

공병 장비의 최적할당을 위한 수리모형 및 휴리스틱 알고리즘

박종복, 안남수*
육군사관학교 기계시스템공학과

Mathematical model and heuristic for the assignment of military engineering equipments in ROK army

Jongbok Park, Namsu Ahn*
Department of Mechanical & Systems Engr., Korea Military Academy

요 약 육군의 공병은 여러 장비를 이용하여 다양한 작전을 수행 중이며, 대표적인 군사작전 분야로는 포병 진지구축 지원이 있다. 포병은 아군의 후방에서 화력으로 적의 중심을 타격하는 임무를 수행하며, 이때 사격 위치 노출 방지를 위해 한 진지에서 여러 차례 사격 후 진지를 반드시 이동해야 함에 따라 제한된 수의 장비를 효율적으로 운용하여 다수의 진지를 신속히 구축하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 진지 구축시 제약조건을 반영하여, 공병장비-팀(작업)-진지간 최적할당이 가능한 수리모형과 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 이에 대한 실험결과를 제시하고자 한다. 본 논문에서 제안한 최적화 수리모형은 작은 크기의 문제에서는 최적해를 도출하나, 실제 공병대대 및 여단 규모의 장비배치 문제에서는 최적해 도출에 장시간이 소요되는 한계가 존재함에 따라, 수리모형 기반의 휴리스틱 역시 제안하였다. 해당 휴리스틱은 1단계에서 수리 모형의 일부 변수의 정수제약 조건을 완화하고 할당에 대한 최적해를 구하고, 해당 해를 원 수리모형에 추가하여 최종 해를 구하는 형태로 설계하였다. 이러한 휴리스틱은 최적해의 도출은 보장하지는 못하나 문제의 크기가 커져도 빠른 시간에 해를 도출할 수 있었다.

Abstract The Army's engineers are carrying out a range of operations using various equipment, of which, artillery unit support is the representative engineering operation field. The main task of the artillery unit is to attack the enemy's center with firepower from the rear of a friendly force. The artillery must move its original position after firing several times to prevent exposure of the shooting position. This paper proposed a mathematical model and heuristic algorithm that can be used to determine the optimal allocation among engineer equipment, the team (work), and position while reflecting the constraints of the construction of an artillery position. The model proposed in this paper derived the optimal solution for the small size problems, but it takes a long time to derive the optimal solution for the problem of equipment placement of the engineer battalion and brigade scale. Although the heuristic suggested in this study does not guarantee the optimal solution, the solution could be obtained in a reasonable amount of time.

Keywords : Optimal Assignment, Engineer Equipment, Mathematical Programming, ROK Army, Firing Position

본 논문은 육군사관학교 화랑대연구소의 연구 활동 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Namsu Ahn(Korea Military Academy)

email: ahn77@kma.ac.kr

Received January 3, 2020

Accepted April 3, 2020

Revised January 28, 2020

Published April 30, 2020

1. 서론

육군의 공병은 다양한 공병 장비들을 활용하여 전·평시 여러 민·관·군 작전을 수행하는데, 이중 대표적인 전·시 임무는 생존 지원에 포함되는 포병 진지구축이다. 포병은 아군의 후방에서 화력으로 적의 핵심표적을 타격하는 임무를 수행함에 따라, 사격 위치 노출 방지를 위한 진지에서 수차례 사격 후 다른 진지로 진지 이동을 한다. 이때 진지 이동은 포대 단위로 이루어지는 것이 보편적이다.

따라서 지휘관은 제한된 수의 장비를 효율적으로 운용하여 다수의 진지를 최단시간 내에 구축해야 하나, 현재는 세부적인 구축계획 및 방법이 부재함에 따라 지휘관의 직관에 의존하고 있다. 또한, 직관에 의존함에 따라 다양한 현실 제약 및 우발상황을 고려한 계획수립은 어려운 형편이다[1].

진지구축을 위해서는 사전에 정해진 수의 팀이 존재하며, 각 팀은 진지구축을 위해서 3가지의 작업, 즉, 절토(cut), 적재(load), 성토(build)를 수행해야 한다. 즉, 주어진 장비들, 구축해야 하는 진지, 작업을 수행하는 팀이 주어졌을 때, 진지를 어느 팀에 배정하고 장비를 각 팀의 어느 작업에 할당하는 것이 좋을지를 결정하는 것이 현재 지휘관의 몫으로 남겨져 있다. 이때 목적함수는 최장 작업시간의 최소화, 팀별 작업량의 균등화, 할당 장비수의 균등화 등 다양하게 있을 수 있으나, 본 연구에서는 팀별 작업시간의 균등화, 즉 최장 작업시간과 최소 작업시간의 차이를 최소화하는 것으로 선정하였다. 기술한 공병 장비의 최적할당 관련 문제 상황을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

단, 장비 할당시 몇 가지 고려해야 하는 요소가 존재하는데, 첫 번째는 장비가 어느 작업을 수행하는지에 따라 작업능력(m^3/hr)이 다르다는 것이다. 공병 장비의 종류는 크게 5종류(excavator, loader, dozer, CMPE, ACE)가 존재하는데, 예를 들어 도자(Dozer)의 경우 절토(cut) 작업 시에는 300, 적재(load) 작업할 때에는 0, 성토(build) 작업 시에는 300의 작업능력을 갖추고 있다[1].

두 번째로 고려해야 하는 요소는 작업 처리시간을 계산시 토량 환산계수의 고려가 필요하다는 점이다. 즉, $1m^3$ 의 흙을 성토(build)하기 위해서는, $1.1m^3$ 의 흙을 절토(cut)하고, 다시 $1.15m^3$ 의 흙을 적재(load)해야 한다.

기존 연구([1, 2])에서는, 1단계로 팀(작업)과 장비간 할당을 장비 작업능력 최대화 목적함수로 할당을 수행하고, 2단계로 팀과 진지간 할당을 진지 구축시간 최소화

목적함수로 배치하였다. 단계별 제약식은 연구에 따라 차이가 존재하나 공통적인 제약조건은 1단계의 경우 성토(build)작업에는 1대 이상의 Excavator가 무조건 할당이 되어야 하며 최소작업능력을 유지해야 한다는 것이고, 2단계의 경우 1개의 진지에는 1개의 팀만 배정하고 진지구축 우선순위를 고려해야 한다는 점이다. 즉, 기존연구에서는 1단계의 배정결과를 토대로 2단계 배정을 시도하는 형태로 문제에 접근하였다. 하지만 이러한 형태의 접근은 1단계의 최적해가 2단계의 최적해를 보장하지 못할 수 있다는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구는 진지, 팀(작업), 장비간 할당을 동시에 고려한 최적 배치를 찾고자 한다.

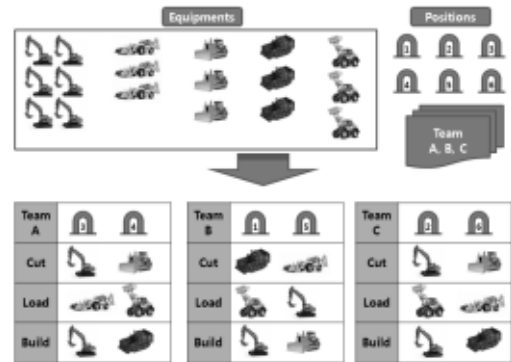


Fig. 1. Problem of Optimal Assignment of Engineering equipments

본 논문은 다음과 같은 구성으로 이루어져 있다. 2장에서는 본 문제 관련 선행연구들을 고찰하고, 3장에서는 공병 장비의 최적할당을 위한 수리모형을 제시하고자 한다. 이때 비선형 수리모형과 이를 대체하기 위한 선형모형을 모두 제시하며, 간단한 실험결과를 포함한다. 4장에서는 선형 수리모형 기반의 휴리스틱 알고리즘을 제시하고, 공병 대대와 여단 규모 크기의 문제에서 실험결과를 제시하고자 한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 한계 및 향후 결론 방향에 대해 논하며 연구를 마무리하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

본 장에서는 포병진지 구축시 공병 장비의 할당에 관한 문제를 연구한 기존 논문들에 대해 살펴보고자 한다. 본 연구와 직접 관련이 있는 포병 진지의 구축에 관한

연구로는 먼저 제한된 시간 및 지원능력 범위에서 최대 한의 포병 진지구축 및 방호강도 달성을 위한 차량 경로에 관한 연구가 존재한다[3]. 해당 연구는 서비스 수준을 고려한 차량 경로 문제로 접근하였으며, 군집분석 최적화 알고리즘 기법을 변형한 소위, mPSO(modified PSO)를 적용한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이후 연구에서는(4), 포병 진지구축을 최단시간에 완료하기 위해서는 어느 진지를 공병 부대에 할당하고, 부대에 할당된 포병 진지에 대해 어떠한 형태의 진지를 구축할 것인지 결정한 뒤, 공병 부대의 보유 장비로 어떻게 팀을 구성할 것인지를 연구하였다. 해당 연구에서는 이러한 문제 상황에 대해 수리모형을 제시하고, 또한, 원 문제를 공병부대-포병부대 할당문제, 지원팀 편성문제, 지원팀 일정계획 문제로 나누어 접근하는 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다.

유사한 시기에 이루어진 연구([1, 2])에서는 문제를 현실 상황에서 적용할 수 있도록 몇 가지 구체적인 요소를 문제에 도입하였다. 먼저 5종의 장비(excavator, loader, dozer, CMPE, ACE)를 3개의 작업(절토, 적재, 성토)에 할당하기 위해 육군 야전교범 공병 야전제원([6, 7]) 등을 참조하여 Table 1과 같이 장비별 작업능력을 수치화하였다. 본 연구에서는 연구의 간결성을 위해 작업능력의 수치를 50의 배수로 일부 조정하였다.(원 수치는 괄호로 표기하였다.)

Table 1. Capability of equipments(m³/hr)

	Cut	Load	Build
Excavator	50 (65)	50 (65)	50 (65)
Loader	200 (202)	200 (202)	200 (202)
Dozer	300 (270)	×	300 (270)
CMPE	150 (132)	150 (132)	150 (132)
ACE	250 (230)	×	250 (230)

또한, 절토작업, 적재작업 그리고 성토작업의 능력판단 시 토량 환산계수를 고려하였다. 이는 같은 무게일지라도 토량의 부피가 각각 다르기 때문이다. 부피 순으로 본다면 흐트러진 상태의 토량, 자연 상태의 토량, 다져진 상태의 토량 순으로 크며, 이는 적재작업(성토작업의 1.15배), 절토작업(성토작업의 1.1배), 성토작업 순으로 부피가 다름을 의미한다. 해당 논문에서는 각 팀의 진지구축능력의 합을 최대화하는 것을 목적함수로 하는 장비-팀(작업) 1단계 할당문제와 진지구축 시간 중 최대시간

을 최소화하는 것을 목적함수로 하는 팀-진지 2단계 할당문제로 나누어 접근하였다. 마찬가지로 수리모형과 함께 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 실험결과를 제시하였다.

본 연구의 문제 상황은 기존 연구([2])와 유사하나 목적함수 및 접근방법에서 차이가 존재한다. 기존연구와 같이 문제를 나누어 전 단계에서 최적해를 구한 후 다음 단계의 문제를 풀기 위해 사용할 때는, 전 단계의 최적해가 다음 단계의 최적해를 보장하지 않는 경우가 발생 가능하다는 것을 고려하여, 상황 제약을 모두 고려한 단일 목적함수를 푸는 형태로 접근하였다.

3. 수리모형 및 실험결과

본 장에서는 단일 목적함수에 대해 1단계와 2단계 최적배정을 동시에 수행하는 수리모형을 제시하고자 한다. 본 장의 전체적인 연구 모형 설계에 대한 개념도를 제시하면 아래 Figure 2와 같다.



Fig. 2. Overall framework of research procedure

목적함수는 팀별 작업소요시간의 최대값과 최소값의 차이를 최소화하는 것이며, 제약조건은 다음과 같다.

<제약조건>

1. 모든 진지는 하나의 팀에만 할당한다.
2. 각 팀에는 한 개 이상의 진지를 할당한다.
3. 각 장비는 팀별 작업에 할당이 되어야 한다.
4. 장비는 수행하는 작업 종류에 따라 작업능력이 달라진다.

5. 각 팀의 성토작업에는 1개 이상의 excavator가 할당되어야 한다.
6. 각 작업량은 토사량 환산계수를 고려해야 한다.
7. 작업의 처리시간은 토사량 환산계수를 고려한 작업량을 할당된 장비 처리능력의 합으로 나눈 값이다.

수리모형에서 사용한 기호 및 변수는 아래와 같다.

〈집합〉

- 팀 : T
- 작업 : W(=W_{cut}∪W_{load}∪W_{build})
- 장비 : E(=E_{exca}∪E_{loader}∪E_{dozer}∪E_{CMPE}∪E_{ACE})

〈상수〉

- 토사량 환산계수 : C_w(=1.1, 1.15, 1.0 / C_{cut}, C_{load}, C_{build})
- 작업/장비별 작업능력 : CP^w_e
- 진지 P의 작업량 : lp_p

〈변수〉

- x_{p,t} : 진지 p의 팀 t의 담당 여부
- y_{t,w,e} : 팀 t의 작업 w에 장비 e의 할당 여부
- l_t : 팀 t가 처리해야 하는 작업량
- d_{max}, d_{min} : 팀별 작업소요시간의 최대값 및 최소값

이제 수리모형은 위 기호와 변수를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \min. \quad & d_{\max} - d_{\min} & (1) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{t \in T} x_{p,t} = 1, & \forall p \in P. & (2) \\
 & \sum_{p \in P} x_{p,t} \geq 1, & \forall t \in T. & (3) \\
 & \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} y_{t,w,e} = 1, & \forall e \in E. & (4) \\
 & \sum_{e \in E_{\text{can}}} y_{t,w_{\text{max}}} \geq 1, & \forall t \in T. & (5) \\
 & l_t = \sum_{p \in P} x_{p,t} \times lp_p, & \forall t \in T. & (6) \\
 & \frac{C_w \times l_t}{\sum_{e \in E} CP_e^w \times y_{t,w,e}} \leq d_{\max}, & \forall t \in T, w \in W. & (7) \\
 & \frac{C_w \times l_t}{\sum_{e \in E} CP_e^w \times y_{t,w,e}} \geq d_{\min}, & \forall t \in T, w \in W. & (8) \\
 & x_{p,t}, y_{t,w,e} = 0 \text{ or } 1, & \forall p \in P, t \in T, w \in W, e \in E. & (9)
 \end{aligned}$$

제약식 (1)은 작업시간 중 최대시간과 최소시간의 차이를 최소화함으로써 작업간 부하를 균등하게 하기 위한 목적함수를 나타내고, 제약식 (2)는 한 진지는 반드시 한

개의 팀에 할당이 되어야 함을 의미한다. 제약식 (3)은 각 팀은 반드시 1개 이상의 진지를 할당받아야 함을 나타내며, 제약식 (4)는 모든 장비의 경우 특정 팀 작업에 할당이 되어야 함을 표현한다. 제약식 (5)는 성토작업에는 반드시 1대 이상의 Excavator가 할당되어야 함을 의미하고, 제약식 (6)은 각 팀에 할당된 진지 작업량의 합을 계산한다. 제약식 (7)과 (8)은 각 팀의 작업시간(=토량환산계수를 고려한 작업량 / 각 작업에 할당된 장비 능력의 합)의 최대값과 최소값을 구해준다. 마지막으로 제약식 (9)는 할당 관련 변수들이 이진 결정변수임을 나타낸다.

하지만, 위 모형은 비선형 제약식 (7)과 (8)을 포함한 비선형 수리모형임에 따라 일반적으로 실행 가능한 해를 구하기조차 쉽지 않음에 따라 아래와 같이 추가로 이진 결정변수를 도입하여 선형화하였다.

〈추가변수〉

- l_{t,v} : 팀 t가 처리해야 하는 작업량이 v인지 여부
- tr_{t,w,v} : 팀 t의 작업 w에 할당된 장비들의 처리능력이 v인지 여부
- c_{t,w,v} : 팀 t가 작업 w를 처리하기 위한 시간

$$\begin{aligned}
 \min. \quad & d_{\max} - d_{\min} & (10) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{t \in T} x_{p,t} = 1, & \forall p \in P. & (11) \\
 & \sum_{p \in P} x_{p,t} \geq 1, & \forall t \in T. & (12) \\
 & \sum_{v \in V} l_{t,v} = 1, & \forall t \in T. & (13) \\
 & \sum_{v \in V} v \times l_{t,v} = \sum_{p \in P} x_{p,t} \times lp_p, & \forall t \in T. & (14) \\
 & \sum_{v \in V} tr_{t,w,v} = 1, & \forall t \in T, w \in W. & (15) \\
 & \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} y_{t,w,e} = 1, & \forall e \in E. & (16) \\
 & \sum_{e \in E_{\text{can}}} y_{t,w_{\text{max}}} \geq 1, & \forall t \in T. & (17) \\
 & \sum_{e \in E} CP_e^w \times y_{t,w,e} = \sum_{v \in V} v \times tr_{t,w,v}, & \forall t \in T, w \in W. & (18) \\
 & \sum_{v \in V} c_{t,w,v} = 1, & \forall t \in T, w \in W. & (19) \\
 & l_{t,v1} + tr_{t,w,v2} \leq c_{t,w,v3} + 1, & \forall t \in T, w \in W, v1 \in V, v2 \in V, v3 = \left\lceil \frac{c_w \times v1}{v2} \right\rceil. & (20) \\
 & c_{t,w,v} \leq d_{\max}, & \forall t \in T, w \in W, v \in V. & (21) \\
 & c_{t,w,v} \geq d_{\min}, & \forall t \in T, w \in W, v \in V. & (22) \\
 & x_{p,t}, y_{t,w,e}, l_{t,v}, tr_{t,w,v}, c_{t,w,v} = 0 \text{ or } 1. & (23)
 \end{aligned}$$

4. 최적화 모형 실험결과

본 장에서는 3장에서 제시한 선형 수리모형을 소규모 데이터에 적용하여 할당의 결과를 확인하고 모형의 적절성을 파악하고자 한다. 최적화 모형은 Windows 7에서 Xpress Mosel [5] 최적화 소프트웨어를 통해 구현하였으며, 구현환경은 CPU는 Dual Core i3 2.4GHz, Ram은 2GB이다. Mosel은 여러 최적화 소프트웨어들(IBM Cplex, Lingo, Gurobi, LP solve 등) 중 최적해로 수렴 속도가 빠르며, 사용하기 쉬우며, 쉽게 다른 언어(C++, Java, Python 등)를 통해 확장할 수 있고, 특히 객체의 동적인 사용을 통해 메모리의 효율적인 사용이 가능하다. 실제 Mosel을 통해 최적해를 구하는 화면(팀 2, 장비 6대, 진지 2개)은 아래 Fig. 3와 같다.



Fig. 3. User interface of Mosel when obtaining the optimal solution

인자들의 값은 T=2, E=6(Excavator 2대, loader/dozer/CMPE/ACE는 각 1대)이며, P=2(2800과 1200)이다. 또한, 장비별 작업능력은 2장에서 제시한 Table 1과 같다고 가정하였다. 수리모형을 푸는데 소요시간은 0.406초였으며, 최적화 모형을 통해 얻은 결과는 아래 Table 2, 3과 같다.

Table 2. Result of optimal assignment (T=2, E=6, P=2)

	Team A	Team B
Assigned Load	2800	1200
Cut (Workload : 3080, 1320)	ACE (Capa. : 300)	Dozer (Capa. : 250)
Load (Workload : 3360, 1440)	CMPE (Capa. : 150)	Loader (Capa. : 200)
Build (Workload : 2800, 1200)	Excavator 2 (Capa. : 50)	Excavator 1 (Capa. : 50)

Table 3. Task duration time(min)

Consumed Time	Team A	Team B
Cut	11	6(=MIN)
Load	23	8
Build	56(=MAX)	24

팀의 수와 장비의 수를 고정하고, 진지의 수 P(2 ~ 5)를 변화시켜 가며 할당을 수행한 결과는 아래 Table 4, 5와 같으며 팀/작업별 최대값과 최소값 역시 진하게 표기하였다.

Table 4. Result of optimal assignment (T=2, E=6, P=2~5)

T	E	P	Consumed Time	d _{max} - d _{min}	Workload per Team
2	6	2	0.45	50	2800, 1200
2	6	3	1.48	65	3200, 4000
2	6	4	5.44	71	4400, 4400
2	6	5	11.06	91	5400, 5600

Table 5. Task duration time(min) (T=2, E=6, P=2~5)

T	E	P	Consumed time per work (Cut, Load, Build)	
			Team A	Team B
2	6	2	11, 23, 56	6 , 8, 24
2	6	3	15 , 20, 64	15, 32, 80
2	6	4	20, 27, 88	17 , 36, 88
2	6	5	24, 33, 108	21 , 45, 112

하지만 장비 및 구축해야 하는 진지의 수가 공병대대 혹은 공병여단일 경우(장비의 수가 46개 이상일 경우), Mosel 최적화 소프트웨어를 통한 최적해의 습득은 가용 메모리의 부족으로 가능하지 않았다. 이는 정수계획 수리모형을 최적화 소프트웨어를 통해 풀고자 할 때 일반적으로 나타나는 현상이다. 보통 최적화 알고리즘을 이용하여 최적해를 구할 수 있지만 최적해로의 수렴시간을 보장할 수 없으며, 휴리스틱은 최적해를 구할 수는 없지만, 현실 크기의 문제에 대해 적정 시간 내에 해를 구해준다.

따라서 본 연구에서는 3장에서 제시한 수리모형이 실제 최적해를 도출하는데 사용할 수 있음을 확인하는 데 의의를 두고, 이어지는 5장에서 본 장에서 제시한 최적화 수리모형을 통해 해를 적정 시간 내에 구할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제시하고자 한다.

5. 휴리스틱 및 실험결과

본 장에서는 3장에서 제시한 수리모형을 기반으로 한 휴리스틱 알고리즘을 제안하고자 한다. 휴리스틱 알고리즘은 대상 문제의 크기가 결정됨에 따라 해당 문제에 대해 적정 시간 내에 해를 얻는 것에 주력하였다.

알고리즘의 아이디어는 결정변수 중 일부에 대해 정수 제약을 제거하여 분지 한계법 알고리즘 입장에서 문제를 조금 더 가볍게 만든 후, 여기에서 얻은 최적해를 다시 원래 문제에 적용하여 원 문제의 해를 얻고자 하였다.

요약하면, 휴리스틱은 아래 Fig. 4와 같이 4단계로 나누며, 핵심 아이디어는 실제 할당 의사결정에 필요한 $x_{p,t}$ 와 $y_{t,w,e}$ 변수를 제외한 다른 변수들은 모두 정수제약을 제외한 혼합정수계획모형으로 변형하여 푸는 것이다.

먼저 3장의 이진정수 최적화 모형을 혼합이진정수 최적화 모형으로 변환하고 최적화 소프트웨어를 통해 진지와 팀 간의 할당결과(결정변수 $x_{p,t}$ 의 변수값)와 팀/작업과 장비 간의 할당결과(결정변수 $y_{t,w,e}$ 의 변수값)를 얻는다. 그리고 혼합이진정수 최적화 모형을 다시 이진정수 최적화 모형으로 변환하고, 이때 전 단계에서 얻은 결정변수의 값을 고정해 제약식으로 추가한다. 그리고 다시 이진정수 최적화 모형을 풀고 해당 결과를 얻는 형태로 알고리즘이 구성되었다.

공병 대대 규모의 장비에 본 알고리즘을 적용하기 위해 $T=2\sim 10$, $E=46$ (Excavator/Loader/Dozer/CMPE/ACE가 각 20/6/6/8/6대), $P=20$ 으로 상황을 묘사하였다. 실험결과는 아래 Table 6과 같다.

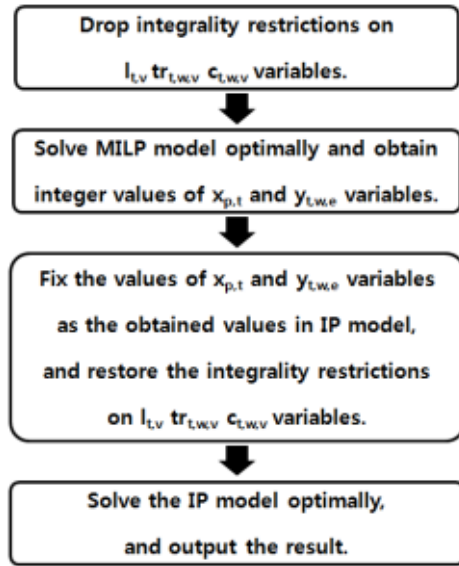


Fig. 4. Process of Heuristic Algorithm

Table 6. Result of optimal assignment
($T=2$, $E=46$, $P=20$)

T	E	P	Consumed Time	d_{max}	d_{min}
2	46	20	20.608	13	49
3	46	20	7.41	7	100
4	46	20	4.182	10	75
5	46	20	7.223	8	94
6	46	20	2.73	8	61
7	46	20	16.209	9	64
8	46	20	16.989	15	46
9	46	20	23.557	11	58
10	46	20	100.387	13	97

공병 여단 규모의 장비에 본 알고리즘을 적용하기 위해 $T=2\sim 10$, $E=54$ (Excavator/Loader/Dozer/CMPE/ACE가 각 30/3/12/3/6대), $P=20$ 으로 상황을 묘사하였다. 실험결과는 아래 Table 7과 같다.

Table 6과 7에서 확인한 바와 같이 팀의 수가 증가함에 따라 해를 구하기 위해 걸리는 시간이 증가되는 것을 확인할 수 있지만, 이는 1분이 안 되는 시간이므로 실제 의사결정 지원에 크게 제약이 안 되는 것으로 판단된다. 특이한 사항으로는 팀의 수가 증가할수록 작업 수행시 최대소요시간(d_{max})과 최소소요시간(d_{min})값의 차이가 팀의 수가 증가할수록 감소하는 경향을 보인다는 것이다. 이는 군의 임무달성을 위한 적정 팀의 수가 어느 정도인지를 판단하는데 활용될 수 있을 것이라 여겨진다.

Table 7. Result of optimal assignment
(T=2, E=54, P=20)

T	E	P	Consumed Time	d _{max}	d _{min}
2	54	20	26.16	9	64
3	54	20	9.298	9	97
4	54	20	4.508	24	82
5	54	20	3.729	6	69
6	54	20	2.73	13	45
7	54	20	12.136	9	52
8	54	20	21.574	8	47
9	54	20	23.447	9	56
10	54	20	53.788	12	47

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 공병 장비의 효율적인 배치를 위해 팀별 작업소요시간의 최대값과 최소값의 차이를 최소화하는 목적함수를 토대로 여러 현실 제약을 반영한 수리모형을 제안하였다. 하지만 본 연구에서 제안한 수리모형이 비선형제약조건을 포함한 비선형 최적화 모형임에 따라 추가변수와 제약식을 도입하여 선형 모형화시키었다. 또한, 해당 선형모형을 최적화 소프트웨어를 통해 작은 크기의 사례에 대해 최적해를 구하여 수리모형을 검증하였다.

향후 연구 방향으로는 공병대대 및 여단 규모의 장비와 진지 수를 고려한 최적 배치를 구하는 것과 우선순위가 높은 진지의 구축을 먼저 완료하는 것, 최장작업시간의 최소화, 팀별 작업량의 균등화, 할당 장비수의 균등화, 제대별 작업시간의 균등화 등 다양한 형태의 목적함수를 고려하는 것과 제대별 이동시간을 고려한 제약까지 반영하는 것이 될 것이다.

다만, 본 연구에서 제시하는 내용은 지휘관의 의사결정을 지원하기 위한 것이며, 실제 현장에서 본 연구에서 다루지 못한 여러 가지 상황을 고려하여 의사결정을 내리는 주체는 현장 지휘관의 몫일 것이다.

References

[1] Y. Jang and M. Lee, "Optimum Allocation Model of Military Engineer Equipments for Artillery Position Development", *Korean Management Science Review*, Vol.34, No.2, pp.103-113, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7737/KMSR.2017.34.2.103>

[2] S. Park and M. Lee, "Optimal Allocation Heuristic Method of Military Engineering Equipments during Artillery Position Construction Operation", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*,

Vol.40, No.1, pp.11-21, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.11627/ikise.2017.40.1.011>

- [3] J. Moon and S. Lee, "Study on Vehicle Routing Problem of Artillery Position Construction for Survivability Support", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.37, No.3, pp.171-179, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.11627/ikise.2017.40.1.011>
- [4] M. Ahn, and I. Choi. "Study of Shortest Time Artillery Position Construction Plan", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 17, No.6, pp.89-97, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.6.8>
- [5] Dash Optimization, "Xpress Mosel 4.8.2", 2018.
- [6] ROK Army Training Doctrine Command, Data of Engineering Field(34-0-2), *Korea Military printing Institution*, 2013.
- [7] J. Choi et al., "Factors Affecting Selection and Combination of Earthwork Equipment", *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, Vol.10, No.1, pp.201-205, 2010.

박 종 북(Jongbok Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 육군사관학교 기계공학과
- 2009년 8월 : Texas A&M 대학교 공과대학 (기계공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 육군사관학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

군내 군수분야 최적화, 에너지 하베스팅

안 남 수(Namsu Ahn)

[중신회원]



- 2010년 1월 : 카이스트 산업및시스템공학과 (공학박사)
- 2011년 1월 ~ 2015년 2월 : 국방기술품질원 선임연구원
- 2017년 8월 ~ 현재 : 육군사관학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적화 이론, 품질경영, 생산스케줄링