

선형시설물 공정관리 활용을 위한 선형공정표 활용 시스템 구축 방안

이재희¹ · 강효정² · 강인석^{3*}

¹경상국립대학교 토목공학과 박사과정 · ²경상국립대학교 토목공학과 석사과정 · ³경상국립대학교 토목공학과 교수

Application of Linear Schedule Chart for Schedule Management of Linear Construction Project

Lee, Jaehee¹, Kang, Hyojeong², Kang, Leenseok^{3*}

¹PhD Course Student, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

²Master Course Student, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

³Professor, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

Abstract : Unlike building construction projects, where the activity is repeatedly carried out in a limited area, civil engineering projects such as roads and railroads are carried out in a linear type in a horizontal working space over several tens of kilometers. Each activity is managed with a station number that has a unit of distance from the starting point to the end point. For this reason, since the work location information of the activity is a major management factor, the Gantt chart system that expresses only schedule information may have limitations. In this study, authors propose a method for constructing a linear schedule chart that can simultaneously express schedule information indicating the start and finish dates and location information indicating the start and end positions of each activity, and develop a system for generating a linear schedule chart. In the study, the coordinate axes of the linear schedule chart consisted of distance and date values on the X and Y axes, respectively, and each activity was expressed as a symbol that can infer the type of work to increase the visibility of the linear schedule chart compared to the simple bar chart method. The linear schedule chart generation system was reviewed for practical applicability by utilizing the actual schedule data of bridge structures in a railroad project.

Keywords : Gantt Chart, Linear Schedule Chart, Schedule Management, Symbol, Location Information

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공정관리기법에서 간트(Gantt)공정표는 계획대비 실적 공사의 진도관리를 시행할 수 있는 대표적 도구로 사용되고 있다. 건축공사가 제한된 수직적 공간에서 공정이 반복적으로 진행되는 반면에, 토목공사는 수평적으로 수십 km의 공사구간에 걸쳐 공사가 진행되므로, 공정의 일정정보 외에 위치정보도 주요 관리요소로 활용된다. 이러한 이유로 도로 및 철도시설공사는 거리단위를 갖는 측정번호(Station No)로 구분되는 위치정보를 기준으로 공정을 관리하고 있다(Lee

et al., 2022). 하지만 간트공정표는 공정의 시작 및 종료일을 표현하는 일정정보만으로 공정정보를 나타내므로 공정의 위치정보를 파악하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 공정의 일정정보와 상세한 위치정보를 동시에 표현할 수 있는 공정표 구성이 필요하다.

본 연구는 선형시설물 공사의 효율적인 공정관리를 위해 일정정보와 위치정보를 모두 표현할 수 있는 선형공정표(Linear schedule chart)의 구성 방법론을 제시하고, 이에 근거한 선형공정표 작성 시스템을 구축하여 실제 시공 중인 철도시설공사에 적용하여 활용성을 검증한다. 이를 위하여 연구에서는 선형시설물의 위치정보를 통한 좌표축 구성, 간트공정표의 선형공정표 변환, 공정 심볼의 표현, 선형공정표 상의 중첩공정 탐색방안을 구성하고 선형공정표 생성 시스템을 개발하며, 사례 적용 대상으로 철도시설 교량공사를 사용하고 있다.

* **Corresponding author:** Kang, Leenseok, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Korea
E-mail: lskang@gnu.ac.kr

Received September 7, 2022; **revised** February 2, 2023

accepted February 11, 2023

1.2 국·내외 연구동향

선형공정표의 필요성 제안 및 활용에 관한 연구는 <Table 1>과 같다. Ryu and Jang (2011)은 기존 CPM 네트워크 공정표를 선형공정표로 변환하기 위해 공간분류체계 등을 이용한 공정 생성 방법을 제시하였으며, Tang et al. (2014)는 철도 건설 프로젝트의 일정관리 문제를 해결하기 위해 LSM (Linear scheduling method) 개념을 기반으로 일정관리 모델을 구축하였으나, 선형공정표 구성을 위한 구체적인 방법론은 포함되어 있지 않다. Nazila et al. (2015)는 공간과 시간 제약을 동시에 고려한 공정기법이 선형 프로젝트에 상당한 이점이 있음을 분석하였다. Nazila and Razavi (2017)은 불확실성 인식 최적화 프레임워크를 제시하여 선형 프로젝트의 기간을 최적화하는 방법론을 제시하였고, Eid et al. (2019)은 선형 프로젝트 일정관리를 위해 유전알고리즘 등을 이용하여 최적화 일정 모델을 제시하였으나, 선형공정표를 구성하는 방법에 대한 제안은 이루어지지 않았다.

Jongeling and Olofsson (2007)는 위치 기반 스케줄링과 4D CAD를 결합하여 작업의 흐름을 계획하는 프로세스를 제시하였으며, Kenley and Seppanen (2009)과 Vico office시스템(2022)은 활동 및 위치 기반의 LBS (location breakdown structure) 개념을 제시하였으나, 수직적 공간에서 반복 진행되는 공정을 층별로 장소 구분을 해 놓은 것이어서 도로와 같이 수십 km의 수평적 작업공간에서 km 단위의 상세 거리좌표에 따른 공정의 파악은 용이하지 않다. Rezaei (2015)은 3층 빌라 건축물의 사례연구를 위해 수정된 LBS (Location based scheduling) 방법을 제시한 바 있고, Lucko and Gattei (2016)는 LOB (Line of balance)기법을 사용한 스케줄링 기법을 구체적으로 탐색하였다. LOB기법은 건축공사의 반복적 공정에 많이 활용되지만 다수의 수평적 구역을 포함하는 토목공사에서 상세한 위치정보의 표현은 어려운 점이 있다. TiLOS 시스템(2022)은 위치정보를 갖는 기능의 상용화된 시스템으로 소개되고 있으며, 이러한 제품에서는 선형공정표의 시스템화를 위한 좌표 표현 방안, 일정과 거리축의 비례체계 구성 등을 위한 내부 알고리즘을 확인하기 어렵기 때문에 단순한 2D기반 공정표 제공 기능 외에 연구 측면에서 추가적인 확장이 어렵다.

Shah (2014)는 작업 위치정보의 중요성을 강조하고 도로 프로젝트의 사례연구를 통해 위치 기반의 토공 일정을 자동화하는 모델을 시연하였고, 위치 기반 주 단위의 일정정보를 시각화하는 알고리즘을 적용하여 일정정보의 보다 효과적인 파악이 가능하도록 하였으나(Shah, 2015), 선형공정표에서 개별 공정의 좌표 구성체계와 시스템화 방법론 등은 제시되어 있지 않다. Lee et al. (2022)은 선형 공정에 특화된 4D 시뮬레이션 시스템을 개발하였으며, Han et al. (2018)은

선형공정표의 기본 개념과 필요성을 제안하였으나, 선형공정표 체계의 시스템화 방법에 대하여는 구체적으로 기술되어 있지 않다. Kim and Jung (2011)은 원전건설 액티비티의 유형과 특성 분석을 기반으로 LSM의 적용에 대한 적합성을 도출하였으며, Amy et al. (2019)은 대형 토목 건설 프로젝트에서 선형 프로젝트의 스케줄링 방법과 사례를 분석하였으나, 선형 프로젝트 공정표의 시스템화 내용은 추가적 연구가 필요한 부분이다.

Table 1. Prior research on linear construction project

Researcher	Research contents
Ryu & Jang (2011)	Process creation method using spatial classification system to convert existing CPM network schedule chart to linear schedule chart
Tang et al. (2014)	Building a schedule management model based on the LSM(Linear scheduling method) concept
Nazila et al. (2015)	Analysis of the advantages of a linear project considering both space and time constraints
Nazila & Razavi (2017)	A methodology to optimize the duration of a linear project by presenting an uncertainty-aware optimization framework
Eid et al. (2019)	Suggest an optimized schedule model using genetic algorithms for linear project schedule management
Jongeling & Olofsson (2007)	Combining location-based scheduling and 4D CAD to present a process for planning the flow of work
Kenley & Seppanen(2009)	Presenting the concept of LBS(Location breakdown structure) based on activity and location
Rezaei (2015)	A modified LBS method is presented for a case study of a 3-story villa building
Lucko & Gattei (2016)	Exploring scheduling techniques using LOB(Line of balance) techniques in detail
Shah (2014)	Emphasizes the importance of work location information and demonstrates a model that automates location-based earthwork schedules through a case study of a road project
Lee et al. (2022)	Developed a 4D simulation system specialized for linear processes
Han et al. (2018)	Suggests the basic concept and necessity of linear milestones
Kim & Jung (2011)	Determination of suitability for application of LSM based on analysis of types and characteristics of nuclear power plant construction activities
Amy et al. (2019)	Analysis of scheduling methods and cases of linear projects in large-scale civil construction projects
Vico Office (2022)	Commercialized system with activity and location based location breakdown structure LBS concept
TiLOS (2022)	Commercialized system with location information function

국·내외 연구에서 공정관리를 위한 시간과 위치정보의 동시 필요성과 개념 제시 연구는 다수 있으나, 선형공정표의 구체적 구성 방법론과 시스템화를 위한 좌표축 구성 등의 연구는 부족하다. 이러한 연구는 선형공정표의 타 기능과 연

계 활용시에 기본 프레임으로 활용될 수 있고, 연장이 긴 공사 구간을 갖는 인프라시설공사에 특화된 공정표의 구성 방법론과 실무 적용에 확장성을 가질 수 있다.

2. 선형공정표 개요

도로나 철도공사는 토공, 교량공, 터널공 등이 축점 번호에 의한 위치정보를 기준으로 구역을 나누어 공정을 관리하고 있으며, 선형 구간의 모든 도면은 20m 내외의 축점 번호에 따라 횡단도와 종단도를 작성하고 있다. 기존 간트공정표 기반의 공정표는 일정 정보를 토대로 작성되므로 임의의 공정에 대해서 작업의 시작과 종료일정은 쉽게 파악할 수 있지만 해당 작업이 어느 위치에서 시작해서 어느 위치에서 종료되는지 파악하는 것은 용이하지 않다. 도로와 같이 수십 km에 걸쳐 공사가 진행되는 선형시설물 프로젝트의 공정관리를 위해서는 일정 정보뿐만 아니라 해당 공정이 전체 사업구간 내에 어느 지점에서 진행되고 있는지에 대한 작업의 위치정보 표현이 필요하다. 이를 위해서는 공정의 위치정보를 표현할 수 있는 선형공정표가 요구되며, <Fig. 1>은 선형공정표의 기본적 구성 모양으로 일정정보뿐만 아니라 공정의 위치정보를 동시에 표현하고 있다.

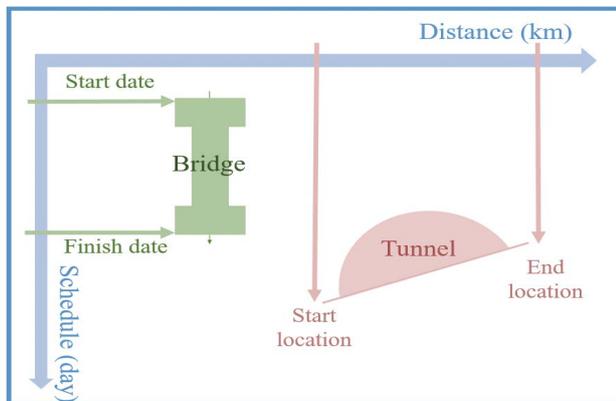


Fig. 1. Composition of linear schedule chart

간트공정표에서 터널지보공(Tunnel support) 공정은 공정의 시작일과 종료일 정보만을 표현하는 반면에, 선형공정표에서는 일정정보 외에 공정의 시작위치와 종료위치까지 동시에 표현하고 있으며, 단순한 막대 형식의 공정 표현 대신에 공정의 작업 내용을 유추할 수 있는 심볼(Symbol) 형태로 공정을 표현하고 있다. 이를 통해 간트공정표에서는 파악하기 어려웠던 위치정보를 공사 일정정보와 함께 제시해 줌으로써 도로나 철도와 같은 선형시설물에서 전체 사업 구간 내에서의 해당 작업 현황을 시각적으로 파악할 수 있다.

3. 선형공정표 구성 방법론

3.1 선형공정표 구성 절차

선형공정표를 구성하는 방법론은 <Fig. 2>와 같다. 기본적으로 선형공정표 구성을 위해서는 개별 공정의 시작 및 종료일 정보와 시작 및 종료 위치정보가 필요하다. 선형공정표의 좌표축은 프로젝트의 전체 일정과 작업구간으로 구성하며 개별공정은 공정의 시작일 · 종료일과 시작위치 · 종료위치를 각 축에 표기하여 좌표평면 공간을 생성하고, 해당 공간 안에 공정을 표현하는 심볼을 이용하여 공정을 표현한다. 연구에서 구성하는 체계는 공정표료써 간트공정표가 많이 활용되므로, 사용자가 입력한 일정정보, 위치정보, 심볼정보 등을 기반으로 간트공정표를 선형공정표로 변환하는 체계를 포함하고 있다. 선형공정표 상에서 일정 및 위치가 비슷한 공정의 경우에는 중첩률을 산정하는 알고리즘도 필요하고, 일정 중첩률 이상의 공정들에 대하여는 별도의 선형공정표 확대 구성하여 파악하는 방법론도 구성하였다.

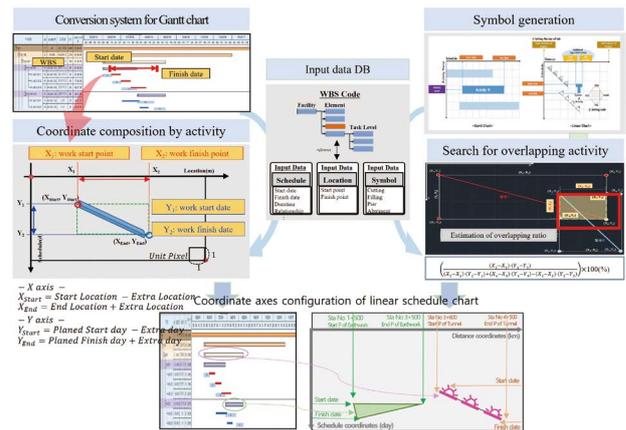


Fig. 2. Overview of linear schedule chart configuration

<Fig. 2> 아래 그림의 좌측은 간트공정표로서 교량 및 터널 공정의 시작일과 종료일 정보만을 파악할 수 있다. 반면에 우측 그림의 선형공정표에서는 X축에서 공정의 시작 및 종료 위치를 파악할 수 있고, Y축에서 공정의 시작 및 종료일을 파악할 수 있다. 또한, 교량 및 터널 공정의 특징을 시각적으로 나타내는 심볼을 통해 사용자의 공정 이해도를 높일 수 있다.

3.2 선형공정표 좌표축 구성 체계

선형공정표를 생성하기 위해서는 사용자가 공정의 이름 등 기본정보, 시작 및 종료일, 시작 및 종료 위치, 공정의 심볼 등의 정보를 입력해야 한다. 일정정보의 경우 간트공정표의 구성 요소이기 때문에 해당 정보를 선형공정표에 호출하

여 이용할 수 있으나, 위치정보는 사용자가 추가로 입력해야 한다. 공정의 기본정보의 경우 선형공정표 상에 표시할 공정 명들과 WBS (Work breakdown structure) 코드 등으로 세분화할 수 있으며, 공정의 위치정보는 선형공정표 상에 X축을 구성하고 공정 심볼의 좌표를 생성할 수 있도록 공정의 시작위치·종료위치로 나누어져 있다. 사용자가 개별 공정에 대한 위치정보를 입력하면 전체 프로젝트의 시작 및 종료 위치정보는 자동으로 산정된다.

일반적인 간트공정표는 X축에 공사기간, Y축에 공정 이름 리스트를 구성하며 개별공정은 막대형식으로 표현되어 있다. 일정과 위치정보를 갖는 선형공정표는 공사가 이루어지는 전체 거리 구간을 X축, 전체 공사 기간을 Y축으로 구성하여 하나의 좌표평면을 구성하게 된다. 좌표축을 전산화된 시스템에 표현하기 위해서는 X, Y 축의 크기를 자동 설정하는 방법이 필요하고, 또한 X, Y 개별 축의 크기에 따라 축의 길이가 자동으로 비례되어 표현되는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 <Fig. 3> 상단과 같이 CAD좌표 표현방식을 이용하여 X, Y좌표 축의 축척을 자동으로 설정하는 방법을 구성하였다. 선형공정표의 전체 좌표축 구성은 <Fig. 3> 하단 그림과 같이 프로젝트의 시점부터 가장 가까운 공정의 시작위치와 가장 먼 공정의 종료위치를 X축의 크기로 설정하고, 시작일이 가장 빠른 공정의 시작일자와 가장 늦은 공정의 종료일자가 Y축의 크기로 설정된다.

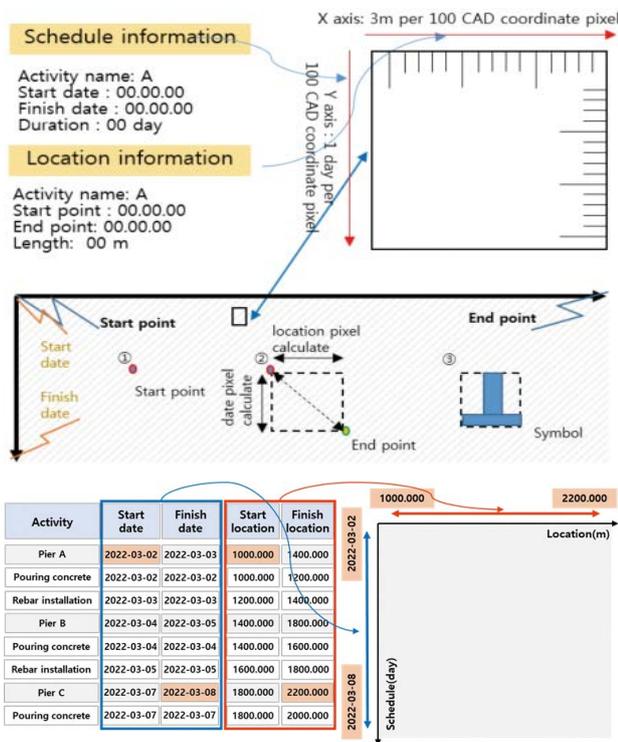


Fig. 3. Composition of the coordinate axis in linear schedule chart

3.3 선형공정표 심볼 구성 체계

선형공정표를 시스템으로 생성하기 위해서는 CAD좌표의 단위 설정이 필요하며, X축의 위치정보는 m와 km, Y축의 일정정보는 day와 week 단위 등으로 구성할 수 있다. X, Y 비율이 1:1로 구성되어 있는 CAD좌표에 선형공정표를 생성하기 위해 기본 단위를 100픽셀로 설정하여 100:100을 기본 비율로 설정한다. 위치정보 기반 선형공정표의 좌표축 구성은 공정의 시작위치(X_1), 공정의 종료위치(X_2), 공정의 시작일자(Y_1), 공정의 종료일자(Y_2)를 통해 4개의 점 $P_1(X_1, Y_1)$, $P_2(X_2, Y_1)$, $P_3(X_1, Y_2)$, $P_4(X_2, Y_2)$ 에 의해 box형태로 표현되며 해당 공간 내에 심볼을 표현하게 된다. 예를 들어 <Fig. 4>의 공정은 터널라이닝 공정으로서 공사구간 3,310m(X_1)~3,340m(X_2)에서 작업이 수행되며 2022.02.15. (Y_1)에 시작해서 2022.02.22. (Y_2)에 종료된다. 즉, 개별 공정의 표현은 위치정보($X_1 \sim X_2$)와 일정정보($Y_1 \sim Y_2$)에 의해 생성된 좌표 공간 내에 터널라이닝 공정의 고유 심볼로 나타나게 된다.

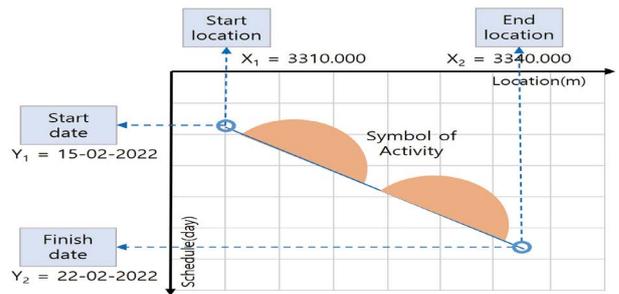


Fig. 4. Symbol expression of the individual activity

심볼은 공정에 대한 특징을 잘 반영하고, 상징성이 있는 형태를 지니고 있어야 사용자가 쉽게 공정을 파악할 수 있다. 연구에서는 주요 공정인 토공(절토, 성토), 터널, 교량, 궤도, 전차선 등으로 구분 후, 세부 공정인 절토(토사깎기, 연암깎기, 경암깎기), 성토(노상, 노체), 터널(굴착, 지보공, 라이닝), 교량(교대본체, 교각본체, 슬래브) 등에 대해서 심볼을 구성하고 이를 선형공정표에 반영하였다. 터널공사의 굴착, 라이닝, 지보공과 교량공사의 교각, 교대 심볼 구성 예는 <Fig. 5>와 같다.

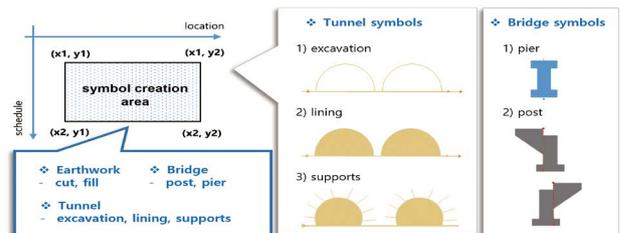


Fig. 5. Symbol configuration example

4. 선형공정표 생성 시스템 구성

4.1 공정정보 입력 및 좌표축 구성

본 절에서는 연구에서 제시한 선형공정표 구성 방법론을 적용한 선형공정표 생성 시스템의 구축 과정을 기술하고 있다. 우선적으로 시스템 구성을 위해서는 공정에 대한 정보를 입력해야 한다. 공정정보를 입력하는 공정정보 입력체계에서는 공정의 WBS 코드, 공정명, 공정의 일정정보, 공정의 위치정보, 공정의 심볼정보 등을 입력할 수 있다. <Fig. 6>은 시스템의 초기 공정정보 입력체계이며, 임의의 공사에 대한 공정 WBS 코드, 공정명, 공정의 일정정보, 위치정보 등이 입력되어 있다.

Activity name	WBS Code	Schedule information	Location information
공정명(예:Activity)	번호 코드	계획공정일	계획공정종료일
1	1.1	2021.03.09	2021.06.07
2	1.1.1	2021.03.09	2021.06.07
3	1.1.1.1	2021.03.09	2021.03.12
4	1.1.1.1.1	2021.03.09	2021.03.09
5	1.1.1.2	2021.03.10	2021.03.10
6	1.1.1.2.1	2021.03.11	2021.03.11
7	1.1.1.4	2021.03.12	2021.03.12
8	1.1.2	2021.03.13	2021.03.13
9	1.1.2.1	2021.03.15	2021.03.25
10	1.1.2.1.1	2021.03.13	2021.03.13
11	1.1.2.3	2021.03.16	2021.03.16
12	1.1.2.4	2021.03.16	2021.03.16
13	1.1.2.5	2021.03.17	2021.03.17
14	1.1.2.6	2021.03.18	2021.03.18
15	1.1.2.7	2021.03.18	2021.03.18
16	1.1.2.8	2021.03.19	2021.03.19
17	1.1.2.9	2021.03.19	2021.03.19
18	1.1.3	2021.03.25	2021.04.04
19	1.1.3.1	2021.03.25	2021.04.04
20	1.1.3.2	2021.03.26	2021.03.26
21	1.1.3.3	2021.03.29	2021.03.29
22	1.1.3.4	2021.04.04	2021.04.09
23	1.1.3.5	2021.03.31	2021.03.31
24	1.1.3.6	2021.03.31	2021.03.31
25	1.1.3.7	2021.04.02	2021.04.02
26	1.1.3.8	2021.04.05	2021.04.05
27	1.1.3.9	2021.04.06	2021.04.06
28	1.1.4	2021.03.25	2021.03.27
29	1.1.4.1	2021.04.04	2021.04.14
30	1.1.4.2	2021.04.05	2021.04.09
31	1.1.4.3	2021.04.09	2021.04.09
32	1.1.4.4	2021.04.14	2021.04.16
33	1.1.4.5	2021.04.13	2021.04.13
34	1.1.4.6	2021.04.14	2021.04.14
35	1.1.4.7	2021.04.15	2021.04.15
36	1.1.4.8	2021.04.15	2021.04.15

Fig. 6. Input data of linear schedule chart

공정정보 입력체계에서 공정정보를 입력하고 저장하면 선형공정표를 생성하기 위한 좌표축을 확인할 수 있다. <Fig. 7>과 같이 입력된 공정정보의 위치정보에서 시점과 가장 인접한 공정의 시작위치와 가장 원거리 공정의 종료위치에 의해 선형공정표의 X축(위치정보)이 구성되며, 가장 빠른 공정의 시작일자와 가장 늦은 공정의 종료일자에 의해 선형공정표의 Y축(일정정보)이 구성된다. 또한, 좌표평면상에는 입력된 공정정보의 심볼정보가 나타나게 된다.

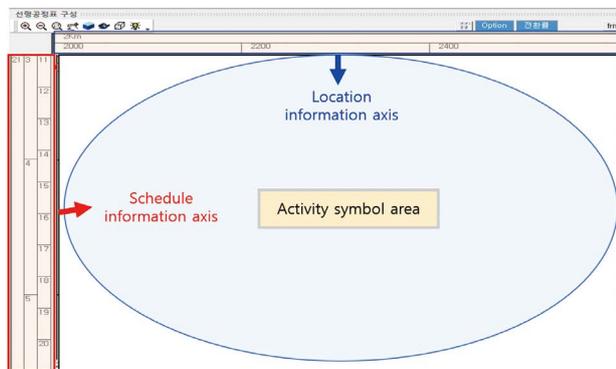


Fig. 7. Coordinate axis generation of linear schedule chart

선형공정표 구성의 핵심인 전체 일정정보 축과 위치정보 축은 선형공정표를 통한 선형시설물의 공정 현황을 파악하기 위한 중요한 요소이며, 본 연구에서는 선형공정표 전체 좌표축을 이중으로 구성하는 방법을 구성하고 있다. <Fig. 8>의 ① 좌표축은 전체 프로젝트에 대한 일정정보 축과 위치정보 축이며, ② 좌표축은 확대된 선형공정표 구간의 일정정보 축과 위치정보 축으로써, ② 좌표축의 크기가 ① 좌표축에 표기되도록 구성하였다. 해당 좌표축 구성은 <Fig. 8>처럼 위치정보 축, 일정정보 축에서 확대 및 축소가 원활하게 이루어지며, 선형공정표 상 특정 영역의 확대·축소에 의한 축 스케일 변동사항이 이중으로 반영되어 있으므로 사용자가 선형공정표의 확대·축소 비율, 그리고 전체 위치 및 일정대비 변동된 스케일의 선형공정표 구간이 어디인지 직관적으로 파악할 수 있다.

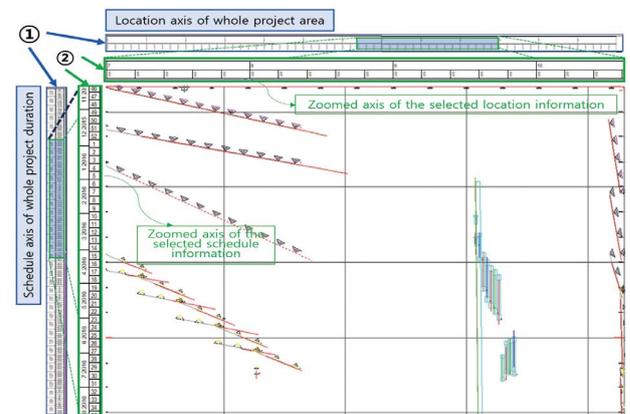


Fig. 8. Coordinate axis configuration of linear schedule chart

4.2 선형공정표 생성 및 좌표축의 조정

선형공정표의 X축과 Y축의 좌표축이 생성되면, 일정정보와 위치정보를 각각의 축으로 하는 선형공정표의 좌표평면 공간이 생성되고, 해당 좌표평면 공간에서 개별 공정의 시작 및 종료 위치, 시작 및 종료 일자 정보를 통해 심볼이 생성되는 구역이 생성된다. 심볼 생성 구역에 개별 공정의 심볼이 생성되어 최종적으로 선형공정표가 생성된다. <Fig. 9>에는 위치정보 축, 일정정보 축의 모습과 선형공정표 좌표평면 공간 내에 다양한 공정의 심볼들이 표기되어 있는 것을 확인할 수 있고, 전체공정에 대한 선형공정표뿐만 아니라, 사용자가 원하는 구역의 선형공정표를 제공받을 수 있다.

선형공정표는 거리 축과 시간 축을 동시에 표현하므로 상호 축의 크기를 동일한 비율로 표현하기 어렵다. 거리는 수십 km에 달하지만, 기간은 상대적으로 짧은 수개월에 그칠 수 있으며 이러한 경우에 선형공정표의 좌표축은 시인성이 불편한 상호 축의 크기로 표현되므로, 임의 축척(scale)으로

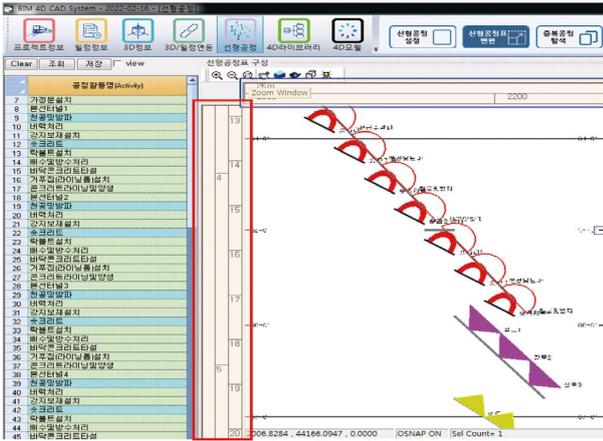


Fig. 9. Generation of linear schedule chart

좌표축을 조정하는 방법이 필요하다. 이를 위해 연구에서는 입력된 공정정보들의 위치 및 일정정보를 정렬하여 상호 간 축척이 변경되면 해당 축척만큼 선형공정표 상 표기된 공정의 심볼 또한 동일한 축척으로 확대·축소되도록 하였으며, 해당 영역의 위치 및 일정정보에 따라 X축과 Y축 값도 변경된다. 선형공정표 상에서 사용자가 원하는 영역을 지정하여 확대하면 (Fig. 10)과 같이 선형공정표에 확대된 영역이 나타나면서 위치정보 축과 일정정보의 축이 확대된 영역의 축척만큼 동시에 변화하여 나타난다. 따라서 사용자는 어떠한 지점에서 임의의 크기로 확대·축소하더라도 해당 구역의 위치와 일정정보를 직관적으로 파악할 수 있다.

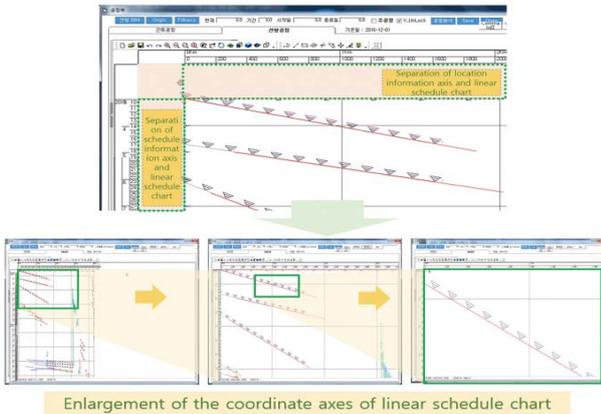


Fig. 10. Scale-up of linear activity

4.3 선형공정표 시스템의 공정 표현

선형공정표 생성 시스템에서 일정정보는 프로젝트의 공정 시작일자를 일정정보 축의 시작으로 하고, 공정 종료일자까지 축을 구성하게 된다. 일정정보 축의 구성은 년도, 월, 주차로 구성되어 있으며, 선형공정표 상에는 3개월 단위로 표기가 되어있다. 본 연구에서는 (Fig. 11)과 같이 일정 및 위

치정보 축과 선형공정표를 서로 독립적인 요소로 분개하고, 공정의 시작위치, 시작일자, 종료위치, 종료일자를 연결시켜 사용자의 좌표 변환 편리성을 확보하였다. 또한 전체 위치 및 일정대비 변동된 축척의 선형공정표 구간의 위치 및 일정정보를 직관적으로 파악이 가능하도록 하였다.

해당 기능을 통해 사용자는 (Fig. 11)과 같이 선형공정표를 확대·축소할 때, 일정정보 축과 위치정보 축의 축척이 확대·축소된 선형공정표의 축척에 따라 같이 변하는 것을 확인할 수 있고, 선형공정표를 이동하더라도 일정정보 축과 위치정보 축이 이동된 만큼 같이 변함을 확인할 수 있다.

Zoom Window 기능을 사용해 선형공정표 상에서 사용자가 원하는 영역을 지정하여 확대 시, (Fig. 11)과 이 선형공정표에 확대된 영역이 나타나면서 위치정보 축과 일정정보 축이 확대된 영역의 축척만큼 동시에 변화하여 나타난다. 따라서 사용자는 선형공정표의 그 어떠한 지점에서, 얼마만큼 확대·축소 하더라도 해당 구역의 정확한 위치정보와 일정정보를 직관적으로 파악할 수 있다.

선형공정표에서 공정의 표현은 (Fig. 11)과 같이 시작위치, 종료위치, 시작일자, 종료일자 정보를 토대로 선형공정표의 좌표평면 구역 내에 심볼로 표기된다. 공정계획에서 WBS 코드가 A1.A1.1.01.3 인 경암짜기 공정의 시작일자는 2015.06.04.이고 종료일자는 2015.09.19.이며, 공정의 시작위치는 0m, 종료위치는 1,586.109m 이다. 경암짜기 공정 심볼은 경암짜기 심볼, 심볼 타입은 반복으로 지정되어 있다. 또한 선형공정표뿐만 아니라 간트공정표에서도 해당 공정의 WBS 코드, 작업별 연계, 공정명, 계획 시작·종료일, 실제 시작·종료일, 시작·종료 위치 등을 확인할 수 있다.

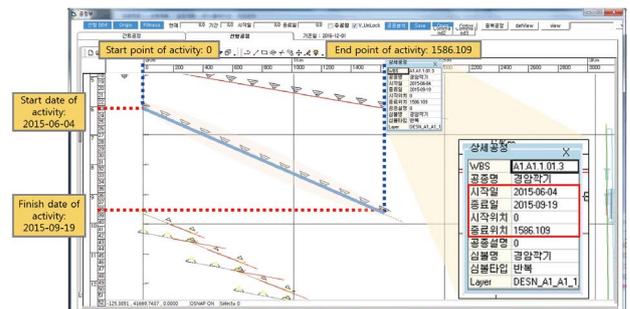


Fig. 11. Representation of the activity information in linear schedule chart

4.4 중첩공정 표현 체계 구성

4.4.1 중첩공정의 의미

선형공정표에서 인접한 작업 위치에서 유사한 일정으로 진행되는 공정들이 많으면 공정들이 상호 간에 중첩되어 표기될 수 있으며, (Fig. 12)는 일정정보와 위치정보가 중첩된

공정을 나타낸다. Activity 1의 터널 공정은 2022.01.05에 시작해서 2022.01.10.에 종료되고 3,000~3,300m 구간에서 진행되는 공정이며, Activity 2의 토공 공정은 2022.01.07.에 시작해서 2022.01.12.에 종료되고 3,200~3,800m 구간에서 진행되는 공정이다.

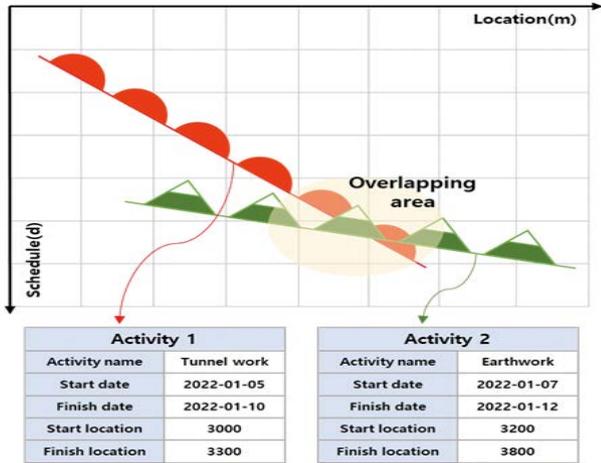


Fig. 12. Overlapping activities of schedule and location information

〈Fig. 12〉와 같이 두 개의 공정에서 위치 및 일정이 중첩되는 부분이 있으므로 이러한 경우에는 개별 공정의 심볼을 식별하는 것이 어려울 수 있다. 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 일정 및 위치정보가 중첩되는 공정을 선형공정표 상에서 확인할 수 있도록 중첩되어 표현되는 공정들을 산정하는 알고리즘을 구성하였다.

4.4.2 중첩공정 탐색 및 시스템 표현

두 공정 간 중첩의 정도는 공정의 중첩 면적 비율을 계산하여 산정하는 방법과 일정 및 위치정보 각각의 중첩 길이만을 이용하여 중첩비율을 산정하는 방법이 있을 수 있다. 공정별 표현 위치의 면적을 계산한 후 전체 구역의 면적 대비 중첩 구역의 면적을 산정하는 중첩 면적 계산방식의 알고리즘은 사용자 측면에서 다수의 공정간 중첩 면적을 파악해야 하는 불편함이 있을 수 있다. 본 연구에서는 일정정보의 중첩 혹은 위치정보의 길이 데이터만으로 중첩 정도를 사용하여 중첩비를 산정하는 방법론을 사용한다.

〈Fig. 13〉과 같이 공정활동 1의 사 기간이 Y_1 에서 Y_2 까지이고, 공정활동 2의 공사기간이 Y_3 에서 Y_4 까지일 때, 두 공정활동의 시작과 종료일자인 Y_1 에서 Y_4 를 전체 구간으로 설정하고 중첩이 발생하는 구간인 Y_3 에서 Y_2 까지 중첩 비율을 산정한다. 동일한 방법으로 중첩비율이 사용자가 설정한 임계값 이상인 공정들에 대한 정보를 파악할 수 있다. 〈Fig. 13〉은 공정 위치정보를 사용할 경우, 공정활동 1의 사 구간이 X_1 에서 X_2 까지이고, 공정활동 2의 공사 구간이 X_3 에서 X_4

까지일 때, 두 공정활동의 전체 공사구간인 X_1 에서 X_4 까지를 전체 구간으로 설정하고, 작업 위치중첩이 발생하는 구간을 X_3 에서 X_2 까지로 설정하여 위치중첩이 발생한 부분의 비율을 산정한다.

중첩률을 산정하는 다양한 방법을 통해 사용자는 임계값을 초과하는 중첩공정 그룹의 상세 공정정보들을 제공받을 수 있고, 사용자 판단하에 중첩공정의 일정 및 위치를 수정할 수 있어 효율적인 공정관리 업무수행이 가능하다.

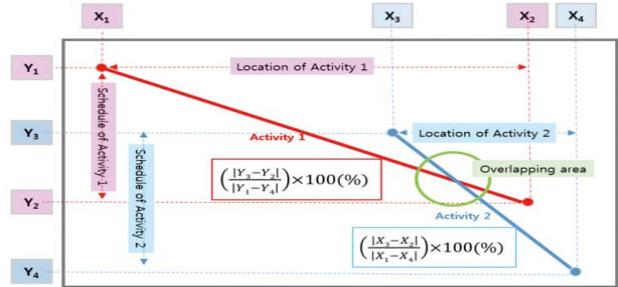


Fig. 13. Details of overlapping ratio calculation

〈Fig. 14〉는 교대구체 1건, 교각구체 6건의 심볼들이 3,000~3,300m의 위치구간과 2015.08.26.~2015.10.16.의 기간 내에서 이루어지고 있는 모습이다. 이와 같이 선형공정표에서 여러 공정의 심볼들이 중첩되어 있을 경우 개별 선형공정들을 식별하기 어렵다. 따라서 공정이 중첩되어 있는 부분의 영역을 지정하고 이를 확대하여 여러 공정의 심볼들을 식별할 수 있는 방법이 필요하다.

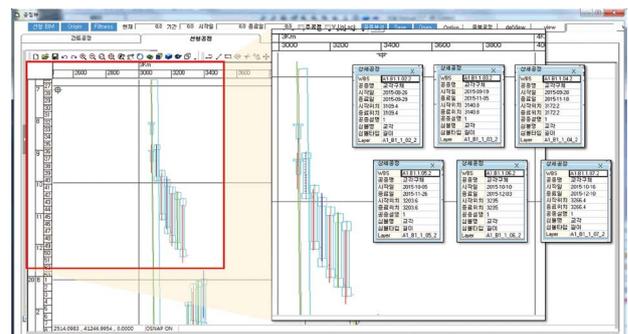


Fig. 14. Detailed representation of overlapping activity information in the system

본 연구에서는 사용자가 일정 및 위치정보가 서로 중첩되는 공정을 선형공정표 상에서 확인할 수 있도록 〈Fig. 15〉와 같이 중첩공정 확인 기능을 구성하였다. 선형공정표 상에서 일정 및 위치정보가 서로 중첩되어 식별이 어려운 영역을 지정하면 선택영역 내에 표기되어 있는 모든 공정들이 다중 선택된다. 다중 선택된 공정들에 대해 중첩공정 기능을 활성화

화하면 <Fig. 15>와 같이 새 창에서 중첩 여부를 확인할 수 있다. 일정과 거리가 유사한 중첩공정의 표현은 선형공정표의 좌표축 표현에서 다양한 방법이 있을 수 있다. 본 연구에서 구성한 일정 및 거리 좌표체계에서 표현되는 길이 단위의 중첩 비율을 이용한 중첩공정 탐색 방법론은 시스템에서 구현하였을 때 선형공정표의 좌표축에서 직접 탐색하여 표현되므로 사용자의 편리성을 확보할 수 있다.

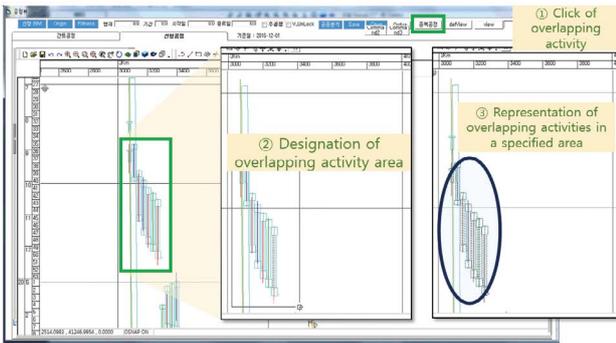


Fig. 15. Search procedure for overlapping activities in linear schedule chart

5. 사례적용 및 검증

5.1 선형공정표 생성 및 설정

본 절에서는 연구에서 제시한 선형공정표 구성 방법론을 기반으로 한 시스템에 실제 철도시설의 교량공사를 사례로 적용하여 활용성을 검증하였다. 사례에 적용된 모델은 2개의 교량과 토공 1구간으로 총 3,400m의 공사구간으로 이루어져 있으며 각 교량은 2개의 교대, 13개의 교각, 상부구조물 34개 등 총 98개의 구조물로 구성되며 그 안에 연계되는 전체 공정의 수는 956개이다.

연구에서 구현한 선형공정표의 초기화면은 일정정보 화

Fig. 16. Input data of case project

면을 기본으로 하며 간트공정표를 선형공정표로 변환하거나, 선형공정표를 최초로 생성하기 위해 필요한 추가정보인 위치정보와 공정의 심볼정보를 입력할 수 있다. <Fig. 16>은 선형공정표를 생성하기 위해 시스템 안에서 사례적용 대상인 교량공사의 공정활동명, WBS코드, 계획공정일자, 위치정보, 공정심볼 등의 정보를 작성하는 입력 화면을 나타낸다.

선형공정표 생성 시스템에서는 <Fig. 17>과 같이 개별 공정별 심볼을 생성시킬 수 있다. 본 연구에서 개발한 시스템에는 <Fig. 5>에서 나타난 것 같이 절토, 성토, 굴착, 라이닝, 교각, 교대, 슬래브의 7개 심볼들이 시스템 안에 기본적으로 내장되어 있다. 본 사례에서는 7개 심볼표현이 가능한 공정들에 대하여 심볼로 구성하고 있다. <Fig. 17(a)>는 심볼형상 중 교대의 선형공정표 상 공정 심볼을 표현한 화면이며 해당 공정심볼이 사용되어 있는 내역을 확인할 수 있다. <Fig. 17(b)>는 교량의 교각 공정의 심볼을 나타낸 것이다. 이와 같이 심볼은 해당 공정의 특성을 유추할 수 있도록 하여 단순히 막대모양의 공정 표기방식과 비교 시에 공정표의 이해도를 높일 수 있다.

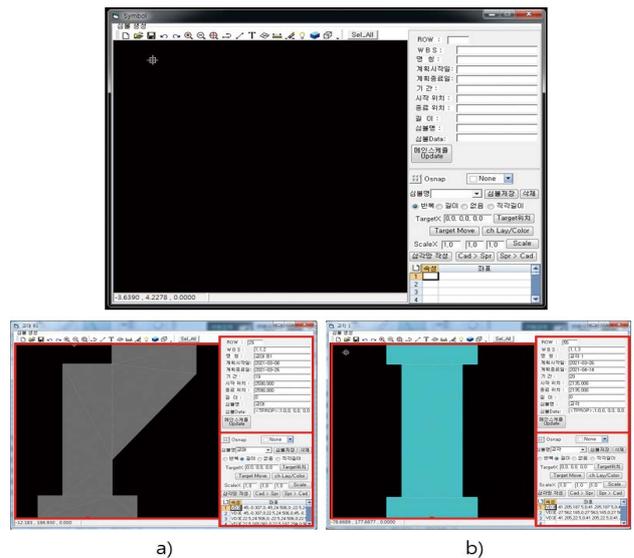


Fig. 17. Symbol setting for each activity

5.2 선형공정표 변환

간트공정표 정보에 위치정보, 심볼정보가 추가로 입력된 일정정보를 선형공정표로 변환하면 <Fig. 18>과 같이 표현된다. 생성된 선형공정표의 X축은 위치정보 축, Y축은 일정정보 축이며 여러 공정들이 심볼의 형태로 표기된다. 선형공정표의 확대·축소 시 일정 축과 위치 축도 동일하게 축척변경이 되는 점은 공정표의 시인성을 향상시킬 수 있다.

시스템에서 생성된 선형공정표에서는 실시간으로 공정정보를 수정할 수 있으며 수정된 정보에 따라 선형공정표의

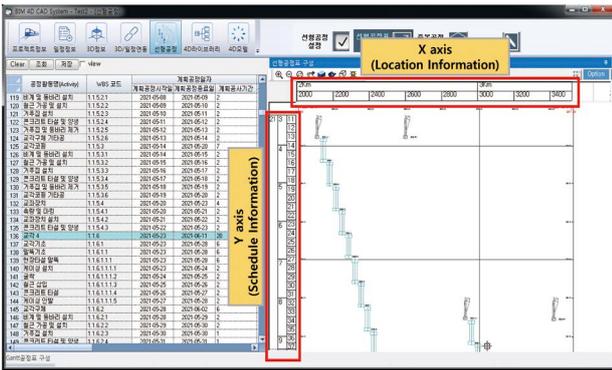


Fig. 18. Conversion of the linear schedule chart

심볼이 변화된다. <Fig. 19>와 같이 교각 13의 공정 심볼을 선택하면 해당 공정의 상세정보 창이 표기되어 공정의 시작·종료일, 위치정보, WBS 코드, 심볼명 등을 파악할 수 있다. 공정의 시작·종료일을 수정하거나 위치정보를 수정하면 <Fig. 19>의 우측과 같이 수정한 내역대로 공정의 심볼이 변화되는 것을 확인할 수 있다.

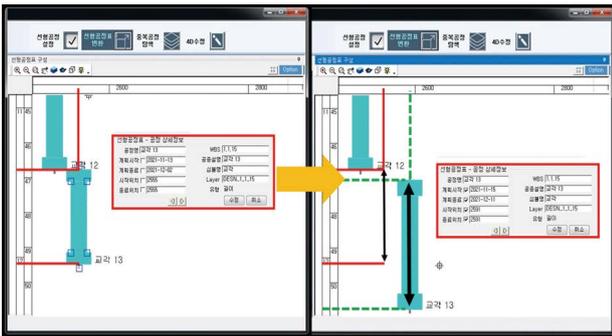


Fig. 19. Modification of symbol information

5.3 선형공정표 전환률

사전에 입력한 정보들을 바탕으로 시스템 상에서 얼마만큼의 공정정보가 선형공정표로 전환되었는지 검증하기 위해서 전체 공정과 선형 공정의 전환율을 계산하여 표현할 수 있다. <Table 2>는 입력된 전체 공정정보에서 선형공정표로 전환된 비율의 결과값이다. 입력된 전체 공정의 수는 956개이며, 그 중 위치정보, 일정정보, 심볼정보가 모두 반영되어 선형공정표로 전환된 공정의 수는 108개로 전체 공정 전환율 11.3%를 나타내고 있다. 전환율은 전체 공정에서 수평적 공간에서 작업이 진행되는 선형 공정의 구성 비율이므로, 비율 값의 크기에 따라 선형공정표의 복잡성을 제어할 수 있다. 선형공정표로 전환된 공정은 108개의 공정 모두 오류없이 변환되어 100%의 전환율을 보인 것으로 확인되었다.

Table 2. Conversion rate of linear activities

	Converted number	Unconverted number	Conversion rate
Total activities	956	848	11.3%
Linear activities	108	0	100%

5.4 중첩공정 탐색

선형공정표 상에서 여러 공정의 위치 및 일정이 비슷하게 이루어진 경우 다양한 공정의 심볼들이 서로 겹쳐 보여 정확한 공정의 식별이 어려울 때는 중첩공정 탐색기능을 활용할 수 있다. <Fig. 20>과 같이 ‘중첩공정 탐색’ 기능을 활성화하여 여러 공정의 심볼이 겹쳐 있는 곳에 영역을 지정한 후, 새 창을 통해 중첩되어 표현된 공정들을 보다 상세하게 확인할 수 있다. 또한, 선형공정표 상에서 확대하고 싶은 구역을 클릭하면 해당 구역이 확대된 새 창이 사용자에게 제공되며 해당 새 창을 통해 해당 구역에서 식별하기 어려웠던 공정과 상세 목록을 확인할 수 있다. 중첩 공정의 확대 표현은 선형공정표의 X, Y 좌표축이 동시에 연동되어야 하며, 연구에서는 거리 및 공사기간 축의 상호 연동에 의해 적정 축적의 좌표축이 표현되도록 구성하였다.

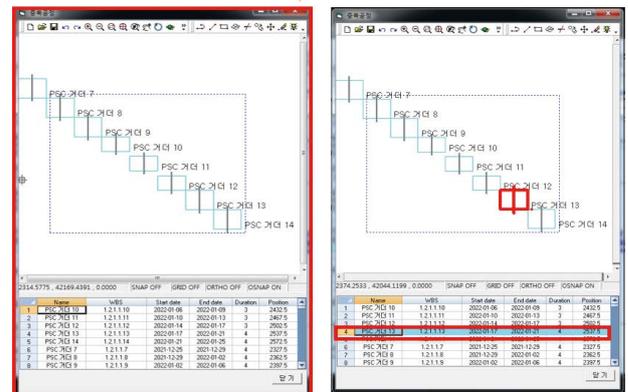
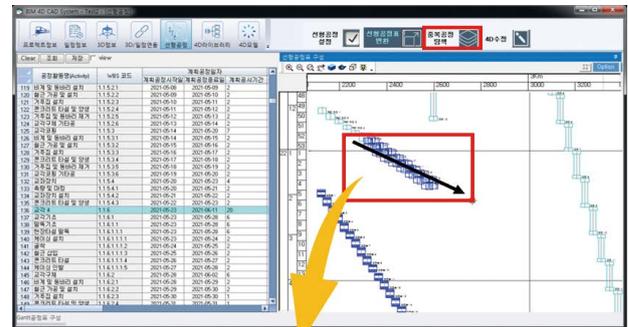


Fig. 20. Expression of overlapping activities

5.5 선형공정표의 활용 방안

선형공정표는 수평적 공간으로 작업이 진행되는 도로, 철도시설 공정에서 작업 위치와 작업기간을 동시에 표현하는 공정표로 기본적인 활용성을 가질 수 있으며, 공정의 계획 대비 진도 표현도 위치와 공사기간 축에서 표현할 수 있다. 초기에 공정정보를 입력하는 단계에서 계획 일정과 실제 시작일 및 종료일, 계획 위치와 실제 작업의 시종점 위치 정보를 입력하면 계획 대비 실제 작업 정보가 선형공정표 축에서 표현된다. <Fig. 21>의 하단 그림에서 (a)는 계획 일정과 계획 위치정보에 기반한 공정표를 표현하고 있고, (b)는 실제 일정과 실제 위치정보로 진행된 공정표를 표현하고 있다. 계획과 실제 정보를 합성하여 표현하면 <Fig. 21>의 상단 그림과 같다. 상단 그림의 선형공정표에서 공정이 회색으로 표기된 부분은 계획 정보를, 청색이나 적색으로 표기된 부분은 현재 시점(청색 실선)에서 실제 진도를 나타낸다. 즉, 현재 진행선을 기준으로 좌측 교각 공정은 당초 계획보다 늦게 진행되었으며 위치도 계획보다 우측으로 이동하여 작업이 진행되고 있음을 파악할 수 있다. 또한, 우측 토공 공정은 당초 계획보다 빨리 진행되고 있으며 위치는 계획 위치와 유사한 지점에서 진행되고 있음을 파악할 수 있다. 이와 같이 선형공정표를 통해 일반공정표로는 파악하기 어려운 계획 대비 실제 일정측면의 진도와 계획대비 실제 작업 위치측면의 차이점을 시각적으로 파악할 수 있다. 이러한 진도관리 기능은 추후에 시스템으로 구축이 가능한 부분이다.

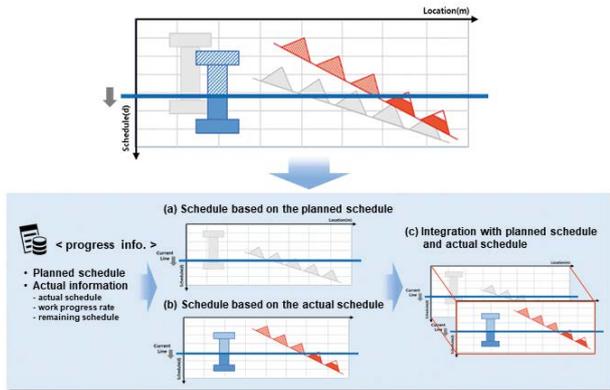


Fig. 21. Progress management using linear schedule chart

6. 결론

건축물과 달리 장대 구간의 수평적 선형공간으로 구성되는 도로, 철도 등의 선형시설물 공사에서는 공정의 시작 및 종료일 정보와 함께 시작 및 종료 위치정보도 주요 공정관리 요소가 된다. 본 연구에서는 공정의 일정정보와 위치정보를 동시에 표현할 수 있는 선형공정표의 구체적 생성 방법

론과 이를 기반으로 하는 선형공정표 구성 시스템을 개발하였다. 이를 위해 선형공정표의 좌표축을 X(거리), Y(기간)축으로 구성한 후 CAD좌표축 체계를 이용하여 거리와 기간의 상이한 좌표축 크기 간 연동 체계를 구축하였으며, 실제 프로젝트 적용에서 좌표축의 축적 변화가 적절하게 구성될 수 있었다. 선형공정표의 활용성을 확보하기 위해서는 실제 프로젝트에서 다수 발생하는 중첩공정의 표현 방법론이 필요하며, 연구에서는 심볼의 4개 좌표 값을 이용한 중첩 면적의 탐색 알고리즘을 구축하였고, 실제 적용에서 단순한 중첩사례는 충분히 표현되나 중첩 면적이 넓은 때는 면적이 아닌 실제 심볼의 겹침 부분 탐색을 고려할 필요도 있다.

연구에서 구축한 방법론과 시스템은 교량공사 사례에 적용하여 효율성을 검증하였으며, 초기 정보로 간트공정표를 구성하였고 위치와 심볼정보를 추가 입력하여 선형공정표로 변환하는 시스템에서 제시된 방법론의 실무적 적용성을 확인하였다. 연구에서 구축한 전환율 산정 기능에서 선형 공정 전환율은 11.3%로 계산되고 전환 대상 공정은 모두 탐색되어 전환됨을 확인하였다.

도로 및 철도 등의 선형시설물에서 공정과 구조물은 축점 거리단위로 관리되므로 위치정보 표현의 필요성이 있으며, 연구에서 구성한 선형공정표 시스템은 선형시설물의 공정 관리에 활용성을 가질 수 있다. 향후 토공을 포함한 보다 복잡한 공정들의 선형공정표 표현을 위한 심볼 구성체계 개선과 선형공정표 기반 진도관리 활용을 위한 기능 및 선형공정표의 4D CAD시스템 연동 체계로 연구가 확장될 필요도 있다. 또한, 실용화 검증을 위해 전문가들의 의견수렴이나 설문조사를 통해 선형공정표를 활용한 시스템의 추가 수정 및 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2021년 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원 사업(21RBIM-B158176-02)으로 수행되었습니다.

References

Amy, K., Wang, S., Medal, L., and Sadatsafavi, H. (2019). "Linear scheduling evaluation and best practices development: Phase 1 Report" *WSDOT Research Report*, Washington State Department of Transport.

Eid, M., Elbeltagi, E., and El-Adaway, I.H. (2019). "Multi-objective simultaneous optimization for linear projects scheduling." *ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*, pp. 561-568.

Han, S.J., Kim, H.S., Park, S.M., and Kang, L.S. (2018).

- “Application of linear schedule chart by linking location information of construction project with horizontal work space.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 38(4), pp. 601-610.
- Jongeling, R., and Olofsson, T. (2007). “A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD.” *Automation in construction*, 16(2), pp. 189-198.
- Lee, J.H., Park S.M., Kim, S.K., and Kang, L.S. (2022). “Linear 4D system using schedule-location charts for infrastructure projects.” *Automation in Construction*, 141.
- Kim, W.J., and Jung, Y.S. (2011). “Effectiveness of linear scheduling method for nuclear power plant construction.” *Proceedings of the Korean Institute of Construction Engineering and Management*, KICEM, pp. 149-150.
- Kenley, R., and Seppanen, O. (2009). “Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies.” *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 2563-2570.
- Lucko, G., and Gattei, G. (2016). “Line-of-balance against linear scheduling: critical comparison.” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law*, 169(1), pp. 26-44.
- Nazila, R.E., Paez, A., and Razavi, S. (2015). “Location-aware scheduling and control of linear projects:introducing space-time float prisms.” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 141(1), 0000916.
- Nazila, R.E., and Razavi, S. (2017). “Uncertainty-aware linear schedule optimization: a space-time constraint-satisfaction approach.” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 143(5), 0001276.
- Rezaei, A. (2015). “Location based scheduling in the form of flow line and its comparison to cpm-bar chart scheduling.” *International Journal of Electronics Mechanical and Mechatronics Engineering*, 5(1), pp. 891-903.
- Ryu, H.G., and Jang, M.H. (2011). “Activity generating method for converting CPM schedule to linear schedule.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 27(1), pp. 161-168.
- Shah, R.K. (2014). “A new approach for automation of location-based earthwork scheduling in road construction projects.” *Automation in Construction*, 43, pp. 156-169.
- Shah, R.K. (2015). “Earthwork planning and visualisation of time-location information in road construction projects.” *Journal of Advanced College of Engineering and Management*, 1(1), pp. 1-9.
- Tang, Y., Liu, R., and Sun, Q. (2014). “Schedule control model for linear projects based on linear scheduling method and constraint programming.” *Automation in Construction*, 37, pp. 22-37.
- TiLOS (2022). <https://tilosamericas.com>, (accessed April. 2022).
- Vico office (2022). <https://vicooffice.dk/en> (accessed April. 2022).

요약 : 도로, 철도 등의 토목시설공사는 제한된 구역에서 공정이 반복적으로 진행되는 건축공사와 달리 수십 km의 수평적 작업공간에서 선형 형태로 공정이 진행되고, 개별 공정은 시점부터 종점까지 거리 단위를 갖는 축점(Station)번호로 관리되고 있다. 이러한 이유로 공정의 작업 위치정보가 주요 관리요소가 되고 있으므로, 일정 정보만을 표현하는 간트공정표기반의 공정관리 체계는 한계점을 가질 수 있다. 본 연구에서는 공정의 시작 및 종료일을 나타내는 일정정보와 시작 및 종료 거리를 나타내는 위치정보를 동시에 표현할 수 있는 선형공정표의 구성 방법론을 제시하고, 이에 근거한 선형공정표 생성 시스템을 개발한다. 연구에서 선형공정표의 좌표축은 X, Y축을 각각 거리와 일정 값으로 구성하였으며, 개별 공정은 작업 내용을 유추할 수 있는 심볼로 표현하여 단순 막대도표 방식 대비 공정표의 시인성을 높였다. 개발된 선형공정표 생성 시스템은 철도시설 교량공사의 실제 공정 데이터를 활용하여 실무적 활용성을 검토하였다.

키워드 : 간트공정표, 선형공정표, 공정관리, 심볼, 위치정보
