

# 수평작업공간을 갖는 건설프로젝트의 위치정보 연동에 의한 선형공정표 적용방안

한선주\* · 김현승\*\* · 박상미\*\*\* · 강인석\*\*\*\*

Han, Seon Ju\*, Kim, Hyeon Seung\*\*, Park, Sang Mi\*\*\*, Kang, Leen Seok\*\*\*\*

## Application of Linear Schedule Chart by Linking Location Information of Construction Project with Horizontal Work Space

### ABSTRACT

Since the building construction works are repeated vertically in a limited space, there is not a great need for the location information of each activity in the schedule management. On the other hand, civil engineering works such as road and railway projects consist of a large number of earthworks, long bridges, and long tunnels. These types of work should be controlled in a horizontal space according to the linear axis of several tens of kilometers. In other words, since most of the activities are managed in the unit of distance from the start point to the end point, it is possible to improve the efficiency of the schedule management by linking the location information of the activity with the schedule data in the schedule management system. This study presents a methodology for creating a linear schedule chart specific to a project with horizontal work space and compares the convenience with the existing Gantt chart. In addition, the methodology of linking linear schedule chart to the 4D CAD system, which is a typical BIM technology in the construction phase, is presented to improve the usability of BIM. The practical applicability of the proposed methodology was verified statistically.

**Key words** : Linear schedule chart, Schedule management, Horizontal work space, 4D CAD

### 초록

건축공사는 제한된 공간에서 수직적으로 반복 작업이 진행되므로 공정관리에서 작업의 위치 정보에 대한 필요성이 크지 않다. 반면에 도로 및 철도시설과 같은 토목공사는 다량의 토공사, 장대교량, 장대터널 등으로 구성되며, 이러한 공종들은 수 십 KM에 이르는 선형축에 따라 수평적 공간에서 작업이 진행된다. 즉, 모든 공정들이 사업의 시점부터 종점까지 거리단위로 작업 현황이 관리되므로, 공정관리 도구에서도 작업 일정과 함께 해당 공정의 위치정보를 연동하여 표현하는 것이 사업관리의 효율성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 이러한 선형축 기반의 시설물 공정관리에 특화된 선형공정표 구성방법론을 구성하여 기존의 대표적 공정표인 간트공정표와 비교하여 활용성을 분석한다. 또한 최근 시공단계의 대표적 BIM기술로 적용되고 있는 4D CAD시스템에 선형공정표의 연동 방법론을 제시하여 토목공사에 BIM활용성을 높이고자 하며, 제시된 방법론에 대해 통계학적 검증으로 실무 활용성을 분석한다.

**검색어** : 선형공정표, 공정관리, 수평작업공간, 4D CAD

\* 경상대학교 공학연구원 (Gyeongsang National University ERI·ioccom007@naver.com)

\*\* (주)지오엔터 부설연구소 소장 (GeoNT·wjdchs2003@gmail.com)

\*\*\* 정회원·경상대학교 토목공학과 박사과정 (Gyeongsang National University·gogf8585@naver.com)

\*\*\*\* 중신회원·교신저자·경상대학교 토목공학과, 공학연구원, 교수 (Corresponding Author·Gyeongsang National University, ERI·lskang@gnu.ac.kr)

Received March 7, 2018/ revised April 23, 2018/ accepted April 25, 2018

# 1. 서론

## 1.1 연구 필요성 및 목적

건축공사는 제한된 공간에서 수직축으로 반복적 공정이 진행되기 때문에 공정표에서 거리단위의 위치과와 필요성이 적다. 반면에, 도로 또는 철도 등의 토목공사는 연장이 수 십 KM에 걸쳐서 공사가 진행되므로 사업구간 내에서 개별 공정에 대한 위치과와의 필요성이 크고, 이러한 이유로 대부분의 공정이 시점부터의 거리를 중심으로 표현되는 스테이션번호(Station number)단위로 관리되고 있다. 이와 같이 수평적 선형 형태의 공간에서 작업이 진행되는 시설물에서는 일정관리도 중요하지만 해당 공정이 전체 사업구간의 어느 지점에서 진행되는지에 대한 위치정보가 일정정보와 연동되어 공정을 관리하는 기능이 필요하다. 본 연구에서는 도로 및 철도시설물과 같은 선형적 시설물의 공정관리에 유용한 선형공정표 작성 기법을 분석하며, 최근 활용도가 높아지고 있는 4D CAD 공정관리시스템에서 선형 공정표가 연동되는 방법론을 제시한다. 이로써 선형시설물에 적합한 공정관리 소프트웨어 개발 시 필요 기능으로 활용성을 갖도록 하며, 시공단계의 대표적 BIM기능인 4D CAD의 토목공사 활용성을 높이고자 한다.

## 1.2 연구 동향 분석

Go(2011)는 국내에서 건설되는 공동주택과 같은 공사기간을 LSM(Linear Scheduling Method)을 이용하여 약식화한 주공정선을 구하고 선형공정의 공기단축 방안을 제시하였고, Lee and Park (2011)은 도로건설공사에서 공정관리의 개선방안을 제시한 바 있다. Kim(2012)은 원전공사에서 LSM 적용이 적합한 공사를 분석한 후, LSM을 혼용한 방법을 비교하여 이에 대한 효율성을 분석하였다. Agrama(2011)는 선형프로젝트의 순서를 각 활동에 대한 스케줄 시간으로 도표화하여 LOB(Line of Balance) 플롯으로 표시하는 방안을 제시하였다. Biruk(2017)는 자원 및 작업 연속성 등의 제약 조건을 고려하여 선형프로젝트의 최적화된 공정을 위한 수학적 모델을 제시하였고, Liu (2016)는 선형 프로젝트의 생산 속도를 결정할 때 기존 한계를 극복하기 위해 선형 프로젝트의 생산 속도를 결정하는 새로운 방법을 제시하였다.

선형시설물공사에 특화된 공정관리 연구사례는 많지 않지만 일부 국내의 연구사례들을 살펴보면 공정관리 문제점분석 연구와 LOB기법에 관한 연구들에 중점을 두고 있다. LOB 공정관리 기법은 반복 작업으로 이루어진 공정들의 생산성을 기울기로 나타내어 반복 작업의 진행상황을 관리할 수 있다. 토목공사와 같은 선형시설물은 비반복적인 작업들이 수평적 공간에서 진행되므로 LOB 기법의 적용에 한계점을 갖고 있고 위치정보의 표현이 용이하지 않다. 본 연구는 공정의 일정정보와 위치정보를 동시에 표현하기 위한

선형공정표 구성방법론과 4D CAD시스템의 연동체계를 제시하여 BIM기반 공정관리시스템의 활용성 증대에 기여하고자 한다.

## 2. 간트공정표와 선형공정표의 비교

### 2.1 간트공정표에 의한 선형프로젝트의 표현

일반적으로 건설공사에 활용되고 있는 공정표는 간트공정표(Gantt chart) 표현 형식을 갖고 있다. 즉, 개별 공정이 막대(Bar)형식으로 시작일 및 종료일에 따라 그려지는 모양이고, 공정의 위치정보 표현은 불가하다. 토목공사는 도로, 철도, 교량 및 터널 등과 같이 긴 연장을 갖는 수평적 작업공간에서 작업이 진행되기 때문에 대부분의 공정들이 거리단위로 관리되면서 일 작업량과 분기별 공정 진행률을 파악하고 있다. 따라서 공정별 시작 및 종료일정과 함께 공정의 시작 및 종료위치 정보가 공정관리에 중요 정보로 활용되고 있으며, 이러한 위치정보에 의해 광범위한 사업구간이 거리단위의 공구별로 구분되어 관리된다. 그러나 실무적으로 활용되고 있는 공정관리 소프트웨어들은 이러한 위치정보가 없이 단순히 공정의 시작 및 종료일 관리정보만을 표현하므로 선형시설물 시스템의 적용성이 떨어지고 있다.

현재 국내외에서 90%이상의 점유율을 갖고 대표적으로 활용되고 있는 Primavera P6 및 MS Project 공정관리 도구에서도 이러한 위치정보가 표현되지 않으므로 선형적 작업공간을 갖는 도로 및 철도 시설물 공사의 활용성에 제약사항이 되고 있다. Primavera P6를 선형시설물공사 공정관리에 적용하여 기존의 공정관리 도구에 의한 선형시설물공사의 적용 한계성을 표현하면 Fig. 1과 같다. 토목시설물공사의 대표 선형공정인 토공, 터널 및 교량 등의 공정을 입력하였을 경우에 해당 공정에 대한 위치정보 및 작업의 중복이나 구간별 진행상황 등의 파악여부를 분석하였다. Primavera P6는 다수의 사용자가 한 프로젝트에 접근하여 수정하는 등의 작업이

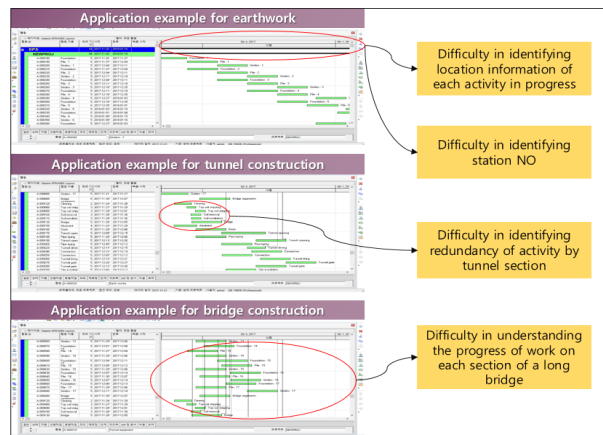


Fig. 1. Schedule Representation of Linear Construction Project by P6

가능하고, 공정의 다양한 선후행 관계를 설정하여 종합현황의 파악이 가능한 장점이 있다. 반면에 해당 공정들에 대한 위치정보를 입력하지 않기 때문에 최종 사용자가 공정표에서 개별 작업의 위치정보 파악이 불가능하고, 이에 따라 거리에 따른 공정들의 작업 중복 여부의 파악도 곤란하다. 즉, 도로나 철도의 노반공사는 모두 거리단위로 공정이 관리되나 이러한 작업 위치를 파악할 수 없고, 장대 터널이나 장대 교량공사에서도 구간별 또는 공구별 진행상황을 파악하기가 곤란하여 선형으로 진행되는 토목공사의 효율적 공정관리를 위한 활용성에 한계점을 갖고 있다.

## 2.2 위치정보를 갖는 선형공정표의 표현

선형시설물 프로젝트에서 이러한 공정관리의 문제점을 해소하기 위해서는 개별 공정에 위치좌표와 일정정보를 연계한 위치기반 선형공정표의 활용이 방법론이 될 수 있다. 위치정보를 표현하는 기능은 수평적 공간으로 진행되는 전체 사업구간에서 진행현황의 파악이 용이할 뿐만 아니라, 직관적으로 공정의 작업 위치와 일정을 연동하여 파악하므로 거리단위로 작업이 진행되는 프로젝트의 공정관리 효율성을 개선할 수 있다. 장대 터널 프로젝트에 적용 시에는 굴착 방향의 진행도도가 터널 공정별 작업물량과 비례하므로 터널 세부 공정별로 진도현황 파악이 용이해 진다. Fig. 2에서는 P6와 선형공정표 표현 방식을 교량공사에 적용하여 비교하고 있다. 간트 공정표는 일정에 따른 공정을 막대형식으로만 파악이 가능하고, 위치기반 선형공정표에서는 교각을 형상화한 공정도형이 생성된 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 교각별로 해당 공정의 위치를 명확하게 나타내기 때문에 어떠한 지점 및 위치에서 어느 교각 공사가 진행되는지를 분명하게 표현할 수 있다.

공정별 작업위치 파악의 장점 외에도 교량 상판 슬래브의 경우 교각 사이에서 공정이 진행되나 간트공정표에서는 교각과 동일하게 바(Bar) 형식으로만 표시되기 때문에 교각과 상판 슬래브의 공정을 구분하여 공정표에 표현할 수 없다. 즉, 공정 명을 부가적으로 반드시 확인해야 공정의 구분이 가능하나, 선형공정표에서는 Fig. 2의 우측과 같이 교각 및 슬래브 공정을 개별적 도형형상(Symbol)으로 표현하므로 공정 구분을 시각적으로 하면서 일정 및 위치정보를 함께 파악할 수 있는 장점이 있다.

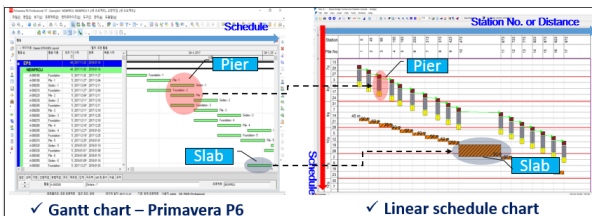


Fig. 2. Comparison of Schedule Charts for Bridge Construction

또한 최근에 BIM기술의 적용이 건설공사에 급속히 확대되면서 토목공사의 공정관리 도구도 점차 4D CAD로 대체될 것임을 고려하면, 현재 4D CAD에 표현되는 간트공정표 부분이 위치정보를 갖는 선형공정표로 변환될 필요가 있고, 이러한 선형공정표와 3D객체가 연동되어 위치정보와 일정정보가 동시에 시뮬레이션되는 토목공사에 특화된 선형 4D CAD 기능도 요구되고 있다.

## 3. 선형공정표의 정보체계 구성

### 3.1 선형공정표의 입력정보 구성

선형시설물의 공정관리에 특화된 선형공정표를 구성하기 위해서는 아래 Fig. 3과 같은 입력정보 구성체계가 필요하다. 즉, 기존의 간트공정표기반의 입력정보 외에 위치정보를 표현하기 위한 정보들이 필요하며, Fig. 3에서 녹색으로 표시된 정보들이 위치기반 공정표의 입력정보이다.

주요 입력정보는 공정별 시작일자 및 종료일자 이외에 공정별 위치정보를 표현해야 하므로 공정별로 거리에 따른 위치좌표를 시작지점과 종료지점에 대해 입력해야 하고, 해당 공정의 그래픽 표현을 위한 도형정보 종류를 입력해야 한다. 이러한 입력정보들은 최초 사용시에 사용자가 입력해야 하는 정보이며, 선형공정표가 BIM기반의 4D CAD시스템으로 연동된다면 공정별 3D객체의 속성 정보로 사전에 구성해 놓는다면 사용자의 추가적인 작업을 최소화할 수 있다.

### 3.2 선형공정표의 좌표정보 구성

기존의 간트공정표 기반의 좌표축은 X축은 일정, Y축은 공정 명으로 구성되어있으나, 위치기반 선형공정표는 X축이 위치정보로 구성되고, Y축은 일정정보로 구성되어 나타난다. 이와 같은 공정별 입력정보는 Fig. 4와 같이 좌표축으로 구성된 공정표에

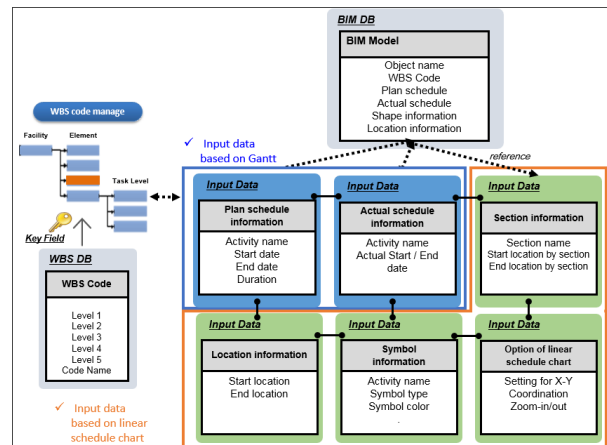


Fig. 3. Input Data Format for Linear Schedule Chart

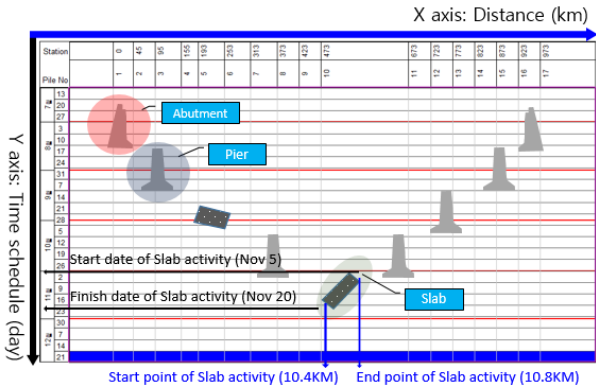


Fig. 4. Coordinate Axis Configuration of Linear Schedule Chart

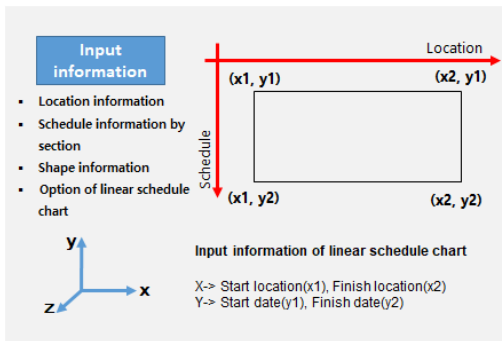


Fig. 5. Symbol Representation of Each Activity

입력될 수 있다.

Fig. 4는 교량의 교대, 교각, 상판 슬래브 공정들을 선형공정표 형식으로 표현한 것이며, Y축이 공사일정, X축이 공정의 거리좌표로 표현되어 있다. 즉, 그림에서 하단부에 예로 표현해 놓은 슬래브 공정의 경우 시작일과 종료일은 Y축의 일정에 의하면 11월 5일부터 시작하여 11월 20일에 종료되는 것으로 파악할 수 있고, 슬래브 공정의 시작 및 종료위치는 공사 시점부터 각각 10.4KM 및 10.8KM 지점인 것을 파악할 수 있다. 이와 같이 선형공정표에서는 공정의 일정정보와 함께 작업의 위치정보를 동시에 파악할 수 있으므로, 선형적 작업 공간을 갖는 시설물의 공정관리에 효과적이다.

### 3.3 선형공정표의 공정별 도형정보 구성

Fig. 4와 같이 선형공정표에서 개별 공정은 고유의 도형(Symbol)으로 표현하여 공정의 시각적 이해도를 높일 수 있다. Fig. 4에서는 교량공사의 교대, 교각, 슬래브에 대해 가능하면 실제모습을 의미하는 개별적 도형모양을 갖고 표현되어 있다. 연구에서는 각 공정별로 도형의 표현방식을 Fig. 5와 같이 고정의 시작 및 종료일 좌표(Y1, Y2), 시작 및 종료위치 좌표(X1, X2)의 4개 정보 내에 표현되도록 구성하였다.

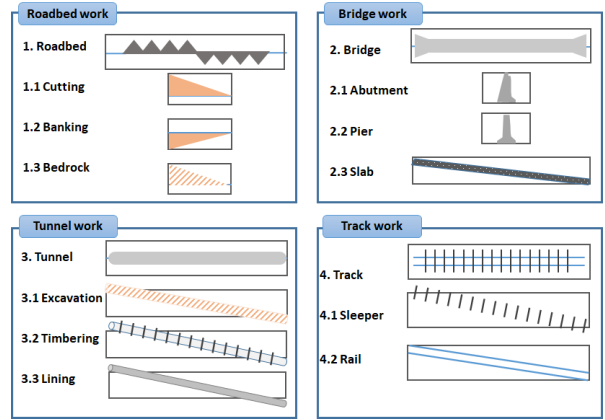


Fig. 6. Symbol Representation by Activity Type

프로젝트를 구성하는 모든 공정들을 위치기반 선형공정표로 표현할 경우에 선, 도형의 형상과 색상으로 공정의 표현이 복잡해질 수 있으므로 본 연구에서는 철도시설물 공사에서 공정의 작업형태가 선형적으로 진행되는 공정들을 대상으로 하여 공정별 도형의 형상을 Fig. 6같이 구성하였다.

즉, 철도시설물 공사에서 대부분의 작업이 선형축에 따라 진행되는 공정으로 노반, 교량, 터널 및 궤도공사로 우선 구분하였고, 노반공사는 절토와 성토 그리고 임반으로, 교량공사는 교대와 교각 그리고 상판으로, 터널공사는 굴착과 지보공 및 라이닝으로, 궤도공사는 침목과 트랙으로 구분하였다.

## 4. 선형공정표의 공정 표현방식

### 4.1 선형공정표 공정 표현 절차

Fig. 6의 공정별 도형형식이 정해지면 Fig. 5의 표현방식으로 공정별 도형이 표기되고, 이러한 과정이 선형공정표에 적용되는 절차는 Fig. 7과 같다. 우선적으로 공정별 일정정보(시작 및 종료 일정)는 Fig. 7과 같이 간트공정표의 공정정보와 동일하기 때문에 간트공정표가 구축되어 있다면, WBS의 연계를 통해 쉽게 참조할 수 있다. 위치정보와 공정별 도형정보는 간트공정표에서 필수적인 구성정보가 아니므로 사용자가 추가로 입력하고, 이러한 정보는 프로젝트 초기에 한번만 입력하면 반복하여 사용이 가능하다.

위치정보는 사용자가 설계도면 및 사공도면을 활용하거나 참여자간의 협의를 통해 임의적인 위치정보 계획을 수립하여 사용할 수 있다. 특히 위치정보가 3차원 공간의 X, Y, Z와 같이 3가지 좌표값에서 수평방향을 의미하는 하나의 좌표값 만을 사용할 수 있기 때문에, 선형공정표의 활용 목적과 범위에 따라 위치정보를 정의하는 것이 필요하다. 연구에서는 기본적으로 X좌표축을 수평방향으로 정의하고 있다. 공정별 도형의 생성범위는 두 점의 가로축

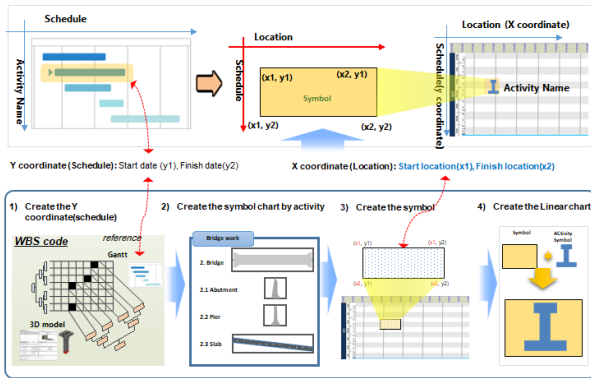


Fig. 7. Procedures for the Representation of Activity in a Linear Schedule Chart

(위치정보) 위치와 두 점의 세로축(일정정보)으로부터 생성되며, 추가적으로 가로축에 관한 위치값의 단위와 간격 그리고 세로축에 관한 일정 단위와 간격을 사용자가 설정할 필요가 있다.

#### 4.2 토공사의 선형공정표 표현

도로 및 철도와 같은 선형 축 기반의 시설공사는 다량의 토공작업을 포함하므로 토공 공정에 대한 선형좌표 표현방법이 요구된다. 토공 작업은 작업공간이 넓으므로 선형 축을 따라 작업이 진행될 수도 있고 일부는 선형 축과 직각방향으로 작업이 진행될 수도 있으므로 X, Y축 방향으로 동시에 작업 형태의 표현이 필요하다. 이를 위해 연구에서는 Fig. 8과 같이 토공 작업의 선형공정표 생성 방안을 구성한다.

우선 평면도를 기반으로 기준이 되는 위치좌표를 구성하고, 기준이 되는 위치 좌표는 현장의 실제 좌표를 반영하여 절대좌표 또는 상대좌표로 구성한다. 첫째로 각 측정별 토공작업의 공사기간이 제공될 경우에 선형공정표 생성법은 다음과 같다.

- 1단계 : 기준좌표를 중심으로 토공중심선의 측정점들의 상대적인 좌표를 계산
- 2단계 : 선형공정표에서 위치정보축(X축)의 길이를 기준좌표 X값으로부터 최장거리에 있는 X좌표값으로 결정
- 3단계 : 위치기반 선형공정표에서 각 측정별 공사기간(시작 및 종료일)을 세로축의 좌표값으로 하고, 가로축 좌표값은 각 측정별 X축(시작위치, 종료위치)값으로 공정을 생성

둘째로 전체 토공작업의 공사기간만 제공될 경우에 선형공정표 생성법은 다음과 같다.

- 1단계 : 평면도에서 토공중심선의 총 길이를 계산
- 2단계 : 토공중심선에서 측정점을 생성하기 위해서 사용자가 측정

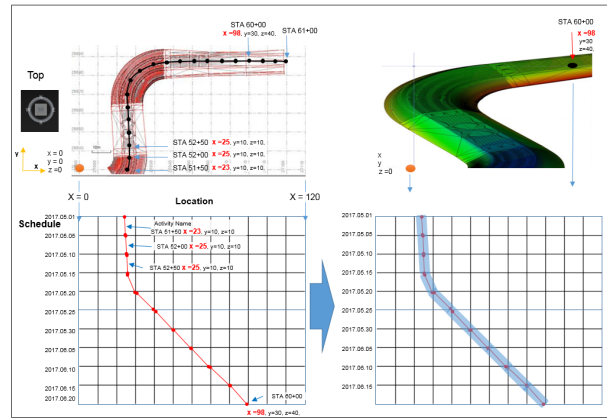


Fig. 8. Expression of Earthwork in a Linear Schedule Chart

- 간격이나 분할 갯수를 입력하여 개별적인 측점을 생성
- 3단계 : 기준좌표를 중심으로 토공중심선의 측정점들의 상대적인 좌표를 계산
- 4단계 : 선형공정표에서 위치정보축(X축)의 길이를 기준좌표 X값으로부터 최장거리에 있는 X좌표값으로 선정
- 5단계 : 선형공정표에서 각 측정별 공사기간(시작 및 종료일)을 세로축의 좌표값으로 하고, 가로축 좌표값은 각 측정별 X축(시작위치, 종료위치)값으로 공정을 생성

이와 같이 토공작업의 선형공정표 생성은 세부 측정별 토공작업을 개별 공정으로 간주하는 경우와 토공작업 전체를 한 개의 공정으로 보는 경우에 따라 구분되어 생성될 수 있으나, 대부분의 실제 프로젝트에서는 다수의 측정단위가 묶여서 깎기 및 쌓기 구간으로 공정이 구분되므로 두 가지 방식의 혼합 적용이 필요하다.

#### 4.3 선형공정표의 공정 진도 표현

선형시설물공사의 위치기반 선형공정표에 의한 진도관리 방안은 공사 진행과정에 계획일정과 실제일정의 비교를 통해 공사 진도의 계획대비 지연 또는 초과여부를 시각적으로 파악할 수 있다. Fig. 9는 선형공정표 내의 진도관리 방안을 나타낸 것이다.

먼저, Fig 9의 좌측과 같이 원계획 공사 일정으로부터 선형공정표 내에 기존에 설정한 객체의 도형 형식에 따라 공정별 객체를 생성한다. 다음에 현장의 실제 공사일정의 진행일정을 입력하여 실행계획 공정표를 작성하여 원계획 공정에 따른 공정정보 도형과 실행계획 공정에 따른 공정정보 도형을 생성한다. 실행계획 공정정보는 계획대비 지연공정과 초과공정으로 구분할 수 있다. 계획대비 지연공정은 적색의 패턴을 가진 도형, 계획대비 초과공정은 청색의 패턴을 가진 도형으로 분류하여 Fig. 9와 같이 색상으로 표현함으로써 공정별 진도 상태를 직관적으로 파악할 수 있다.

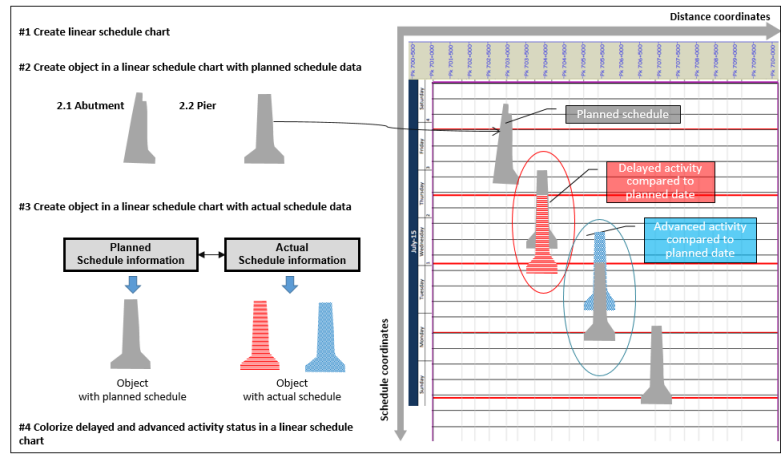


Fig. 9. Progress Management of Linear Schedule Chart

#### 4.4 선형공정표와 4D CAD 시스템 연동방안

건설공사에 BIM기술의 활용이 증대되면서 2018년 1월에 발표된 국토교통부의 제6차 건설기술진흥기본계획에 의하면 2020년부터 500억원 이상의 도로시설공사에 BIM적용을 의무화할 예정이다. 설계단계의 BIM은 3D도면에 의한 간섭관리 기능이 대표적이고, 시공단계의 BIM은 4D CAD에 의한 공정 시뮬레이션이 대표적 기능이다. 다양한 상용 4D CAD시스템들이 건축공사를 중심으로 활용되고 있으나, 토목공사에 활용성을 갖는 시스템은 많지 않다. 건축공사는 제한된 공간에서 수직적이고 반복적 공정으로 진행되므로 4D CAD 시스템의 활용에 어려움이 없다. 반면에 토목공사는 선형적 작업공간에서 비반복적이고 수평적으로 공정이 진행되고, 거리에 따른 자연지형의 변화 모양을 표현해야 하므로, 기존의 일반적인 4D CAD시스템에서 위치정보를 갖는 선형공정표가 연계된 4D CAD 시뮬레이션 기능이 추가적으로 요구된다. 선형공정의 표현이 일부 가능한 기존 소프트웨어도 4D객체와 연동되지 않는 2차원 공정표여서 활용성이 저하되는 점과 토목공사 시공단계의 BIM활용성이 확대될 것임을 고려하면, 선형공정표의 위치정보와 4D객체가 연계되는 공정관리시스템의 구축은 더욱 필요성을 갖고 있다.

이러한 선형공정표와 4D CAD시스템의 연계방법은 4D CAD 화면의 하단부에 표현되는 간트공정표 부분을 선형공정표로 변환하여 선형공정표의 공정 위치정보와 4D시뮬레이션 객체의 위치정보를 연동함으로써 표현할 수 있다. Fig. 10은 이러한 선형공정표가 4D CAD시스템과 연동되는 모습을 표현한 것이다. 하단부의 선형공정표부분은 사용자 선택에 따라 간트공정표와 선택적으로 표현이 가능하도록 할 수 있다. 선형공정표와 연계된 4D CAD는 Fig. 10과 같이 3D 모델의 위치정보와 공정의 위치정보가 연동되어야 시뮬레이션 객체와 공정이 동시에 표현되어야 사용자의 공정 이해도를 높일 수 있다. 기존의 4D 시뮬레이션은 일정 정보만을 통하여 공정이 진행되는 모습을 시각화하여 확인할 수 있지만 선형공정표

가 연계된 4D 시뮬레이션은 일정에 따른 공정의 수순뿐만 아니라 좌표축 변경을 통해 공정의 시작위치부터 종료위치까지 사업구간 내 위치에 따른 시뮬레이션도 가능하게 된다.

Fig. 10과 같은 선형공정표기반의 4D CAD시스템은 공사일정이 하단부 공정표에서 Y축에 표기되므로 일자가 변화되면서 공정이 아래 방향으로 순차적으로 나타나고 상단부에는 해당 공정의 완성도가 시뮬레이션된다. 또한 상단에서 시뮬레이션되는 공정의 작업 시작 및 종료위치가 하단부 공정표의 X축 좌표에 따라 연동되어 시뮬레이션된다. 즉, 공정별 시작 및 종료 일정정보와 시작 및 종료 위치정보가 3D 시뮬레이션객체와 함께 동시에 표현된다. 기존의 4D CAD시스템이 공사일정에 따라 단순한 3D완성도만 표현함에 따라 선형축 기반의 토목시설공사에 적용성이 어려웠으

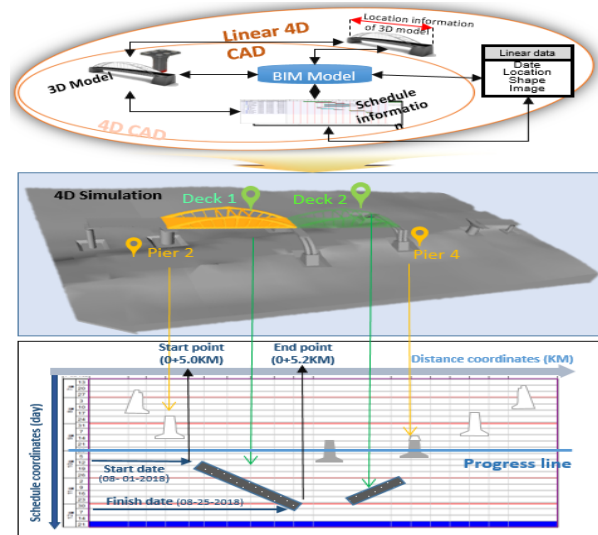


Fig. 10. Interoperability with Linear Schedule Chart and 4D Simulation Object

나, 제시된 방법론에 따른 선형공정표기반 4D CAD시스템이 구축 되면 수평 작업공간의 위치정보 표현이 가능하여 선형시설물 공사의 적용성이 개선될 수 있다.

## 5. 선형공정표 구성 및 활용성 검증

### 5.1 활용성 검증 절차

연구에서 제시한 선형시설물공사 공정표 구성방법론 및 운영방안에 대한 실무적 활용 가능성을 검증하기 위하여 공정관리 전문가를 대상으로 설문분석을 시행하였다. 설문지의 평가 항목은 선형공정표 운영의 필요성, 실무적용성과 제시한 구성방법론의 적절성으로 분류하였다. 이를 위해 현재 토목분야 관련 직군에 종사하는 설계, 시공, 연구기관 및 대학, 발주기관 등의 총 60여명을 평가자로 선정하였다. 보다 많은 평가자의 분석이 필요한 부분도 있으나 실무적으로 공정관리 전문가의 부족 문제 등을 고려하여 가능한 많은 분석을 시도하였다. 평가 대상자들에게는 설문 분석 후에 설문지를 회수하여, 이를 통계 프로그램인 IBM SPSS Statistics 21을 통해 검증할 수 있도록 설문 데이터 변환 및 코딩 작업을 수행하였다. 이를 통해 평가항목에 대한 신뢰도 분석을 수행하여 크론바흐 알파계수(Cronbach's  $\alpha$ )와 같은 신뢰도계수를 도출하여 각 항목에 대한 전체 항목의 신뢰도를 계산하였다. 평가 항목의 빈도분석을 수행한 후에는 입력된 응답들이 어떠한 빈도적 특성을 가지고 있는지 파악하였으며, 최종적으로 교차분석을 수행하여 카이제곱 검정결과에 따라 응답에 대한 귀무가설과 대립가설을 검증하였다.

### 5.2 신뢰도 분석

설문지 문항 중에 적절치 않은 문항이 있거나 응답과정에서 문제가 생기면 분석 결과의 신뢰도 저하의 요인이 되기 때문에 신뢰도 검증이 필요하다. 선형공정표의 활용성 분석을 위한 각 평가항목에 대한 신뢰도 분석 결과는 Table 1과 같다.

해당 신뢰도의 판정기준은 0부터 1사이의 크론바흐 알파계수 값에 따라 결정되며 1에 가까울수록 신뢰도가 높음을 나타낸다. 신뢰도 값에 대한 명확한 기준은 없지만 대체로 0.8 이상이면 상당히 신뢰할만한 수준이라고 보며, 신뢰도가 0.6 이상인 경우 적당히 신뢰할만한 수준이라고 할 수 있다. Table 1과 같이 필요성

및 실무적용성의 신뢰도를 검증한 결과를 살펴보면, 7개의 문항수에 대한 크론바흐 알파계수  $\alpha = 0.852$ 로 나타났다. 그리고 제시한 방법론의 적절성의 신뢰도를 검증한 결과는 8개의 문항수에 대한 크론바흐 알파계수  $\alpha = 0.856$ 으로 나타났다. 이와 같이 해당 변수들의 신뢰도 측정값이 상당히 신뢰할만한 수준인 0.8 이상으로 측정되었으므로 '선형공정표의 구성방법론 및 활용성'에 대한 응답자들의 답변에 대한 신뢰성과 평가문항들의 타당성이 있는 것으로 판단된다.

### 5.3 빈도 분석

빈도분석은 평가항목에 대한 응답자들의 답변을 통해 연구자의 의도를 전달하기에 가장 용이한 분석이기 때문에 많은 연구에서 활용되고 있다. 선형시설물공사의 공정표 구성방법론 및 활용성에 대한 빈도 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2와 같이 위치기반 선형공정표의 필요성 및 활용성, 선형공정표와 4D CAD시스템의 연계 필요성 및 실무적용성의 빈도분석을 수행한 결과를 살펴보면, 대체적으로 긍정적인 응답인 '적절하다'와 '필요하다' 이상의 항목들의 비율이 과반수이상으로 측정된 것을 확인할 수 있다. 각 구분별로 최댓값과 최솟값을 비교하면, '매우 필요하다' 또는 '매우 적절하다'에 대한 비율이 가장 높은 평가항목은 선형공정표의 필요성, 선형공정표의 실무적용성, 선형공정표와 4D CAD시스템 연계 필요성에서 28.3%로 가장 높게 나타났다. 다음으로 '필요하다' 또는 '적절하다'에 대한 비율이 가장 높은 평가항목은 선형공정표 수평연동 및 운영방안의 실무적용성에서 63.3%로 가장 높게 나타났다. 이러한 분석 결과는 설문 대상이 다소 제한적이기는하나 선형공정표가 구성된다면 도로, 철도 등의 선형시설물의 공정관리에 활용성을 가질 것으로 판단된다.

### 5.4 교차 분석

교차분석은 두 개 이상의 변수들 간 상호 관련성을 분석하기 위한 분석이다. 이를 위해 본 연구에서는 응답자들의 근무기관을 조사하였다. 이를 통해 특정 기관에 근무하는 응답자들이 어떠한 평가항목에 긍정적인 응답을 하였는지 분석이 가능하다.

Table 3과 같이 위치기반 선형공정표의 필요성 및 실무적용성, 선형공정표와 4D CAD시스템의 연계 필요성 등의 교차분석을 수행한 결과를 살펴보면, 공공기관에 근무하는 응답자들은 선형공정표의 필요성 및 실무적용성에 대체적으로 긍정적인 응답을 하였다. 이는 발주처의 입장에서 선형시설물공사를 위치정보와 공정정보를 연계하여 관리할 수 있다면, 수십 KM의 광범위한 사업구간을 갖는 선형 프로젝트의 공정관리 편리성이 확보될 수 있다는 측면으로 해석할 수 있다. 이에 반해 설계 및 시공분야에 근무하는 응답자들

Table 1. The Results of Reliability Verification

| Variable                                | Number of question | Cronbach's $\alpha$ |
|---|--------------------|---------------------|
| Necessity and practical usability       | 7                  | 0.852               |
| Appropriateness of proposed methodology | 8                  | 0.856               |

은 선형공정표의 필요성 및 실무적용성에 부정적인 응답을 한 경우들도 있다. 이는 기존의 공정관리에 위치정보 및 공정별 형상정보 등의 추가적으로 입력할 정보가 필요하기 때문에 부담이 된다는 뜻으로 해석할 수 있다. 이러한 추가적인 정보입력 사항은 시스템 구성시에 데이터베이스화 하여 초기입력 사항을 최소화할 수 있다.

본 설문 분석은 실제 시스템 개발을 가정하여 연구에서 제시한 방법론의 타당성을 분석한 것이므로, 실제 시스템의 활용성과 일정 부분 차이가 있을 수 있으나 제시된 방법론의 적정성은 검증이 가능한 것으로 사료된다.

Table 2. The Frequency Analysis Result of Necessity and Practical Usability for Linear Schedule Chart

| Variable  | Division  | Frequency | Percent (%) | Valid percent | Cumulative percent |
|---|-----------|-----------|-------------|---------------|--------------------|
| Necessity of linear schedule chart  | Very poor | 1         | 1.7         | 1.7           | 1.7                |
|   | Poor      | 2         | 3.3         | 3.3           | 5.0                |
|   | Average   | 7         | 11.7        | 11.7          | 16.7               |
|   | Good      | 33        | 55.0        | 55.0          | 71.7               |
|   | Very good | 17        | 28.3        | 28.3          | 100.0              |
| Necessity of selection of linear activity expression target                         | Very poor | 0         | 0           | 0             | 0                  |
|   | Poor      | 1         | 1.7         | 1.7           | 1.7                |
|   | Average   | 14        | 23.3        | 23.3          | 25.0               |
|   | Good      | 33        | 55.0        | 55.0          | 80.0               |
|   | Very good | 12        | 20.0        | 20.0          | 100.0              |
| Possibility of practical usability of linear schedule chart                         | Very poor | 1         | 1.7         | 1.7           | 1.7                |
|   | Poor      | 1         | 1.7         | 1.7           | 3.3                |
|   | Average   | 10        | 16.7        | 16.7          | 20                 |
|   | Good      | 36        | 60          | 60            | 80                 |
|   | Very good | 12        | 20          | 20            | 100                |
| Practical availability of linear schedule chart                                     | Very poor | 1         | 1.7         | 1.7           | 1.7                |
|   | Poor      | 3         | 5.0         | 5.0           | 6.7                |
|   | Average   | 8         | 13.3        | 13.3          | 20.0               |
|   | Good      | 31        | 51.7        | 51.7          | 71.7               |
|   | Very good | 17        | 28.3        | 28.3          | 100.0              |
| Practical usability of horizontal linkage and operation plan                        | Very poor | 0         | 0           | 0             | 0                  |
|   | Poor      | 2         | 3.3         | 3.3           | 3.3                |
|   | Average   | 11        | 18.3        | 18.3          | 21.7               |
|   | Good      | 38        | 63.3        | 63.3          | 85.0               |
|   | Very good | 9         | 15.0        | 15.0          | 100.0              |
| Necessity of linkage between linear schedule chart and linear 4D CAD                | Very poor | 0         | 0           | 0             | 0                  |
|   | Poor      | 5         | 8.3         | 8.3           | 8.3                |
|   | Average   | 12        | 20.0        | 20.0          | 28.3               |
|   | Good      | 26        | 43.3        | 43.3          | 71.7               |
|   | Very good | 17        | 28.3        | 28.3          | 100.0              |
| Practical usability for the linkage between linear schedule chart and linear 4D CAD | Very poor | 2         | 3.3         | 3.3           | 3.3                |
|   | Poor      | 3         | 5.0         | 5.0           | 8.3                |
|   | Average   | 12        | 20.0        | 20.0          | 28.3               |
|   | Good      | 29        | 48.3        | 48.3          | 76.7               |
|   | Very good | 14        | 23.3        | 23.3          | 100.0              |
| Sum of each item  |           | 60        | 100.0       | 100.0         |                    |



Table 3. The Cross Analysis Results of Necessity and Practical Usability for Linear Schedule Chart

| Variable  | Division  | Frequency (ratio, %) |                     |                 |                    |                       | Total ratio (%) | Chi-squared statistic (P-value) |
|---|-----------|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|
|   |           | Public enterprise    | Government employee | Designing field | Construction field | Research organization |                 |                                 |
| Necessity of linear schedule chart  | Very poor | 0                    | 0                   | 0               | 1(10.0)            | 0                     | 1.67            | 22.866 (0.117)                  |
|   | Poor      | 0                    | 0                   | 1(11.1)         | 1(10.0)            | 0                     | 3.33            |                                 |
|   | Average   | 4(30.8)              | 3(25.0)             | 0               | 0                  | 0                     | 11.67           |                                 |
|   | Good      | 7(53.8)              | 5(41.7)             | 4(44.4)         | 5(50.0)            | 12(75.0)              | 55.00           |                                 |
|   | Very good | 2(15.4)              | 4(33.3)             | 4(44.4)         | 3(30.0)            | 4(25.0)               | 28.33           |                                 |
| Necessity of selection of linear activity expression target                         | Very poor | 1(7.7)               | 0                   | 0               | 1(10)              | 0                     | 3.33            | 11.294 (0.504)                  |
|   | Poor      | 1(7.7)               | 0                   | 1(11.1)         | 1(10)              | 0                     | 5.00            |                                 |
|   | Average   | 3(23.1)              | 4(33.3)             | 1(11.1)         | 3(30)              | 1(6.3)                | 20.00           |                                 |
|   | Good      | 5(38.5)              | 6(50.0)             | 5(55.6)         | 2(20)              | 11(68.8)              | 48.33           |                                 |
|   | Very good | 3(23.1)              | 2(16.7)             | 2(22.2)         | 3(30)              | 4(25.0)               | 23.33           |                                 |
| Possibility of practical usability of linear schedule chart                         | Very poor | 0                    | 0                   | 0               | 1(10)              | 0                     | 1.67            | 16.475 (0.420)                  |
|   | Poor      | 0                    | 0                   | 0               | 1(10)              | 0                     | 1.67            |                                 |
|   | Average   | 4(30.8)              | 3(25)               | 1(11.1)         | 1(10)              | 1(6.3)                | 16.67           |                                 |
|   | Good      | 8(61.5)              | 6(50)               | 5(55.6)         | 5(50)              | 12(75.0)              | 60.00           |                                 |
|   | Very good | 1(7.7)               | 3(25)               | 3(33.3)         | 2(20)              | 3(18.8)               | 20.00           |                                 |
| Practical availability of linear schedule chart                                     | Very poor | 0                    | 0                   | 0               | 1(10)              | 0                     | 1.67            | 30.085 (0.018)                  |
|   | Poor      | 0                    | 1(8.3)              | 1(11.1)         | 1(10)              | 0                     | 5.00            |                                 |
|   | Average   | 6(46.2)              | 0                   | 0               | 1(10)              | 1(6.3)                | 13.33           |                                 |
|   | Good      | 6(46.2)              | 6(50.0)             | 3(33.3)         | 4(40)              | 12(75.0)              | 51.67           |                                 |
|   | Very good | 1(7.7)               | 5(41.7)             | 5(55.6)         | 3(30)              | 3(18.7)               | 28.33           |                                 |
| Practical usability of horizontal linkage and operation plan                        | Very poor | 0                    | 0                   | 0               | 0                  | 0                     | 0.00            | 11.731 (0.467)                  |
|   | Poor      | 0                    | 0                   | 1(11.1)         | 1(10)              | 0                     | 3.33            |                                 |
|   | Average   | 2(15.4)              | 3(25.0)             | 1(11.1)         | 3(30)              | 2(12.5)               | 18.33           |                                 |
|   | Good      | 11(84.6)             | 8(66.7)             | 5(55.6)         | 4(40)              | 10(62.5)              | 63.33           |                                 |
|   | Very good | 0                    | 1(8.3)              | 2(22.2)         | 2(20)              | 4(25.0)               | 15.00           |                                 |
| Necessity of linkage between linear schedule chart and linear 4D CAD                | Very poor | 0                    | 0                   | 0               | 0                  | 0                     | 0.00            | 6.590 (0.883)                   |
|   | Poor      | 0                    | 2(16.7)             | 1(11.1)         | 1(10)              | 1(6.3)                | 8.33            |                                 |
|   | Average   | 3(23.1)              | 3(25.0)             | 3(33.3)         | 2(20)              | 1(6.3)                | 20.00           |                                 |
|   | Good      | 7(53.8)              | 4(33.3)             | 3(33.3)         | 4(40)              | 8(50.0)               | 43.33           |                                 |
|   | Very good | 3(23.1)              | 3(25.0)             | 2(22.2)         | 3(30)              | 6(37.5)               | 28.33           |                                 |
| Practical usability for the linkage between linear schedule chart and linear 4D CAD | Very poor | 1(7.7)               | 0                   | 0               | 1(10)              | 0                     | 3.33            | 13.415 (0.642)                  |
|   | Poor      | 1(7.7)               | 0                   | 1(11.1)         | 1(10)              | 0                     | 5.00            |                                 |
|   | Average   | 3(23.1)              | 4(33.3)             | 1(11.1)         | 3(30)              | 1(6.3)                | 20.00           |                                 |
|   | Good      | 5(38.5)              | 6(50.0)             | 5(55.6)         | 2(20)              | 11(68.8)              | 48.33           |                                 |
|   | Very good | 3(23.1)              | 2(16.7)             | 2(22.2)         | 3(30)              | 4(25.0)               | 23.33           |                                 |

## 6. 결론

본 연구에서는 수평적 작업공간에서 선형 축을 따라 광범위한 사업구간으로 구성되는 도로 및 철도시설물의 공정관리 운영체

계를 개선하기 위해 공정의 일정과 위치정보를 연계하여 표현할 수 있는 위치기반 선형공정표 구성방법론과 4D CAD시스템 연계 방안을 제시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 선형축으로 진행되는 토공, 터널공, 교량공의 공정관리 현황을 대표적 공정관리구인 P6에 적용하여 분석하였으며, 도로 및 철도시설물의 공정이 선형 축에 따라 거리단위로 관리되는 특성에 의해 발생하는 부적합한 사항들을 분석하였다. 기존 공정관리도구는 공정의 위치정보 표현이 불가하여 거리단위의 공정 현황 파악이 불가하므로, 연구에서는 선형시설물의 공정 관리에 위치좌표와 일정정보를 연계한 위치기반 선형공정표의 필요성을 제시하였다.
- (2) 위치기반 선형공정표를 구성하기 위한 방법론으로 선형공정표의 좌표체계를 Y축의 일정정보와 X축에 시작 및 종료 위치정보로 표현하고 공정별 도형표기방식으로 거리단위로 작업현황의 시인성 확보가 가능하였으며, 공정별 도형정보는 선형축 방향으로 작업이 진행되는 토공, 터널, 교량, 궤도공으로 구성하였다.
- (3) 토목공사에 BIM활용성이 확대될 것을 고려하여 선형공정표와 4D CAD시스템의 연동 체계 구성을 위해 4D CAD에서 간트공정표를 선형공정표로 변환하여 일정에 따라 시뮬레이션되는 4D객체와 선형공정표 거리좌표의 동시 표현 기능을 구성하였다. 이러한 일정 및 위치정보의 연동 기능은 토목시설물의 4D CAD 실무 적용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.
- (4) 연구에서 제시한 선형공정표 방법론 및 활용성 검증을 위해 건설 참여기관별 실무자들의 설문 분석으로 통계학적 신뢰도, 빈도, 교차분석을 시행하였다. 결과적으로 선형시설물을 대상으로 한 선형공정표의 높은 필요성을 파악하였고, 연구에서 제시한 선형공정표의 구성 방법론과 실무적 활용성에 대해서도 기대할 수 있는 수준의 분석결과를 파악하였다.

본 연구는 선형공정표의 활용 필요성과 주요 구성방법론 중심으로 제시하였으나 실제 활용을 위해서는 관련 기능을 갖춘 4D

CAD에 연동된 공정관리시스템 구축 연구가 필요하며, 시스템 개발 시에는 보다 실무적 관점의 활용성 검증이 추가적으로 필요하다. 또한 실제 선형 프로젝트에 적용 시에는 상세 공정까지 선형 형태로 표현하면 공정표가 복잡해지므로 적정 수준의 공정 상세도를 정하여 표현함이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 2018년 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원사업 (18RTRP-B122227-04-000000)으로 이루어졌습니다.

## References

- Agrama, F. A. E.-M. (2011). "Linear projects scheduling using spreadsheets features." *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 50, No. 2. pp. 179-185.
- Biruk, S. and Jaskowski, P. (2017). "Scheduling linear construction projects with constraints on resource availability." *Archives of Civil Engineering*, Vol. 63, No. 1, pp. 3-15.
- Go, H. J. (2011). "A study on improvement method of construction schedule management techniques by linear scheduling model." Master Thesis, Hongik University (in Korean).
- Kim, W. J. (2012). "Effectiveness of linear scheduling methods in nuclear power plant construction." Master Thesis, Myongji University (in Korean).
- Lee, G. S. and Park, H. S. (2011). "Implementation of time management; based on road construction projects." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 31, No. 3. pp. 451-456 (in Korean).
- Liu, L., Liu, Y. and Tang, Y. (2016). "Production rate determination for linear construction projects based on linear scheduling method." *International Journal of Smart Home*, Vol. 10, No. 4, pp. 143-152.
- Tilos, Available at: <https://www.tilos.org> (accessed Dec. 2016).