군 사 과 학 연 구 지
제14권 제2호(2021년 12월)

선형 및 정수계획법을 이용한 불균형한 자원배분에서의 트레이드 최적화 모형 연구

A Study on Trade Models Under Imbalanced Resources Using Linear and Integer programming

강동길[1] · 성낙영[2] · 조윤환[3] · 최은진[4] · 조남석[5]
Donggil Kang · Nakyeong Sung · Yunhwan Cho · Eunjin Choi · Namsuk Cho

ABSTRACT

Creating the maximum effect at minimum cost is the basic principle of the economy, starting from the law of scarcity. In other words, it is an economic principle aimed at achieving the maximum effect at minimal cost or sacrifice as an economic act to obtain maximum satisfaction by using limited resources reasonably. In order to use limited resources reasonably, a 'trade' process for resources between countries, companies, organizations, or individuals holding resources must be accompanied. This study presents an optimized trade methodology that can create maximum value in a specific situation where resources are disproportionately distributed among the various situations in which trade can occur as above.

Key Words : Trade Model, Optimization, Linear programming, Integer programming, GAMS

논문접수일 : 2021년 11월 8일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

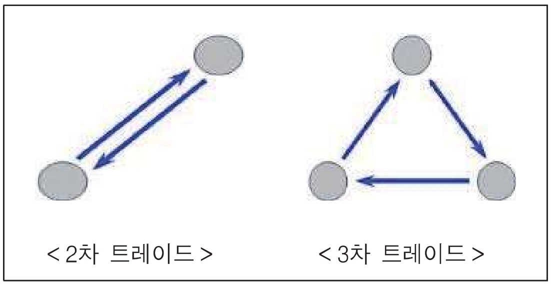
1)국방대학교 군사운영분석 석사과정
2)국방대학교 군사운영분석 석사과정
3)국방대학교 군사운영분석 석사과정
4)국방대학교 군사운영분석 석사과정
5)국방대학교 군사운영분석 부교수 / 교신저자(Corresponding author) : ncho64@gmail.com

1. 서 론

최소비용으로 최대효과를 창출하는 것은 희소성의 법칙에서 출발한 경제의 기본원칙이다. 즉, 한정된 자원을 합리적으로 이용하여 최대의 만족을 얻기 위한 경제 행위로써, 최소의 비용이나 희생으로 최대의 효과를 거두는 것을 목표로 한다. 한정된 자원을 합리적으로 이용하기 위해서는 자원을 보유하고 있는 국가, 기업, 단체 또는 개인 간 자원에 대한 ‘트레이드’ 과정이 반드시 수반된다. 이러한 경제원칙은 크게는 국가의 운영에서부터, 작게는 각 개인의 경제활동까지 우리의 생활영역 전반에 영향을 미치고 있다.

우리 일상생활 중 트레이드 과정이 적용된 대표적인 사례로 프로 스포츠팀 간 선수 트레이드 상황을 꼽을 수 있다. 양측 구단 간 이해타산이 맞는 경우, 일대일 또는 다수 대 다수 간 선수 트레이드를 하는 경우가 있고, 여러 구단 간 연쇄적으로 다중 트레이드를 하는 경우도 종종 발생한다.

<표 1> 트레이드 방법의 예



본 연구는 위와 같이 트레이드가 발생할 수 있는 여러 가지 상황 중, 자원이 불균형하게 분배된 특정 상황에서 최대의 가치를 창출할 수 있는 최적화된 트레이드 방법론을 제시한다. 여기서 말하는 특정 상황은 다음과 같다.

1) 각기 다른 m가지 종류의 재료가 1개씩 조합되었을 때 특정 제품 1개가 완성된다.

2) n명의 구성원들로 이루어진 집단에서 각 구성원들에게 각 재료들이 불균형하게 분배되어 있다.

3) n명에게 분배된 각 재료별 총 합은 n개 이상이다.

이런 상황에서 일반적인 자원분배, 트레이드 모형의 경우 모든 재료를 한곳으로 모아 다시 균등하게 분배하는 방법을 사용한다. 즉 자원의 이동은 고려하지 않는다. 예를 들어 A, B, C 세 사람이 각각 2개, 10개, 3개의 자원이 있다고 가정하자. 일반적인 트레이드 자원분배 모형은 모든 재료를 모아 다시 5개씩 분배하는 답을 줄 것이다. 본 연구에서 제시하는 모형은 B가 A에게 3개, C에게 2개를 나눠줌으로써 모두 5개가 되는 방법을 제시한다. 즉, 본 연구에서는 최소한의 노력으로 자원분배의 불균형을 해소하는 방안을 제시한다. 이를 위해 제 2장에서는 기존 연구를 소개하고, 제 3장에서는 연구진의 트레이드 모형을 소개한다. 제 4장에서는 모형의 유효성을 검증하기 위한 실험 결과값을 제시하며, 마지막 제 5장에서는 연구를 요약하고, 연구의 한계점과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

트레이드 문제와 관련하여 최근 국내연구 동향을 살펴본 결과, 사회, 경제, 과학기술 분야 등 여러 분야에서 연구실적을 확인할 수 있다. 다만, 순수하게 트레이드 방법론만을 연구하기 보다는, 자원할당, 1:1 매칭 문제 등 다양한 문제들의 최적해를 구하는 과정에서 하나의 방법론으로 사용되고 있다.

이상운 등의 다수 지역에 대한 자원의 수요-공급 운송문제에 대한 연구에서는 수요량 부족 지역의 문제를 해결하기 위해, 부족량이 발생

한 지역에 대해 공급 여유량을 추가 배정하여 초기해를 구하고, 만약 요구량 미충족 지역이 발생하면, 공급 여유량을 가진 지역으로부터 배정량을 조정하는 배정-교환 알고리즘(ASA : Assignment-Swap Algorithm)을 통해 교환 최적화를 달성하였다. [1]

이상운 등의 남녀 결혼문제에 대한 최적화 연구에서는 n쌍의 남녀를 1:1 매칭시킨 뒤, 각 남녀의 선호도가 반영되어 1:1 상호교환을 시켜주는 과정을 통해 최적화된 결과를 얻어냈다. [2]

이태호 등의 연구에서는 사물인터넷(IoT) 데이터 전송과정에 있어 현재 자원이 할당돼있는 게이트웨이에서 이웃 게이트웨이로 교차 트레이드를 통해, 소모되는 자원 간 편차를 줄임으로써 전체 게이트웨이의 소모되는 자원량을 평준화하고, 효율성을 증대시키는 결과를 얻었다. [3]

본 연구에서는 할당된 자원들의 최적 조합을 위해 수리모형을 가정하고 수리식의 관계에 의해 도출되는 해를 최적해로 가정한다. 이러한 측면에서 본 연구와 유사한 연구는 이상운 등의 [4] “화물열차 적재량 균형문제의 중량 내림차순 화물 적재와 교환 알고리즘”이다. 위 연구에서는 다수의 화물열차 간 적재중량을 균등하게 맞추기 위해 균등배정 최적화 과정에서 교환 알고리즘을 적용하였다. 특히, NP-Complete 문제인 빈 상자 채우기 문제(BPP : Bin Packing Problem)의 일종인 화물열차의 적재중량 균형문제를 LP(Linear Programming)로 풀이하여 다항시간(Polynomial-time)내에 최적해를 구하였다.

다만, 이상운 등의 연구는 문제 해결 시 양자 간 트레이드만 고려하였다. 즉, 3차 이상 다중 트레이드는 고려하지 않았다. 또한, 휴리스틱 접근법을 이용하여 최적해에 근사한 값을 해로 얻었다.

위에서 살펴본 기존 연구사례들과 달리, 본 연구는 다음과 같은 차별점을 갖는다.

1) 문제 해결을 위해 근사값이 아닌 정확한 값을 제공하는 결정적(Deterministic) 최적화 모형을 제시한다.
2) 불균등하게 할당된 자원을 균등하게 재분배 할 때 자료의 이동 소요를 최소화하는 방법을 제시한다.
3) 다양한 모형(formulation)을 제시하고 각 모형을 비교분석한다.

3. 트레이드 모형

3장에서는 트레이드 모형을 수학적으로 구현하기 위한 가정사항과 핵심 아이디어를 설명하고, 3개의 트레이드 모형(T-opt #1, #2 ,#3)을 설명한다. 트레이드 모형의 설명에 앞서, 트레이드 방안을 제시하는 유일한 방법론이 최적화 방법만 있는 것은 아니다. 트레이드의 참가자를 한번씩 검색하여 필요한 물건과 남는 물건을 별도로 구분한 후 또 한번의 검색을 거쳐 트레이드 안을 도출할 수 있다. 이 방법은 만약 n명의 참가자가 있다면 O(n2)의 복잡도를 가지는 알고리즘으로 구현 가능하다. 다만, 이 방법은 가능한 하나의 해를 제시할 수 있지만, 트레이드를 최소화 하는 최적화된 해를 제시하지는 못한다. 따라서, 본 연구에서는 수리모형 기반의 방법론을 그 대상으로 한다.

3.1 문제정의

본 논문에서 제시하는 모형의 목적은 다양한 재료를 가진 구성원들이 균등하게 재료를 갖고 모두가 물품을 하나씩 만들 수 있도록 트레이드를 하는 것이다. 이를 위한 가정사항은 다음과 같다.

1) 재료의 종류는 총 5개로 하며, 각 재료별

총합은 구성원의 수보다 많거나 같다.

2) 최종적으로 구성원 개개인은 각 재료를 1개 이상 소유하여 1개 이상의 물품을 만들어야 한다.
3) 구성원끼리 상호교환은 필수적이지 않으며, 재료가 부족한 구성원에게 주는 것이 가능하다.
4) 트레이드 모형의 핵심 아이디어는 다음과 같다.
   ① 트레이드 되는 재료의 양을 최소화
   각 구성원끼리 재료의 교환이 최소화되면 단 시간 이내에 균등하게 재료를 갖게 되며 물품을 만들 수 있게 된다.
   ② 재료의 균등분배
   각각의 재료들을 균등하게 갖고 있어야 완성품을 만들 수 있다고 가정하여 최초 불균등하게 분배된 재료들을 트레이드를 통해 균등하게 분배될 수 있도록 한다.

3.2 수학적 구현

3.2.1 T-opt #1

트레이드 모형을 구성하기 위해 집합, 파라미터, 결정변수를 정의하고, 위에서 언급한 아이디어와 가정사항을 수식으로 표현한 뒤 목적함수를 정의한다. 먼저 최적화 모형 구성에 필요한 집합을 정의한다.

· $N=\{1,2,3,\cdots,n\}$: 구성원의 집합
· $M=\{1,2,3,\cdots,m\}$: 재료의 집합

다음으로 파라미터를 아래와 같이 정의한다.

· D_{ij} = 구성원i가 보유한 재료j의 개수 $\forall i \in N, \forall j \in M$

<표 2> 파라미터 예시 (D_{ij})

N \ M	1	2	3	4	5
1	2	0	0	0	2
2	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0

n	2	0	1	2	1

이때 D_{ij}는 <표2>의 예시와 같이 주어진 전체 구성원과 재료의 데이터를 표현한 값이다. 예를 들어, 2번째 사람은 어떤 재료도 가지고 있지 않고, 3번째 사람은 3, 4번째 재료를 하나씩 가지고 있다. 모형을 통해 갖고자 하는 결정변수는 다음과 같다.

$$x_{iji'} = \begin{cases} k & \text{구성원 } i\text{가 } i'\text{에게 재료 } j\text{를 준 경우} \\ -k & \text{구성원 } i\text{가 } i'\text{에게 재료 } j\text{를 받은경우} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$x^{+}_{iji'}$: 양의 값을 갖는 결정변수 $x_{iji'}$의 대체변수

$x^{-}_{iji'}$: 음의 값을 갖는 결정변수 $x_{iji'}$의 대체변수

위 정의를 바탕으로, Totally Unimodular Property[5]를 적용하여 LP(Linear Programming)로 표현된 T-opt #1 모형은 다음과 같다.

$$Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{i' \in N \setminus \{i\}} (x^{+}_{iji'} + x^{-}_{iji'})/2 \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{i' \in N \setminus \{i\}} x_{iji'} \le D_{ij} - 1 \qquad \forall i \in N, \forall j \in M \quad (2)$$

$$x_{iji'} + x_{i'ji} = 0 \qquad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (3)$$

$$x_{iji'} = x^{+}_{iji'} - x^{-}_{iji'} \qquad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (4)$$

$$x^{+}_{iji'}, x^{-}_{iji'} \ge 0 \qquad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (5)$$

식 (1)은 목적함수이다. 본 연구의 목적은 트

레이드되는 재료의 양의 최소화이다. 결정변수의 절대값을 모두 더하면 주고받는 경우가 중복되므로 1/2을 곱하여 거래되는 양을 산출하였다. 식 (2)를 통해 구성원 개개인은 각 재료를 1개 이상 갖도록 하였다. 식 (3)은 주는 경우 양의 값을, 받는 경우 음의 값을 갖게 하여 트레이드가 성립되게 하는 제약식이며 식 (4)는 결정변수의 부호와 관계없이 양의 값을 갖게 하여 목적식의 값을 구할 수 있도록 하였다.

3.2.2 T-opt #2

T-opt #2을 구성하기 위한 집합 및 파라미터는 T-opt #1과 같으며 추가로 정의한 변수는 아래와 같다.

$$x_{ijk}=\begin{cases}1 \text{ 구성원 } i\text{와 } j\text{가 재료 } k\text{를 주고받을경우} \\ 0\ otherwise\end{cases}$$

$$y_{ijk}=\begin{cases}x_{ijk} & (D_{ik}\le D_{jk}) \\ -x_{ijk} & (D_{ik}\ge D_{jk})\end{cases}$$

예를 들어 $D_{11}=2, D_{21}=0$이라고 가정할 때 y_{121}의 값은 x_{121}의 값을 갖고 y_{211}은 $-x_{211}$의 값을 갖게 된다. 이때 y_{ijk}값이 양수이면 구성원 i가 구성원 j로부터 재료 k를 받고, 음수일 때 구성원 i가 구성원 j에게 k를 주는 것을 의미한다.

이를 이용한 수리모형은 아래와 같다.

$$Min \sum_{i\in N}\sum_{j\in N \setminus \{i\}}\sum_{k\in M} x_{ijk}/2 \qquad (1)$$

$$s.t.$$

$$x_{ijk}-x_{jik}=0 \qquad \forall i,j\in N,\ \forall k\in M \qquad (2)$$

$$\sum_{j\in N} y_{ijk}\ge 1-D_{ik} \qquad \forall i\in N,\ \forall k\in M \qquad (3)$$

$$y_{ijk}=x_{ijk}(D_{jk}-D_{ik})/\sqrt{(D_{jk}-D_{ik})^2} \qquad \forall i,j\in N,\ \forall k\in M \qquad (4)$$

$$x_{ijk}, y_{ijk}\in\{0,1\} \qquad \forall i,j\in N,\ \forall k\in M \qquad (5)$$

식 (1)은 목적함수로 T-opt #1과 같이 트레이드 되는 재료의 양을 최소화 해주며 중복되는 값을 제거하기 위해 1/2를 곱하여 거래되는 양을 산출하였다.

식 (2)는 거래가 필요한 구성원들을 매칭하는 제약식이다. 앞의 예를 다시 살펴보면 y_{121}은 x_{121}의 값을 갖고 y_{211}은 $-x_{211}$값을 갖는다. 이때 x_{121}과 x_{211}은 (2)식으로 인하여 같은 값을 갖는다. 즉 구성원 1이 구성원 2를 제외한 다른 구성원으로부터 재료를 받아 x_{121}값이 0일 경우 x_{211}도 0의 값을 가지면서 구성원 2는 다른 사람에게 재료를 나눠주게 된다.

식 (3)은 (2)를 통해 매칭된 사람들간의 교환을 모두 더해 구성원 i가 갖는 재료가 1개 이상이 되도록 설정했다. 식 (4)는 앞서 정의한 y_{ijk}를 수학식으로 나타낸 것이다.

3.2.3 T-opt #3

T-opt #3을 구성하기 위한 집합은 T-opt #1과 같으며 추가적으로 정의한 파라미터 및 변수는 아래와 같다.

<파라미터>

a_i = 구성원i가 갖고있는 재료a의 개수

e_i = 구성원i가 갖고있는 재료e의 개수

<변수>

$$x_{ij}^{k}=\begin{cases}1 & \text{구성원 } i\text{가 } j\text{에게 재료 } k\text{를 준 경우} \\ 0 & otherwise\end{cases}$$

g_i = 구성원i가 만드는 구성품의 개수 $g_i\in$

위 정의를 바탕으로 표현된 T-opt #3은 다음과 같다.

$$Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \sum_{k \in M} x_{ij}^{k} \tag{1}$$

$$s.t. \quad a_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^{a} + \sum_{j \in N} x_{ji}^{a} = g_i \qquad \forall i \in N \tag{2}$$

$$b_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^{b} + \sum_{j \in N} x_{ji}^{b} = g_i \qquad \forall i \in N \tag{3}$$

$$c_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^{c} + \sum_{j \in N} x_{ji}^{c} = g_i \qquad \forall i \in N \tag{4}$$

$$d_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^{d} + \sum_{j \in N} x_{ji}^{d} = g_i \qquad \forall i \in N \tag{5}$$

$$e_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^{e} + \sum_{j \in N} x_{ji}^{e} = g_i \qquad \forall i \in N \tag{6}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \tag{7}$$

식 (1)은 목적함수로 트레이드되는 재료가 최소화되도록 했으며, 기존의 T-opt #1, #2와는 다르게 재료를 줄 경우에만 결정변수가 값을 갖기 때문에 중복되는 값이 없어 1/2을 곱하지 않았다. 식 (2)~(6)은 각 재료에 대한 총량을 통제하는 제약식이다. 모든 구성원은 자신한테 할당된 g_i개수를 맞추기 위해 재료를 교환하고 g_i는 목적식에 의해 교환이 최소화되도록 값이 설정된다. 최종적으로 가장 작은 횟수의 재료교환을 통해 가장 많은 양의 완제품을 만들 수 있다.

4. 사례연구

4장에서는 3장에서 설계된 트레이드 모형의 성능을 비교하기 위해 실험을 진행하고 그 결과를 제시한다.

모델 1, 2, 3의 성능은 문제의 가정사항을 만족하는 실험 instance를 대상으로 구성요소의 트레이드 횟수를 의미하는 목적식 값과 최적해를 도출하는데 소요되는 CPU time으로 비교하였다.

4.1 실험계획

실험의 instance는 각 재료별로 전체 구성원이 가진 재료 수량의 합이 n이 되도록 랜덤하게 생성하였다. instance의 크기는 구성원의 수(=n)를 50, 100, 300, 500, 1000으로 설정하여 비교실험 하였다.

<표 3>은 임의로 생성된 instance의 예시(n=50)이다.

<표 3> instance 예시(n=50)

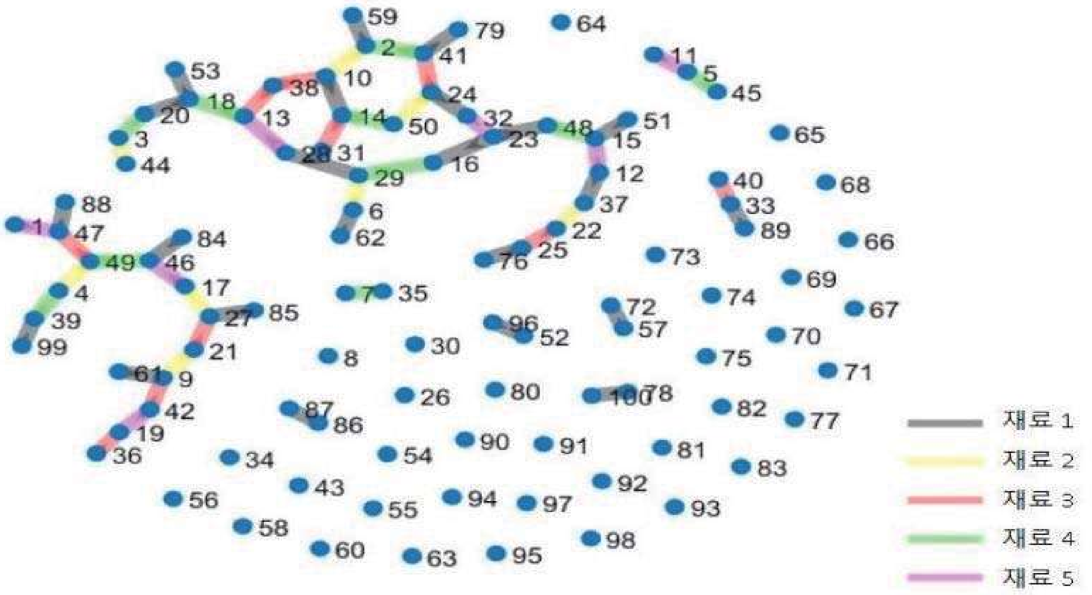
N \ M	1	2	3	4	5
1	1	2	0	0	0
2	0	1	3	0	3
50	2	0	1	2	1
합 계	50	50	50	50	50

4.2 실험 결과

모델의 실험을 위하여 GAMS IDE를 이용하였으며 실험에 사용한 PC는 2.8GHz, 8GB RAM이다. Solver는 IBM CPLEX[6]를 사용하였다.

<그림 1>은 n=100인 실험 instance를 대상으로 T-opt #3을 실행한 결과다. 트레이드 횟수를 최소화 하기 때문에 이미 필요한 재료를 가지고 있는 구성원들은 트레이드하지 않고 일부 재료가 많거나 적은 구성원들만 트레이드하는 모습을 볼 수 있다.

구성원의 수준별로 각 모델을 실행한 실험결과는 <표 4>와 같다.



<그림 1> 트레이드 최적해의 예시 (100명의 구성원, 5개의 재료)

<표 4> T-opt 모델 실험결과

구분	size ($=n$)	# of trade(회)			CPU time(s)		
		#1	#2	#3	#1	#2	#3
1	50	130	130	44	0.578	0.89	0.42
2	100	280	280	103	1.36	1.625	0.63
3	300	884	884	314	12.5	24.6	8.95
4	500	1460	1460	522	44.9	166.1	53.9
5	1000	2966	2966	1028	383.8	1319.5	637.3

선형계획법으로 모형화한 T-opt #1과 이진 변수를 활용한 정수계획법으로 모형화한 T-opt #2의 트레이드 횟수는 동일하고, T-opt #3의 트레이드 횟수는 T-opt #1, #2의 트레이드 횟수보다 적다. 이는 T-opt #1, #2는 구성원 간 트레이드를 통하여 모든 구성원이 재료의 조합 1set를 가지도록 모형화한 반면, T-opt #3는 한 구성원이 재료의 조합을 2set 이상 가지거나 하나의 재료도 가지지 않는 경우를 허용하여 모형화한 점에서 기인하는 차이다.

CPU time은 선형계획법으로 모형화한 T-opt #1이 가장 짧고, 다음으로 T-opt #3, #2 순이다. T-opt #2, #3은 동일하게 정수계획법으로 모형화 했지만, T-opt #3은 더 적은 수의 트레이드로 n개의 재료 조합을 완성할 수 있으므로 T-opt #2보다 짧은 CPU time을 가진다. 실험 instance의 size가 증가할수록 모델 간 CPU time의 차이도 증가하였다. 다만, TU-성질을 활용하여 선형모형으로 구성한 T-opt #1의 경우 instance의 크기가 커지더라도 계산시간이 지수적으로 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

제 3 장과 4장에서 사용된 구성원과 재료들은 수요처와 구성요소로 일반화 할 수 있다. 본 연구는 수요처와 구성요소의 세부 데이터를 보유한 상황에서 각 구성요소의 조정이 가능한 경우, 트레이드 횟수를 최소화하며 각 수요처들의 구성요소 불균형을 해소하고 구성요소들을 조합하여 완성할 수 있는 완성품의 수량을 최대로 하는 트레이드 모형을 제시하였다.

이 모형을 활용한다면 다양한 조직에서 일어날 수 있는 하위 조직의 불균형을 상위 조직에서 조정할 때 필수적인 요소를 충족하면서 필요한 트레이드 횟수를 최소화하는 최적해를 구할 수 있다. 이를 통하여 구성원 간 트레이드로 인하여 부가되는 소요를 최소화 할 수 있다.

군에서도 전시 작전지속지원만으로 부대의 기능을 회복할 수 없을 때, 전투력 복원을 위한 작전을 시행한다. 이때, 복원 대상이 되는 부대의 지휘통제체계가 유지되어야, 질서 있고 효과적인 전투력 복원을 할 수 있다. 이 경우, 본 연구의 트레이드 모형을 통해 수요처 간 이동을 명시적으로 알 수 있고, 구성요소의 이동 횟수를 최소화하여 효과적인 전투력 복원이 가능하다. 또한, T-opt #1, #2와 T-opt #3의 구조가 상이한 것처럼, 다양한 상황을 고려하여 제약식을 추가하거나 다르게 하면 상황별 맞춤 트레이드 결과를 얻을 수 있다.

이외에도 구성품의 초과분 또는 부족분 발생으로 인하여 사용 가능한 자원의 감소나 비효율이 발생하는 경우 적용 가능한 모형으로 판단한다.

본 연구에서 적용한 트레이드는 일방향으로 구성요소를 이동하였으나, 향후 구성원 사이의 맞교환, 삼각 이상의 교환을 통하여 초과와 부족을 해소할 수 있는 모형에 관한 연구가 필요하다.

Acknowledgment

최적화 모델의 구현과 분석에 도움을 준 국방최적화모델링 '21년 학기 수강생들에게 감사를 전합니다.

참 고 문 헌

[1] 이태호, 김세준, 이병준, 김경태, 윤희용, 『다중 게이트웨이 환경에서의 분산 트레이드 기반 종단 노드 관리』, 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집 27(1), 2019, pp.151-152.

[2] 이상운, 『불완전 비용 리스트를 가진 대규모 수송문제의 배정-교환 알고리즘』, 한국컴퓨터정보학회논문지 20(6), 2015, pp.51-58.

[3] 이상운, 『안정된 결혼문제에 대한 최적화 알고리즘』, IIBC Vol.18.no.4, 2018, pp.149-154.

[4] 이상운, 『화물열차 적재량 균형문제의 중량 내림차순 화물 적재와 교환 알고리즘』, 한국정보기술학회논문지 12.(12), 2014, pp.171-179.

[5] Laurence A.Wolsey, 『Integer Programming』, Wiley Interscience, 1998, pp.9-12.

[6] Cplex, I. I. V12. 1, 『User's Manual for CPLEX』, International Business Machines Corporation, 46(53), 2009, pp.157.

저 자 소 개

강동길(E-mail: kbik3501@gmail.com)
2014 육군사관학교 토목건축공학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션

최은진(E-mail: cej9204@naver.com)
2015 육군사관학교 화학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 데이터마이닝, 데이터 애널리틱스

성낙영(E-mail: low133@naver.com)
2014 육군사관학교 운영분석학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션

조남석(E-mail: ncho64@gmail.com)
2002 육군사관학교 전산학과 학사
2007 미국 공군대학원 운영분석 석사
2016 미국 위스콘신대학 산업공학 박사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 부교수
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션

조윤환(E-mail: boxer4090@naver.com)
2014 육군사관학교 운영분석학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션