야 하는 신체적 제약과 눈을 통해 본 실제와 비교했을 때 고전적으로 넓은 화질의 휴대전화 카메라가 왜곡되는 효과다. 포켓몬고, 인그레스와



〈그림 3-9〉 포켓몬고 게임

16) CRT : Cathode Ray Tube

17) MEMS : Micro Electro-Mechanical Systems

18) PTAM : Parallel Tracking and Mapping

19) SLAM : Simultaneous Localization and Mapping

같은 게임들은 이미지 연결 지도 인터페이스를 이용하며, 여기에서 승인된 지리 태그된 위치는 사용자가 상호작용할 수 있도록 양식화된 맵에 나타난다.

Projection Mapping(프로젝션 매핑)은 모니터, 헤드 마운티드 디스플레이 또는 핸드헬드 장치와 같은 특수 디스플레이를 사용하지 않고 실제 개체와 장면을 확대한다. 프로젝션 매핑은 디지털 프로젝터를 사용하여 물리적 객체에 그래픽 정보를 표시한다. 프로젝션 매핑의 주요 차이점은 디스플레이가 시스템 사용자와 분리되어 있다는 것이다. 디스플레이가 각 사용자와 연관되지 않기 때문에 프로젝션 매핑은 사용자 그룹까지 자연스럽게 확장되어 사용자 간의 공동 작업을 가능하게 한다. 셰이더 램프, 모바일 프로젝터, 가상 테이블 및 스마트 프로젝터를 예로 들 수 있다. 셰이더 램프는 중성 물체에 이미지를 투사함으로써 현실을 모방하고 증대시킨다. 이것은 프로젝터, 카메라 및 센서와 같은 간단한 장치의 재료로 물체의 모양을 개선할 수 있는 기회를 제공한다.



〈그림 3-10〉 남대문 프로젝션 매핑 시연

다른 애플리케이션으로는 테이블 및 벽 투영이 있다. 하나의 혁신인 확장 가상 테이블은 조정 가능한 각도로 천장에 부착된 빔 분할기 거울을 포함함으로써 가상과 실재를 구분한다. 여러 그래픽 디스플레이와 함께 빔 스플리터 거울을 사용하는 가상 쇼케이스는 가상 및 실재와 동시에 결합할 수 있는 대화형 수단을 제공한다. 더 많은 구현과 구성은 공간 증강현실 디스플레이를 점점 매력적인 대화형 대안으로 만든다. 프로젝션 매핑 시스템은 실내 설정의 원하는 개수의 표면에 한 번에 표시할 수 있다. 프로젝션 매핑은 최종 사용자에게 그래픽 시각화 및 수동 햅틱 감각을 모두 지원한다. 사용자는 수동 햅틱 감각을 제공하는 과정에서 물리적 물체를 만질 수 있다.

다른 애플리케이션으로는 테이블 및 벽 투영이 있다. 하나의 혁신인 확장 가상 테이블은 조정 가능한 각도로 천장에 부착된 빔 분할기 거울을 포함함으로써 가상과 실재를 구분한다. 여러 그래픽 디스플레이와 함께 빔 스플리터 거울을 사용하는 가상 쇼케이스는 가상 및 실재와 동시에 결합할 수 있는 대화형 수단을 제공한다. 더 많은 구현과 구성은 공간 증강현실 디스플레이를 점점 매력적인 대화형 대안으로 만든다. 프로젝션 매핑 시스템은 실내 설정의 원하는 개수의 표면에 한 번에 표시할 수 있다. 프로젝션 매핑은 최종 사용자에게 그래픽 시각화 및 수동 햅틱 감각을 모두 지원한다. 사용자는 수동 햅틱 감각을 제공하는 과정에서 물리적 물체를 만질 수 있다.

Tracking(추적) 기술은 현대의 모바일 증강현실 시스템은 디지털 카메라 및/또는 기타 광학 센서, 가속도계, GPS, 자이로스코프, 솔리드 스테이트 컴퍼스, 무선 주파수 식별(RFID²⁰) 중 하나 이상을 사용한다. 이러한 기술은 다양한 수준의 정확성과 정밀성을 제공해야 한다.

20) RFID : Radio Frequency Identification

Networking(네트워크) 기술은 모바일 증강현실 애플리케이션은 모바일, 특히 웨어러블 기기의 광범위한 채택으로 인해 인기를 끌고 있다. 그러나 대기 시간이 매우 긴 계산 집약적인 컴퓨터 비전 알고리즘에 의존하는 경우가 많다. 컴퓨팅 능력의 부족을 보완하기 위해 데이터 처리를 원거리 머신으로 오프로드하는 것이 종종 바람직하다. 오프로드는 특히 지연 시간 및 대역폭 측면에서 응용 프로그램에 새로운 제약 조건을 도입한다. 실시간 멀티미디어 전송 프로토콜이 넘쳐나지만 네트워크 인프라의 지원도 필요하다.

Input Devices(입력장치) 기술은 사용자의 의도를 컴퓨터 지시어로 변환하는 음성 인식 시스템, 지팡이, 스타일러스, 포인터, 글러브 또는 기타 신체 착용과 같은 주변 장치에 내장된 센서로부터 사용자의 신체 움직임을 시각적으로 감지하여 해석하는 제스처 인식 시스템이 있다.

마지막 **소프트웨어 및 알고리즘(Software and Algorithms)** 분야로, AR 시스템의 핵심 척도는 증강과 실제 환경을 얼마나 현실적으로 통합하는가이다. 소프트웨어는 카메라와 카메라 이미지와 무관하게 실제 좌표를 도출해야 한다. 그 과정은 이미지 등록이라고 불리며, 주로 비디오 추적과 관련된 다양한 컴퓨터 비전 방법을 사용한다. 증강현실의 많은 컴퓨터 비전 방법은 시각 주행 기록법으로부터 계승된다. Augogram은 AR을 만드는 데 사용되는 컴퓨터 생성 이미지이고, Augography는 AR을 위한 Augogram을 만드는 기술과 소프트웨어 실습이다.

일반적으로 이러한 방법은 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 단계는 카메라 영상에서 관심 지점, 기준 마커 또는 광학 흐름을 감지하는 것이다. 이 단계에서는 모서리 감지, 블롭 감지, 에지 감지 또는 임계값 지정 및 기타 이미지 처리 방법과 같은 기능 감지 방법을 사용할 수 있다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 얻은 데이터로부터 실제 좌표계를 복원한다. 일부 방법은 알려진 지오메트리(또는 기준 마커)를 가진 개체가 씬(scene)에 있다고 가정한다. 이러한 경우에 일부 장면 3D 구조는 사전에 계산되어야 한다. 씬의 일부를 알 수 없는 경우 SLAM이 상대 위치를 매핑할 수 있다. 장면 지오메트리에 대한 정보를 사용할 수 없는 경우 번들 조정과 같은 모션 방법의 구조가 사용된다. 두 번째 단계에서 사용되는 수학적 방법에는 투영 기하학, 기하학 대수학, 지수 지도를 사용한 회전 표현, 칼만 및 입자 필터, 비선형 최적화, 강력한 통계가 포함된다.

증강현실에서는 마커와 무-마커로 알려진 두 가지 구별되는 추적 모드 사이에서 구별된다. 마커는 가상 정보의 표시를 트리거하는 시각적 신호이다. 몇 가지 뚜렷한 형상을 가진

종이를 사용할 수 있다. 카메라는 도면의 특정 지점을 식별하여 형상을 인식한다. 인스턴트 추적이라고도 불리는 무-마커 추적은 마커를 사용하지 않는다. 대신, 사용자는 카메라 뷰에 가급적 수평 평면에 물체를 배치한다. 모바일 기기의 센서를 활용해 벽면 위치, 교차점 등 실제 환경을 정확하게 감지한다.

증강현실 마크업 언어(ARML²¹⁾)는 확장 가능한 마크업 언어(XML²²⁾) 문법뿐만 아니라 가상 객체의 속성에 대한 동적 접근을 허용하는 ECMAScript 바인딩으로 구성된 개방형 지리 공간 컨소시엄(OGC²³⁾)에서 개발된 데이터 표준이다. 증강현실 애플리케이션(앱)의 신속한 개발이 가능하도록 스냅챗의 렌즈 스튜디오, 페이스북의 스파크 AR 등 애플과 구글의 소프트웨어개발키트(SDK²⁴⁾) 등 소프트웨어 개발 애플리케이션이 일부 출시됐다.

3.2.3 Virtual Reality (VR, 가상현실)

가상현실(VR)[19]은 현실과 비슷하거나 완전히 다를 수 있는 시뮬레이션된 경험이다. 가상현실의 응용 프로그램에는 엔터테인먼트(특히 비디오 게임), 교육(의료 또는 군사 훈련), 비즈니스(가상 회의)가 포함된다. VR 스타일의 다른 뚜렷한 기술에는 증강현실과 혼합현실이 포함되며, 때때로 확장현실 또는 XR이라고 불린다.



〈그림 3-11〉 Virtual Reality 소개 동영상(좌)과 구현 사례(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=ufITK8c4w0c>(좌)

현재 표준 가상현실 시스템은 가상현실 헤드셋 또는 다중 프로젝티드 환경을 사용하여 가상 환경에서 사용자의 물리적 존재를 시뮬레이션하는 사실적인 이미지, 소리 및 기타 감각을 생성한다. 가상현실 장비를 사용하는 사람은 인공 세계를 둘러보고, 그 안에서 움직이고, 가상 특징이나 물건과 상호작용할 수 있다. 흔히 눈앞에 작은 화면이 있는 HMD로 구

21) ARML : Augmented Reality Markup Language
 22) XML : Extensible Markup Language
 23) OGC : Open Geospatial Consortium
 24) SDK : Software Development Kits

성된 VR 헤드셋으로 효과를 내지만, 여러 개의 대형 스크린이 있는 특수 디자인된 방을 통해서도 효과를 낼 수 있다. 가상현실은 일반적으로 청각과 비디오 피드백을 통합하지만, 햅틱 기술을 통해 다른 유형의 감각과 힘 피드백을 허용할 수도 있다.

가상은 1400년대 중반부터 *실제나 사실은 아니지만 본질이나 효과가 있는 것*이라는 의미를 가지고 있다. 가상이라는 용어는 1959년부터 *물리적으로 존재하지 않지만 소프트웨어에 의해 표시되도록 만들어졌다*는 컴퓨터적 의미로 사용되어 왔다. 1938년, 프랑스 아방가르드 극작가 Antonin Artaud는 극장에 있는 인물과 사물의 환상성을 에세이 모음집 “la réalité virtuelle”에서 이중으로 묘사했다. 1958년에 출판된 이 책의 영어 번역본은 가상 현실이라는 용어를 사용한 최초의 출판물이다. Myron Crueger가 만든 인공 현실이라는 용어는 1970년대부터 사용되었다. 가상현실이라는 용어는 Damien Broderick의 1982년 소설인 Judas Mandala에서 공상 과학 소설 맥락에서 처음 사용되었다.

대중 매체에서 가상현실이라는 용어가 널리 각색된 것은 1980년대 후반 자신의 회사 VPL 리서치 연구소에서 최초의 비즈니스 등급 가상현실 하드웨어의 일부를 설계한 Jaron Lanier와 가상현실 시스템의 사용을 특징으로 하는 1992년 영화 Ronmacher Man 이후이다.

● 형식 및 방법

가상현실을 실현할 수 있는 한 가지 방법은 **시뮬레이션 기반**의 가상현실이다. 예를 들어, 운전 시뮬레이터는 운전자의 입력으로 인한 차량 움직임을 예측하고 운전자에게 상응하는 시각적, 움직임 및 오디오 신호를 피드백하여 실제 차량을 운전하는 것처럼 보이게 한다.

아바타 이미지 기반의 가상현실을 통해 사람들은 아바타뿐만 아니라 실제 비디오의 형태로 가상 환경에 합류할 수 있다. 3D 분산 가상 환경에 기존 아바타나 실제 영상 형태로 참여할 수 있다. 사용자는 시스템 기능에 따라 참여 유형을 직접 선택할 수 있다.



〈그림 3-12〉 시뮬레이션 기반(좌)과 아바타 이미지 기반(우)

프로젝터 기반 가상현실에서 실제 환경의 모델링은 로봇 내비게이션, 건설 모델링, 비행 시뮬레이션과 같은 다양한 가상현실 애플리케이션에서 중요한 역할을 한다. 이미지 기반 가상현실 시스템은 컴퓨터 그래픽과 컴퓨터 비전 커뮤니티에서 인기를 얻고 있다. 실제 모델을 생성할 때는 획득한 3D 데이터를 정확하게 등록하는 것이 필수적이다. 일반적으로 카메라는 가까운 거리의 작은 물체를 모델링하는 데 사용된다.

데스크톱 기반 가상현실은 특별한 VR 위치추적 장비를 사용하지 않고 일반 데스크톱 디스플레이에 3D 가상세계를 표시하는 것을 포함한다. 현대의 많은 1인칭 비디오 게임들은 다양한 트리거, 반응하는 캐릭터, 그리고 다른 상호작용 장치들을 사용하여 사용자가 가상 세계에 있는 것처럼 느끼게 하는 예로 사용될 수 있다. 이러한 형태의 몰입에 대한 일반적인 비판은 주변 시야의 감각이 없어 주변에서 무슨 일이 일어나고 있는지 알 수 있는 사용자의 능력을 제한한다는 것이다.



〈그림 3-13〉 프로젝트 기반(좌)과 데스크톱 기반(우)

HMD 기반 가상현실은 사용자를 가상세계에 더욱 완벽하게 몰입시킨다. 가상현실 헤드셋은 일반적으로 두 개의 작은 고해상도 OLED 또는 LCD 모니터를 포함하고 있으며, 이는 입체 그래픽을 위한 별도의 이미지를 제공한다. 옵션은 추상화가 거의 또는 전혀 없이 직관적인 방식으로 가상세계 내에서 물리적으로 상호작용할 수 있는 촉각적 피드백이 있는 모션 컨트롤과 사용자가 어떤 방향으로든 기관차 동작을 수행할 수 있는 더 많은 자유로움을 위한 전방위 러닝머신을 포함한다.



〈그림 3-14〉 HMD 기반 VR

● 관련 기술

소프트웨어 부분에서 1994년에 처음 도입된 가상현실 모델링 언어(VRML²⁵⁾)는 헤드셋에 의존하지 않고 가상세계를 개발하기 위해 고안되었다. 웹3D 컨소시엄은 이후 웹 기반 3D 그래픽을 위한 산업 표준 개발을 위해 1997년에 설립되었다. 이후 이 컨소시엄은 VRML 프레임워크에서 X3D를 웹 기반 VR 콘텐츠 배포를 위한 아카이브 오픈소스 표준으로 개발하였다. WebVR은 HTC 바이브, 오쿨러스 리프트, 구글 카드보드, OSVR과 같은 다양한 가상현실 장치를 웹 브라우저에서 지원하는 실험적인 자바스크립트 API이다.

하드웨어 부분으로 **헤드셋 디스플레이**는 스마트폰용으로 개발된 기술에 기반을 두고 있다: 머리, 몸, 손의 위치를 추적하기 위한 자이로스코프와 동작 센서, 입체 디스플레이용 작은 HD 화면, 작고 가볍고 빠른 컴퓨터 프로세서를 포함한다. 이러한 요소들은 독립적인 VR 개발자들에게 상대적으로 저렴한 가격으로 이어졌고, 2012년 오쿨러스 리프트 키스타터가 최초로 독립적으로 개발된 VR 헤드셋을 제공하게 되었다.

360도 카메라 또는 **VR 카메라**라고도 알려진 저렴한 전방향 카메라의 개발과 함께 VR 이미지와 비디오의 독립적인 제작은 증가하였다. 이와 대조적으로, 사진 측량법은 VR 애플리케이션에서 상세한 3D 물체와 환경을 만들기 위해 여러 고해상도 사진을 결합하는 데 점점 더 많이 사용되고 있다.

몰입감을 자아내기 위해서는 가상세계를 보여줄 **특수 출력장치**가 필요하다. 잘 알려진 형식으로는 머리에 장착된 디스플레이 또는 CAVE (<http://www.visbox.com/>)가 있다. 공간적 인상을 전달하기 위해 두 개의 영상이 생성되고 서로 다른 관점(스테레오 투영)에서 표시된다. 각각의 이미지를 오른쪽 눈으로 가져올 수 있는 다양한 기술이 있다. 능동형(예: 셔터글라스)과 수동형(예: 편광 필터 또는 Infitec) 사이의 차이가 있다. 몰입감을 개선하기 위해 **웨어러블 멀티 스트링 케이블**은 가상현실에서 복잡한 기하학적 구조에 햅틱을 제공한다. 이러한 문자열은 각 손가락 관절을 미세하게 제어하여 이러한 가상 지형을 만지는 것과 관련된 햅틱을 시뮬레이션한다.

가상세계와 상호 작용하려면 특수 **입력 디바이스**가 필요하다. 여기에는 3D 마우스, 유선 장갑, 모션 컨트롤러 및 광학 추적 센서가 포함된다. 컨트롤러는 일반적으로 위치와 항

25) VRML : Virtual Reality Modeling Language

법에 광학 추적 시스템(주로 적외선 카메라)을 사용하여 사용자가 배선 없이 자유롭게 이동할 수 있도록 한다. 일부 입력 장치는 손이나 신체의 다른 부분에 대한 힘 피드백을 사용자에게 제공하여 인간이 감각으로서 하프틱과 센서 기술을 통해 3차원 세계에서 방향을 잡고 사실적인 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 한다. 이를 통해 시청자가 인공경관에 대한 방향감을 가질 수 있다. 추가적인 촉각 피드백은 전방향 트레드밀과 진동 장갑 및 슈트에서 얻을 수 있다.

가상현실 카메라는 360도 파노라마 영상을 이용해 VR 촬영을 할 수 있다. 360도 카메라 샷은 가상 요소와 섞여 현실과 허구를 특수 효과를 통해 융합할 수 있다. VR 카메라는 다양한 포맷으로 제공되며, 카메라 안에 다양한 수의 렌즈를 장착할 수 있다.



〈그림 3-15〉 전방향 트레드밀(좌)과 삼성 Gear 360도 카메라(좌)

3.2.4 Mirror World (거울세계)

거울세계[20]는 현실 세계를 디지털 형태로 표현한 것이다. 그것은 지리적으로 정확한 방법으로 실제 구조물을 매핑하려고 시도한다. 거울 세계는 실제 인간 환경과 작동의 실용적인 소프트웨어 모델을 제공한다. 거울세계는 실제 모델과 연결되어 있고 논픽션과 더 가깝다는 점에서 가상세계와는 다르다. 증강현실과 밀접한 관련이 있지만, 거울세계는 가상 요소나 정보가 내장된 다른 형태를 포함하여 디지털화된 현실을



〈그림 3-16〉 거울 세계(Mirror Worlds)

자율적으로 표현한 것으로 볼 수 있다. 디지털 미디어와 관련된 이 용어는 예일 대학교 컴퓨터 과학자인 데이비드 켈러너가 만들었다. 그는 1991년에 처음으로 가상의 거울세계에

대해 소개했다.

거울세계는 실제 세계를 가능한 한 사실적으로, 있는 그대로 반영하되 정보적으로 확장된 가상세계를 의미한다. 구글 어스(Google Earth)가 대표적 서비스로, 현실 세계와 일대일로 대응되는 거울 세계상에 현실 세계의 건물과 상호에 대한 정보, 사용자들이 남긴 사진 등이 아이콘 형태로 표시되며 이를 클릭하면 상세한 정보를 조회할 수 있다.



〈그림 3-17〉 Google Earth(좌)와 Mirror World 사례 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=0eBbmemP27M>(우)

구글 어스 및 Microsoft Virtual Earth(Bing Maps)와 같은 프로그램은 3D 거울세계의 사례이다. 아우터라(Outerra, <https://outerra.com/>) 엔진의 비디오 게임 안테월드(Anteworld)는 지구 전체를 1:1의 척도로 반영하는 거울세계이다. 게임 개발 중에 있는 동안 플레이어는 비행기, 보트, 자동차와 같은 차량뿐만 아니라 무료 카메라 모드로 탐험할 수 있으며 집과 차량과 같은 사용자가 만든 물체를 생성할 수 있다. 게임에서 사용자는 현재 카메라 위치와 동기화된 내장된 실제 지구의 구글 지도에 혼합할 수 있다.

거울우주(Mirror Universe)[21]는 스타트렉(Star Trek)의 주요 설정인 현실과 가상의 우주가 나란히 존재하지만 별개의 평행 우주인 Star Trek SF의 여러 이야기의 설정 중 주요 우주관이다. 스타 트렉의 메인 세계와 비슷하지만 더 폭력적이고 기회주의적인 도플갱어들로 가득 차 있을 수 있다. 거울우주는 스타 트렉 오리지널 시리즈(Star Trek: The Original Series)의 한 에피소드, 스타 트렉 딥 스페이스 나인(Star Trek: Deep Space Nine)의 5개 에피소드, 스타 트렉 엔터프라이즈(Star Trek: Enterprise)의 2부작 에피소드 및 스타 트렉 디스커버리(Star Trek: Discovery)의 스토리라인과 여러 스타 트렉 연계 작품에 플롯(plot)의 기반이 되어주는 우주관이다.

3.3 메타버스 주요 플랫폼

3.3.1 Animal Crossing (동물의 숲)

동물의 숲[22]은 닌텐도가 개발하고 배급한 소셜 시뮬레이션 비디오 게임 시리즈로 Katsuya Eguchi와 Hisashi Nogami에 의해 제작되었다. 이 게임에서 플레이어 캐릭터는 다양한 의인화된 동물들이 사는 마을에 살면서 낚시, 벌레 잡기, 화석 사냥 등의 다양한 활동을 할 수 있는 사람(인간)이다. 이 시리즈는 오픈 엔드 게임플레이와 비디오 게임 콘솔의 내부 시계와 달력을 사용하여 실제 시간의 흐름을 시뮬레이션하는 것으로 유명하다. 2001년 처음 출시된 이래, 닌텐도 64/iQue 플레이어, 닌텐도 DS, Wii, 닌텐도 3DS, 닌텐도 스위치용으로 각각 1개씩 총 5개의 동물의 숲 게임이 전 세계에 출시되었다. 이 시리즈는 비평적으로나 상업적으로 모두 성공적이었고 전세계적으로 6천만 장 이상이 팔렸다. 세 개의 스핀오프 게임도 출시되었다.



〈그림 3-18〉 Animal Crossing 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
[https://www.youtube.com/watch?v=8AkEFot5UF0\(우\)](https://www.youtube.com/watch?v=8AkEFot5UF0(우))

● 등장인물(Character)

Tom Nook(톰눅)은 가게 주인과 부동산 중개인의 역할을 모두 하는 캐릭터로, 플레이어에게 집을 빌려주고 다양한 업그레이드를 해주면서 무이자로 갚을 수 있게 해준다. 톰눅은 동물의 숲 시리즈에 등장하는 동물가게의 등장인물이다. 톰눅은 너구리 tanuki를 원작으로 한다. 닌텐도의 트리하우스 현지화 팀의 Rich Amtower와 Reiko Ninomiya는 사용자들이 가졌던 최초의 보스라고 묘사하며, 그가 모든 사업을 하고 항상 즐거운 시간을 갖지는 않더라도, 톰눅은 나쁜 사람이 아니다, 왜냐하면 그는마을에 새로운 사람을 고용했기 때문이다.



Tom Nook

위험을 수반하기 때문에, 그것은 관대함을 보여준다고 말했다. 두 사람 모두 톱늑의 인식된 욕심이 그의 가게에 비해 도시의 물가 지수에 의해 줄어든다고 느꼈다. 톱늑은 닌텐도 64 게임 Dobutsu no Mori에 처음 등장했으며, 게임큐브에서 동물의 숲으로 출시되었다. 톱늑은 시리즈의 각 타이틀이 시작할 때 플레이어에게 집을 판다. 뉴 호라이즌스는 예외적으로 톱늑이 플레이어에게 텐트를 팔기 때문에 그들에게 지불하도록 정해진 담보대출을 주고 대출금을 다 갚은 후에 업그레이드를 제공한다. 그는 또한 슈퍼 스매시 브라더스 시리즈에 여러 번 출연했다.

Resetti(리셋티)는 플레이어가 게임을 저장하지 않고 종료할 때마다 지하에서 나타나 게임의 시스템 중 하나를 우회했다고 질책하는 두더지 캐릭터다. 레셋티는 닌텐도의 비디오 게임 동물의 숲 시리즈에 나오는 가상의 캐릭터이다. 닌텐도 64 게임 Dōbutsu no Mori에서 동물의 숲으로 처음 등장했다. 레셋티는 시리즈에서 선수들이 경기를 그만두기 전에 절약하도록 상기시키고, 그렇지 않을 경우 강의를 하는 역할을 하는 두더지다. 레셋티는 비평가들이 독특한 창의성과 그의 역할에 대한 적개심 둘 다에 주목하면서 엇갈린 비판적 평가를 받았다.



Resetti

동물의 숲의 플레이 테스트 동안 플레이어들은 게임을 리셋하고 시스템 시간을 뒤로 돌려 톱늑의 가게의 일일 재고품을 만든다. 개발팀은 이를 막기 위해 부정행위를 원하는 선수들이 단념하기를 바라는 마음에서 레셋티를 구현했다. 게임을 충분히 리셋하면 레셋티는 선수가 “나는 멍청하다” “나는 악취가 난다” 등의 문장을 타이핑해 주길 원한다. 일반적인 생각과는 달리, 레셋티는 플레이어가 게임을 계속 리셋하면 저장된 파일을 삭제하지 않는다. 리셋티의 동물의 숲 영어대화는 닌텐도 트리하우스 팀원인 Tim O’Leary가 썼는데, 그는 캐릭터의 오사카 억양을 일본어로 보완하기 위해 그 캐릭터가 깊은 브롱크스 억양으로 말하도록 의도했다. 그는 플레이어가 그들을 알고 있고 그들에게 직접 소리를 지르고 있다고 믿게끔 고안되었으며, 유럽식 Let’s Go to the City 매뉴얼은 어린아이들이 레셋티의 권위적인 목소리 톤이 방해가 될 수 있다고 경고하였다.

동물의 숲에서 레셋티가 맡은 역할은 게임을 그만두기 전에 세이브를 기억하라고 조언하는 것이다. 세이브 없이 경기가 종료될 경우 레셋티는 다음에 선수가 경기에 나설 때 선수 집 밖에 나타나 세이브가 중요한 이유에 대해 설명한다. 이러한 설명은 플레이어가 리셋할수록 길어진다. 또한, 여러 번 리셋한 후에, 레셋티는 플레이어에게 문구를 반복하게 할 것이고, 그들이 그것을 맞출 때까지 플레이하지 못하게 한다. 만약 그 선수가 공격적인 것

을 입력한다면 그는 격노한다. 레셋티는 플레이어가 저장하지 않고 처음으로 시스템을 끄면 나타난다. 다만 리셋감시센터(레셋티가 근무하는 시설)가 폐쇄돼 더 이상 방문할 수 없게 됐다는 게 그의 설명이다. 선수가 그렇게 선택한다면 리셋 감시센터를 다시 열 수 있어 레셋티가 예전 역할을 재개할 수 있다.

K.K. Slider(케케슬라이더)는 플레이어 마을에서 특정 밤에 연주하는 시리즈 작곡가 Kazumi Totaka에 기반을 둔 개 형태의 여행하는 음악가이다. 그는 플레이어에게 자신의 음악이 자유로워지기를 바란다고 말하며 재생된 곡의 무료 사본을 준다. 비록 닌텐도는 이것이 사회적 논평의 의도라는 것을 부인했지만, 일부 팬들은 이를 음악 저작권 침해에 대한 지지로 보았다. 동물의 숲에 나오는 가상의 인물로 이 시리즈의 가장 인기 있는 캐릭터들 중 하나인 그는 동물의 숲이라는 제목으로 데뷔했고, 그 이후 모든 에피소드에 출연했다. 케케슬라이더의 주요 역할은 라이브 공연과 구매 가능한 게임 내 앨범을 통해 마을 사람들에게 공연하는 음악가로서의 역할이다. Kazumi Totaka의 일본식 이름 토타케케(Totaka K)를 원작으로 하고 있으며, 토타카의 동물 캐리커처로 알려져 있다.



K.K. Slider

케케슬라이더는 일본 닌텐도 64용 도부쓰노 모리 시리즈의 데뷔작에서 처음 소개되었다. 게임 내에서의 그의 역할은 요청 시 플레이어와 마을 사람들을 위해 노래를 연주하는 기타리스트이며, 완료되면 플레이어에게 집에 있는 라디오에서 재생할 수 있는 노래의 가상 복사본을 제공한다. 이 역할은 모든 주요 시리즈 동물의 숲 제목에서 사소한 변경사항이 있을 때까지 거의 동일하게 유지된다. 뉴 리프(New Leaf)는 DJ KK라는 가명으로 DJ 역할을 맡고 있으며, 동물의 숲에서도 단역을 맡고 있다. 해피홈디자이너, 아미보 피규어와 포켓캡츠, 뉴호라이즌스, 2006년 영화 도부쓰노 모리 케케슬라이더도 홀로그램 형태의 일본 스피라톤 콘서트를 열고 도쿄 닌텐도 라이브에 출연했다. 케케슬라이더는 또한 크로스오버 격투 게임 슈퍼 스매시 브라더에서 플레이어의 Mii 파이터의 의상을 받았다. 닌텐도 3DS, Wii U, 슈퍼 스매시 브라더스용으로 출시됐다.

Isabelle(이사벨)은 마을 공동체 관리자이자 톱늑의 비서로 등장한다. 그녀는 원래 뉴 리프에 소개되었고, 그곳에서 플레이어 캐릭터의 조수로 비슷한 역할을 했다. 그녀는 플레이어들이 마을의 깃발과 곡조를 바꿀 수 있게 하고, 마을 사람들의 옷(닉네임과 마을 사람들 의상)을 리셋할 수 있게 한다. 이사벨은 일본에서 시즈어로 알려진 비디오 게임 시리즈에 등장하는 가공의 인물이다. 그녀는 2012년 개봉된 동물의 숲으로 데뷔한 친절한 시츄

이다. 뉴 리프에서는 플레이어 캐릭터의 비서 역할을 한다. 그녀는 마리오 카트 8과 슈퍼 스매시 브라더스에서 플레이 가능한 캐릭터를 포함한 여러 게임 프랜차이즈에 출연했다. 궁극적인 이사벨은 동물의 숲 프랜차이즈와 사실상의 마스코트에서 가장 유명한 캐릭터 중 한 명이 될 정도로 긍정적인 반응을 얻었다.

이사벨은 금빛의 시츄로, 원래 이름은 시즈에 이다. 뉴리프의 개발팀은 플레이어가 통제하는 시장이 보조를 필요로 한다고 결정한 후 그녀를 만들었다. 그들은 충성스럽고 도움이 되는 매우 애정 있는 캐릭터를 만드는데 집중했고, 그래서 조금 서투른 암컷 개를 만드는 것을 선택했다. 이사벨의 슈퍼 스매시 브라더스 출연과 얼티밋은 동료 동물십자사 빌라거에 바탕을 두고 있다. 그러나 슈퍼 스매시 브라더스 시리즈 감독 사쿠라이 마사히로는 이사벨의 애니메이션이 다르고 동물의 숲의 캐릭터 모델에 기반을 둔 비율 때문에 이사벨을 빌라거의 에코 파이터(Echo Fighter)로 만들지 않기로 결정했다. 뉴 리프, 이전의 동물의 숲 캐릭터 모델들과 대조된다.



Isabelle

이사벨은 2012년 비디오 게임 동물의 숲 뉴 리프, 쌍둥이 동생 디비. 이 게임에서 그녀는 마을 시장이 되는 플레이어 캐릭터의 비서 역할을 하며 다양한 업무를 보조한다. 그녀는 그 이후로 동물의 숲을 포함한 여러 동물의 숲 게임인 해피홈디자이너, 동물의 숲 아미보 페스티벌, 동물의 숲 포켓캠프와 동물의 숲 뉴 호라이즌스 등에 출연하였다.

● 게임플레이

동물의 숲 게임에서 플레이어는 의인화된 동물이 사는 시골 마을로 이주하여 무기한으로 사는 인간 캐릭터를 연기한다. 게임플레이는 목표가 정해지지 않았지만, 대신 마을에서 아 아이템 수집, 식물 심기, 벌레 잡기, 낚시, 마을 주민과의 친목 등 다양한 활동을 할 수 있도록 장려된다. 비디오 게임기의 내장 시계와 달력을 활용해 동물의 숲 게임이 실시간으로 진행된다. 따라서 게임 세계의 시간 흐름은 현실에서 그것을 반영하며, 현재 시즌과 시간도 반영한다. 휴일이나 나무의 성장과 같은 일부 게임 내 이벤트는 특정 시간에 발생하거나 시간이 지나야 할 수 있다.

동물의 숲 시리즈의 주목할 만한 특징 중 하나는 높은 수준의 커스터마이징이 가능하다는 것인데, 그 중 일부는 게임의 결과에 영향을 미친다. 플레이어 캐릭터는 게임을 시작할 때 실제 플레이어가 이름을 붙이고 젠더를 하며, 커스텀한 옷과 액세서리를 구입하거나 디자인하거나 헤어스타일을 변경하여 외모를 변경할 수 있다. 플레이어의 집은 가구, 장식, 확장을 할 수 있으며, 플레이어는 가구를 구매하고 수집하여 집안 어디에나 배치할 수 있

으며 벽지와 바닥 디자인을 모두 변경할 수 있다. 게임이 처음 시작될 때 지형, 건물 위치, 초기 거주자가 무작위로 생성되지만, 마을의 이름과 국가는 주민들의 캐치프레이즈 중 일부를 포함한다.

아이템 수집은 동물의 숲의 주요 측면으로, 플레이어는 마을을 탐험하고 나무 열매, 조개껍데기, 버려진 아이템 등을 수집할 수 있다. 거의 모든 아이템은 게임 내 통화인 벨에 팔 수 있다. 플레이어는 더 많은 벨을 얻기 위해 객체를 수집하며, 이를 통해 가구와 의류를 구입하고, 홈 익스텐션을 구입하고, 게임을 할 수 있다. 낚시나 곤충 채집과 같은 다른 활동을 위한 많은 전문 도구들이 이용 가능하다. 화석과 그림과 같은 특별한 물품들은 마을 박물관에 기증될 수 있다. 플레이어는 대화, 편지 주고받기, 물물교환, 슝바꼭질 등을 통해 다른 동물 거주자들과의 교제를 선택할 수 있다. 거주자는 플레이어의 행동에 따라 마을 안팎으로 이사할 수 있다.

동물의 숲의 모든 설치물은 오프라인과 온라인 모두에서 플레이어 간의 의사소통을 허용한다. 하나의 마을은 최대 4명의 인간 플레이어를 수용할 수 있지만, 주어진 시간에 오직 1명만이 마을을 탐험할 수 있다. 플레이어는 마을 우체국이나 게시판 등을 통해 서면 메시지를 통해 상호 작용할 수 있다. 게임큐브 반복은 플레이어들이 게임 데이터로 작성된 메모리 카드를 교환함으로써 다른 마을을 여행할 수 있게 해주지만, 이후의 모든 게임들은 플레이어들이 닌텐도 와이파이 커넥션을 통해 온라인으로 여행하고 상호작용할 수 있게 해준다.

3.3.2 Second Life (세컨드라이프)

세컨드라이프[23]는 사람들이 온라인 가상세계에서 아바타를 만들고 세컨드라이프를 가질 수 있게 해주는 온라인 멀티미디어 플랫폼이다. 샌프란시스코에 본사를 둔 Linden Lab이 개발하고 소유했으며 2003년 6월 23일 런칭하였고, 몇 년 동안 급속한 성장을 보였으며 2013년에는 약 백만 명의 일반 사용자를 보유하고 있었다. 세컨드라이프는 대규모 멀티 플레이어 온라인 롤플레이밍 게임과 유사하지만, 게임이 아니라고 강조한다. 가상세계는 클라이언트 소프트웨어나 대체 다양한 뷰어를 통해 자유롭게 액세스할 수 있다. 레지던트라고도 불리는 세컨드라이프 사용자는 아바타라고 불리는 가상 객체를 만들고 장소, 물체 및 기타 아바타와 상호 작용할 수 있다. 그들은 세계를 탐험하고, 다른 거주자들을 만나고, 사교하고, 개인과 그룹 활동에 참여하고, 가상 자산과 서비스를 만들고, 서로 거래할 수 있다. 이 플랫폼은 주로 3D 기반 사용자 제작 콘텐츠를 특징으로 한다. 세컨드라이프는 자체 가상화폐인 Linden 달러도 보유하고 있는데, 이 가상화폐는 실제 화폐와 교환이 가능하다. 세컨드라이프는 13~15세 사용자를 제외하고 16세 이상의 후원 기관(예: 학교)의 세컨드라이프 지역에만 국한되어 있다.



〈그림 3-19〉 Second Life 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=z3gHCupXSMs>(우)

1999년 필립 로즈데일(Philip Rosedale)은 사람들이 가상세계에 몰입할 수 있도록 컴퓨터 하드웨어를 개발할 목적으로 Linden Lab을 설립했다. 초기 형태에서 회사는 The Rig라고 알려진 하드웨어의 상업용 버전을 생산하기 위해 노력했고, 시제품 형태에서는 컴퓨터 모니터를 어깨에 착용한 투박한 강철 기계로 보였다. 이러한 비전은 사람들이 작업 기반 게임에 참여하고 3차원 온라인 환경에서 사교하는 소프트웨어 애플리케이션 Linden 월드로 바뀌었다. 이러한 노력은 결국 더 잘 알려진 사용자 중심의 세컨드라이프로 전환되었다.

전통적인 컴퓨터 게임과 달리, 세컨드라이프는 지정된 목적이나 전통적인 게임 플레이 메커니즘이나 규칙이 없다. 또한, 세컨드라이프는 가상세계가 여러 사용자 간의 상호작용을 용이하게 하기 때문에 다중 사용자 가상세계라고 주장할 수 있다. 정해진 목표가 없는 만큼 세컨드라이프와 관련해 승패를 이야기하는 것은 무관하다. 마찬가지로 세컨드라이프는 기존과 달리 탐색하고 상호작용할 수 있는 광범위한 세계를 포함하고 있으며 사용자가 원한다면 순수하게 창작 도구 세트로 사용할 수 있다.

세컨드라이프는 성인용(18+)과 청소년용의 두 가지 주요 그리드를 제공했었다. 2010년 8월, Linden Lab은 운영비 때문에 청소년용 그리드를 폐쇄했다. 이후 만 16세 이상 이용자가 무료 계정에 가입할 수 있다. 어린 학생들과 함께 세컨드라이프를 사용하는 교육자를 위해 다른 제한된 계정을 사용할 수 있다. 세컨드라이프의 시뮬레이션에는 세 가지 활동 기반 분류인 비율이 있다. **일반**(이전의 “PG” —극한 폭력 또는 나체 없음), **보통**(이전의 “성숙한”—일부 폭력, 욕설, 성인 상황, 나체), 그리고 **성인**(공개적인 성적 활동, 나체 및 폭력을 포함할 수 있음) 세 가지이다.

● 사용자(주민) 및 아바타

세컨드라이프 계정을 생성하거나 특정 기간 동안 세상을 이용하는 데 대한 비용은 없다.

Linden Lab은 1인에 대한 다수의 다중 계정 생성에 대해 청구할 수 있는 권리를 보유하지만 (가구당 5개, 24시간당 2개) 현재는 그렇게 하지 않는다. 프리미엄 회원권(매월 11.99달러, 분기별 32.97달러 또는 연간 99달러)은 향상된 기술 지원에 대한 접근 권한을 연장하며, 회원의 아바타 계정에 주당 300달러의 자동 수당을 지급하며, 45일 후에는 700달러의 보너스를 받게 되어 해당 주에 1,000달러의 보너스를 받게 된다. 이 금액은 원래 지급된 500달러 이후 감소했으며, 여전히 오래된 계좌에 지급된다. 이전 기간에 생성된 특정 계정은 \$400를 받을 수 있다. 이 지급액은 USD로 변경될 경우 연간 72달러의 지급에 대한 기술 지원 연장 혜택에 대한 실제 비용이 환율에 따라 약 14달러에 불과하다는 것을 의미한다.

Avatar(아바타)는 사용자가 선택하는 모든 형태(인간, 동물, 식물, 광물 또는 이들의 조합)를 취하거나 거주자가 실제 생활처럼 자신을 닮기를 선택할 수 있다. 아바타의 거의 모든 측면이 완전히 사용자 정의가 가능하다는 점을 고려할 때, 그들은 훨씬 더 추상적인 형태를 선택할 수 있다. 세컨드라이프 환경은 실제 생활에서도 존재하는 많은 활동과 행동들로 구성되어 있다. 하나의 주민 계정은 한 번에 하나의 아바타만 가질 수 있지만, 이 아바타의 모습은 주민이 원하는 만큼 다양한 형태로 변할 수 있다. 세컨드라이프의 거의 모든 형태와 마찬가지로 아바타 형태는 사용자가 만들거나 미리 구매할 수 있다. 한 사람이 여러 개의 계정을 가질 수도 있으므로 여러 명의 거주자로 표현이 된다.

아바타는 걷기, 달리기, 차량 접근, 비행 또는 순간 이동으로 이동할 수 있다. 세컨드라이프는 매우 거대한 가상세계이기 때문에, 순간 이동은 아바타가 즉각적이고 효율적으로 여행하기를 원할 때 사용된다. 일단 목적지에 도착하면, 그들은 더 전통적인 방법으로 다양한 속도로 여행할 수 있다. 아바타는 로컬 채팅, 그룹 채팅, 글로벌 Instant Messaging(IM) 및 음성(공개, 개인 및 그룹)을 통해 통신할 수 있다. 채팅은 둘 이상의 아바타 간의 지역화된 대중 대화에 사용되며, 주어진 거리 내에 있는 모든 아바타가 볼 수 있다. IM은 두 아바타 간, 그룹의 구성원 간, 심지어 객체와 아바타 간에도 사적인 대화를 위해 사용된다. 채팅과 달리, IM 통신은 참가자가 서로 일정 거리 내에 있는지 여부에 의존하지 않는다.

세컨드라이프의 정체성은 사용자의 성격이나 자신만의 캐릭터를 만드는 것과 관련될 수 있다. 그것은 자신을 표현하는 방법에 대한 그들의 결정에 바탕을 두고 있다. 대부분의 아바타는 사람이지만 뱀파이어나 동물이 될 수 있다. 때때로, 그들이 선택하는 것은 오프라인의 자신들과 관련이 없다. 가상 인간을 탐구하는 인류학자 톰 볼스토프[24]는 세컨드라이프의 인터페이스는 플레이어의 가상 정체성과 그들의 물리적 정체성을 분리하기 위한 목적을 염두에 두고 설계되었다고 언급한다. 2015년 현재 세컨드라이프는 플레이어의 프로필이나 스크린 네임으로 자신의 법적 이름을 표시할 수 있도록 하고 있지만, 2008년 볼스

토프가 책을 처음 출판했을 때 사용자들은 미리 결정된 옵션 목록에서 성을 선택해야 했다. 볼스토프는 이러한 사고방식은 익명성이 위면되고 사용자들이 온라인과 물리적 존재 사이의 연결을 명확히 하도록 장려되는 다른 주류 소셜미디어 웹사이트들의 사고방식과 직접적인 대조를 이룬다.

● 관련 기술

Client(사용자), Linden Lab은 지금까지 알려진 크롬OS가 배제된 윈도, macOS, 리눅스 배포판 대부분에 대해 공식 뷰어를 제공한다. 뷰어는 OpenGL 기술을 사용하여 3D 그래픽을 렌더링한다. 시청자 소스 코드는 2007년 GPL로 배포되었으며 2010년 LGPL로 이전되었다. 현재 파이어스톰과 엑소더스 뷰어와 같은 성숙한 서드파티 뷰어 프로젝트들이 있는데, 이 프로젝트들은 Linden Lab 정규 클라이언트에서는 사용할 수 없는 기능들을 포함하고 있으며, 다른 플랫폼을 타겟으로 하거나 전문가와 접근성 요구를 충족시킨다. 타사 개발의 주요 초점은 새로운 아이디어를 모색하고 Linden Lab과 협력하여 새로운 기능을 제공하는 것이다.

독립 프로젝트인 'libopenmetaverse'는 세컨드라이프 서버와 상호 작용할 수 있는 함수 라이브러리를 제공한다. libopenmetaverse는 비전문적인 제3자 시청자를 만들기 위해 사용되어 왔다. Linden Lab에 의해 출판된 몇 개의 대체 Viewers가 다가오는 프로젝트에 대한 초기 접근을 위해 자원 봉사자들에 의한 소프트웨어 테스트를 위해 사용된다. 이러한 클라이언트 중 일부는 불안정한 테스트 서버 코드의 다양한 릴리즈를 실행하는 제한된 수의 영역으로 구성된 베타 그리드에서만 작동한다.

Server(서버), 세컨드라이프 그리드의 각 전체 영역(256×256m)은 멀티 코어 서버의 단일 전용 코어에서 실행된다. 홈스테드 영역은 코어당 3개의 영역을 공유하고 오픈스페이스 영역은 코어당 4개의 영역을 공유하며 데비안 리눅스에서 독점 소프트웨어를 실행한다. 이 서버들은 지역에서 스크립트를 실행할 뿐만 아니라 아바타와 지역에 존재하는 객체 간의 통신을 제공한다.

세컨드라이프 우주의 모든 아이템을 자산이라고 한다. 여기에는 원시 메시(Primitive Mesh)로 공식적으로 알려진 기본 3D 폴리곤 객체의 모양, 원형을 장식하는 디지털 이미지, 디지털화된 오디오 클립, 아바타 모양 및 모양, 아바타 피부 텍스처, LSL(Linden Script Language) 스크립트, 노트에 작성된 정보 등이 포함된다. 각 자산은 보편적으로 고유한 식별자 또는 UUID로 참조된다. 자산은 세컨드라이프 경험이 있는 사람이 만든 모든 데이터로 구성된 Isilon 시스템 스토리지 클러스터에 저장됩니다. 자주 사용하지 않는 자산

은 S3 대용량 스토리지로 오프로드된다. 자산 서버는 지역 시뮬레이터와 독립적으로 작동 하지만, 지역 시뮬레이터가 클라이언트의 프록시 역할을 하지만, 새로운 객체가 시뮬레이터에 로드될 때 자산 서버에서 객체 데이터를 요청한다. 지역 시뮬레이터 영역은 주민들에 의해 일반적으로 시뮬레이션으로 알려져 있다.

각 서버 인스턴스는 물리 시뮬레이션을 실행하여 해당 영역에 있는 모든 개체의 충돌 및 상호작용을 관리한다. 물체는 물리적이거나 움직이지 않거나 능동적으로 움직이거나 움직일 수 있다. 복잡한 모양은 최대 256개의 원시 요소 그룹으로 서로 연결될 수 있다. 게다가, 각 플레이어의 아바타는 물리적인 물체로 취급되어 세상의 물리적인 물체와 상호작용할 수 있다. 2014년 7월부터, 세컨드라이프 시뮬레이터는 하복 물리 엔진을 사용하여 모든 인월드 다이내믹스를 구현하고 있다. 이 엔진은 수천 개의 물리적 물체를 동시에 시뮬레이션할 수 있다.

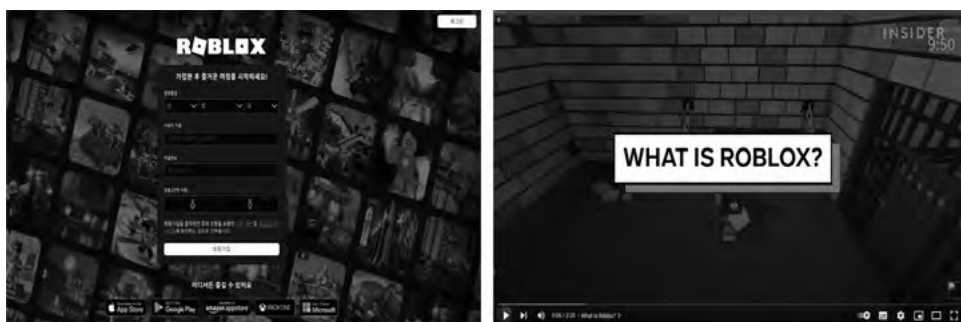
Linden Lab은 오픈 표준 기술의 사용을 추구하며 아파치, MySQL, 스퀴드, 리눅스와 같은 자유 및 오픈소스 소프트웨어를 사용한다. 계획은 SL 프로토콜을 표준화함으로써 모든 것을 개방형 표준으로 전환하는 것이다. 세컨드라이프의 CTO(Chief Technology Officer)였던 코리 온드레카(Cory Ondrejka)는 2006년에 모든 것이 표준화되고 얼마 후 클라이언트와 서버 모두 자유 및 오픈 소스 소프트웨어로 출시될 것이라고 언급하였다. 2021년 1월, Linden Lab는 자사의 모든 서비스와 데이터베이스를 AWS 서버로 마이그레이션하는 것을 완료하였다.

OpenSimulator, 2007년 1월 오픈시뮬레이터가 오픈소스 시뮬레이터 프로젝트로 설립되었다. 이 프로젝트의 목적은 세컨드라이프 클라이언트를 위한 완전한 오픈소스 서버 소프트웨어를 개발하는 것이다. Open Simulator는 BSD 라이선스이며 C#로 작성되었으며 모노 환경에서 실행할 수 있다. 2008년부터 대체 그리드가 등장하기 시작했으며 이들 중 다수는 Open Simulator를 사용하여 하이퍼 그리드 프로토콜을 통해 다른 그리드의 교차 방문을 허용한다.

3.3.3 Roblox (로블록스)

로블록스[25] 회사가 개발한 온라인 게임 플랫폼 및 게임 제작 시스템이다. 사용자가 게임을 프로그래밍하고 다른 사용자가 만든 게임을 할 수 있게 해준다. David Baszucki과 Erik Cassel이 2004년에 개발하고 2006년에 출시한 이 플랫폼은 Lua 프로그래밍 언어로 코딩된 여러 장르의 사용자가 만든 게임을 호스팅한다. 로블록스의 역사 대부분은 플랫폼으로서나 회사로서나 비교적 작은 편이었는데, 공동 창업자인 Baszucki가 언론 보도

에 관심이 없었고 비슷한 시기에 출시된 수많은 플랫폼에서 많은 사람들에게서 잊혀졌기 때문이었다. 로블록스는 2010년대 하반기에 빠르게 성장하기 시작했고, 이러한 성장은 COVID-19 대유행으로 가속화되었다. 로블록스는 무료로 플레이할 수 있으며 게임 내 구매는 Robux라는 가상화폐를 통해 가능하다. 2020년 8월 기준으로 로블록스는 1억 6천 4백만 명 이상의 월간 활성 사용자를 보유하고 있으며, 미국 전체 16세 미만 어린이 중 절반 이상이 이를 플레이하고 있다. 로블록스는 일반적으로 비평가들로부터 긍정적인 평가를 받았지만, 절제, 소액 거래, 어린이에 대한 착취적 관행으로 인해 비판을 받기도 했다.



〈그림 3-20〉 Roblox 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
[https://www.youtube.com/watch?v=bziY1QiGfpQ\(우\)](https://www.youtube.com/watch?v=bziY1QiGfpQ(우))

로블록스의 베타 버전은 2004년 공동 설립자인 David Baszucki과 Erik Cassel이 DynaBlocks라는 이름으로 만들었다. Baszucki는 그 해에 첫 번째 데모를 테스트하기 시작했다. 2005년 회사명을 로블록스로 변경하고 2006년 9월 1일 공식 출범하였다. 2007년 3월, 로블록스는 안전 채팅을 추가하여 COPPA를 준수하게 되었다. 지난 8월, 로블록스는 서버 개선 사항을 적용하고 빌더스 클럽이라는 프리미엄 멤버십 서비스를 출시했다. 이 유료 멤버십 기능은 2019년 9월에 Roblox Premium으로 브랜드 변경되었다.

2011년 12월 로블록스 개발자들이 회사에 발표할 새로운 개발에 대한 외부 아이디어를 작업하는 연례행사인 첫 번째 Hack Week를 개최했다. 2012년 12월 iOS 버전의 로블록스가 출시되었고 2014년 7월 안드로이드 버전이 출시되었다. 2013년 10월 로블록스는 개발자 교환 프로그램을 출시하여 개발자들이 게임에서 얻은 로블록스를 실제 화폐로 교환할 수 있게 하였다.

2015년 5월 매끄러운 지형이라는 기능이 추가되어 지형의 그래픽 충실도를 높이고 물리 엔진을 블록 지향 스타일에서 보다 부드럽고 사실적인 스타일로 변경하였다. 11월 로블록스는 엑스박스 원에서 런칭되었으며, 로블록스 직원이 선택한 15개의 게임 중 최초 선택되었다. 엑스박스 원용 신작 로블록스 게임은 승인 절차를 거쳐야 하며 엔터테인먼트 소프트웨어 등급 위원회 표준을 따른다.

2016년 4월 로블록스는 오쿨러스 리프트를 위한 로블록스 VR을 출시했다. 출시 당시 1천만 개 이상의 게임이 3D로 제공되었다. 같은 기간 동안 안전 채팅 기능은 제거되었고 13세 미만의 사용자에게 허용 가능한 단어 세트와 다른 사용자에게 대한 블랙리스트 단어 세트가 있는 화이트리스트 기반 시스템으로 대체되었다. 6월에 이 회사는 윈도우 10과 호환되는 버전을 출시했다. 게임 플랫폼은 웹 버전이 만들어진 2004년 이후 PC에 존재해 왔지만 윈도우용으로 제작된 독립형 런처와 함께 업그레이드된 것은 처음이었다.

2017년 로블록스는 서버 기술에 대한 수많은 업데이트에 참여했는데, 그 시점까지 운영 하던 기술이 구식이 되어 운영 중단이 잦았기 때문이다. 또한, 2017년에 로블록스는 공식 포럼을 닫았다. 2018년 11월 이전 2년간 점진적으로 제한되었던 계정 없이 게스트로 경기할 수 있는 자격이 완전히 폐지되었다. 2020년 7월 로블록스는 온라인 아지트 역할을 하는 파티 플레이를 만들었다. 이 기능은 2020년 Bloxy Awards에서 사용된 새로운 기술을 사용하여 개발되었으며 COVID-19 대유행에 대응하여 설계되었다. 로블록스는 2020년 12월 중국에서 출시 허가를 받았다. 로블록스는 2021년 채팅 플랫폼 길드를 인수했다.

로블록스는 플레이어가 자사 소유의 엔진인 **로블록스 스튜디오**를 사용하여 자신만의 게임을 만들 수 있게 하며, 다른 사용자들이 게임을 즐길 수 있게 한다. 게임은 루아 프로그래밍 언어의 사투리를 사용하여 게임 환경을 조작하는 객체 지향 프로그래밍 시스템으로 코딩된다. 사용자는 게임 패스로 알려진 일회성 구매와 개발자 제품 또는 제품으로 알려진 두 번 이상 구매할 수 있는 소액 거래를 통해 구매 가능한 콘텐츠를 만들 수 있다. 로블록스 스튜디오를 사용하여 제작되는 대부분의 게임은 미성년자들이 개발하며, 연간 총 2천만 개의 게임이 이를 사용하여 제작된다.



〈그림 3-21〉 Roblox Studio 로그(좌)와 Roblox 가상화폐(우)

품목 및 통화, 로블록스는 플레이어가 플랫폼에서 아바타 역할을 하는 가상 캐릭터를 꾸미는 데 사용할 수 있는 가상 아이템을 구매, 판매, 만들 수 있도록 한다. 의류는 누구나 구매할 수 있지만 프리미엄 멤버십을 가진 플레이어만 판매할 수 있다. 로블록스 관리자만이

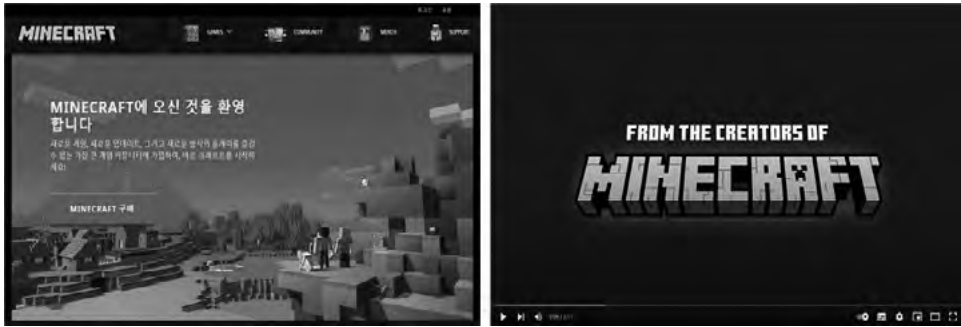
로블록스 공식 사용자 계정으로 액세서리, 차체 부품, 장비 및 패키지를 판매할 수 있다. 가상 모자 및 액세서리는 로블록스 회사에서 일한 경험이 있는 일부 선별된 사용자도 게시할 수 있다. 품목을 정기적으로 디자인하는 개인이 여러 명 있으며, 가장 많은 수익을 올리는 크리에이터는 연간 \$10,000 이상의 아이템 판매 수익을 올리고 있다. 한정판 상태의 아이템은 로블록스 Premium 멤버십을 가진 사용자들끼리만 거래하거나 판매할 수 있다.

Robux는 플레이어들이 다양한 아이템을 구매할 수 있도록 하며, 프리미엄 멤버십 회원들에게 주어지는 정기 급여에서부터, 로블록스에서 가상 콘텐츠를 제작하고 판매하여 다른 플레이어들로부터 실제 화폐로 구매할 수 있게 한다. 2016년 이전에 로블록스는 또 다른 통화인 틱스가 있었는데, 이 통화는 그 해 4월에 중단되었다. 사용자 제작 콘텐츠 판매를 통해 취득한 Robux는 웹사이트의 Developer Exchange 시스템을 통해 실제 화폐로 교환할 수 있다. Robux와 관련된 상당한 양의 스캠이 존재하며, 주로 스캠 웹사이트, 스캠 게임, 유효하지 않은 Robux 코드를 홍보하는 자동화된 메시지를 중심으로 돌아간다.

이벤트. 로블록스는 때때로 실제 이벤트와 가상 이벤트를 호스팅한다. 그들은 과거에 플랫폼에서 일반 선수들을 위한 대회였던 BloxCon과 같은 행사를 주최했다. 로블록스는 매년 부활절 달걀 찾기를 운영하고 있으며 모금 행사도 겸하는 시상식인 블록시 어워드라는 연례행사를 주최한다. 플랫폼에서 가상으로 열린 2020년 Bloxy Awards에는 60만 명의 시청자가 몰렸다. 로블록스는 가끔 윈터우먼 1984나 아쿠아맨을 홍보하기 위한 행사에 참여한다. 2020년 로블록스는 미국의 래퍼 트래비스 스콧의 포트나이트 가상 콘서트와 비교되는 첫 번째 가상 콘서트를 개최했다. 스웨덴 가수 자라 라르손이 2021년 그녀의 새 앨범 포스터 길을 축하하기 위해 가상 파티에서 노래를 불렀다. 2021년 9월 미국 밴드 Twenty One Pilots의 가상 콘서트가 열렸다. 2021년 10월 로블록스는 치폴레 멕시코 그릴과 제휴하여 치폴레의 할로윈 부리토 프로모션을 제외하고 매일 처음 3만 명에게 100만 달러의 부리토를 증정했다.

3.3.4 Minecraft (마인크래프트)

마인크래프트[26]는 스웨덴의 비디오 게임 개발사 Mojang 스튜디오가 개발한 샌드박스 비디오 게임이다. 이 게임은 자바 프로그래밍 언어로 Markus Persson에 의해 만들어졌다. 초기 비공개 테스트 버전 몇 개를 거쳐 2009년 5월에 처음 공개되었고 2011년 11월에 완전히 출시되었으며, 이후 Jens Bergensten이 개발을 맡았다. 마인크래프트는 이후 여러 다른 플랫폼으로 이식되었으며 2021년 기준으로 2억 3천 8백만 부 이상이 판매되었으며 매일 약 1억 4천만 명의 사용자가 활동하고 있다.



〈그림 3-22〉 Minecraft 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
[https://www.youtube.com/watch?v=1JSjZqV-YK8\(우\)](https://www.youtube.com/watch?v=1JSjZqV-YK8(우))

마인크래프트에서 플레이어들은 사실상 무한한 지형을 가진 막히고 절차적으로 생성된 3D 세계를 탐험하며 원료, 공예 도구, 아이템을 발견하고 추출하며 구조물, 토공품, 간단한 기계를 만들 수 있다. 게임 모드에 따라 플레이어는 컴퓨터로 조종되는 Mobs(Mobile Objects)과 싸울 수 있을 뿐만 아니라 같은 세계의 다른 플레이어와 협력하거나 경쟁할 수 있다. 게임 모드에는 플레이어가 세상을 건설하고 건강을 유지하기 위해 자원을 획득해야 하는 서바이벌 모드와 플레이어가 무제한의 자원과 비행에 접근할 수 있는 크리에이티브 모드가 포함된다. 플레이어는 게임을 수정하여 새로운 게임 방식, 아이템, 자산을 만들 수 있다.

이 게임의 초기 버전은 비평가들로부터 호평을 받았으며, 여러 상을 수상했으며, 역사상 가장 위대한 비디오 게임 중 하나로 선정되었다. 소셜 미디어, 패러디, 각색, 상품, 그리고 매년 열리는 마인콘 컨벤션이 게임의 대중화에 큰 역할을 했다. 이 게임은 화학, 컴퓨터 보조 디자인, 컴퓨터 과학을 가르치기 위해 교육 환경에서도 사용되어 왔다. 2014년 Mojang 과 마인크래프트 지적 재산은 마이크로소프트에 25억 달러에 인수되었다. 마인크래프트 스토리 모드, 마인크래프트 던전, 모바일 게임 마인크래프트 어스와 같은 많은 스핀오프 게임도 제작되었다.

마인크래프트는 달성해야 할 목표가 없는 3D 샌드박스 게임으로 플레이어들이 게임 방식을 자유롭게 선택할 수 있다. 그러나 게임의 자바 에디션에서는 진보로, 플레이스테이션 포트에서는 트로피스로 알려진 목표달성 시스템이 있다. 게임플레이는 기본적으로 1인칭 시점이지만 플레이어에게는 3인칭 시점 옵션이 있다. 게임 세계는 거친 3차원 물체(주로 정육면체와 액체)로 구성되어 있으며, 흙, 돌, 광석, 나무줄기, 물, 용암과 같은 다양한 물질을 나타내는 block이라고 불린다. 게임플레이의 핵심은 이 물건들을 집어넣는 것을 중심으로 한다. 이 블록들은 플레이어들이 전 세계를 자유롭게 이동할 수 있는 반면, 3D 그리드로 배열되어 있다. 플레이어는 블록을 채굴한 다음 다른 곳에 배치하여 물건을 만들 수 있다. 이 게임은 또한 레드 스톤으로 알려진 물질을 포함하고 있는데, 이것은 많은 복잡한 시스템

을 만들 수 있는 원시적인 기계 장치, 전기 회로, 논리 게이트를 만드는데 사용될 수 있다.

게임 월드는 사실상 무한하며 플레이어가 탐색할 때 시스템 세계에서 얻은 맵 시드를 사용하여 절차적으로 생성된다. 수직 이동에는 제한이 있지만, 마인크래프트는 수평면에서 무한히 큰 게임 월드를 생성할 수 있다. 그러나 극도의 거리에 도달했을 때 기술적인 문제로 인해 선수들이 중앙에서 3천만 블록 이상의 위치로 이동하는 것을 막는 장벽이 있다. 이 게임은 세계의 데이터를 플레이어가 근처에 있을 때만 생성되거나 로드되는 “청크”라고 불리는 더 작은 섹션으로 분할함으로써 이것을 달성한다. 세계는 사막에서 정글, 눈밭에 이르는 생물군계로 나뉘며, 지형은 평야, 산, 숲, 동굴, 그리고 다양한 용암/수역을 포함한다. 게임 내 시간 시스템은 주·야간 주기를 따르며, 하나의 전체주기는 실시간 20분이다.

새로운 세상을 시작할 때, 플레이어들은 평화로운 것부터 힘든 것까지 네 가지 어려움 중 하나뿐만 아니라 다섯 가지 게임 모드 중 하나를 선택해야 한다. 게임의 난이도가 높아지면 플레이어가 Mobs으로부터 더 많은 피해를 입을 뿐만 아니라 다른 난이도별 효과도 얻게 된다. 예를 들어, 평화적인 어려움은 적대적인 폭도들이 산란하는 것을 막고, 어려운 어려움은 플레이어가 그들의 허기 바가 고갈되면 굶어 죽도록 한다. 선택하면 난이도를 변경할 수 있지만 게임 모드가 잠기므로 치트가 있어야만 변경할 수 있다.

새로운 플레이어들은 스티브나 알렉스의 기본 스킨을 무작위로 선택하지만, 사용자 지정 스킨을 만들 수 있는 옵션이 2010년에 제공되었다. 플레이어는 마피아로 알려진 동물, 마을, 적대적인 생물과 같은 다양한 논플레이어 캐릭터와 마주친다. 소, 돼지, 닭과 같은 수동적인 마피아는 식량과 제조 재료로 사냥할 수 있다. 낮에 산란을 하는 반면, 큰 거미, 해골, 좀비 등 적대적인 무리들은 밤이나 동굴과 같은 어두운 장소에서 산란을 한다. 좀비, 해골, 익사(잠수형 좀비)와 같은 일부 적대적인 군중은 헤드기어가 없으면 태양 아래에서 불타버린다. 마인크래프트만의 독특한 생명체로는 크리커(플레이어에게 몰래 다가가는 폭발하는 생명체)와 앵더만(블록들을 집어 올릴 뿐만 아니라 순간 이동 능력을 가진 생명체)이 있다. 또한, 다른 조건에서 산란하는 폭도 있다. 예를 들어, 좀비들은 사막에서 산란하는 꺾데기 변종을 가지고 있다.

마인크래프트는 오버월드(주세계) 외에도 네덜란드와 엔드의 두 가지 차원을 가지고 있다. 네덜란드는 플레이어가 만든 포털을 통해 접근하는 지옥과 같은 차원이다. 네덜란드를 여행하는 모든 블록이 가상세계를 여행하는 8 블록과 같기 때문에 많은 고유한 자원을 포함하고 있으며 가상세계에서 먼 거리를 이동하는데 사용될 수 있다. 플레이어는 네덜란드에서 발견된 재료를 사용하여 워더라는 이름의 선택적 보스 마피아를 만들 수 있다. 끝은 어둡고 끝없는 공허 위에 떠 있는 많은 섬들로 이루어진 불모지이다.

● 게임 모드

Survival Mode에서 플레이어는 다른 아이템들로 채워진 표준 재고 위에 맵도는 3x3 블록의 아이템 공간인 크래프트 그리드에 필요한 재료를 넣어 돌도끼를 만들려고 한다. 서바이벌 모드에서 플레이어는 특정 블록과 아이템을 만들기 위해 환경에서 발견되는 나무와 돌과 같은 천연자원을 모아야 한다. 난이도에 따라 몬스터는 캐릭터의 특정 반경 밖의 어두운 영역에 산란하므로 플레이어는 밤에 피난처를 만들어야 한다. 모드에는 또한 폭도, 추락, 익사, 용암에 빠짐, 질식, 기아 및 기타 사건의 공격으로 인해 고갈되는 건강 바가 있다. 플레이어는 또한 배고픔바를 가지고 있는데, 이는 평화적인 어려움을 제외하고 주기적으로 게임 내에서 음식을 먹음으로써 채워져야 한다. 배고픔바가 고갈되면 자동 치유가 멈추고 결국 체력이 고갈된다. 체력은 플레이어가 배고픔이 거의 가득 찼을 때 또는 평화로운 어려움을 계속 겪을 때 보충된다.

플레이어는 마인크래프트에서 다양한 아이템을 만들 수 있다. 공예 가능한 아이템에는 공격으로 인한 피해를 완화하는 방어구, 몬스터와 동물을 더 쉽게 죽일 수 있는 무기(칼이나 도끼), 특정 블록을 더 빨리 깨는 도구가 포함된다. 일부 품목은 제작 재료에 따라 여러 층이 있으며, 더 높은 등급의 품목이 더 효과적이고 내구성이 있다. 플레이어는 음식을 조리하고, 광석을 가공하고, 재료를 다른 재료로 변환할 수 있는 용광로를 건설할 수 있다. 플레이어들은 또한 에메랄드를 다른 상품과 교환하는 무역 시스템을 통해 마을 주민(NPC²⁶)과 상품을 교환할 수 있다.

이 게임은 인벤토리 시스템을 갖추고 있어 플레이어들이 제한된 수의 아이템을 휴대할 수 있다. 게임이 중단되는 즉시 플레이어의 아이템은 삭제된다. 그런 다음 플레이어는 자신의 산란 지점에서 다시 산란을 하며, 기본적으로는 침대에서 자거나 부활 닳을 사용하여 리셋할 수 있다. 떨어뜨린 아이템은 플레이어가 사라지기 전에 도달하거나 5분 후에 소멸하면 회수할 수 있다. 플레이어는 몹과 다른 플레이어를 죽이고 광석을 채굴하고, 광석을 제련하고, 동물을 사육하고, 음식을 요리함으로써 경험치를 획득할 수 있다. 마법의 도구, 갑옷, 무기에 대한 경험을 할 수 있다. 마법에 걸린 아이템은 일반적으로 더 강력하고 오래 지속되거나 다른 특수 효과가 있다.

Hardcore Mode는 가장 어려운 설정으로 고정되고 죽음이 있는 서바이벌 모드 변형이다. 하드코어 월드에서 플레이어가 죽으면 더 이상 플레이어와 상호 작용할 수 없으므로 관중모드로 전환하여 세상을 탐색하거나 완전히 삭제할 수 있다. 이 게임모드는 마인크래프트

26) NPC : Non-Player Character

트의 Java Edition 내에서만 액세스할 수 있다.

Creative Mode에서 플레이어는 인벤토리 메뉴를 통해 게임 내의 거의 모든 자원과 아이템에 접근할 수 있으며 즉시 배치하거나 제거할 수 있다. 플레이어는 게임 세계를 자유롭게 비행할 수 있는 능력을 마음대로 전환할 수 있으며, 캐릭터는 피해를 입지 않으며 배고픔에 영향을 받지 않는다. 모드는 플레이어가 모든 크기의 프로젝트를 방해 없이 만들고 만드는 데 집중할 수 있도록 도와준다.

Adventure Mode는 플레이어가 사용자 지정 맵과 모험을 경험할 수 있도록 특별히 설계되었다. 게임플레이는 서바이벌 모드와 유사하지만 다양한 제한이 있어 지도를 만든 사람이 게임 세계에 적용할 수 있다. 이로 인해 플레이어는 지도 제작자가 의도한 방식으로 필요한 아이템을 획득하고 모험을 경험하게 된다. 사용자 지정 맵을 위해 설계된 또 다른 추가 기능은 명령 블록이다. 이 블록은 맵 메이커가 스크립트로 작성된 서버 명령을 통해 플레이어와의 상호 작용을 확장할 수 있도록 한다.

Spectator Mode는 플레이어가 직접 상호작용하지 않고도 블록을 날아다니며 게임플레이를 볼 수 있게 해준다. 플레이어는 인벤토리가 없지만 다른 플레이어로 순간 이동하여 다른 플레이어나 생물의 관점에서 볼 수 있다. 이 게임 모드는 Java Edition 및 Console Legacy Edition 내에서만 액세스할 수 있다.

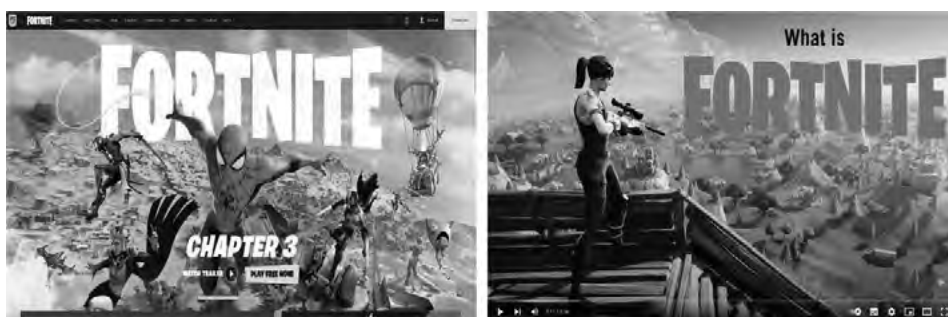
Multiplayer Mode는 여러 명의 플레이어가 하나의 세계에서 서로 상호작용하고 소통할 수 있게 해준다. 직접 게임 간 멀티플레이, LAN 플레이, 로컬 분할 화면(콘솔 전용), 서버(플레이어 호스팅 및 비즈니스 호스팅)를 통해 이용할 수 있다. 플레이어는 자신의 서버를 실행하거나 호스팅 공급자를 사용하거나 Xbox Live를 통해 다른 플레이어의 게임에 직접 연결할 수 있다. 싱글 플레이어 월드는 근거리 통신망을 지원하므로 플레이어는 서버 설정 없이 로컬로 상호 연결된 컴퓨터에서 월드에 가입할 수 있다. 멀티플레이어 서버는 서버 운영자에 의해 안내되며, 운영자는 하루 중 시간 설정, 플레이어 텔레포트 등 서버 명령에 접근할 수 있다. 또한, 운영자는 서버 진입이 허용되거나 허용되지 않는 사용자 이름 또는 IP 주소에 대한 제한을 설정할 수 있다. 멀티플레이어 서버에는 다양한 활동이 있으며, 일부 서버에는 고유한 규칙과 관습이 있다. 플레이어 대 플레이어 전투를 활성화하여 플레이어 간의 전투를 허용할 수 있다. 많은 서버에는 일반적으로 가능하지 않은 작업을 허용하는 사용자 정의 플러그인이 있다.

Minecraft Realms은 2013년 플레이어들이 자신만의 게임을 세팅하지 않고도 쉽고 안전하게 서버 멀티플레이어 게임을 실행할 수 있도록 하는 서버 호스팅 서비스로 발표되었다. 표준 서버와 달리 초대된 플레이어만 Realms 서버에 가입할 수 있으며, 이러한 서버는 IP 주소를 사용하지 않는다. Java Edition 서버 소유자는 한 번에 최대 10명의 온라인 플레이어로 최대 20명의 사용자를 초대할 수 있다. Realms 서버 소유자는 한 번에 최대 10명의 온라인 플레이어와 함께 최대 3000명의 사용자를 초대할 수 있다. 자바 에디션 왕국 서버는 사용자가 만든 플러그인을 지원하지 않지만 플레이어는 사용자 지정 마인크래프트 맵을 재생할 수 있다. 마인크래프트 왕국 서버는 사용자가 만든 추가 기능, 리소스 팩, 동작 팩 및 사용자 지정 마인크래프트 맵을 지원한다. 일렉트로닉 엔터테인먼트 엑스포 2016에 Realms를 통해 윈도우 10, iOS, 안드로이드 플랫폼 간의 크로스 플랫폼 플레이 지원이 추가되었으며, 2017년 후반에 엑스박스 원과 닌텐도 스위치가 지원되고 가상현실 장치에 대한 지원이 제공되었다. 2017년 크로스 플랫폼 플레이를 허용하는 베타 버전의 업데이트를 출시하였다. 닌텐도 스위치 지원은 2018년 출시되었다.

모드 커뮤니티는 팬, 사용자, 서드파티 프로그래머로 구성되어 있다. 시간이 지남에 따라 생겨난 다양한 응용 프로그램 인터페이스를 사용하여 수정사항, 텍스처 팩, 커스텀 맵 등 마인크래프트용으로 다운로드 가능한 다양한 콘텐츠를 제작했다. 모드라고 불리는 마인크래프트 코드의 수정은 새로운 블록, 새로운 아이템, 새로운 몸에서부터 모든 메커니즘 배열에 이르기까지 다양한 게임플레이 변화를 추가한다. 모드 커뮤니티는 미니맵, 웨이포인트, 내구성 카운터 등 게임플레이를 향상시키는 모드로부터 다른 비디오 게임과 미디어의 게임 요소를 추가하는 모드까지 상당한 공급을 담당한다. 코드 리버스 엔지니어링에 의해 다양한 모드 프레임워크가 독립적으로 개발되었지만 수정을 위한 공식 프레임워크로 바닐라 마인크래프트를 향상시켜 텍스처와 사운드를 포함한 특정 게임 요소를 바꾸는 커뮤니티 생성 리소스 팩의 제작을 가능하게 했다. 플레이어는 자신만의 “맵”(사용자 정의 세계 저장 파일)을 만들 수 있으며, 여기에는 특정 규칙, 챌린지, 퍼즐, 퀘스트 등이 포함되어 있으며, 다른 플레이어들이 플레이할 수 있도록 공유할 수 있다. 2012년 8월에 어드벤처 모드를 추가했고 10월에 “명령 블록”을 추가했으며, Java Edition에서 사용자 지정 맵을 위해 특별히 만들어졌다. 자바 에디션의 버전 1.13에 도입된 데이터 팩은 새로운 진보, 차원, 함수, 약탈 테이블, 술어, 레시피, 구조, 태그, 세계 세대 설정, 바이오음을 추가하는 기능을 포함하여 추가적인 사용자 정의를 가능하게 한다.

3.3.5 Fortnite (포트나이트)

포트나이트[27]는 에픽게임즈가 개발하고 2017년에 출시한 온라인 비디오 게임이다. 동일한 게임플레이와 게임 엔진을 공유하는 세 가지 다른 게임 모드 버전으로 이용할 수 있다. 포트나이트는 최대 4명의 플레이어가 좀비 같은 생물과 싸우고 만들 수 있는 함정과 요새로 물체를 방어할 수 있는 협동 하이브리드 타워 방어-사격 생존 게임인 **Save the World**, 최대 100명의 플레이어가 마지막 사람이 되기 위해 싸우는 무료 배틀 로얄 게임인 포트나이트 **Battle Royale**, 그리고 포트나이트 **Creative** 게임들이 있고, 플레이어는 세계와 전쟁터를 만들 수 있는 완전한 자유가 주어진다.



〈그림 3-23〉 Fortnite 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우) <https://www.youtube.com/watch?v=KCW5Hn58EM8>

세이프 더 월드와 배틀로얄은 2017년 초기 액세스 타이틀로 출시되었으며 크리에이티브는 2018년 12월 출시되었다. 세이프 더 월드와 크리에이티브 버전이 에픽게임즈를 성공시킨 반면, 포트나이트 배틀로얄은 1년도 안 돼 1억2500만 명 이상의 플레이어를 동원하며 월 수익 달러를 벌어들일 정도로 압도적인 성공이자 문화 현상이 됐다. 포트나이트는 전체적으로 2019년 12월까지 90억 달러의 총 매출을 올렸다. 세이프 더 월드는 윈도우, macOS, 플레이스테이션 4, 엑스박스 원에서만 사용할 수 있으며, 배틀로얄과 크리에이티브는 이러한 모든 플랫폼과 닌텐도 스위치, iOS, 안드로이드 장치용으로도 출시되었다. 이 게임은 차세대 플레이스테이션 5와 엑스박스 시리즈 X/S 콘솔 출시와 함께 출시되었다.

● 게임 모드

포트나이트는 동일한 엔진을 사용하는 세 가지 게임 모드로 배포된다. 각각은 유사한 그래픽, 아트 자산, 게임 메카닉을 가지고 있다.

Save the World는 플레이어 대 환경 협동 게임으로, 4명의 플레이어가 다양한 미션에서 공동의 목표를 향해 협력한다. 이 게임은 지구 전역에 폭풍이 나타나 인구의 98%가 사

라지고 생존자들이 좀비 같은 허크의 공격을 받는 것을 배경으로 한다. 플레이어는 본거지의 지휘관, 자원 수집, 생존자 구출, 폭풍에 대한 데이터 수집 또는 폭풍을 밀어내는 데 도움이 되는 장비 방어 등의 역할을 맡는다. 미션에서 플레이어는 영웅 캐릭터, 무기 및 함정 설계도, 생존자를 포함한 다수의 게임 내 아이템이 주어지며, 이 아이템들은 모두 경험치를 통해 레벨업되어 속성을 향상시킬 수 있다.



Save the Worlds 로고

포트나이트는 Gears of War 3의 2011년 발매 이후 에픽게임즈의 내부 게임 잼에서 시작되었다. 비록 초기에는 잼 기간 동안 개발된 타이틀들 중 하나는 아니었지만, 마인크래프트, 테라리아와 같은 게임을 대표하는 구성 게임 장르와 슈팅 게임을 병합하는 개념이 생겨 포트나이트의 설립으로 이어졌다. 포트나이트의 개발은 언리얼 엔진 3에서 언리얼 엔진 4로의 전환, 게임의 수명을 연장하기 위한 더 깊은 롤플레이밍 게임 접근, 어두운 테마에서 만화적인 스타일로의 전환 등 여러 문제로 인해 지연되었다. 게다가 에픽은 서비스 모델로 게임에 뛰어들고자 중국 출판사 Tencent를 끌어들였다. Tencent는 이것의 일환으로 에픽의 많은 지분을 가져갔고, 이로 인해 포트나이트 개발의 핵심 부분이었던 Cliff Bleszinski를 포함한 몇몇 임원들이 떠나게 되었다. 포트나이트의 접근 방식은 에픽의 서비스형 게임 테스트베드로 바뀌었고, 개발 속도는 더욱 느려졌다.

Battle Royale은 최대 100명까지 플레이할 수 있는 플레이어 대 플레이어 게임으로, 한 명이 혼자, 듀오에서, 또는 한 팀(보통 3~4명)에서 플레이할 수 있다. 무기 없는 플레이어들은 게임의 지도를 가로지르는 배틀 버스에서 에어드롭 한다. 그들이 착륙했을 때, 그들은 무기, 물품, 자원, 그리고 심지어 차량까지 수색해야 하고, 생존을 위해 노력하고, 다른 선수들을 공격하고 제거하기 위해 노력해야 한다. 한 라운드 동안, 지도의 안전 영역은 들어오는 독성 폭풍으로 인해 크기가 줄어들며, 한계점 밖의 플레이어들은 피해를 입게 되며 빠르게 대피하지 못하면 제거될 수 있다. 이것은 남아있는 플레이어들을 더 좁은 공간으로 밀어 넣고 플레이어의 만남을 장려한다. 마지막 남은 선수, 듀오, 스쿼드가 승자가 된다.



Battle Royale 로고

에픽이 포트나이트를 초기 액세스에 공개한 것과 거의 동시에, PlayerUnknown's Battlegrounds는 2017년 발매 3개월 만에 500만 장 이상이 팔리며 세계적인 현상이 되었

고, 배틀로얄 장르에 대한 강한 관심을 끌었다. 에픽은 포트나이트 베이스게임으로 배틀로얄 모드도 할 수 있다는 점을 인지하고 약 2개월 만에 포트나이트에서 자체 버전을 빠르게 개발하였다. 2017년 9월, 에픽은 세이브 더 월드의 세컨드 모드로 조기 접속을 위한 유료 게임으로 출시할 준비가 되었지만, 이후 마이크로트랜잭션이 지원되는 무료 게임인 포트



Creative 로그

나이트 배틀로얄로 출시하기로 결정했다. 이 버전은 출시 첫 2주 동안 1,000만 명 이상의 플레이어를 보유하고 있었으며, 에픽은 일반적인 엔진 요소와 아트 자산 외에도 포트나이트 배틀로얄 개발을 계속하기 위해 별도의 팀을 만들었다. 이를 통해 포트나이트 배틀로얄은 세이브 더 월드가 지원하지 않는 iOS, 안드로이드 모바일 장치, 닌텐도 스위치 등 다른 플랫폼으로 확장할 수 있었다.

Fortnite Creative는 마인크래프트와 유사한 샌드박스 게임 모드로 게임 내 모든 것을 섬에서 자유롭게 생성할 수 있으며 배틀 아레나, 레이스 코스, 플랫폼 도전 등의 게임을 만들 수 있다.

2018년 12월 포트나이트 배틀로얄 시즌 7의 시작과 동시에 출시된 크리에이티브 샌드박스 모드이다. 각 플레이어는 건물을 짓고 원하는 객체를 추가하고 조작할 수 있는 영구적 사유지에 접근할 수 있다. 플레이어들은 이 섬에 친구들을 초대할 수 있고, 레이스 트랙이나 점프 코스 같은 비공식 게임에 참여할 수 있다. 초기에는 배틀패스를 구매한 플레이어만 자신의 섬을 받을 수 있었으며, 배틀패스를 구매하지 않은 플레이어들은 무료로 게임 모드를 이용할 수 있다.

플레이어는 나무, 벽돌, 금속 등 기본적인 자원을 모으기 위해 곡괭이를 사용하여 지도상의 기존 구조물을 무너뜨릴 수 있다. 이후, 모든 모드에서 플레이어는 이러한 재료를 사용하여 벽, 바닥, 계단과 같은 요소를 만들 수 있다. 이러한 요소 조각들은 창문이나 문과 같은 것들을 추가하기 위해 편집될 수 있다. 사용되는 재료는 내구성 특성이 다르므로 동일한 유형의 재료를 더 많이 사용하여 더 강력한 변형으로 업데이트할 수 있다. 배틀로얄과 크리에이티브가 무료로 플레이할 수 있는 반면, 세이브 더 월드는 유료 플레이이다. 게임은 실제 자금으로 구매할 수 있는 게임 내 통화인 V-Bucks의 사용을 통해 수익을 창출할 수 있지만, 세이브 더 월드에서의 미션 및 기타 성과를 통해 수익을 얻기도 한다. 세이브 더 월드의 브이벅스는 라마 모양의 피냐타 형태의 전리품 상자를 구입하여 무작위로 상품을 선택

할 수 있다. 배틀로얄에서 브이백스는 캐릭터 모델 등의 화장품 아이템을 구매하거나 배틀로얄 시즌 동안 경험을 쌓고 특정 목표를 완수하는 커스터마이징 보상의 단계적 진행인 배틀패스를 구매하는 데 사용할 수 있다.

3.3.6 Gather Town (게더타운)

게더타운은 화상회의 플랫폼에 메타버스 요소가 결합한 플랫폼이다. 게더타운에 들어와 있는 사람들은 본인이 원하는 순간에만 카메라와 마이크를 켜고 상대방과 소통할 수 있다. 기본적으로는 아바타들이 서로 소통한다.



〈그림 3-24〉 Gather Town 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=KsvN3njU6zM>(우)

게더타운은 몇 가지 특징이 있다. **유동적인(자유로운) 화상 채팅**으로 사용자는 실제로 돌아다니며 사람들과 마주할 때 대화를 나눌 수 있듯이 자연스러운 환경에서 화상 채팅을 할 수 있다. 다음은 **다양한 오브젝트의 활용**으로 채팅을 하는 것 외에도 화이트보드, TV, 게임 등 다양한 오브젝트를 통해 브레인스토밍이나 아이스브레이킹을 즐길 수 있다. 또 다른 특징은 **커스터마이징**으로 몇 번의 클릭만으로 일하는 공간, 파티장, 루프탑 등 여러분이 원하는 대로 공간을 꾸밀 수 있다. 마지막 특징은 다운로드하지 않고 바로 **웹에서 이용**이 가능하다는 점이다. 누구나 초대장이나 게더타운 주소만 있다면 회원가입을 하지 않고도 쉽게 참가하실 수 있다.

최근 마이크로소프트에서 화상회의 후 사람들이 극심한 피로감을 느낀 점에 대해 수치로 조사하여 공개하였다. 화상회의를 하면 모니터의 본인 얼굴과 계속 마주하며 부담감과 피곤함을 느껴 계속 신경이 쓰일 수밖에 없게 된다. 이처럼 실시간 감시가 이루어지는 환경에서는 휴식이 자유롭게 보장되는 경우가 거의 없다고 한다. 이러한 문제를 보완하기 위해서는 30~45분마다 휴식을 취하고 화면에서 벗어나 음료를 마시고 5분 동안 신선한 공기를 마시거나 준비 및 휴식 시간이 필요하다고 밝혔다.

하지만 이러한 Zoom 피로를 예방할 수 있는 획기적인 화상회의 서비스가 나타났는데,

바로 계더타운이다. Zoom이나 Teams와 같은 화상회의 솔루션의 일종이지만, 계더타운은 가상공간과 아바타를 적극적으로 도입한 것이 특징이다. 예를 들어, Office라는 가상공간을 만들고, 각 참여자는 고유한 아바타를 가지고 가상공간을 공유를 받은 후 다른 아바타에 접근함으로써 그 사람과 화상회의를 할 수 있다.

이처럼 새로운 방식으로 일대일 화상회의는 물론 다대다 화상회의도 가능하다. 다양한 가상공간의 UI를 사용자가 직접 만들 수 있고, 자신만의 캐릭터들도 꾸밀 수 있다. 계더타운에서의 다양한 기능을 활용한다면 기존 온라인 콘퍼런스가 단방향 세미나 형태에 가까웠던 것을 다양한 장소에서 콘퍼런스를 진행할 수 있기에 가치가 높게 평가되고 있다. 계더타운은 마치 게임처럼 방향키를 사용해 아바타를 움직이면서 다양한 가상공간을 이동할 수 있고, 모임의 성격에 따라 캠퍼스, 루프탑, 공원 등 다양한 맵을 제작할 수 있게 되어 화상회의를 지루하지 않게 진행할 수 있다.

또한, 다른 메타버스 서비스들과는 달리 가상 오피스에서도 현실 세계의 규칙을 그대로 적용했다는 점이다. 직접 카메라를 켜고 이야기를 할 수 있으며, 아바타 간의 거리가 서로 멀어질수록 화면도 흐려지고, 소리도 점점 작아진다. 그래서 같은 공간 안에서도 특정 사람들과 소통이 필요할 때, 따로 소회의실을 만들지 않아도 아바타를 움직여 바로 모임을 할 수 있다는 장점이 있다.

계더타운의 몇가지 장점은 **첫째 접근성**으로 사용자가 사용하기 전에 여러 가지 절차를 겪어야 한다면 해당 서비스를 이용하기에는 연령대별로 불편함을 느낄 것으로 생각된다. 하지만 계더타운은 가상공간의 링크를 만들고 해당 링크로 접속할 때 간단한 아바타 명과 접속하기 위한 비밀번호만 기재한다면 쉽게 누구나 참여할 수 있다. **두 번째 재현성**으로 공간을 만들 때 public 공간과 private 공간을 나눌 수 있으면서 개인적인 대화의 프라이버시를 지킬 수 있다. 또한, 거리감에 따라 목소리의 들리는 정도가 잘 구현되어 실제 환경에서 대화하는 듯한 느낌을 받는다. 마지막으로 딱딱한 화상회의 서비스보다 **재미있는 환경과 아기자기한 분위기를 연출한 것에 대해 정말 높게 평가된다.**

계더타운은 Zoom이나 Teams와 같은 화상미팅 솔루션의 일종이지만, 가상공간과 아바타를 적극적으로 도입한 것이 특징이다. 예를 들어 “Office”라는 가상공간을 만들고, 각 참여자들은 고유한 아바타와 가상공간 내 “자리”를 부여받는다. 아바타는 이동 가능하며, 다른 아바타에 접근함으로써 그 사람과 화상 미팅을 할 수 있도록 하는 방식이다. 이러한 방식으로 1-to-1 화상미팅은 물론 N-to-N 화상 미팅도 자연스럽게 가능하다.

화상미팅 자체는 저지연을 특징으로 하는 영상 스트리밍 기술이고 차별화 포인트는 화질이다. 하지만 Zoom이나 Teams는 간편 접속 방식에 상당한 노력을 기울여 왔고, 특히 Teams 같은 경우는 시각적 피로도를 낮추기 위한 Together 모드를 추가하기도 했다. 계

더타운의 경우는 간편 접속을 넘어서 현실 세계와 유사한 방법으로 “접속”이라는 개념을 해석해냄으로써 사용자 경험을 크게 향상시키고 있다.

제더타운에서는 임의의 가상공간을 편집할 수도 있지만, 기본적으로 제공하는 예제로 University, Office, Conference, Social을 들고 있다. 예를 들어 대학교 가상공간에서는 캠퍼스, 강의실, 교수 사무실이 별도로 있어서 각 지점에 방문하는 것으로 화상미팅을 시작할 수 있게 된다. 사무환경의 경우는 각자의 책상과 회의실로 구성되어 있어서, 비대면 재택근무를 하면서도 오피스에서 근무하는 것과 유사한 사용자 경험을 만들어 낼 수 있다. 그 밖에도 회의 모드에서는 기존 온라인 회의가 단방향 세미나 형태에 가까웠던 것을 구두 발표장, 포스터 발표장, 소셜 이벤트룸으로 나누어 표현하고 있는 등 활용도가 매우 높다.

3.3.7 Zepeto (제페토)

제페토[28]는 네이버의 자회사 네이버Z의 스노우에서 출시한 3D AR 아바타 제작 애플리케이션이다. AR과 AI 기술을 접목해 사용자와 닮은 아바타를 만들 수 있다. 사진을 찍거나 휴대폰 내 저장된 사진을 불러오면 자동으로 가상의 캐릭터가 생성되며, 외형을 마음대로 커스터마이징 할 수 있으며 제페토를 생성할 때 부여되는 코드로 팔로우도 가능하다. 현재 3억 명 이상이 사용하고 있는 애플리케이션이다. 2020년 5월 11일 제페토를 물적 분할시켜 별도법인인 네이버 Z으로 분사했다.

제페토라는 명칭은 피노키오를 만든 제페토 할아버지의 이름에서 유래했다. 피노키오가 사람처럼 말하고 행동하고 생각하는 데서 영감을 받았으며 제페토 할아버지처럼 자신을 닮은 아바타 캐릭터를 창조하고 생기를 불어넣어 온라인에서 살아 숨쉬는 또 다른 나를 만들어 낸다는 상상 속의 일을 누구나 경험하도록 만들겠다는 취지로 명칭이 만들어졌다.

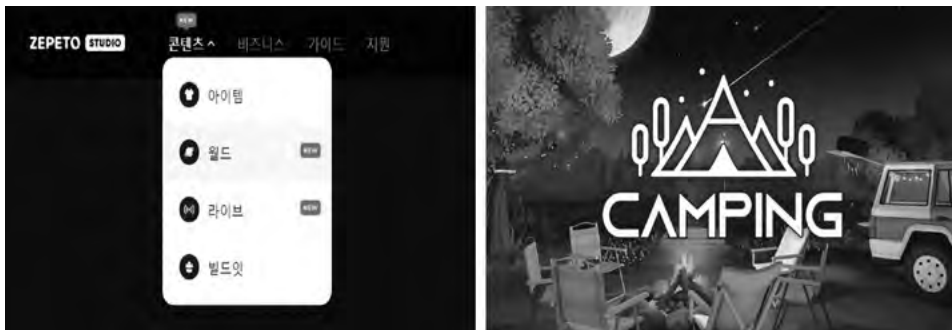


〈그림 3-25〉 Zepeto 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=OHpV4y6PKQw>(우)

제페토는 2019년 12월에 오픈한 제페토 내 월드 제작 샌드박스 서비스이다. 다양한 블록과 테마 오브젝트를 무료로 제공하며, 이를 이용하여 제페토 사용자들이 뛰놀 수 있는 가

상 세계를 제작할 수 있다. 오브젝트로 2020년 8월을 기준으로 12개가 테마가 있으며, 지속적으로 업데이트가 이루어지고 있다. 테마 오브젝트 외에 기본적인 도형의 블록들과 이미지를 넣을 수 있는 Custom 오브젝트, Light 오브젝트, 캐릭터와 상호 작용을 할 수 있는 Posing 오브젝트 등으로 구성되어 있다. 기본 기능은 오브젝트의 이동·회전·크기조절과 정렬 및 위치를 고정시키는 기능을 활용하여, 오브젝트를 다양하게 배치할 수 있다. 환경 기능으로 크리에이터 맵 내 유저의 속도·점프 제어, 빌드잇 자체 제공 BGM, 하늘 색 변경, 지형 크기, 지형 브러쉬 등이 있다.

제페토는 네이버 제트가 운영하는 증강현실 아바타 서비스로, 메타버스 플랫폼이다. 2018년 8월 출시된 제페토는 AR 콘텐츠와 게임, SNS 기능을 모두 담고 있어 특히 10대 등 젊은층을 중심으로 인기를 끌고 있으며, 2021년 현재 2억 명 이상의 이용자를 보유하고 있다. 제페토는 이용자와 꼭 닮은 3차원 아바타를 만든 뒤 AR 기술로 실제 사진이나 가상 배경에 자연스럽게 합성해 주는 방식으로 이뤄진다. 우선 애플리케이션을 켜고 카메라로 자신의 얼굴을 촬영하면 인공지능 기술을 통해 사용자와 닮은 캐릭터가 생성된다. 사용자는 표정과 몸짓, 패션스타일은 물론 캐릭터의 모든 요소를 본인이 원하는 대로 바꿀 수 있다. 또 SNS 기능도 접목돼 있어 이용자끼리 여러 가상공간에서 문자·음성·이모티콘 등으로 교류할 수 있으며, 가상세계 안에서 이용자들이 모여 게임을 하거나 춤을 추는 등 다양한 활동도 즐길 수 있다. 제페토는 최근 유명 브랜드와 연예기획사와의 제휴도 활발히 진행하고 있는데, 국내 대표적인 엔터테인먼트 업체인 SM·YG·JYP·빅히트 등이 제페토를 통해 K-pop 등 다양한 콘텐츠를 내놓으면서 인기를 끌고 있다.



〈그림 3-26〉 제페토 Studio(좌)와 Worlds 캠핑사례(우)

출시 2개월 만에 글로벌 다운로드 수 300만을 기록하고, 미국, 일본, 한국을 비롯해 전세계 35개국에서 무료 다운로드 순위 1위를 기록한 앱이 바로 3D 아바타를 만들어주는 앱 제페토이다. 특히 최근 중국에서 큰 인기를 얻고 서버까지 다운되는 일이 있어 사과문까지 올렸을 정도로 대박을 터트리고 있는 제페토는 바로 한국의 네이버 자회사인 스노우가 만

든 새로운 앱이다. 제페토는 스노우나 일반 카메라 앱들처럼 사용하기 매우 간편하다. 앱을 설치하고 회원가입을 한 후 전면 카메라를 이용해 내 얼굴을 촬영하기만 하면 아주 멋진 3D 아바타를 자동으로 만들어준다. 필요에 따라 머리 스타일이나 복장과 얼굴 화장 등을 마음껏 바꿀 수도 있다.

제페토의 3D 아바타는 너무나 멋지다는 얘기를 많이 한다. 다른 3D 아바타 앱들은 나를 닮은 아바타를 만들어주는 것에 치중한 반면 제페토는 나를 많이 닮지는 않았지만 나보다 훨씬 더 귀엽고 예쁘게 만들어준다는 점이다. 물론 제페토는 3D 아바타만을 만들어주는 것에서 그치지 않는다. 한 장의 멋진 3D 아바타 이미지뿐 아니라 영상까지 만들어주고 이를 SNS에 손쉽게 공유할 수도 있다. 더욱 놀라운 점은 앱 내에서 수많은 친구들과 아바타를 이용해 함께 놀 수 있는 플랫폼까지 구축한 것이다. 마치 싸이월드의 미니룸에 친구들이 방문해 같이 콘텐츠를 공유하는 것과 비슷하다.

3.3.8 iFland (이프랜드)

이프랜드는 SK텔레콤에서 메타버스 사용 편의성을 높이고, 다양한 가상공간과 아바타를 통해 이용자의 메타버스 경험을 극대화할 메타버스 플랫폼이다. 이프랜드는 안드로이드 OS 기반으로 먼저 출시되고, 추후 단계적으로 iOS 및 VR 디바이스 오쿨러스 퀘스트 OS 등으로 서비스 범위를 넓혀갈 계획이다. 이프랜드 앱은 원스토어 또는 플레이스토어에서 다운받을 수 있다. 이프랜드는 메타버스가 가진 초현실적인 이미지를 직관적이고 감성적으로 표현한 SKT의 새로운 메타버스 브랜드로 누구든 되고 싶고, 하고 싶고, 만나고 싶고, 가고 싶은 수많은 가능성들이 현실이 되는 공간이라는 의미를 담고 있다. 이프랜드는 프로세스 간소화와 사용성에 중점을 두었다. 이프랜드 앱을 실행하게 되면 즉시 화면 상단에 본인의 아바타와 프로필이 등장해 현재 자신의 상태를 확인할 수 있고, 하단에는 현재 개설된 메타버스 공간들이 리스트업 된다. 개설된 공간들을 사용자의 관심 영역별로 검색하는 것도 가능하다.



〈그림 3-27〉 iFland 홈페이지(좌)와 소개 동영상(우)

[https://www.youtube.com/watch?v=XrQTGCWWlW&list=TLPQMDcwNzlwMjk6Zpui3wlsXw&index=2\(우\)](https://www.youtube.com/watch?v=XrQTGCWWlW&list=TLPQMDcwNzlwMjk6Zpui3wlsXw&index=2(우))

3.4 문제점과 도전과제

현재 메타버스 관심이 증가하면서 메타버스 발전의 기대를 받고 있으며 많은 주요 플랫폼들이 발표되고 있다. 이러한 상황에 Linden Lab의 세컨드 라이프 인기가 큰 역할을 했고, 이를 계기로 메타버스는 웹 2.0 시대의 새로운 비즈니스 모델이자 3D 기반 인터넷 플랫폼으로 주목받고 있다. 또한 세컨드라이프의 성공 후, 데어닷컴, 웹킨즈 등 다수의 가상세계 서비스를 출시했다. 이로 인해 다양한 메타버스가 출현하고 상호 연결되는 거대한 가상세계인 ‘다중가상세계’ 또는 ‘멀티버스’(Multiverse)의 시대의 도래가 가까워졌다.

특히 이러한 움직임은 가상세계 오픈소스 소프트웨어 개발, 가상세계 플랫폼 공급기업의 등장으로 가속화 상황이다. Linden Lab은 최근 세컨드 라이프 아바타를 다른 회사의 가상세계로 이동시키는 데에 성공해, 서로 다른 메타버스 간 상호운용성의 증진이 기대된다. 또한, 가상세계와 기존 웹 2.0 서비스가 융합하는 추세다. 구글의 ‘라이블리’(Lively)가 대표적 사례로, 이러한 서비스들은 통상 2.5D라 불리며 가벼운 소통 도구로서 가상공간을 제공한다. 또한, 최근 코로나19 범유행 이후 비대면 추세 확산으로 인해 외부 활동이 제한되는 사회적 환경 요인은 메타버스의 확산을 매우 빠르게 하였고, 일상으로 급속도로 확장되고 있다.

● 관련 규정 및 규제

과거에 세컨드라이프 경제의 많은 부분은 규제되거나 금지된 사업들로 구성되었다. 이와 관련하여 서비스 약관의 변경은 사업을 운영하는 사람이 자신의 나라에서 법을 완전히 준수하고 있을지라도 메타버스 내의 활동을 다양한 국제법을 준수하도록 하는 목적이 크다. 2007년 7월 세컨드라이프는 인터넷 도박에 대한 연방 및 주 정부의 규제로 인해 세계 도박에 대한 금지를 발표했다. 그 금지는 즉시 세계 내에서의 반대에 부딪혔다. 2007년 8월 세컨드라이프의 도박 금지로 촉발된 은행 운영으로 인해 75만 달러 규모의 은행인 키크 파이낸셜이 붕괴되었다. 이 붕괴의 여진은 비평가들이 오랫동안 사기라고 주장해 온 다른 가상의 달러 은행들에게 심각한 유동성 문제를 유발시켰다. 2008년 1월 세컨드라이프는 규제되지 않은 은행 활동에서 현금 예금의 고정 이자의 지급이 곧 금지될 것이라고 발표했다. 실제 계약서가 없는 모든 은행은 2008년 1월 22일까지 가상 공동 주식회사로 전환되거나 폐쇄되었다. 금지 후에도 일부 기업은 이자 금지 3개월 전부터 이미 무이자 정책을 도입한 전자상거래 사이트 익스트림 등 주민들에게 무이자 예금계좌를 계속 제공하고 있다.

● 시스템 및 기술적 문제

많은 메타버스 플랫폼들은 시스템 불안정성과 관련된 어려움을 겪어왔다. 여기에는 시스템 지연 시간 증가 및 간헐적 클라이언트 충돌이 포함된다. 그러나 일부 장애는 시스템이 자산 서버 클러스터를 사용함에 따라 발생하며, 여기서 객체를 제어하는 실제 데이터는 월드 영역과 이러한 객체를 사용하는 아바타로부터 분리 저장된다. 메인 서버와 자산 클러스터 간의 통신은 자주 문제를 일으키는 병목 현상을 구성하는 것으로 보인다. 일반적으로 자산 서버 정지시간이 발표될 때 사용자는 빌드, 객체 조작 또는 비즈니스 활동을 하지 말라는 권고를 받고 있으며, 이로 인해 사용자는 거의 할 일이 없고 일반적으로 그리드의 모든 비즈니스에 대한 신뢰도가 떨어진다.

또 다른 문제는 사용자의 인벤토리에 있는 항목이 경고 없이 사라지거나 요청 시 세상에 나타나지 않는 상태로 영구적으로 진입할 수 있는 인벤토리 손실이다. 세컨드라이프는 2008년에 제정된 정책 변경으로 재고 손실이 발생했을 때 지원 티켓을 청구할 수 있지만 이러한 방식으로 손실된 품목에 대해서는 보상을 제공하지 않는다. 비록 그들이 그렇게 할 의무가 없고 모두가 그렇게 할 수 있는 것은 아니지만, 세계의 많은 기업들은 이것을 보상하거나 아이템을 복원하려고 시도할 것이다. 최근 회사가 상실된 상위 디렉토리 품목을 처리하는 방식이 바뀐 것은 재고 손실이 문제가 훨씬 적고 최근보다 빠르게 해결된다는 것을 의미한다. 복구 시간으로의 손실은 대다수 사용자의 경우 몇 개월에서 몇 시간 또는 하루 또는 이틀로 늘어났지만, 여전히 재고 손실은 존재한다.

● 프레임률

다른 MMOG(Massively Multiplayer Online Game)에서 고품질 콘텐츠를 원활하게 렌더링할 수 있는 컴퓨터 하드웨어와 인터넷 연결은 성능이 저하될 수 있으며, 이로 인해 프레임률이 낮고 최소한의 그래픽 구성에서도 제어가 응답하지 않을 수 있다. 이 문제는 많은 수의 아바타가 한 지역에 모일 때 특히 널리 퍼진다. 문제는 세상이 전적으로 사용자가 만든다는 점과 사용자가 만든 콘텐츠의 대다수가 기본적인 그래픽 최적화 없이 만들어진다는 사실의 영향이 크다. 결과적으로 불필요하게 높은 폴리곤 수와 불필요하게 높은 해상도의 질감을 모두 가진 개체가 널리 퍼져 있다. 사용자가 동일한 시각적 결과를 얻기 위해 실제로 필요한 것보다 수십 배 이상의 리소스를 다운로드하여 사용하는 것은 드문 일이 아니다.

● 메타버스 내의 불법행위와 사법권

세컨드라이프와 같은 가상세계에서 도박, 사기, 매춘 등 범죄가 발생하며 새로운 사회적 문제로 떠올랐다. 현실세계의 법질서를 가상세계에도 동일하게 적용하자는 견해가 주

류이다. 이러한 견해를 수용한다고 해도 문제점이 남는다. 예를 들어, 사이버 마약의 사례처럼, 현행법이 규정하지 않아서 법률에 없는 새로운 유해물 혹은 범죄가 발생할 경우 이를 통제할 수 없다.

● 가상화폐의 현금화

가상세계의 경제 규모가 커지면서, 가상화폐의 현금화에 관한 논쟁이 발생한다. 가상화폐를 정당한 노동의 대가로 얻은 부가가치로 인정할 수 있느냐 하는 점이다. 현실세계에서 옷과 같은 물건을 팔아 번 돈과 장물을 팔아서 번 돈은 구분된다. 합법적 자금과 불법적 자금으로 구분하여 불법 자금은 환수하거나 이를 근거로 체포도 가능하다. 하지만, 가상세계 가입자가 아바타 의상을 디자인하여 판매해 얻은 가상화폐와 사행성 게임을 통해 발생된 가상화폐를 동일한 가치로 여긴다. 가상세계에서 이 둘을 명확히 구분하지 못하므로 문제가 발생한다. 다음의 문제는 가상화폐를 새로운 거래수단으로 인정할지에 관련한 문제다. 인정 여부에 따라 가상경제 활성화라는 긍정적 효과 기대가 가능한 반면, 게임 과몰입 및 불법 거래, 탈세에 대한 우려가 교차하는 상황이다.

● 가상세계 과몰입

가상세계, 특히 현실과 사회경제적 활동 양상이 닮은 메타버스에서는 기존 온라인 게임과 달리 일상생활로 인식하며 과몰입 심화 가능성이 높다. 가상세계에 지나친 몰입으로 현실 일상은 황폐해지고, 정체성 장애가 발생 가능한 점이 문제다.

IV. 메타버스 적용 사례분석

4.1 공공기관 도서관

● 국립중앙도서관

국립중앙도서관(<http://www.nl.go.kr>)은 대한민국 문화체육관광부의 소속기관이다. 국립중앙도서관은 해방과 함께 조선총독부도서관의 간판을 내리고 1945년 10월 15일 국립도서관으로 개관하였다. 1963년 11월 28일 도서관법이 제정·공포되었다.



국립중앙도서관 전경

도서관법의 제정으로 국립도서관은 국립중앙도서관으로 명칭을 바꾸는 한편, 제도나 업무 면에서 획기적으로 발전할 수 있는 기틀을 마련하게 되었다. 서울특별시 서초구 반포대로 201에 위치하고 있다. 관장은 고위공무원단 가등급에 속하는 일반직공무원으로 임명하되, 임기제공무원으로 임명할 수 있다.

지상 7층, 지하 1층 규모의 본관, 지상 2층, 지하 1층 규모의 사서교육관, 지상 2층, 지하 4층 규모의 자료보존관이 있다. 도서관 내에는 서고 및 주제별자료실, 열람실, 강의실, 회의실, 보존처리실 등이 있다. 2009년 기준으로 국립디지털도서관이 완공되어 국립중앙도서관 본관과 지하통로로 연결되어 있다. 원래 디지털자료실이 있던 5층에는 광화문에 있던 통일부 북한자료센터가 이전해왔다. 현재 2021년 10월 31일 기준 총 13,291,306(책)을 소장하고 있으며, 국내 도서 9,584,718책, 해외 도서 1,609,108책, 비도서자료 1,803,691점, 고서 293,789책, 문화재로 지정된 자료 69책이다.

국립중앙도서관[29]은 최근 실감서재, 증강현실 뮤지컬 등 메타버스 기술을 활용한 콘텐츠를 도입하여 관람객들에게 첨단 기술이 적용된 새로운 형태의 도서관 콘텐츠를 체험할 수 있는 환경을 구성하였다. 국립중앙도서관의 실감서재 공간은 실제 콘텐츠와 미래 기술 체험 연출을 혼합하여 도서관 자료를 역동적으로 검색하고 그 결과를 다른 관람객과 공유할 수 있는 검색의 미래, 실물로 보기 어려운 동의보감 등 고도서를 뉴미디어 기술로 재현하고 번역과 멀티미디어 정보를 상호작용 콘텐츠로 전달하는 디지털북 등 실감형 콘텐츠 서비스를 제공한다.



〈그림 4-1〉 증강현실 검색(좌)과 증강현실 뮤지컬(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=dgw1FefFm54>(좌)
<https://www.youtube.com/watch?v=69JUNVeswWk>(우)

국립어린이청소년도서관은 공간 측위기술을 이용하여 360도 입체 관람이 가능하도록 제작한 증강현실 뮤지컬과 책속으로 들어가거나 주인공이 되어 보는 증강현실 책놀이, 독도의 식물과 동물들을 체험하는 독도와 바다 친구들 등 다양한 증강현실 콘텐츠 이용 기회를 제공하여 어린이와 청소년들이 다양한 경험을 할 수 있게 하였다.

국립중앙도서관에서 정기적으로 개최하는 저자와의 만남 강연의 경우, 진행 공간의 제약

으로 참석 희망자를 무한히 수용할 수 없어 부득이하게 선착순으로 참석자 수를 제한하고 있다. 공간의 제약이 없는 메타버스 속 도서관 공간에서 저자와의 만남 등의 행사를 진행한다면 누구나 물리적 제약을 받지 않고 참여할 수 있다. 또한, 실시간 유튜브 중계와는 다르게 텍스트와 음성 그리고 제스처로 상호 의사소통이 가능하므로 대면 강연과 유사한 체험을 이용자에게 제공할 수 있다.

도서 자료 이용 측면에서도 자료실을 무한히 확장할 수 있는 점을 활용할 수 있다. 현실의 도서관에서는 공간 제한 및 훼손 방지, 보존 등의 이유로 전체 도서의 일부만 개가제로 운영한다. 그 외 도서는 뚜렷하게 찾는 대상이 있어야 관리자에게 자료를 신청해 열람할 수 있으므로 우연히 보물 같은 책을 발견하는 즐거움을 느끼는 데는 분명히 한계가 있다. 하지만 가상 도서관은 자료실을 무제한으로 확장할 수 있어 이용자로 하여금 훨씬 더 많은 도서에 자유롭게 접근하도록 유도할 수 있다. 또한, 도서관 정보나루(<http://www.data4library.kr>)에서 빅데이터를 기반으로 생성·제공하는 문학, 비문학 등 테마별 인기도서를 배치한 서가를 구성하여 서비스할 수도 있다.

한편 특정한 주제를 중심으로 하는 특별 도서관을 건설할 수도 있다. 예를 들어 국립중앙도서관의 옛 신문자료나 구한말 관보 자료들을 개인, 단체 또는 공공기관에 제공하여 별도의 가상 특별관을 지어 전시하는 것을 생각해 볼 수 있다. 현실과 다르게 가상세계에서는 공간 구성에 대하여 부지확보, 건축비 등의 제약이 없으므로 19세기 말에서 20세기 초의 분위기를 느낄 수 있도록 자유롭게 건물이나 서고 디자인이 가능하다. 이는 자료 이용자에게 마치 그 시대에 들어가 있는 듯한 몰입감 높은 열람 경험을 제공할 수 있을 것이다.

● 중랑 메타버스 도서관

중랑구립정보도서관(<http://www.jungnanglib.seoul.kr>)은 서울특별시 중랑구 묵동에 위치한 도서관이다. 1999년에 개관되어 2003년 12월 중랑구시설관리공단의 산하기관으로 거듭남과 동시에 지역주민을 위한 좀더 편안한 독서환경과 문화학습 공간을 대폭 확충하였다. 또한, 2005년 11월 면목1동 복합청사에 중랑구립면목정보도서관을 개관하였고, 2009년 6월 중랑문화복지센터내에 중랑어린이도서관을 개관함으로써 중랑구 전역에 균형있는 도서관 서비스를 제공할 수 있도록 환경이 조성되었다. 지하1층, 지상4층의 규모로 1,032좌석(열람석 619석, 기타413석)을 이용 가능하다.



중랑구 도서관 전경

시설 구성은 지하 1층에는 식당, 매점, 밀집서고 그리고 주차장 시설이 있고, 지상 1층에는 어린이자료실, 유아자료실, 미디어자료실, 장애(노약)자실, 그리고 전시실이 구비되어 있다. 지상 2층은 종합자료실, 전자정보실, 문화교실 1, 2와 직원 사무실이 위치해있다. 지상 3층은 개인학습실 1, 2과 휴게실이, 지상 4층은 공단본부 사무실과 강당 시설이 위치하고 있다.

중랑문화재단(<http://www.jnfac.or.kr>)[30]은 2021년 12월부터 중랑구 관내 구립 도서관 최초로 메타버스 기반 도서관을 구현한 중랑 메타버스 도서관을 운영하고 있다. 중랑 메타버스 도서관은 중랑구립정보도서관의 내·외부를 가상공간에 실제와 동일하게 구현하여 만들어졌으며, 도서관 이용자들은 ‘제페토’에 접속해 시·공간의 제약 없이 중랑구립정보도서관에 직접 방문한 듯한 체험을 할 수 있다. 특히, 중랑 메타버스 도서관 외부에는 도서관 프로그램 홍보 코너를 구축하여 중랑구립정보도서관의 주요 독서문화 프로그램들을 확인할 수 있으며, 옹기 가든 코너에서는 옹기 점프 게임 공간을 가상으로 만들어 보다 재미있게 가상공간을 체험



중랑 메타버스 도서관 홍보 포스터

할 수 있다. 이밖에도, 이용자들은 본인의 아바타를 활용해 도서관 주요 시설들을 둘러볼 수 있으며, 곳곳에서 사진 촬영이 가능하다. 한편, 중랑구립정보도서관은 제페토 어플리케이션을 통해 다른 공간 같은 느낌! 인증샷 이벤트, 이름 짓기 이벤트, 도서관에서 책을 찾아라 등의 개관 기념 이벤트를 개최할 예정이다. 중랑문화재단에서는 코로나19의 장기화로 인하여 도서관 방문이 자유롭지 못한 상황에서 비대면으로 도서관을 자유자재로 탐험하고, 색다른 문화 공간을 체험할 수 있도록 메타버스 도서관을 기획했다며, 오프라인의 한계를 넘어 메타버스 도서관에서 다양한 경험을 할 수 있도록 서비스를 확대해 나가겠다고 하였다.



<그림 4-2> 중랑구 종합자료실(좌)과 책 읽어주는 캐릭터 까치(우)

● 별다방도서관

신세계프라퍼티가 iFalnds를 활용하여 오픈한 메타버스 **별마당도서관**(<http://www.starfield.co.kr>)[31]이 시·공간을 초월해 실시간으로 소통하고 서로의 영감을 주고받는 소셜 라운지로 소개되었다. 스타필드 코엑스몰 별마당도서관은 책과 문화, 예술이 어우러진 열린 문화 공간으로 2017년 개관 이래 강연과 토크쇼, 북콘서트 등 470여회의 자체적인 문화예술 프로그램을 진행했다. 이를 통해 고객들에게 다채로운 영감을 불러 일으키며 세대 간 소통과 공감을 이끄는 매개체로 자리해왔다. 2021년 12월에는 메타버스 버전 별마당도서관을 오픈해 온·오프라인을 아우르는 진정한 의미의 열린 문화 공간으로 재탄생했다. 코로나19로 장기간 대면 만남이 어려워지자 물리적인 한계를 넘어 상호 소통이 가능하도록 메타버스 공간에 별마당도서관을 마련했다. 메타버스 별마당도서관에서는 인문, 물리, 정보기술 등 매해 흥미로운 주제의 명사 초청특강이 열려 만석 행렬이 이어지고 있다. 성균관대 물리학과 김범준 교수의 “관계의 과학”을 주제로 한 강연을 시작으로 수차례의 명사 초청특강이 진행됐다.



〈그림 4-3〉 별다방 도서관 내부 전경(좌)과 공연 포스터(우)

별마당도서관은 2017년 5월 개관한 열린 도서관으로 중앙 광장을 13m 높이의 대형 서가, 총 7만여권의 서적을 갖춘 도서관으로 조성한 곳이다. 명사 강연과 공연, 아트 공모전, 전시 프로젝트 등을 주최하며 대중과 문화예술계 간의 교류를 위한 열린 무대로서의 역할도 하고 있다.

신세계프라퍼티는 2021년 4주년을 기념해, 5월 31일부터 6월 30일까지 모두가 희망하는 여행을 테마로 나를 위한 여행 온오프라인 행사를 전개하기로 했다. 이번 행사는 코로나 19 여파로 여행을 떠나지 못한 아쉬움을 조금이나마 달래고, 힐링과 배움을 통해 앞으로 떠날 여행을 슬기롭게 준비하자는 의미를 담아 기획했다는 설명이다.

별마당도서관 중심부에 제3회 열린 아트 공모전 대상작인 계정권, 최환성 작가의 'Just

What is it that makes today's waves so different, so appealing? (도대체 무엇이 오늘날의 변화를 그토록 색다르고 흥미롭게 만드는가)'을 설치해 여행의 즐거움을 전한다는 계획이다. 작품은 코로나19 여파로 방문이 어려워진 세계 명소들을 모아 유토피아로 표현했다.

또한, 별마당도서관은 약 한 달간 각 분야 명사들이 소개하는 여행 이야기로 꾸민 도서전을 열기로 했다. 유홍준 교수, 허영만 만화가, 윤영미 아나운서, 엄홍길 대장이 참여해, 문화유산, 맛집, 여행지, 산에 관한 서적들을 직접 큐레이션했다. 별마당도서관 대형 서가도 오경아 가든 전문 디자이너와 협업해 라벤더로 가득한 보랏빛 정원으로 새 단장을 마쳤다. 2021년 3월, 총 17종의 생화로 서가를 장식해 봄꽃 명소로 큰 인기를 얻은 데 이어, 이번에는 6월 제철 꽃인 라벤더 대형화단을 조성해 방문객들에게 향긋한 꽃향기를 전한다. 4주년 기념 온라인 합창공연과 토크콘서트도 마련해 좀 더 많은 사람들이 집에서 편히 안심하고 즐길 수 있도록 했다는 설명이다. 국립합창단이 별마당도서관을 찾아 힐링 송을 노래해 지친 마음을 어루만진다. 별마당 도서관 곳곳에서 공연하는 모습을 영상으로 담아 마치 실제로 보는 것과 같은 생동감을 느낄 수 있다.

토크콘서트에서는 미술랭 1스타 레스토랑 라망시크레의 손종원 셰프가 음식과 책, 인문학의 만남을 주제로 흥미로운 이야기를 전한다. 스트링 콰르텟(현악 4중주단)의 라이브 연주도 함께 펼쳐진다. 합창공연과 토크콘서트 영상은 별마당도서관 공식 유튜브를 통해 순차 공개될 예정이며, 자세한 일정은 별마당도서관 공식 홈페이지에서 확인 가능하다. 방문객을 위한 행사와 이벤트도 있다. 도서전 SNS 인스타그램 인증샷 이벤트를 통해 총 400명에게 명사들의 저서를 선물한다는 방침이다. 별마당도서관에서 열리는 도서전뿐 아니라 스타필드 코엑스몰 곳곳에서 캠핑, 세계 미식 등 다양한 여행 관련 콘텐츠도 함께 만나볼 수 있다.

스타필드 코엑스몰은 별마당도서관 4주년을 기념해 세계 미식 여행을 준비했다. 베트남, 인도, 터키 등 다양한 세계 음식을 맛볼 수 있는 월드 고메 투어가 6월 13일까지 펼쳐진다. 르사이공, 아그라, 케르반 등 30여 개 매장에서 대표메뉴 1+1 또는 30% 이상 할인 혜택을 제공하며, 10만원 이상 구매 고객에게는 F&B 이용권 5000원권을 증정한다. 아울러 캠핑용품, 아웃도어 의류 등 여행 관련 팝업스토어도 6월 10일부터 16일까지 진행하기로 했다. 신세계프라퍼티 마케팅 담당은 별마당도서관은 그간 차별화된 명사 강연과 공연 등을 꾸준히 개최한 결과, 국내외에서 대표적인 문화예술 공간 성공 사례로 손꼽히고 있다며 4주년 행사는 코로나19 여파로 자유로운 여행이 어려워진 이때, 모두가 희망하는 마음을 담아 여행을 테마로 다양한 책, 음악, 전시 콘텐츠를 준비했으니 힐링하는 시간 보내시길 바란다고 말했다.

4.2 대학교 도서관

● 한성대 북니버스

한성대학교(<http://www.hansung.ac.kr>)는 1972년 김의형(金義衡)이 운영하는 학교법인 한성학원에서 한성여자대학을 설립하며 시작되었다. 1978년 남녀공학으로 개편하면서 교명을 한성대학으로 변경했으며 1993년 종합대학으로 승격하였다. 교훈은 진리, 지선(至善)이며, 상징동물은 거북, 교목은 삼학송(三學松)이다. 1993년 예술대학원, 1995년 국제통상정보대학원, 1998년 부동산학과, 예술대학원 패션예술학과, 2000년 부동산대학원, 교육대학원을 신설하였다.



〈그림 4-4〉한성대학교 전경(좌)과 학술정보관 전경(우)

2011년 기준 8개 대학원(일반대학원, 경영대학원, 행정대학원, 예술대학원, 국방과학대학원, 부동산대학원, 교육대학원, 지식서비스&건설링 대학원), 4개 단과대학(인문대학, 사회과학대학, 예술대학, 공과대학)으로 구성되어 있다. 부속기관으로 학술정보관, 디자인아트평생교육원, 전자계산소, 출판부, 박물관, 한성프레스센터, 성폭력근절 및 양성평등상담소 등이 있고, 부설기관으로 언어교육원, 교육개발연구원, 인문과학연구원, 사회과학연구원, 아트&커뮤니케이션연구센터, 공학교육개발센터 등이 있다. 법인교육기관으로 한성여자중학교, 한성여자고등학교가 있다.

공연예술분과, 종교분과, 학술분과, 체육분과, 평면예술분과, 취미봉사분과 등의 다양한 동아리가 있으며, 매년 5월과 10월에 대동제 및 낙산체전을 연다. 미국, 호주, 뉴질랜드, 일본, 중국 등의 세계 여러 나라와 교류하여 국제경쟁력을 갖춘 인재양성을 하기 위한 교환학생 프로그램을 운영하고 있다. 서울특별시 성북구 삼선교로에 위치하여 있다.

1973년에 개관한 학술정보관(<http://hsel.hansung.ac.kr>)은 6층 건물로 다양한 학술정보자원을 소장하고 구성원의 연구 및 학습활동을 지원하고 있다. 지식 기반 사회가 요구하는 융복합 지식 창출 공간으로서, 학술데이터베이스 확충과 첨단 학술정보시스템 운영을 통해 창의적 인재 육성에 기여하려고 한다. 나아가 대학의 학술정보자원과 시설, 인문

교양프로그램의 개방을 통해 지역주민의 창조활동 공간으로서의 역할을 수행하고자 한다.

1층 보존서고는 보존대상 국내의 참고도서 및 단행본, 국내·외 잡지/학회지(과월호), 석·박사 학위논문, 통계청 자료, 각 대학 발간물, 최근 3개월간 신문, 사보 등을 소장하고 있다. 학위논문 대출 및 반납과 연속간행물(과월호), 신문, 마이크로 자료 열람의 업무를 지원한다. 2층에는 인포메이션데스크, 학술정보관장실, 그리고 학술정보팀 시설이 위치해 있다. 안내데스크에서는 학술정보관 자료검색 및 이용 안내, 도서 및 딸림자료의 대출/반납, 임시열람증 발급 및 연장, 회원제 가입 및 탈퇴 신청, 그리고 분실도서 변상 처리 등이 업무를 지원하며, 학술정보팀은 자료 구입 및 DB 구축, 자료의 수증 및 기증, 독서교육프로그램 및 정보활용 교육, 참고정보서비스 및 문화행사, 홈페이지 및 도서관 시스템 운영 등의 서비스를 지원한다. 3층 창의 열람실은 언어학, 문학 분야 국내의 참고도서 및 단행본, 모국어 서가, 사고와 표현 서가 등의 자료를 관리한다. 4층 사회과학실은 사회과학 분야 국내의 참고도서 및 단행본을 소장한다. 5층 인문·자연과학자료실은 인문과학 분야 총류, 철학, 종교, 역사학, 단행본과 자연과학 분야 순수과학, 기술과학 단행본 등을 소장하고 있다. 6층 디자인·IT 정보센터는 IT분야 및 예술학 분야 국내의 참고도서 및 단행본을 소장하고 있다.

한성대학교는 MZ세대 학생들과의 소통과 도서관 이용 활성화를 위해 제페토 플랫폼을 통해서 서울 지역 대학도서관 최초로 메타버스 도서관 **한성 북니버스(Book-niverse)**[32]를 개관했다고 밝혔다. 한성 북니버스는 한성대·북(Book)·유니버스(Universe)의 합성어로 한성대 학술정보관의 모습을 구현하여 만들어졌으며, 학생들은 제페토 플랫폼에 접속해 한성 북니버스에서 학술정보관 속 자료실과 열람실 내·외부를 둘러보고



〈그림 4-5〉 한성-북니버스 시연 동영상
<https://www.youtube.com/watch?v=sYa-j8udQe0Q>

러보고 사서와의 실시간 채팅으로 도서관 투어도 함께 할 수 있다. 특히, 한성 북니버스 4층에 위치한 ‘상상독서’ 전시 코너에서는 대학의 주요 독서 프로그램들을 확인할 수 있으며, 가상 포스터에 제공된 QR코드를 통해 전자책과 오디오북 열람으로 바로 이동할 수 있다. 또한, 학생들이 한성 북니버스내에서 직접 참여하며 다양하게 즐길 수 있도록 **보물찾기, 도서관 대탈출, JUMP UP, 상상독서 인증샷, QUIZ! QUIZ!** 등의 게임공간도 마련돼 있다. 한성대는 메타버스 도서관에 많은 학생들과 구성원들이 참여할 수 있도록 기프트콘, 문화상품권, 학교 홍보기념품을 제공하는 이벤트를 실시했다.

● 조선대 원스톱학생상담센터

조선대학교(<http://www3.chosun.ac.kr>)는 광주광역시에 위치해 있는 사립 종합대학이다. 조선대학교는 호남 지방 거점 사립대학이자 한반도 최초의 민간 설립대학으로서 1946년 9월 ‘민족국가 수립에 기여할 지역사회의 인재를 양성’이라는 설립 정신 아래 7만 2,000여 명으로 이루어진 조선대학설립동지회에 의거하여 광주야간대학원으로 설립되었다. 같은 해 11월 호남지역 안에서의 대학이 아닌 전국의 인재를 키우는 대학이 조성되기를 바라는 조선대학으로 명칭을 변경하였고, 1948년 5월 26일 재단법인 조선대학이 설립인가되었으며, 1953년 종합대학으로 승격되었다.



〈그림 4-6〉 조선대학교 전경(좌)과 중앙도서관 전경(우)

일제강점기의 민립대학설립운동에 영향받았으나 설립과 관련하여 직접 영향받지는 않았고 비리 재단 축출과 학원 민주화와 학원 자주화를 달성하고자 1987년에서 1988년까지 학내에서 일어났던 대학 개혁 운동인 1·8 항쟁 이후 학교법인은 교육과학기술부 산하 사학 분쟁조정위원회에서 파견하는 임시이사 체제로 이어져 오다가 2010년 22년만에 정이사(正理事) 체제로 전환하였다. 교훈은 개성교육·생산교육·영재교육이고 교색은 청색, 교목은 소나무, 상징 동물은 백학인데 이것은 무등산 서석골에 있는 본관 건물의 형상이 비상하는 학의 모습을 형상화하였다는 사실에서 유래하며 선비의 기상, 미래의 이상을 상징하는 의미를 담는다. 약칭으로 조선대 혹은 조대라고 부르며, 학교법인 조선대학교가 운영한다.

조선대학교 중앙도서관(<http://library.chosun.ac.kr>)은 1950년 본관 2층 서고에서 시작하여 여러 해에 걸쳐 각 단과대학에 분관을 두어오던 도서관은 2003년 공대분관, 자연대분관, 의대분관을 통합하여 현재의 중앙도서관이 개관하기까지에 이르렀다. 전체 5,508평의 규모에 호남지역 최초로 장서수 100만권을 돌파하였다. 일반열람실, 멀티미디어정보센터, 인문·사회과학자료실, 예술·역사자료실, 문학자료실, 연속간행물실, 의학학술정보센터 등의 시설을 갖추고 있다. 법학전문도서관은 중앙도서관의 분관으로 2007년 12월 개관하였다. 60,000여권의 법학전문도서와 특성화 분야인 문화법 관련도서 6,000여권 및 1,000

여종의 저널 등을 구비하고 일반 열람실 1,600석을 보유하고 있다. 판사, 검사, 변호사, 법무사 등 법조인들에게 이용증을 발급하여 도서대출과 판례정보 등 다양한 정보지원 서비스를 제공하고 법조인 출신 교수진과 연계해 법률 상담 서비스도 제공한다.



〈그림 4-7〉 조선대 메타버스(좌)와 원스톱상담 소개 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=Fj2oP6Ym8X4> (좌)
<https://www.youtube.com/watch?v=GnoSJgpci0s> (우)

조선대학교 원스톱학생상담센터(<http://counsel.chosun.ac.kr>)[33]가 재학생 심리·정서적 지원 확대를 위한 찾아가는 이동상담실 프로그램을 운영했다. 동계방학 기간을 활용해 진행된 찾아가는 이동상담실 프로그램은 메타버스 플랫폼인 게더타운(Gather Town)을 활용해 진행됐으며 비대면 상황 속에서 효율적으로 재학생들의 심리·정서적 상담을 진행하기 위해 마련됐다. 조선대학교 본관을 비롯해 중앙도서관, 원스톱학생상담센터 등 캠퍼스가 그대로 구현된 메타버스 플랫폼 게더타운 내에서는 학생들이 개인 및 집단상담, 심리검사, 특강, 프로그램 안내, 우수 사례 공유 등 다양한 프로그램을 이용할 수 있도록 공간을 마련했다. 또한, 보물찾기, OX퀴즈, 포토존 등 학생들이 흥미롭게 이용할 수 있도록 맵 내부를 구성했으며 방명록을 활용해 이용 후기를 공유할 수 있도록 했다.

조선대학교는 또한 2022학년도 신입생 예비대학 프로그램을 열었다. 2022학년도 조선대 신입생을 대상으로 열린 신입생 예비대학 윈터캠프는 대학에 대한 기대감과 소속감을 제공함으로써 입학 후 성공적인 대학생활을 목표로 기획됐다. 지난 1월 총 6회에 걸쳐 열린 윈터캠프에는 신입생 312명, 재학생 46명 등 총 358명이 참여해 가상공간에서 조선대 캠퍼스를 체험했다. 가상공간에는 조선대 본관을 비롯해 중앙도서관, 미술대학, 광주 e-스포츠킴경기장 등 캠퍼스가 그대로 구현됐으며, 학생들은 자신의 캐릭터를 이용해 학교를 둘러보고 다양한 팀별미션을 수행해 경품을 받았다. 또한 줌(ZOOM)으로 가상공간에 접속해 선배들의 대학생활 팁, 성공적인 대학생활 노하우를 전수받고 학습성향 진단·분석, 캠퍼스 투어 미션 수행 등 다양한 프로그램에 참여했다. 조선대 기초교육대학은 2022년 2월 7일부터 9일까지 2차 신입생예비대학 프로그램도 운영하고 있으며, 참여한 학생들의 의견

을 수렴해 학생들의 수요에 맞는 다채로운 예비대학 프로그램을 구성해 제공할 계획이다. 조선대 기초교육대학장은 이번 프로그램의 목표는 신입생들의 대학생활 적응을 위해 캠퍼스 어드벤처를 진행하며 학교 건물에 대한 위치와 정보를 얻고 정보를 습득하는 것이라며 선배와 함께 팀별 교육게임을 통해 상호작용하며 소속감과 미래 학교생활에 대한 기대감을 증대시켰다고 평가했다.

● 영진전문대학교 도서관

영진전문대학교(<http://www.yju.ac.kr>)은 대한민국 대구광역시 북구와 경상북도 칠곡군에 있는 전문대학이다. 설립자 최달곤이 공군에서 복무하면서 레이더 관련 전자기술을 배우고 중사로 전역 후 설립했던 대구TV전자학원이 그 전신이다. 이후 학교급으로 성장하여 1977년 영진공업전문학교로 개교하였으며 1979년 영진공업전문대학으로 이름을 바꾸었다. 이후 1985년 오늘날의 이름인 영진전문대학으로 교명을 변경하였다. 대구 지역에선 대표적인 전문대로 꼽힌다. 슬로건은 주문식교육의 산실이다. 영진고등학교는 학교법인 영진학원이고, 영진전문대학은 학교법인 영진교육재단이다. 2018년 6월 1일을 기점으로 교명이 영진전문대학 에서 영진전문대학교로 변경되었다.



〈그림 4-8〉 영진전문대학교 전경(좌)과 메타버스 구현 사례(우)

영진전문대학교 도서관(<http://lib.yjc.ac.kr>)은 교직원 및 학생들을 위해 학술연구와 교육에 필요한 정보자료를 수집, 정리, 보존하여 정보봉사를 제공하는 학술정보 업무와 주문식교육의 실현을 위해 산업체가 필요로 하는 교육과정개발, 교재개발 등을 지원하고 교수연구관련 제반 업무를 관리하고 있다. 이를 지원하기 위해 32여만권의 장서, 1,000여종의 학술잡지, 100만건의 학술논문 DB 등을 소장하고 있으며, 1,000석의 열람좌석과 87대의 정보검색용 PC를 보유하고 있다. 또한 국회도서관, 한국교육학술정보원, 국가과학기술전자도서관 등 타 기관과 협력 및 협약을 체결하여 문헌정보교류를 통한 상호지원 협력체제를 구축하고 있다.

도서관 홈페이지를 통하여 본관 소장자료 및 인터넷 정보검색이 가능하며, 웹 상의 자신만의 공간을 가지는 My Library, 국내외 학술논문과 자체 원문자료에 대한 원문(fulltext) 서비스, 국내외 전자책(eBook) 서비스, 질의응답 서비스 등을 제공하고 있다. 또한, Open API를 활용한, 소장자료와 전국대학 논문 및 포털사이트 등의 통합검색 서비스를 실시하였으며, 스마트폰의 이용 활성화에 따라 모바일 전용 도서관 홈페이지를 자체 개발하였으며, 대학기록자료에 대한 12만여 페이지를 디지털아카이브로 구축 완료하여 온라인기록관 서비스를 실시하고 있다. 그리고, 도서관에서는 산업체의 주문이나 요구에 맞추어 교육을 실시하기 위해 산업체 인사와 공동으로 산업체 현장 실정이 반영되어 있는 주문식교육 교재개발과 교육과정, 대학발전 보고서 개발을 지원하며 교원의 연구업적을 체계적으로 관리 및 주문형 인쇄시스템을 구축하여 주문식교육 실현에 능동적으로 대처할 수 있는 업무체계를 갖추고 있다.

영진전문대학교[34]는 재학생들이 코로나 블루(Blue)를 극복하고 대학생활에 활기를 불어 넣어 힐링의 기회를 마련하는 차원에서 메타버스 도서관을 오픈했다. 메타버스 도서관은 네이버 Zepeto 플랫폼 접속을 통해 이용이 가능하며, 도서관 전경과 자기주도학습공간과 정보검색실 등 모습을 구현해 도서관 이용 문화에 새바람을 불어넣고 있다. 메타버스 도서관 오픈을 기념해 문화행사인 책맹탈출클럽 문화행사는 학생 3명이 한 팀을 구성, 도서관에서 추천한 책 3권을 읽고, 메타버스 도서관에서 제시한 독서관련 퀴즈를 풀고 방을 탈출하는 게임이다. 참가 팀 중 문제를 빨리 푸는 순서대로 순위를 매겨 1등 팀에겐 삼성 갤럭시버즈라이브를, 2등 팀은 스타벅스 5만 원권 기프트카드를 비롯해 참가팀 전원에게 스타벅스 1만 원권 기프트카드를 상품으로 지급한다. 메타버스 도서관 사진 찍기, 북큐레이션 전시회 등의 문화행사도 함께 진행했다.

V. 국방대 도서관 메타버스 적용방안

5.1 기본 플랫폼 판단

본 연구에서 분석한 메타버스 주요 플랫폼은 세컨드라이프를 비롯하여 8가지 유형을 조사하였다. 이들의 주요 특징을 요약하여 기술하면 아래와 같다.

Animal Crossing은 닌텐도가 개발하고 배급한 소셜 **시뮬레이션 비디오 게임** 시리즈로 에구치 카츠야와 노가미 히사시에 의해 제작되었다. 이 게임에서 플레이어 캐릭터는 다양

한 의인화된 동물들이 사는 마을에 살면서 낚시, 벌레 잡기, 화석 사냥 등의 다양한 활동을 할 수 있는 사람이다.

*Tom Nook*은 가게 주인과 부동산 중개인의 역할을 모두 하는 캐릭터로, 플레이어에게 집을 빌려주고 다양한 업그레이드를 해주면서 무이자로 갚을 수 있게 해준다. *Resetti*는 플레이어가 게임을 저장하지 않고 종료할 때마다 지하에서 나타나 게임의 시스템 중 하나를 우회했다고 질책하는 두더지 캐릭터다. *K.K. Slider*는 플레이어 마을에서 특정 밤에 연주하는 시리즈 작곡가 카즈미 토타카에 기반을 둔 개를 여행하는 음악가이다. *Isabelle*은 마을 공동체 관리자이자 톱 녹의 비서로 등장한다.

동물의 숲 게임에서 플레이어는 의인화된 동물이 사는 시골 마을로 이주하여 무기한으로 사는 인간 캐릭터를 연기한다. 게임플레이는 목표가 정해지지 않았지만, 대신 마을에서 아이템 수집, 식물 심기, 벌레 잡기, 낚시, 마을 주민과의 친목 등 다양한 활동을 할 수 있도록 장려된다. 동물의 숲 시리즈의 주목할 만한 특징 중 하나는 높은 수준의 커스터마이징이 가능하다는 것인데, 그 중 일부는 게임의 결과에 영향을 미친다. 아이тем 수집은 동물의 숲의 주요 측면으로, 플레이어는 마을을 탐험하고 나무 열매, 조개껍데기, 버려진 아이тем 등을 수집할 수 있다. 플레이어는 더 많은 벨을 얻기 위해 객체를 수집하며, 이를 통해 가구와 의류를 구입하고, 흙 익스텐션을 구입하고, 게임을 할 수 있다. 동물의 숲의 모든 설치물은 오프라인과 온라인 모두에서 플레이어 간의 의사소통을 허용한다. 하나의 마을은 최대 4명의 인간 플레이어를 수용할 수 있지만, 주어진 시간에 오직 1명만이 마을을 탐험할 수 있다. 플레이어는 마을 우체국이나 게시판을 통해 서면 메시지를 통해 상호 작용할 수 있다.

Second Life는 사람들이 온라인 가상세계에서 아바타를 만들고 세컨드라이프를 가질 수 있게 해주는 온라인 멀티미디어 플랫폼이다. 세컨드라이프는 대규모 멀티플레이어 온라인 롤플레이팅 게임과 유사하다. 가상세계는 클라이언트 소프트웨어나 대체 서드파티 뷰어를 통해 자유롭게 액세스할 수 있다. 레지던트(주민)라고도 불리는 세컨드라이프 사용자는 아바타라고 불리는 가상 표현을 만들고 장소, 객체 및 기타 아바타와 상호 작용할 수 있다. 그들은 세계를 탐험하고, 다른 거주자들을 만나고, 사교하고, 개인과 그룹 활동에 참여하고, 가상 자산과 서비스를 만들고, 만들고, 서로 거래할 수 있다. 전통적인 컴퓨터 게임과 달리, 세컨드라이프는 지정된 목적이나 전통적인 게임플레이 메커니즘이나 규칙이 없다. 또한, 세컨드라이프는 가상세계가 여러 사용자 간의 상호작용을 용이하게 하기 때문에 다중 사용자 가상 세계라고 주장할 수 있다. 세컨드라이프는 기존과 달리 탐색하고 상호 작용할 수 있는 광범위한 세계를 포함하고 있으며 사용자가 원한다면 순수하게 창작 도구 세트로 사용할 수 있다.

아바타는 사용자가 선택하는 모든 형태(인간, 동물, 식물, 광물 또는 이들의 조합)를 취하거나 거주자가 실제 생활처럼 자신을 닮기를 선택할 수 있다. 아바타의 거의 모든 측면이 완전히 사용자 정의가 가능하다는 점을 고려할 때, 그들은 훨씬 더 추상적인 형태를 선택할 수 있다. 세컨드라이프 환경은 실제 생활에서도 존재하는 많은 활동과 행동들로 구성되어 있다. 아바타는 걷기, 달리기, 차량 접근, 비행 또는 순간 이동으로 이동할 수 있다. 아바타는 로컬 채팅, 그룹 채팅, 글로벌 인스턴트 메시징(IM) 및 음성(공개, 개인 및 그룹)을 통해 통신할 수 있다. 채팅은 둘 이상의 아바타 간의 지역화된 대중 대화에 사용되며, 주어진 거리 내에 있는 모든 아바타가 볼 수 있다. IM은 두 아바타 간, 그룹의 구성원 간, 심지어 객체와 아바타 간에도 사적인 대화를 위해 사용된다. 채팅과 달리, IM 통신은 참가자가 서로 일정 거리 내에 있는지 여부에 의존하지 않는다. 세컨드라이프 규정, 시스템 불안정성, 시스템 지연, 품질보증에 대한 비판이 제기되고 있다.

Roblox는 로블록스사가 개발한 온라인 **게임 플랫폼** 및 게임 제작 시스템이다. 사용자가 게임을 프로그래밍하고 다른 사용자가 만든 게임을 할 수 있게 해준다. 로블록스는 무료로 플레이할 수 있으며 게임 내 구매는 “로벅스”라는 가상 화폐를 통해 가능하다. 로블록스는 일반적으로 비평가들로부터 긍정적인 평가를 받았지만, 절제, 소액 거래, 어린이에 대한 착취적 관행으로 인해 비판에 직면했다. 로블록스는 플레이어가 자사 소유의 엔진인 로블록스 스튜디오를 사용하여 자신만의 게임을 만들 수 있게 하며, 다른 사용자들이 게임을 즐길 수 있게 한다. 사용자는 게임 패스로 알려진 일회성 구매와 개발자 제품 또는 제품으로 알려진 두 번 이상 구매할 수 있는 소액 거래를 통해 구매 가능한 콘텐츠를 만들 수 있다. 로블록스 스튜디오를 사용하여 제작되는 대부분의 게임은 미성년자들이 개발하며, 연간 총 2천만 개의 게임이 이를 사용하여 제작된다.

로블록스는 플레이어가 플랫폼에서 아바타 역할을 하는 가상 캐릭터를 꾸미는 데 사용할 수 있는 가상 아이템을 구매, 판매, 만들 수 있도록 한다. 의류는 누구나 구매할 수 있지만 프리미엄 멤버십을 가진 플레이어만 판매할 수 있다. 로블록스는 때때로 실제 이벤트와 가상 이벤트를 호스팅한다. 로블록스는 매년 부활절 달걀 찾기를 운영하고 있으며 모금 행사도 겸하는 시상식인 블록시 어워드라는 연례행사를 주최한다. 로블록스는 가끔 윈더우먼 1984나 아쿠아맨을 홍보하기 위한 행사에 참여한다. 2020년 로블록스는 미국의 래퍼 트래비스 스콧의 포트나이트 가상 콘서트와 비교되는 첫 번째 가상 콘서트를 개최했다. 스웨덴 가수 자라 라르손이 2021년 그녀의 새 앨범 포스터 걸을 축하하기 위해 가상 파티에서 노래를 불렀다. 2021년 9월 미국 밴드 Twenty One Pilots의 가상 콘서트가 열렸다.

Minecraft는 스웨덴의 비디오 게임 개발사 모장 스튜디오가 개발한 **샌드박스 비디오 게임**이다. 플레이어들은 사실상 무한한 지형을 가진 막히고 절차적으로 생성된 3D 세계를 탐험하며 원료, 공예 도구, 아이템을 발견하고 추출하며 구조물, 토공품, 간단한 기계를 만들 수 있다. 게임 모드에 따라 플레이어는 컴퓨터로 조종되는 대상과 싸울 수 있을 뿐만 아니라 같은 세계의 다른 플레이어와 협력하거나 경쟁할 수 있다. 게임 모드에는 플레이어가 세상을 건설하고 건강을 유지하기 위해 자원을 획득해야 하는 서바이벌 모드와 플레이어가 무제한의 자원과 비행에 접근할 수 있는 크리에이티브 모드가 포함된다. 플레이어는 게임을 수정하여 새로운 게임 방식, 아이템, 자산을 만들 수 있다.

마인크래프트는 달성해야 할 목표가 없는 3D 샌드박스 게임으로 플레이어들이 게임 방식을 자유롭게 선택할 수 있다. 게임플레이는 기본적으로 1인칭 시점이지만 플레이어에게는 3인칭 시점 옵션이 있다. *Survival Mode*에서 플레이어는 특정 블록과 아이템을 만들기 위해 환경에서 발견되는 나무와 돌과 같은 천연자원을 모아야 한다. 난이도에 따라 몬스터는 캐릭터의 특정 반경 밖의 어두운 영역에 산란하므로 플레이어는 밤에 피난처를 만들어야 한다. *Hardcore Mode*는 가장 어려운 설정으로 고정되고 죽음이 있는 서바이벌 모드 변형이다. 하드코어 월드에서 플레이어가 죽으면 더 이상 플레이어와 상호 작용할 수 없으므로 관중 모드로 전환하여 세상을 탐색하거나 완전히 삭제할 수 있다. *Creative Mode*에서 플레이어는 인벤토리 메뉴를 통해 게임 내의 거의 모든 자원과 아이템에 접근할 수 있으며 즉시 배치하거나 제거할 수 있다. *Adventure Mode*는 플레이어가 사용자 지정 맵과 모험을 경험할 수 있도록 특별히 설계되었다. 게임플레이는 서바이벌 모드와 유사하지만 다양한 제한이 있어 지도를 만든 사람이 게임 세계에 적용할 수 있다. *Spectator Mode*는 플레이어가 직접 상호작용하지 않고도 블록을 날아다니며 게임플레이를 볼 수 있게 해준다. 플레이어는 인벤토리가 없지만 다른 플레이어로 순간 이동하여 다른 플레이어나 생물의 관점에서 볼 수 있다. *Multiplayer Mode*는 여러 명의 플레이어가 하나의 세계에서 서로 상호작용하고 소통할 수 있게 해준다.

Fortnite는 에픽게임즈가 개발한 **온라인 비디오 게임**이다. 동일한 게임플레이와 게임 엔진을 공유하는 세 가지 다른 게임 모드 버전으로 이용할 수 있다. 포트나이트는 동일한 엔진을 사용하는 세 가지 게임 모드로 배포된다. 각각은 유사한 그래픽, 아트 자산, 게임 메카닉을 가지고 있다. *포트나이트 Save the World*는 플레이어 대 환경 협동 게임으로, 4명의 플레이어가 다양한 미션에서 공동의 목표를 향해 협력한다. *Fortnite Battle Royale*은 최대 100명까지 플레이할 수 있는 플레이어 대 플레이어 게임으로, 한 명이 혼자, 듀오에서, 또는 한 팀(보통 3~4명)에서 플레이할 수 있다. 무기 없는 플레이어들은 게임의 지도를 가

로지르는 배틀 버스에서 에어드롭 한다. *Fortnite Creative*는 마인크래프트와 유사한 샌드박스 게임 모드로 게임 내 모든 것을 섬에서 자유롭게 생성할 수 있으며 배틀 아레나, 레이스 코스, 플랫폼 도전 등의 게임을 만들 수 있다.

플레이어는 나무, 벽돌, 금속 등 기본적인 자원을 모으기 위해 곡괭이를 사용하여 지도상의 기존 구조물을 무너뜨릴 수 있다. 이후, 모든 모드에서 플레이어는 이러한 재료를 사용하여 벽, 바닥, 계단과 같은 요새를 만들 수 있다. 세이브 더 월드에서 플레이어는 목표나 함정으로 가득 찬 터널 주변에 방어 요새를 만들어 허스를 유인할 수 있다. 배틀로얄에서 이것은 지도를 빠르게 통과하거나 적의 포격으로부터 자신을 보호하거나 진격하는 적을 지연시킬 수 있는 수단을 제공한다. 플레이어는 크리에이티브에서 자신의 요새를 디자인하는 데 매우 창의적일 수 있다. 배틀로얄과 크리에이티브가 무료로 플레이할 수 있는 반면, 세이브 더 월드는 유료 플레이이다.

*Gather Town*은 *화상회의 플랫폼*에 메타버스 요소가 결합한 플랫폼이다. 게더타운에 들어와 있는 사람들은 본인이 원하는 순간에만 카메라와 마이크를 켜고 상대방과 소통할 수 있다. 기본적으로는 아바타들이 서로 소통한다. 게더타운은 몇 가지 특징이 있다. **유동적인(자유로운) 화상 채팅**으로 사용자는 실제로 돌아다니며 사람들과 마주할 때 대화를 나눌 수 있듯이 자연스러운 환경에서 화상 채팅을 할 수 있다. **다양한 오브젝트의 활용**으로 채팅을 하는 것 외에도 화이트보드, TV, 게임 등 다양한 오브젝트를 통해 브레인스토밍이나 아이스브레이킹을 즐길 수 있다. **커스터마이징**으로 몇 번의 클릭만으로 일하는 공간, 파티장, 루프탑 등 여러분이 원하는 대로 공간을 꾸밀 수 있다. 다운로드하지 않고 바로 웹에서 이용이 가능하다는 점이다. 누구나 초대장이나 게더타운 주소만 있다면 회원가입하지 않고도 쉽게 참가하실 수 있다. 게더타운의 **접근성, 재현성, 재미있는 환경과 아기자기한 분위기** 등의 장점을 가지고 있다.

*Zepeto*는 2019년 12월에 네이버 제트에서 오픈한 ZEPETO 내 **월드 제작 샌드박스 서비스**이다. 다양한 블록과 테마 오브젝트를 무료로 제공하며, 이를 이용하여 제페토 유저들이 뛰놀 수 있는 가상 세계를 제작할 수 있다. 오브젝트로 2020년 8월을 기준으로 12개가 테마가 있으며, 지속적으로 업데이트가 이루어지고 있다. 테마 오브젝트 외에 기본적인 도형의 블록들과 이미지를 넣을 수 있는 Custom 오브젝트, Light 오브젝트, 캐릭터와 상호작용을 할 수 있는 Posing 오브젝트 등으로 구성되어 있다. 기본 기능은 오브젝트의 이동/회전/크기 조절과 정렬 및 위치를 고정시키는 기능을 활용하여, 오브젝트를 다양하게 배치할 수 있다. 환경 기능으로 크리에이터 맵 내 유저의 속도/점프 제어, 빌드잇 자체 제공

BGM, 하늘 색 변경, 지형 크기, 지형 브러쉬 등이 있다.

제페토는 네이버 제트가 운영하는 **증강현실 아바타 서비스**로, 메타버스 플랫폼이다. 2018년 8월 출시된 제페토는 AR 콘텐츠와 게임, SNS 기능을 모두 담고 있어 특히 10대 등 젊은층을 중심으로 인기를 끌고 있으며, 2021년 현재 2억 명 이상의 이용자를 보유하고 있다. 제페토는 이용자와 꼭 닮은 3차원 아바타를 만든 뒤 AR 기술로 실제 사진이나 가상 배경에 자연스럽게 합성해 주는 방식으로 이뤄진다.

iFland는 SK텔레콤에서 메타버스 사용 편의성을 높이고, 다양한 가상공간과 아바타를 통해 이용자의 메타버스 경험을 극대화할 **웹 기반 메타버스 플랫폼**이다. 이프랜드는 안드로이드 OS 기반으로 먼저 출시되고, 추후 단계적으로 iOS 및 VR 디바이스 오쿨러스 퀘스트 OS 등으로 서비스 범위를 넓혀갈 계획이다. 이프랜드 앱은 윈스토어 또는 플레이스토어에서 다운받을 수 있다. 이프랜드는 메타버스가 가진 초현실적인 이미지를 직관적이고 감성적으로 표현한 SKT의 새로운 메타버스 브랜드로 누구든 되고 싶고, 하고 싶고, 만나고 싶고, 가고 싶은 수많은 가능성들이 현실이 되는 공간이라는 의미를 담고 있다. 이프랜드는 프로세스 간소화와 사용성에 중점을 두었다. 이프랜드 앱을 실행하게 되면 즉시 화면 상단에 본인의 아바타와 프로필이 등장해 현재 자신의 상태를 확인할 수 있고, 하단에는 현재 개설된 메타버스 룸들이 리스트업 된다. 개설된 룸들을 사용자의 관심 영역별로 검색하는 것도 가능하다.

[표 5-1] 주요 플랫폼 특징 비교

플랫폼 명	제작사(발표년도)	유형	주요 모드	비고
Animal Crossing	닌텐도(2001)	Role-Playing		캐릭터 (툼록, 레셋티, 이사벨)
Second Life	Linden Lab(2003)	Role-Playing	일반, 보통, 성인	3D 아바타
Roblox	Roblox(2006)	게임제작 툴		
Minecraft	Mojang(2009)	Role-Playing	서바이벌, 하드코어, 어드벤처.	
Fornite	Epic Games(2017)	Role-Playing	세이브더월드 베틀로얄 크리에이티브	
Gather Town	Gather-town(2019)	화상회의 기반		3D 아바타
Zepeto	네이버 제트(2019)	제작용 샌드박스		3D 아바타
iFland	SK 텔레콤(2020)	웹기반 채팅		3D 아바타

이상과 같이 메타버스의 주요 8가지 플랫폼을 비교해보면 앞부분의 세컨드라이프, 포트 나이트, 마인크래프트, 로블록스, 동물의 숲 등 5가지 플랫폼은 모두 게임 기반의 플랫폼 들이다. 반면 제더타운은 화상회의 기반에 메타버스 기술을 추가한 기능을 제공하며, 제페 토는 가상세계 제작 서비스를 제공하고, 이프랜드는 웹 기반의 플랫폼을 제공한다. 따라서 도서관의 기본 임무와 기능을 고려할 때 화상회의에 메타버스 기술을 추가한 제더타운이 나, 또는 제페토를 국방대 도서관에 적용할 메타버스 기본 플랫폼으로 선정하는 것이 바람 직할 것으로 판단된다.

5.2 일반기능 적용방안

국방대학교 도서관에 메타버스 기술을 적용하는 방안 검토를 위하여 국방대학교에서 학 교기관으로서 기본적으로 제공하는 일반기능과 도서관이 제공하는 전문기능을 고려하여 기능별 메타버스 기술의 적용방안을 제시한다. 일반기능 면에서 학교의 일반 방문자나 신 입생들에게 학교의 기본적인 정보를 제공하기 위한 학교 교정의 투어와 학교 역사관에 대 한 정보를 제공하기 위한 서비스를 고려하여 학교 교정과 역사관 견학의 방안을 검토하였 고, 도서관과 역사관에 대한 소개의 개념에서 학교 교정 투어와 유사한 도서관과 역사관 전 체에 대한 안내와 투어의 서비스 제공하는 부분에 대하여 메타버스 기술의 적용방안에 대 하여 의견을 제시한다.

1) 학교 교정 투어

대학교 교정 투어는 일반 방문자와 신입생들에게 대학교 전반에 대한 각 기관의 위치와 수행업무 등에 대한 기본적인 정보를 제공하여 학교에 대한 이해와 신입생들에게는 향후 학교 입학 후 학교생활 적응에 도움을 주기위한 서비스이다. 이를 위하여 일단 대학교의 전 체 조감도를 기준으로 거의 실제의 환경과 유사하게 학교 전체를 3D로 모델링하여 가상공



〈그림 5-1〉 국방대 전경(좌)과 메타버스 학교 투어 사례 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=wSsi7B5qGOM>

간에서 도로를 따라 학교 교정을 둘러볼 수 있도록 한다.

학교 교정 투어는 정문에서 시작하며 시작 시에 일반 방문자에게는 “국가안보의 요람인 국방대학교 방문을 환영합니다!!”라는 멘트와 함께, 신입생의 경우는 “국가안보의 중심인 국방대학교 00과정 입학을 축하드리며 학교 교정 견학을 시작하겠습니다!!”라는 멘트와 함께 교정 투어 서비스를 시작한다. 대학교 교정 투어 간 본청에 도착하면 3D 가상건물과 함께 해당 건물의 각층별 구성과 수행하는 주요 임무를 이정표와 음성 정보로 제공한다. 국방대 본청의 경우에는 아래 그림과 같이 건물 각층별 업무부서를 안내도 형식으로 제공하고, 각 부서에서 수행하는 핵심적인 임무를 음성 서비스로 제공한다.



〈그림 5-2〉 학교 투어 시작화면(좌)과 주요건물 안내도(우)

대학원과 주요기관의 경우에도 건물 앞에 도착하면 각층별 구성을 안내도 형식으로 제공하고, 대학원과 기관에 대한 일반사항과 현재 진행되고 있는 주요 학습 및 연구 내용 설명을 음성으로 제공한다.



〈그림 5-3〉 관리대학원 전경(좌)과 안내도(우)

2) 역사관 전학

국방대학교 본청 1층 입구에서 좌측에는 국방대학교 역사관이 구성되어 있다. 이곳은 대학교 논문 이전 시 마련된 것으로 국방대학교의 역사 및 역대 대학교 총장, 각 기관 소개 등 학교에 대한 역사와 일반사항을 간략하게 이해할 수 있는 공간이 마련되어 있다. 따라서 이곳을 실제의 모습과 동일하게 3D 가상공간으로 구축하여 제공하며, 해당 부분에 도착하면 관련 내용을 음성으로 제공한다. 이렇게 하면 학교를 직접 방문하지 못하고 On-Line 상으로 방문한 일반 방문자와 신입생들에게 학교에 대한 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 5-4〉 국방대 역사관 주요 구성 코너

3) 도서관 견학

국방대학교 도서관은 앞의 2장 4절 국방전자도서관에서 기술하였듯이 현재 지하 1층에서 지상 4층 총 5층으로 구축되어 있다. 우선 학교 교정 견학과 같이 도서관 전면 입구에 도착하면 3D로 구축된 도서관 건물과 건물 전체의 구성을 안내도 형식으로 제공하고 도서관의 인원 구성과 보관 도서 등을 음성으로 설명한다.



〈그림 5-5〉 국방대 도서관 정면(좌)과 층별 안내도(우)

도서관 전면 입구를 통하여 들어가면 1층 입구가 나타나고 이때 1층의 전반적인 구조에 대하여 설명을 하고 1층을 구성하고 있는 미팅 공간, 자료검색실, 로비 및 전시공간, 신간 도서, 카페테리아 등을 실제 모습과 유사하게 3차원 가상공간으로 모델링하여 제공한다. 사용자는 1층 공간을 자유롭게 이동하며 1층 시설구성과 내용들을 확인 및 체험할 수 있도록 서비스를 제공한다. 2~4층 공간도 실제 구성과 동일하게 3차원 공간으로 구성하여 가상환경에서 도서관 전체에 대한 간접적인 견학과 경험을 제공하여 향후 도서관 사용시 친밀감과 사전 정보를 제공하여 도서관 사용자의 편리성을 제고할 수 있도록 서비스를 구축하여 제공한다.



〈그림 5-6〉 메타버스 도서관 구현 사례 동영상
<https://www.youtube.com/watch?v=gwyvPVOeiLI>

5.3 전문기능 적용방안

국방대학교 도서관의 전문기능은 앞 2.4절에서 국방통합전자도서관 부분에서 세부 기능에 대하여 연구한 것과 같이 국방대학교 도서관은 지하층을 포함하여 총 5개 층으로 구분되어 있다. 각 층별 기능은 각각 상이한 목적을 가지고 있고 이들의 기능을 고려하여 메타버스 기술을 적용하는 방안을 검토하였다. 도서관의 모든 기능을 직접적으로 구현하는 것

은 추후 세부적인 검토가 필요한 영역으로 이번 연구에서는 각 세부 기증별 메타버스 기술을 적용하는 방향과 중점 등에 대하여 국한하여 적용방안에 대하여 연구결과를 제안한다.

1) 1층 미팅공간

1층 미팅공간은 소규모의 사용자들이 잠깐 개인적이거나 그룹별로 시간을 보낼 수 있도록 구성된 공간이다. 이런 취지에 부합할 수 있도록 해당 공간을 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 구성하고, 이 공간에 있는 사용자들만이 서로 대화를 할 수 있고, 공간내에 있는 사용자들에게만 공간내에서의 대화가 들릴수 있도록 구현한다. 또한 요청시 상호 화상대화도 가능할 수 있도록 화상채팅의 기능도 제공한다. 동일시간에 같은 공간에 참여 인원은 ±10명의 소그룹으로 한다.



(그림 5-7) 1층 미팅공간(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

2) 1층 로비 및 전시공간

1층 로비 및 전시공간은 도서관 사용자들의 편의를 위한 가장 핵심적인 공간이다. 이곳은 필요시 미술품 전시회나 신간도서 발표회 등을 개최할 수 있고, 평시에는 여유있는 공간을 제공하여 교직원들의 휴식 공간으로서의 기능을 수행한다. 이러한 기능을 고려하여 해당 공간을 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 구성하고, 이 공간에 있는 사용자들이 인접한 사용자들과 서로 대화를 할 수 있고, 일정거리 안에 있는 사용자들에게만 상호 대화가 들릴수 있도록 구현한다. 또한 요청시 상호 화상대화도 가능할 수 있도록 화상채팅의 기능도 제공한다. 동일시간에 같은 공간에 참여 인원은 ±50명으로 한다. 이 공간에 구성된 신간도서 및 KNDU 공간에서는 사용자 요청시에는 당시 신간도서 목록과 KNDU 관련 도서 목록을 메뉴형식이나 게시판 형식으로 제공하여 직접 도서관을 방문하지 않아도 신간도서 정보와 KNDU 관련 도서 정보를 제공받을수 있도록 한다.



〈그림 5-8〉 1층 로비 전경(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

3) 1층 카페테리아

1층 카페테리아는 교직원 및 도서관 사용자들에게 카페나 휴식공간 등을 제공하기 위한 교직원들의 가장 사랑받는 공간이다. 이곳은 카페 내부에서 커피나 차를 마시며 시간을 보낼 수 있고, 아니면 음료를 구입후 도서관 로비나 다른 공간으로 이동하여 여가를 보낼 수 있도록 하기 위하여 구성된 공간이다. 이러한 기능을 고려하여 해당 공간을 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 모델링하고 사용자들은 가용한 공간에서 개인적인 시간을 갖거나 아니면 그룹으로 모임의 시간을 가질수 있다. 동일시간에 같은 공간에 참여 인원은 20~30명으로 한다. 이곳도 다른 곳과 같이 일정거리내에 있는 사용자와는 화상 및 채팅이 가능하고 주변에 있는 다른 사용자에게도 대화 내용이 전파된다.

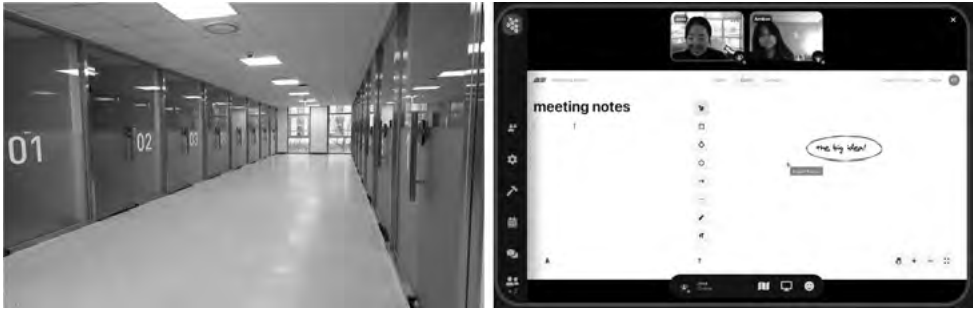


〈그림 5-9〉 1층 카페테리아 전경(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

4) 그룹 스터디룸

국방대 도서관 2-4층에는 교직원 및 학생들의 개인 및 집단 학습을 위하여 6인, 12인, 24인용 스터디룸이 준비되어 있다. 이곳은 교직원 및 학생들이 소규모 및 단체로 연구 및 토의를 위한 공간으로 구성된다. 이러한 기능을 고려하여 해당 공간을 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 모델링하고 사용자들은 가용한 공간에서 그룹으로 회의나 토의 등의 시

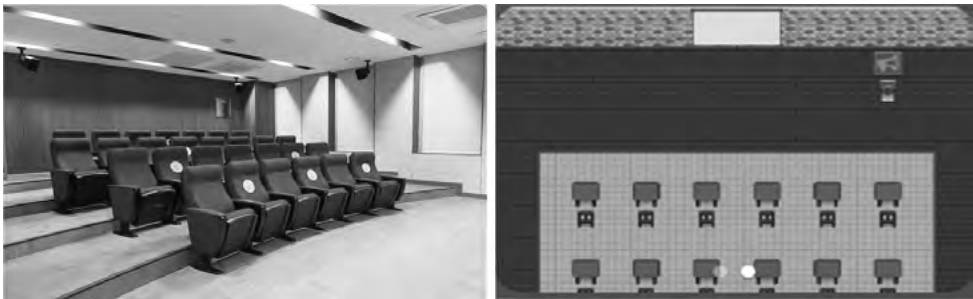
간을 가질수 있다. 이곳도 다른 곳과 같이 공간에 참여한 사용자와는 화상 및 채팅이 가능하도록 구현한다. 안보과정 분임연구/토의나 학위과정 강의 공간으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.



〈그림 5-10〉 그룹 스튜디오 전경(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

5) 4층 시네마룸

도서관 4층은 여유 공간을 제공하여 교직원들의 휴식공간으로써의 기능을 수행하기 위하여 구성된다. 4층에는 DVD 시청존, 시네마룸이 구성되어 있고 좌석관리 시스템을 운용하여 예약 및 좌석 예약제에 의하여 운영된다. 이러한 기능을 고려하여 해당 공간도 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 모델링하고 사용자들은 가용한 공간에서 개인적인 시간을 갖거나 아니면 그룹으로 휴식의 시간을 가질수 있다. 영화 상영의 환경 조성을 위해 동일공간에 있는 사용자와의 채팅 기능만 제공한다.



〈그림 5-11〉 4층 시네마룸 전경(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

6) 4층 옥외정원

국방대학교 4층에는 교직원, 학생들과 사용자들의 휴식 공간을 위한 옥외 정원이 구성되어 있다. 이러한 기능을 고려하여 해당 공간도 실제 모습과 유사하게 3차원 공간으로 모델링하고 사용자들은 가용한 공간에서 개인적인 시간을 갖거나 아니면 그룹으로 휴식의 시간을 가질수 있다. 동일시간에 같은 공간에 참여 인원은 ±20명으로 한다. 또한, 동일공간에 있는 사용자와의 화상 및 채팅 기능도 제공된다.



〈그림 5-12〉 4층 옥외정원 전경(좌)과 메타버스 구현 모습(우)

5.4 가상기능 적용방안

국방대학교 도서관의 기본 및 전문기능 이외에도 학교 학생 및 교직원의 생활에 활력을 주고 교류와 복지의 역할도 수행하여야 한다. 따라서 이러한 추가적이고 발전적인 기능은 메타버스 기술을 활용하면 매우 효율적이고 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 우선 가상의 작가와의 만남과 독서 모임방, 그리고 이벤트 행사 기능을 검토하였다.

1) 작가와의 만남

앞의 사례연구에서처럼 신세계의 별마당 도서관에서 열린 문화 공간으로 2017년 개관 이래 강연과 토크쇼, 북콘서트 등의 프로그램을 진행했다고 했다. 이러한 사례를 기초하여 국방대 도서관에서도 전·후반 학기나 분기별로 유명 작가를 메타버스 공간으로 초빙하여 교직원 및 학생들과의 시간 즉 “작가와의 만남”의 시간 서비스를 구현하여 제공하면, 학교의 지역 이전으로 인한 문화예술향 접할 수 있는 기회부족의 아쉬움을 해결할 수 있는 하나의 방안이 될수 있다.



〈그림 5-13〉 작가와의 만남 사례(좌)와 메타버스 구현 사례 동영상(우)

<https://www.youtube.com/watch?v=T9WmfxCtPdE>

2) 독서 모임방

독서 모임방은 가상공간에서 동일 또는 유사한 주제의 책을 읽고 독자들이 함께 책이나 동일 주제에 관한 이야기를 나누거나 토론을 하는 공간으로 제공된다. 이러한 행사 및 공간은 주기적이거나 즉흥적으로 구성될 수 있고, 어떠한 형식이나 규제에서 벗어나 그야말로 자유로운 모임과 대화의 공간으로 운영된다. 이를 통하여 국방대 교직원 및 학생들간의 교류와 상호 소통의 공간으로 형성될 수 있고 나아가 조직 문화의 발전에도 기여할 수 있으리라 생각된다. 3차원 공간은 자유로운 형태로 구성되고 이곳에 참여한 사람들은 화상 및 채팅으로 대화를 나눌수 있고 공간에 참여한 모든 사용자에게 대화의 내용은 공개된다.



〈그림 5-14〉 메타버스 독서 토론방 모습(좌)과 토론회 동영상(우)
<https://www.youtube.com/watch?v=1XkkTZtCUo4>

3) 이벤트(게임/홍보 등) 행사

학교를 처음 방문하는 방문객이나 신입생들에게 학교 소개 및 홍보를 위한 학교에 대한 O/X 게임이나, 얼마 전 많은 인기를 얻었던 방송 프로그램의 콘텐츠인 대탈출 게임, 그리고 학교의 주요행사(개교기념일, 도서관 책 나눔 행사, 교직원 체육대회, 등.)를 이벤트 형식으로 구현하여 제공하면 학교/도서관 홍보나 위상 제고에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 5-15〉 메타버스 O/X 퀴즈(좌)와 대탈출 사례(우) 동영상
<https://www.youtube.com/watch?v=jPn4Cw0Dpac>(좌)
<https://www.youtube.com/watch?v=yvpH6abWwVc>(우)

VI. 결론

도서관은 다양한 자료를 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 한 시설이자 문화 및 정보의 중심로, 특히 학교 기관에서의 도서관의 역할과 임무는 매우 중요하다. 대학교육이란 고도의 지적 문화의 계승전달과 창조, 발전 및 국가사회의 지도자 양성이라는 전통적인 목적 이외에 산학협동체제의 강화를 통한 현실사회의 개조라는 새로운 목적까지도 수행해야하기 때문에 도서관의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 국방통합전자도서관은 군 도서관의 일관성 있고 표준화된 정보유통체계를 확립하고 도서관 운영업무의 효율적인 개선으로 이용자 정보서비스 개선과 만족도 향상 제고를 목적으로 한다.

메타버스는 가상, 초월을 의미하는 메타(meta)와 세계, 우주를 의미하는 유니버스(universe)를 합성한 신조어이다. 현실을 디지털 기반의 가상세계로 구현하여 가상의 공간에서 현실과 유사한 활동을 할 수 있게 만드는 시스템이다. 이와 같은 메타버스 기술을 도서관에 활용한다면 현재 도서관의 기본 임무인 다양한 자료를 단체나 개인이 수집·정리하여 민간 또는 특정 사용자들이 열람하고 대출할 수 있도록 하는 임무를 새로운 환경에서 색다른 접근으로 제공하여 사용자들의 접근, 활용 및 만족도를 높일 수 있고, 또한 학교의 문화 및 정보의 중심로서의 역할을 더욱 충실하게 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

이러한 취지에서 본 연구는 시작되었고 이번 연구를 통하여 달성하려는 연구 목표는 메타버스 기술의 속성과 관련 주요기술과 기능을 분석하고, 이들 기능을 활용하여 국방전자도서관의 기능과 역할을 향상시킬 수 있는 방안을 도출하는 것이다. 이를 위하여 연구 기간 중 수행할 연구 범위는 첫째는 메타버스 기술의 적용 대상인 도서관의 임무와 기능에 관하여 연구한다. 둘째는 메타버스에 관하여 메타버스 기술의 개념과 유래, 메타버스의 유형, 메타버스의 주요 플랫폼, 그리고 발전 방향 및 도전과제(문제점) 등에 관하여 연구한다. 셋째는 메타버스 기술의 도서관 적용 사례에 관하여 연구한다. 끝으로 넷째는 앞에서 연구한 내용을 바탕으로 국방대 도서관에 메타버스 기술의 적용방안에 관하여 연구하였다.

이번 연구를 통하여 8개의 기본적인 메타버스 플랫폼 유형을 분석하여 그중 화상회의 기반의 게더타운 플랫폼을 국방대 도서관의 적용 플랫폼으로 선정하였고, 이를 기반으로 학교 일반 방문자와 신입생을 위한 학교 소개 및 견학을 목적으로 하는 적용방안으로 학교 소개 및 견학, 역사관 견학, 도서관 견학 등 3가지 적용 및 구현방안과 기능별 적용방안으로 1층 미팅공간과 카페테리아, 4층 옥외정원, 그리고 순수한 가상공간인 작가와의 만남과 독서 모임방 등 11가지의 적용 및 구현방안을 연구하여 제시하였다.

이번 연구를 통하여 새로운 기술의 도입 및 적용을 위한 접근방법과 이러한 연구를 통하여 달성할 수 있는 기대효과 등에 관한 체계적인 연구의 사례가 될 것으로 판단된다. 그러

나 모든 기술은 그 당시의 기술환경이나 외부 환경에 따라 유동적으로 변화를 하고 있다. 그리고 국방대는 학부와 대학원이 함께 공존하는 일반 대학교와는 다르게 대학원만으로 운영되는 특수한 성격의 대학원이며, 따라서 도서관 사용자의 주요 대상이 안보과정과 학위과정 학생들, 직무교육원과 국제평화활동센터 피교육생, 그리고 교직원이다. 따라서 메타버스와 같은 이러한 기술의 적용을 검토할 때는 사용대상자와 사용환경, 그리고 구성할 콘텐츠의 내용 등에 대한 체계적이고 전문적인 분석에 따라 진행되어야 추구하고자 하는 목적을 성공적으로 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 위키피디아 - 우리 모두의 백과사전, “도서관”, 검색일 2022. 02. 20.
- “국방통합전자도서관 구축 체계개발계획서”. 국방대학교, 2008. 10.
- 위키피디아 - 우리 모두의 백과사전, “메타버스”, 검색일 2022. 02. 20.
- 김상균, 「메타버스」, 플랜비디자인, 2020.
- Wikipedia - the free encyclopedia, “Library”, 검색일 2022. 2. 20.
- “The history of libraries”. Britannica. May 2020.
- Virani, Shafique N. The Ismailis in the Middle Ages. Oxford University Press. 2007.
- Lamba, Manika. “Marketing of academic health libraries 2.0: a case study”. Library Management, 40. 2019.
- “국방전자도서관체계 고도화 사업 완료보고회”. 국방전산정보원, 2022. 07.
- IEEE VW Standard Working Group. “Metaverse Standards”. 2014.
- John S·Jamais C·Jerry P, 「Metaverse Roadmap」, A Cross-Industry Public Foresight Project, 2007.
- 손강민외, 「웹 2.0과 온라인 게임이 만드는 매트릭스 월드 메타버스」, ETRI CEO Information 제47호, 2006.
- 류철균·안진경, 「가상세계의 디지털 스토리텔링 연구」, 게임산업저널, 2007.
- 권오현, 「메타버스 내 게임형 가상세계와 생활형 가상세계에 대한 연구」, 건국대학교디자인대학원 2011.
- Smart, J., Cascio, J. & Paffendorf, J. “Metaverse roadmap overview”. 2007.
- 서성은, 「메타버스 개발동향과 발전전망 연구」, 한국 HCI 학술대회, 2008.
- “The Lengthy History of Augmented Reality”. Huffington Post. 2016.
- Wu, Hsin-Kai; Lee, Silvia Wen-Yu; Chang, Hsin-Yi; Liang, Jyh-Chong. “Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education.”. Computers & Education. 2012.
- Thomas, Wayne “Section 17”. “Virtual Reality and Artificial Environments”, A Critical History of Computer Graphics and Animation. 2005.
- Gelernter, D. Mirror Worlds: The Day Software Puts the Universe In a Shoebox. How it Will Happen and What It Will Mean?, 1991.
- Granshaw, Lisa. “A look through Star Trek’s Mirror Universe”. Boing. 2016.

- Knezevic, Kevin. "How Animal Crossing Was Born From One Of Nintendo's Biggest Flops". GameSpot. 2020.
- "If Second Life isn't a game, what is it? - Technology & science - Games - On the Level". NBC News. 2007.
- Boellstorff, Tom. Coming of Age in Second Life: An Anthropologist Explores the Virtually Human. Princeton University Press. ISBN 978-0-691-16834-0.
- Yaden, Joseph. "What is Roblox?". Digital Trends. 2020.
- Brown, Mark. "Minecraft for Xbox 360 release date announced, amongst others". Wired UK. 2012.
- McWhertor, Michael. "What's the future of games at Epic Games?". Polygon. 2014.
- <https://ko.wikipedia.org/wiki/ZEPETO>
- 국립중앙도서관 이슈페이퍼 제3호 "메타버스 시대의 도서관 운용", 국립중앙도서관, 2021.
- "중랑문화재단, 도서관 최초 메타버스 구현", 시정일보, 2022.
- "스타필드 '별다방 도서관' 4주년... '나를 위한 여행' 떠나자", 머니투데이, 2021.
- "한성대, 메타버스 도서관 '한성 북니버스' 개관", 에너지경제, 2021.
- "조선대-야타브엔터, 메타버스 심리상담 플랫폼 운영을 위한 MOU 체결", 전자신문, 2022.
- "영진전문대, 메타버스 도서관 오픈기념 '책맹탈출클럽' 운영", 뉴스웨이, 2021.

국방우주력 발전을 위한 국방과학기술

국방대학교 교수 이 두 열

서울대학교 교수 권 기 범

- I. 서론
- II. 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사·분석
- III. 우주작전(전력)별 우주무기체계 소요/기술 분석
- IV. 국방우주분야 주요 중점기술 도출
- V. 교육방향 제언
- VI. 결 언

I 서론

1. 연구배경

가. 국내·외 환경

- 최근 주요 선진국들은 ‘우주안보’를 보다 ‘국방우주’로 치우쳐서 생각하는 경향이 강화되고 있으며, 이에 따라 다양한 국방우주 전략을 마련하고 있다.
- 미국은 소련의 핵무기 감시를 넘어서, 우주의 전략적 중요성을 일찍부터 인식했으며, '90년대 말에 우주를 필수적 관심사로 선언한 바 있다. 중국은 국방우주에 대한 관심을 강화하고 있으며, 조직을 재구성하고 보다 강화된 활용을 위한 방향을 추진하고 있다. 일본은 오랫동안 평화 영역으로서의 우주 이용을 중심으로 우주개발을 추진하였으나, 최근 안보적 중요성을 강조하여 국방 측면에서 우주 이용을 확대하고 있다. 러시아는 국방에서의 우주의 이용을 지속적으로 추구하고 있으며, ‘외부 우주의 군사화’ 등 우주의 국방 이용 확대를 ‘주된 외부 위협’으로 인식하고 있다.
- 그동안 우리나라는 우주개발 중심(기술개발 및 우주자산 확보)의 우주정책 추진으로

인해, 우주경제·우주외교·우주안보 분야에 대한 정책은 부족한 것으로 생각된다. 더욱이, 급변하고 있는 세계정세 속에서 우주의 중요성이 더욱 커지고 있는 시점에서 우주안보에 대한 글로벌 동향 및 변화에 대한 적극적 대응에는 한계가 있었다. 향후 우주는 기술개발 대상 및 사회인프라의 일부라는 인식에서 벗어나, 국제정치적, 국가 안보적으로 매우 중요한 국가 아젠다로서의 인식이 필요하다. 이를 위해 새롭게 주목받고 있는 우주안보 영역에 대해서 선제적으로 대응할 수 있는 기술, 제도, 정치적 수단 등을 확보해 나가야 할 것으로 보인다.

나. 국방우주력 확보에 대한 공감대 확보

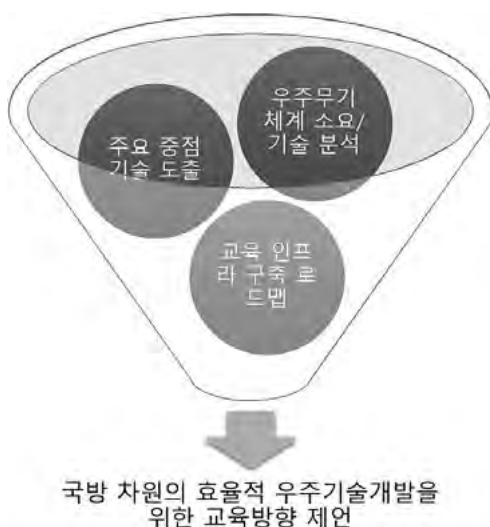
- 국방부는 지난 '11년 국방우주 개발을 수행 체계 구축, 법령 정비, 기술 개발, 그리고 민간·선진국과의 협력의 네 가지 영역에서 추진하기로 정하였다. 우선적으로 합동참모본부는 합동우주작전 수행을 위해 각 군의 임무와 특성, 작전 소요를 고려해 개념과 주요 임무를 정립하기로 하였다. 합동우주작전은 우주정보지원, 우주영역인식, 우주통제, 우주전력투사로 나누어진다. 먼저 우주정보지원은 감시·정찰, 항법, 통신 지원 등의 임무를 의미하고, 우주영역인식은 위협 식별 활동, 우주통제는 방어·공세 활동, 그리고 우주전력투사는 전력 운반과 배치 활동을 나타낸다. 이를 위해 국방부는 '21년 시행되는 개정 '우주개발진흥법'에 따라 '안보우주개발실무위원회'를 '국가우주위원회' 산하에 새로 설치하기로 하였다).
- 국가우주위원회 위원장은 국무총리로 격상되고, 안보우주개발실무위원회 위원장은 국방부 차관과 국정원 차장이 공동으로 맡아 안보 사안을 심의할 예정이다. 방위사업청과 국방과학연구소 등은 우주기술 연구·개발, 기술 확보, 우주산업 육성에 힘쓰기로 했다. 또 현재 세계 최고 수준의 우주 기술과 전력을 보유한 미국과의 협력을 강화하고, 민간의 참여도 확대해 우주전력 개발과 성능개량에 기여하겠다는 방침이다.
- 국방부 등 국방우주분야 기술정책 전략에 부응하기 위해 국방과학기술 교육 전문기관으로서의 선제적 대응 지원이 요구된다. 따라서 국방우주력 발전과 관련된 국방과학기술을 식별하고 중장기 교육 방향 선정을 위한 연구가 필요하다. 국방부 등 정부의 국방우주 기술정책 수립의 선제적 지원 및 우주무기체계에 대한 기술 발굴, 국방 활용을 위한 교육 수행을 요구하고 있다. 우주공간을 포함한 미래 작전환경 구상에 따라 국방우주력 발전을 위해 예상되는 미래 무기체계 소요 예측에 상당한 불확

1) 남효정, "이제는 우주전쟁 시대"..국방우주력 발전 첫 합동 회의 열어, mbc, 2021. 11. 3.

실성이 존재한다. 따라서 조사·분석을 통해 관련 무기체계 소요를 예측, 구현에 필요한 주요 과학기술 식별, 그리고 교육 방향 선정이 필요하다.

2. 연구목표

- 가. 국내 및 주요국의 국방우주분야 선행연구/사례 조사·분석한다.
- 나. 우주전력(작전)별 우주무기체계 소요/기술을 분석하여 주요 중점기술을 도출한다.
- 다. 도출된 주요 중점기술에 대한 대학원 수준의 교육 시행을 위해 교육 인프라 측면에서 로드맵을 작성한다.
- 라. 국방 차원의 효율적 우주기술개발을 위한 교육방향을 제언한다.



〈그림 1〉 연구목표

3. 연구내용

가. 선행연구

- 국방우주분야 기술은 민간우주분야 기술과 많은 부분 중첩되나 여러 이유로 인해 통합하여 다루기가 어려운 문제가 있다.
 - 우주분야에서는 외교를 통한 국제협력이 점증하고 있으며, 새로 설립하게 될 우주전담기관에서는 민간분야의 연구분야로 한정하자는 주장이 제기되고 있다.
 - 민·군 우주분야를 통합하는 경우에 국제무기거래규정(International Traffic in Arms Regulations, ITAR)과의 간섭으로 수출입에 제한받을 가능성이 크다.

- 따라서 국방우주분야에 대한 대학원 수준의 전문교육 또한 별도로 이루어져야 한다.
- 학부 수준에서 국내 국방우주분야 교육은 ‘12년 공군사관학교를 중심으로 시작되었으며, 최근 민간대학(‘22년 한밭대 국방우주공학과 신설)으로 확대되고 있다.
- 공사는 우주분야 교육발전계획을 수립(‘12.8.21.) 및 수행하였다.
 - 국가/국방/공군 차원의 우주발전 계획에 근거하여 美공군을 벤치마킹하여 체계적, 장기적 우주분야 교육발전계획을 추진하고 있다.



〈그림 2〉 공사 우주분야 교육발전계획

- 현재 대학원 수준에서 국방우주분야 교육을 전문적으로 제공하는 국내 교육기관과 프로그램은 없다.
- <표 1>은 우주과학기술 교육과 관련된 국내 선행연구의 목록을 나타낸다.

〈표 1〉 국내 선행연구

시기	제목	기관/저널/간행물
2012. ~ 현재	초소형 위성 개발	한국항공우주연구원 등
2013. ~ 2018.	공군사관학교 초소형 인공위성 개발사업	공군사관학교
2020.11.	국외 국방우주분야 개발사례 및 동향	한국항공우주학회 학술발표회 초록집
2020.11.	국방 우주분야 과학적 체계공학 관리기법 구축 과정	한국항공우주학회 학술발표회 초록집
2021.1.	우주개발 진흥 시행계획 중 우주분야 전문인력양성	과기정통부

○ 우주과학기술 교육과 관련된 국외 선행연구는 표 2와 같다.

〈표 2〉 국외 선행연구

시기	제목	기관/저널/간행물
1997.~	美공사 우주분야 교육 프로그램	美 공군사관학교
2015	The role of education and training in absorptive capacity of international technology transfer in the aerospace sector	Progress in Aerospace Science

나. 선행연구 내용

○ 관련된 국내 선행연구 내용은 표 3과 같다.

〈표 3〉 국내 선행연구 내용

시기	제목	기관/저널/간행물
2012. ~ 현재	초소형 위성 개발	한국항공우주연구원 등

- 초소형 위성은 중량 100kg 이하의 모든 위성을 의미함. 중량 100kg 이하의 초소형 위성들은 다시 영문명으로 Microsat, Nano(Cubesat), Pico, Femto 위성으로 부름. 예를 들어 중량 90kg급 위성은 마이크로급 초소형 위성, 중량 10kg급 위성은 나노급 초소형위성으로 부를 수 있음.
- 주로 대학원생이 주축이 되어 개발되며, 다수의 국내 대학에서 발사 경험이 있음.

위성	개발 기관	발사년도/발사체	임무	운영현황
CubSAT Yunsei	연세대	2021/소유즈	코로나그래프, 태양광 차폐막 시험	No Signal
KMSL	조선대/연세대	2021/소유즈	화염전파/소멸 현상분석, 곰벌레 생존 및 생활 연구	비콘수신 성공, TM/TC 성공, 일부 데이터 수신 성공
K2SAT	공사/KAIST	2018/Falcon9	지구관측, 음성 재전송	No Signal
Vision Cube	항공대	2018/Falcon9	메가번개 관측 및 초소형 CMG 개발 검증	No Signal
SNU GLITE	서울대	2018/Falcon9	이중주파수 헨 수신기와 자기장 센서 이용 우주환경 관측	비콘, TM 수신 및 일부 임무 데이터 수신
SNU SAT-2	서울대	2018/Falcon9	관심지역 조기 탐지	비콘, TM 수신 (No 임무 데이터)

- 한국항공우주연구원은 2012년부터 과기정통부의 큐브위성 시범 대회를 주관하여 왔으며, 2013년부터는 격년으로 큐브위성 경연대회를 주관하고 있음.

2013. ~ 2018. 공군사관학교 초소형 인공위성 개발사업

공군사관학교

□ 목표 : 전문적 생도교육 프로그램 구축을 위한 소형 인공위성 개발 및 운영에 대한 기술축적

□ 중점

- 공사 독자적 초소형 인공위성 개발 기술 및 운영능력 확보
- 위성 개발간 주기적인 기술이전 세미나를 통한 위성 시스템별 기술 습득
 - * 공사 전임직 교수 위주로 10개 임무별 담당 배정
- 확보된 기술을 바탕으로 전문적 생도 교육 프로그램 개발 기반 구축
- S-band 대역 수신이 가능한 지상국 구축을 통한 위성 운용실습 기반 확보

□ 추진현황

- 사업명 : “초소형 인공위성(K2SAT) 개발 연구용역”
- 임무 : 전장정보(영상) 지상국 전송 및 지상 지휘소간 음성중계
- 기간 : '13.7. ~ '18.12. / 5년
- 예산 : 총 13억(개발 및 발사비용) / 연평균 2.5억 수준
- 사업진행 : 공사·KAIST 공동 연구개발
 - 초소형 인공위성 개발 단계 : 임무개발 → 설계(개념-예비-상세) → 제작
- 발사/궤도/주기
 - 발사방법 : 미국 업체(SpaceX) 발사 용역(발사장소 : 반덴버그 공군기지)
 - * '18.12.4.(화) 03:34 발사 및 3시간 후 K2SAT 시출
 - 궤도 : 고도 584km의 원형 궤도
 - 주기 : 1회 지구 공전 비행 당 약 100분 소요(1일 약 15회 공전)

2021.9.

국방우주 기술개발 정책연구-해상발사체를 중심으로

KIDA 연구보고서 안보
2021-4615

□ 제4차 한미미사일지침 개정(2020.7.28.)에 의해 우주발사체에 대한 고체연료 사용 제한이 해제되었으며, 2021년 5월 22일 한미미사일지침이 완전히 종료됨에 따라 국방우주기술개발이 2021년 이후 본격적으로 추진될 것으로 예상됨.

□ ‘해상발사 고체연료 우주발사체계’와 같이 한미미사일지침 개정 이후에 가능해진 새로운 기회를 적극적으로 활용하여 국가안보에 기여함은 물론이고, 주변국과의 우주경쟁에서 우위를 확보할 수 있는 국방우주 기술개발 전략과 정책을 제시할 필요가 있음.

□ 해상발사 고체추진 우주발사체계와 관련된 국방우주 전략, 정책, 기술개발, 민간군협력 방안 등을 마련함으로써 국방우주기술개발의 정책결정에 기여하는 것을 연구목적으로 함.

2020.11.	국외 국방우주분야 개발사례 및 동향	한국항공우주학회 학술발표회 초록집
<p><input type="checkbox"/> 국방우주분야는 감시정찰을 비롯해 통신, 항법은 물론 우주자산보호 및 우주 무기개발을 포괄하며, 주로 지구관측 및 감시분야에서의 미국 및 유럽 우주 선진국의 개발동향을 조사하였음.</p> <p><input type="checkbox"/> 미국은 기존에 국방성과 NASA를 중심으로 우주 시스템의 국방분야 활용을 연구했으나, 최근에는 민간 기업의 연구개발참여도가 높아지고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 100kg급 이하의 초소형 위성을 군집 형태(Constellation)로 활용하는 연구가 가속화되고 있으며, 대표적인 기업에는 Planet과 Capella Space가 있음. ○ 목표는 수십대의 위성을 다양한 궤도면에 투입해 재방문주기를 단축하는 것임. <p><input type="checkbox"/> 유럽은 공개된 국방우주개발 움직임은 적지만 국방분야로의 활용이 용이한 핵심기술들을 연구하고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대표적으로 마이크로셋급의 SAR 탑재위성개발과 우주쓰레기 제거 기술이 있음. ○ 핀란드의 ICEYE는 세계최초의 마이크로셋급 SAR 위성을 개발했고, 해상도 1 m급의 영상을 제공하고 있음. ○ ClearSpace-1은 ESA에서 1천억대의 우주쓰레기 제거 과제를 수주하였는데 개발할 핵심기술로는 랑데부 및 도킹 기술로 연료 재충전 등 다양한 민간, 산업 분야에 활용이 가능함. <p><input type="checkbox"/> 국내에서도 군 정찰위성과 함께 초소형 위성, SAR 군집위성 등 미래도전적인 임무가 추진되고 있음.</p>		
2020.11.	국방 우주분야 과학적 체계공학 관리기법 구축 과정	한국항공우주학회 학술발표회 초록집
<p><input type="checkbox"/> 국방우주분야 개발 사업에서 군 소요의 무기체계개발 사업의 절차와 규정의 준수와 더불어 위성사업의 특수성을 반영한 체계관리 기법의 필요성이 대두되고 있음.</p> <p><input type="checkbox"/> 체계공학 관리기법의 관점으로 국방우주분야 사업의 과학적 관리와 발전방향에 대해 살펴봄.</p>		
2021	우주개발 진흥 시행계획 중 우주분야 전문인력양성	과기정통부
<p><input type="checkbox"/> 사업 개요</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 목표 : 우주개발 수행 인력 확보, 우주산업 기반조성을 위한 다양한 우주 전문인력 양성 프로그램 운영 ○ 사업기간 : 2019년 ~ 2026년 ○ 주관부처 : 과학기술정보통신부 ○ 주관기관 : 산업체, 대학, 출연연 등 <p><input type="checkbox"/> '20년 실적</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (우주기술 전문연수) 우주기초 지식교육 및 분야별 전문교육 2개 과정(우주기기, 위성활용) 운영, 100명 교육, 80명 수료 ○ (초소형 위성 개발 저변확대) 2차 경연(2월)을 통해 한국형발사체로 발사할 4팀 최종 선정 및 상세설계 검토회의(CDR) 개최(10~11월) 		

- (대학원 인력양성) 우주시스템 협동과정 설립 및 자립화 완료, 18명 교육 트랙 수료 및 우주분야 취업·진학률 83%(※ '20년 사업종료)
- (종사자 인력양성) 위성제품보증 등 7개 과정 운영, 208명 수료, 이러닝 콘텐츠 3개 과정 개발(위성통신, 원격탐사, 위성항법)(※ '20년 사업종료)
- '21년 계획
 - 3개 신규과제를 통해 도제식 실무교육 및 현장교육을 강화하고, 계속 과제는 지속 지원하여 전문성에 따른 대상별 특화 교육 실시

분야	내용	비고
우주기술 전문연수	미취업자·경력단절자 대상 산업체 수요를 반영한 교육 실시	계속
초소형위성개발 저변 확대	최종 선정된 팀의 큐브위성 제작·시험,지상국 개발 등을 지원	계속
뉴스페이스 리더양성	출연(연)등의 체계개발 프로그램에 참여하여 실무교육 실시	신규
대학(원)생 현장교육	우주 시설장비 보유기관과 대학을 연결, 대학(원)생의 실험·실습 지원	신규
산업체 직무교육	우주산업체 종사자 대상 기초 / 실습 / 현자방문교육 등 교육 제공	신규

□ 투자 실적 및 계획

(단위 : 백만원)

부처/기관명	총사업비	'19년 예산	'20년 예산	'21년 예산
과기정통부	-	2,200	1,600	2,600
합계	-	2,200	1,600	2,600

- 관련된 국외 선행연구 내용은 표 4와 같다.

〈표 4〉 국외 선행연구 내용

시기	제목	기관/저널/간행물
1997.~	美 공군사관학교 우주분야 교육현황	美 공군사관학교

□ 우주 프로그램(Space Program)

- 우주관련 특화연구센터 운영 : Space Systems Research Center
- 생도 특별교육 프로그램 운영 : FalconSat, FalconLaunch, FalconO
- FalconSat 프로그램 : 생도참여를 통한 소형위성 설계, 해석, 제작, 시험 및 발사

위 성	발사년도/발사체	임 무	성공여부
Falcon Gold	1997/Atlas	GPS에 의한 항법 시험	성공
FalconSat-1	2000/Minuteman II	우주 전기입자 위험 연구	실패 (전력계 문제)
FalconSat-2	2006/Falcon 1	정전기 분석 연구	실패 (발사체 문제)
FalconSat-3	2007/Atlas V	플라즈마 분석	성공
FalconSat-4	-	냉가스 추력기 성능 시험	미발사 (예산감축)
FalconSat-5	2010/Minotaur IV	우주기상 측정	성공
FalconSat-6	2018/Falcon 9	과학실험	성공
FalconSat-8	2019/미정	추진 기술 실험	-

□ FalconLaunch 프로그램 : 생도참여를 통한 발사체 설계, 제작, 시험 및 발사

□ FalconOps 프로그램

- FalconSat 프로그램을 통해 임무를 수행하고 있는 위성들(FalconSat-3, FalconSat-5, FalconSat-6)의 운용 실습
- 정규 군사훈련 프로그램 : 선택 생도대상 하계훈련 中 10h 이수

2015	The role of education and training in absorptive capacity of international technology transfer in the aerospace sector	Progress in Aerospace Sciences
------	--	--------------------------------

□ 국제적인 항공우주기술 이전에 있어 기술을 전수받는 측의 수용력을 높이기 위한 교육과 훈련에 관한 리뷰 논문임.

- 성공적인 기술이전에는 다양한 요인이 영향을 미치며, 기술의 전수받는 측의 수용력이 가장 중요한 요소 중 하나임.
- 교육과 훈련은 지식의 수용에 결정적인 역할을 수행함.

Education	Training
General instruction	Specialized instruction
Long time frame	Short time frame
Dispersed attention	Concentrated attention
Measured delivery	High-intensity delivery
Theoretical emphasis	Practical emphasis
Knowledge acquisition	Performance skills
Synthesis of ideas	Behavioral change

□ 다음의 일곱 가지 측면에서 논의를 진행하였음.

- Groups and individuals requiring training
- Number of trainees
- Location of the training
- Length of the training
- Types of training
- Quality of trainers
- Budgetary issues

□ 주로 아시아 지역이 개발도상국에 항공우주기술을 효과적으로 이전하기 위한 내용이나 현재 군의 국방우주교육이 미비한 실정을 고려할 때 참고할만한 의견이 다수 포함되어 있음.

4. 선행연구와의 차별성 및 독창성

가. 선행연구에서 살펴본 바와 같이 국방우주분야 전문이력 양성을 위한 대학원 수준의 교육은 민간우주분야에 비해 매우 미흡하다. 따라서 본 연구의 주요 독창성은 우리 군이 요구하는 국방과학기술에 대한 교육 로드맵을 제공하는 것이다.

나. 본 연구의 선행연구와의 독창성은 다음과 같다.

- 국방우주분야 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사. 분석, 미국, 유럽 우주기술 로드맵 자료 분석, 우리 군의 우주전력(작전)별 우주무기체계 소요/기술 분석을 통해 주요 중점기술을 도출한다.
- 도출된 주요 중점기술을 교육 인프라(인력, 교육 프로그램, 장비 시설 등) 측면에서 구축 난이도 분석을 수행하여 대학원 수준의 교육 로드맵 작성한다.
- 또한 교육 로드맵 작성 결과를 바탕으로 전반적인 국방과학기술 교육에 대한 제언을 한다.

다. 연구의 차별성은 다음과 같다.

- 먼저 국방우주분야 국방과학기술 발전방향 수립을 위한 연구수행 범위별 과업을 세분화하여 체계적으로 수행이 가능하다.

〈표 5〉 과업의 주요 업무 세부 내용 및 역할 분담

Work Package	주요 업무
WP1 (책임 연구원)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사·분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 우주개발 중장기 기본계획, 우주개발진흥 기본계획 등을 바탕으로 국내 우주개발 계획 중 국방우주와 관련된 계획을 조사하고 분석 - 국외 : 미국, 유럽 우주기술 로드맵 자료를 수집하여 국방우주와 관련된 계획을 조사하고 분석
WP2 (연구원)	<ul style="list-style-type: none"> • 우주전력(작전)별 우주무기체계 소요/기술 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국방부, 합참, 공군 등 관련 참고자료 수집하여 중장기 소요 또는 소요예정인 무기체계에 대한 소요기술 분석
WP3 (연구원)	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 중점기술 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 국방우주분야 주요 중점기술을 도출 - 교육 인프라(인력, 교육 프로그램, 장비·시설 등) 측면에서 구축 난이도 분석
WP4 (책임 연구원)	<ul style="list-style-type: none"> • 국방 차원의 효율적 우주기술개발을 위한 교육 방향 제언 <ul style="list-style-type: none"> - 대학원 수준의 교육 시행을 위해 교육 인프라 측면에서 로드맵 작성 - 전반적인 국방과학기술 교육에 대한 제언

○ 다음으로 수요자 관점에서 연구성과의 효용성이 담보 가능하도록 연구수행 품질관리를 위하여 핵심역량별 수행 역할을 지정하였다.

〈표 6〉 참여 연구원 핵심역량 및 수행 역할

구분	핵심역량	수행 역할
책임 연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 공학위험분석 전문가 • 무기체계 선행연구 등 조사·분석 경험 보유 	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 총괄 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사·분석 • 교육방향 제언
연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 우주분야 시스템엔지니어링 전문가 • 공군 초소형인공위성 개발 및 지상국 구축 등 인공위성 개발/운영분야 경험 보유 	<ul style="list-style-type: none"> • 우주전력(작전)별 우주무기체계 소요/기술 분석 • 주요 중점기술 도출

5. 기대효과

가. 고유 업무의 이해, 연구용역수행 역량 보유, 그리고 협업을 통한 상승효과 발휘 등 사업수행 성공을 위한 핵심사항을 충족하고 있어 목표로 하는 연구 성과를 제시할 것으로 기대된다.

○ 고유 업무의 이해 : 국방우주분야 연구 전문성, 국방우주 정책/기술/기획 관련 전문성 확보

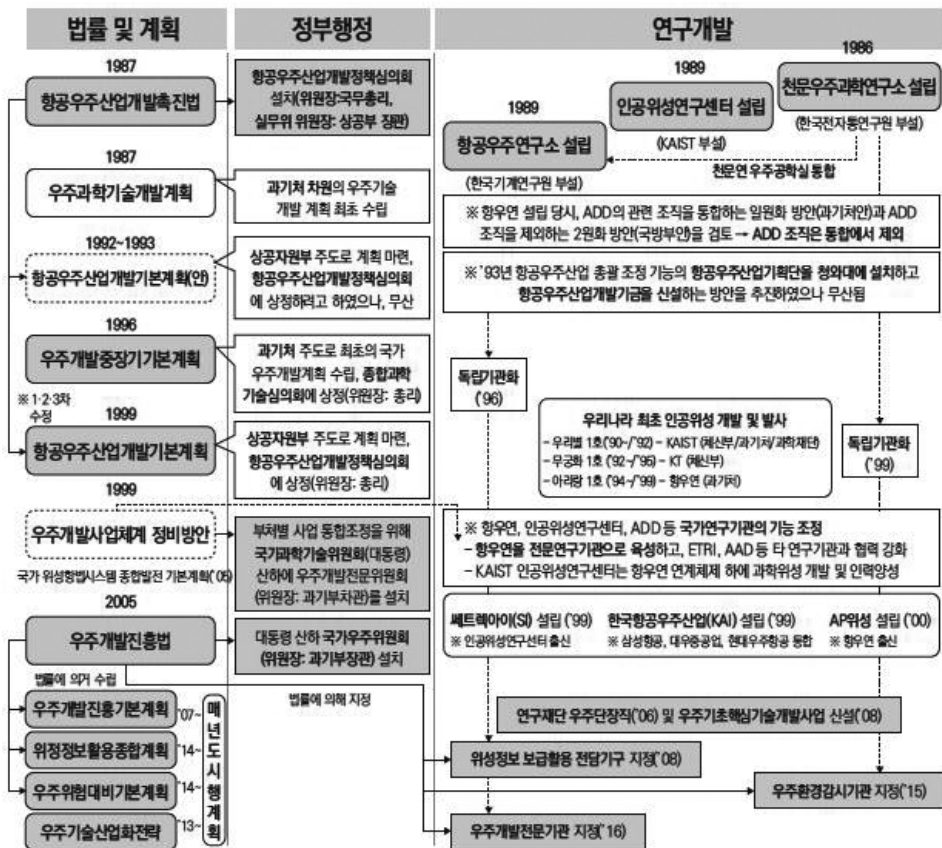
- 연구용역수행 역량 보유 : 다양한 우주분야 사업수행을 통한 전문 연구역량 보유
- 협업을 통한 상승효과 발휘 : 제시된 과업 분업화 수행

II. 국내 및 주요국 선행연구/사례 조사·분석

1. 국내

가. 국내 환경

- [법] '05년 '우주개발진흥법 제정하여 대통령 직속 국가우주위원회를 설치하였으며, 매 5년마다 우주개발진흥기본계획을 수립하고 있다.



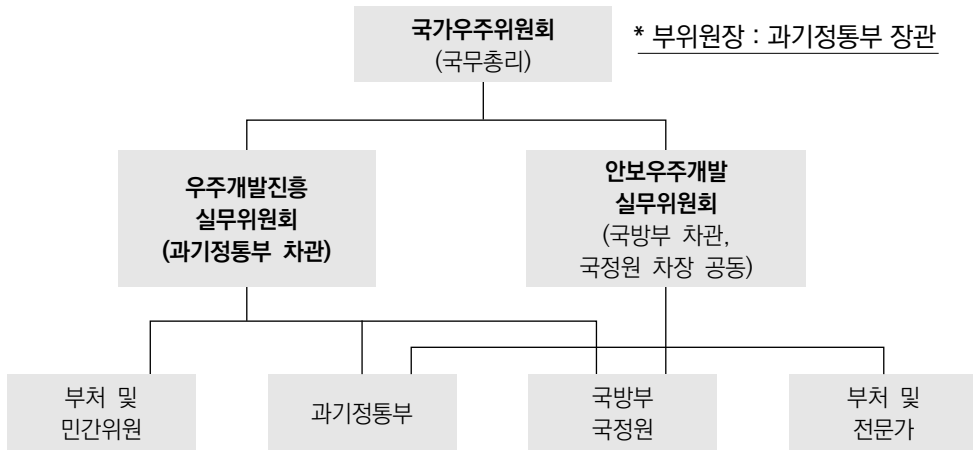
〈그림 3〉 우리나라 우주개발 체제 수립과정(출처 : 2020 우주개발백서, 한국연구재단(2020))

○ [정책 동향] '18년부터 '22년 사이의 구체적 우주계획을 수립하기 위해 '18년 제3차 우주개발진흥기본계획이 국가우주위원회에서 의결되었다.

구분	2018~2022	~30	~40	비고	
발사체	▶한국형발사체 개발 - 시험발사('18) - 본발사(2회, '21)	▶소형 발사체 플랫폼 확장('25~) ※ 소형위성 수요증가 대비	▶대형발사체 플랫폼 확장 ※ 우주임무 다양화 대비		
	▶발사서비스 기반 구축 ※ 컨소시엄 구성과 기술 이전(~'25)	▶정부위성 발사 서비스 개시 ※ 주관업체 중심 발사체 개발 - 차세대소형위성 2기 발사 (소형 발사체 플랫폼 이용) - 차세대중형위성 2기 발사 (소형 발사체 플랫폼 이용) - 다목적실용위성 2기 발사 (한국형발사체 이용) - 달 착륙선 발사 (한국형발사체 활용)	▶정부위성 발사 서비스 ※ 주관업체 중심 경쟁력 확보 - 차세대소형위성 4기 발사 (소형 발사체 플랫폼 이용) - 차세대중형위성 3기 발사 (소형 발사체 플랫폼 이용) - 다목적실용위성 3기 발사 (한국형발사체 이용) - 소행성궤환선 발사 (한국형발사체 활용)		
위성개발	소형	▶차세대소형위성 2기 - 1호('18), 2호('20) (우주기술 검증과 우주과학)	▶차세대소형위성 2기 - 3호('24), 4호('26) (우주기술 검증과 우주과학)	▶차세대소형위성 4기 - 우주과학 및 핵심기술 검증 등	8개
	중형	▶차세대중형위성 4기 - 1호('19)·2호('20) (국토종합관리) - 4호('22) (산림관측) - 5호('22) (기상관측)	▶차세대중형위성 21기 - 3호('23) (한국형발사체 기술검증) - 6호('25) (수자원관리) - 그 외 18기	▶차세대중형위성 43기 - 기 운용위성 임무승계, 신규 주요 위성 등	73개
	다목적실용위성	▶정찰위성 5기 ▶다목적실용위성 2기 - 6호(SAR, '20), 7호(광학/IR, '21)	▶다목적실용위성 3기 - 7A호(광학/IR, '23), - 8호(SAR, '27), - 9호(광학/IR, '28)	▶다목적실용위성 4기 - 10·12호(SAR), 11·13호(광학/IR)	8개
	정지궤도	▶천리안위성 2기 - 2A호('18) (기상관측) - 2B호('19) (해양관측)	▶천리안(관측)위성 2기 ('28, '29)	▶천리안(관측)위성 2기 - 천리안위성2호 후속 위성 및 신규 위성	21개
		▶통신(방송)위성 1기 ▶조기경보위성 1기('24) ▶자료중계위성 1기('27) ▶항법(경사)위성 1기 (검증용 경사궤도 위성)	▶통신(방송)위성 3기 ▶조기경보위성 2기 ▶항법(경사)위성 3기 ▶항법(정지)위성 3기		

(그림 4) 제3차 우주개발진흥기본계획의 우주개발 계획(출처 : 우주개발사업 중점핵심기술개발 경제적 타당성 분석 및 신규 사업 상세기획 연구, 한국연구재단(2018))

○ [체계] 국가우주위원회(위원장 : 국무총리)를 정점으로 우주개발진흥실무위원회(위원장 : 과기정통부 차관)와 안보우주개발실무위원회(위원장 : 국방부 차관과 국정원 차장 공동)가 구성된다.



〈그림 5〉 우주관련 위원회(출처 : 우주개발 진흥법 제6조 제1항)

나. 우주기술 개발사업

- 우리나라는 독자적인 우주개발 능력을 확보하여 핵심·중점기술의 해외 의존도를 낮추고, 우주산업의 수출경쟁력 강화를 위해 우주핵심기술개발사업, 우주중점기술개발사업, 스페이스챌린지사업 등을 추진하고 있다.
- 우주핵심기술개발사업(2008년~) : 우주기초기술 기반강화, 우주핵심기술 자립화 등 독자적 우주개발 능력 확보를 위해 수립되었다.
- 우주중점기술개발사업(2018년~) : 우주핵심기술개발사업의 후속사업 추진을 위한 시범사업이다.
- 스페이스챌린지사업(2020년~) : 우주핵심기술사업 종료 후 우주분야 기초연구 지원 위해 '20년부터 추진하고 있다.

다. 우주기술 개발동향

- **[발사체 분야]** 한국형발사체개발사업(2010년~)을 통해 기술 자립화, 발사체기술 고도화를 지속하고 있다.
- **[위성 분야]** 국내 저궤도급 위성기술은 보유하고 있으나, 정지궤도급의 위성기술은 부족한 상황이며, 다기능 임무 수행을 위한 소형화 경량화 위성본체 기술들이 본격화되고 있다.

기술현황				확보전략													
▲ 관련기술 시스템 적용 경험 있음(국내개발) ★ 관련기술 시스템 적용 경험 있음(해외구매) ◆ 관련기술 시스템 적용 경험 없음				■ 개발사업(체계개발) (예)적용 또는 (예)확보 [국내개발] ▨ "기초" 단계 선행 개발 후 "핵심" 단계 적용 ● "핵심" 단계 선행 개발 후 개발 사업에 적용 ▨ 출연연 주요사업으로 확보 후 개발 사업에 적용 ▨ 시스템 시험/조립													
중점기술	대분류	중분류	소분류	기술명	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
CT001	위성본체	시스템 엔지니어링	위성 임무 및 요구 사항 분석 기술	위성 편대비행/군집비행 임무 분석					◆	■	■	■	■	■	■	■	■
CT002	위성본체	시스템엔지니어링	위성 임무 및 요구 사항 분석 기술	행성 탐사선 임무 분석 및 설계 기술				◆	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CT003	위성본체	구조계	주구조물	주하중 지지용 복합재 실린더형 구조체 (정자궤도용)					★	■	■	■	■	■	■	■	■
CT004	위성본체	구조계	모멘텀휠댐퍼 구조물	모멘텀휠댐퍼구조물					★	■	■	■	■	■	■	■	■
CT005	위성본체	구조계	태양전지판구조물	비폭발성전개장치					★	■	■	■	■	■	■	■	■
...													

〈그림 6〉 국가중주중점기술개발로드맵 2.0
 (출처 : 국가우주중점기술개발로드맵 2.0, 과학기술정보통신부(2018))

○ [우주탐사 분야] 기초수준의 연구 다수 수행 중이나 응용개발 수준에도 도달하지 못하고 있음. 달궤도선 이후의 우주탐사 사업 구체화와 중점기술 확보가 요구된다.



(가)



(나)

〈그림 7〉 (가)달 탐사선 형상과 (나)심우주지상안테나
 (출처 : 2022년도 우주개발진흥 시행계획,관계부처 합동(2021))

○ 중점기술 수준 및 격차

- [근거] 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 2020년 우주분야 기술수준평가
- [우주발사체 개발 및 운용기술] 최고기술보유국(미국) 대비 '기술수준 60%', 기술격차 '18.0년', '그룹격차 후발(2.00)'의 수준으로 분석된다.
- [우주환경 관측·감시·분석기술] 최고기술국(미국) 대비 '기술수준 55.5%', '기술격차 10.0년', '그룹격차 후발(2.10)'의 수준으로 분석된다.
- [우주탐사 및 활용기술] 최고기술보유국(미국) 대비 '기술수준 56%', '기술격차 15.0년', '그룹격차 후발(2.10)'의 수준으로 분석된다.

라. 민간분야의 비중과 역할

- [배경] 민간영역의 상업적 우주개발 경쟁이 치열해짐에 따라 인공위성 등 우주물체 및 우주쓰레기가 기하급수적으로 증가하고 있고, 우주 과밀화로 인한 분쟁지역화 가능성이 대두되고 있다. 더불어 민간겸용의 성격을 지닌 우주공간에서의 상업적 활동의 확대는 사실상의 군사정보활동을 의미하는 잠재적 위협 요인이다.
- [뉴스페이스] 과거 정부 주도의 우주개발 개념인 '올드스페이스(Old Space)' 모델에서 민간기업이 신규시장을 개척하는 '뉴스페이스(New Space)' 모델로의 패러다임 전환으로 민간 우주개발 참여가 확대되면서 우주개발 진입장벽이 낮아지고 있다.
- [정책] '18년 2월 제3차 우주개발진흥기본계획(18~40)에서 '30년까지 국가위성 민간기업 주도개발 목표를 제시하였다. 이를 위해 우주개발지원 관련 '우주혁신 생태계 조성', '우주산업 육성과 우주일자리 창출'의 2개 전략을 수립하였다. '21년 6월 제3차 우주개발진흥기본계획(수정)에서 국내에 축적된 고체추진기술을 활용하여 민간주도 고체연료 기반 소형발사체를 제작하여 '24년에 발사하는 것을 제시하였다.
- [비중] '20년 우주산업실태조사에 따르면, 전체 449개 우주관련 기관 중 위성활용 서비스 및 장비분야 참여기관이 204개로 가장 높은 것을 알 수 있다. 분야별로 보았을 때도 가장 큰 비중을 차지하는 것은 위성활용 서비스 및 장비 분야로 68.5%(2조 6,656억원)이며, 위성체 및 발사체 분야는 24.1%(9,399억원)으로 조사되었다. 우주분야 투자액은 3,154억원으로 전년 대비 33%(783억원) 증가하였으며, 시설투자비 증가가 주요 증가원인으로 분석되었다.
- [역할] '22년 누리호 발사 성공을 계기로 민간 주도 우주산업 시대로의 전환이 가속화될 전망이다. 누리호 개발 프로젝트는 개발 초기 단계부터 민관 협력 방식으로 진행되었다. 대표적인 참여 기업으로는 누리호 체계 총조립을 맡은 한국항공우주산업

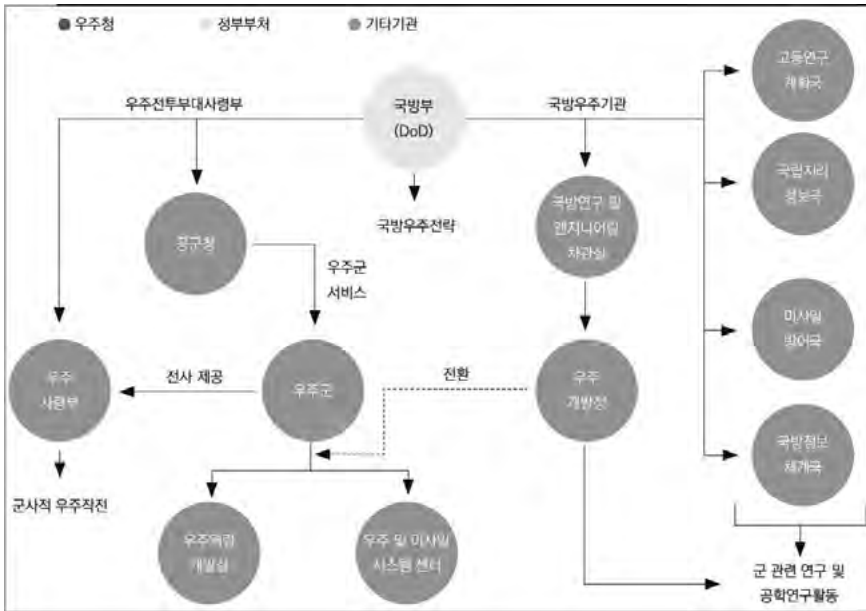
(KAI)과 엔진 조립을 맡은 한화에어로스페이스, 발사대 시스템 제작과 구축에 참여한 현대중공업이 있다.

- **[민군기술협력]** 국과연이 민군기술협력 전담기구로 '99년부터 민군기술협력 및 상호 기술 이전을 위해 산업부와 협력을 추진해왔다. '21년 12월 발족된 민간 주도 우주산업 소부장 발전협의회에도 참여해 산업부의 우주산업 소부장 발전협력을 지원하고 있다.

2. 국 외

가. 국외 환경(미국)

- 우주 분야에서의 상업 활동을 위한 규제개혁 조치 단행하고 있다.
- '18년 3월, 트럼프 행정부의 미국 최우선 정책(America First Policy)에 따라 군사 부문 우주정책 수정과 상업 규제정책 개혁을 통해 우주 분야 자국이익 최선 보호 내용이 포함된 '새로운 우주 전략'을 발표하였다.
- '19년 9월, 발사 관련 지침 및 규정 개정을 위해 '우주 핵 시스템을 활용한 우주선의 발사에 관한 대통령 각서(Presidential Memorandum)'를 발표하였다.
- '20년 5월 상무부 원격탐사 분야 민간 사업자 면허 취득 절차를 간소화하는 내용이 포함된 규정을 발표하였다.
- '2020 국방우주전략(2020 Defense Space Strategy)', 국방우주 관련 향후 10년간의 주요 목표를 발표하였다.
- '20년 2월, 우주군, 통신위성에 대한 비전을 담은 백서 발표 및 전략을 제시하였다



〈그림 8〉 미국의 국방우주 거버넌스
(출처 : Government Space Programs, Euroconsult(2020))

나. 국외 환경(미국 이외 국가)

- [중국] '20년 제14차 5개년 계획(2021-2025), 우주정거장 '톈궁'을 비롯한 우주탐사 활동, 발사 서비스 산업 등 우주산업 전반의 발전계획을 제시하였다.

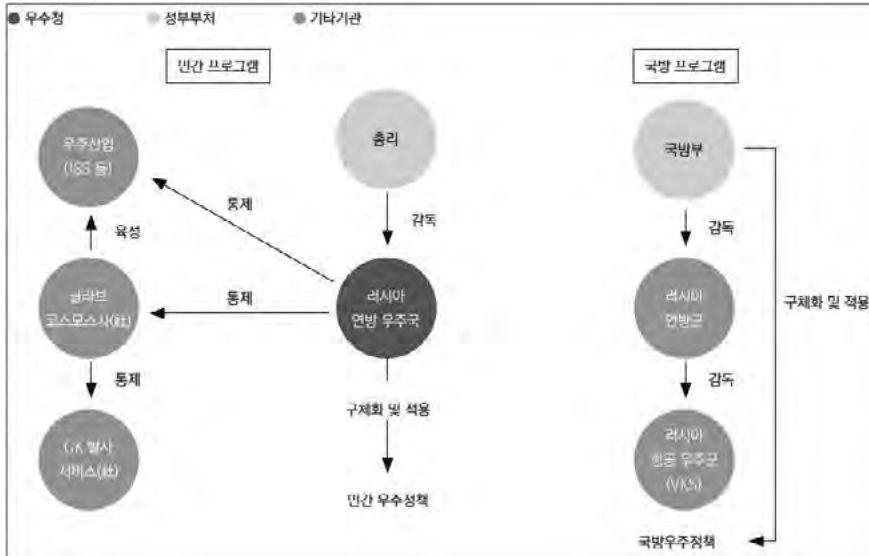
우주 산업 관련 주요 전략

일대일로(一帶一路) : SIC(Spatial Information Corridor)로 명명된 우주 인프라 통합 계획, 일대일로 대상 국가 상대 지구관측, 위성통신, 위성항법 분야의 우주 인프라 통합을 목표로 함.

신규 우주 인프라 구축 : '20년 4월 국가발전개혁위원회(National Development and Reform Commission, NDRC)는 신규 인프라 목록(위성 인터넷, 5G 및 사물인터넷 포함) 발표하여 전략적 중요성을 부각하였음.

중국제조(中國製造) 2025 : 핵심기술 국내 제조 역량 강화 목표로 지난 '15년부터 추진 중인 산업고도화 전략으로 우주 분야를 중요 대상으로 분류. 서방 국가들의 견제로 인한 상당한 제약이 존재

- **[러시아]** '20년 New Regulation on Licensing in the Field of Space Activities 제정하여 Roscosmos (연방우주청) 지원 및 스타트업(Start-Up) 육성을 위한 지원 방안을 제시하였다.



〈그림 11〉 러시아의 우주 거버넌스
 (출처 : Government Space Programs, Euroconsult(2020))

- **[유럽연합]** '20년 3월, 기존 Space19+ 결의 사안 이행 및 우주산업 Value-Chain 지원 계획을 발표하였다.

다. 우주기술 개발사업

- **[미국]** 지난 수년간 NASA의 발사 활동은 심우주 탐사 및 국제우주정거장(International Space Station, ISS)에 인원 수송 및 물자 보급을 위한 지구저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 임무에 초점을 맞추고 있으며, 이러한 기조는 당분간 계속될 전망이다.
- **[중국]** 발사체의 경우 강력한 액체 추진체 로켓 개발 외에 재활용 로켓을 개발하려는 노력을 기울이고 있음. 방송통신위성의 경우 지난 5년간 큰 폭의 예산 증가가 있었으며, 주로 통신 위성군을 구축에 투자가 이루어지고 있다.
- **[일본]** 발사체 분야의 경우 계속된 독자적인 발사 능력을 확보하려는 노력으로 상당에 다다른 것으로 평가됨. 군사목적의 정찰위성의 경우 '98년 북한의 탄도미사일 발

사에 대응하기 위한 정보수집위성 개발 사업을 시작한 이후 현재 총 6기(광학, 레이더 위성 각 3기)의 위성을 운용하고 있다.

- **[러시아]** 최근 예산 삭감 및 잦은 발사 실패로 인해 제품군 간소화를 진행하고 있음. 중형급 발사체 소유즈(Soyuz) 5는 '22년 서비스를 목표로 기존 발사체 대비 20% 비용 절감을 통해 스페이스엑스(SpaceX)와 경쟁을 추진하고 있다.



〈그림 12〉 소유즈 5(출처 : spacewatch.global)

- **[유럽연합]** '22년 발사를 목표로 아리안(Ariane) 6 발사체를 개발하고 있음. 마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW) 기법과 알루미늄-리튬 소재 등의 적용을 통해 고성능/저비용 달성을 목표로 하고 있다.



〈그림 13〉 아리안 6(출처 : www.esa.int)

라. 우주기술 개발동향

- **[발사체 분야]** 복합재 부품의 사용 확대와 마찰교반 용접 등 혁신적인 제조 기술 도입을 통해 경량화를 달성하는 방법으로 고성능/저비용을 추구하고 있다.



- LH2 tank and LOX tank to store and provide liquid propellant and transfer loads from and to adjacent structures
- Mechanical I/F to
 - ULPM ITS for both tanks, LOX tank via X-/Y-shaped LOX attachment structure segments
 - Launch vehicle adapter (LVA): LH2 tank
 - Engine thrust Frame (ETF): LOX tank
 - Additional: fluid and pressure lines and other equipment
- Delivered tanks consist of:
 - Cylindrical parts
 - Upper and lower bulkheads
 - Note: cylindrical section for LOX tank is small and thus, integrated in the bulkhead. As a result, no separate cylinder is included
- All parts consist of aluminium alloys and all connections are friction stir welded, with the exception of the interface LOX lower C-Ring to lower skirt
 - AA2195: cylinder and dome segments
 - AA2219: Y-rings, manhole cover, and manhole flanges
- Other delivered main parts are the manhole covers, which are fixed with a bolted connection to manhole flanges. The final assembly will be done by the customer.

〈그림 14〉 아리안 6 LH2와 LOX 탱크에 적용된 Al2129 알루미늄-리튬 합금 및 마찰교반 용접 적용 부위²⁾

- **[위성 분야]** 위성본체의 무게 및 부피 절감과 탑재체 추가 여력 확보를 통해 하나의 위성에서 다양한 임무를 수행하도록 하기 위한 노력을 기울이고 있음. 이와 같은 임무 수행에 필수적인 자이로, 별 추적기 등의 센서 기술 개발을 활발히 진행 중에 있다.
- **[우주탐사 분야]** 센서 및 운영 기술이 고도화되고 있으며, 효율적인 추력기 개발, 우주환경 측정 등을 지속적으로 추진하고 있다.

마. 민간분야의 비중과 역할

- **[정책]** '20년 5월 美 상무부는 원격탐사 분야 민간 사업자의 면허 취득 절차 간소화와 관련된 규정을 발표하였다. '16년 일본은 제3차 우주기본계획에서 민간 사업자 우주개발사업 진출 촉진제도 입법 계획을 제시하였다. 동 법령에 근거하여 민간기업의 발사사업은 정부의 허가제로 운영되고, 총리의 허가 아래 민간 발사장의 운용이 가능해졌다. 유럽연합은 '16년 'Towards Space 4.0 for a United Space in Europe' 지침을 채택하여 민간분야의 성장과 참여 제고의 필요성을 강조하였다.
- **[비중]** '21년 세계 우주 경제에서 민간 수요가 차지하는 비중은 80.1%에 달하는 등 우주 산업은 민간 분야에서 지속적인 성장 추세를 나타내고 있다. 세계 우주 산업의 규모는 '16년 299조원에서 '19년 367조원으로 연평균 3.46%씩 성장하는 중이다.

2) 박재성, Ariane 6 발사체 구조 분야 개발 현황, 한국항공우주연구원.

- **[역할]** NASA는 '14년 국제우주정거장 우주인 수송을 위해 SpaceX社를 비롯한 민간 개발사와 발사 서비스 위탁계약을 체결하였다. SpaceX社는 또한 '15년 저궤도 위성통신 사업인 StarLink 프로젝트를 발표하였다. '19년 5월과 11월 각각 테스트용 위성 60기를 Falcon 9 로켓에 탑재하여 발사에 성공하였고, 현재 상업적으로 서비스를 제공 중이다. Amazon社는 '19년 초에 Kuiper 프로젝트를 발표하였고, 지상 600km 저고도에 총 3,236개의 위성을 배치하여 인터넷서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 이외에도 위성영상 등에서도 다수의 서비스를 제공하는 업체가 있다.
- **[민군기술협력]** SpaceX社의 StarLink는 우크라이나전에서 주요 통신수단으로 사용되고 있다. StarLink는 우크라이나 최전방에서 거의 유일하게 인터넷 서비스를 제공하고 있다. 이처럼 민군겸용의 성격을 지닌 우주공간에서의 상업적 활동의 확대는 사실상의 군사정보활동을 의미한다.

3. 기술수준 및 격차

가. 우주발사체 개발 및 운용

- 미국은 모든 분야에서 최고 수준의 기술보유국으로 분석된다.

〈표 7〉 우주발사체 개발 및 운용 주요국 기술수준

(출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원(2020))

국가	기술수준		
	수준(%)	격차(년)	그룹(점수)
미국	100	0	최고(4.00)
중국	85	8	추격(3.22)
일본	85	8	추격(3.00)
유럽연합	92	4.5	선도(3.78)

나. 우주환경 관측 · 감시 · 분석

- 미국은 모든 분야에서 최고 수준의 기술보유국으로 분석된다.

〈표 8〉 우주환경 관측·감시·분석 주요국 기술수준
(출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원(2020))

국가	기술수준		
	수준(%)	격차(년)	그룹(점수)
미국	100	0	최고(4.00)
중국	75	5	추격(3.20)
일본	79	7	추격(2.90)
유럽연합	87.5	3	선도(4.00)

다. 우주탐사 및 활용

○ 미국은 모든 분야에서 최고 수준의 기술보유국으로 분석된다.

〈표 9〉 우주탐사 및 활용 주요국 기술수준
(출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원(2020))

국가	기술수준		
	수준(%)	격차(년)	그룹(점수)
미국	100	0	최고(4.00)
중국	82.5	6.8	추격(3.20)
일본	84	5	추격(3.40)
유럽연합	90	3	선도(4.00)

Ⅲ. 우주작전(전력)별 우주무기체계 소요/기술 분석

1. 국방우주분야 핵심 개념 및 정의

가. 우주력(Space Power)

○ 국방우주분야에서 흔히 언급되는 우주력은 美 국방부의 정의를 따르면 “전·평시 국가 목표 달성을 위해 외교, 정보, 군사 및 경제 활동에 대한 국가적 우주활용 능력

의 총합”이다.³⁾

- 우주력의 특징은 국제법의 제약없이 장기간 운용할 수 있는 우주자산을 활용하여 지구 상공 어느 곳이든 비행 가능하며, 이를 통해 범세계적인 관점(Global Perspective)을 제공할 수 있다. 군사적 의미에서 볼 때 우주력이 보장된다는 것은 다른 전장영역에서의 행동의 자유를 다양한 방법을 통해 지원하여 가능하게 하고, 국가안보에 기여할 수 있음을 의미한다. 따라서, 우주력은 독자적인 특징을 가짐과 동시에 타 군사력과 국가기관과 통합될 때 잠재력이 극대화됨을 알 수 있다.⁴⁾
- 다만, 우주력이 발휘되기 위해서는 우주의 활동을 지원하는 체계가 필요하며 이는 우주영역에 위치한 장비와 지상에 위치한 장비, 그리고 두 장비를 연결하는 수단을 의미한다.

나. 우주작전(Space Operation)

- 우주작전은 정치적, 군사적 목적을 달성하기 위해 우주력을 활용하여 우주우세를 확보 및 유지하는 모든 군사 활동을 의미하며, 쏘 영역에 대한 작전수행을 지원하고 적대세력이 우주공간 및 자산을 활용하여 아군의 군사작전을 제한시키는 행동을 거부하고 억제하기 위해 수행한다.
- 또한, 우주에서나 우주를 통해 인공위성 등 다양한 우주자산을 활용하거나 이를 기반으로 수행하는 제반 군사활동을 통칭한다.
- 우주작전은 우주체계, 지상체계, 연결체계 등 우주와 관련된 자산과 능력을 포괄하며, 우주공간에서 수행하는 군사활동 뿐만 아니라 우주를 활용하는 모든 군사적 활동을 의미한다.

다. 우주우세(Space Superiority)

- 우주우세는 “우주영역에서 적을 포함한 외부로부터 방해받지 않고 자유롭게 우주작전을 수행할 수 있는 상대적인 행동의 자유를 확보한 상태로 적의 우주이용은 거부하고 아군의 우주활동을 보장하는 것”으로 정의된다.⁵⁾

3) United States Department of Defense, “Defense Space Strategy”, 2020. pp. 2.

4) 대한민국공군, “우주작전”, 2020.

5) 대한민국공군, “스페이스오랫세이”, 2021.

2. 우주작전 분류체계

가. 현재 국방부, 합참에서 통용되는 우주작전 분류체계는 크게 4가지 우주작전으로 분류된다.

나. 우주영역인식(Space Domain Awareness, SDA)

- 과거 우주상황인식(Space Situation Awareness)에서 발생하는 상황에 국한된 개념을 확장한 것으로 우주 및 지상 기반 감시 수단을 이용하여 자국 상공의 우주영역을 감시하는 작전이다.
- 작전개념은 우주작전 또는 국가안보·경제·환경에 영향을 미칠 수 있는 우주와 관련된 모든 요인의 효과적 식별 및 특성 등을 파악하는 활동으로, 지상 및 우주배치 감시체계를 활용하여 한반도 상공을 통과하는 위성의 활동 감시 및 위성 간 충돌위험 예측을 수행하며, 우주 잔해물의 지표면 추락에 대한 예보 등 우주물체에 대한 감시까지도 포함한다.
- 또한, 태양, 전리층, 지구자기장 등 민간 뿐 아니라 군사력 운용에 영향을 줄 수 있는 우주기상 변화에 대한 예·경보 임무 수행도 포괄한다.

다. 우주정보지원(Space Intelligence Support)

- 우주자산을 활용하여 생산된 다양한 정보 및 정보 중계능력을 타 전력에 지원하는 작전으로 감시정찰·통신·기상·항법·조기경보 등의 위성 등의 우주자산에 의해 생산된 정보를 적시에 육·해·공 작전에 지원한다.
- 작전개념은 지·해상 영역에 대한 감시·정찰을 통해 다양한 영상 및 신호정보 수집, 광역 원거리 통신망 지원 및 위성정보의 중계 등을 수행하며, 원거리 항법과 정밀폭격 등을 위한 위치, 항법, 시간(Positioning, Navigation, Timing, PNT) 정보와 적의 다양한 미사일에 대한 위협탐지 및 대응 경보를 제공한다.

라. 우주전력투사(Space Power Projection)

- 발사체 등을 활용하여 우주기반 능력 유지를 위한 우주자산을 우주공간으로 투사하는 작전이다.
- 작전개념은 우주전력의 우주공간 배치, 유지 및 보강을 위해 발사체, 비행체 등을 이용하여 군사작전에 필요한 인력 및 자산을 우주공간으로 이동시킨다.

마. 우주통제(Space Control)

- 민간 우주분야와 가장 대비되는 것으로 우주공간에서 적의 우주우세에 대항하여 아군의 우주우세를 달성하기 위해 공격 및 방어 작전을 수행하는 작전이다.
- 작전개념은 우주영역에 대해 목표하는 통제수준을 달성하기 위한 공세적·방어적 임무의 통합 활동으로 임무는 전략적/작전적/전술적 수준에 따라 수행하며 임무달성을 위해서는 명확한 우주영역인식(SDA)과 적시적인 지휘통제 활동이 뒷받침되어야 한다.

3. 우주전력

가. 요구능력

- 우주전력(Space Power)은 상기한 우주작전을 수행하기 위해 필요한 요구능력(Required Capability)으로서 <표 10>과 같이 분류된다.

<표 10> 우주작전 별 우주전력(요구능력)

우주작전	우주영역인식	우주정보지원	우주전력투사	우주통제
우주전력	우주물체감시	위성조기경보	우주발사체	공세적 작전
		위성정찰		
	우주환경감시	위성항법	우주비행체	방어적 작전
		위성통신		
	우주정보융합	위성기상	우주비행체	위성접근
		위성정보		

- 우주영역인식 작전에서 우주물체감시는 우주 및 지상기반 감시 수단을 활용하여 위성 활동 감시, 위성 간 충돌위험 예측, 우주 잔해물 지표면 추락 예보 능력을 의미하고, 우주환경감시는 태양, 전리층, 지구자기장 등 우주기상에 대한 변화를 예·경보하는 능력을 의미하며, 우주정보융합은 우주물체 및 환경감시 정보를 융합하여 제공하고 통합적으로 관리할 수 있는 능력을 의미한다.
- 우주정보지원 작전에서 위성정찰, 위성기상, 위성조기경보는 다양한 영상, 신호, 기상정보 수집, 미사일에 대한 위협탐지 및 대응 경보를 제공하는 능력을 의미하고, 위성통신은 광역 원거리 통신 지원 및 정보중계 능력을 의미하며 위성항법은 원거리 항법 및 정밀폭격 등을 위한 PNT 정보를 제공하는 능력을 의미한다. 마지막 위

성정보는 위성운용과 위성 정보 융합 등 지상체(Ground Segment) 관련 능력을 의미한다.

- 우주전력투사 작전에서 우주발사체 및 우주비행체는 발사체 및 비행체를 이용하여 작전에 필요한 인력 및 자산을 우주공간으로 이동시키는 능력을 의미하며 우주비행체의 경우 스페이스셔틀(Space Shuttle)과 같이 이착륙이 가능한 비행체를 의미한다.
- 우주통제 작전에서 공세적 작전은 지상 및 우주기반 고출력 레이저 등을 활용하여 적의 우주자산에 대해 공격함으로써 적의 우주우세를 적극적으로 제한하는 능력이고, 방어적 작전은 적의 우주자산에 대해 대위성 전파교란, 위성통신 전파교란, GPS 전파교란 등 비물리적 공격을 통해 적의 우주우세를 제한하는 능력을 의미하며, 위성접근은 우주물체 포획 등의 기술을 활용하여 적의 우주자산을 직접적으로 무력화하는 능력을 의미한다.

4. 국방 우주무기체계 소요 현황

가. 각 군별 고려하고 있는 국방 우주무기체계 소요를 고려하여 이를 구축 및 전력화하기 위해 요구되는 기술들을 도출하도록 한다.

나. 육군

- 우주정보지원
 - 후방지역위성통신체계 : 후방의 넓은 작전지역에서 다양한 작전과 통합방위작전 수행을 위해 상용위성으로 전송로를 구성하여 지휘통신을 지원
 - 초연결위성체계(저궤도통신위성군) : 전장상황에서 전투원 및 전투 플랫폼 간 필요한 데이터의 송·수신을 지원

다. 해군

- 우주영역인식
 - 우주영역인식 통합공유체계 : 민관군, 국제 우주감시 정보를 융합, 실시간 분석 및 관리하고, 우주위협과 우주위협에 대해 즉응적인 정보를 전파하며, 탐지체계-C4I 체계-타격체계 등과 연동, 우주위협 및 위협에 대응
- 우주정보지원
 - 위성정보활용체계 : 민간 해양감시 정보를 기반으로 국가급 자산 정보와 연동하

여 다양한 정보를 수집하고, 정보의 융합 및 분석을 통한 결과를 해군 C4I 체계를 통해 제공

- 해양정보함-IV : 한반도 주변 해역 및 원해에서 군사위성을 활용하여 영상/음향/신호정보 수집 전력을 운용하며, 전시 지상 국가위성통합운영센터 피격 시 예비지휘소로 운용
- 초연결 네트워크 위성군 : 해군 무기체계(해양감시체계, 함정전투체계, 해양무인체계, 해상통합교전체계 등)와 네트워크 위성군 간 초연결을 통해 해양감시-지휘결심-타격을 지원하며, 양자 암호화 통신기반 사이버 방호능력을 보장
- 해양감시 군집위성 : 수중 탐색도 지원할 수 있는 다중 센서(SAR, EO/IR 등)를 장착한 초소형 해양감시 군집위성을 통해 국가이익이 미치는 해역에 대한 실시간 감시 및 획득한 정보를 융합, 분석

○ 우주전력투사

- 해상 우주발사체계 : 해상 발사전용함정에 발사체를 탑재하여 원하는 발사해상에서 우주무기체계를 저궤도로 투사, 궤도 추적 및 통제

○ 우주통제

- 위성요격유도탄 : 함정(KVLS 또는 KVLS-II)에 위성공격용 유도탄을 탑재하여, 전투체계와 연동, 유사시 적 저궤도 군사위성을 통한 감시·정찰 능력을 제거

라. 공군

○ 우주영역인식

- 전자광학위성감시체계 : 한반도 상공 통과 인공위성 탐지 및 우주물체 감시
- 우주기상 예·경보체계 : 우주기상 관측 및 분석을 통한 우주기상 감시 및 군작전 지원
- 고출력레이저위성추적체계 : 한반도 상공 통과 인공위성 탐지 및 우주물체를 감시하고, 적성 위성에 대한 고출력 레이저 조사를 통한 능동적 Soft Kill을 수행 (현재 민간에서 진행되고 있는 한국형위성항법체계[KPS] 개발 및 운영 시 정밀궤도 보정도 지원)
- 레이더우주감시체계 : 한반도 상공의 인공위성 등 우주물체에 대한 24시간 전천후 광역우주감시 및 추적을 수행하며 민간 우주감시자산과 위성정보 공유를 통한 민간 협력으로 우주감시 수행

○ 우주정보지원

- 초소형위성체계 : 북한의 전방위 위협에 대한 신속대응체계를 구축하고, 한반도 전

역 및 주변 해역의 신속한 위기상황을 감시

- 조기경보위성체계 : 정지궤도 위성(IR 센서 탑재) 활용, 발사원점을 탐지(이동식 발사대 위치정보 제공)하고, 탄도미사일 비행정보(위치, 속도, 궤적) 추적 후 레이더(지/해상)에 제공
- 군용 한국형위성항법체계(KPS) : 한국 독자 위성항법 서비스를 제공하며, 기존 시스템을 비롯한 美 우주군과의 상시 협력 체계 유지 및 상호운용성 보장

○ 우주전력투사

- 공중발사체 : 대형 민항기 활용 적시에 우주로 전력을 투사할 수 있는 공중발사체 개발 및 운용

○ 우주통제

- 對위성재밍체계 : 한반도 상공에서 활동하는 적성 위성에 대해 유사시 아군에 대한 정찰활동(SAR 전자정보 수집)을 거부하고, 적 통신위성 교란으로 아군 작전여건 보장

5. 분석 대상 국방 우주무기체계 도출

- 국방 우주무기체계 소요 현황을 바탕으로 구현가능성, 중장기 소요를 고려하되, 군용 한국형위성항법체계(KPS)과 같이 민간에서 주관하여 추진중인 것들은 제외하여 <표 11>와 같이 20개의 분석 대상 국방 우주무기체계를 도출하였다.

<표 11> 분석 대상 국방 우주무기체계

우주 작전	우주전력	No	우주무기체계	설명
우주 영역 인식	우주물체감시	1	고출력레이저위성추적체계	고출력 레이저를 통한 인공위성 및 우주 물체 감시
		2	레이더우주감시체계	전자기파를 통한24시간 전천후 광역우주감시 및 추적
	우주환경감시	3	우주기상예경보체계	우주기상 감시 및 군작전 지원
	우주정보융합	4	우주영역인식통합공유체계	민관군,국체 우주감시 정보 융합,실시간 분석 및 관리,전파
우주 정보 지원	위성조기경보	5	탄도탄조기경보위성	정지궤도 위성(IR)활용 발사원점 탐지, 탄도미사일 비행정보(위치,속도, 궤적)추적 후 레이더(지해상)제공
	위성정찰	6	군정찰위성	다목적 실용위성급 고해상도EO/IR/SAR원격탐사위성

		7	초소형위성체계	한반도 전역 및 주변 해역의 신속한 위 기상황을 감시하고 신속대응체계 구축
		8	초저고도정찰위성	초고해상도 영상획득을 위한 초저고도 궤도위성
	위성통신	9	군위성통신체계	감시정찰자산, 지휘관, 전투원과 전투플 랫폼 간 실시간 초연결 네트워크를 구성 하여 전영역 동시통합 작전 지원
	위성기상	10	기상위성	정지궤도 위성 활용 한반도 전역 및 주 변 해역의 기상정보 획득 및 전파
	위성정보	11	위성정보활용체계	다양한 위성정보의 수집, 정보융합 및 관 리, 군C4I체계와 연동
우주 전력 투사	우주발사체	12	군용위성지상발사체	군용위성의 궤도투사를 위한 지상발사 체(0.5t, 1.0t급)
		13	초소형위성공중발사체	대형 민항기 활용 적시적 우주전력투사
		14	해상우주발사체	해상에서 우주무기체계를 저궤도로 투 사
	우주비행체	15	우주비행체	스페이스셔틀과 같이 궤도에 우주자산 을 투사할 수 있으며 이착륙이 가능한 비행체
우주 통제	공세적 작전	16	위성요격레이저무기	한반도 상공 적성위성 정찰능력을 무력 화할 수 있는 지상기반 레이저
		17	우주기반레이저무기	적성위성 정찰능력을 무력화할 수 있는 궤도에 위치한 우주기반 레이저
	방어적 작전	18	대위성재밍체계	적 및 잠재적 위협의 통신, 감시정찰위 성에 대해 재밍을 통해 아측 관측정보수 집을 차단
	위성접근	19	폐위성잔해물 제거우주비 행체	궤도상 폐위성에 접근, 포획, 제거
		20	위성수명연장용우주비행체	아측 위성의 수명연장을 위해 접근, 도 킹, 연료주입 등 궤도상 서비스 수행

6. 소요기술 도출 및 분석

가. 현실태 분석

- 현재 국방우주분야에서는 민간 우주분야 기술 및 활용성 확대에 따라 국방우주분야의 전략적 목표보다는 각 군별 특정 우주기술에 근거한 국방 우주무기체계를 도출하고 이에 중점을 둔 기술 소요를 제안함에 따라 국방우주 전략적 목표 및 합동전략 목표와의 일관성 분석이 미비한 실정이다.

- 따라서, 국방우주분야의 전략적 목표 및 합동전략 목표에 근거한 전반적인 우주기술에 대한 전체적인 고려 및 분석이 미흡하다.
- 또한, 기존 국방우주 기술트리(Technology Tree)나 기술로드맵(Technology Roadmap)을 도출한 사례도 전무한 실정이다.

나. 소요기술 도출 및 분석 시 고려점

- 국방우주분야 소요기술은 특정 우주기술에 중점을 두기보다 국방우주분야 전략적 목표를 달성할 수 있는 방향으로 도출되는 것이 바람직하다.
- 현재 각 군별 고려하고 있는 국방 우주무기체계에 필요한 Bottom-up 방식의 우주기술보다는 국방우주분야 전략적 목표에 근거한 경우 간과된 요구되는 우주기술이 있을 수 있으므로 전반적인 우주기술을 포괄적으로 고려할 수 있어야 한다.
- 이를 위해 우주기술에 대한 체계적인 기술트리를 우선적으로 정립하는 것이 필요하다.
- 체계적으로 정립된 기술트리를 바탕으로 국방우주분야의 전략적 목표-우주작전(전력)-우주무기체계-기술로 이어지는 관계성(정성적 매핑, Qualitative Mapping)을 통한 Top-down 분석이 요구된다.
- 정성적 매핑 외 정책성, 민간 기술과의 중복성, 교육용이성 등 국방우주분야에 특화된 추가적인 분석 방향을 정립하고 반영하도록 한다.
- 민간에서 최근 도출된 우주기술로드맵⁶⁾에서 제시한 우주기술의 경우 국가 우주개발계획에 요구되는 우주기술에 중점을 두고 있으므로 이와 차별화된 국방우주분야 전략적 목표에 요구되는 우주기술에 중점을 두도록 한다.
- 또한, 국방우주분야 전략적 목표는 향후 변경, 수정, 보완될 수 있으므로 소요되는 국방 우주기술의 변화를 신속하게 반영할 수 있도록 한다.

다. 국방우주 기술트리 도출방안

- 최초 국방우주 기술트리 도출을 위해 민간에서 진행되어 온 전반적인 우주기술 분류체계를 우선적으로 고려한다.
- 민간에서는 2002년에 작성된 국가기술지도⁷⁾를 시작으로 제2차 우주개발진흥 기본계획⁸⁾시기 전까지 체계적인 우주기술 분류체계를 정립하기 위해 노력하였다.

6) 국가 중점우주기술 개발 로드맵 2.0(안), 과학기술정보통신부, 2018.

7) 국가기술지도, 한국연구재단/과학기술정보통신부, 2002.

8) 제2차 우주개발진흥 기본계획, 과학기술정보통신부, 2011.

- 그 이후 국가 우주개발 계획에 중점을 둔 우주기술을 도출하고 로드맵 작성을 진행하였다.
- 즉, 국가우주기술전략지도⁹⁾, 우주기초핵심기술 개발사업¹⁰⁾ 시까지 전반적인 우주기술을 다룬 반면 그 이후는 국가 우주개발 계획에 중점을 둔 우주기술에 초점을 두으로써 국방우주분야 전략적 목표와는 상이할 수 있다.
- 국방우주분야에 중점을 두고 분석하기 위해 우주기초핵심기술 개발사업을 통해 정립된 전반적인 우주기술 분류체계인 국가우주기술 분류체계를 기준점으로 하여 국방기본정책서¹¹⁾와 최근 수행된 국방 우주기술 관련 정책연구보고서¹²⁾를 참고하여 국방우주 기술트리를 도출한다.

라. 민간 우주기술 분류체계 추진경과

- 국가기술지도(2002년)
 - 5개의 비전을 제시하고 우주항공 기술은 국가안전 및 위상제고 비전에 포함
 - 10년 후(~2012년)까지 반드시 개발해야 할 핵심기술 도출
 - 우주분야 핵심기술 분류 : 위성체 개발기술, 위성탑재체 기술, 저궤도 위성 발사체 개발기술, 액체추진기관 개발기술
 - 핵심기술 1차분류 대상의 2차~4차 분류 기술의 개발에 대한 로드맵 작성
- 국가우주기술전략지도(2006년)
 - 국가기술지도를 기반으로 위성체, 탑재체, 위성정보 및 임무·활용, 발사체, 액체엔진 등 분야별 국가우주기술 분류체계(안) 작성
 - 국가우주기술분류(안)에서는 우주기술을 4단계로 분류하였으며 4차 분류(세부기술)는 총 1,035개 기술로 정리
- 우주기초핵심기술 개발사업(2007년)
 - 우주기초원천기술에 대하여 정의하고 해당 기술을 분류하였으며 국가우주기술분류(안)을 바탕으로 분야별 핵심우주기술을 분석
- 제2차 우주개발진흥 기본계획(2011년)
 - 미확보 기술 중 계획 기간('12~'16) 동안 중점적으로 확보해 나갈 핵심기술 분류
- 국가 우주기술 완성도 분석(2012년)

9) 국가우주기술전략지도, 한국연구재단/과학기술정보통신부, 2006.

10) 우주기초핵심기술 개발사업, 한국연구재단, 2007.

11) 국방우주정책서-부록(우주전력 관련기술), 국방부, 2019.

12) 한국천문연구원, "국방 우주기술 추진전략 수립 관련 정책연구", 국방과학연구소 정책연구, 2020.

- 제2차 우주개발진흥 기본계획 수립 시 제기된 의문에 대한 해답을 찾기 위해 연구 수행
 - 제기된 의문점 : 우리나라 우주기술 수준, 위성 프로그램의 프로젝트별 우주기술 획득 현황, 선진국 대비 98% 기술수준인 분야에 추가적인 예산 투자 필요 여부, 중장기적 우주기술 발전 방향성
 - 연구내용 : 국가 우주기술 분류체계 확립, 기술 완성도 측정지표 확정(Technology Readiness Level, TRL), 국가 우주기술에 대한 완성도 분석, 우주기술로드맵 작성
- 국가 중점우주기술 개발 로드맵 2.0(안)(2018년)
- 제3차 우주개발진흥 기본계획('18.2.)에 따른 발사체, 달탐사 일정조정, 변화된 비전과 목표를 반영한 새로운 기술로드맵 작성이 필요함에 따라 기존 대한민국 200대 중점우주기술 개발 로드맵('17.2.)을 수정·보완
 - 기술선정 기본방향 : 기본계획의 임무달성 중심, 전략적 수요반영 강화, 기술로드맵 이행·관리 강화
 - 중점기술 235개 선정 : 발사체 124개, 위성 85개, 우주관측탐사 26개 선정

마. 소요기술 도출 및 분석 결과

- 상기 소요기술 도출 및 분석 시 고려점, 국방우주 기술트리 도출방안을 고려하여 분석 대상 20개 국방 우주무기체계에 필요한 핵심기술 101개를 <표 12>에 나타난 바와 같이 도출하였다.

<표 12> 국방 우주기술

우주 작전	우주전력	우주무기체계	No	우주기술
우주 영역 인식	우주물체감시	고출력레이저 위성추적체계	1	Physics-Based Modeling기술
			2	초고속 샘플러 기술
			3	극초단 펄스폭 고출력 레이저 기술
			4	고정밀 궤도결정 기술(레이저 이용)
		레이더 우주감시체계	5	다중빔 동시 추적기술
			6	광역 스캔 기술
			7	초대형 고출력 능동위상배열 안테나 기술
			8	디지털 빔형성 기술
			9	고속 다표적 식별 및 정밀추적 기술
			10	전리층 전파 특성 반영 기술

우주 정보 지원	우주환경감시	우주기상 예경보체계	11	전리층 레이더 관측시스템 기술
			12	전리층 전파특성 예측 기술
			13	지자기 교란 예측 기술
			14	우주기상 시뮬레이션 기술
	우주정보융합	우주영역인식 통합공유체계	15	우주물체 정밀궤도 분석 기술
			16	우주물체 추락/근접 예측 기술
			17	분산공통지상체 기술
	위성 조기경보	탄도탄 조기경보위성	18	다파장 적외선 검출기 시스템 기술
			19	발사점/비행궤적 추경 및 탄착지역 예측 기술
	위성정찰	군정찰위성	20	IR탐재체 설계 기술
			21	대구경 경량화 고정밀 광학계 기술
			22	초분광 광학계 기술
			23	우주용 고밀도 검출기 기술
			24	SAR소형경량 전개형 안테나 기술
			25	우주 복사특성에 강건한ASIC기술
			26	SAR고해상도 영상 형성 기술
		초소형 위성체계	27	군집위성 네트워킹 기술
			28	경량·초소형 제작·조립 및 체계성능 평가 기술
			29	저비용·경량·초소형 탑재체 설계·제작 기술
			30	위성편대 운용 기술
			31	위성간 통신 기술
			32	빅데이터 구축/분석 및시기술
			33	초소형 위성영상 해상도 향상 기술
			34	실시간 대용량 영상분석 자동화 기술
			35	인공지능 기반 고정·이동표적 영상 인식기술
			36	고출력SSPA,저손실LNA기술
		초저고도 정찰위성	37	신호처리 및 증폭장치 기술
			38	초저고도 궤도 유지 기술
	39		초저고도 대기모델 예측 기술	
	위성통신	군위성 통신체계	40	우주 통신 보안 기술
			41	암호화 기술
			42	다채널 고속 송수신 기술
			43	위성간 광통신 기술
			44	레이저 활용 위성 데이터 통신 기술
	위성기상	기상위성	45	대기권 관측기기 기술
			46	대기 모델 생성 기술

위성정보	위성정보 활용체계	47	정찰위성군 임무계획 및 운용기술	
		48	원격측정 경향분석 기술	
		49	고속 정밀궤도결정 생성기술	
		50	고속 정밀자세결정 생성기술	
		51	고밀도 우주잔해의 관제장애 해소 기술	
		52	고속 직저장 기술(1Gbps이상)	
		53	다중위성 수집계획 최적화 기술	
		54	하이 스캔트SAR영상 처리기술	
		55	고속EO/IR, SAR영상처리(방사/기하보정)기술	
		56	다중SAR영상을 활용한 비접근지역 정밀위치결정기술	
		57	위성GMTI처리 기술	
		58	고해상도 위성영상의 고정표적 및 특정 구조물 인식 기술	
		59	이기종 영상 자동정합 기술, 실시간 다차원 영상 융 합 및 판독 분석 기술	
		60	자동 변화탐지 기술(SAR, EO/IR)	
		61	EO/IR및SAR영상 자동 표적탐지 및 식별 기술	
		62	표적 종류별DB검증기술(SAR)	
		63	고클러터(도심지)상황에서의 표적/ 클러터 분리 기술	
		64	X-밴드 데이터링크 안테나 기술	
		65	고속 데이터링크 수신기(복조기)기술	
		66	이동형 데이터링크 수신 안테나 기술	
67	신호처리 및 지상 검보정 기술			
우주 전력 투사	우주 발사체	군용위성 지상발사체	68	발사대 시스템 기술
			69	추진기관 시스템 기술
			70	엔진 시스템 기술
			71	항법 유도, TVC(추력편향제어), RCS(반동제어시스템)기술
			72	열,공력 제어 기술
			73	액체 추진기관 추진제 공급 기술
			74	공중발사체 내부 탑재 기술
	초소형위성 공중발사체	75	공중발사체 하부 장착 기술	
		76	공중발사체 분리조건 해석 기술	
		77	공중발사체 사출 및 안정화 기술	
		해상 우주발사체	78	발사체 선박 운용 기술

	우주 비행체	우주비행체	79	장기간 우주체공 기술
			80	스크램젯(Scramjet)기술
			81	재진입 모듈의 열차폐시스템(TPS)기술
	공세적 작전	위성요격 레이저무기	82	지상용 고출력 레이저 기술
			83	지상용 레이저 광학계 기술
			84	고속 추적 마운트 기술
			85	EO/IR센서 레이저Dazzling기술 (우주기반레이저무기에도 활용)
			86	EO/IR센서 레이저Blinding기술 (우주기반레이저무기에도 활용)
			우주기반 레이저무기	87	우주용 고출력 레이저 기술
		88		우주용 레이저 광학계 기술
		89		우주용 고전압 생성 기술
방어적 작전		대위성 재밍체계	90	정밀궤도추적 기술
	91		SAR센서 전파교란 기술	
	92		SIGINT센서 전파교란 기술	
	93		통신중계기 전파교란 기술	
	94		잡음신호 생성 기술	
	95		GPS수신기 전파교란 기술	
우주 통제	위성접근	폐위성잔해물 제거우주비행체	96	로봇팔 설계/제작 기술(우주물체 포획용)(연료 재 보급,수리부속 교체용 등 위성수명연장용 우주비행 체에도 활용)
			97	정밀 광대부/도킹/운용 기술 (위성수명연장용 우주비행체에도 활용)
			98	우주물체 정밀궤도 결정 기술(근접위성대상) (위성수명연장용 우주비행체에도 활용)
			99	협조/비협조 물체포획 및 제거 기술
			100	대형 대기저항장치 기술
	위성수명연장용 우주비행체	101	영상촬영 및 실시간 전송 기술	

○ 각 기술에 대한 설명을 표 13에 제시하였다. 표 13에는 다음 장의 주요 내용인 주요 중점기술 도출 시 추가 고려점, 즉, 정책성, 중복성, 교육용이성 분석을 위한 관련 정보를 포함하였다.

- 정책성 정보는 한국천문연구원에서 수행한 국방과학기술연구소 정책연구 과제인 “국방 우주기술 추진전략 수립 관련 정책연구”에서 제시된 기술(정책성1, ①), 국방우주정책서-부록(우주전력 관련기술)에서 제시된 기술(정책성2, ②)로 나타내었다.
- 중복성 정보는 과학기술정보통신부의 국가 중점우주기술 개발 로드맵 2.0(안)에

제시된 기술(중복성, ③)로 나타내었다.

- 교육용이성 정보는 각 기술에 대해 교육적용의 용이성과 군사운용분야에 대한 근접도를 고려하여 정성적으로 판단한 기술(교육용이성, ④)로 나타내었다.

〈표 13〉 국방 우주기술 설명 및 추가 고려점

No	우주기술	기술설명	①	②	③	④
1	Physics-Based Modeling기술	고출력 레이저 성능, 민감도 분석, 실험적 검증 등 고출력 레이저에 대한 고신뢰도 모델링 수행을 위한 물리 기반 소프트웨어 개발 기술	√			√
2	초고속 샘플러 기술	고속으로 수신기의 전파신호를 디지털신호로 전화하기 위한 광대역 샘플러 기술	√			
3	극초단 펄스폭 고출력 레이저 기술	고출력20ps펄스폭 레이저를 활용한 SLR(Satellite Laser Ranging)기술	√	√		
4	고정밀 궤도결정 기술 (레이저 이용)	SLR을 활용하여 궤적을 획득하고 궤도를 고정밀로 결정하는 기술	√			√
5	다중빔 동시 추적기술	디지털적으로 여러 개의 빔 동시에 형성하고 조향하여 다수의 표적을 빠르고 정확하게 탐지하는 기술	√	√		
6	광역 스캔 기술	탐지 영역을 설정하고 고속 빔조향을 통해 해당 영역을 스캔하며 감시를 수행하는 기술	√	√		
7	초대형 고출력 능동위상배열 안테나 기술	고출력, 고효율 전력소자 및 전력 증폭 모듈을 적용한 초대형 능동위상배열 안테나 관련 구조 최적화, 방열 등의 기술	√	√		
8	디지털 빔형성 기술	개별 빔의 형태와 방향을 변경할 수 있고 우주 환경에서도 왜곡을 최소화할 수 있는 고신뢰성의 빔형성 장치 기술	√	√		
9	고속 대표적 식별 및 정밀추적 기술	우주물체의 탐지/추적/궤도 결정을 대표적에 대해 고속으로 수행할 수 있는 기술	√	√		√
10	전리층 전파 특성 반영 기술	전리층 관측값을 이용하여 전리층 전자밀도 등의 변화를 예측하고 전파의 산란에 따른 효과를 반영할 수 있는 기술	√	√		√
11	전리층 레이더 관측시스템 기술	전리층의 전자밀도 불균일 영역으로부터 되돌아 오는 신호를 수신하는 관측 시스템 기술	√			
12	전리층 전파특성 예측 기술	전리층 전파특성의 변화에 대한 기존 자료를 바탕으로 예측하는 기술	√	√		√
13	지자기 교란 예측 기술	태양풍 및 지자기 관측값으로부터 지자기 교란 시점과 규모를 예측하는 기술	√			√

14	우주기상 시뮬레이션 기술	태양 활동에 의한 전리층의 전자밀도, 지자기 강도, 플라즈마 밀도 변화 등을 시뮬레이션할 수 있는 기술	√			√
15	우주물체 정밀궤도 분석 기술	우주감시 정보를 통합하여 우주물체에 대한 궤도를 정밀하게 분석할 수 있는 기술	√			√
16	우주물체 추락/근접 예측 기술	우주물체의 관측자료 분석 및 우주/대기 환경을 바탕으로 추락 및 근접 예상 시각과 지점을 예측하는 기술	√			√
17	분산공통지상체 기술	지상체의 기능을 분산해서 배치, 운영하는 기술		√		
18	다파장 적외선 검출기 시스템 기술	다중대역 파장에 적합한 적외선 검출소자, 초점면 배열소자 및 검출기 제작 기술	√			
19	발사점/비행궤적 추정 및 탄착지역 예측 기술	IR 영상과 딥러닝 기술을 활용하여 탄도탄의 발사점/비행궤적 및 탄착지역을 추정, 예측하는 기술	√			√
20	IR 탐재체 설계 기술	극저온 냉각을 포함한 IR 탐재체 설계 기술		√		
21	대구경 경량화 고정밀 광학계 기술	대구경 반사경, 광구조부 설계 기술 및 우주인증 기술	√	√	√	
22	초분광 광학계 기술	표적영상을 미세파장대역으로 분할하여 획득, 처리함으로써 은폐/모의/위장표적 식별능력을 대폭 향상시킬 수 있는 기술	√		√	
23	우주용 고밀도 검출기 기술	IR탐재체 용 적외선 센서 배열에 대한 광학적 기술	√	√		
24	SAR 소형경량 전개형 안테나 기술	복합재를 이용한 경량화 전개형 안테나 기술	√	√		
25	우주 복사특성에 강건한 ASIC 기술	우주배경복사의 특징에 잘 견딜 수 있는 특정용도 용IC(Application Specific Integrated Circuit) 구현 기술		√		
26	SAR 고해상도 영상 형성 기술	SAR 영상에 대해 위성특성, 지형, 대기효과 등에 의해 왜곡되는 전자기파의 오차를 보정하여 고해상도 영상을 형성하는 기술		√		√
27	군집위성 네트워킹 기술	위성간 통신을 통해 지상국에서 교신이 불가능한 위성까지 통신을 가능하게 하는 기술로 위성 내에 스위칭/라우팅 기술을 구현	√	√		
28	경량·초소형 제작·조립 및 체계성능 평가 기술	100kg 이하 경량·초소형 위성 제작 및 인증을 위한 체계성능 시험평가 기술		√		√
29	저비용·경량·초소형 탐재체 설계·제작 기술	경량·초소형 위성의 탐재체에 사용되는 부품의 설계 및 제작 기술		√		√
30	위성편대 운용 기술	다수의 위성을 근접하여 운용하여 시스템의 신뢰도를 향상하거나 파노라마 EO 영상을 획득할 수 있는 기술	√			√
31	위성간 통신 기술	인공위성 간 통신 링크를 제공하는 무선통신 기술	√			

32	빅데이터 구축/분석 및 AI 기술	각 위성이 지속적으로 획득한 영상을 종합하여 빅데이터 기반 AI분석을 통해 정보를 획득하는 기술	√			√
33	초소형 위성영상 해상도 향상 기술	초소형 위성으로부터 획득한 영상의 해상도를 향상시키는 기술		√		√
34	실시간 대용량 영상분석 자동화 기술	각 위성으로부터 획득되는 대용량 영상의 분석을 자동적 구동에 의해 실시간으로 진행할 수 있는 기술		√		√
35	인공지능 기반 고정·이동표적 영상 인식기술	위성에서 획득한 지상의 고정·이동표적 영상을 인공지능 기반으로 인식할 수 있는 기술		√		√
36	고출력 SSPA, 저손실 LNA기술	SAR 레이더의 소형 경량화를 위한 고출력 증폭기와 저전력을 달성하기 위한 저잡음증폭기 기술	√			
37	신호처리 및 증폭장치 기술	수신한 SAR신호를 최상의 품질을 가지는 영상으로 변환하기 위한 기술	√			
38	초저고도 궤도 유지 기술	300km 이하의 초저고도로 비행하는 인공위성을 전기기반 추력기 등을 활용하여 궤도를 유지하는 기술	√			√
39	초저고도 대기모델 예측 기술	고도 150km ~ 300km 에서 희박대기가 위성체에 미치는 항력, 외란 토크, 가열량을 분석하기 위한 희박 대기 예측 기술	√			√
40	우주 통신 보안 기술	비인가 사용자가 위성 또는 위성이 중계하는 신호에 접근하는 것을 방지하는 기술	√			√
41	암호화 기술	비인가 사용자가 위성 또는 위성이 중계하는 신호에 접근하는 것을 방지하기 위해 신호를 암호화하는 기술	√			√
42	다채널 고속 송수신 기술	추가적인 주파수나 전력의 할당 없이도 채널 용량 증가를 통해 통신속도를 증가시키는 기술	√			
43	위성간 광통신 기술	전파통신의 에너지 손실, 주파수 한계를 극복하기 위해 광자를 활용하여 정보를 전달하는 기술로 통신 용량의 한계를 극복하고 초고속 통신이 가능	√			
44	레이저 활용 위성 데이터 통신 기술	레이저를 이용하여 먼 거리에서도 고속 통신이 가능한 기술		√		
45	대기권 관측기기 기술	위성에서 지상의 기상(구름, 온도 등)을 관측하기 위한 장비 기술	√			
46	대기 모델 생성 기술	관측한 기상정보를 통해 대기의 변화를 예측하는 기술	√			√
47	정찰위성군 임무계획 및 운용기술	적표적, 감시정찰, 적 상황 변화 감시 등 정찰위성군에 임무를 할당하고 운용하는 기술		√		√
48	원격측정 경향분석 기술	수집된 각 원격측정 정보 값의 변화량을 분석하고 데이터를 구조화하여 경향성을 분석하는 기술	√	√		

49	고속 정밀궤도결정 생성기술	운용대상 위성의 궤도를 신속하고 정밀하게 결정한 후 위성을 관제하기 위한 기술	√	√	√
50	고속 정밀자세결정 생성기술	고속으로 위성의 자세를 제어함으로써 탑재체 및 안테나의 정확성과 안정성을 확보하여 목표한 위성의 성능을 달성할 수 있도록 하는 기술	√	√	√
51	고밀도 우주잔해의 관제장애 해소 기술	고밀도의 우주잔해로 인해 운용대상 위성의 작동에 차질이 발생할 것을 미리 예측하고 해소하기 위한 기술	√	√	
52	고속 직저장 기술 (1Gbps이상)	위성으로부터 수신되는 대용량 데이터의 영상을 저장하여 처리할 수 있도록 하는 기술		√	
53	다중위성 수집계획 최적화 기술	다수의 위성과 지상관제소의 임무 운영 스케줄링을 최적화하는 기술		√	√
54	하이 스캔트 SAR 영상 처리기술	위성이 표적 중심 사이와의 거리가 가장 가까운 지점을 지나지 않고 SAR운용 입사각을 만족하는 지점에서 SAR영상 데이터를 획득하여 처리하는 기술		√	
55	고속 EO/IR, SAR영상처리 (방사/기하보정)기술	영상의 오차를 보정하여 지표 물체의 순수 반사도 값으로 도출해 주는 방사보정과 위성의 고도, 자세, 속도 변화, 지구 곡률 등의 왜곡을 보정하는 기하보정 기술		√	
56	다중SAR영상을 활용한 비접근지역 정밀위치결정기술	다중 SAR영상을 통해 비접근지역 표적에 대한 위치를 목표 정확도 내로 결정하는 기술		√	
57	위성 GMTI처리 기술	지상이동 표적의 속도로 인한 SAR영상의 왜곡 을 보상하여 정확한 표적영상을 획득하기 위한 Ground Moving Target Indicator 시스템 기술		√	√
58	고해상도 위성영상의 고정표적 및 특정 구조물 인식 기술	고해상도 영상자료의 자동물체 인식을 위한 경계추출 등의 방법 등을 활용하여 특정 표적을 인식하는 기술	√	√	√
59	이기종 영상 자동정합 기술, 실시간 다차원 영상 융합 및 판독 분석 기술	다양한 위성 및 지상국으로부터 수신받은 정보를 하나의 체계로 효과적으로 융합하고 분석하는 기술	√	√	√
60	자동 변화탐지 기술 (SAR, EO/IR)	표적정보의 획득 및 판독 능력을 증대하기 위해 표적의 특징벡터와 표준영상을 기반으로 하는 표적 자동식별 기술		√	√
61	EO/IR 및 SAR영상 자동 표적탐지 및 식별 기술	정지 및 이동 표적에 대해 자동으로 탐지하고 식별하는 기술	√	√	√
62	표적 종류별 DB 검증기술(SAR)	표적종류별로 구분된 SAR영상 DB의 유효성을 검증하기 위한 기술	√	√	√

63	고클러터(도심지) 상황에서의 표적/클러터 분리 기술	도심의 실영상을 기반으로 한 클러터 정보로 클러터와 표적을 구분하는 기술	√	√		√
64	X-밴드 데이터링크 안테나 기술	X-밴드 대역을 이용하여 효과적으로 위성영상을 전송할 수 있게 하는 안테나 기술		√		
65	고속 데이터링크 수신기(복조기) 기술	디지털 신호를 사용하여 위성정보를 상호 공유할 수 있는 전송데이터링크 송수신기 기술		√		
66	이동형 데이터링크 수신 안테나 기술	이동형 지상국과 가시선 통신링크를 유지하기 위한 추적 안테나 기술		√		
67	신호처리 및 지상 검보정 기술	목표수준의 위성영상 품질을 제공하기 위해 궤도에서 실제로 획득한 지상 영상을 기반으로 검보정하는 기술	√			
68	발사대 시스템 기술	적절한 위도에 위치하여 발사에 유리한 조건을 형성하며 강건하고 빈번한 재사용이 가능한 발사대를 구성하는 기술	√		√	
69	추진기관 시스템 기술	주어진 조건 하에서 목표 성능을 발생시킬 수 있는 발사체 추진기관 시스템 기술	√		√	
70	엔진 시스템 기술	주어진 조건 하에서 목표 성능을 발생시킬 수 있는 발사체 엔진 시스템 기술	√		√	
71	항법 유도, TVC(추력편향제어), RCS(반동제어시스템) 기술	발사체의 항법유도를 위한 TVC노즐각, RCS노즐 추력압을 생성해 유도제어 기동을 달성하는 기술	√		√	
72	열, 공력 제어 기술	발사체 격실 내부의 열제어 및 공력을 고려한 발사체 제어 기술	√		√	
73	액체 추진기관 추진제 공급 기술	압축가스를 이용하여 액체 연료와 산화제를 가압하여 챔버로 추진제를 공급하는 기술	√		√	
74	공중발사체 내부 탑재 기술	항공기 내부에 공중발사체를 탑재하는데 필요한 기술	√			
75	공중발사체 하부 장착 기술	항공기 날개나 동체 하부에 공중발사체를 장착하는데 필요한 기술	√			
76	공중발사체 분리조건 해석 기술	공중발사체의 공중발사 분리 현상에 대한 공기역학적, 동역학적 해석에 필요한 기술	√			√
77	공중발사체 사출 및 안정화 기술	항공기로부터 공중발사체 투하 및 점화 시까지 공중발사체 자세 안정에 필요한 기술	√			
78	발사체 선박 운용 기술	해상발사체 운용에 필요한 발사 플랫폼 및 관련 기술	√			
79	장기간 우주체공 기술	대기와 우주공간에서 동시 운용되는 우주비행체가 우주공간에서 장기간 체공할 수 있는 기술	√			

80	스크램젯(Scramjet) 기술	극초음속 비행을 위한 기술로 성층권 이상의 공기밀도가 극히 희박한 대기에서 비행을 위한 엔진 기술	√			√
81	재진입 모듈의 열차폐시스템(TPS) 기술	우주공간에서 대기권으로 재진입 시 공력가열에 의한 열을 차폐할 수 있는 시스템 기술	√			
82	지상용 고출력 레이저 기술	적성 위성에 대한 공격을 위해 지상용 고출력 레이저를 발생시키는 기술	√			
83	지상용 레이저 광학계 기술	지상용 고출력 레이저를 발생시키기 위한 광학계 개발 기술	√			
84	고속 추적 마운트 기술	이동이 빠른 저고도 위성을 추적할 수 있도록 빠른 기동이 가능한 마운트 기술	√	√		
85	EO/IR 센서 레이저 Dazzling 기술 (우주기반 레이저무기 예도 활용)	적성 위성의 EO/IR 카메라에 레이저를 발사하여 정찰 활동을 일시적으로 무력화시키는 기술	√			
86	EO/IR 센서 레이저 Blinding 기술 (우주기반 레이저무기 예도 활용)	적성 위성의EO/IR카메라에 레이저를 발사하여 정찰 활동을 완전 무력화시키는 기술	√			
87	우주용 고출력 레이저 기술	적성 위성에 대한 공격을 위해 우주용 고출력 레이저를 발생시키는 기술	√			
88	우주용 레이저 광학계 기술	우주용 고출력 레이저를 발생시키기 위한 광학계 개발 기술	√			
89	우주용 고전압 생성 기술	위성 탑재용 고출력 레이저를 발생시키기 위한 고전압 생성 기술	√			
90	정밀궤도추적 기술	적성 위성에 대한 공격을 하기 위해 이동이 빠른 위성을 교란할 수 있도록 정밀궤도를 산출하여 추적하는 기술	√			√
91	SAR 센서 전파교란 기술	적성 위성이 탑재한 SAR센서를 전파교란하여 아측에 대한 적성 위성의 SAR촬영을 거부하는 기술	√			
92	SIGINT 센서 전파교란 기술	적성 위성이 탑재한 SIGINT센서를 전파교란하여 아측에 대한 적성 위성의 신호수집을 방해하는 기술	√			
93	통신중계기 전파교란 기술	적성 위성이 탑재한 통신중계기를 전파교란하여 적의 통신을 방해하는 기술	√			
94	잡음신호 생성 기술	적성 위성이 탑재한 통신중계기를 전파교란하기 위해 잡음신호를 생성하는 기술	√			
95	GPS 수신기 전파교란 기술	적의 지상 및 우주무기체계에 탑재한 GPS수신기에 대해 전파교란하는 기술	√			

96	로봇팔 설계/제작 기술 (우주물체 포획용)(연료 재보급, 수리부속 교체 용 등 위성수명연장용 우주비행체에도 활용)	우주 궤도상에서 상대 국가 위성 및 우주물체에 접근 및 포획하기 위한 로봇팔 설계 및 제작 기술	√			√
97	정밀 랑데부/도킹/운용 기술(위성수명연장용 우 주비행체에도 활용)	우주 궤도상 상대 국가 위성 및 우주물체에 정밀 하게 랑데부, 도킹을 수행하기 위한 운용 기술	√			√
98	우주물체 정밀궤도 결정 기술(근접위성대상) (위 성수명연장용 우주비행 체에도 활용)	우주 궤도상 상대 국가 위성 및 우주물체에 접근하기 위해 근접 위성 대상 궤도를 정밀하게 결정하는 기술	√			
99	협조/비협조 물체포획 및 제거 기술	협조/비협조 폐위성 잔해를 포획하고 제거하기 위한 기술	√			√
100	대형 대기저항장치 기술	대기저항면적을 부가적으로 증대시켜 고도를 낮추어 대기에 진입시킬 수 있도록 하는 기술	√			
101	영상촬영 및 실시간 전송 기술	우주 궤도상 국가 위성에 정밀하게 랑데부, 도킹하기 위한 영상촬영 및 지상 통제소로 실시간 전송하는 기술	√			√

IV. 국방우주분야 주요 중점기술 도출

1. 주요 중점기술 도출 전략

가. 분석 중점

- <표 12, 13>에 제시된 국방 우주기술에 대해 국방우주분야 전략적 목표, 우주작전 (전력), 우주무기체계, 우주기술에 대한 정성적 매핑(Qualitative Mapping)을 수행한다.
- 국방우주분야 및 교육에 특화된 추가적인 분석기준, 즉 정책성, 중복성, 교육용이 성 관점을 반영한다.
- 이를 위해 기본적으로 전략적 기획(Strategic Planning)¹³⁾ 도출 절차를 준용하고,

13) M. R. Kirby, C. Raczynski, and D. Mavris, "An Approach for Strategic Planning of Future Technology Portfolio," 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), Wichita, Kansas, Setp. 2006.

품질공학(Quality Engineering)의 기법인 품질기능전개(Quality Function Deployment, QFD)¹⁴⁾, 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)¹⁵⁾, 다속성의사결정(Multi-Attribute Decision Making, MADM)¹⁶⁾등을 활용한다.

- Top-down Process를 통한 국방우주분야 전략적 목표 기반의 중점기술을 우선적으로 도출하며 추가적인 분석기준을 반영할 수 있도록 하며, 국방우주분야 각 전략적 목표의 상대적 중요도에 따른 중점기술의 우선순위 변화를 분석할 수 있도록 한다.
- 특히, 국방우주분야 전략적 목표는 향후 변경, 수정, 보완 시 신속하게 요구되는 중점기술의 우선순위 분석이 가능하도록 SW 도구를 개발한다.
 - 엑셀 기반의 중점기술 우선순위 도출 환경(Technology Prioritization Environment)을 개발하고 다양한 국방우주분야 전략적 목표 변화에 따른 중점기술 우선순위에 대한 Tradeoff를 수행할 수 있는 동적 분석환경(Dynamic Analysis Environment)을 제공한다.
 - SW 도구는 Space Technology Prioritization Environment for National Defense Space Education(STePE NDSE)로 명명한다.

나. 정성적 매핑 방법

- <그림 15>에 국방우주분야 전략적 목표-우주작전(전력)-우주무기체계-우주기술로 이어지는 Top-down 방식의 정성적 매핑 개요도를 나타내었다.
- 우선 국방우주분야 전략적 목표, 우주작전(전력), 우주무기체계, 우주기술에 대해 체계적으로 정리한다. 국방우주분야 전략적 목표는 다음 절에서 제시되어 있고, 우주작전(전력)은 <표 10>, 우주무기체계는 <표 11>, 우주기술은 <표 12, 13>에 제시되어 있다.
- 1단계 정성적 매핑은 국방우주분야 전략적 목표와 우주작전(전력) 간 수행하고, 2단계는 우주작전(전력)과 우주무기체계 간, 3단계는 우주무기체계와 우주기술 간 수행한다.
- 1단계에서 국방우주분야 전략적 목표의 상대적 중요도는 국방우주분야 관련 정책 결정자들에 의해 기본적으로 제시되어야 하며 이는 계층분석과정을 위한 설문조사

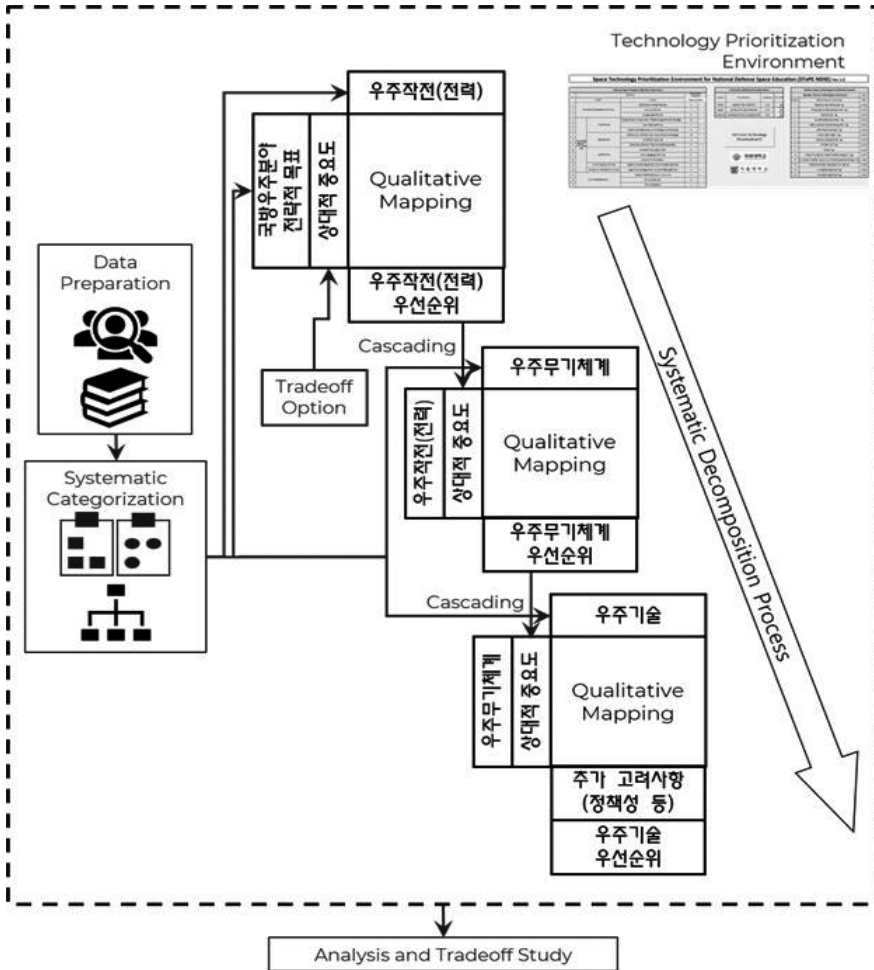
14) Chan L-K, Wu M-Lu. Quality function deployment: a comprehensive review of its concepts and methods. Qual Eng. 2002;15(1):23-35.

15) Bhusan N, Rai K. Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process. Springer: 2004.

16) Lai Y-J, Liu T-Y, Hwang C-L. TOPSIS for MODM. Eur J Oper Res. 1994;76(3):486-500.14.

를 수행하여 결과적인 상대적 중요도를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 시간과 예산을 고려하여 본 연구팀 자체적으로 관련 자료를 바탕으로 계층분석과정을 수행하고 상대적 중요도 기본값(Default)을 제시하였다. 분석 중점에서 설명한 바와 같이 국방우주분야 전략적 목표의 상대적 중요도는 분석 환경에서 자유롭게 변경시킬 수 있으며 <그림 15>에서는 이러한 자유도를 Tradeoff Option으로 표현하였다.

- 2, 3단계의 우주작전(전력), 우주무기체계의 상대적 중요도는 그 전 단계의 정성적 매핑 결과로 산출된다.
- 3단계 우주기술 우선순위는 정성적 매핑 결과와 정책성, 중복성, 교육용이성의 추가 고려사항을 반영하여 최종 중점 우주기술 우선순위를 산출하게 된다.



<그림 15> 정성적 매핑(Qualitative Mapping) 개요도

- 정성적 매핑 시 평가 기준은 <표 14>에 제시된 4가지 스케일로 평가한다. 여기서 스케일 간 차이를 관련성이 높을수록 1, 2, 6으로 커지도록 지정하는 것은 전형적인 정성적 매핑 시 활용되는 방법으로 매핑 각 요소 간 뚜렷한 차이를 용이하게 식별하기 위함이다. 품질공학의 최종 종합적이고 균형있는 결과를 제시하는 특성을 고려한 기준이라 할 수 있다. <표 14>에서 관련성은 긍정 및 부정 양방향 모두의 관련성을 의미하므로 긍정에 대해서만 평가가 되지 않도록 유의할 필요가 있다.

<표 14> 정성적 매핑 기준 스케일

Scale	Meaning
9	관련성이 매우 높음
3	관련성이 적절
1	관련성이 약함
0	관련성 없음

- 정성적 매핑은 기본적으로 각 분야별 관련 주제전문가(Subject Matter Experts, SME)에 의해 수행되는 것이 바람직하나 본 연구에서는 시간과 예산을 고려하여 마찬가지로 본 연구팀의 전문가적 경험과 지식을 바탕으로 수행하였다.

3) 중점기술 도출 방법의 장단점

○ 장점

- 최상위 국방우주분야 전략적 목표로부터 Top-down 방식의 근거를 가진 목표 지향적 국방 우주기술 우선순위를 도출할 수 있다.
- 전문가 의견 및 관련 자료 내용의 체계적인 반영이 가능하다.
- 향후 국방우주분야 전략적 목표, 우주작전(전력)에 대한 군 의견 반영 및 중요도 변화에 따른 신속한 결과를 도출할 수 있다.
- 목표 지향적 도출을 기반으로 정책성, 중복성, 교육용이성 등 다양한 고려요소를 유연하게 반영할 수 있다.
- 우주작전(전력) vs. 우주무기체계에 대한 정성적 매핑 수행 시 각 우주작전(전력)에 해당하는 우주무기체계 파악 및 미고려 우주무기체계의 식별이 가능하다.
- 우주무기체계 vs. 우주기술에 대한 정성적 매핑 수행 시 고려하는 우주무기체계와 관련이 없는 기술 및 각 우주무기체계 별 관련 기술 수의 파악이 가능하다.

○ 단점

- 본 방법의 종합적, 체계적인 도출 특성으로 인해 결과적인 중점기술 우선순위에 대한 직관성이 다소 낮을 수 있다.

○ 참고사항

- 본 방법론은 언급한 장점들로 인해 선진국의 기술 우선순위 도출, 기술로드맵 작성 분야의 High-Level Decision Making¹⁷⁾에 많이 활용되고 있다.
- 중점기술 도출 시 기존 국방우주분야에서는 수행하지 않았던 어떤 기술을 고려할 것인지에 대한 기준 정립을 <표 12, 13>과 같이 제시하는 절차가 자연스럽게 요구된다.
- 향후 중점기술에 대한 로드맵 작성 시에는 항상 예산의 제한이 있으므로 우선순위를 식별하는 것이 필요하며, 각 기술별 구현시기, 예산, 구현방법 등에 대한 자료 획득을 병행하는 것이 추천된다.

4) STePE NDSE 개발 방법

- 국방우주교육을 위한 우주기술 우선순위 평가 환경은 유연한 확장성과 자동화를 고려하여 Excel/VBA 기반으로 개발한다.
- 국방우주분야 전략적 목표에 대한 AHP를 수행할 수 있는 환경과 함께 각 전략적 목표의 상대적 중요도와 정책성, 중복성, 교육용이성의 추가적 고려사항에 대한 상대적 중요도를 자유롭게 입력할 수 있는 환경을 제공한다.
- 각 단계별 정성적 매핑 결과는 Database 형태로 입력되며 향후 주제전문가에 의한 보다 신뢰성 있는 매핑자료가 주어질 경우언제든지 수정이 가능하다.

2. 국방우주분야 전략적 목표 정립

- 관련 자료를 바탕으로 국방우주분야 전략적 목표를 정리하면 <표 15>와 같다.

17) C. M. Raczynski, M. R. Kirby, and D. Mavris, "A Dynamic Process for Strategic Roadmapping and Technology Portfolio Management," 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), Wichita, Kansas, Setp. 2006.

〈표 15〉 국방우주분야 전략적 목표

대분류	중분류	소분류	상대적 중요도		
우주위협 및 위험상황에 주도적 대응		1	북한/주변국 우주위협 억제/대응	3	
		2	우주기상 악화 대비	1	
		3	우주물체 충돌/추락 대비	3	
우주능력을 활용하여 군사작전을 지원	지상작전지원	4	제대별 표적관리, 타격효과 증진, 지휘통제 보장을 위한PNT(Positioning, Navigation, Timing)정보 활용	10	
		5	지상 우주발사능력 구비	1	
		6	이동형지상위성통제국 등 군사우주역량을 지상작전에 연결	6	
	해양작전지원	7	해양작전 감시, 표적정보, 임무기상 등 다양한 우주정보 활용	10	
		8	우주영역인식 임무지원	1	
		9	원해 및 해외 파병 임무지역에서의 해양작전능력 확장	3	
	공중작전지원	10	우주영역에 대한 상황인식 확보	5	
		11	우주자산을 활용한 정보지원	9	
		12	우주로의 적시적 전력투사	1	
	우주/사이버작전 교차지원	13	비물리적 사이버공격을 방어하고 군사우주역량의 발휘 보장	2	
	우주/전자기 스펙트럼작전 교차지원	14	비물리적 전자공격을 방어하고 군사우주역량의 발휘 보장	2	
	군사우주협력 환경조성		15	민관군 우주협력 발전(Spin-on, Spin-off)	2
			16	한미 우주협력 강화	2
			17	국제 우주협력 확대	1

- 대분류, 중분류, 소분류로 구분하였으며 최종 17개의 소분류 전략적 목표를 정립하였다.
- 17개의 국방우주분야 소분류 각 전략적 목표에 대한 상대적 중요도 기본값을 산출하기 위해 AHP 수행 시 연구팀에서 고려한 정성적 평가방향을 〈표 16〉에 나타내었다.

〈표 16〉 AHP 정성적 평가방향(Default)

순번	평가방향
1	위협억제/대응과 작전지원을 동일한 중요도 수준으로 평가
2	우주/사이버, 전자기 교차지원의 경우 작전지원보다 상대적으로 낮은 중요도로 평가
3	우주기상 악화 대비는 우주물체 충돌/추락 대비보다 상대적으로 낮은 중요도로 평가
4	위협억제/대응은 우주기상 악화 대비, 우주물체 충돌/추락 대비보다 상대적으로 높은 중요도로 평가
5	임무지원이나 해외 확장 등은 상대적으로 낮은 중요도로 평가
6	전력투사의 경우 민간에서 추진하고 있는 경우 상대적으로 낮은 중요도로 평가
7	전력투사는 위협억제/대응보다 상대적으로 낮은 중요도로 평가
8	군사우주협력환경조성은 다른 두 대분류 항목보다 상대적으로 낮은 중요도로 평가
9	군사우주협력환경조성의 소분류 항목들 간에는 민관군 우주협력 > 한미 우주협력 > 국제 우주협력 순으로 중요도 평가

○ 상기와 같은 AHP 정성적 평가방향에 의거하여 AHP 수행 후 산출된 국방우주분야 각 전략적 목표의 상대적 중요도를 〈표 15〉의 마지막 열에 나타내었다. 단, AHP의 상대적 중요도 스케일은 0 ~ 1이나 분석 환경의 사용자 사용용이성 관점에서 0 ~ 10 스케일로 변환하였다. 내부적인 계산은 0 ~ 1 스케일로 재변환되어 활용된다.

3. STePE NDSE 도구 개발 결과

가. 모든 자료를 종합하여 중점 우주기술 우선순위를 도출할 수 있는 STePE NDSE 소프트웨어 도구를 엑셀을 활용하여 개발하였다.

나. STePE NDSE Dashboard 구성

○ 소프트웨어 도구의 Dashboard는 〈그림 16〉에 나타난 바와 같이 좌측에는 국방우주분야의 전략적 목표와 각 목표의 상대적 중요도 값을 입력할 수 있으며 기본값으로 설정되어 있다. 사용자에게 의도에 따라 상대적 중요도 값은 자유롭게 변경이 가능하며 기본값으로 환원할 수 있는 버튼이 제공된다.



〈그림 16〉 StEPE NDSE Ver 1.0 Dashbord

- Dashboard의 가운데는 정책성, 중복성, 교육용이성의 추가 고려사항이 나타나 있으며 각 고려사항의 상대적 중요도도 사용자가 변화시킬 수 있다. 또한, 각 추가 고려사항은 On/Off 개념으로 고려에 포함하거나 배제할 수도 있다. 현재 기본값으로 정책성 30%, 중복성 20%, 교육용이성 50%의 상대적 중요도가 할당되어 있다.
- Dashboard의 오른쪽은 국방우주분야의 각 전략적 목표의 상대적 중요도, 추가 고려사항의 유무 및 상대적 중요도, 각 단계별 정성적 매핑 데이터베이스를 바탕으로 출력하고자 하는 중점 우선순위 기술 수 만큼 중점기술이 우선순위 순으로 출력되며 기술명과 최종 우선순위 점수를 나타내는 OEC(Overall Evaluation Criterion) 값이 동시에 출력된다.

다. 정성적 매핑 Database Sheets

- 각 단계별 정성적 매핑을 수행하여 생성된 Database Sheets를 〈그림 17 ~ 20〉에 나타내었다. 우주무기체계와 우주기술 간의 정성적 매핑의 경우 우주기술이 101개로 많기 때문에 〈그림 19〉에 〈표 12〉의 기술 1~10번까지 〈그림 20〉에 90~101번까지 수행한 것을 나타내었다.
- 정성적 매핑은 품질기능전개(QFD) 기법을 준용하여 수행하며 각 단계별 상위 수준은 왼쪽 열에 하위 수준은 위쪽 행에 배치시킨 후 쌍대검토(Pairwise Review)를 통해 〈표 14〉에 나타난 스케일을 활용하여 관계성에 대한 정성적 평가를 수행한다.
- Rel. Imp.로 표현된 셀을 포함한 열은 각 단계의 상위 수준의 항목별 상대적 중요도를 나타낸다.

- 아래쪽에는 절대적 중요도, 상대적 중요도 및 하위 수준의 항목의 중요도가 Ranking으로 산출된다.
- <그림 17>의 1단계 정성적 매핑 시 국방우주분야 각 전략적 목표의 상대적 중요도는 Dashboard의 사용자 입력에 의해 자동적으로 전달되며 이 값들과 정성적 매핑 값들에 의해 우주작전(전력)의 상대적 중요도(Relative Importance)가 아래쪽 행에 자동적으로 계산되어 산출된다.
- 마찬가지로 <그림 18>의 2단계 정성적 매핑은 <그림 17>의 산출된 우주작전(전력)의 상대적 중요도 행의 값들이 그림 18의 Rel. Imp. 열로 자동적으로 전달되며 이 값들과 정성적 매핑 값들에 의해 우주무기체계의 상대적 중요도가 결정되는 형태이다.

Qualitative Mapping Step 1 [Strategic Objective VS. Space Operation/Power]		No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
O P E R A T I O N	S P A C E P O W E R	우주전략역인식				우주정보지침				우주전략부사				우주물체			
		우주물체감시	우주물체감시 (우주물체감시)	우주물체감시 (우주물체감시)	우주물체감시 (우주물체감시)	위성조기발견	위성정찰	위성정찰	위성정찰	위성통신	위성기상	위성기상 (위성기상)	우주발사체	우주비행체	공세적 우주 위성 (우주위성 위성)	방위적 우주 위성 (우주위성 위성)	위성인공
1	북한/주변국 우주위협 억제/대응	0.0550	9	0	9	9	3	0	3	0	9	0	0	9	9	9	
2	우주기상 역활 대비	0.0137	0	9	9	0	0	1	3	0	0	1	0	1	3	0	
3	우주물체 충돌/추적 대비	0.0544	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	제대별 표적관리, 타격효과 증진, 지원물체 보강을 위한 PNT 정보 활용	0.1606	0	3	3	0	3	9	9	3	9	0	0	0	0	0	
5	지상 우주물체추적 구비	0.0196	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	
6	이동형위성통신체계로 군사우주역할을 지상착륙에 의존	0.0946	1	0	3	1	3	3	1	3	9	0	0	3	0	0	
7	해상작전 감시, 표적정보, 임무기상 등 다양한 우주정보 활용	0.1646	1	0	3	1	9	3	1	9	9	0	3	0	0	0	
8	우주영역인식 임무시행	0.0494	9	3	9	0	0	0	0	0	0	0	9	3	3	3	
9	침략 및 해외 파병 임무지역에서의 해상작전능력 확장	0.0494	0	0	1	0	9	9	9	9	9	0	3	0	0	0	
10	우주영역의 다량 감시능력 확보	0.0779	9	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	9	
11	우주사상을 활용한 정보 지원	0.1539	1	1	3	9	9	9	3	9	9	0	3	0	0	0	
12	우주영역 전자기력 전력사수	0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	
13	비물리적 사이버공격을 발파하고 군사우주역할의 발파 보장	0.0289	0	0	0	1	1	1	1	1	9	0	0	1	0	0	
14	비물리적 전자기공격을 발파하고 군사우주역할의 발파 보장	0.0494	3	1	3	1	3	9	9	3	3	0	0	1	3	1	
15	민관군 우주물체 발진(Spin-on, Spin-off)	0.0289	3	3	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	9	9	
16	민관군 위성 우주영역 기동	0.0000	9	3	9	9	3	3	3	3	0	9	3	3	3	3	
17	국제 우주협력 확대	0.0089	3	1	3	1	1	3	3	3	9	3	3	3	3	3	
	Absolute Importance	2.8048	1.2864	4.4595	2.4867	4.6880	4.8269	3.5775	4.5409	6.8498	0.5962	1.2491	2.1296	1.1797	1.6808		
	Relative Importance	0.0665	0.0305	0.1058	0.0590	0.1112	0.1145	0.0849	0.1077	0.1625	0.0094	0.0295	0.0505	0.0280	0.0399		
	Ranking	7	11	5	8	3	2	6	4	1	14	12	9	13	10		

<그림 17> 국방우주분야 전략적 목표 vs. 우주작전(전력) 정성적 매핑

Qualitative Mapping Step 2 [Space Operation/Power VS. Space Asset]		No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
O P E R A T I O N	S P A C E P O W E R	우주전략역인식				우주정보지침				우주전략부사				우주물체									
		고도역 역인식 역인식 역인식	레이더 부서 부서 부서	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보	우주기상 정보 정보 정보
1	우주기상감시	0.0041	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
2	우주정보감시(우주기상)	0.0043	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
3	우주정보(우주기상)	0.1938	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
4	위성조기발견	0.0098	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
5	위성정찰	0.1132	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
6	위성정찰	0.1545	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
7	위성통신	0.0649	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
8	위성통신	0.1077	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
9	위성정찰(위성정찰)	0.1625	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
10	우주물체감시	0.0041	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
11	우주물체감시	0.0041	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
12	우주물체감시	0.0041	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
13	공세적 위성(우주위성)	0.0505	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
14	방위적 위성(우주위성)	0.0380	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
15	위성통신	0.0399	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	Absolute Importance	1.3708	0.3751	0.3959	1.1822	1.3790	1.6247	2.4864	0.8895	2.2556	1.1413	1.7274	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	0.5428	
	Relative Importance	0.0668	0.0447	0.0289	0.0876	0.0821	0.0881	0.1161	0.0434	0.1090	0.0334	0.0883	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	0.0315	
	Ranking	2	9	12	7	8	1	10	3	6	11	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	

<그림 18> 우주작전(전력) vs. 우주무기체계 정성적 매핑

- 마지막 <그림 19, 20>에서는 그림 18의 우주무기체계의 상대적 중요도 해의 값들이 Rel. Imp. 열로 자동적으로 전달되며 마찬가지로 각 우주기술의 상대적 중요도와 Ranking이 결정된다. 다만, 마지막 우주기술의 상대적 중요도를 결정할 때 아래쪽 녹색 셀들에서 정책성, 중복성, 교육용이성이 추가적으로 고려되어 최종적인 상대적 중요도가 산출된다.
- 이러한 Top-down 방식의 정성적 매핑의 장점은 목표 지향적일 뿐만 아니라 종합적인 균형된 결론을 산출할 수 있다는 점과 추적성을 제공한다는 것이다.

Qualitative Mapping Step 3 [Space Asset VS. Space Technology]		No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Space Technology	고출력레이저위성추진체계				레이더우주감시체계						
			물리-기본기술	초고속	초소형	고성능	다중	연	복	다	고	정	정
			물리-기본기술	초고속	초소형	고성능	다중	연	복	다	고	정	정
No	Space Asset	Rel. Imp.											
1	고출력레이저위성추진체계	0.0888	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0
2	레이더우주감시체계	0.0447	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3
3	우주기상예경보체계 I, II	0.0289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	우주연면인식통합공유체계	0.0576	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	
5	만도판조기경보위성(조기경보위성체계)	0.0621	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	군정찰위성 I, II	0.0876	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	초소형위성체계	0.1901	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	초저고도성찰위성	0.0434	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	군위성통신체계 I, III, IV	0.1090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	기상위성	0.0558	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	위성정보활용체계	0.0837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	군용위성발사체(0.5c, 1c)	0.0265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	초소형위성공중발사체계	0.0265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	해상우주발사체계	0.0265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	우주비행체	0.0245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	위성보내레이저우기	0.0222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	우주기반레이저우기	0.0222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	대위성재밍체계	0.0375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	패위성간해물제거우주비행체	0.0227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	위성수집인장공우주비행체	0.0201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Result	Absolute Importance		0.2005	0.2005	0.6075	0.7744	0.4020	0.1340	0.4020	0.4020	0.5749	0.2205	
	정책성	0.30	0.2608	0.2608	0.9624	1.0067	0.6432	0.2144	0.6432	0.6432	0.9198	0.3528	
	중복성	0.20	0.2608	0.2608	0.9624	1.0067	0.6432	0.2144	0.6432	0.6432	0.9198	0.3528	
	교육용이성	0.50	0.5614	0.2608	0.9624	1.3075	0.6432	0.2144	0.6432	0.6432	1.2206	0.6535	
	Relative Importance		0.0070	0.0032	0.0120	0.0163	0.0000	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0152	0.0001
	Ranking		67	90	33	79	50	94	50	50	23	49	

<그림 19> 우주무기체계 vs. 우주기술(1~10) 정성적 매핑

우주정보지원	위성정찰	9	초저고도정찰위성
우주영역인식	우주물체감시	10	레이더우주감시체계
우주통제	방어적 작전	11	대위성재밍체계
우주영역인식	우주환경감시	12	우주기상예경보체계
우주전력투사	우주발사체	13	군용위성시상발사체
우주전력투사	우주발사체	13	초소형위성공중발사체
우주전력투사	우주발사체	13	해상우주발사체
우주통제	위성접근	16	위성수명연장용우주비행체
우주전력투사	우주비행체	17	우주비행체
우주통제	위성접근	18	폐위성잔해물제거우주비행체
우주통제	공세적 작전	19	위성요격레이저무기
우주통제	공세적 작전	19	우주기반레이저무기

- <표 17>에 제시된 국방 우주무기체계 우선순위는 국방우주분야 전략적 목표부터 우주무기체계까지의 정성적 매핑을 통해 얻어진 결과로서 추가 고려사항은 반영되지 않았으며 국방우주분야 전략적 목표의 상대적 중요도를 고려한 종합적이고 균형된 목표 지향적 결과이다.
- 물론, 국방우주분야 각 전략적 목표의 상대적 중요도를 변화시키면 결과는 달라질 수 있으나 본 연구팀의 전문적 연구결과를 근거로 설정된 기본값들에 의해 산출된 것으로 참고점이 될 수 있다.
- <표 16>에 근거한 국방우주분야 각 전략적 목표의 상대적 중요도에 따르면 우주정보지원 작전분야의 중요도가 높고 그 중 위성정찰 전력에서 초소형위성체계의 우선순위가 가장 높음을 알 수 있다. 최근 기술의 발전과 저비용 관점에서 초소형위성을 활용한 실용적 임무가 증가하고 있다는 점과 적성 국가에 대한 재방문 주기(Revisit Period), 평균응답주기(Mean Response Time) 등의 군사적 운용에서의 장점이 높다는 점에서 중점적으로 추진해야 할 국방 우주무기체계라 할 수 있다. 다만 4번째 우선순위인 군정찰위성보다는 해상도 등 성능 측면에는 상대적으로 떨어질 수 있다.
- 우주정보지원 작전 다음으로는 우주영역인식 작전의 우주무기체계 중요도가 높아 적성 및 주변국의 우주위협 및 위협상황에 주도적 대응이라는 전략적 목표를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.
- 전반적으로 우선순위가 낮은 우주통제 작전 중 방어적 작전으로서 대위성재밍체계

가 중간정도의 우선순위를 나타냄을 볼 때 대위성재밍체계에 대한 관심도를 높일 필요가 있다.

다. 중점 우주기술 우선순위 도출 결과 및 분석

○ 중점 우주기술은 전체 101개의 기술 중 상위 15개에 대한 우선순위를 <표 18>에 나타내었다.

<표18> 중점 우주기술 우선순위

우선순위	우주기술	OEC	우주기술(교육용이성 미고려)	OEC
1	정찰위성군 임무계획 및 운용기술	0.024	우주용 고밀도 검출기 기술	0.026
2	저비용·경량·초소형 탐재체 설계·제작 기술	0.023	정찰위성군 임무계획 및 운용기술	0.024
3	위성편대 운용 기술	0.023	저비용·경량·초소형 탐재체 설계·제작 기술	0.023
4	초소형 위성영상 해상도 향상 기술	0.023	위성편대 운용 기술	0.023
5	경량·초소형 제작·조립 및 체계성능 평가 기술	0.023	초소형 위성영상 해상도 향상 기술	0.023
6	SAR 고해상도 영상 형성 기술	0.023	경량·초소형 제작·조립 및 체계성능 평가 기술	0.023
7	우주용 고밀도 검출기 기술	0.022	SAR 고해상도 영상 형성 기술	0.022
8	다중위성 수집계획 최적화 기술	0.02	SAR 소형경량 전개형 안테나 기술	0.022
9	우주 통신 보안 기술	0.019	다중위성 수집계획 최적화 기술	0.019
10	암호화 기술	0.019	고속 EO/IR, SAR영상처리 (방사/기하보정)기술	0.019
11	고해상도 위성영상의고정표적 및 특 정 구조물 인식 기술	0.019	다중 SAR영상을 활용한 비접근지역 정밀위치결정 기술	0.019
12	이기종 영상 자동정합 기술, 실시간 다차원 영상 융합 및 판독 분석 기술	0.019	IR 탐재체 설계 기술	0.019
13	EO/IR 및SAR 영상 자동 표적탐지 및 식별 기술	0.019	암호화 기술	0.019
14	SAR소형경량 전개형 안테나 기술	0.018	다채널 고속 송수신 기술	0.019
15	고속 정밀궤도 결정 생성기술	0.018	우주 통신 보안 기술	0.019

- <표 18>에서는 추가 고려사항을 모두 반영한 경우(왼쪽)와 교육용이성을 제외하고 정책성, 중복성만을 반영한 경우(오른쪽)에 대해 중점 우주기술 우선순위를 나타낸다.
- 모든 추가 고려사항 적용 시 정찰위성군 임무계획 및 운용기술이 가장 우선순위가 높음을 알 수 있다. 이는 상기 국방 우주무기체계 우선순위를 참고하면 우주정보지원 작전에서 위성정찰 전력의 다수가 상위에 위치하고 있고 교육용이성까지 고려한 경우이기 때문인 것으로 판단된다. 교육용이성을 제외하면 우주용 고밀도 검출기 기술이 가장 높은 우선순위를 나타냄을 알 수 있다. 교육용이성은 교육현장에서의 적용이 용이하고 군사운용분야와 관련성을 높은 기술들을 선정하였기 때문에 연구소나 업체에서 부품 개발이 필요한 기술들은 다소 배제된 측면이 있다. 교육용이성을 고려하지 않을 경우 정책성과 중복성만 고려가 되므로 기본적으로 목표 지향적인 관점에서 우선순위가 산출된다. 즉, <표 18>의 오른쪽 우주기술에 보면 우주용 고밀도 검출기 기술을 포함하여 고속 EO/IR, SAR 영상처리(방사/기하보정) 기술, IR 탑재체 설계 기술, 다채널 고속 송수신 기술 등 교육현장에서 적용이 다소 어려운 고난이도 기술들이 15위권 내에 포함되어 있다.
- 물론, 우선순위는 상기한 어느 한 고려요소에 치우쳐져 산출되지 않고 모든 것을 고려한 종합적이고 균형적인 결과이다.

V. 교육방향 제언

1. 접근방법

- 가. 국방우주력 건설 및 운용에 필요한 창의적이고 이론과 실무능력을 보유한 고급 핵심 우주인력을 양성을 목표로 한다.
- 나. 단기적으로 중점 우주기술 우선순위가 높은 기술과 관련된 교과목 우선 개발하는 것을 추천한다.
 - 정찰위성군 임무계획 및 운용기술, 저비용·경량·초소형 탑재체 설계·제작 기술, 위성편대 운용 기술, 초소형 위성 영상 해상도 향상 기술 등
 - 관련 국내 주요 대학 커리큘럼을 분석하여 교육과정에 반영하고 실무적인 능력 향상을 위해 관련 경연대회에 참가한다.
- 다. 중·장기적으로 국가중장기 우주개발 계획에 발맞추어 발사체 및 위성 체계, 위성 활용, 우주위험 대응, 그리고 우주소재 분야에 대한 교육과 연구에 역량을 집중하는 것이 필요하다.
- 라. 또한 국방우주 교육의 전문성 확보하기 위해 항공, 기계, 전기·전자, 컴퓨터, 재료 등 관련 학제 사이에 유기적인 교육과정을 개발하는 것이 중요하다.

2. 국내 주요 대학 커리큘럼 분석

- 가. 항공우주공학 관련 대학원은 서울대, 카이스트, 항공대, 인하대, 충남대 등에 설치되어 있으며, 우주 관련 교과목은 12개를 개설한 서울대가 최다이다.
- 나. [서울대] 항공우주공학과 주관으로 우주관련 교육을 실시하고 있으며, 이론적인 교육과 더불어 ‘발사체 시스템 개론 및 현장실무응용’과 ‘위성 시스템 개론 및 현장실무응용’을 주제로 실무교육을 병행하고 있다(‘별지’ 참고). 12개의 교과목을 제공하여 가장 다양성이 높다. 대학원협동과정으로 우주시스템전공이 있다.

서울대학교 협동과정 우주시스템전공

[발사체 시스템 분야] 발사체 시스템의 이해에 필요한 기본 개념과 모델링 기법, 그리고 동적 응답 해석에 대한 학습. 발사체 시스템 체계 설계 및 이와 관련된 세부 분야 전반의 지식을 여러 산학연 기관들과의 연계 실습을 통해 습득하고, 이를 통해 실질적인 발사체 설계/제작 및 시험 수행능력을 배양.

[위성 및 위성활용 분야] 위성의 시스템에 대한 다양한 방법론 및 설계 과정 그리고 종합적인 사항들을 고려한 위성시스템 설계 기법에 대해 학습. 나아가 원격탐사, 위성 정보 활용 등 위성활용 분야에서 중요한 통신, 영상, 광학에 대한 지식을 집중적으로 교육하고 관련 정출연 및 산업체에서 이에 대한 실습을 병행하여 위성 시스템의 개발/활용 방안에 대해 연구.

[우주소재 분야] 우주 구조물에 사용되는 재료의 특성 및 제조방법에 대해 학습. 이후 발사체, 위성, 위성활용, 우주탐사에 공통적으로 요구되는 우주기술로서 경량화를 위한 저밀도·고강도 소재, 지구 재진입 시 혹은 엔진에서 발생하는 고온에 견딜 수 있는 내열 소재 등 각 시스템에 사용되는 소재에 대해 연구.

[우주위험 대응 분야] 2014년부터 추진 중인 국가 차원의 우주위험관리 체계 확립을 위해 시급히 인력양성이 필요한 분야로서 우주의 여러 가지 잠재 위험, 재진입 기술 및 우주위험 피해 분석/예측 기술을 연구하고 이를 통해 다양한 우주위험으로부터 예상되는 재산 및 인명 피해를 방지하는 방안에 대해 연구.

다. **[카이스트]** 시스템과 디자인에 기초한 교육을 강화하여 세계적인 경쟁력을 키워가는 것을 목표로 이론과 실무를 겸비한 교육을 실시하고 있다. 특이하게 대학원 공통필수 과목이 있으며, 여기에는 ‘확률 및 통계학’, ‘신소재과학개론’, ‘계측개론’ 등을 택하고 있다. 우주 관련 교과목은 5개로 많지 않다(‘별지’ 참고).

라. **[항공대]** 항공우주 분야 특성화 대학답게 9개의 우주 관련 교과목을 제공하고 있다. 실무적인 능력을 배양하기 위한 과목들을 제공하는 것이 특징이다.. 특히 ‘위성 시스템 특론’ 과목에서 초소형 위성을 설계, 해석, 조립, 시험 등 일련의 개발 과정을 경험하는 기회를 제공하고 있어 위성개발에 필요한 실무적인 지식을 높이는 효과를 거두는 효과를 얻고 있다.

3. 주요 경연대회 분석

가. 대표적으로 캔위성 경연대회와 초소형 위성 경연대회가 있으며, 각각 우주 분야 실무능력 배양에 효과적인 것으로 알려져 있다. 초소형 위성의 경우 난이도가 높아 주로 대학원생이 주축이 되어 개발되며, 다수의 국내 대학에서 발사 경험이 있다. 캔위성은 학부생 또는 여름캠프 등에서 중·고등학생을 대상으로 실습에 사용되고 있다.

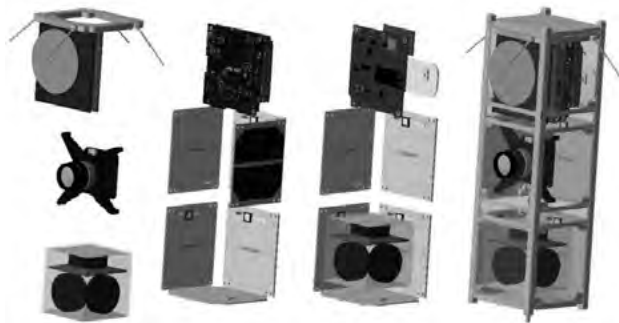
○ **[캔위성]** 캔위성(Cansat)은 스탠포드 대학의 Rober Twiggs 교수가 '98년에 제안한 교육용 위성모사 프로그램에서 사용된 교보재가 그 시초다. 캔위성(Can +

Sattllite)이라는 이름은 위성의 역할을 모사하는 구조시스템, 전력시스템, 통신시스템, 데이터처리시스템 등을 음료수 캔(콜라캔 등) 안에서 구현한 데서 유래되었다.



〈그림 21〉 캔위성 형상(출처 : www.donga.com)

- [초소형 위성] 초소형 위성은 중량 100kg 이하의 모든 위성을 의미한다. 중량 100kg 이하의 초소형 위성들은 다시 영문명으로 Microsat, Nano(Cubesat), Pico, Femto 위성으로 나누어진다. 예를 들어 중량 90kg급 위성은 마이크로급 초소형 위성, 중량 10kg급 위성은 나노급 초소형 위성으로 부를 수 있다.

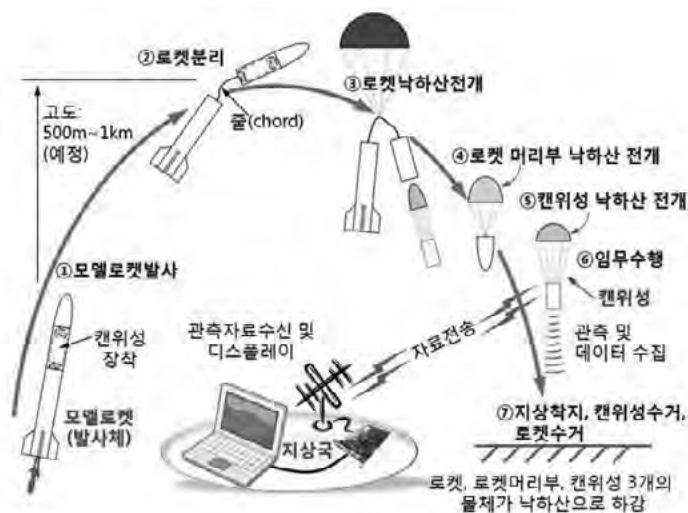


〈그림 22〉 초소형 인공위성 개념설계 형상

나. 개발 및 운용개념

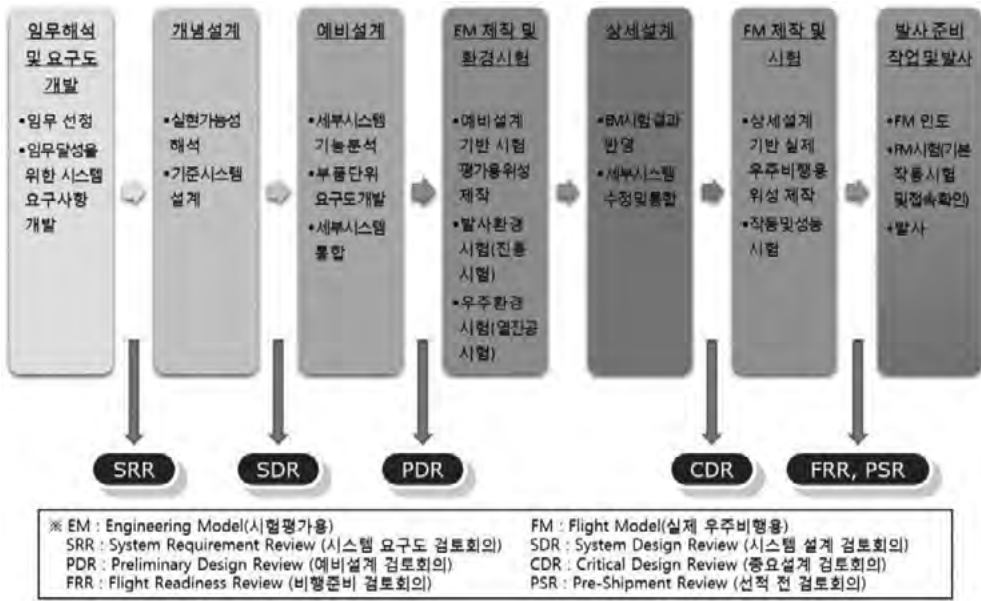
- [캔위성] 캔위성은 기구(Balloon), 드론, 소형 과학로켓 등에 실려 고도 수백 미터까지 상승 후 분리된다. 분리된 캔위성은 낙하산을 전개하여 서서히 하강하며, 이 과정에서 위성의 기능을 모사한다. 주로 장착된 센서(온도, 습도, 압력, 고도, 위치, 가속도 등)의 정보를 획득하여 지상으로 전송하는 역할을 수행한다. 이외에 카메라를 장착하여 지상을 관측한 영상을 전송할 수도 있다. 좀 더 복잡한 형태의 캔위성은 구

동기를 통해 자세제어를 수행할 수 있으며, 중계기를 사용하여 통신위성을 모사할 수도 있다. 해외 캔위성 경연대회에서는 좀 더 나아가 캔위성을 지상의 목표에 최대한 근접하게 착륙(Soft Landing)하는 것을 목표로 하기도 한다.



〈그림 23〉 모델로켓을 이용한 캔위성 발사 및 운용 개념도(출처 : www.ksakosmos.com)

- [초소형 위성] 대형위성과 거의 동일한 구성요소를 보유하고 있어 개발과 운용의 전 과정에 대한 체험형 교육이 가능함. 초소형 위성의 개발은 임무개발, 설계(개념, 예비, 상세), 그리고 제작으로 이루어짐. 발사는 실제 발사체를 사용하여 이루어지며, 발사에서 사출 후 위성의 작동상태 확인 및 임무상태 전환을 위한 초기운영에 들어감. 이후 위성 상태가 안정적인 것으로 판단되면 사전 작성한 임무계획에 따라 명령어 전송 및 데이터 수신.



〈그림 24〉 초소형 인공위성 개발 시스템 엔지니어링 절차

다. 경연대회

- **[캔위성]** 미국의 경우 ARLISS(A Rocket Launch for International Student Satellite)와 AAS/AIAA(미국천문학회/미국항공우주학회) Cansat 경연대회가 있음. ARLISS에서는 캔위성을 미국 아마추어 로켓그룹(AEROpAC)에서 제작한 발사체를 이용하여 높은 고도까지 올려보낸 후 임무 수행을 평가함. 유럽의 경우 유럽항공우주국(ESA)이 후원하는 경연대회와 유럽 내 국가(네덜란드, 스페인, 스코틀랜드, 이탈리아, 프랑스)들이 개별적으로 주최하는 경연대회가 있음. 일본의 경우 '07년부터 일본우주청(JAXA)과 대학우주공학컨소시엄(UNISE)이 공동으로 '국제 캔셋 워크샵'을 주최하고 있음. 국내에서는 과학기술정보통신부와 카이스트 인공위성연구소 주관으로 한국항공우주연구원 후원하에 고등학생과 대학생을 대상으로 캔위성 경연대회를 개최하고 있음.
- **[초소형 위성]** 국내 대학(원)생 및 국내 산업체에게 큐브위성을 직접 제작할 기회를 제공하여 초소형 위성에 대한 이해를 제고하고, 우주개발 전문인력 양성 및 우주기술의 저변확대를 도모하고자 과학기술정보통신부가 주최하고 한국항공우주연구원이 주관하여 큐브위성 경연대회를 개최하고 있음. '12년부터 시작되었으며, '19년 우승팀(조선대, 서울대, 연세대, 카이스트)의 위성은 누리호를 통해 발사되었음. 이들 위성 중 두 번째와 세 번째로 사출된 카이스트 및 서울대 위성 2기는 초기부터

지상국과의 양방향 통신에 성공하였음. 연세대 위성의 경우 위성 사출 후 48일만에 지상과 교신에 성공하였음.

〈표19〉 초소형 위성 발사 및 운용현황

위 성	개발 기관	발사년도 / 발사체	임 무	운용현황
CubSAT Yunsei	연세대	2021/ 소유즈	코로나그래프, 태양광 차폐막 시험	No Signal
KMSL	조선대/연세대	2021/ 소유즈	화염전파/소멸 현상분석, 곰벌레 생존 및 생활 연구	비콘수신 성공, TM/TC성공, 일부 데이터 수신 성공
K2SAT	공사/ KAIST	2018/ Falcon9	지구관측, 음성 재전송	No Signal
Vision Cube	항공대	2018/ Falcon9	메가번개 관측 및 초소형 CMG개발 검증	No Signal
SNU GLITE	서울대	2018/ Falcon9	이중주파수 헨 수신기와 자기장 센서 이용 우주환경 관측	비콘, TM수신 및 일부 임무 데이터 수신
SNU SAT-2	서울대	2018/ Falcon9	관심지역 조기 탐지	비콘, TM수신 (No임무 데이터)

□ 큐브위성 현황(국내 4개 대학 개발)

개발기관	위성명	임무	시스템
조선대학교	STEP Cube Lab-II 	국내 최초 전자광학 / 중적외선 /장적외선 다중밴드 지구관측 임무	임무수명 : 1년 고도 : 700 km 크기/무게 : 6U / 9.6 kg 소비 전력 : 15 W 통신 : UHF-대역, S-대역 탑재체 : 광학/중적외선/장적외선 카메라
서울대학교	SNUGLITE-II 	정밀 GPS 반송파 신호를 활용한 지구대기관측 GPS RO (Radio Occultation) 데이터 수집	임무수명 : 1년 고도 : 700 km 크기/무게 : 3U / 3.84 kg 소비 전력 : 3.1 W 통신 : VHF/UHF, S-Band 탑재체 : 초정밀 mm급 반송파위상 이중주파수 GPS 수신기 3대, 광학 카메라, 정밀 GPS 자세결정 모듈
연세대학교	MIMAN 	200m의 해상도로 1000km x 1000km 영역의 미세먼지 모니터링	임무수명 : > 6개월 고도 : 700 km 크기/무게 : 3U / 3,722 kg 소비 전력 : 2,37 W 통신 : UHF, S-band 탑재체 : 광학 카메라
KAIST	RANDEV 	초분광 카메라 지구 관측 임무	임무수명 : 6개월 고도 : 700 km 크기/무게 : 3U / 3,233 kg 소비 전력 : 3,03W~7,89W 통신 : UHF, 풀, S-band 탑재체 : 초분광 카메라

* 1U 큐브셋(Cubesat)은 부피(가로10cm*세로10cm*높이10cm), 질량 1.33kg 정도의 초소형 인공위성

〈그림 25〉 누리호에 탑재되어 발사된 초소형 위성(출처 : 한국항공우주연구원)

4. 국방우주 교육 로드맵

가. [목표] 기초 및 응용지식을 교육하고, 이를 실제 현장실무에 적용하는 경험을 제공한다. 방법

- 위성 개발, 운용 관련 내용을 중심으로 강좌를 구성. 개론은 교수진에 의해 진행, 실무응용은 외부초빙 항공우주 전문가에 의해 진행한다.
- 분야별 이론 및 해외 사례와 함께 국내에서 개발한 우주 관련 실무 경험을 포함하여 강의한다.
- 복합 시스템이라는 인공위성 개발의 특성과 관련된 시스템 레벨의 개발 과정을 다루고, 인공위성의 역사 및 현황에서부터 추진기관, 궤도 및 자세제어, 열 제어, 항법 및 유도 시스템에 이르는 인공위성 시스템 엔지니어링에 대한 경험을 제공한다.

- 실무 수행기관(연구소, 산업체 등)을 직접 방문하여 통신시설, 진공챔버 설비 등과 연계를 통한 문제 해결 사례를 학습한다.
- 초소형 위성을 설계, 해석, 조립, 시험 등 일련의 개발 과정을 경험하는 기회를 제공하고 경연대회에 참가하여 운용 단계를 실습한다.

다. 로드맵

- **[이론]** 국방우주분야 중점기술 분석 결과와 주요 대학 우주 관련 커리큘럼 분석 결과 위성 개발, 운용 등에 관련된 교과목 개발이 필요한 것으로 판단된다.
- **[실습]** 주요 대학 우주 관련 커리큘럼 분석 결과 실습 과목을 편성하는 것이 필요하다고 판단된다. 특히 카이스트의 경우 계측 관련 과목을 공통필수로 지정하고 있다.
- **[경연대회]** 실무적인 능력을 배양에는 경연대회 참가가 효과적이며, 실험·실습 환경을 구축한 후 기술을 축적하여 초소형 위성 경연대회에 참가하는 것을 목표로 하는 것이 바람직하다고 판단된다. 중간 단계로 켈위성을 개발하고 센서 데이터의 수집 및 분석을 기말과제로 수행하게 하는 것도 기술격차를 줄이는 것도 좋은 방법이다.

〈표20〉 국방우주 교육 로드맵

항 목		추진일정									
		'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32
실험·실습 환경 구축		[Progress bar from '23 to '28]									
이론 교과목 개발	위성임무	[Progress bar from '23 to '24]									
	우주환경	[Progress bar from '23 to '24]									
	우주역학	[Progress bar from '23 to '24]									
	발사체·위성구조	[Progress bar from '24 to '25]									
	우주추진	[Progress bar from '25 to '26]									
	전기·전자	[Progress bar from '26 to '27]									
	우주위험관리	[Progress bar from '23 to '24]									
실습 교과목 개발	발사체	[Progress bar from '25 to '26]									
	위성	[Progress bar from '24 to '25]									
초소형 위성 경연대회 참가	국내(협력)	[Progress bar from '23 to '26]									
	국내(단독)	[Progress bar from '26 to '32]									
	국외	[Progress bar from '28 to '32]									

VI. 결 언

1. 본 연구에서는 추가 고려사항 중 교육용이성에 대해 정성적인 평가를 하여 각 기술에 대한 교육용이성 판단을 하였으나 향후 표 18에 나타난 중점 우주기술에 대해 인력, 교육 프로그램, 장비·시설 등 교육 인프라 측면에서의 구축 난이도를 평가할 수 있는 구체적인 데이터 수집을 통해 결과의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.
2. 국방우주분야 전략적 목표의 상대적 중요도를 관련 정책결정자들에 대한 설문조사를 통해 보다 신뢰성 있는 AHP의 수행이 필요하며 각 단계별 정성적 매핑 수행 시 관련 주제전문가들에 의해 수행되는 것이 바람직하다.
3. 국방우주분야 중점기술 분석 결과와 주요 대학 우주 관련 커리큘럼 분석 결과 위성 개발, 운용 등을 중심으로 교육이 이루어질 필요가 있는 것으로 판단된다. 관련된 이론과 실습 교과목 개발에 더불어 관련 경연대회에 참가하는 것을 추천한다.

참고문헌

- 임종빈, 우주안보 개념이 확장과 국방우주 중요성 증대 시대의 우리의 대응 자세, 국가우주 정책센터 SPREC Insight, Vol. 2, 2021.
- 이상민, 국방우주 기술개발 정책연구-해상발사체를 중심으로, KIDA 연구보고서 안보 2021-4615, 2021.
- 박대광, New Space 시대의 우주안보이슈와 한국의 정책과제, KIDA 연구보고서 안보 2021-4616, 2021.
- 목성훈, 한상철, 국외 국방우주분야 개발사례 및 동향, 한국항공우주학회 학술발표회 초록집, 2020.
- 박헌준, 국방 우주분야 과학적 체계공학 관리기법 구축 과정, 한국항공우주학회 학술발표회 초록집, 2020.
- P. Heiden, C. Pohl, S. B. Mansor, and J. Genderen, “The role of education and training in absorptive capacity of international technology transfer in the aerospace sector,” *Progress in Aerospace Sciences*, 76, pp. 42~54, 2015.
- European Space Policy Institute, *New Space in Asia-Experts Views on Space Policy and Business Trends in Asian Countries*, Report 77, 2021.
- C. M. Stone, *Hypersonic Weapons and the Case for a Space Tracking Layer*, AFPC Defense Tech. Prog. Brief, 2020.
- European Space Policy Institute, *Europe, Space and Defense-From “Space for Defence” to “Defence of Space”*, Report 72, 2020.
- 국방부, “국방기본정책서”, 2019.
- 국방부, “국방우주력 발전 기본계획서”, 2019.
- 대한민국공군, “우주작전”, 2020.
- 대한민국공군, “스페이스 오디세이”, 2021.
- 차두현, 김선문, “우주력의 전략적 의미”, 아산정책연구원, 2021.
- 최성환, “우주위협 평가 및 공군 우주전력 핵심기술 소요현황”, 한국국방우주학회 세미나, 2021.
- James L. Hyatt III et al., “Space Power 2010”, Air Command and Staff College, May 1995., pp.5.

United States Space Force, “Space Power : Doctrine for Space Powers”, June 2020.

United States Department of Defense, “Defense Space Strategy”, 2020.

United States Joint Chief of Staff, “Joint Publication 3-14 : Space Operation”, Oct. 2020.

별 지

주요 대학 커리큘럼

1. 서울대

교과목명	주요 내용
우주추진이론	<ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 우주추진의 기본이론과 해당되는 각종 추진기관의 작동원리를 설명하고 추진 시스템을 해석하여 우주 비행체의 추진기관 해석 및 설계에 대한 고등이론 습득 · 우주 비행체의 궤도수정, 자세 제어에 응용되는 소형 추력기에 대한 기본 이론 해석
고급 우주 임무 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 위성의 궤도정보 확인 및 위성 운영 목적 정의, 임무 규정, 임무 분석, 요구사항 정의와 같은 위성 임무 분석 과정에 대하여 학습 · 과학관측 및 우주 공간상에서 실험 등, 다양한 우주임무에 대해 알아보고, 그 특성을 분석
우주 환경 시험	<ul style="list-style-type: none"> · 전자, 통신, 우주 기술의 발달로 인한 근접 우주 환경의 중요성에 대하여 이해하고, 실제로 지상에서 우주 환경을 유사하게 모사하고 시험하는 방법에 대해 학습 · 우주의 환경이 비행체나 구조물의 성능에 끼치는 영향을 심도 있게 다룸.
우주 구조물 및 재료 특강	<ul style="list-style-type: none"> · 극한의 환경인 우주를 비행하기 위해 필요한 우주 구조물과 그 재료에 대한 특성을 설명 · 우주 구조물의 특성과 그 재료의 연관성을 이해하고, 재료의 제조방법 및 화학적, 기계적, 열적, 광학적, 전기적 특성에 대해 학습
우주 전기/전자 특강	<ul style="list-style-type: none"> · 우주비행에 필요한 전기/전자 공학의 기본과 항공전자 시스템의 전반적인 원리 및 응용에 대한 지식을 학습 · 비행제어 컴퓨터와 다양한 입출력시스템과의 인터페이스를 위한 데이터 버스 시스템으로부터, 자이로와 가속도계를 이용하는 관성항법시스템, 위성항법시스템, 속도계, 비행제어시스템 등의 다양한 시스템 레벨의 우주항공 전자에 대한 기본 원리 및 알고리즘을 이해
고급 우주 궤도역학	<ul style="list-style-type: none"> · 우주 궤도상에 있는 비행체를 중심으로, 천체 역학과 탄도학을 적용하여, 비행체의 궤도방정식을 유도하고, 그 운동의 특성 및 궤도의 변경에 관해 학습 · 궤도 방정식이 실제 우주 비행체에 어떻게 적용되고 활용되는지 학습하고 이를 바탕으로 간단한 경우에 적용해봄으로써 궤도상 우주 비행체 역학에 대한 종합적인 이해
우주 나노 공학	<ul style="list-style-type: none"> · 우주항공분야에서 활용되는 나노 소재를 중심으로, 거시적 소재와 구별되는 나노 소재의 개념 및 특성에 대해 이해 · 실제 우주항공분야에서 어떻게 활용되고 있는지 학습함으로써 앞으로의 나노 소재 응용 가능성에 대해 심도 있게 토론
우주위험대응 특강	<ul style="list-style-type: none"> · 위성의 우주파편, 우주물체의 지상낙하, 운석과 소행성, 태양풍 등 우주의 여러 가지 잠재 위험에 대해 학습 · 잠재 위험에 대응하기 위한 방안과 위험요소 제거 방법에 대해 토의
재진입 동역학	<ul style="list-style-type: none"> · 재진입 비행체 주위의 화학반응을 포함한 운동방정식을 유도 및 해석 · 재진입 비행체의 안정성, 공력, 열전도 등을 분석하는 방법에 대하여 학습

항공우주시스템공학	<ul style="list-style-type: none"> · 항공우주시스템 관련 프로젝트의 최적화된 목표를 달성하기 위해 시스템 공학 일반 및 시스템 설계 과정을 이해 · 요구조건 해석, 아키텍처 개발, 개념 개발 및 평가, 의사결정방법, 모델링과 시뮬레이션, 수명주기모델, 프로젝트 관리, 신뢰도 및 위험도 관리, 비용분석 등의 항공우주시스템에 특성화된 다양한 시스템공학 방법에 대해 학습
발사체 시스템 개론 및 현장실무응용	<ul style="list-style-type: none"> · 발사체 시스템에 대한 기초 및 응용지식을 가르치고, 이를 실제 현장실무에 적용하는 경험을 제공 · 우주발사체 설계 및 생산을 위한 다양한 분야의 내용을 강좌로 구성, 발사체 시스템 개론은 항공우주공학과 교수진에 의해서 진행 · 실무응용은 외부초빙 항공우주 전문가에 의해 진행 · 분야별 이론 및 해외 사례와 함께 국내에서 개발한 과학 로켓 및 우주발사체의 실무 경험을 포함하여 강의를 진행
위성 시스템 개론 및 현장실무응용	<ul style="list-style-type: none"> · 위성 시스템에 대한 기초 및 응용지식을 가르치고, 이를 실제 현장실무에 적용하는 경험을 제공 · 인공위성의 설계 및 생산을 위한 다양한 분야의 내용을 강좌로 구성하여 위성 시스템 개론은 항공우주공학과 교수진에 의해서 진행 · 실무응용은 외부초빙 항공우주 전문가에 의해 진행 · 분야별 이론 및 해외 사례와 함께 국내에서 개발한 인공위성의 실무 경험을 포함하여 강의를 진행

2. 카이스트

교과목명	주요 내용
고급 우주추진 시스템	<p>This course gives a good overview of space propulsion systems and how they are selected depending on mission requirements. The lecture targets all improvement areas of current propulsion systems as well as advanced concepts such as launch assist technologies, nuclear or propellant-less propulsion. A special focus is on electric propulsion systems such as Field-Emission thrusters for future formation flying missions including the theoretical background, laboratory environments, modeling as well as testing and the latest developments.</p>
로켓시스템 공학	<p>Principles of rocket propulsion are taught in this lecture. The course is offered for senior level undergraduate and graduate students majoring aerospace engineering. Students will practice how to apply basic principles of fluid mechanics, chemical reaction and heat transfer to design calculation of rocket system and its components. The lecture will cover issues of maximum velocity, acceleration, total impulse and derivation of performance parameters from thrust chamber data. Basic understanding of fluid mechanics, heat transfer, and thermodynamics are required for this lecture. Application of rockets in space mission will be explained for orbit insertion, lunar orbit transfer, and moon exploration.</p>

	<p>Rocket is one of jet propulsion system deriving its thrust force by ejecting propellant at high speed. However, rocket does not take oxidizer from ambient air, contrary to jet engines. Rockets carry both oxidizer and fuel. Typically, 3 to 7 times of oxidizer is needed to burn fuel. As a result, the propellant weight is far greater in rockets than in jet engines.</p> <p>Due to the pandemic of COVID-19, we will begin the semester with on-line lecture. The details on how to connect the lecture will be posted on KLMS. The on-line lecture will be real-time and your attendance will be monitored.</p>
우주비행체 동역학	At the end of this course, students shall be able to design and develop spacecraft attitude determination and control software with attitude sensors such as sun sensors, magnetometers, gyroscopes and star sensors and attitude actuators such as reaction wheels and magnetic torquers.
인공위성 유도 및 제어	In this course, various subjects on spacecraft orbital guidance and control are discussed from launch to on-orbit operation. In particular, recent topics such as spacecraft rendezvous, docking, formation flying, inter-planetary mission analysis, optimal orbit maneuver, orbit perturbations, and other relevant subjects will be covered.
원격탐사를 위한 위성 시스템 응용	GNSS(Global Navigation Satellite Systems)위성을 활용하는 원격탐사 기술 및 측지 기술의 기반 이론을 소개한다. GNSS를 이용하여 우주환경,상층대기,지구지반현상 등을 관측하는 기술을 학습한다.또한RTK및PPP등의 초정밀 측위 기술을 소개하고 실제 데이터 처리를 통해 다양한 방법론을 비교 분석한다.

3. 항공대

교과목명	주요 내용
로켓추진 특론	· 고체, 액체 추진제 로켓, 핵로켓, 전기로켓, 레이저 로켓, 특수 방법에 의한 로켓 추력 및 성능, 로켓 비행성능 등을 다룸.
위성공학 특론	· 기존의 위성시스템에 대한 설계/개발 이론을 획득한 학생을 대상으로 위성공학 전반에 대한 실무적인 능력 증진을 목표로 함. · 초소형 위성을 직접 설계, 해석, 조립 및 시험을 수행함으로써 위성개발에 필요한 실질적인 지식을 고양할 수 있으며, 이를 바탕으로 위성설계 분야의 전문가로서 능력 확보
로켓시스템 공학	· 효율적이고 체계적인 로켓시스템 개발을 위해 공학적 측면에서의 개발방법과 절차를 분석하고, 시스템 모델을 통해 항공우주분야의 효율적 개발 프로젝트 관리법 연구 · 로켓추진기관에 대한 성능평가를 위한 관련 시험기술 및 평가방법을 강의
우주비행체 추진 시스템	· 항공우주추진시스템의 개요, 인공위성 및 우주탐사선에 사용되는 우주비행선 추진시스템의 해석과 작동 특성 강의

	<ul style="list-style-type: none"> · 우주비행체 추진시스템의 임무와 요구조건, 우주비행선의 궤도특성, 각종 위성추진시스템에 사용되는 단일 추진시스템, 이원추진제 시스템, 고체추진제시스템, 전기추진기의 이론 및 시스템과 작동특성 공부
우주비행체 설계	<ul style="list-style-type: none"> · Mission, Analysis, Mission Design에 의거 위성궤도, 위성체, 발사체, 탑재체, 지상시스템 등의 시스템 설계 방법에 대해 학습.
위성 동역학 및 제어	<ul style="list-style-type: none"> · 위성의 궤도상에서의 기본 궤도 및 자세 동역학적 운동분석 및 적용 제어이론에 대해 강의
우주메커니즘	<ul style="list-style-type: none"> · 본 강의에서는 우주메커니즘의 일반적인 예를 소개하고 작동원리를 상세히 설명 · 인공위성에서 폭넓게 사용되고 있는 분리장치, 구속장치, 전개장치가 우주메커니즘에 어떻게 연계되어 사용되고 있는지 구체적으로 소개 · 우주메커니즘의 더 나은 이해를 돕기 위해 우주메커니즘이 사용되어지는 우주환경을 설명하고 발사환경에서 어떤 가속조건에서 견뎌야 하는지 등 실험에 필요한 사양 강의
우주비행역학	<ul style="list-style-type: none"> · 우주비행체의 이동 및 회전 비행의 원리, 위성 궤도결정 및 궤도변경, 위성 자세결정 및 제어 등 우주공간에서 힘과 토크를 받는 인공비행체의 비행원리 공부
우주발사체 시스템 및 구조설계	<ul style="list-style-type: none"> · 우주선 또는 발사체 시스템 구조의 개념을 강의 · 초기 설계 및 해석 실습을 통하여 공학도로의 전문자질을 배양한다.



RESEARCH INSTITUTE FOR
NATIONAL SECURITY AFFAIRS
KOREA NATIONAL DEFENSE UNIVERSITY



9 772586 532008

ISSN 2586-5323