

4D CAD시스템의 기능분석 및 선형시설물 적용을 위한 기능 개선 방안

김현승¹, 강인석^{2*}

¹서영엔지니어링 BIM개발팀, ²경상대학교 토목공학과

Functional Analysis of 4D CAD System and Improvement of Function for Applying Linear Construction Project

Hyeon-Seoug Kim¹, Leen-Seok Kang^{2*}

¹BIM Development Team, Seoyoung Engineering Co.,Ltd

²Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

요 약 국내 BIM기술은 건축공사를 중심으로 적용되고 있으나, 최근 정부에서 인프라시설물 BIM적용 의무화를 검토하고 있으므로 토목공사까지 급속히 확대 적용될 것으로 예상된다. 인프라시설물은 광범위한 수평적 공간에서 공정이 진행되므로 BIM기술의 적용은 설계단계의 간섭관리보다는 시공단계의 공정관리 등 사업관리 전반에서 더욱 활용성을 갖게 된다. 4D CAD시스템은 시공단계의 공정관리에 적용되는 대표적인 BIM기술이나 실무적으로 활용할 수 있는 기능의 부족으로 실제 프로젝트에 적용되는 사례는 제한적이다. 본 연구에서는 상용화된 대표적인 4종류의 4D CAD시스템의 기능을 비교분석하여 프로젝트 특성별 선택 기준을 제공하고 실무적 활용성을 갖기 위해 개선되어야 할 기능을 분석하였다. 기능 분석결과로서 시스템별 장단점을 제시하였으며 시스템별 특성 분석으로 사용자의 활용 편리성을 제시하였다. 또한 토목시설물에 적용 가능한 기능 개선을 위하여 선형 4D시물레이션 방법론을 개발하여 인프라 시설물의 시공단계 BIM으로 활용성을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 철도 및 도로시설 공사에서 토공, 교량, 터널 등의 대부분 공정들은 수평적 공간에서 거리 축에 따라 작업이 진행된다. 따라서 단순히 기존 Gantt chart 방식의 4D 표현방법보다는 거리 축에 따라 공정이 표현되는 선형 4D 시물레이션 방법이 보다 실무적으로 도움이 될 수 있다.

Abstract In Korea, BIM technology is applied mainly to building construction projects, but is expected to be applied rapidly to civil engineering projects because the government is currently considering the mandatory application of BIM for infrastructure facilities. Because the infrastructure project is processed in a horizontal work area, the application of BIM technology is more useful in the schedule management of the construction phase than the interference management of the design phase. The 4D CAD system is a typical BIM technology applied to the schedule management in the construction phase, but the application to the actual project is limited due to the lack of practical functions. This study examined the functions of four representative 4D CAD systems commercialized so that the selection criterion can be provided according to the characteristics of the project, and suggests that the functions that should be improved to have practicability. As a result of functional analysis, the application characteristics of each system were analyzed and the user convenience was suggested. In addition, a linear 4D simulation methodology was developed to improve the functions applicable to civil engineering projects, and ways to improve the utilization of the infrastructure projects as the construction phase BIM were suggested. In railway and road construction projects, most activities, such as earthwork, bridges, and tunnels proceed along the distance axis in a horizontal space. Therefore, a linear 4D simulation method, in which an activity is expressed along a distance axis, can be more practically useful rather than a simple 4D simulation method with a Gantt chart.

Keywords : 4D CAD System, BIM, Horizontal Work Area, Linear 4D Simulation, Schedule Management

본 연구의 일부는 2018년 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원사업(18RTRP-B122227-04-000000)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Leen-Seok Kang(Gyeongsang National Univ.)

Tel: +82-55-772-1795 email: lskang@gnu.ac.kr

Received April 18, 2018

Revised (1st June 5, 2018, 2nd July 31, 2018, 3rd August 6, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서 론

3D 설계 객체와 공사일정을 연계하여 공사일정에 따라 3D형태의 공사완성 모습을 연속 시물레이션 하는 4D CAD시스템은 공사 진행의 이해도를 높일 수 있고, 공정 간의 간섭을 사전에 검토하여 대안을 수립할 수 있는 도구가 된다. 또한 계획과 실행진도를 비교 시물레이션 하여 기존의 수치적 진도관리방식을 시각적 방식으로 변화시킬 수 있다. BIM 적용이 증대되면서 시공단계 BIM의 대표적 도구인 4D CAD시스템의 활용은 점차 증대되고 있으며, 특히 건축공사의 적용성은 빠르게 확대되고 있다[1]. 건축공사는 제한된 작업공간에서 수직적으로 반복공정들이 진행되어 공정의 시각화가 용이하고 간섭관리 등의 시각화 효과가 비교적 크다. 반면에 토목공사는 수십km의 광범위한 건설 공간에서 토공사 등의 비 반복적 공정들이 수평적으로 진행되어 공정의 시각화가 어렵고 간섭관리 등의 시각화 효과가 상대적으로 적다. 향후 시스템의 기능 개선을 위해서는 이러한 점을 고려하여 토목공사에 특화된 기능의 구성을 고려할 필요가 있다. 건설공사 실무 프로젝트에 이러한 4D CAD시스템을 적용하기 위해서는 해당 프로젝트관리에 적용할 수 있는 기능을 파악해야 하고, 다양한 상용 시스템들에서 그러한 기능의 구현 여부를 분석해야 한다. 본 연구는 상용 4D CAD 시스템들의 주요 기능별 구성 정도와 활용 방법을 제시함으로써 시스템의 실무적 활용성을 높이고자 하며, 향후 시스템 개발 시에 토목공사 적용 등을 위해 고려해야 할 기능 개선방안을 제시하고 있다.

2000년 초반부터 실무적으로 적용되기 시작한 4D CAD시스템은 관련 연구들에서 다양한 사례들이 발표되고 있으며, 본 연구와 관련성이 있는 연구들은 다음과 같다. Heesom과 Mahdjoubi는 4D CAD 최신동향 연구에서 일정정보와 3D도면정보 연동체계 기능의 개선 필요성을 기술하였고[2], Adam은 대부분의 관련 연구들이 건축공사 중심인 점을 고려하여 도로공사 적용을 통한 토목공사 4D CAD의 필요성을 제안하였으며[3], Hartmann 등은 26개의 테스트프로젝트 적용을 통해 실무적 적용 방안을 제시하였다[4]. 강인석은 스탠포드대학 및 VTT에서 시제품으로 개발한 4D CAD시스템의 기능분석을 시도하였으며[5], 김홍조 등은 증강현실 기능이 가미된 4D CAD 개발사례를 발표한[1] 바 있으나 초기 시스템들의 분석으로 최근에는 사용되지 않는 시스템들에 해당

된다. 비교적 최근에 개발된 상용 시스템으로는 Navisworks [6], Vico Office [7], Synchro Pro [8], Bentley Navigator [9] 등이 대표적으로 활용되고 있다. 최근까지 발표되고 있는 4D CAD 연구사례들은 대부분 건축공사 중심의 시스템 적용사례 연구들이며, 시스템들의 주요 기능을 비교하여 분석한 사례와 토목공사 등에 활용하기 위한 기능 개선 방안을 제시한 연구는 부족하다.

2. 상용 4D CAD 시스템의 활용성 분석

2.1 4D CAD 시스템 기능분석 개요

4D CAD시스템의 기본적 기능은 계획공정의 일정에 따라 순차적으로 시설물의 완성상태를 표현하는 것이며, 이로써 가상현실공간에서 시공 결과 모습을 사전에 확인할 수 있고, 병행 작업에서 발생하는 간섭에 의한 시공성 저하 방지와 공사 참여자들 간의 의사소통을 증진시키는 도구로 활용성을 갖는다. 본 연구에서는 현재 국내외에서 활용 빈도가 높은 상용 4D CAD시스템의 기능을 비교분석하여 향후 개선 또는 추가해야 할 기능을 제시한다. 기능 분석 대상 시스템은 상용 소프트웨어인 Navisworks, Vico Office, Synchro Pro, Bentley Navigator 등의 4종으로 한다. 이러한 시스템들은 시공단계 BIM적용에서 가장 활용도가 높은 시스템들이므로, 향후 유사 시스템 구성 시에 4D CAD시스템의 기능분류체계로 참조할 수 있다. 시스템의 상세 분석은 3개 기능으로 분류하여 시도한다. 4D CAD시스템의 가장 큰 활용 목적이 공사일정별 완성도 시물레이션이므로 이러한 기능을 위한 기본 시물레이션기능과 4D CAD시스템이 공정관리에 활용되므로 일정 시물레이션외의 적용 가능한 분야인 진도관리 기능을 포함한다. 또한 기존의 4D CAD시스템이 시공현상의 단순한 시각적 정보제공에 중점을 둔 수동형 기능인 반면에, 최근에는 현장관리 활용 및 공정최적화 등 다양한 의사결정 정보까지 제시되고 있으므로, 이러한 능동형 기능의 기술적 지원 여부를 포함하여 분석한다.

2.2 Navisworks

2.2.1 4D 기본 시물레이션

Autodesk Navisworks는 Autocad 및 Autodesk Revit 기반 응용프로그램 등에서 작성한 설계 데이터를 다양한 파일 형식으로 호환하여 사용할 수 있다. Navisworks는

Navisworks Manage, Navisworks Simulate, Navisworks Freedom의 3개 기능군으로 구성되어 있다. Navisworks Manage는 공사 정보의 분석, 시뮬레이션 및 조정을 위한 포괄적인 검토 솔루션이며, 다양한 설계 데이터를 단일화된 프로젝트 모델로 통합해 간섭 체크 등의 관리 작업을 수행한다. Navisworks Simulate는 공사 정보의 검토, 분석, 시뮬레이션 및 조정을 위한 기능을 수행한다. Navisworks Freedom은 NWD 및 3D DWF 파일 형식용 뷰어 (viewer)이다. Navisworks의 기본 및 주요 기능 화면 구성체계는 Fig. 1과 같다.

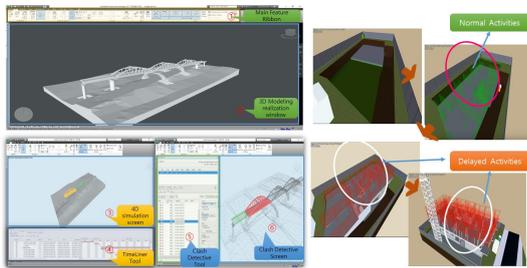


Fig. 1. 4D and progress simulation in Navisworks

2.2.2 진도관리 기능

Navisworks는 TimeLiner 설정을 통해 실제 공정과 계획 공정 간의 비교 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 계획 대비 실제 공정이 빠를 경우에는 4D 시뮬레이션 상에서 차기 진행될 공정을 투명한 황색으로 표시한다. 반면에 계획대비 실제 공정이 느릴 경우에는 차기 진행될 공정을 투명한 적색으로 표시한다. 또한 계획대로 실제 공정이 진행되는 경우 투명한 초록색으로 표시된다. Fig. 1 [10]의 우측그림은 실제 Navisworks에서 구현한 계획 대비 실제 공정의 4D 시뮬레이션이다. 계획대비 정상공정은 진행될 공정이 초록색으로 표현되고, 계획대비 부진공정은 진행될 공정이 빨간색으로 표현되어 나타나 있다. 부진공정과 정상공정을 색깔로 구분할 수 있게 표시하기 때문에 사용자는 계획대비 실제공정 비교 시뮬레이션을 통해 해당 공정에 대한 시공성을 검증할 수 있다.

2.2.3 기타 능동형 기능

Navisworks는 주로 건축 사업에 주로 활용되는 소프트웨어로서 토목 및 철도 공사와 같은 선형시설물 및 광역현장에 특화된 기능이 부족하다. Navisworks는 공정

최적화, 자원관리 및 비용최적화 등의 기능이 다소 부족하나, 간섭체크 또는 설계변경 부분에 검색 가능한 주석 및 메모를 삽입하여 프로젝트 참여자 간의 의사소통에 도움을 줄 수 있다.

2.2.4 Navisworks 분석 결론

Navisworks는 BIM 모델과 연동되어 있는 공정정보 및 속성정보를 전체적으로 파악할 수 있는 도구로서 활용성을 갖고 있다. 또한 Navisworks는 Autodesk 제품군과의 높은 호환성을 통해 BIM 활용성을 높일 수 있다. TimeLiner 모듈에서는 Gantt 차트 기반의 우수한 4D 시뮬레이션을 구현할 수 있으며 애니메이션 녹화, 4D 시뮬레이션과 간섭 검토를 연동하여 프로젝트의 시간기반 간섭을 확인할 수 있는 기능은 실무적으로 유용한 기능이다.

2.3 Vico Office

2.3.1 4D 기본 시뮬레이션

Vico Office는 미국 Trimble사에서 제작한 4D/5D 통합 BIM 솔루션으로 3D모델을 기반으로 문서관리, 수량산출, 공정진도관리 등을 수행할 수 있다. Vico Office는 9가지 모듈로 구성되어 있고, 각 기능들이 독립된 모듈로 구성되어 있기 때문에 사용자의 요구에 따라 필요한 모듈로 구성하여 사용할 수 있다. Vico Office의 기본 화면구성체계는 Fig. 2와 같다. Vico Office의 4D 기본 시뮬레이션은 GCScheduler와 Schedule Planner 두 가지 패키지를 이용하여 4D 시뮬레이션을 구현한다. 이 두 가지 패키지의 차이점은 GCScheduler는 모델기반의 공정계획을 지원하는 솔루션이고, Schedule Planner는 Primavera 또는 MS Project와 같이 모델과 연계되지 않은 순수 공정계획 솔루션이다. 4D 시뮬레이션을 구현하기 위해 ArchiCAD, Tekla, Revit 등에서 Vico Office로 3D모델을 가져 올 수 있으며, 이때 정보의 손실 없이 3D 모델이 가지고 있는 정보를 함께 연동할 수 있다.

Vico Office의 모듈 중 시공성 분석 및 간섭검토를 수행하는 모듈은 Constructability Manager이다. 해당 모듈은 간섭검토를 위한 BIM 모델 조합, 자동간섭검토, 검토 사항 3D 마크업, 2D 도면과 3D 모델을 비교분석 가능 및 각종 시각화 보고서 생성 등을 지원하고 있다.

2.3.2 진도관리 기능

Vico Office는 Fig. 2의 우측과 같이 Schedule Task

Control Chart를 활용하여 계획 및 실제 일정을 비교하여 공정진행 현황을 파악할 수 있다. 실제 일정을 입력하여 차트로 표현하게 되는데, 차트의 y축은 프로젝트를 구역별로 나눈 Zone을 의미한다. Vico Office는 3D 모델의 위치 정보를 활용한 LBS기반의 Zoning계획이 가능하다. 각 구역을 나누어 설정한 구역에 따라 일정 및 비용 계획 정보를 파악할 수 있으며 구역별 수량을 검토할 수 있다. x축은 공종을 나타내며, 그에 해당하는 활동(activity)들의 위치정보(y축)와 함께 차트에 표시된다. 차트에서 완료된 공정은 초록색, 진행 중인 공정은 파란색, 진행 중이나 계획대비 지연된 공정은 노란색 등으로 표시된다. Vico Office는 4D/5D에 특화된 소프트웨어로서 Zoning계획에 따라 특정 위치에 필요한 수량, 작업인원 등을 적용하여 각 작업에 최적화된 일정을 찾아낼 수 있는 특징을 갖고 있다.

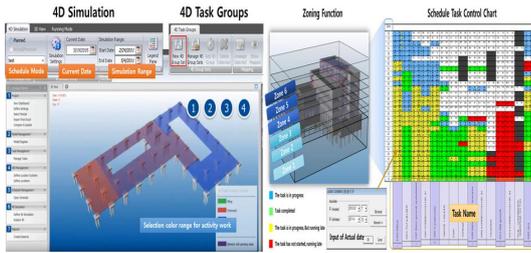


Fig. 2. 4D and progress simulation in Vico Office

2.3.3 기타 능동형기능

Vico Office 기능에서 토목공사 시설에 특화된 선형 시설물 및 광역현장에 특화된 기능은 구성되어 있지 않다. Vico Office의 Cost Planner 모듈에서는 물량정보를 확인함과 동시에 물량정보 산출근거 및 해당 객체까지 확인이 가능하다. 해당 객체는 WBS 코드별로 구분되어 있으며, 이러한 분류는 사용자가 입력하여 분류하여야 한다. 이러한 물량산출을 통해 분류체계별 모델에 따라 내역, 일위대가 등의 공사비 정보를 산출할 수 있다.

2.3.4 Vico Office 분석 결론

Vico Office의 설계 모델의 간접검토 수행은 일부 제한적이지만 4D/5D 특화된 기능들을 갖고 있다. 공정계획 및 Bar차트, Network차트, LOB차트 등을 지원하며 다양한 차트를 통해 사용자는 공정의 진행률을 보다 용이하게 확인할 수 있다. Vico Office의 리비전 관리를 이

용하면 설계변경 전후 도면을 비교하여 설계 변경된 부분을 특정부분으로 표시하여 사용자가 변경된 부분을 보다 쉽게 인식할 수 있도록 지원하고 있다. 이러한 기능은 4D 소프트웨어 중 Vico Office의 특화된 기능으로 평가된다. 또한 진도관리 기능은 5D와 연계된 위치기반 진도관리 및 현장 진도 예측이 가능하고, 위치기반의 zoning 계획으로 광범위한 현장의 공구별 관리가 가능한 점도 유용한 기능으로 파악된다.

2.4 Synchro PRO

2.4.1 4D 기본 시물레이션

Synchro PRO의 기본 화면 구성체계는 Fig. 3과 같다. 3D 메뉴를 통해 3D 창을 조작할 수 있으며, Play 메뉴를 활용하여 4D 애니메이션 또는 Gantt 차트 및 3D 창을 컨트롤 할 수 있는 기능이 포함되어 있다. Navigator 메뉴를 통해, Resource Profiles, Filter, 3D Path, Animations 등 정보의 카테고리 별로 구성되어 있어 사용자의 목적에 따라 액세스할 수 있다. Synchro Pro에서 4D 시물레이션은 3D 창에서 구현할 수 있다. Synchro PRO는 4D 시물레이션을 구현하기 위해서 다양한 3D 정보 (AutoCAD, Revit, IFC 등)와 일정정보 (MS Project, Primavera 등)를 Import 할 수 있으며, 불러들여진 정보들은 Auto-matching 기능을 통해 모델이 포함되어 있는 객체의 정보 조건을 만족시키는 경우 공정을 자동으로 연결하는 특징이 있다.

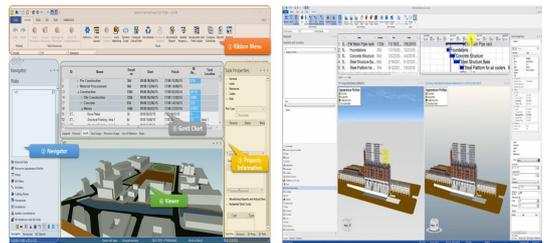


Fig. 3. 4D and progress simulation in Synchro Pro

Synchro PRO에서 3D 객체를 Import 한 뒤 시스템 상에서 일정정보를 입력할 수 있으며, 장비, 인력, 비용 등 다양한 정보를 입력할 수 있다. Synchro PRO는 단순한 일정 4D 시물레이션뿐만 아니라 계획일정, 실제일정, 주공정, 참여 회사별 등 다양한 조건을 입력하여 사용자의 필요에 맞는 정보를 4D 시물레이션으로 구현할 수 있다.

이 기능은 사용자의 목적에 따라 필요한 정보만을 제공할 수 있도록 함으로써 업무에 편리함을 제공할 수 있다.

2.4.2 진도관리 기능

Synchro PRO는 Fig. 3의 우측과 같이 4D 시뮬레이션 창을 구분하여 상호 비교할 수 있는 특징이 있다. 측면, 정면 등 여러 각도를 비교하여 4D 시뮬레이션을 진행할 수 있으며, 계획일정과 실제 진행일정, 주공정 등 여러 조건을 입력하여 4D 시뮬레이션을 비교할 수 있다. 이러한 기능을 통해 사용자는 계획일정과 실제일정 시뮬레이션을 동시에 구현하여 실제 일정이 계획일정 대비 지연 혹은 초과하였는지를 비교할 수 있다. 또한 계획일정과 Synchro PRO에서 제공하는 최적일정을 비교하여 계획일정에 대한 재검토를 통해 진행현황에 따라 일정을 재수립할 수 있는데 도움을 준다. Synchro PRO는 3D 객체들 간의 간섭 최소 간격 등을 지정하여 공간 간섭이 일어나는 부위를 체크할 수 있어 건설 공사 진행 중에 발생할 수 있는 문제를 사전에 발견하여 진도 관리 업무에 도움을 줄 수 있다.

2.4.3 기타 능동형기능

Synchro PRO는 건축위주의 4D 및 5D BIM 소프트웨어로 토목 및 철도 공사와 같은 선형시설물 및 광역현장에 특화된 기능이 부족하다. 반면에 Task에 입력된 비용, 자원 등을 분석하여 프로젝트의 일정에서 리스크로 인해 일어날 수 있는 일정 지연이나 비용에 대해 추가로 사용자에게 알려주어 리스크를 대비할 수 있도록 하는 기능을 갖고 있다. 또한 추출된 주공정과 자원(인력, 자재 등) 평준화 기능을 토대로 공정 최적안을 제공할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 이러한 공정 최적화 기능을 통해 공기 단축, 비용 감소 등과 같은 효과를 얻을 수 있다.

2.4.4 Synchro PRO 분석 결론

Synchro PRO는 타 소프트웨어 대비 다양한 Filter기능을 통해 입력된 정보들을 사용자의 목적에 맞게 다양하게 분류하여 확인할 수 있다. 4D 시뮬레이션 시 창을 분할하여 시각적으로 진도 차이를 확인할 수 있고, 리스크분석, 작업공간 충돌 분석 기능으로 사용자에게 공사 일정 지연 방지 및 안전사고 등을 사전에 방지하도록 관련 정보를 제공한다.

2.5 Bentley Navigator

2.5.1 4D 기본 시뮬레이션

Navigator는 4D 시뮬레이션이 가능한 Navigator V8i와 Windows, iOS, Android 운영체제를 지원하는 PC, 태블릿, 스마트폰 등에서 실행 가능한 Navigator CONNECT Edition으로 분류되어 있고, 현장 관리자가 보다 신속하게 프로젝트 일정을 개선할 수 있도록 협업 기능을 지원하고 있다. Navigator V8i의 일정 시뮬레이션 기능을 사용하면 3D 객체 데이터를 일정 정보와 통합하여 일정에 따라 3D 객체를 시각화할 수 있다. Fig. 4는 Navigator V8i의 4D 시뮬레이션 구동화면이다. Navigator의 4D 시뮬레이션 특징은 속성 정보 창에서 특정객체를 On/Off하여 객체에 대한 시공과정을 자세히 파악할 수 있다. Navigator V8i와 Navigator CONNECT Edition은 모두 설계 단계에서 모델 기반의 간섭검토를 지원하고 있다.

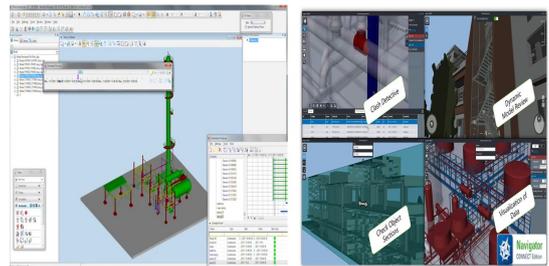


Fig. 4. 4D and progress simulation in Navigator

2.5.2 진도관리 기능

Navigator는 모델 기반의 검토 및 협업에 특화된 소프트웨어이기 때문에 공정 비교 및 진도예측 등의 진도 관리에 특화된 기능이 일부 부족하다. Navigator는 4D 시뮬레이션을 동영상 파일로 제작이 가능하며, 이러한 기능을 통해 사용자는 특정 공정에 대해 상세한 공정 검토가 가능하여 진행될 공정에 대한 이해도를 증진시킬 수 있다.

2.5.3 기타 능동형기능

Navigator는 주로 플랜트 및 건축 사업에 주로 활용되는 소프트웨어로서 토목 및 철도 공사 등의 선형시설물 및 광역현장에 특화된 기능이 부족하다. Navigator는 결과물 관리, 사안 해결 및 설계검토 등의 관리를 위한

하이브리드 클라우드 서비스가 추가된 Navigator CONNECT 에디션을 제공하고 있다. Navigator CONNECT는 모델 기반의 검토를 수행할 수 있으며, 특정 뷰 저장, 모델 및 레벨별 객체 뷰, 데이터 시각화, 다이나믹 리뷰, 이슈관리, 간섭검토 등을 지원하고 있다.

2.5.4 Navigator 분석 결론

Navigator는 건설공사 프로젝트 참여자 간의 협업 및 검토를 위한 소프트웨어 기능을 다수 갖고 있다. 능동형 기능으로는 모델 기반의 간섭검토, 다이나믹 리뷰 및 데이터 시각화를 지원하며 이러한 기능들은 Windows, iOS, Android 운영체제를 지원하는 모든 기기에서 사용 가능하여 현장의 관리자, 사무실관리자 뿐만 아니라 발주자 간의 협업 및 업무회의를 지원할 수 있다.

3. 상용 4D CAD시스템 기능분석 결과

3.1 기능 분석 요약

기존 상용화된 4D CAD시스템의 주요 기능을 분석한 결과는 다음과 같다.

기본 4D 시뮬레이션은 대부분의 소프트웨어에서 유사한 수준으로 표현되고 있다. Navisworks는 계획대비 애니메이션 기능을 통해 발주처의 업무처리에 활용이 가능하나, 진도관리 특화 기능이 다소 부족하다. Vico Office는 2D도면기반 좌표를 활용한 zoning)계획 기능을 통해 특정 위치 및 구역에 대해 공정정보를 검토할 수 있으나, 간섭검토 기능이 다소 부족하다. Synchro PRO는 양화면으로 분할된 화면에서 계획과 실제공정간 진도를 비교할 수 있는 4D 시뮬레이션을 지원하고 있고, 현재 진행 상황에 따라 발생할 수 있는 리스크를 분석하여 제공하지만, 간섭관리에 특화된 기능이 다소 부족하다. Navigator는 4D 시뮬레이션 객체를 동영상과파일로 제작이 가능하나, 공정 진도관리에 특화된 기능이 다소 부족하다.

최근 실무에서 대표적으로 활용되고 있는 4개의 상용 소프트웨어들은 기본적인 4D 시뮬레이션, 진도관리 기능 등은 지원하고 있으나, 광역현장과 다량의 토공 공정으로 구성된 토목시설 프로젝트에 적합한 기능은 갖추지 못하고 있다. 철도 및 도로 등의 수평적 공간에서 수십 km로 사업구간이 구성되는 선형시설물은 4D 객체와 합

계 위치기반 정보를 연동하여, 사업구간의 거리별로 주요 공종의 시뮬레이션 현황관리가 가능한 기능들이 필요하다. 이러한 기능의 부재는 토목시설물의 4D CAD 활용을 저해하는 요소가 되고 있으며, 향후 우선적으로 요구되는 기능 개선 사항으로 파악되었다. 아래의 Table. 1은 상용 4D CAD 소프트웨어의 기능 분석결과를 정리한 것이다. 각 소프트웨어별로 기본 4D 시뮬레이션, 진도관리기능, 선형시설물 및 광역현장 적용기능 및 기타 능동형 기능으로 구분하여 주요특징을 정리하였다.

Table 1. Analysis results of current 4D CAD systems

	Navisworks	Vico Office	Synchro PRO	Navigator
Basic 4D simulation function	<ul style="list-style-type: none"> ■ 4D simulation performed with excellent compatibility with the Autodesk product family ■ Utilization of 4D animation and interference management 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Function to adjust and create schedules in software ■ Revision management for design changes 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Various filters can be used to classify 3D objects according to purpose 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 4D simulation can be produced as video file ■ Timeline and process panel in Gantt chart format
Progress management function	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verification of the workability of the schedule through the compared simulation of actual process vs. planned 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5D-linked location-based progress management and field progress prediction ■ Gantt chart, resource graph, and construction cost flow enable model-based construction progress management 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Comparing the 4D simulation for each schedule is possible to grasp the difference in progress ■ Analyze the risks that may occur depending on the current progress 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Interference management functions are mainly expressed
application function for linear project with wide work area	<ul style="list-style-type: none"> ■ No special functions for linear project and wide field applications 	<ul style="list-style-type: none"> ■ No special functions for linear project and wide field applications 	<ul style="list-style-type: none"> ■ No special functions for linear project and wide field applications 	<ul style="list-style-type: none"> ■ No special functions for linear project and wide field applications
Other active function	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cooperation with tablet PC and smart phone, cloud-based collaboration ■ Support for communication between project members with notes for interference checking or design change management 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Calculation of cost information such as cost and unit price, etc. according to model by classification system ■ Zoning plan can be used for a wide range of work area management 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Identify the main activities and level them on the basis of them to provide an optimized schedule 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Create visual reports after 4D simulation and interference review to support collaboration among project participants ■ Perform model-based interference review

이러한 시스템별 특징은 적용하고자 하는 프로젝트의 공종 복잡성, 진도관리의 중요성 등에 따라 선택적 적용 기준이 될 수 있다.

3.2 상용 4D CAD시스템의 실무활용 문제점 분석

기존에 활용중인 대표적 상용 4D CAD시스템의 기능 분석 결과 각 시스템이 공통적으로 갖고 있는 실무 활용상의 문제점은 다음과 같다.

1) 일정대비 완성도 시물레이션 중심의 단순 기능 구성

상용화된 4D CAD시스템의 대부분이 일정대비 공사 완성도의 시물레이션 중심 기능으로 구성되어 단순한 공정의 시각화 이외에 추가적 활용도를 갖지 못하고 있다. 실무적 활용도를 높이기 위해서는 단순 시물레이션기능 이외에 증강현실객체의 연동 활용, 웹카메라에 의한 실제 현장모습 연동기능 등 다양한 현장관리 기능을 구성함이 필요하다.

2) 직관적 진도관리 기능의 부재

4D CAD활용의 가장 큰 장점이 공정정보의 시각화이나, 계획대비 실행진도를 비교하여 시각적으로 표현하는 진도관리 시각화기능이 상대적으로 부족하다. 특히 시각화의 장점을 최대화하기 위해서는 정보 해석이 아닌 계획대비 현 시점의 공정현황을 직관적으로 파악할 수 있는 기능 구성이 요구된다. 이를 위해서는 웹카메라와 스마트폰 등 현장에서 사용 중에 있는 실제 영상정보를 4D 객체와 비교하여 계획대비 실제 진도를 직관적으로 파악할 수 있도록 하는 시물레이션 기능 구성이 도움이 될 수 있다.

3) VR표현에 의한 실제 현장상황과의 괴리감

4D객체로 시물레이션 되는 공정은 VR형식의 컴퓨터 그래픽으로 표현되는 그림이므로 현장의 실제 모습과 괴리감을 갖고 있고, 이로 인하여 현장 실무자는 4D객체의 활용에 적극성을 갖지 못하고 있다. 이러한 괴리감을 최소화하기 위해서는 실제 현장영상에 AR객체를 연동하여 시물레이션 하는 기능들이 요구된다. 즉, 현재의 공정 실제 완성모습에 향후 6개월 및 1년 후의 완성되는 모습을 AR객체로 연동하여 시물레이션 함으로써 현장 실무자에게 4D객체의 현장과의 괴리감을 최소화할 수 있다.

4) 설계 객체와 시공 객체의 조합기능 부재

공사정보의 BIM적용은 설계단계의 3D 모델링에 집중되는데, 실제 시공단계 적용을 위해서는 기 작성된 3D 객체의 활용이 어렵거나 많은 수정작업이 필요하기 때문에 공정 시물레이션기능 구현에 직접 사용하는 것이 용이하지 않다. 시공단계 4D CAD 적용을 고려한다면 설계단계의 3D 객체 생성은 시공단계의 활동과 연계되어 분할된 객체로 작성되어야 한다. 즉, 슬라브의 경우 설계를 위한 3D객체는 한 단면으로 작성되나 시공은 현장 조건에 따라 분할 타설하게 됨으로 시공단계의 공정관리를 위해서는 구분하여 모델링이 되어야 한다. 기존 상용 시스템에서는 이러한 3D객체의 공정별 분개 기능이 부족하여 실무적 활용 시에 장애요인이 된다.

5) 수평적 공간의 토목 공사 적용 어려움

기존 상용시스템들이 대부분 제한된 구역에서 수직적 작업으로 구성되는 건축공사에 적용하는 것은 문제가 없으나, 다량의 토공사로 구성되고 수평적 작업공간에서 선형적 공정으로 구성된 토목공사에 적용하는 것은 기능상 부족한 부분이 많다. 즉, 자연지형조건에서 삼각망 좌표에 의해 선형축으로 다량의 절토 및 성토 작업이 진행되는 토공사와 수십 km에 이르는 광역 공사현장의 공정을 4D객체로 표현하기 위해서는 기존의 단순 공사일정별 시물레이션 기능외에 선형축에 따른 공정의 작업위치 정보 연계와 공구별 관리 기능이 필요하다.

4. 선형시설물 4D CAD 특화 기능 구성 방법론

4.1 선형시설물의 공정관리 특성

4D CAD 기능은 토목에 비해 건축공사에서 활발하게 적용되고 있으며 이는 건축공사가 비교적 수직적 작업으로 진행되고, 좁은 구역에서 반복적 작업들로 공사가 진행됨으로 4D 시물레이션의 구축과 운영 측면에서 효과가 높기 때문이다. 반면에 도로, 철도 등의 선형시설물은 자연지형의 절토 및 성토작업, 수평적 작업 진행, 넓은 작업구역, 비반복적 공정들의 거리 단위 작업관리 등의 특징으로 건축에 비해 상대적으로 4D CAD 운영이 어려운 실정이다. 이러한 점의 개선을 위해서는 공정별 일정정보와 거리 위치좌표가 동시에 표현되는 선형공정표

구성 기능이 갖추어져야 하고, 이러한 선형공정표와 4D 객체가 연동되어 시뮬레이션이 가능한 체계가 필요하다.

Tilos 공정관리시스템 [10]의 사례를 Fig. 5에서 보면 기존 공정표와 선형공정표의 표현방식을 구분할 수 있다. 그러나 Tilos는 일부 선형 공정 표현이 가능하나 BIM 객체와 연동이 불가능한 2D개념의 공정표만을 제시하고 있다. 즉, 4D 시뮬레이션을 위해서는 별도의 엔진을 개발하여 연계시키는 기능이 필요하므로 BIM기반 공정관리시스템으로 운영이 불가능하다.

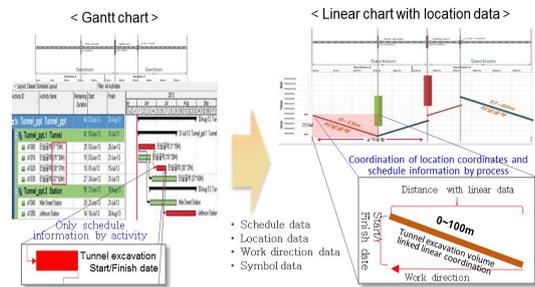


Fig. 5. Comparison of Gantt chart and linear chart

일반적으로 도로, 철도 등의 선형시설물 공사를 4D로 구현할 때 발생하는 대표적인 제약 요소로는 많은 토공 작업과 비반복적인 공정에 대한 3D 객체의 생성 및 4D 객체 표현의 한계 등이 있다. 즉, 선형시설물은 광범위한 공사 연장에서 거리단위의 축점 간격별로 모든 공정이 진행되므로 선형에 따른 위치 정보가 4D 시뮬레이션 객체에 같이 표현될 때 공정관리가 용이해진다. 상용화된 4D CAD시스템에서는 이러한 기능이 없으므로, 토목시설물에 4D CAD를 실무적으로 활용하기 위해서는 위치에 따른 선형 시뮬레이션 기능이 우선적으로 필요한 기능이다.

4.2 선형공정표 좌표 구성 체계

선형시설물의 공정관리를 위해서는 위치정보와 일정 정보를 동시에 표현할 수 있는 선형공정표의 좌표구성 체계와 이를 4D 시뮬레이션으로 나타낼 수 있는 위치 및 일정 정보의 연동 방법론이 필요하다. 연구에서는 선형 축으로 진행되는 시설물공사에 적용할 수 있는 선형 공정표와 4D 시뮬레이션객체의 연동을 위한 좌표 구성 방법을 제시한다. 4D CAD에 표현되는 Gantt차트기반 공정표에서는 가로축(X축)이 일정정보, 세로축(Y축)에

공정명을 나타내어 공정의 시작일과 종료일과 같은 일정 정보만을 제공하고 있다. 반면에 공정의 작업위치 정보를 갖고 있는 선형공정표에서는 가로축(X축)이 위치정보, 세로축(Y축)을 일정정보를 나타내도록 하여 공정을 특정 symbol로 표현함으로써 공정별 작업명, 작업방향, 작업 위치 및 작업 일정까지 나타낼 수 있다.

Fig. 6은 기존의 Gantt 공정표에 있는 활동 (activity)을 위치좌표를 갖는 선형공정표로 변환하기 위해 필요한 좌표 구성 체계를 나타내고 있다.

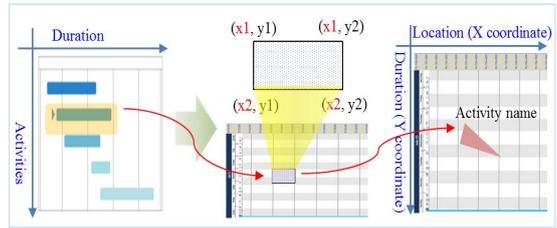


Fig. 6. Coordinate system for conversion of Gantt chart to linear schedule chart

연구에서는 선형공정표의 구성을 Fig.6과 같이 X축에 거리단위를 표현하고, Y축에 공사일정을 표현하는 방식으로 제시한다. 이러한 방식에서는 Y축에서 하향방향으로 공기가 진행되면서 상단의 X축에서 활동의 시작위치 및 종료 위치가 동시에 표현이 가능하므로, 도로 및 철도 등의 선형시설공사에서 토공사와 터널공사 등 수평적 공간에서 진행되는 작업들의 공정 표현이 용이해진다. Fig. 6에서 좌측의 Gantt 공정표에 있는 임의 활동을 우측의 선형공정표로 변환하기 위해서는 중앙부분에 표현한 바와 같은 좌표 변환과정이 필요하다. 즉, 모든 개별 활동은 시작일자, 종료일자, 시작위치, 종료위치의 4개 정보를 갖고 있으므로 4개 값의 좌표 범위 내에서 활동을 도형으로 표기하는 방식이다.

4.3 선형 시뮬레이션 기능 구성

선형 공정표 방식은 고속도로, 철도, 파이프라인, 터널공사와 같이 공사연장이 수십 km이상으로 구성된 선형프로젝트의 공정관리에서 전체 공사구역에 대한 진행 상황을 파악하기에 용이하다. 4D CAD시스템의 기능개선을 위해서는 이러한 선형 공정표 구성 기능의 추가와 선형공정표의 공정과 4D객체가 연동되는 기능 구성이 필요하다. Fig. 7은 선형공정표가 4D시뮬레이션 객체와

연동되는 모습을 표현하고 있다. 선형공정표가 4D CAD와 연동되면 상단에서 4D객체가 시물레이션 될 때 하단 선형공정표에서 진행되는 공사기간에 따라 해당 공정의 사업구간 내 작업 위치가 동시에 표현된다. 이로써 선형 시설물 프로젝트에서 수십km의 선형 작업구간에 해당하는 공정의 작업위치와 공사기간에 따른 4D시물레이션 객체를 동시에 파악하여 보다 효과적인 공정관리업무를 수행할 수 있다.

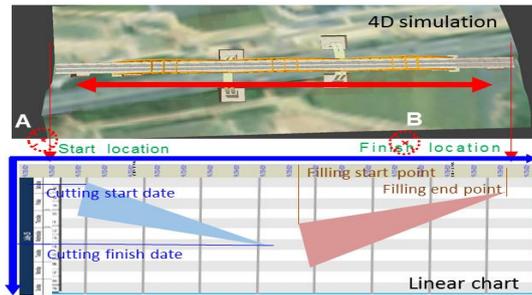


Fig. 7. Simultaneous simulation of linear chart and 4D object

Fig. 7의 하단은 선형공정표를 나타내고 있고, 여기에 표기된 샘플 도형은 각각의 공정이 절토와 성토를 의미한다. 상단의 4D화면에서 현재 시물레이션되는 토공 공정의 일정 및 위치좌표가 하단의 선형공정표에 연동되어 표기되는 방식이다. 각 공정의 시작 및 종료일이 좌측의 Y축에 표기되고, 상단의 X축에는 작업의 시작 및 종료 위치 정보가 표기되어 공정별 작업의 일정정보와 위치정보를 동시에 파악할 수 있으므로 선형공간에서 작업이 진행되는 공정에 활용성을 갖게 된다. 이러한 방식으로 일정구간의 철도노선에 적용된 전체 시물레이션 모양은 Fig. 8과 같다.

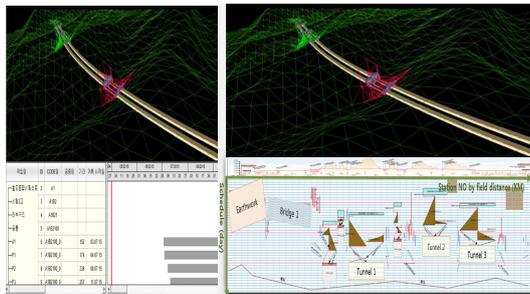


Fig. 8. Simulation function in current 4D and linear 4D CAD systems

Fig. 8의 좌측은 기존 4D CAD시물레이션 화면이고 우측은 동일한 공정들에 대하여 선형공정표 기반의 4D CAD시물레이션 화면이다. 즉, 좌측 그림에서 터널공사는 공정의 시작 종료일에 따른 완성도만을 표현하고 있으나, 우측 그림에서는 동일한 터널공정의 시작 및 종료일이 하단의 Y축 좌표에 표현되고, 상단의 X축에서 시작위치 (Station No 1+500km)와 종료위치 (Station No 3+500km)의 거리좌표를 동시에 확인할 수 있다.

5. 결 론

최근 건설공사에 BIM기술 적용이 급속도로 확대되고 있고, 4D CAD 공정관리시스템은 시공단계 BIM기술의 대표적 활용 도구로서, 현재의 2차원 개념의 공정관리도구들은 향후 4D CAD시스템으로 대체될 수 있다. 최근 4D CAD시스템은 다양한 상용 시스템들이 개발되면서 건축 및 플랜트공사를 대상으로 활용사례가 증대되고 있으나, 여전히 실무적 기능 면에서 여러 가지 문제점을 갖고 있다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 실무적으로 활용도가 높은 대표적인 4개 종류의 4D CAD시스템에 대한 기능분석을 시도하였고, 대표적 기능인 4D 시물레이션, 진도관리 기능들은 대부분 유사한 성능을 갖고 있는 것으로 분석되었다. 시스템별로 간섭관리, 진도관리 등에 특화된 기능으로 구성되어 있고 이러한 분석결과는 프로젝트의 특성에 적합한 시스템 선택 기준으로 활용될 수 있다.

둘째, 분석 대상의 모든 시스템에서 선형시설물 프로젝트에 적합한 시물레이션 기능이 부족하였으며, 향후 4D CAD시스템이 토목공사 프로젝트로 확대 적용될 것을 예상하면 이러한 기능은 우선적으로 필요한 개선 기능으로 분석되었다.

셋째, 연구에서는 선형 시설물에 적합한 시물레이션 기능으로 공사일정과 함께 공정의 위치정보를 동시에 표현하는 선형공정표의 4D CAD연동 방법론을 제시하였고, 이러한 방법은 도로 및 철도 프로젝트와 같이 광범위한 선형적 공간에서 거리단위로 공정이 관리되는 토목시설 프로젝트에 적용성을 갖게 된다.

References

- [1] H. Kim, C. Kim, H. Jeong, S. Ha, K. Kim, H. Kim, "4D CAD Drawings based on Marker-based Augmented Reality", *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.16, No.4, pp.30-40, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2015.16.4.030>
- [2] D. Heesom, L. Mahdjoubi, "Trends of 4D CAD applications for construction planning", *Construction Management and Economics*, Vol.22, No.2, pp.171-182, 2004.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/0144619042000201376>
- [3] A. Platt, "4D CAD for highway construction projects", Technical Report No.54, Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, Aug. 2007.
- [4] T. Hartmann, J. Gao, M. Fischer, "Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.134, No.10, pp.776-785, 2008.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:10\(776\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776))
- [5] L. S. Kang, "Improving 4D Modeling System through a Comparative Analysis of 4D Functions for Construction Management", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.18, No.10. pp.85-92, 2002.
- [6] <https://www.autodesk.co.kr/products/navisworks/overview> (accessed May. 2018)
- [7] <http://gc.trimble.com/product-categories/vico-office-design> (accessed May. 2018)
- [8] <https://www.synchroltd.com/products/synchro-pro> (accessed May. 2018)
- [9] <https://bentley.com/ko/products/brands/navigator>(accessed May. 2018)
- [10] <https://www.tilos.org>(accessed May. 2018)
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=Bs8c0M5XERI> (accessed May. 2018)
- [12] <http://gc.trimble.com/product/location-breakdown-manager>(accessed May. 2018)
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=s4puSZJAZXE0> (accessed May. 2018)

김 현 승(Hyeong-Seung Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경상대학교 대학원 (공학석사)
- 2016년 2월 : 경상대학교 대학원 (공학 박사)
- 2018년 6월 ~ 현재 : (주)서영엔지니어링 BIM개발팀 과장

<관심분야>
건설관리, BIM

강 인 석(Leen-Seok Kang)

[정회원]



- 1991년 10월 ~ 현재 : 경상대학교 교수
- 2013년 11월 ~ 2015년 11월 : 한국건설관리학회 회장
- 2017년 1월 ~ 2017년 12월 : 한국구매조달학회 회장

<관심분야>
건설관리, BIM