

## 건설장비 협업을 위한 플릿관리 시스템 개발

안서현\* · 김성근\*\* · 이관훈\*\*\*

Ahn, Seo-Hyun\*, Kim, Sung-Keun\*\*, Lee, Kwan-Hoon\*\*\*

### Development of a Fleet Management System for Cooperation Among Construction Equipment

#### ABSTRACT

In construction jobs, a combination of various kinds of machinery is used to perform earthworks at a large-scale site. Individual equipments essentially cooperate with each other on task such as excavation, load, transfer and compaction. While other area have studied cooperation system, related study in domestic construction is in poor condition. In this study, construction equipment fleet management system is developed for solving this problem and find way to improving efficiency in earthworks site. The entire concept of the fleet management system, including its components and process, has been systematically outlined in this paper. An operational methodology has also been suggested, where a number of machines, such as the excavators, trucks and compactors, are chosen and further grouped into a cluster. A case study verify fleet management system's effectiveness on performing task package by comparing existing work method with methodology in this study. Fleet management system in this study is expected to curtail fuel consumption by the reduction of working time and moving distance. Furthermore, it can be anticipated to declining carbon emission effect.

**Key words :** Fleet Management System, Wireless Communication, Equipment Cluster, Reallocation, Decision Making

#### 초록

건설공사에서 토공작업은 단지와 같은 대규모 현장 내에서 다수 및 다종의 건설장비 조합으로 이루어진다. 각각의 장비들은 작업에 투입될 시 필수적으로 다른 장비들과 굴착, 적재, 운반 및 다짐 등의 협업을 수행한다. 하지만 국내 건설업에서는 타업종의 협업시스템 개발에 비하여 관련 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 건설장비 플릿관리 시스템(Fleet Management System)을 개발하여 전체 토공 현장의 효율성 향상을 모색한다. 본문에서는 시스템의 구성요소와 프로세스 등을 제시하면서 플릿관리의 개념에 관하여 정리하였다. 또한 작업 패키지(Task Package)에 조합되는 굴삭기, 트럭, 다짐기들의 장비대수를 결정하여 장비 클러스터(Equipment Cluster)로써 무리지어 운용하는 방법론을 제시한다. 사례연구에서는 작업패키지를 수행하는 과정에서 기존 작업 방식과 본문에서 제시한 방법론을 대조하여 플릿관리 시스템의 효과를 검증한다. 본 연구에서의 플릿관리 시스템은 작업시간의 감소와 이동거리의 단축을 통하여 건설장비의 유류사용량을 줄일 수 있다. 더불어 이는 토공현장의 탄소배출량을 감소시키는 효과를 기대할 수 있다.

**검색어 :** 플릿관리 시스템, 무선 통신, 장비 클러스터, 재할당, 의사결정

\* 정희원 · 서울과학기술대학교 건설시스템공학과, 석사과정 (Seoul National University of Science & Technology · tomy8155@gmail.com)

\*\* 정희원 · 교신저자 · 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 정교수, 공학박사

(Corresponding Author · Seoul National University of Science & Technology · cem@seoultech.ac.kr)

\*\*\* 정희원 · 서울과학기술대학교 건설시스템공학과, 학사과정 (Seoul National University of Science & Technology · leekwanhoon9914@gmail.com)

Received March 17, 2016/ revised April 1, 2016/ accepted April 11, 2016

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 과학기술의 발달에 따라 제조업 현장의 모습은 정보기술 (Information Technology: IT), 로봇기술(Robot Technology: RT), 나노기술(Nano Technology: NT)등의 첨단기술이 적용되어 급격하게 변화하고 있다. 하지만 건설업에서는 보수적인 업계의 분위기와 현장 적용성이 떨어진다는 여론 등에 의해 이러한 첨단기술의 적용이 다른 산업에서와 같이 적극적으로 실행되지 못하고 있다(Choi and Shin, 2011). 현재 건설업은 기능 인력의 고령화, 숙련공의 부족 등으로 인한 생산성 및 안전성 저하 문제를 발생시키고 있으며, 투입되는 자원의 실시간 모니터링 및 할당을 위한 관리체계의 미비로 인한 저효율 문제 등이 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 첨단기술의 도입은 필수적인 사항이다.

모든 공사의 기본공종으로 수행되고 있는 토공은 다수 및 다종의 건설장비가 투입되어 작업이 이루어지는 특성을 가지고 있으며 전체 공사의 공기 및 공비에 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 토공작업에서의 효율성 및 생산성은 합리적인 토량배분계획의 수립과 투입되는 자원인 건설장비의 최적운영 및 관리에 달려있다. 하지만 현장에서 수행되는 토공작업의 모습은 주로 건설장비 운전자의 직관과 경험에 전적으로 의존함으로써 토공 생산성 및 장비효율을 저하 시키고 있다.

기존의 토공방법을 개선하기 위하여 최적의 토량배분계획과 건설장비의 운영 및 관리가 가능하도록 현장관리자와 건설기계 운전자를 지원하는 협업시스템의 도입이 필요하다. 협업시스템은 주어진 조건에 따라 작업계획을 수립하고 수립된 계획에 따라서 건설장비가 투입되고 운영될 수 있도록 하는 기능과 전체 시스템의 효율을 극대화하기 위하여 운전자와 공사관리자가 효과적으로 정보를 교환할 수 있는 기능을 제공해야만 한다.

본 연구에서는 수립된 토량배분계획에 따라서 최적의 장비운영을 지원하고, 공사관리자 및 장비운전자가 효과적으로 협업을 할 수 있는 플릿관리 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 궁극적으로 플릿관리 시스템은 토공작업의 생산성을 향상시키고 건설장비의 효율성 및 가동률을 향상시켜 작업시간의 단축과 연료사용량을 줄여서 탄소배출량 감소에도 기여하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 단지토공을 대상으로 하고 있으며, 플릿관리 시스템의 구성요소 제시와 토량배분계획이 수립된 이후 계획을 효과적으로 이행하기 위한 장비군(Equipment Cluster: EC)의 구성 및 운영방법론을 제시하는 것을 범위로 하고 있다. 구체적인 연구방법은 다음과 같다.

#### 1.2.1 휴리스틱 조사 및 플릿관리 시스템 구성요소 제시와 통신 기술 분석

본 논문에서는 표준적인 토공작업 방법을 검토하고, 토공계획과 건설장비의 운영경험이 풍부한 전문가를 대상으로 작업 시 적용되고 있는 휴리스틱을 파악한다. 플릿관리 시스템을 구성하는 요소와 요소별 속성정보를 정의하고, 각 요소 간 교환해야 하는 정보를 정의한다. 또한 현재 상용화되어 적용 가능한 기술을 분석하여 플릿관리 시스템에 적용할 수 있는 가장 적합한 무선통신기술을 제시한다.

#### 1.2.2 다이나믹한 건설장비군 구성방법 제시 및 시뮬레이션 수행

기존 연구에서는 건설장비군(EC) 개념과 EC를 구성하는 최적 장비의 규모를 결정하는 방법을 제시했다(Kim et al., 2015).

본 연구에서는 수립된 토량배분계획과 현장에서 가용한 건설장비를 고려한 EC의 구성방법을 제시하고자 한다. 또한 현장상황에 따라서 작업효율을 최대화하기 위하여 EC를 변화시키는 플릿관리 방법론을 제시한다. 다수의 EC를 운영하는 경우에 건설장비간 정보가 상충되는 상황에서 의사결정을 위한 판단기준을 제시한다.

사례연구에서는 일반적인 건설장비 구성 및 운영방법과 본 연구에서 제시한 기술을 적용한 운영방법을 비교분석하여 플릿관리 시스템 활용의 이점을 객관화한다.

## 2. 관련 기술동향

### 2.1 해외 광산업의 사례

해외의 광산업계에서는 이란의 Sungun 구리광산을 대상으로 한 광산관리 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 적재와 운반 모두의 특징을 고려하여 로더와 트럭의 광산 장비관리의 데이터베이스를 구축 하고 있다. 연구진의 시나리오 상에서 결정된 순서대로 장비를 할당할 경우 트럭의 생산량이 40%가 증가하였다. 또한 Dispatching 시스템을 모델로 하여 시뮬레이션 한 결과는 고정할당 시스템으로 작업하는 경우와 비교하였을 때 생산율이 7.8%가 증가하였다 (Hashemi and Sattarvand, 2015).

Modular Mining Systems사에서 개발한 Dispatch는 실시간 트럭의 배차계획을 수립할 수 있는 기능을 탑재하고 있으며, 투입되는 트럭들의 최적화된 배차 정보를 제공한다. 또한 ad-hoc 네트워크를 이용하여 생산량을 실시간으로 분석하고 분석결과를 다른 사용자, 장비운전자, 기기 등으로 전송할 수 있다. Caterpillar사에서 개발한 Cat Mine Star는 실시간 장비추적, 장비 배차, 생산량 관리 등의 기능을 제공한다. 각종 모듈 중 플릿 모듈은 투입되는 장비와 인력, 생산량 등에 관한 정보를 사용자 PC나 휴대기기를 통하여 실시간으로 제공하고, 시뮬레이션 기법을 이용하여 장비

배차계획을 수립할 수 있다(Park and Choi, 2015).

## 2.2 제조업에서의 협업시스템

제조업계에서는 최근 단일 로봇 시스템의 한계를 깨닫고 다개체 로봇의 협업을 위한 시스템 개발에 대한 연구를 시작했다. M2M (Machine-to-Machine)통신은 사람이 직접 제어하지 않는 상태에서 기계나 사물, 또는 지능화된 장치가 사람을 대신하여 통신의 양단 중 한쪽 혹은 양단 모두 배치된 통신이다. 두 개의 상이한 산업용 로봇 시스템들이 비전 및 센서 등의 정보와 M2M 통신 기술을 이용하여 일련의 작업들을 협업으로 수행한다(Hwang et al., 2014).

인간과 기계의 협업과 관련한 연구들로는 최근 어포던스 (Affordance) 기반 MPSG (Message-based Part State Graph) 모델이 개발되어 협업 단계가 정형화된 모델로 표현이 가능하게 되었다. 이 모델은 인간과 기계의 협업구성을 위해 각각 효과적으로 작업을 분배하여 최적 운용시스템 설계에 접근하는 방법론인 MABA-MABA (Men Are Better At-Machine Are Better At)에 의해 동적 임무를 할당한다. 또한 작업자가 시스템 내에서 임무를 수행함과 동시에 자동화 시스템과 교류하며 전체 시스템의 거동에 영향을 미치는 제어 방식인 Supervisory control 기반의 협업 운용 방법을 구현하였다. 인간-기계 협업 시스템은 다품종 소량 생산 체계의 제조시스템의 발전 경향에 맞춰볼 때 매우 효과적인 문제 해결 방안으로 제시되고 있다(Oh et al., 2015).

## 3. 건설장비 플릿관리 시스템

### 3.1 플릿관리의 개념

본 연구에서 제시하는 플릿의 개념은 계획된 작업의 수행을 위하여 현장에 투입된 굴삭기, 트럭, 그레이더 및 다짐기 등의 건설장비들을 총칭하는 전체 집합체를 의미한다. 토공작업에서는 건설장비가 핵심적인 자원으로 구분되며 건설장비의 효과적인 운용을 통하여 프로젝트를 성공적으로 마쳐야 한다. 즉, 제한된 자원인 건설장비들(플릿)의 최적 운용을 통하여 작업의 경제성 및 생산성을 높이는 것이 중요하다. 과거 몇 년간의 국내 건설장비 가동률을 살펴보면 평균적으로 40% 정도에 머물러 있다(Korea Construction Equipment Association, 2015). 이러한 사실은 건설현장에 투입된 개별 장비의 관점뿐만 아니라 건설장비군의 관점에서도 운영이 효과적이지 않았음을 나타내는 결과라고 판단할 수 있다.

플릿관리는 현장에 투입된 개별 장비뿐만 아니라 건설장비군의 최적 운영을 통하여 장비 가동률을 높이고 이것을 바탕으로 토공작업의 생산성 향상과 공기단축을 위한 노력이라고 할 수 있겠다. 나아가 건설장비가 소모하는 유류를 절약함으로써 탄소배출량도

저감하기 위한 조정 및 통제 행위라고 할 수 있을 것이다.

### 3.1.1 토공현장의 휴리스틱

토공사는 가변적인 환경에 따라 작업계획에 있어서 관리자의 경험적 판단에 의존하며 장비 운전자의 직관적인 판단에 의해 작업을 수행하므로 작업자의 역할이 중요하다(Lee et al., 2008). 숙련된 작업자의 휴리스틱(Heuristic) 즉, 경험을 바탕으로 한 노하우는 토공작업의 초기 계획 시 도움이 될 수 있다. 이에 따라 본 연구진은 연구 진행과정 중 토공현장의 장비운전자 43명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 문답 내용으로 1일 작업 시 굴삭기와 트럭의 조합은 어떻게 이루어지는가에 대한 답변은 처음 조합대로 진행하다가 경우에 따라 바꾸며 작업한다가 69.7%로 가장 높았다. 1일 작업계획 시에 장비의 작업 구간배정에 관해서는 공정계획 및 작업량에 따라 배치한다는 답변이 76.7%의 결과를 보였다. 또한 설문 결과 건설장비의 운용에 휴리스틱을 적용하기 위한 의사결정 요소로 정리될 수 있다. Table 1에서는 휴리스틱을 활용한 의사결정 요소들을 나타내었다. 본 연구에서는 이와 같이 협업에서 파악된 장비 운전자들의 응답들을 반영하여 연구의 방향을 설정하였다.

## 3.2 시스템 구성요소

본 연구에서는 효과적인 플릿관리를 위한 시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 분산형 시스템 구조로 이루어져 있으며, 구성은 각 건설장비들(굴삭기, 트럭, 그레이더, 다짐기)과 각 장비를 중재하고 통솔하는 역할을 수행하는 관제센터 그리고 현장에서 작업을 모니터링하고 처리하는 공사관리자 및 건설장비의 운전자를 포함하는 운용자로 이루어져 있다. 각 구성요소의 세부적인 특성은 다음과 같다.

### 3.2.1 관제센터

관제센터는 토공작업을 계획하고 건설장비의 운영을 모니터링하고 현장에서 실시간 발생하는 모든 상황을 통제 하고 관리하는 통합 관제 시스템이다. 관제센터는 GPS를 이용하여 토공현장 전체

Table 1. Decision-Making Elements of Heuristic

Equipment Operation
- Excavation depth: 2~3m for prevention of sliding
- Transfer Distance: Selected by shortest lineal distance
- Transfer Road: Utilization of existing road, selected by confirming the road's width and equipment specifications
- Location of each machine: In case the equipment is at a higher level than the excavator, the rotational angle of boom is within 90°
- Obstacle: Pause work when moving equipment approaches the operating radius and resume after it leaves the operating radius

구역에서 작업이 진행 중인 구역, 작업이 종료된 구역, 현재 작업수행이 필요한 구역의 정보와 장비별 작업량 및 상태를 데이터베이스에 저장한다. 또한 저장된 정보를 각 장비와 작업자에게 전달하고 장비 간 중재역할을 한다.

### 3.2.2 굴삭기

굴삭기를 이용한 작업은 해당 절토구역에서 지반을 굴착하는 굴착작업과 토사를 트럭에 싣는 적재작업으로 이루어진다. 굴삭기를 이용하여 적재작업 시 절토구역에 있는 트럭들과 유기적인 협업으로 작업효율을 높여야 한다. 이를 위해서는 시스템 구성요소들과의 네트워크가 수행 되어야 할 것이다. 또한 작업 시 붐대의 회전반경을 최대한 작게 하는 등 이동 동선을 줄이며 자체적으로 작업 소요시간 단축에 기여할 수 있다.

### 3.2.3 트럭

트럭은 절토구역에서 성토구역을 오가며 굴삭기 및 다짐기와 협업하여 현장의 작업을 원활하게 진행 시키는 역할을 수행한다. 전체 현장을 지체시간 없이 순환시키기 위해서는 트럭의 유휴시간을 줄이고 가동시간을 증가시켜야 한다. 관제센터와의 통신으로 최적의 트럭 대수를 작업구역에 배치시켜 대기시간을 줄이는 것은 해결방안 중 하나라 할 수 있다.

### 3.2.4 모터 그레이더

모터 그레이더는 장비 바닥 부분에 회전 날을 이용하여 지반을 평평하게 고르거나 불순물을 제거하는 장비이다. 토공사의 다짐 작업에 앞서 사전 작업을 하는데 이용되는 모터 그레이더는 시스템 구성요소에 속하지만, 본 연구에서는 장비의 기본개념만 언급하며 따로 다루지 않는다.

### 3.2.5 다짐기

다짐기는 성토구역 내에 위치하며 트럭으로부터 공급받은 토사를 다지는 협업을 수행한다. 다짐기는 타 장비들과의 작업보다는 성토구역 내에서 개별적인 작업이 주를 이룬다. 이에 따라 다짐작업의 효율성을 높이기 위해서는 다짐이 연속적으로 이루어져야 하고 최소 회전수로 진행되어야 한다.

### 3.2.6 운용자

현장 내에서 작업 상황을 모니터링하고 간단한 상황을 처리하는 공사관리자와 장비에 탑승하여 작업하는 운전자를 총칭하여 운용자라 한다. 운용자는 관제센터와 장비간의 의사소통 과정을 거쳐 작업을 진행시킨다. 또한 운용자 본인이 스스로 판단하여 작업을 하기도 한다.

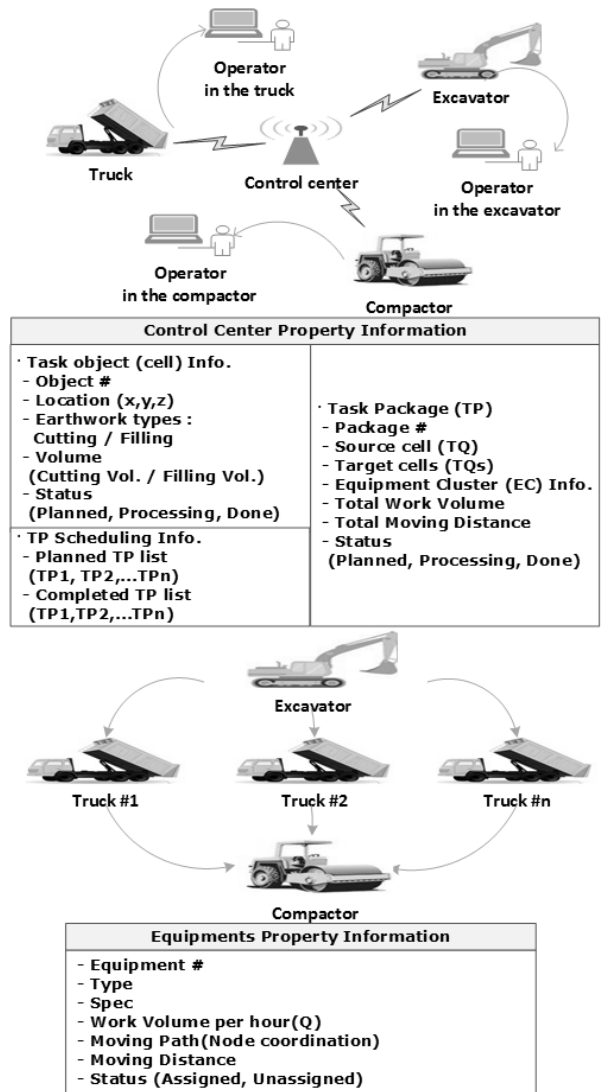


Fig. 1. Composition of the Fleet Management System

Fig. 1은 플릿관리 시스템의 구성과 각기 구성요소인 관제센터와 건설장비들의 속성정보를 나타내었다.

## 3.3 시스템 구성요소 간 작업 프로세스

본 장에서는 앞서 언급한 시스템 구성요소들 간의 작업 과정을 구체화 한다. 작업의 진행과정은 토공 모델링 이후 작업을 계획하고 작업 실행을 하는 순서로 이루어진다. 시스템 구성요소 중 데이터베이스를 저장하고 있는 관제센터는 토공 모델링에서 부터 작업계획 및 작업실행의 결과인 출력정보를 생성하기 까지 전 과정에 걸쳐서 관여한다. 건설장비들 및 장비를 운전하는 운용자는 작업 실행과정에서 주어진 작업을 실시하며 장비의 규모 조정 등에 참여한다. 그리고 현장을 관리하는 운용자인 건설관리자는 작업 계획과정에서 입력정보를 생성하여 토량배분계획을 세우고 현장의 현재 상황

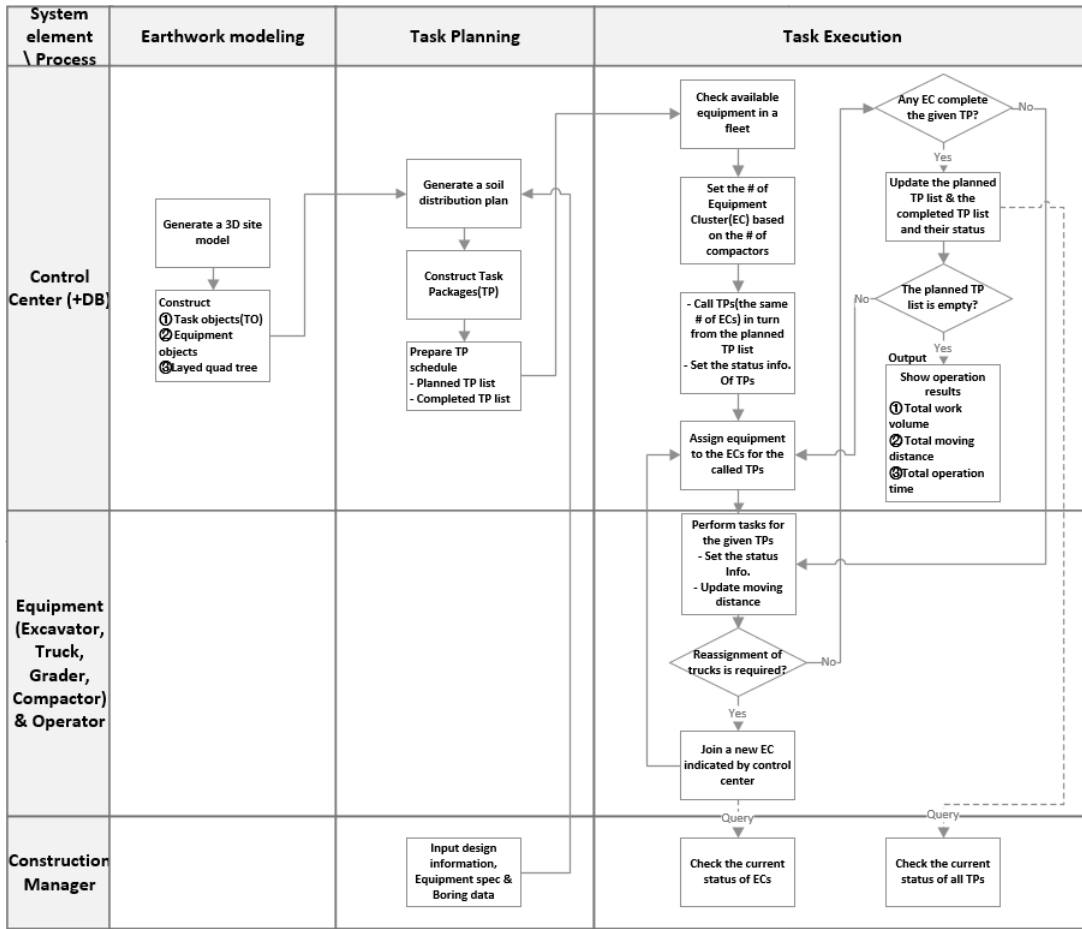


Fig. 2. Work Process of the Fleet Management System

을 체크한다. Fig. 2는 이러한 플랫폼리 시스템의 작업 프로세스를 상세하게 나타내었다.

### 3.4 시스템 구성요소 간 통신방법

시스템 구성요소 간 필요한 정보를 공유하기 위해서는 데이터 교환 방법이 필요하다. 데이터교환이 이루어지는 시기는 관제센터에서 정보가 생성되어 장비로의 송신 준비가 완료된 이후이다. 본 장에서는 통신망을 형성하고 통신방법들의 특징을 비교하여 토공현장에 가장 적합한 방법을 제시한다.

#### 3.4.1 메쉬 네트워크를 이용한 통신망 형성

과거의 네트워크 환경은 중계기나 공유기 등의 신호를 연결하는 접속장치(Access Point: AP)가 모두 유선으로 연결되어 있는 형태였다. 그러나 대규모의 단지공사의 경우 다수의 AP가 필요하기에 넓은 범위에서 사용 가능한 메쉬 네트워크(Mesh network)의 구성이 필요하다. 메쉬 네트워크는 중심 AP만 유선으로 연결된 상태에서 서로 다른 네트워크를 연결하는 라우터(Router)들이 메쉬 노드

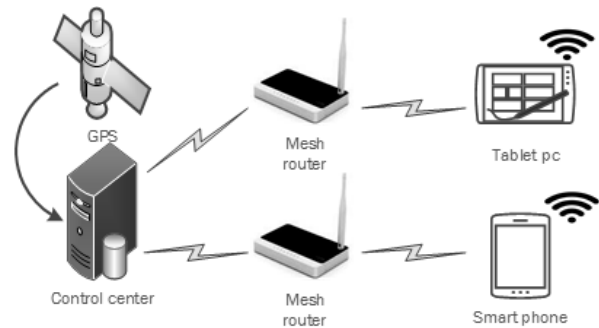


Fig. 3. Components of a Mesh Network

가 된다. 이는 전 구간을 무선으로 연결하고 신호의 지연을 최소화하는 방식이다(Information Rights, 2013).

본 연구에서는 메쉬 네트워크를 이용하여 관제센터에 유선으로 연결된 중심 AP를 구축하고 각 장비와 운용자를 무선 AP로 연결하여 네트워크망을 형성한다. Fig. 3에서는 이러한 메쉬 네트워크망의 구성을 나타내었다.

### 3.4.2 AP 무선 통신의 종류

토공사의 대안이 될 무선 통신 기술로는 Zigbee, Wi-Fi, 블루투스, UWB, 근거리 무선 통신, WAVE 등이 있다.

#### 3.4.2.1 Zigbee (IEEE 802.15.4)

현재 Zigbee의 사양은 시장에서 단거리 무선 통신의 국제표준으로 부상하고 있을 만큼 빠른 성장을 보이고 있다. Zigbee는 디바이스를 FFD (Full Function Device)와 RFD (Reduced Function Device)로 구분하여 디바이스의 목적에 최적화하였다. 듀얼 PHY 형태로 모뎀방식은 직접 시퀀스 확산 스펙트럼(DS-SS)이며 총 5 계층으로 구분된다(Kim and Lee, 2014).

#### 3.4.2.2 Wi-Fi (IEEE 802.11)

미국의 전기전자기술자협회(IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 1997년에 표준 무선랜의 첫 번째 규격으로써 정식명칭은 Wi-Fi (Wireless Fidelity)인 IEEE 802.11를 발표했다. 현재 Wi-Fi는 스마트폰의 대중화와 더불어 급속히 확대되는 망으로 노트북, 태블릿, 스마트폰 등의 다양한 기기가 접속되어 유비쿼터스 기반의 네트워크로 자리 잡아가고 있다. Wi-Fi는 사용 형태에 따라 인프라스트럭처(Infrastructure) 모드와 애드혹(ad hoc) 모드로 나뉘고 IEEE 802.11 a, b, g, n 등의 다양한 버전이 존재한다(Kim, 2015).

#### 3.4.2.3 블루투스(IEEE 802.15.1)

블루투스(Bluetooth)는 마이크로 칩에 내장된 상시 접속 단거리 무선 연결 장치다. 블루투스의 개념은보편적 단거리 무선 능력을 제공하는 것이다. 블루투스는 스케줄, 전화번호 등의 데이터, 오디오, 그래픽, 비디오를 포함하는 제약 없는 응용을 지원하도록 만들어졌다. 프로토콜 구조는 코어 프로토콜, 케이블 대체와 전화 제어 프로토콜, 채택된 프로토콜로 구성된 계층적 프로토콜로 정의된다(William, 2015).

#### 3.4.2.4 UWB (IEEE 802.15.3a)

UWB (Ultra Wide Band)는 무선 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 매우 넓은 주파수를 사용하여 통신이나 레이더 등에 응용되고 있는 새로운 무선 기술이다. 매우 좁은 펄스를 사용함으로써 낮은 스펙트럼 전력으로 이동통신, 방송, 위성 등의 기존 통신 시스템과 상호 간섭 영향 없이 주파수를 공유할 수 있다(Kim and Lee, 2014).

#### 3.4.2.5 근거리 무선 통신(ISO 13157 etc.)

근거리 무선 통신(Near Field Communication :NFC)은 비접촉식 무선 통신으로 이전 기술들의 장점들을 수용하고 있어 주목받고 있다. 모바일 RFID (Radio Frequency IDentification)의 일종으로 읽기뿐만 아니라 쓰기 기능도 가능하다(Kim and Lee, 2014).

#### 3.4.2.6 WAVE (IEEE 802.11p, IEEE 1609.x)

지능형 교통시스템 분야에서는 V2X (Vehicle to Everything)에 관하여 연구하고 있다. V2X는 자동차 간 통신인 V2V (Vehicle to Vehicle)와 자동차와 인프라 간 통신인 V2I (Vehicle to Infrastructure) 그리고 차량과 모바일 기기 간 V2N (Vehicle to Nomadic Devices)의 통신방법이 있다(Issuequest, 2015).

V2V와 V2I의 통신을 지원하는 기술로는 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)가 활용된다. WAVE는 고속으로 주행하는 차량 환경에서 통신서비스를 제공하기 위하여 특화된 차세대 ITS 통신기술이다. 또한 무선랜 기술을 기반으로 차량 환경에 맞도록 수정된 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 기술의 일종이다(Han, 2014).

Table 2는 6가지의 무선통신 기술들의 특징과 장단점을 비교하였다. 각각의 무선 통신 기술들의 전송속도와 서비스 거리를 비교한 결과 전반적으로 Wi-Fi가 토공현장에 적합했다. 차량이 주행 중인 상태에서는 WAVE가 뛰어난 기술력을 가진 것으로 나타났다. 이와 같은 통신기술은 시스템 구성요소 간 정보교환을 태블릿

Table 2. Comparison between Various Types of Wireless Communication

Type	Transmission Speed	Service Distance	Advantages	Disadvantages
Zigbee	At 2.4Hz, 250kbps	10~20m	Minimized Power Consumption	Low Speed
Wi-Fi	At 2.4Hz or 5Hz, Maximum 300Mbps	100~150m	High Transmission Speed, Easy to use	Vulnerable to Hacking, Information Leaks
Bluetooth	At 2.4Hz, 720kbps	Around 10m	Low Price, Low Power Consumption	Short Service Distance, Vulnerable Security, Interference
UWB	At 3.1~10.6 GHz, 480Mbps	20m	Frequency Sharing is Possible, Low Cost for Manufacture of Transmitter	No Standardization
NFC	At 13.56 MHz, 424 kbps	Within 10cm	Excellent Security, Low Price	Short Service Distance
WAVE	At 10MHz, 1.0Mbps	500~1000m	Real-time communication Possible during High speed Driving	Need more Time for Commercialization

PC나 스마트폰으로 가능케 한다.

## 4. 건설장비 클러스터

### 4.1 클러스터의 개념

토량배분계획 이후 생성된 작업패키지(Task Package: TP)는 최적화 기법에 의하여 절성토량의 균형 및 운반거리 등이 고려되어 구성된다(Kim, 2013). TP는 하나의 절토구역에서 하나 혹은 다수의 성토구역으로 매칭 될 수 있다. 또한 TP는 토공작업 전체의 상황의 파악이 가능하여 작업순서의 결정에 이용된다. 시스템은 이러한 절토 및 성토구역의 매칭이후 해당 TP 수행을 위한 장비그룹의 초기구성을 결정해야 한다. 이때 지정되는 건설장비의 조합은 장비 클러스터(Equipment Cluster: EC)로 정의된다. EC는 같은 일정의 TP를 수행할 건설장비들의 소규모 그룹으로써 상위범주인 플릿에 포함된 세부적인 장비구성이다. EC의 적절한 구성과 조정은 플릿관리의 효율성 향상에 영향을 미칠 수 있다.

### 4.2 클러스터의 구성법

토공에서 쓰이는 굴삭기, 트럭, 다짐기 등의 장비들은 TP 수행을 위하여 필요한 최적의 대수를 고려하여 EC로 지정된다. 단일 EC의 구성은 기본적으로 굴삭기 1대를 기준으로 다짐기 1대 및 다수의 트럭으로 이루어진다(Kim, 2013). EC 규모는 굴삭기의 대수에 따라 결정되는데, 굴삭기는 작업구역의 크기, 토공량 및 회전반경 등에 따라 선정된다. 트럭은 토공현장 TP의 구성과 트럭의 스펙 및 이동속도 등에 따라서 대수가 선정된다. 다짐기는 다짐속도 및 다짐도 등에 따라 대수가 선정된다.

TP 수행을 위해 장비는 다수의 작업구역을 오가게 된다. 효율적인 장비운동을 위해서는 현장상황에 따라 장비의 추가 투입이 필요한 작업구역이 생길 시 EC의 구성이 변동되어야 한다. 이에 따라 EC의 규모는 작업이 진행되는 동안 수시로 조정될 수 있다.

### 4.3 건설장비별 작업 프로세스

주요 건설장비 중 굴삭기는 후속작업을 수행할 구역에 트럭의 상차위치, 배수 방향, 굴삭의 연속성, 지장물의 여부, 이동거리 등의 요소들을 고려하여 선정된다. 다짐기는 후속작업으로 선행작업이 완료된 구역을 대상으로 다짐구간이 직선상으로 길게 형성되면서 방향전환이 최소화되는 경로에서 작업을 실시한다. 상세한 작업 프로세스는 선행연구에서 제시 되어있다(Kim et al., 2015).

트럭의 작업 프로세스는 다음과 같다.

#### Step 1. 트럭의 최초 운반 경로 생성

토량배분 계획을 통해서 절성토층은 여러 구역으로 나누어진다.

각각의 구역은 Fig. 1에서 표기한 속성정보를 저장하고 있다. 토사를 공급하는 절토구역에서는 적재작업을 하게 되고, 토사를 공급받는 성토구역에서는 적하작업을 하게 된다. 트럭은 토량배분 계획대로 최초로 정해진 작업위치로 이동한다.

#### Step 2. 해당 적재작업에 선정된 절토구역 배정

TP를 통해 해당 절토구역에 배당된 굴삭기와 함께 트럭은 위치한다. 트럭은 굴삭기가 버킷으로 담은 토사를 적재함에 싣는 협업을 하며 적재 작업을 완료한다.

#### Step 3. 성토구역으로 이동 및 적하작업 실시

적정량의 토사를 적재한 트럭은 다음 작업을 위해 성토구역으로 운반경로를 따라 이동한다. 이후 작업이 수행될 해당 성토구역에 위치하여 토사의 적하작업을 실시한다.

#### Step 4. 이동경로 및 배차 절토구역 재선정

트럭은 한 사이클의 작업 완료 후 다음 작업에 합류하기 위한 작업구역을 배정받아야 한다. 원래 트럭이 속한 단일 EC가 수행해야 하는 TP로 이동하거나, 전체 시스템의 효율 측면에서 트럭의 재배치가 필요한 경우에는 다른 단일 EC에 편입되어 해당하는 TP의 절토구역으로 이동한다.

#### Step 5. 일일 작업물량 확인

일일 누적작업량이 일일 계획물량과 같아지면 Step 6를 수행하고 그렇지 않으면 Step 4를 다시 실시한다.

#### Step 6. 작업종료

## 4.4 다이나믹 클러스터 구성방법

### 4.4.1 클러스터 재구성 시점

TP의 구성으로 인해 작업 우선순위는 결정되고, 이후 TP 수행을 위한 리스트는 생성된다. 이와 같은 TP 스케줄링 과정을 거쳐 생성된 EC의 초기의 구성은 작업이 진행됨에 따라 플릿관리 시스템의 최적화를 위하여 작업 상황에 따라 적절한 변경이 필요하다. EC의 구성장비 중 굴삭기와 다짐기는 각각 절토 및 성토구역에 머물며 인접한 구역으로 이동한다. 관제센터는 트럭의 단일 EC별 동일 시점 상에서 작업진행 상황을 비교한다. 이후 작업진행이 원활한 단일 EC에서 작업의 능률이 떨어지는 단일 EC로 트럭의 업무를 변경하여 EC의 규모를 조정한다. Fig. 4에서는 플릿에 속한 EC의 구성과 규모의 조정에 관한 일련의 과정을 예시로 나타내었다. 이러한 EC의 재구성은 시점에 따라 두 가지 상황에서 진행할 수 있는데, 첫째는 TP수행 도중에 EC를 재구성하는 방법이

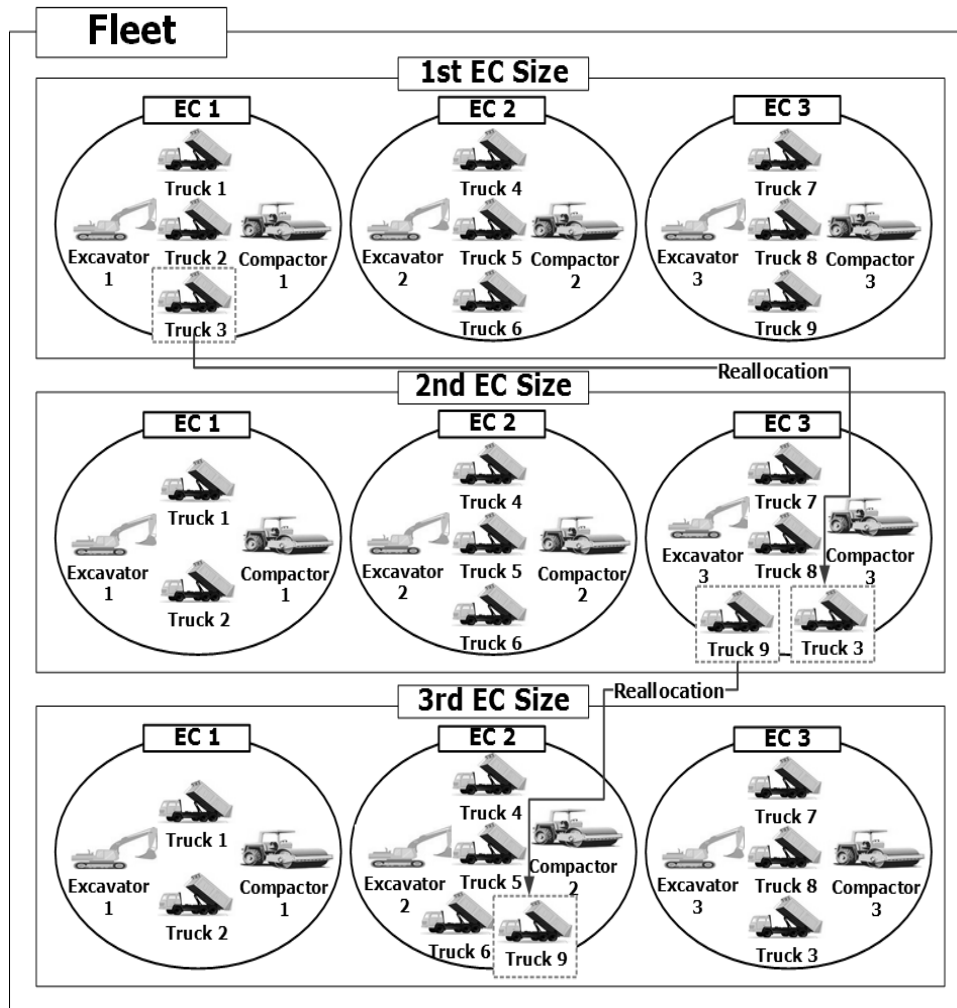


Fig. 4. Change in Configuration of EC Units

고, 둘째는 현재의 TP가 종료된 후 EC를 재구성하는 방법이다. Fig. 5는 트럭의 시점별 재할당 과정을 순서도로 나타내었다.

**4.4.1.1 작업 도중 클러스터 재구성**

계획된 TP 작업을 수행하는 도중 EC의 트럭 대수를 변경함으로써 전체 시스템의 작업효율은 향상될 수 있다. 만약 동시에 EC1과 EC2가 각각의 TP를 진행한다고 가정한다면, EC1은 트럭의 회전율이 높아 신속하게 작업이 진행되고 EC2는 트럭의 대수가 부족하여 작업의 진행속도가 늦어지는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는 EC1에 할당된 트럭 한대를 TP를 수행도중 적당한 시점의 판단과정을 거쳐 EC2로 편입한다. 적절한 EC의 재구성은 트럭이 새로운 TP를 수행하게 하여 토공현장의 효율성을 높일 수 있다.

**4.4.1.2 현재 작업패키지 완료시 클러스터 재구성**

EC의 규모는 수행중인 TP의 작업이 완료된 후 동일한 EC

구성으로 다음 TP 작업을 진행하지 않고 트럭의 대수를 조정 하여 재구성 될 수 있다. 관제센터는 단일 EC가 동시에 각각의 TP를 시작할 때 각 단일 EC의 시간에 따른 작업량을 확인한다. 이번에는 EC1이 같은 시간동안 작업량이 가장 많고, EC2가 작업량이 가장 적은 결과를 보이는 경우가 발생한다고 가정한다. 시스템 구성요소 들은 EC1이 현재 수행중인 TP가 완료된 후 새로운 TP에 투입되기 전 EC1에 구성된 트럭들 중 EC2에 새로 투입될 트럭을 선정한다. 선정된 트럭은 EC2에 합류되어 새로운 TP를 수행하며 EC의 규모의 재조정으로 전체 시스템의 효율향상을 도모한다.

두 가지 시점 중 어느 시점에서 EC를 재구성 하였을 때 전체 시스템의 효율향상에 기여도가 높은지는 지표로 비교할 수 있어야 한다. 이를 위해 각기 시점별 트럭의 누적 사이클 타임 비교결과로 효율성은 판단된다. 트럭의 사이클 타임은 변수인 적재시간, 왕복시간, 적하시간 및 대기시간을 합하여 계산한다. 적재시간( $t_1$ )은 굴삭기의 사이클 타임으로써 Table 3에서의 굴삭기 회전각도와 굴삭기



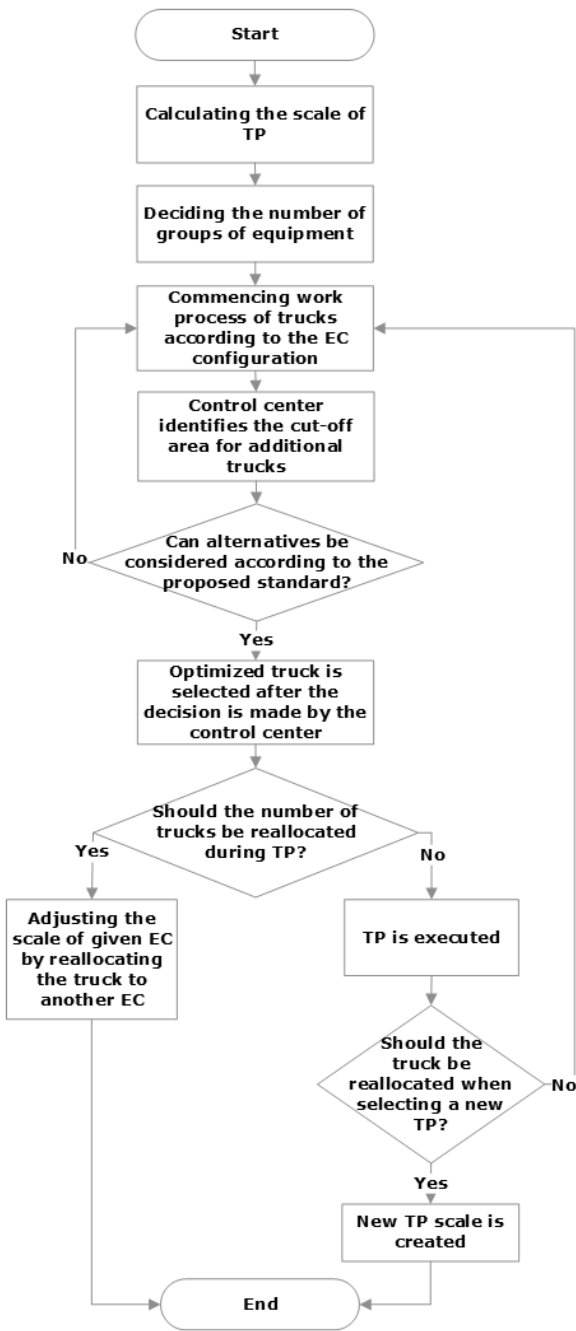


Fig. 5. Flow Chart Showing Reconfiguration of EC Units

Table 3. Cycle Time of Excavators

Standard	Angle	Cycle Time (Sec)			
		45°	90°	135°	180°
0.12~0.4m <sup>3</sup>		13	15	18	20
0.6~0.8m <sup>3</sup>		16	18	20	22
1.0~1.2m <sup>3</sup>		17	19	21	23
2.0m <sup>3</sup>		22	25	27	30

의 규격을 이용하여 산정할 수 있다(Construction Standard Estimating System, 2015). 왕복시간( $t_2$ )은 운반거리를 적재시의 평균 주행속도와 공차시의 평균 주행속도로 나눈 값의 합으로 계산한다. 적하시간( $t_3$ )은 토질과 작업조건에 따라 상이하게 산정한다. 대기시간( $t_4$ )은 적재시간에 따른 트럭의 대수와 이동거리를 고려하여 산정한다.

$$Cmt = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$$

Cmt: 트럭의 사이클 타임(Truck Cycle Time)

$t_1$ (min): 적재시간>Loading Time)

$t_2$ (min): 왕복시간(Round Trip Time)

$t_3$ (min): 적하시간(Dumping Time)

$t_4$ (min): 대기시간(Waiting Time)

#### 4.4.2 클러스터 재구성 시 의사결정 방법

플릿관리 시스템은 굴삭구역에서 트럭들이 지체시간을 가지면서 정체현상을 초래하지 않도록 효율적으로 운영되어야 한다. 앞서 각각의 시점에 따라 관제센터는 어떤 EC에 속한 트럭을 어느 절토구역에 재할당해야 할지 구체적으로 선정해야 한다. 이에 따라 관제센터는 재할당에 참여할 의사를 가진 트럭들 중에서 가장 적합한 트럭을 결정하는 과정을 거쳐야 한다. 재할당을 위한 대안으로 참여하게 될 트럭들은 최적의 트럭이 선정되기 전에 공간간섭이 생기거나 동선이 영키는 등의 혼선이 빚어지는 목표충돌이 발생할 수 있다. 트럭들 간의 목표충돌에 대한 조정은 의사결정(Decision Making) 방법으로 해결할 수 있다. 가장 알맞은 의사결정은 몇 단계의 판단과정을 거쳐야 한다.

Fig. 6는 기본적인 의사결정 과정을 설명하였다. 관제센터는 현장상황에 대한 정보를 수집한다. 다음으로 관리자는 해결해야 할 문제를 확인하고 명확하게 이해한다. 이후 관제센터는 문제해결을

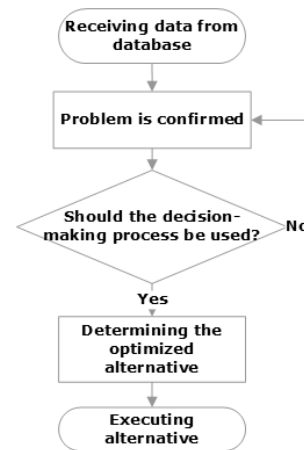


Fig. 6. Flow Chart Representing a Basic Decision-making Process

위한 판단 기준을 세워야 하는데 인적자원에 의한 방법, 물리적 거리에 의한 방법, 트럭 간 능력 평가에 의한 방법 등의 세 가지 대안을 제시하고 각 대안을 비교하여 최적의 안을 결정한다. 판단 기준에 의한 대안결정 과정에서 대안이 선택되지 않는다면 프로세스는 이전단계로 복귀 한다. 이러한 판단 기준을 거친 의사결정 사항으로 트럭의 업무는 작업상황과 토량을 고려하여 실시간으로 재할당 된다.

**4.4.2.1 인적 자원에 의한 방법**

인적자원에 의한 방법은 트럭에 승차하고 있는 운전자 스스로의 판단을 통하여 의사결정이 이루어진다. 트럭의 충원이 필요한 단일 EC에 다수의 트럭들이 작업에 투입될 의사를 표시 하였을 경우에는 우선권으로 트럭이 배정될 수 있다. 현장의 상황들을 모니터링하고 있는 관제센터는 EC 재할당 의사를 표시한 트럭들에게 새로운 단일 EC로의 투입을 위한 우선권 공고를 한다. 이때 관제센터로 먼저 의사를 표시한 트럭은 새로운 단일 EC에 배치된다. 인적 자원에 의한 대안으로 재할당 트럭을 결정하는 경우는 관제센터의 판단과정이 생략되어 최단시간으로 트럭을 재할당할 수 있다. 하지만 트럭의 작업능력이나 트럭에서 작업구역까지의 거리를 고려하

지 않기 때문에 전체 시스템 생산성 산정의 일정함이 떨어질 수 있다. Fig. 7은 인적 자원에 의한 의사결정 방법에 대하여 순서도로 나타내었다.

**4.4.2.2 물리적 거리에 의한 방법**

물리적 거리에 의한 방법은 의사결정 과정에 대안으로 속해 있는 트럭들 중 재할당 될 단일 EC의 작업구역으로부터 절대적인 거리가 가장 짧은 트럭을 우선으로 결정한다. 관제센터는 GPS를 통하여 각 장비의 위치정보를 실시간으로 저장하고 있는데, 이 데이터를 이용하여 각 트럭들의 현 위치에서부터 재할당 될 작업구역까지의 직선거리를 구한다. 비교 결과를 통하여 최단거리에 위치해 있는 트럭은 우선 배정 대안이 된다. 이 방법은 절토구역에서 가장 근접한 트럭을 배치시킬 수 있지만, 그에 반해 정보를 받는 과정에서 소요되는 시간과 트럭의 작업능력을 고려하지 않았다. Fig. 8은 물리적 거리에 의한 의사결정 방법에 대하여 순서도로 나타내었다.

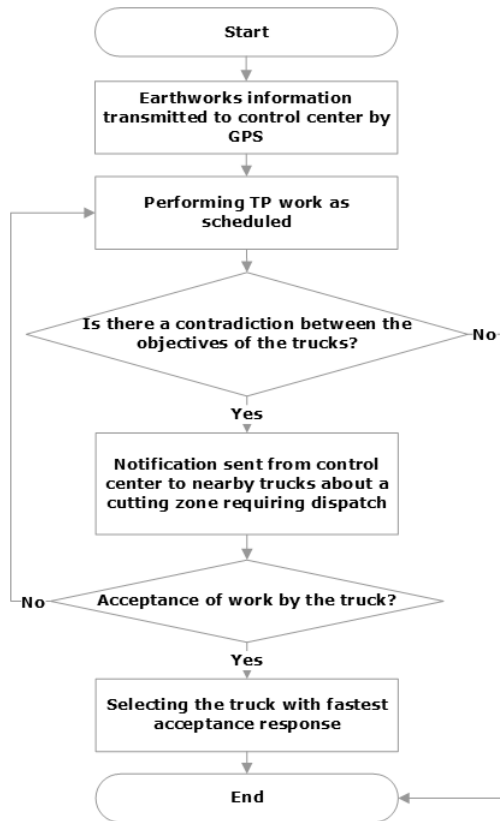


Fig. 7. Flow Chart for Decision-Making by Employees

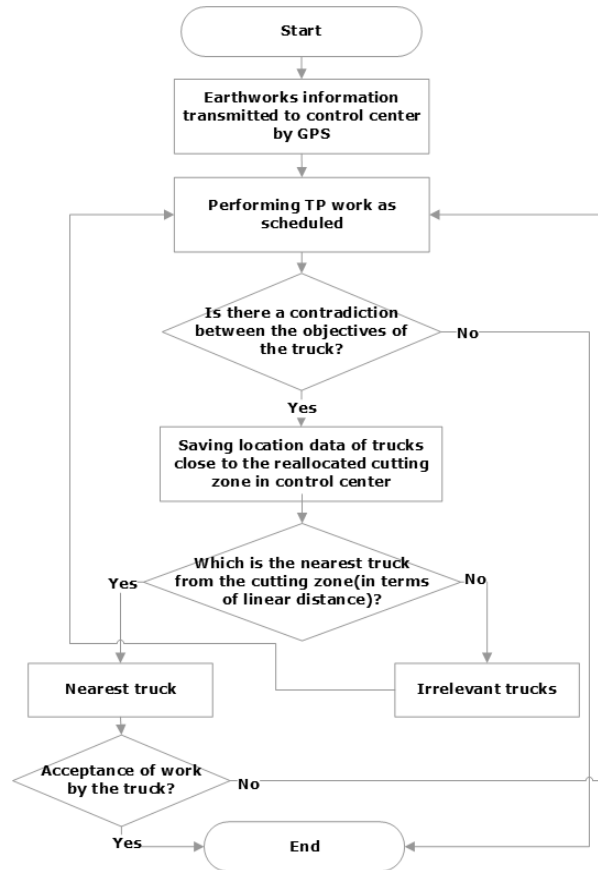


Fig. 8. Flow Chart for Decision-Making with Respect to Physical Distance

4.4.2.3 트럭 간 능력 평가에 의한 방법

토공현장에서 트럭들의 실시간 작업량은 관제센터에서 저장하여 관리된다. 관제센터는 다수의 대안인 트럭들의 상대적인 시간당 작업량을 비교한다. 작업량 비교 결과를 통하여 관제센터는 작업능력이 가장 뛰어난 트럭을 새로운 단일 EC의 우선순위로 재할당한다. 작업량을 통한 트럭의 작업능력 비교대안은 트럭대수의 추가가 필요한 단일 EC에는 효율성을 가장 높일 수 있는 방법이다. 하지만 선택된 트럭은 해당 TP의 절토구역까지의 거리가 고려되지 않았다. Fig. 9는 트럭 간 능력 평가에 의한 의사결정 방법에 대하여 순서대로 나타내었다.

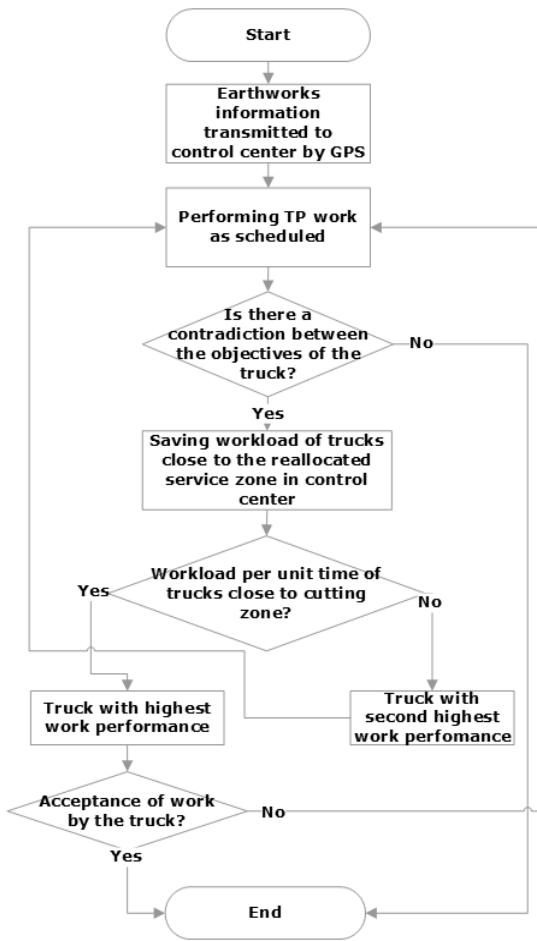


Fig. 9. Flow Chart Showing the Comparison of Performance Evaluation of Trucks

5. 사례 연구

5.1 사례 연구 배경

본 연구에서 제시한 플랫폼리 시스템은 효율성검증으로 Python 2.7과 Excel 2013을 활용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의

대상은 본문의 4.4에서 기술한 다이나미한 EC 구성의 방법론으로 가상의 토공현장 상황에서 기존의 작업방법과 효율을 비교하였다. 또한 각 시점별 EC 규모의 변경 방법을 서로 비교했다. 시뮬레이션을 위한 가상환경은 토량배분계획 이후 TP를 구성하는 과정에서 절토구역을 40m×60m의 임의의 크기로 구성하였다. 성토구역은 절토구역에서 400~500m 가량 떨어진 세 구역으로 적절하게 배치하여 절토도 매칭을 용이하게 했다. 절토 및 성토구역에서 작업구역 공간의 크기는 10m×10m로 정하였다. 동시에 작업을 수행할 수 있는 EC 그룹의 수는 세 그룹으로 하였으며, EC는 총 24가지의 TP를 EC1~3 별로 각 8가지의 TP에서 작업을 수행하게 하였다. 하나의 TP에 배치되는 단일 EC의 구성은 굴삭기(1m<sup>3</sup>) 1대, 트럭(15ton) 2대~4대, 다짐기(10ton) 1대로 했다. 각각의 경우 가상의 상황에서 트럭의 사이클 타임의 요소인 적재시간과 적하시간은 일정하고 변화가 크지 않으며 결과 값에 영향을 미치지 않아 고려요소로 포함되지 않았다. 또한 절토구역에서 각각의 성토구역까지 거리가 일정하고 긴 구간을 이동하지 않으므로 트럭이 굴삭기로부터 토사를 받기위해 대기하는 지체시간은 고려되지 않았다. 시뮬레이션을 통하여 얻고자 하는 중요 변수는 토공량과 운반거리에 따라 EC에 속한 트럭들의 왕복시간과 누적거리이다. 시뮬레이션의 수행과정은 우선적으로 절토구역과 성토구역의 시공기면으로 부터 지반고를 이용하여 토공량을 산정하였다. 또한 지반의 특성에 따라 보정토량을 계산하여 토량배분계획을 세웠고, 이를 통하여 TP는 선정되었다. 이후 분배기준에 따라 최초의 EC 규모를 선정하였다. 각각의 시점에 따른 EC 규모의 변화는 단일 EC별 시간당 작업량 (m<sup>3</sup>/hr)을 시간대 별로 비교하여 장비들이 최소 운반시간을 낼 수 있는 결과를 도출하기 위하여 반복 수행하였다.

5.2 사례를 통한 비교

사례연구를 위한 TP의 작업일정은 절토구역 안에서 굴삭기 3대가 동시에 작업을 시작하며 공간간섭이 생기지 않는 최적의 상황에서 진행되는 계획으로 하였다. EC는 EC1~3까지 생성되며

Table 4. Scale and TP Schedule of EC Units

Devision EC #	Equal Distribution	Balance Distribution	TP Schedule
	Excavator 1 Trucks 3 Compactor 1	Excavator 1 Trucks 2 Compactor 1	
EC2	Excavator 1 Trucks 3 Compactor 1	Excavator 1 Trucks 3 Compactor 1	TP9/TP10/TP11/TP12/ TP13/TP14/TP15/TP16
EC3	Excavator 1 Trucks 3 Compactor 1	Excavator 1 Trucks 4 Compactor 1	TP17/TP18/TP19/TP20/ TP21/TP22/TP23/TP24

트럭의 규모 선정은 분배기준에 따라 비교했다. 트럭은 총 9대가 TP에 투입되었으며 분배기준에 따라 각 단일 EC에 동일하게 3대가 투입되는 등분배 EC 규모의 선정(Equal Distribution: ED)경우와 EC1에 2대, EC2에 3대, EC3에 4대가 배정되어 TP를 수행하는 토공량에 따른 EC 규모의 선정(Balance Distribution: BD)경우로 나누어 진행하였다. 계산에 필요한 트럭의 주행속도는 8km/hr로 산정하고 1회 운반 시 적재량은 7.7m<sup>3</sup>으로 하였다. Table 4에서는 최초 EC1~3의 TP순서와 장비의 규모를 나타내었다.

**Case 1. 계획 없이 작업을 진행했을 경우와 플릿관리 시스템을 활용했을 경우의 결과 비교**

최초에 장비그룹이 형성된 이후 트럭대수의 변경 없이 작업이 완료될 때 까지 진행하였을 경우와 플릿관리의 방법으로 장비를 재구성 하였을 경우는 전체 트럭의 누적 이동시간(Round Trip Time: RTT)으로 비교했다. 계획 없이 작업을 하였을 때 EC에

속한 트럭의 RTT는 ED가 1,367.705분, BD가 1,374.150분이 소요되었다. 플릿관리에 의한 트럭대수를 재할당한 경우의 RTT는 각 변경 시점에 따라 ED가 1,360.877분 및 1,364.169분, BD가 1,361.851분 및 1,364.070분이 소요되었다. 각 경우에 관한 트럭의 이동시간 비교 지표는 Fig. 10에 나타내었다. 그래프 상의 용어는 계획 없이 작업한 경우 Random으로 표시하였고, TP 도중에 EC 규모를 변경한 경우 While TP, TP 완료 후 EC 규모를 변경한 경우 After TP로 표시하였다. 결과적으로 최초에 계획된 대로 EC의 규모를 변경하지 않고 작업을 하였을 경우 플릿관리에 의한 방법보다 트럭의 누적 이동시간은 많게는 10분 이상 차이가 발생하였다. 또한 트럭의 누적 이동거리는 Fig. 11에서 그래프로 비교하였다. 계획 없이 TP를 수행한 결과 트럭의 누적 이동거리(Round Trip Distance: RTD)는 ED가 91,225.9m, BD가 91,655.8m로 나타났다. 반면에 플릿관리 시스템을 적용하여 트럭의 대수를 재할당한 결과는 TP수행도중 트럭을 재할당한 경우 ED가 90,769.7m, BD가 90,990.1m를 나타내었다. 또한 수행 중이던 TP완료 후 트럭을 재할당한 경우 ED가 90,836.7m, BD가 90,984.3m를 나타내었다. 결과적으로 계획 없이 TP를 수행한 것보다 플릿관리 시스템을 적용하여 EC의 규모를 조정한 것이 트럭의 누적 이동거리를 많게는 1,000m 가량 단축시킬 수 있었다. 이러한 결과는 플릿관리 시스템을 통한 장비의 관리가 현장에서 적용해 볼만한 필요성이 있음을 반증한다.

**Case 2. TP 진행 도중 트럭을 재할당할 경우와 TP 완료 후 트럭을 재할당할 경우의 결과 비교**

Case 2는 BD로 최초의 EC 사이즈를 TP별 토공량에 따라 조정된 상태에서 TP 진행도중 트럭의 대수를 재할당 할 때 시점별로 효율을 비교하였다. 앞서 Case 1에서는 EC 트럭의 전체 누적 이동시간을 비교하였다면, Case 2는 단일 EC 각각의 트럭의 누적 이동시간을 비교하여 어느 방법으로 하였을 때 각 단일 EC별

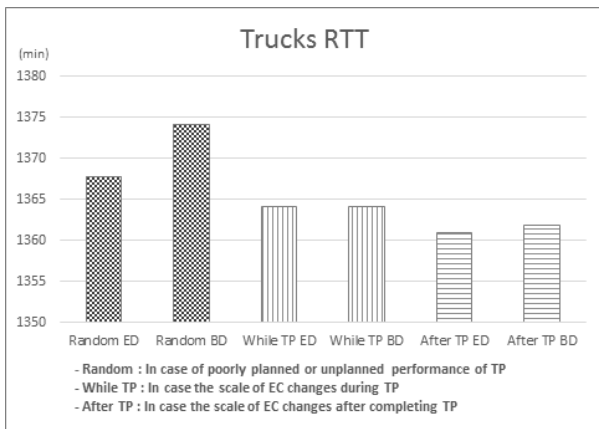


Fig. 10. Comparison between the Round Trip Time (Rtt) Values of Various Trucks

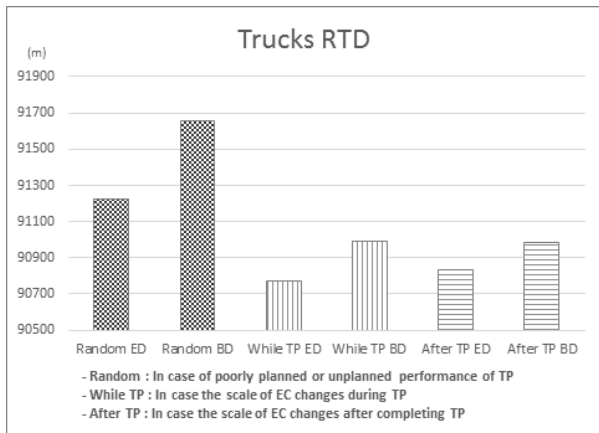


Fig. 11. Comparison between the Round Trip Distance (RTD) Values of Various Trucks

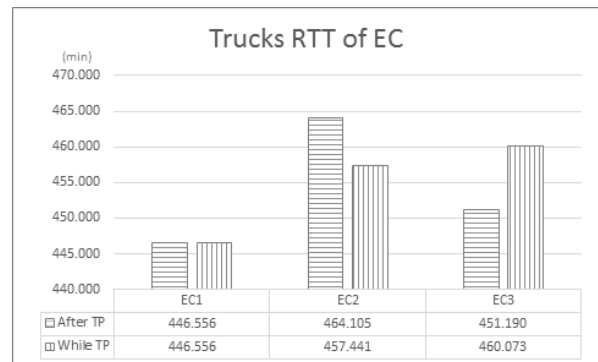


Fig. 12. Comparison between the Round Trip Time (RTT) Values of Trucks for Each EC

종료시점이 비슷하게 형성되어 장비의 재배분이 원활하게 되었는지를 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 EC3이 진행 중인 TP를 완료 후 EC2의 TP로 트럭을 투입하였을 경우와 EC3이 진행 중인 TP도중 EC2의 TP로 트럭을 투입하였을 경우로써 Fig. 12에서 비교수치를 나타내었다. 트럭의 전체 누적이동시간은 각각의 시점별 방법들 간에 비슷한 결과를 보였다. 하지만 작업종료 시점을 전체 누적소요시간으로 하지 않고 최종 단일 EC의 업무가 종료되는 시점으로 볼 경우 최종 단일 EC의 트럭의 이동시간을 적절하게 단축시킬 수 있었던 작업도중의 트럭대수를 변경하는 방법이 더 효과적인 작업결과라 할 수 있다.

## 6. 결론

기존의 토공현장의 작업방법은 장비 운전자의 경험에 의존하여 단일 장비마다 개별적으로 진행되었다. 이러한 방법들은 건설장비들의 가동률이 떨어지는 결과를 초래하였고 전반적인 현장의 작업 진행 상황을 실시간으로 파악하기 어려웠다.

본 연구에서는 이러한 토공현장의 단점을 보완하기 위하여 플릿 관리 시스템의 개념에서부터 실질적인 방법론까지 제시하였다. 플릿이란 토공현장에 투입되는 건설장비들의 전체집합으로, 이러한 플릿을 관리하기 위하여 시스템을 구성하고 구성요소 간의 프로세스와 통신방법에 관하여 기술하였다. 플릿은 세부적으로 토공량과 운반거리를 고려하여 EC로 형성된다. EC의 구성은 보통 최초에 형성된 그룹으로 작업을 진행하기도 하지만 플릿관리 시스템을 통해 제시한 EC 규모의 변경을 통하여 작업의 효율성을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 제시된 플릿관리 시스템과 기존의 작업방법의 효율성을 비교하기 위해 시뮬레이션 과정을 통하여 사례연구를 실시하였다. 가상의 환경에서 플릿관리 시스템을 적용해본 결과는 기존의 작업방법에 비해 작업소요시간과 거리에 절대적인 영향을 미치는 트럭의 이동시간과 작업거리가 단축될 수 있음을 확인하였다. 그러나 사례연구의 배경이 되는 가상의 현장은 단일 EC당 트럭의 대수가 3대 내외이고 트럭별로 절토구역에서 성토구역까지의 거리 차가 크지 않아 대기시간이 발생하지 않는다는 가정 하에서 이루어진 결과라는데 제약사항이 있다. 이러한 제약사항의 해결을 위해 후속 연구 과정에서는 대기시간을 고려하는 실제 현장의 사례들을 분석하여 결과를 더욱 일반화 하는데 주력해야 할 것이다. 다수의 시뮬레이션 과정과 실제현장에서의 적용과정을 통하여 보완된 플릿관리 시스템의 효율적인 활용은 건설장비의 유휴사용량을 감소시켜 토공현장의 탄소배출량을 줄임으로써 경제적인 운영과 친환경적인 작업현장을 유지할 수 있는 효과를 발휘할 수 있다. 후속 연구진행 과정에서는 본 연구에서의 플릿관리 시스템을 응용

하여 현장에서 직접 적용해 봄으로써 실측적인 효과를 검증할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(14SCIP-B079344-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Choi, H. S. and Shin, D. Y. (2011). "Review of automatic construction system and automation technologies." *Journal of The Korean Society for Fluid Power and Construction Equipment*, Vol. 8, No. 2, pp. 64-68 (in Korean).
- Construction Standard Estimating System (2015). Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, p. 236.
- Han, D. S. (2014). *V2X communication technology and application development direction* (in Korean).
- Hashemi, A. S. and Sattarvand, J. (2015). "Simulation based investigation of different fleet management paradigms in open pit Mines-A case study of sungun copper mine." *Archives of Mining Sciences*, Vol. 60, No. 1, pp. 195-208.
- Hwang, K. J., Tran, T. L., Jeong, J. S. and Ahn, H. J. (2014). "Cooperative system of industrial robots using M2M communication." *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Proceedings of KSPE 2014 Autumn Conference, pp. 345-346 (in Korean).
- Information Rights (2013). *What is Mesh Network*, Available at: <http://slownews.kr/14565> (Accessed: January 19, 2016).
- Issuequest (2015). *Unattended car (autonomous car) and UAV (drone) Market Trends and Technology Development Strategy*, Issuequest (in Korean).
- Kang, J. J., Kwon, Y. S. and Kwon, J. L. (2014). "The vehicle-to-nomadic devices authentication system using NFC." *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 54, No. 4, pp. 87-88 (in Korean).
- Kim, C. H. and Lee, J. D. (2014). "Data communication." *Publishing Company by Bogdoo*, pp. 318-338 (in Korean).
- Kim, S. K. (2013). "3D-based earthwork planning and CO<sub>2</sub> emission estimation for automated earthworks." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 3, pp. 1191-1202 (in Korean).
- Kim, S. K., Kim, G. Y. and Park, J. H. (2015). "An approach for solid modeling and equipment fleet management towards low-carbon earthwork." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 501-514 (in Korean).
- Kim, Y. W. (2015). *Wi-Fi*, IT Donga, Available at: [http://navercast.naver.com/contents.nhn?rid=122&contents\\_id=5037](http://navercast.naver.com/contents.nhn?rid=122&contents_id=5037) (Accessed: February 21, 2016).
- Korea Construction Equipment Association (2015). *Domestic Construction equipment utilization*, Available at: [www.kcea.or.kr](http://www.kcea.or.kr) (Accessed:

February 16, 2016).

- Lee, S. S., Kim, K. N. and Seo, J. W. (2008). "Analyzing effect factor in earthwork and skillful excavator operator's behavior." *Civil Expo 2008*, pp. 1867-1870 (in Korean).
- Oh, Y. G., Ju, I. C., Lee, W. Y. and Kim, N. H. (2015). "Modeling and implementation of the affordance-based human-machine collaborative system." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 41, No. 1, pp. 34-42 (in Korean).
- Park, S. B. and Choi, Y. S. (2015). "Development and utilization of mine management software: A Review." *Tunnel & Underground Space*, Vol. 25, No. 3, pp. 221-230 (in Korean).
- William, S. (2015). *Data&Computer Communication*, Sungjin Media (in Korean).