

3차원 지형자료와 토목 BIM의 사례적용 연구

Case Study of Civil-BIM & 3D Geographical Information

박재선¹⁾ · 편무욱²⁾ · 조준호³⁾ · 이건호⁴⁾

Park, Jae Sun · Pyeon, Mu Wook · Jo, Jun Ho · Lee, Gun Ho

Abstract

Recently the establishment of high accuracy 3D spatial information has been largely stimulated according to the increase in need of such 3D spatial information. In the fields of constructions and civil works, studies on increasing the productivity in these fields through converging them with other fields using the established 3D spatial information have been conducted. In such a tendency, BIM (Building Information Modeling) technologies have been rapidly applied to the fields of constructions and civil works. In particular, in the fields of constructions and civil works that represent a life span of plan-design-construction-maintenance, some BIM application methods and plans for the characteristics in each step have been proposed. Thus, the objective of this study is to simulate a project that is reasonable and can be optimized in connection with 3D spatial information and BIM technologies escaped from the conventional civil construction process that is based on empirical, statistical DB, and 2D information. For achieving this objective, 3D terrain data for the subject area engaged in this study using aerial photographs and airborne LiDAR was established. Also, a counter plan for the issues, which cannot be solved in the conventional methods for managing civil work projects, is applied through implementing bridge-based civil structure BIM by combining them with objective information.

Keywords : Aerial Photogrammetry, Aerial LiDAR, 3D Geographical Information, Civil BIM, Construction

초 록

최근 3차원 공간정보 수요의 증가로 인해 고정밀의 3차원 공간정보 구축이 활성화 되고 있다. 이렇게 구축되고 있는 3차원 공간정보를 활용하여 건설 토목분야에서는 타 분야와의 융합을 통해 그 생산성을 높이기 위해 다양한 연구가 진행 중이다. 이러한 추세로 건설 및 토목분야에서의 BIM(Building Information Modeling) 기술이 빠르게 적용되고 있다. 특히, 계획-설계-시공-유지보수와 같은 생애주기를 지닌 건설 토목 분야에서는 각 단계별 특징에 맞도록 BIM 활용 방법 및 방안 등이 제시되고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 경험적, 통계적 데이터베이스와 2차원 정보를 바탕으로 시행된 토목공사 프로세스에서 벗어나 3차원 공간정보와 BIM 기술을 연계하여 합리적이고 최적화 가능한 프로젝트를 시뮬레이션 하기 위함에 있다. 이를 위하여 항공사진과 항공라이다를 이용하여 연구지역에 대한 3차원 지형데이터를 구축하였으며, 구축된 지형데이터와 교량 구조물 설계자료와의 통합 BIM 모델을 구축하여 실험지역에 적용함으로써 그 활용성을 사례를 통해 분석하였다.

핵심어 : 항공사진측량, 항공라이다, 3차원 공간정보, 토목 BIM, 건설정보화

1. 서 론

최근 국내는 물론 국외에서도 3차원 공간정보 인프라

구축과 활용 및 유통을 위해 정부차원의 정책적 지원과 투자가 증가하고 있으며 다양한 분야에서 3차원 공간정보의 획득 및 활용이 활발히 이루어지고 있다(국토해양

1) 정희원 · 건국대학교 신기술융합학과 박사과정(E-mail : xteen88@konkuk.ac.kr)
2) 교신저자 · 건국대학교 토목공학과 교수 (E-mail : neptune@konkuk.ac.kr)
3) 정희원 · 건국대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : jjh430@hanmail.net)
4) 범아엔지니어링 연구소 주임연구원(E-mail : lgh840@hanmail.net)

부, 2010). 그 중 토목 분야의 경우 기존의 2차원 정보를 벗어나 3차원 지형정보를 구축하여 대형 건축물, 사회간접 시설물을 건설하기 위한 사업계획 및 공사물량을 산정하는 등 계획 및 설계를 수행하는데 활용하고 있다(한승희 등, 2000 ; 이계동 등, 2008). 이러한 3차원 공간정보 활용의 확대는 최근 고정밀 3차원 공간정보의 획득이 활발히 진행되고 있는 가운데 활용성이 극대화 되고 있으며 토목공사 부분에서는 공사기간 및 공사비용 절감을 위하여 IT, 자동화기술 분야와의 융합기술개발 연구를 진행 중에 있다(박재선 등, 2009). 이러한 추세로 건설분야에는 BIM(Building Information Modeling)이 빠르게 적용되고 있으며 선진국에서는 BIM을 설계방법과 품질을 혁신적으로 바꿀 수 있는 기술이자 도구로 인식하여 건설 프로젝트 생애주기 전반에 걸쳐 적용시키는 움직임을 보이고 있다(Adam Strafaci, 2008). 이러한 BIM 연구 동향을 살펴보면, 건설사업 초기단계에서의 BIM 어플리케이션 설정, 팀 구성 방법, 패밀리 설정 방법, 모델링 방법 연구를 통한 BIM 프로세스를 제안되고 있고(김지원 등, 2008), 또한 공공발주기관에서 자체 업무 특성, 절차, 표준 등을 고려해 공공발주에서 BIM 적용을 위하여 기본방향을 제시하는 연구가 진행되었다(서종철 등, 2009). 설계단계에서는 VR기반 가상 시뮬레이션 기능 등을 개발하여 3차원 객체 기반으로 시각적인 효과를 증진시킴으로서 효율적인 설계안의 검토를 위한 연구가 진행되었다(지상복 등, 2008). 건설 시공단계에서는 기존 방식의 단순 시각적 검토에 한계를 극복하기 위해 BIM 기반의 건축시공 4D 시뮬레이션에 대한 연구가 진행 중에 있으며(이경하 등, 2009), 위치추적기술을 적용하여 작업자를 관리하여, 재해의 간접 원인인 불안정한 상태를 제거하여 재해의 발생을 예상하는 BIM기반의 건설현장 안전관리 시스템을 개발하고 있다(이현수 등, 2009). 또한, BIM 기반 정보 관리 모듈을 활용하여 기존 ASP기반 PMIS를 중심으로 융합한 시스템이 제안되고 있다(윤수원 등, 2008).

BIM과 함께 건설공사에서 발생하는 3차원 공간정보에 대한 수요가 증가하면서 항공사진, 위성영상, LiDAR 등 3차원 공간정보를 획득하는 다양한 형태와 고정밀 3차원 공간정보 획득기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 활용 또한 도로설계는 물론 국토관리, 관광, 교통 등 타 산업분야로 확대되고 있다(연상호, 2010 ; 이현직 등, 2008). 우리나라의 토목분야에서도 타 산업분야와 융합기술개발이 연구중이며 BIM의 경우 2006년 발

주된 호남고속철도 기본설계를 시작으로 최근 4대강 사업에도 활용되고 있다. 하지만 아직 2차원 기반의 설계 환경을 벗어나지 못하고 있으며 BIM활용의 경우 일부 대형 설계사나 건설사를 제외하고는 BIM의 개념 정립이나 인프라 구축이 미흡한 실정이다.

본 논문은 기존의 경험적, 통계적 DB를 활용한 2차원 정보를 바탕으로 시행된 토목공사 프로젝트를 벗어나 3차원 공간정보 취득기술을 활용하여 얻어진 데이터를 BIM과 연계하여 가장 합리적이고 최적화 가능한 프로젝트 방안에 대하여 시뮬레이션을 시도하였다. 연구대상지역인 전라도 일대의 하천 주변 지형에 대하여, 항공사진과 항공라이다 자료를 획득, 가공하여 구축된 3차원 지형 모델과 가상으로 설계된 교량 모델의 통합 BIM 자료를 구축하여 토목공사에서 일부 수행하는 업무에 시범 적용하여 그 활용성을 분석하는데 목적이 있다. 그림 1은 이를 위한 연구 흐름도이다.

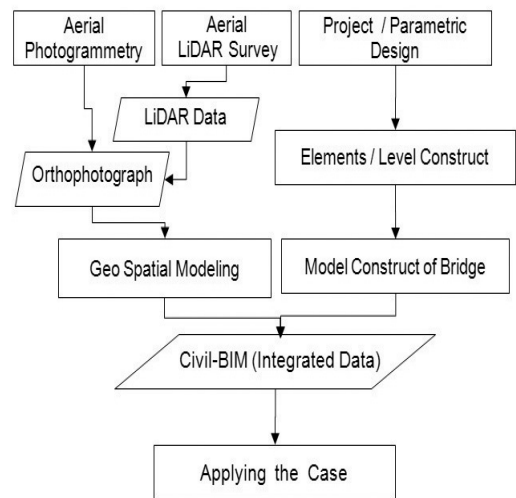


그림 1. 연구흐름도

2. 3차원 지형 모델 구축

본 논문에서 3차원 지형 모델을 구축하기 위하여 항공측량을 통해 항공사진영상과 항공라이다 영상을 취득하였다. 연구대상지역은 전라남도에 위치한 하천 일대로서 산지와 하천, 농경지로 이루어졌으며, 총 면적은 약 4.000km²이며 지형에 대한 최대높이는 약 400m, 최저높이는 약 65m이다(그림 2 참조).

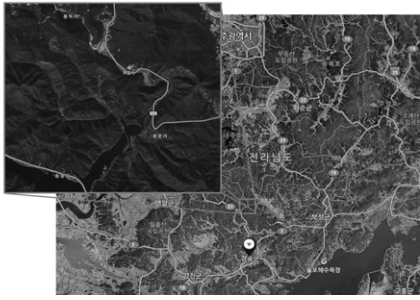


그림 2. 실험대상지역

2.1 항공사진 및 LiDAR 자료 획득

항공사진은 중심투영 영상이기 때문에 지형의 기복에 따른 변위가 포함되어 있으며, 또한 촬영당시 항공기의 자세에 의한 피사체의 왜곡이 발생한다(정동훈 등, 2002). 이러한 기복변위를 제거하여 수치 미분 편위 수정 과정을 걸쳐 지도와 같은 정사투영의 기하학적 특징을 가지는 정사영상을 제작하였다. 본 논문에서는 항공사진측량을 위해 사용된 장비는 Intergraph사의 DMC (Digital Mapping Camera)를 사용하였다. DMC는 panchromatic 4개와 RGB 각각 1개 및 NIR(Near Infra-Red)1개로 구성되어 있다. DMC의 장비제원은 표 1과 같다.

표 1. DMC 재원

Classification	Specifications
Manufacturer	Intergraph
Recording Mode	Simultaneous Recording(Flame)
Image Size	13,824x7,640
Focal Distance	120mm
Pixel Size	12 μ m
CCD	Pan/Multi : 4/4
Radial Resolution	12bit

본 논문에서는 수치표고자료를 제작하기 위하여 항공라이다 측량을 실시하였다. LiDAR(Light Detection And Ranging)란, 항공기에 부착된 레이저 장비로부터 레이저 펄스를 지상에 발사하여 지표면 혹은 지물로부터 반사되어 되돌아오는 레이저 펄스의 도달 시간을 측정하여 반사지점에서의 공간위치정보(X,Y,Z)를 취득하는 고정밀 측량기법을 말한다. 이러한 항공라이다 시스템은

GPS, IMU, Laser Scanner로 구성되어 있고, 본 논문에서는 사용한 항공라이다는 Leica사의 ALS50-II이고, 항공라이다 측량은 작업의 목적 및 구축 데이터의 특성에 적합한 취득 데이터의 유형, 즉 펄스의 종류, 반사강도 등을 결정해야 하며, 또한 데이터 취득을 위한 레이저 주사각(FOV), 운항속도 및 고도, 레이저 포인트의 밀도, 비행코스 등에 대한 결정을 해야 한다(서용철 등, 2009). 이를 위하여 촬영고도 1600m 고도로 촬영설계를 하였으며, 자세한 촬영 조건은 표 2와 같다.

표 2. 촬영 조건

Classification	Contents
Flight Height(m)	1600
Shooting Speed(kts)	125
Overlap between Course(%)	50
Pulse Rate (Hz)	64000
Field of view(degrees)	24
Average of Point Density(pts/m ²)	1.46

2.2 지형 모델 구축

본 논문에서는 앞서 실시된 항공측량을 통해 획득된 정사영상과 항공라이다 자료를 활용하여 3차원 지형 모델을 구축하였다. 이를 위하여 그림 3과 같은 순서로 3차원 지형 모델을 구축하였다. 수치표고자료의 성과는 지형과 구조물 및 식생 등을 포함하는 수치표면모형(DSM : Digital Surface Model)과 지형의 기복만을 고려하는 수치표고모형(DEM : Digital Elevation Model)을 제작하였다. DEM 성과는 취득된 항공 레이저 성과로부터 추출된 그라운드 관측점만을 이용하여 제작되며, DSM 성과는 DEM 성과에 지형분류된 건물 및 식생 데이터를 결합하여 제작되고, DEM 성과를 제작하기 위해서는 격자화된 지형데이터를 필요로 하며, 격자 데이터를 구성하기 위하여 보간법을 적용하였다. 본 논문에서는 불규칙삼각망법(TIN)을 적용하여 1m 간격의 그리드를 구성하였으며, 보간되어 형성된 격자데이터는 ASCII 포맷으로 저장하였다. 이렇게 구성된 격자데이터로부터 1m 격자의 DEM을 생성하여, 1m 간격의 지형 등고선을 추출하였다. 마지막으로 항공사진측량으로부터 획득된 정사영상을 맵핑하는 순서로 3차원 지형 모델을 구축하였다.

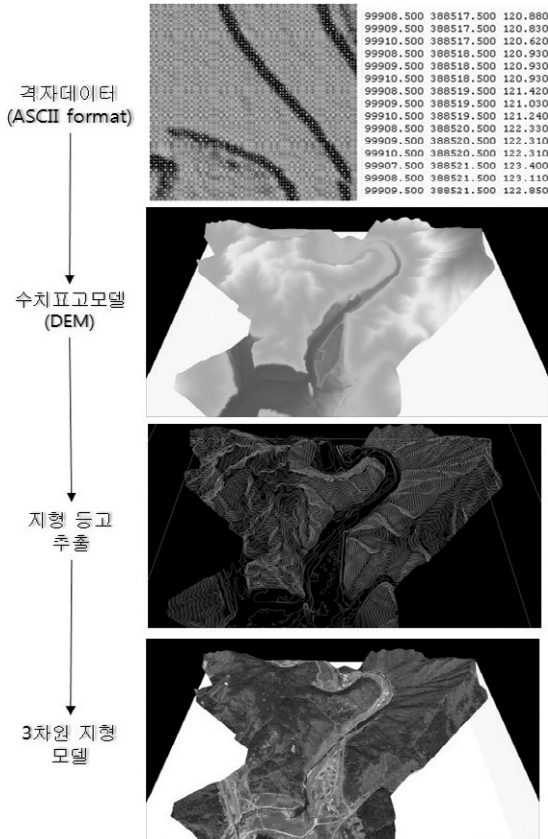


그림 3. 3차원 지형 모델 구축

3. 구조물 BIM 구축

본 논문에서는 3경간 PSC(Prestress Concrete) Beam 형식의 교량 구조물 BIM 모델을 구축하였다.

3.1 프로젝트 및 파라메트릭 설계

프로젝트(Project)는 설계의 모든 정보를 갖고 있는 하나의 데이터베이스이고, 프로젝트 파일은 눈에 보이는 가시적인 모델의 정보에서부터 그 도면을 구성하는 다양한 파라미터 정보에 이르기 까지 모든 정보를 가지고 있다(Autodesk, 2011). 본 논문에서는 교량의 디자인에 사용되는 컴포넌트(Component), 다양한 시각적 효과를 나타내는 프로젝트 뷰(View), 각종 주석 정보 등을 포함하도록 하였다. 이렇게 하나의 프로젝트로 설계하였기 때문에 하나의 파일로 모델을 관리하기가 용의하며, 하나의 프로젝트를 설계할 때, 작성된 교량 모델에 대해 평면도, 입

면도는 물론 등강투상도 및 단면도 등 다양한 프로젝트 뷰

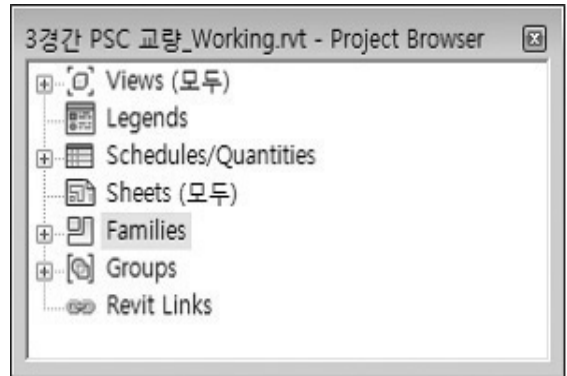


그림 4. 프로젝트 구성

를 작성할 수 있도록 구축하였다(그림 4. 참조).

파라메트릭(Parametric)이란 모든 모델 요소 간의 관계를 말한다. 이러한 관계는 사용자가 작업하면서 만들거나 소프트웨어가 자동으로 작성된다. 수학 및 기계 설계에서 이러한 종류의 관계를 정의하는 숫자나 특징을 매개변수(Parameter)라고 하고, 소프트웨어의 작업은 파라메트릭이 된다(Uwe Ruppel, 2011). 체계적인 설계 지원 정보모델을 위해서는 구조물의 구축방식과 조성원리를 고려하여, 공간구성요소 및 구축요소의 구분에 따른 여러 유형들을 분석하여야 하며, 이러한 유형화를 통대로 구조물을 구성하는 부재들의 파라메트릭 데이터를 구조화하여야 한다. 객체지형의 파라메트릭 기술을 교량 구조물 설계과정에 활용하게 되면, 각각의 교량부재들은 개별적인 파트로 작업되어 단일 부재의 파트 파일단위로 저장할 수 있다. 구성 요소들이 결합된 구조물로서 교량의 정보모델은 개별 부재 파일들을 데이터의 요구 조건과 활용방안에 맞추어 컴포넌트라는 조합된 개념의 데이터 형식으로 구조화되어진다. 개별 부재를 정의하는 여러 파라미터들이 복합부재를 결합시키는 조립조건을 규정하는 변수 역할을 함으로써, Bottom-up과 Top-down의 양방향 디자인이 가능해진다. 개별부재로부터 건축물 전체구성요소로 이어지는 동시공학 기술에 기반한 일련의 프로세스에 의해, 디자인 과정 전반에 걸쳐 구조물 정보 모델에 대한 통합적인 데이터 관리를 할 수 있게 된다(Schodek, 2004 ; Huang, 2007 ; Meredith, 2008, 박정대, 2011). 본 논문에서는 파라메트릭 디자인 개념의 기반이 되는 형상 및 집합의 상관관계를 규정해주는 제약조건으로는 표 3과 같이 길이, 거리, 각도, 반경 등

을 조절하는 치수 제약조건과 위치고정, 수평/수직정렬, 접점, 평행관계, 직각관계, 중심정렬, 대칭정렬, 특정점 맞춤 등의 기하학적 관계를 결정해주는 형태제약 조건 그리고 점/선/모서리 위치 일치, 면접촉, 점/선/모서리거리유지, 각도일치 등의 부재간의 접합위치로 설정하였다.

표 3. 파라메트릭 제약 조건

구분	제약조건	내용
치수 제약 조건	거리	요소사이의 거리를 제약
	길이	요소 길이를 제약
	각도	두 요소의 각도 제약
	지름/반지름	원/호의 지름/반지름 제약
형태 제약 조건 (기하학적 관계)	고정	선택요소 고정 여부
	수평	X축 수평방향에 평행
	수직	Y축 수직방향에 평행
	접점	접점을 기준으로 서로 접함
	평행관계	대상 선들의 평행
	직각관계	서로 수직으로 접함
	중심정렬	요소의 중심점들의 일치
	대칭	기준선을 중심으로 대칭
접합 제약 조건	특정점 맞춤	임의(특징) 점 서로 일치
	점/선/모서리 위치일치	각 부재 점/선/모서리 일치
	면접촉	각 부재 면과 면의 접촉
	점/선/모서리 거리유지	각 부재 점/선/모서리 간격유지
	각도일치	각 부재 점/선/모서리 각도 일치

부재별 파라메트릭 설계를 통하여 동일한 제약 조건 상에서 구현된 프로젝트는 부재의 어느 부분을 언제 변경하는지에 상관없이 전체 프로젝트에 걸쳐 변경사항을 조정할 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 부재 치수 제약 조건 중 지름에 대하여 직경 3m로 설계된 콘크리트 원형기둥 중 하나의 객체를 선택 후 그 직경을 2m로 수정 변경하였을 때 파라메트릭 설계에 의해서 동일한 제약 조건으로 구현된 다수의 객체가 수정되는 것을 알 수 있다.

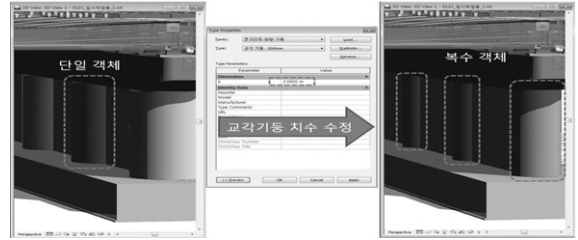


그림 5. 콘크리트 교각 치수 변경

3.2 요소 및 레벨 참조 구성

일반적인 BIM 요소는 카테고리(category), 패밀리(family) 및 유형(type)으로 구분된다(Autocad, 2011). 본 논문에서는 표 4와 같이 카테고리는 구조물 설계 모델링 또는 문서화하는 데 사용하는 요소로 그룹화 하였으며, 패밀리는 매개변수 특성, 동일한 용도 및 유사한 그래픽 표시를 갖는 요소로 그룹화 하였다. 마지막으로 유형은 패밀리를 세분화하기 위하여 부재 단위 및 재원의 특성으로 구분하였다.

표 4. 교량 Element 구성

Category	Family	Type	
Floors	Floor	슈받침	
	cross beam (각도)	cross beam(860)	
	cross beam (중앙부)	cross beam(1610)	
Generic Models	sealing 마감	sealing tape	
	슬래브 일반-4	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-5	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-6	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-8	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-9	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-8a	슬래브 상세-1	
	슬래브 일반-4a	슬래브 상세-1	
	전단포켓-1	전단포켓 양측	
	전단포켓-2	전단포켓 중앙	
	Mechanical Equipment	강선 1	Profile39.7①
		강선 2	Profile39.7②
강선 3		Profile39.7③	
강선 4		Profile39.7④	
강선 5		Profile39.8①	
강선 6		Profile39.8②	
강선 7		Profile39.8③	
Shoe		중점 shoe-15	
유지보수용 강선	유지보수용 강선		
정착	정착부		
Structural Columns	콘크리트-원형기둥	교각기둥-2000mm	
Structural Foundations	기초-직사각형	P1 기초	
		P1 버림기초	
		P2 기초	
		P2 버림기초	
Walls	Basic Wall	기초벽체	

시점부 교대는 3,262m³, 시점부 교각은 2,064m³, 종점부 교각은 3,079m³, 종점부 교대는 1,006,095m³의 절토량이 산출 되었고, 그림. 10은 토공 시물레이션 결과의 3차원 출력 화면이다.

표 5. 토공량 시물레이션 결과

구분	기초바닥 표면적 (m ²)	토공량 (m ³)	비고
시점부 교대	600	3,262	절토
시점부 교각	520	2,064	절토
종점부 교각	520	3,079	절토
종점부 교대	600	1,006,095	절토
합계	2240	1,014,500	절토

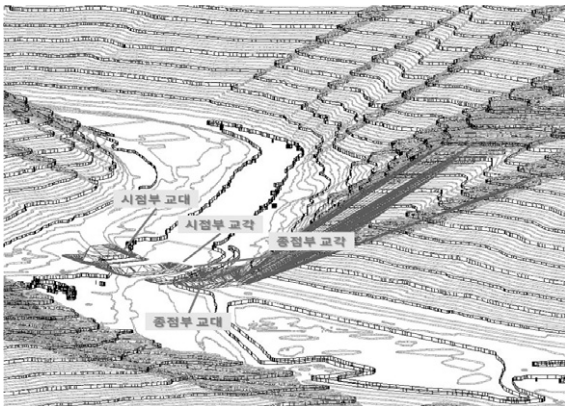


그림 10. 토공 시물레이션 결과 (3D)

4.2 공정별 시물레이션

공정별 시물레이션 적용은 기존 프로세스의 경우 불가능하여 시공단계에서 발생하는 문제점들을 조기에 파악하는 것이 불가능했지만 BIM 프로세스의 경우 3차원 지형 및 구조물 모델을 통해 시공과정을 미리 시물레이션 해봄으로써 작업과정에서 발생할 수 있는 문제점들을 미리 확인할 수 있으며 안정성을 검토해 볼 수 있을 뿐만 아니라 작업자들의 작업 이해도 향상에도 많은 도움을 얻을 수 있다고 판단하였다.

본 논문에서 구축한 3경간 PSC Beam 형식의 교량은 크게 하부와 상부 공정으로 구분하였고, 이와 같은 순서에 맞도록 BIM 모델을 구축하기 위하여 단계별로 필요한 수만큼 공정을 작성하고 건물 모델 요소를 특정 공정에 할당하였고, 뷰의 여러 사본을 작성하여 다양한 공정

과 공정 필터를 다른 사본에 적용하였다. 본 논문에서 적용한 공정표는 표 6과 같으며, 실제 공정 보다는 축소된 18단계의 공정을 적용하였다. 그림 11은 적용된 공정별 3차원 건설 시물레이션 결과이다.

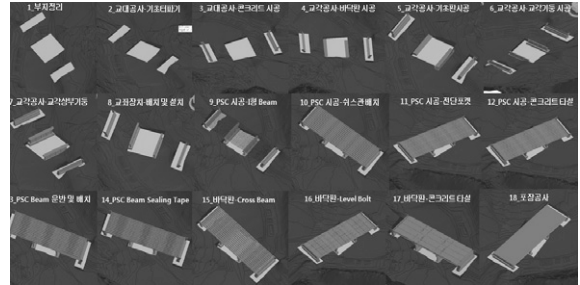


그림 11. 공정별 시물레이션 결과

5. 결론

최근 건설 공사의 대형화, 복합화로 인해 공사관리 기술과 관련된 다양한 요구가 발생되고 있고, 이를 위하여 BIM 기술 활용을 통해 건설 생애주기인 기획, 설계, 시공, 유지관리 각 단계별 작업의 효율성 향상을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문 또한 이러한 연구의 일환으로 진행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 본 논문을 통해 지형과 구조물 통합 BIM 자료를 구축하기 위하여 지형 정보 획득에서부터 구조물 BIM 구성 요소 설정 및 구축을 포함한 일괄의 프로세스를 제시할 수 있었다. 둘째, 사례적용에 있어 토공량 산출의 경우, 기존 산출 프로세스에서 불가능한 3차원 분석이 가능하였지만 그 결과에 대한 검증 방안이 부재하여, 그 신뢰성을 검증에는 어려움이 있었다. 셋째, 기존 설계 프로세스에서는 설계변경과 같은 일부의 설계요소를 변경하는 업무 수행 시 변경된 요소가 포함되어 있는 모든 부분에 대하여 개별적인 수정을 실시하고 있다. 본 연구에 실시한 프로젝트 및 파라메트릭 설계로 구축된 설계 모델은 하나의 부재만 변경하면 같은 요소로 설계된 모든 요소가 수정됨을 보였고, 이러한 기능을 활용한다면, 변경과 관련된 업무 수행 시 기존 프로세스 보다 효율적인 관리가 가능할 것으로 기대된다. 넷째, 시공단계의 적용 사례인 공정별 시물레이션을 통해 실제 지형과의 시공 단계별 모델 표현이 가능하였다. 비록 공정별 적용 단계가 건설공사 중 다양한 상황을 최소화하여 진행하였지만, 통합 BIM 모델을 활용하여 시공 오류 검토, 시공 이

해도 향상 등과 같은 기능의 가능성을 확인 할 수 있었다.

향후 BIM 기반의 공사관리 시스템의 효용성을 높이고 넓은 범위에서 적용되기 위해서는 다양한 기준과 표준이 마련되어야 한다. 또한, 현장 BIM 활용 가능한 엔지니어의 육성 등과 같이 이를 시행할 수 있는 환경이 조성되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 건국대학교 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

정중환 (2010), 3D 사이버국토실현 추진계획(안), 국토해양부, pp. 1~3.

김지원, 이민철, 최정민, 옥종호 (2008), 건 설산업의 BIM 적용능력 제고를 위한 BIM 프로세스 개발에 관한 연구, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, pp. 738~743.

박재선, 임상범, 편무욱, 홍태민, 이병길 (2009), 건설현장용 실시간위치결정시스템 구축을 위한 전파환경 실험, 한국측량학회지, 제 27권 제 4호, pp. 505~513

서용철, 최윤수, 허민 (2009), 항공레이저측량 기초와 응용, 대한측량협회, pp. 60~109.

서종철, 김인한 (2009), 국내 건설 공공발주에서 BIM의 도입 및 적용을 위한 기본방향에 관한 연구, 대한건축학회지, 제25권 제9호 pp. 21~30

연상호 (2010), 항공사진과 레이저 데이터의 통합에 의한 3차원 공간정보 활용기술 연구, 한국측량학회지, 제28

권 제3호, pp. 385~392.

윤수원, 진상윤, 신태홍, 최철호 (2008), BIM+PMIS 시스템 구축 전략, pp. 61~67.

이계동, 정성혁, 이재기 (2008), GIS를 이용한 위험도로의 설계노선 분석, 한국측량학회지, 제 26권 제 6호, pp. 591~598.

이경하, 박재현, 방광수, 윤석현, 백준홍 (2009), BIM기반 건축 시공 시뮬레이션 개발에 관한 연구, 대한건축학회지, 제25권 제6호, pp. 205~212.

이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범 (2009), 위치추적 기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템, 한국건설관리학회지, 제10권 제6호 pp. 135~145.

이현직, 박은관, 유지호 (2008), 친환경 도로 설계를 위한 항공레이저측량 데이터의 활용, 한국측량학회지, 제 26권 제3호, pp. 255~262.

정동훈, 김병국 (2002), 투영변환방식을 이용한 CCD 카메라 렌즈의 방사왜곡 보정, 대한토목학회지, Vol. 22. No.5 . pp. 995-1000.

지상복, 강인석, 배철원 (2008), 설계단계 활용을 위한 3D객체기반 가상건설시스템 개발 현황, 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집, pp. 68~73.

한승희, 이형석, 이성순 (2000), 공사지역(댐)의 지형정보 구축을 위한 정사영상의 활용, 한국측량학회지, 제 18 권 제4호, pp. 395~403.

Autodesk Inc (2011), AutoCAD Civil 3D 2011 User's Guide

Adam Strafaci (2008), Road and highway projects can benefit from design using building information modeling, CE NEWS, pp. 62~65

Autodesk Inc. (2011), Revit Architecture 2011 User's Guide

(접수일 2011. 10. 07, 심사일 2011. 11. 25, 심사완료일 2011. 11. 28)