

Optimal Allocation Heuristic Method of Military Engineering Equipments during Artillery Position Construction Operation

Se Hwan Park · Moon Gul Lee[†]

Department of Operation Research, Korea National Defence University(KNDU)

휴리스틱 기법을 이용한 포병진지 구축작전시 공병장비 최적배정

박세환 · 이문걸[†]

국방대학교 운영분석학과

Artillery fire power due to effectiveness which is hard to predict well-planned and surprising attack can give a fear and shock to the personnel and is a very core weapon system and takes a critical role in wartime. Therefore in order to maximize operational effectiveness, Army required protecting artillery and takes a quick attack action through rapid construction of artillery's positions. The artillery use artillery's position to prevent exposure by moving to other position frequently. They have to move and construct at new artillery's positions quickly against exposing existed place by foe's recognition. These positions should be built by not manpower but engineering construction equipment. Because artillery positions have to protect human and artillery equipment well and build quickly.

Military engineering battalion have lots of construction equipment which include excavator, loader, dozer, combat multi-purposed excavator, armored combat earthmover dump truck and so on. So they have to decide to optimal number of Team combining these equipments and determine construction sequence of artillery's position in operational plan. In this research, we propose to decide number of Team efficiently and allocate required construction's positions for each Team under constraints of limited equipments and time. To do so, we develop efficient heuristic method which can give near optimal solution and be applied to various situation including commander's intention, artillery position's priority or grouping etc. This heuristic can support quick and flexible construction plan of artillery positions not only for using various composition's equipment to organize Teams but also for changing quantity of positions.

Keywords : Heuristic method, Integer Linear Programming, Optimal Allocation, Artillery Position

1. 서 론

전시 지상전투에 있어서 포병화력은 예측하기 힘든 계획적이고 기습 공격의 효과로 인한 공포와 충격을 줄

수 있는 매우 중요한 수단이며 전투에 있어 핵심적인 역할을 수행한다. 이러한 포병화력의 효과를 극대화하기 위해서는 포병을 보호하고 공격을 할 수 있는 포병진지에 대한 신속한 구축이 요구된다. 따라서 이러한 아군의 화력부대인 포병부대의 화력을 최대한 보호해야 하는데 이때 이용하는 것이 포병의 방호진지(이하 “포병진지”)이다.

Received 12 December 2016; Finally Revised 3 February 2017;
Accepted 6 February 2017

[†] Corresponding Author : mglee@kndu.ac.kr

포병진지는 포병부대의 인원/장비의 생존성을 보장하기 위한 목적으로 그 규모가 크고 견고해야 하므로 인력이 아닌 공병의 다양한 건설장비에 의해 구축되어진다. 작전계획에도 공병의 임무중 하나로 명시되어 포병진지 구축계획에 포함되어 있다. 하지만 어떠한 장비로 팀을 편성하고, 어떠한 순서로 진지를 구축해야 효율적인지에 대해서는 명시되어 있지 않고 야전부대에서 이를 검증할 수 있는 수단도 부재되어 있어 부대별로 상이한 계획을 세우고 있는 것이 현실이다.

장영초의 연구는 정수계획기반 목표계획법으로 공병장비를 배정하고, 공병장비가 배정된 팀에 포병진지를 할당하였다[4]. 하지만 장비수량 또는 진지개수가 증가함에 따라 연산시간이 증가하거나 연산이 불가능할 수가 있고 지휘관 의도, 진지 우선순위, 진지 그룹핑 구축 등의 실용적인 상황에 적용하기에는 제한점이 있다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위한 다양한 상황에 적용 가능한 장비/팀 운용을 위한 방법으로 휴리스틱 기법을 제시한다.

2. 기존 연구고찰

일정계획법은 제한된 자원(시간, 인력, 기계) 내에서 최적의 배정 순서 및 자원의 할당방법을 연구하는 학문으로 조직 내 자원 활용에 대한 효율성을 증진시킴으로 생산성을 향상시킨다. 본 논문에서는 일정계획법 이론 중 이종의 병렬 처리공정(Nonidentical Parallel Processors)문제를 응용하여 작업팀 내 장비를 배정하고, 포병진지를 할당하여 답안을 제시하였다. 능력이 서로 다른 작업팀을 이종의 병렬기계(machine)로 보고, 포병진지를 처리해야 할 작업(job)으로 하여 작업팀에 배정을 하였다[2, 5].

일정계획 문제에서도 다양한 Greedy 기반의 휴리스틱이 제시되고 있으며 본 연구에서도 매 선택단계에서 당장 최적의 답을 선택하여 적합한 결과를 도출하는 Greedy 기반의 알고리즘을 적용한다. 이후 지역탐색을 통해 해의 성능을 개선해 나가는 형태의 휴리스틱을 제시한다. 즉, 포병진지를 각 팀에 배정할 때 가장 최소의 소요시간을 충족시키는 팀에 배정해 나가는 방식이다. 그리드 알고리즘이 최적의 해를 내기 위해서 전제 조건은 각각의 선택이 다음 선택에 전혀 무관하다는 것이다. 포병진지 배정의 경우는 각각의 선택이 다음 선택에 영향을 주므로 최적의 해를 보장하지는 않으나 알고리즘의 특성상 어느 정도 적합한 수준의 해답을 알려준다. 따라서 그리드 알고리즘으로 구한 해를 이용하여 본 논문의 실험결과와 비교를 통해 적절성 정도를 파악할 수 있다.

시스템 다이내믹스를 활용한 토공장비 조합 모형에 대한 원서경 등의 연구[14]에서는 굴삭기, 로더, 덤프트

력의 다종의 건설기계가 투입되는 토공사에서 최적조합 문제를 다루고 있다. 토공 및 장비계획 시 입력변수 값의 변경을 시스템 다이내믹스라는 컴퓨터상에서 실험해 보는 방법론을 이용하였다. 이 연구를 토대로 하여 장비들에 군 장비들을 추가 적용하여 문제를 해결하고자 하였다.

최재휘 등의 토공장비 선정 및 조합을 위한 영향요인 연구[1]에서는 장비들의 능력을 수치화하기 위한 시간당 작업량 결정시 중점요소들을 제시하였고, 본 연구 결과의 산출공식을 참고하였다.

문정현 등의 포병화력 생존성지원을 위한 진지 구축 경로문제 연구[10]에서는 진지 구축 팀들이 포병진지 구축을 위한 경로 선정 시에 군집분석최적화 알고리즘 기법을 변형한 mPSO(modified PSO)기법을 적용하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 진지 간 이동시간을 동일하게 부여하여 경로선정을 위한 방법을 배제하였지만 이 방법과 연계한다면 더 현실적인 진지 구축 문제를 해결할 수 있을 것이다.

Shah[13]의 연구에서는 건설관리자가 선형화 공사(도로, 배관, 터널)에서 다양한 규모와 형태의 건설장비들로 절토작업과 성토작업의 일정계획 문제를 연구하여 비용을 절감할 수 있는 의사결정을 지원할 수 있게 하였다.

강용혁 등의 연구[6]와 김대철의 연구[7]와 김동현 등의 연구[8]에서는 이종 병렬기계 스케줄링 문제를 다루고 있으며 이 들 연구에서도 문제 특성에 관련된 Greedy 기반의 휴리스틱을 적용하여 Local Search를 통해 해를 개선해 나가는 형태로 설계를 하고 있다.

이 논문에서 사용한 목표계획법을 본 연구의 대조군으로 장영초 연구[4] 결과를 사용하여 비교 분석하였고 이 방법의 제한사항을 휴리스틱 기법으로 보완하였다.

3. 문제정의 및 모형

3.1 문제정의

공병부대가 구축해야 하는 포병진지는 포의 종류에 따라 견인포 진지와 자주포 진지로 구분되며 6개의 동일한 크기와 형태의 포진지가 하나의 구축지점을 구성한다. 구축지점별 방호도에 따라 진지의 높이가 달라지고, 현장여건에 따라 토질 특성이 다르기 때문에 토공 작업량은 구축지점별로 각각 상이하다.

<Figure 1>의 예시와 같이 연구 대상이 되는 진지 구축용 공병장비는 굴삭기, 로우더, 도자, 다목적굴착기(Construction Equipment Multipurpose Section 이하 “CMPE”), 장갑 전투도차(Armored Combat Earthmover 이하 “ACE”), 5톤 덤프, 15톤 덤프이다.



<Figure 1> Example of Construction Equipments

이 장비들로 절토, 적재, 운반, 성토의 4개 그룹으로 작업을 수행하여 진지를 구축한다. 장비별 가능 작업은 <Table 1>과 같다. 작업 순서는 골재채취장에서 절토작업(Cut) 장비들이 필요로 하는 토사를 깎아내면, 적재작업(Load) 장비들이 깎아낸 토사를 운반작업(Convey) 장비인 덤프트럭에 적재한다. 덤프트럭이 토사를 포병진지 구축현장까지 이동시키면 현장에서 대기 중인 성토작업(Build) 장비들이 포병진지 구축 작업을 착수한다. 이때 운반작업을 담당하는 덤프트럭은 필요한 토사량이 충족될 때까지 골재채취장과 포병진지 구축현장을 왕복한다.

<Table 1> Possible Works of Equipments

	Cut	Load	Convey	Build
Excavator	○	○	×	○
Loader	○	○	×	○
Dozer	○	×	×	○
CMPE	○	○	×	○
ACE	○	×	×	○
5 ton dump	×	×	○	×
15 ton dump	×	×	○	×

3.2 모형화

먼저, 모형화를 위해 장비별 능력에 대한 수치화 과정을 설명하고, 본 문제의 최적해를 도출할 수 있는 정수 선형계획(Integer linear programming : 이하 “ILP”) 모형을 제시한다. 이후 본 연구자가 제안한 휴리스틱 알고리즘에 대해 살펴본다.

3.2.1 장비별 능력 수치화

장비 능력의 수치화를 위해 각 장비들의 절토와 성토, 적재작업의 능력을 수치화한 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Ability of Equipments(m³/hr)

	Cut	Load	Convey	Build
Excavator	65	65	×	65
Loader	202	202	×	202
Dozer	270	×	×	270
CMPE	132	132	×	132
ACE	230	×	×	230
5 ton dump	×	×	60	×
15 ton dump	×	×	153	×

<Table 3> Calculation Formula of Equip’s Ability

Excavator, CMPE	Dozer, Loader, ACE
$Q = \frac{3600 \times q \times k \times f \times E}{C_m}$	$Q = \frac{60 \times q \times f \times E}{C_m}, q = q_0 \times e$
Q : amount of work per hour (m ³ /hr)	Q : amount of work per hour (m ³ /hr)
q : bucket volume(m ³)	q : bucket volume(m ³)
k : bucket coefficient	q_0 : (not considered distance) bucket volume(m ³)(m ³)
f : soil volume conversion factor	f : soil volume conversion factor
E : work efficiency	e : convey distance coefficient
C_m : time of cycle(sec)	C_m : time of cycle(sec)

장비들의 제원은 육군 야전교범 34-0-2 공병야전제원[11]을 참고하였고 산출공식은 건설학회 논문[1]을 참고하였고 산출공식은 <Table 3>과 같다.

3.2.2 ILP 모형

본 연구에서 제시한 ILP 수리모형은 장영초[4]이 제시한 목표계획법 기반 모형을 ILP로 재구성한 것임을 알려준다. 기존 모형은 한 작업을 기준으로 토공량에 따른 장비배정 제약식과 각 팀의 능력과 작업시간의 편차를 최소화하는 목표값과 보정변수를 포함하고 있다. 본 연구에서는 각 팀별 작업별 토공능력 최솟값을 최대화하는 형태의 ILP 수리모형으로 재구성하였다[3, 12].

1단계 : 팀 배정(진지 구축능력 최대화)

진지 구축 팀을 구성하기 위해 장비를 조합하는 문제는 다음과 같은 고려사항이 있다.

첫째, 각 팀의 성토작업 그룹에는 최소 1대 이상의 굴삭기가 배정되어야 한다. 성토작업 시 토공장비의 세밀한 작업이 필요하고, 특히 덤프에 담겨 실려 온 느슨한 흙을 다루기 때문에 쌓는 과정에서 무너지지 않도록 다지는 등의 추가적인 작업이 필요하다. 이런 작업을 할 수 있는 장비는 굴삭기밖에 없다.

둘째, 절토작업, 적재작업, 성토작업 능력판단 시 토량 환산 계수를 고려해야 한다. 흙은 상태에 따라 자연 상태

의 토량, 흐트러진 상태의 토량, 다져진 상태의 토량 세 가지 단계로 나뉜다. 같은 무게일지라도 부피가 제각각 다르다. 부피는 흐트러진 상태의 토량, 자연 상태의 토량, 다져진 상태의 토량 순으로 크다. 중력 등에 의해 긴 세월이 걸쳐 다져진 자연 상태의 흙은 절토작업에 의하여 흙 입자간의 결속력이 약해져 느슨한 상태의 흙이 된다. 이 흙은 다시 성토작업에 의해 기계적인 다짐을 받게 되어 흙 입자간의 결속력을 강화하게 되는 과정을 거치게 된다. 따라서 1m³의 흙을 성토하기 위해서는 1.1m³의 흙을 절토하고, 1.15m³의 흙을 적재/운반해야 하는 것이다. 실험에 사용한 토량환산계수는 <Table 4>와 같다. 토량환산계수의 수치는 흙의 상태마다 다르지만 여기에서는 Jang[4]의 논문에서 사용했던 값을 적용하였다.

<Table 4> Soil Volume Conversion Factor

State	Natural	Scattered	Tramped
Soil volume conversion factor	1.10	1.15	1.00
Method of tramp	Gravity	-	Machine
Work	Cut	Load/Convey	Build

셋째, 팀 간의 능력 편차가 최소화 되어야 한다. 가장 빨리 임무 종료된 팀과 가장 늦게 임무 종료된 팀의 수행 시간 편차를 줄여 발생할 수 있는 구축팀의 유휴시간을 최소화함으로써 장비사용의 효율성을 최대화 하는 것이다.

넷째, 작업그룹 능력판단 시 운반작업은 미고려하였다. 그 이유는 가용 덤프트럭이 충분하고 덤프트럭은 골재채취장과 포병진지 구축현장을 왕복하여 진지 구축을 위한 소요 토공량을 운반하는데 제한이 없기 때문이다.

위 사항들을 고려한 1단계의 정수계획 모형은 다음과 같다.

- 인덱스(Indices)와 집합(Set)

- T : 팀의 집합, $t \in T$
- W : 작업의 집합, $w \in W$
- I : 가용장비의 집합, $i \in I$
- I_{exca} : 집합 I의 하위집합 $I_{exca} \subset I$

- 입력데이터(Parameter)

- possible_{w,i} : 장비별 작업 가능여부. 가능 1, 불가능 0

	Cut	Load	Build
Excavator	1	1	1
Loader	1	1	1
Dozer	1	0	1
CMPE	1	1	1
ACE	1	0	1

- ability_{w,i} : 장비별 작업능력(m³/hr)

	Cut	Load	Build
excavator	65	65	65
loader	202	202	202
dozer	270	0	270
CMPE	132	132	132
ACE	230	0	230

- coefficient_w : 작업별 토량환산계수

	Cut	Load	Build
soil volume conversion factor	1.10	1.15	1.00

- 결정변수(Decision Variables)

- x_{t,w,i} = $\begin{cases} 1, & \text{if 팀 } t \text{가 작업 } w \text{에 장비 } i \text{를 배정} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall t \in T, i \in I, w \in W$
- S_t : 팀 t의 진지 구축 능력, 비움실수(m³/hr)

- 수리모형

$$\max \sum_{t \in T} S_t \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} x_{t,w,i} = 1 \quad \forall i \in I \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I_{exca}} x_{t,build,i} \geq 1 \quad \forall t \in T \tag{3}$$

$$x_{t,w,i} \leq possible_{w,i} \quad \forall t \in T, w \in W, i \in I \tag{4}$$

$$\sum_{i \in I} (coefficient_w \times ability_{w,i}) \times x_{t,w,i} \geq S_t \quad \forall t \in T, w \in W \tag{5}$$

$$S_t \geq ability-limit \quad \forall t \in T \tag{6}$$

식 (1)은 각 팀의 진지 구축능력 합을 최대화하는 목적식이다. 식 (1)은 가용장비를 1회만 배정하는 제약식이다. 식 (3)은 모든 팀의 성토작업에 1대 이상의 굴삭기를 배정하는 제약식이다. 식 (4)는 장비가 특정 팀의 작업그룹에 배정되더라도 장비가 해당 작업 수행이 불가능 하면 배정되지 않도록 하는 제약식이다. 식 (5)는 팀 t의 작업 w에 배정된 진지 구축 능력을 결정하는 제약식이다. 팀 t의 작업그룹인 cut, load, build에 진지 구축 능력을 계산하고 그 중 작은 값이 S_t에 저장되며 그 팀의 최종 진지 구축능력이 된다. 작은 값이 저장되는 이유는 팀내 다른 작업그룹의 능력이 커도 가장 작은 작업의 능력만큼만 진지 구축을 할 수 있기 때문에 그 팀의 진지 구축 능력은 최소 작업그룹의 능력으로 결정된다. 식 (6)은 각 팀의 진지 구축능력의 하한을 정해주는 제약식이다. 기본적으로 각 팀의 진지 구축능력이 유사하게 장비배정이 이루어져야 각 팀을 통제하고, 운용하는데 유리하다. 이

제약식이 없다면 팀 간의 편차는 무시하고 각 팀의 진지 구축능력 합만을 최대화시켜 편차가 매우 커지게 되어 팀 운용이 제한된다. 따라서 한 팀에 집중적으로 장비를 배정하는 편차를 제어하기 위하여 이 값을 사용하였다. 식 (6)에 사용되는 능력 하한 값은 휴리스틱에서 구한 $\min(S_t)$ 의 결과값을 사용하여 휴리스틱 이상의 품질을 지니도록 하였다.

2단계 : 진지 배정(진지 구축시간 최소화)

2단계 진지배정 단계에서는 1단계에서 구한 구축팀에 포병진지를 할당하여 구축시간을 최소화 하여야 한다. 여기서 말하는 구축시간이란 진지를 구축하는 구축팀 중 가장 늦게 구축을 완료하는 팀의 시간을 말한다.

진지 구축시간을 최소화하기 위해서는 다음 두 가지가 고려되어야 한다. 첫째, 팀 중 가장 효율이 좋은 팀이 가능한 작업량이 많은 포병진지를 담당하여야 한다. 둘째, 가장 늦게 구축을 완료하는 팀의 시간을 줄이기 위해서는 각 팀의 구축완료시간의 편차를 최소화해야 한다. 이론적으로 모든 팀의 구축완료 시간이 동일할 때 구축시간이 최소화 되는 것이다.

위 사항들을 고려한 2단계의 정수계획 모형은 다음과 같다.

- 인덱스(Indices)와 집합(Set)

- T : 팀의 집합, $t \in T$
- P : 구축지점의 집합, $p \in P$

- 입력데이터(Parameter)

- S_t : 팀 t의 진지 구축 능력, 비음실수(m^3/hr)
- $amount_p$: 진지별 작업량(m^3)
- $time_{t,p}$: 팀 t가 구축지점 p에 투입되었을 때의 소요시간(hr)+이동시간(hr)
 $time_{t,p} = amount_p / S_t + 1$

- 결정변수(Decision Variables)

- $y_{t,p} = \begin{cases} 1, & \text{if 팀 } t \text{의 작업에 진지 } p \text{가 배정} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall t \in T, p \in P$
- $sum-time_t$: 팀 t의 진지 구축 시간(hr)

- 수리모형

$$\min \quad sum-time_t \quad (7)$$

$$s.t. \quad \sum_{p \in P} time_{t,p} \times y_{t,p} = sum-time_t \quad \forall t \in T \quad (8)$$

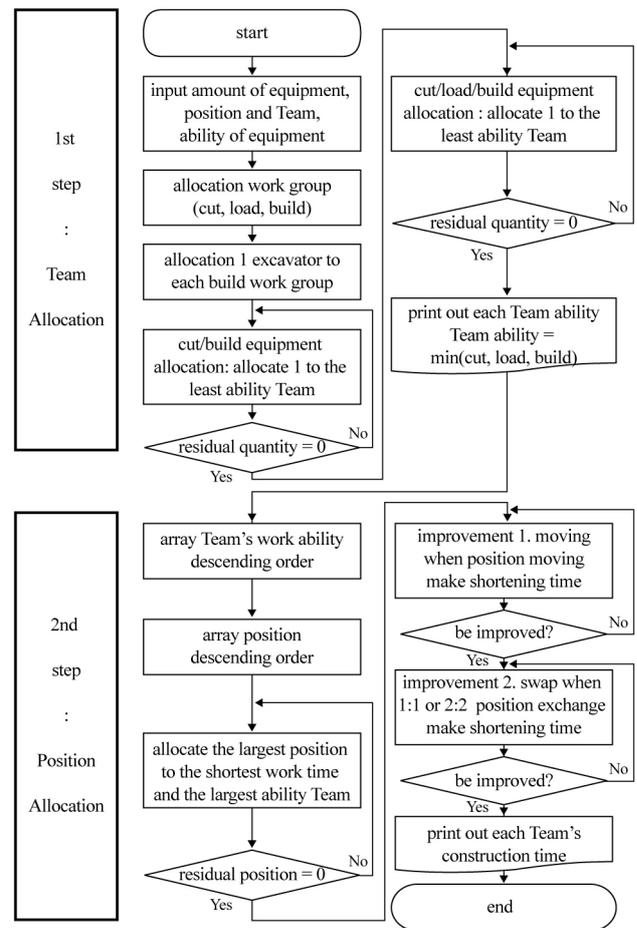
$$\sum_{t \in T} y_{t,p} = 1 \quad \forall p \in P \quad (9)$$

식 (7)은 각 팀의 진지 구축시간 중 최대시간을 최소화

하는 목적함수 식이다. 식 (8)은 각 팀의 진지 구축 시간을 계산하는 제약식으로 $y_{t,p}$ 가 1인 값의 $time_{t,p}$ 를 합산한다. 식 (9)는 1개의 구축지점에 1개 팀만 배정한다는 식이다. 작업의 효율성과 원활한 통제를 위해 통상 1개 팀이 1개 구축지점에 투입되어 임무를 수행한다.

3.2.3 휴리스틱 알고리즘

ILP 모형과 동일한 고려사항을 토대로 작성한 휴리스틱의 전반적인 절차는 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Heuristic Algorithm Procedure

휴리스틱의 전반적인 구현 개념은 먼저 팀 구성을 위해 장비대수와 팀 수를 입력하고 팀별로 작업별 최대한 균등한 장비배정 반복 수행을 통해 팀별 장비를 배분하는 과정을 거친다. 이후 결정된 작업 팀별로 순차적 가장 적합한 진지배정을 수행한다. 이때 진지 작업시간이 가장 빨리 완료된 팀에 아직 배정되지 않은 작업 진지를 배정하고 모든 진지가 완료된 후 지역탐색 기법인 swap, moving 등을 적용하여 전체 작업시간을 최소화 하는 개선 과정을 거친 후 알고리즘을 종료하게 된다.

1단계 : 팀배정

- step 1) 장비대수, 진지구모, 팀 수 결정/입력
- step 2) 팀별 작업그룹 할당(토량환산계수 고려)
- step 3) 각 팀 성토그룹에 굴삭기 1대 배정

Equipment		excavator	loader	dozer	CMPE	ACE	ability (m ³ /hr)
Team A	cut(1.1)						0
	load(1.15)						0
	build(1.0)	1					65
Team B	cut(1.1)						0
	load(1.15)						0
	build(1.0)	1					65

- step 4) 각 팀 절토, 성토그룹 중 최소능력 그룹에 도자를 모두 배정 시까지 1대씩 배정(능력이 같은 경우 A팀부터 순차배정)
 ※ 가능 작업에 제한이 있고, 작업능력이 큰 장비부터 배정 : 도자 → ACE 순

Equipment		excavator	loader	dozer	CMPE	ACE	ability (m ³ /hr)
Team A	cut(1.1)			1			245.45
	load(1.15)						0
	build(1.0)	1					65
Team B	cut(1.1)			1			245.45
	load(1.15)						0
	build(1.0)	1					65

- step 5) 각 팀 절토, 성토그룹 중 최소능력 그룹에 ACE를 모두 배정 시까지 1대씩 배정
- step 6) 각 팀 절토, 적재, 성토그룹 중 최소능력 그룹에 로우더를 모두 배정 할 때까지 1대씩 배정
 ※ 작업능력이 큰 장비부터 배정 : 로우더 → CMPE → 굴삭기 순
- step 7) 각 팀 절토, 적재, 성토그룹 중 최소능력 그룹에 CMPE를 모두 배정 할 때까지 1대씩 배정
- step 8) 각 팀 절토, 적재, 성토그룹 중 최소능력 그룹에 굴삭기를 모두 배정 시까지 1대씩 배정

2단계 : 진지 배정

- step 1) 팀 작업능력, 진지구모 내림차순 입력
- step 2) 토공량이 많은 진지부터 구축 완료시간이 최소이고 효율이 좋은 팀에 배정
- step 3) moving(유전자 알고리즘 돌연변이 연산자 응용[9])
 moving은 구축 완료시간이 최대인 팀 진지를 다른 팀으로 넘겼을 때 가장 늦은 구축 완료시간이 짧아지면 이동시키는 방법

- step 4) swap(유전자 알고리즘 돌연변이 연산자 응용[9])
 swap은 구축 완료시간이 최대인 팀의 진지를 다른 팀의 진지와 1:1 또는 2:2로 교환했을 때 가장 늦은 구축 완료시간이 짧아지면 교환하는 방법
- step 5) 각 팀별 종료시간 중 가장 늦은 구축 완료시간을 최종적인 진지 구축시간으로 출력

4. 실험결과

4.1 실험계획

휴리스틱 알고리즘의 효율성을 비교하기 위하여 다음의 경우로 구분하여 실험을 계획하였다.

- Case I) 소규모 데이터 적용시 효율성 검증
- Case II) 공병대대 규모 장비 적용시 효율성 검증
- Case III) 공병여단 규모 장비 적용시 효율성 검증
- Case IV) 진지수 변경시 효율성 검증

Case I에서는 휴리스틱 알고리즘 특성상 소규모 데이터를 적용하였을 때 최적의 결과를 찾아내야 하는데 과연 그러한지 확인한다. 그러기 위해 2개팀 기준으로 최소장비 대수인 6대를 적용해보고, 포병진지 수량도 최소 2개에서 20개까지 확장해서 최적의 결과를 찾아낼 수 있는지 확인한다.

Case II에서는 공병대대 규모의 보유 장비로 포병진지 20개소를 구축할 때 ILP 대비 휴리스틱 알고리즘의 적합성을 확인한다. 이때 랜덤화한 20개의 포병진지의 토공량을 5개의 인스턴스를 이용하여 실험을 수행한다.

Case III에서는 공병여단 규모의 보유 장비로 포병진지 20개소를 구축할 때 ILP 대비 휴리스틱 알고리즘의 적합성을 확인한다.

Case IV에서는 공병대대 규모의 장비로 포병진지 수를 20개와 30개, 40개로 증가 시에 휴리스틱 알고리즘의 성능 변동 여부를 확인한다.

실험 비교표는 다음 <Table 5>와 같고 이 조합으로 ILP와 휴리스틱 모형에 대해 각각 90회씩의 실험을 수행한다.

<Table 5> Comparative Table of Experiment

		Case I	Case II	Case III	Case IV		
amount of Team		2	2~10				
organization of equipment		6	engineering battalion	engineering brigade	engineering battalion		
position	amount	2~20	20		20	30	40
	instance	1ea	5ea	1ea	1ea	1ea	1ea

실험에 사용한 공병부대 규모에 따른 장비별 가용대수는 다음 <Table 6>의 예와 같은 형태이다.

<Table 6> Available of Equipment

	Excavator	Loader	Dozer	CMPE	ACE	Total
engineering battalion(ea)	20	6	6	8	6	46
engineering brigade(ea)	30	3	12	3	6	54

Case I에서는 최소팀 기준인 2개 팀을 기준으로 결과를 확인한다. 이때 팀 구성 장비는 최소장비 수인 6대(굴삭기 2대, 로우더 1대, 도자 1대, CMPE 1대, ACE 1대)를 적용하여 팀별 진지 구축 능력을 비교하였다. 또한 진지 구축 시간도 2개 진지에서 20개 진지까지 적용하여 비교하였다.

Case II와 Case III에서 구축하는데 이용한 포병진지는 다음 <Table 7>과 같다.

<Table 7> Soil Volume for Each Position

Position	1	2	3	4	5
earth-volume(m ³)	2,800	1,100	3,200	1,600	2,200
Position	6	7	8	9	10
earth-volume(m ³)	2,900	1,200	2,700	1,300	2,200
Position	11	12	13	14	15
earth-volume(m ³)	2,500	3,000	1,000	1,500	2,300
Position	16	17	18	19	20
earth-volume(m ³)	3,200	1,800	1,600	3,500	2,500

Case IV에서는 위와 같은 포병진지의 개수를 30개, 40개로 확장하여 적용하였다.

팀 수는 2개에서 10개 팀으로 팀 수에 따른 팀 능력과 진지 구축 시간을 비교하여 최선의 팀 수를 확인하였다.

실험 환경은 Intel(R) Cor(TM) i5-3470(3.20GHz, 4.00GB RAM)에서 수행하였다.

휴리스틱 알고리즘은 R-studio로 결과값을 산출하였고, 정수선형계획법(ILP)은 GAMS 프로그램으로 결과값을 산출하여 비교하였다.

4.2 결과 및 분석

4.2.1 Case I 결과

1단계(팀 배정) 결과

주어진 실험값으로 2개 팀에 장비 6대(굴삭기 2대, 로우

더 1대, 도자 1대, CMPE 1대, ACE 1대)를 배정하였을 때 휴리스틱 알고리즘과 정수계획 수리모델의 진지 구축 능력은 아래<Table 8>와 같다.

<Table 8> Case I. Team's Ability of 1st Step(m³/hr)

	Team A	Team B	Total
HR(Heuristic)	65	65	130
ILP	65	65	130
efficiency(%)	-	-	100
$efficiency(%) = \frac{Heuristic}{ILP} \times 100$			

1단계 분석결과 본 휴리스틱 알고리즘은 소규모데이터에서 진지 구축능력이 100%의 높은 효율성을 지닌 것을 확인할 수 있다.

2단계(진지 배정) 결과

위에서 구한 2개 팀의 진지 구축 능력을 가지고 포병진지를 2개소에서 20개소까지 배정한 결과는 다음 <Table 9>과 같다.

<Table 9> Case I. Construction Time of 2nd Step(hr)

Position	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HR	44.1	62.0	69.7	87.6	110.7	119.9	140.4	151.2	168.1	188.1
ILP	44.1	62.0	69.7	87.6	110.7	119.9	140.4	151.2	168.1	188.1
efficiency(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Position	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
HR	212.2	219.9	231.6	250.1	275.7	289.5	302.9	330.0	350.0	
ILP	211.6	219.9	231.6	250.1	275.2	289.5	302.3	329.5	349.5	
efficiency(%)	99.8	100	100	100	99.8	100	99.8	99.9	99.8	
$efficiency(%) = \frac{ILP}{Heuristic} \times 100$										

2단계 분석결과 본 휴리스틱 알고리즘은 소규모진지를 배정할 경우 100%의 효율로 진지 구축 시간을 구하였다. 또한, 비교적 규모가 큰 12개소, 16개소, 18개소, 19개소, 20개소를 제외한 모든 경우에 100%의 효율로 진지 구축 시간을 찾아내는 것을 확인할 수 있다.

4.2.2 Case II 결과

1단계(팀 배정) 결과

주어진 실험값으로 2개 팀에서 10개 팀까지 팀 수를 변화시켜 가면 휴리스틱 알고리즘과 정수계획 수리모델을 실행하였을 때 각 팀별 진지 구축 능력은 다음 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Case II. Team's Ability of 1st Step(m³/hr)

Team		2	3	4	5	6	7	8	9	10
H R	Total	1980	1910	1918	1896	1893	1958	1852	1812	1657
	run time	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
I L P	Total	2020	2009	1985	1985	1975	1965	1852	1825	1687
	run time	61.65	940.87	12.25	11.37	12.79	14.12	1.36	-	6.12
efficiency(%)		98.0	95.1	96.6	95.5	95.9	99.7	100	99.3	98.2
$efficiency(%) = \frac{Heuristic}{ILP} \times 100$, ※ “-” : out of memory										

실험결과를 보면 두 방법 모두 2개 팀일 때 진지 구축 능력의 합이 최대가 되고 팀 수가 증가함에 따라 전반적으로 진지 구축 능력의 합이 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 그 이유는 팀 수가 증가할수록 장비능력의 손실이 발생할 기회가 많아지므로 팀 수가 많아질수록 작업 능력이 낮아지는 결과를 가져오게 되는 것이다. 10개팀 이상부터 그 손실률이 급격하게 커지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 진지 구축 능력의 합계측면에서 최고의 효율을 얻기 위해서는 팀 수가 적어야 한다는 것을 알 수 있지만, 구축해야 할 진지 수량과 구축지점의 이격거리에 따라 한 지점 구축 후 다음 지점으로의 이동시간을 고려할 경우 적정 수준의 팀을 구성해야 할 필요가 있다.

연산시간 측면에서 휴리스틱에 의한 방법은 1초 이내로 팀 배정을 완료하였으나 최적화에 의한 방법은 1.36초~15분 40초까지 소요되었으며, 특히 9개 팀에 장비를 배정 시에는 메모리 부족상황이 발생되어 종료조건(LP/IP gap 0.01, 종료시간 2시간)을 설정하여 결과값을 구할 수 있었다. ILP 모형의 경우 연산시간이 팀 수 증가에 따라 증가할 것으로 예상하였으나 그렇지 않은 이유는 연산시간이 팀 수의 크기에 종속되는 것이 아니라 팀 능력의 하한값(ability-limit)에 따라 해 공간의 크기가 다를 수 있기 때문이다. 예를 들면 3개 팀의 경우 하한값을 636m³/hr로 하였을 때 연산시간이 940초가 소요되었으나 650m³/hr로 증가시켰을 때는 2초안에 연산이 종료되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 9개 팀의 경우에는 연산을 종료시키지 못하는 경우가 발생하였는데 그 이유는 팀별 작업능력 제한(ability-limit)에 의해 조정된 가능해에 포함된 정수해와 best solution의 차이가 0.01보다 작은 값을 설정된 연산시간 내 못 찾았기 때문이다. 반면 10개 팀의 경우에는 가능해에 포함된 정수해와 최선해의 차이가 0.01보다 작은 정수해가 존재했기에 6.12초 만에 연산을 종료할 수 있었다. 이처럼 최적화 모형에서의 연산시간은 가능해가 어떻게 구성되는지와 그 안의 해가 LP/MIP 상대오차에 의해 종속되어진다.

효율성 측면에서 휴리스틱에 의한 방법이 팀 수에 따라 95.1~100%까지 최적해에 근사한 결과를 나타냄을 확

인 할 수 있다. 이를 통해 휴리스틱 성능을 검증할 수 있으며 이러한 결과 차이가 진지배정 후에 얼마만큼의 시간단축을 할 수 있는지는 2단계 완료 후에 확인하기로 한다.

2단계(진지 배정) 결과

1단계의 결과값인 팀 수 변화에 따른 진지 구축 능력을 기준으로 포병연대의 20개의 진지를 각 팀에 배정하였을 때 2단계 진지 구축 완료시간의 결과는 다음 <Table 11>과 같다.

<Table 11> Case II. Construction Time of 2nd Step(hr)

Team		2	3	4	5	6	7	8	9	10
H R	complete time	31.3	28.8	27.1	26.3	25.8	24.7	25.7	26.1	29.5
	run time	18.53	30.26	41.87	55.63	69.50	86.36	100.61	118.81	137.17
I L P	complete time	30.8	27.7	26.2	25.3	24.8	24.4	25.6	25.8	27.9
	run time	0.37	-	0.75	-	-	-	-	-	-
efficiency(%)		98.5	96.0	96.6	95.9	96.2	98.6	99.5	99.2	94.8
$efficiency(%) = \frac{ILP}{Heuristic} \times 100$, ※ “-” : out of memory										

1단계에서 구한 팀별 진지 구축 능력을 각각 적용하여 진지 구축 완료시간을 구하고, 이때 진지 간 이동시간은 1시간으로 동일하게 적용하였다. 1시간으로 동일하게 적용한 이유는 장비들의 이동속도는 40km/hr 이상으로 빠르고 작전 반경을 고려하였을 때 진지 간 이동거리는 40km를 초과하지 않는다. 또한 진지별 이동시간의 차이는 있지만 전체 진지 구축 시간에 비해 비중이 크지 않기 때문에 모든 진지 간 이동시간을 1시간으로 적용하였다. 실제 이동시에 소요시간은 단순이동시간과 경계부대에 의한 경계지원 등에 의한 시간이 포함된다. 실제 작전 시에는 1시간 전후로 이동시간이 상이하겠지만 그 차이는 크지 않으므로 동일하게 적용하였다.

실험결과를 전체적으로 살펴보면 실험결과 두 방법 모두 팀 수가 7개일 때 진지 구축 시간이 최소이다. 팀 수가 증가하면서 진지 구축 완료시간이 줄어들다가 8개 팀부터 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 팀 수가 증가하면서 진지 구축을 위한 이동시간이 감소하기 때문이다. 2개 팀이 각각 10개 진지를 구축한다고 하였을 때 진지이동을 각각 9회 실시하여 9시간의 진지이동 시간이 소요되지만 5개 팀이 각각 4개 진지를 구축한다고 하였을 때는 진지이동을 각각 3회 실시하여 3시간의 진지이동 시간이 소요되기 때문이다. 따라서 팀 수가 적을수록 이동시간은 증가하는 방향으로, 단일진지

구축시간은 감소하므로 팀 수와 진지 구축 시간의 절충점을 찾는 것이 본 문제의 핵심요소이다.

연산시간 측면에서는 1단계와 마찬가지로 휴리스틱에 의한 방법이 최적화에 의한 방법보다 빨랐다. 휴리스틱에 의한 방법은 18초에서 2분 17초까지 소요되었으나 최적화에 의한 방법은 2개 팀과 4개 팀일 때 1초 이하가 소요되었으나 이외의 팀의 경우에는 메모리 부족으로 연산이 불가하였다.

효율성 측면에서 휴리스틱에 의한 방법이 팀 수에 따라 94.8~99.5%까지 최적화에 근사한 결과를 내는 것을 확인할 수 있다. 1단계에서 진지 구축 능력의 효율이 최소였던 3개 팀의 경우(1단계 95.1%) 진지 구축 시간이 96%의 효율을 나타내었고, 1단계에서 최대였던 8개 팀의 경우(1단계 100%) 99.5%의 효율을 나타내었다. 전반적으로 1단계에서 좋은 효율을 보였던 팀 수가 2단계에서도 좋은 효율의 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해 본 휴리스틱 알고리즘이 높은 효율로 빠른 연산시간 내에 진지 구축 완료시간을 갖는 팀과 진지를 배정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

다음으로 진지 수는 20개로 하고 구축해야 할 진지 규모를 랜덤 생성하여 다양한 진지 크기에서도 휴리스틱 알고리즘의 효율이 일관성을 보이는지 검증한다. 이에 대한 결과는 <Table 12>와 같다.

<Table 12> Case II. Construction Time and Efficiency for Each Instance(hr)

Instance	Time	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	HR	35.1	32.7	31.0	30.8	29.7	28.5	31.2	30.2	33.7
	ILP	34.6	31.4	30.1	29.2	28.8	28.4	30.2	29.8	32.8
	efficiency	98.5	96.0	97.1	94.9	96.8	99.9	96.9	98.9	97.4
2	HR	30.5	27.9	26.2	25.5	25.0	24.3	24.9	25.4	27.7
	ILP	30.1	26.9	25.5	24.6	24.1	23.7	24.9	24.9	26.8
	efficiency	98.5	96.1	97.1	96.5	96.6	97.6	100	98.1	96.9
3	HR	31.7	29.2	27.4	26.7	26.2	25.2	28.0	26.7	28.8
	ILP	31.2	28.1	26.6	25.9	25.3	24.9	26.8	26.2	28.6
	efficiency	98.5	96.1	97.0	96.8	96.5	98.9	95.6	98.2	99.2
4	HR	31.8	29.3	27.5	26.9	26.4	25.1	27.6	26.5	29.3
	ILP	31.3	28.1	26.6	25.9	25.3	25.1	26.7	26.4	28.5
	efficiency	98.6	96.0	96.8	96.4	95.8	100	97.0	99.3	97.4

실험결과 진지구조의 구성이 다양하게 바뀌어도 최소 94.9%에서 최대 100%까지 효율을 보였다. 따라서 공병대대 장비로 20개의 진지를 처리하는데 높은 효율의 진지 구축 시간을 구해낼 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

4.2.3 Case III 결과

1단계(팀 배정) 결과

Case III에서는 공병부대 규모를 공병대대에서 공병여단으로 확대하여 휴리스틱 알고리즘의 효율을 확인해 보았다. 이번 비교는 다른 규모의 공병부대 장비로 진지 구축 작전 시 높은 효율성을 유지하는지 알아보기 위한 실험이지만 이는 다른 규모의 공병장비가 아니라 작전 중 실시간 해당 공병부대의 장비 종류 및 수량이 변화할 때에도 높은 효율성을 유지하는지 알아보는 것을 포함한다. 이에 대한 결과는 <Table 13>과 같다.

<Table 13> Case III. Team's Ability of 1st Step(m/hr)

Team		2	3	4	5	6	7	8	9	10
HR	Total	2299	2228	2182	2060	2041	2002	1924	2058	1776
ILP	Total	2315	2228	2213	2169	2091	2002	2003	2058	1776
efficiency(%)		99.3	100	98.6	95.0	97.6	100	96.0	100	100
$efficiency(%) = \frac{Heuristic}{ILP} \times 100$										

공병여단 편제장비로 실험한 결과 1단계에서 팀 수가 최소일 때 진지 구축 능력의 합이 최대이고, 효율은 팀 수에 따라서 95~100%였다. 앞의 공병대대 장비기준으로 한 실험과 유사한 결과임을 확인할 수 있다.

2단계(진지 배정) 결과

1단계의 결과값인 팀 수 변화에 따른 진지 구축 능력 기준 포병연대의 20개 진지를 각 팀에 배정하였을 때 결과는 다음 <Table 14>와 같다.

<Table 14> Case III. Construction Time and Efficiency of 2nd Step(hr)

Team		2	3	4	5	6	7	8	9	10
HR	complete time	28.2	25.5	24.3	24.5	24.1	24.3	24.8	23.5	29.7
ILP	complete time	28.2	25.5	24.0	23.5	23.6	24.2	23.6	23.0	26.5
efficiency(%)		99.4	99.8	98.7	95.9	98.1	99.5	95.1	97.6	92.1
$efficiency(%) = \frac{ILP}{Heuristic} \times 100$										

2단계에서 두 방법 모두 9개 팀일 때 진지 구축 시간이 최소이고 휴리스틱 알고리즘의 효율은 92.1~99.8%이다. 앞의 실험결과와 비교하였을 때 진지 구축 시간이 최소가 되는 팀 수가 7개 팀에서 9개 팀으로 바뀌었으나 여전히 좋은 효율의 결과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

4.2.4 Case IV 결과

Case IV에서는 포병진지 수량을 30개와 40개로 확장하여 휴리스틱 알고리즘의 효율을 확인해보았다. 이번 실험에 사용되는 장비는 공병대대 규모의 장비이므로 팀 수에 따른 진지 구축 능력은 Case II의 결과와 같다. 따라서 이번 실험에는 진지 구축 시간인 2단계의 결과만 작성하였다. 30개와 40개의 진지를 배정한 결과는 다음 <Table 15>와 같다.

진지 구축 완료시간 실험결과는 30개 진지를 배정하였을 때와 40개 진지를 배정하였을 때 동일하게 7개 팀일 때 진지 구축 시간이 최소이고 효율은 96.1~100%이다. 이 역시 앞의 실험 결과와 비교하였을 때 진지 구축 시간이 최소가 되는 팀 수는 동일하고 여전히 좋은 효율의 나타내었다.

<Table 15> Case IV. Construction Time of 2nd Step(hr)

Team		2	3	4	5	6	7	8	9	10
30 position	HR	47.0	43.2	40.7	39.5	38.6	36.7	38.6	38.7	41.9
	ILP	46.4	41.5	39.4	38.3	37.4	36.7	38.3	38.5	41.2
	efficiency (%)	98.6	96.1	96.9	96.8	97.0	100	99.2	99.4	98.4
40 position	HR	63.5	58.6	55.0	53.6	52.4	50.0	51.8	52.2	56.5
	ILP	62.6	56.3	53.6	51.8	50.8	49.9	51.7	52.2	56.0
	efficiency (%)	98.6	96.1	97.4	96.5	96.9	99.8	99.7	100	99.0

4.2.5 소결론

Case I~Case IV의 실험을 통해 확인한 결과는 다음 <Table 16>과 같다.

따라서 본 연구에서 제시한 휴리스틱 알고리즘은 소규모 진지부터 비교적 대규모 진지까지 구축하는 상황과 공병대대 또는 공병여단의 장비를 적용하는 상황에서도 높은 효율로 최적화에 가까운 결과를 도출해 낼 수 있었다. 이를 확대하여 적용해 보면 진지에 가용한 공병장비의 변동과 소요 포병진지 개수의 변화에도 높은 효율을 유지하며 최선의 결과값을 찾아 낼 수 있음을 알 수 있다.

<Table 16> Experimental Summary of Case I~Case IV

		Case I	Case II	Case III	Case IV	
					30 position	40 position
Verification		efficiency verification of small data	efficiency verification of engineering battalion/ repeated experiment	efficiency verification of engineering brigade	efficiency verification of engineering battalion in increasing position	
Result	1st step	100%	95.1~100%	95.0~100%	-	-
	2nd step	100%	94.8~99.5% (avg. 97.3%)	92.1~99.8%	96.1~100%	96.1~100%

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에 사용된 휴리스틱 기법은 GREEDY 기법을 기반을 둔 장비/진지 할당문제이다. 본 연구를 통해 휴리스틱 기법의 장점인 연산시간의 단축과 최적화에 근접하는 효율성을 취하며 현상에서 적용할 수준의 결과를 얻을 수 있었다.

진지 구축 작전에 휴리스틱 기법을 사용해야 하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 전시 작전이 진행 중 변동사항에 유연하게 대처할 수 있다. 가령 진지수량이 변경되거나 가용한 공병장비들의 수가 변화했을 때 바로 적용하여 빠르게 원하는 결과를 구할 수 있다. 둘째, 포병부대의 요구사항으로 진지 구축의 우선순위를 지켜야 하는 상황에 적용이 가능하다. 본 연구에서는 우선순위 없이 진지 구축 시간 최소화를 위하여 능력이 좋은 팀에 큰 규모의 진지부터 배정하였지만 우선순위를 적용해야 하는 상황에서는 진지배정 순서를 진지규모가 아닌 우선순위 순으로 배정하고 개선이 가능하다. 본 연구를 통해 전시 병력과 장비 등 가용한 자원 내에 최적의 포병진지 구축 지원팀을 어떻게 배정할지에 대한 올바른 의사결정 판단기준을 공병 지휘관에게 신속히 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구 개선사항으로 첫째, 진지 구축 지점 간의 실질적인 이동시간 반영이 요구된다. 본 연구에서는 1시간을 기준으로 동일한 이동시간을 적용하였지만 현실 상황은 구축지점의 거리와 지형 상태 등 매우 다양한 조건 적용이 고려되어야 한다. 이를 위해 이러한 위치기반 지형데이터를 이용한 네트워크 경로 알고리즘을 접목해야 한다. 둘째, 토질의 종류, 환경기후조건(계절, 강수, 풍속 등) 및 작업수행 시간대별 작업효율 등 다양한 현장작업 여건을 고려한 정확한 토공량과 진지 구축시간 데이터를 반영한 모형을 개발한다면 보다 현실적인 상황의 의사결정 지원에 기여할 것으로 판단된다.

References

[1] Choi, J.H., Kim, D.H., Kim, S.H., and Kim, S.K., Factors Affecting Selection and Combination of Earthwork Equipment, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 2010, Vol. 10, No. 1, pp. 201-205.
 [2] Dileep, R.S., *Industrial Scheduling*, PWS Publishing Company, 1997.
 [3] Hong, S.P., *Management Science*, second ed., Yul-Gok, 2010.
 [4] Jang, Y.C., *Study of optimum allocation in military engineering equipment for effective artillery position deve-*

- lopment operation, [Master's Thesis], Korean National Defense University, 2016.
- [5] Jung, I.H., Optimization of redundancy allocation in multi-level system considering alternative units, *Journal of the Korea Society for Quality Management*, 2015, Vol. 43, No. 1, pp. 31-42.
- [6] Kang, Y.H., Lee, H.C., and Kim, S.S., Scheduling Jobs with different Due-Date on Nonidentical Parallel Machine, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 1998, Vol. 24, No. 1, pp. 37-50.
- [7] Kim, D.C., Unrelated Parallel Machine Scheduling for PCB Manufacturing, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2004, Vol. 27, No. 4, pp. 141-146.
- [8] Kim, D.H. and Lee, Y.H., The Heuristic Algorithm for The fire target allocation and sequencing problem, *Journal of Korean Academic Society of Business Administration*, 2010, Vol. 25, No. 1, pp. 47-63.
- [9] Kim, Y.K., Metaheuristic, Young-Ji, 1997.
- [10] Moon, J.H. and Lee, S.H., Study on vehicle routing problem of artillery position construction for survivability support, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 2011, Vol. 37, No. 3, pp. 171-179.
- [11] ROK Army Training Doctrine Command, Data of Engineering Field(34-0-2), Korea Military printing Institution, 2013.
- [12] Ronald, L.R., Optimization in Operations Research, PrenticeHall, 1997.
- [13] Shah, R.K., A New Approach for Automation of Location-based Earthwork Scheduling in Road Construction Projects, *Automation in Construction*, 2014, Vol. 43, No. 2, pp. 156-169.
- [14] Won, S.K., Kim, S.K., and Han, C.H., A Combination Model of Earthwork equipment using System Dynamics, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 2007, Vol. 8, No. 2, pp. 194-202.

ORCID

Se Hwan Park | <http://orcid.org/0000-0002-1470-5277>

Moon Gul Lee | <http://orcid.org/0000-0002-2302-4705>