

3차원 철도시설물정보모델 기반의 고속철도 생애주기 관리

Life-cycle Management of High-speed Railway using 3D Railway Infrastructure Information Models



| 심 창 수 |
중앙대학교
건설환경공학과
교수



| 이 광 명 |
성균관대학교
사회환경시스템공학부
교수



| 김 용 한 |
(주)아이디엠
대표이사



| 황 규 환 |
한길아이티
대표이사

1. 서론

1.1 BIM 기반의 건설 프로세스

한국은 도로 혼잡 증가와 환경적 이유로 철도가 21세기 이동성 해결에 있어서 중요한 요소를 형성하고 있는 것을 인지하고 있다. 특히, 고속 철도는 새로운 수송 네트워크를 위한 중요한 프로젝트이다. 현재 철도 경비의 대부분은 기반의 운영과 관리를 위해 쓰여지고 있고, 철도 시설물의 체계화된 데이터는 효과적인 정비 및 시스템 엔지니어링으로 통합된 기술력을 기반으로 고속철도의 해외 진출을 위해 매우중요하다. 이러한 점에서 최근에 활발하게 건설분야에 도입되기 시작한 BIM(Building Information Modeling) 기술은 고속 철도의 생애주기 관리를 위한 혁신적인 해결책을 제시할 수 있다.¹⁾ 복잡한 시스템 설계에 기반한 시공과 시공 후의 유기적인 유지관리를 위해서는 전생애주기에 걸친 효과적인 협업 환경을 제공할 수 있는 통합된 모델이 필요하다.

건축분야에서 활발하게 적용이 확장되고 있는 BIM의 적용 현황을 살펴보면 미국 GSA(General Service Administration)에서는 2006년부터 시범 프로젝트에 대해 설계안 제출 시 BIM을 제출토록

요구하고 있다. 미국의 CIFE는 핀란드의 TEKES에서 지원받아 IFC(Industry Foundation Classes)를 응용한 건설의 각 분야별 어플리케이션을 통합하는 PM4D 프로젝트 수행하고 있다. 프로그램 개발업체들이 개발한 여러 응용 프로그램의 상호호환성을 극대화하기 위해 IAI(International Alliances for Interoperability)에서는 IFC(Industry Foundation Classes)라는 표준모델을 지정하여 각 분야 간 데이터 호환과 공유를 원활히 하고자 노력하고 있다.²⁾ 이는 건설 산업의 각 분야가 고유의 전문용어, 기술, 그리고 정보를 전달하고 표현하는 방법과 더불어 독자적으로 발전되어, 다른 분야들 간 정보공유가 어렵기 때문에 이를 해소하기 위한 것이다. 1994년 영국의 Latham 보고서에 의하면 정보부재 및 혼란으로 인해 발생하는 중복작업, 재작업, 반복작업 등을 방지함으로써 약 30% 정도의 비용 절감이 가능하다는 평가가 있었고³⁾, 미국의 표준기술 연구소 (National Institute of Standards and Technology)가 발표한 자료에 따르면 프로세스 간 정보호환성의 문제로 발생하는 손실액이 미국 건설산업 수입의 약 1~2%(15조 8천억원)에 달한다고 한다.⁴⁾

1.2 3차원 정보모델과 건설프로젝트 생애주기 관리

3차원 형상모델과 이 모델들의 속성을 활용한 통합된 정보모델의 활용은 제조업 분야에서 활발하게 사용되고 있지만 건설 분야에서는 대상 시설물의 복잡성과 유일성으로 인해 도입 초기에 있다. 주로 시공 엔지니어링을 위해 3차원 형상모델을 활용한 시공성 검토에 적용되고 있다.^{5,6)} 철도 혹은 도로의 노선설계에 3차원 지형정보모델이 활용되고 있고 공정 검토를 위한 시공 시뮬레이션에는 상대적으로 활발하게 적용되고 있지만 3차원 모델 기반의 재활용성이 고려되고 있지 못한 실정이다. 서로 다른 캐드 엔진 및 응용 프로그램에서의 3차원 모델의 연동성 확보를 위한 모델 개발이 일부 진행되어 국제 표준화를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁷⁾ 국내에서는 가상건설 기술 개발을 위한 체계적인 연구가 시작되어 계획에서 유지관리에 이르는 전생애주기적인 모델 기반 프로세스 및 응용 프로그램 개발이 진행되고 있다.⁸⁾

이 글에서는 경부고속철도의 한 공구를 대상으로 3차원 지형을 포함한 3차원 객체 정보 기반의 모델을 구축하여 기존의 2차원 기반의 설계 내용을 반영한 3차원 기반의 건설 프로세스를 위한 모델을 시범적으로 개발 적용하였다. 계획 및 설계단계를 위한 지형모델, 교량과 터널의 형상 및 정보모델을 구축하였고 이를 활용한 단계별 프로세스 적용을 시도하였다.

2. 철도시설물 정보모델

2.1 형상 및 정보분류체계

철도 시설물의 3차원 모델링은 단계별로 진화하는 형태여야 하기 때문에 초기 모델 생성단계가 가장 중요하다. 그림 1에 철도 시설물 정보모델의 개요를 도시하였다. 프로젝트의 성격에 따라 일부 변경이 필요하지만 3차원 지형정보, 교량 모델, 터널 모델, 노선 모델로 대분류되고 교량의 경우에는 세부적으로 상부구조, 하부구조, 부속장치 등으로 분류된다. 형상 분류체계는 주요 설계 변수에 대하여 변수 모델링(parametric modeling) 기법을 적용하여 추후 일부 설계 변경시 수치 입력을 통한 모델 자동 변경을 용이하게 하도록 한다. 형상 모델은 상세 모델들을 결합해가면서 큰 단위의 객체를 생성하도록 하고 각 객체는 고유의 속

성정보 및 연관 정보를 지니도록 한다. 형상모델의 수준은 계획, 설계, 시공, 유지관리 단계별로 수준의 차이를 가지게 되는데 최초 모델 생성시 이를 고려해야 한다. 분류체계에 기반한 모델 구성이 필수적으로 요구되고 이는 향후 이 모델의 활용 목적에 맞게 사전 협의를 통해 결정되어야 한다. 설계 단계에서 해석, 견적, 도면 연동, 시공성 검토를 위해서 통합건설정보 분류체계에 기반한 형상분류체계, 단가분류체계, 공정분류체계를 반영해야 하고 명칭 및 코드체계를 통일해야 한다. 이러한 분류체계는 서로 다른 구성체계를 갖고 있기 때문에 이를 상호 연결하는 정의 및 시스템이 요구된다. 또한, 현재의 통합건설정보 분류체계가 모든 분야를 포괄하고 있지 못하기 때문에 대상 프로젝트의 성격에 맞게 이를 수정 보완하여 모델 구성 전에 이를 정의해야 한다.

토목 시설물은 공간상으로 넓게 혹은 길게 분포하여 다루는 대상 시설물 모델의 정보를 모두 포괄할 경우에 운영의 어려움을 겪게 된다. 특히, 유지관리시에는 대상 시설물의 교체 혹은 점검 및 보수 이력을 관리해야 하기 때문에 정보의 양이 점차적으로 증가할 것을 고려해야 한다. 따라서, 정보를 형상과 연결하는 체계가 필요하다. 이 논문에서는 그림 1과 같이 단계별로 정보를 구분하고 코드 번호에 의해 이를 상호 연결하여 계층화된 정보 구조를 갖도록 제안하였다. 이는 모델 및 정보관리와 운영의 효율성을 위해서 필요한 체계이고 캐드 엔진이 다른 경우에도 중립 파일 형태의 형상 모델에 부여되는 객체 정의와 정보를 연결하도록 하였다. 단지, 객체가 갖는 기본적인 속성정보로 볼 수 있는 재료 정보 등은 객체가 보유할 수 있도록 하였다.

전체 프로젝트 대상 구간에 대한 계층화된 모델 구성이 필요하고 이는 업무 수행주체에 대한 고려 혹은 위치별, 구

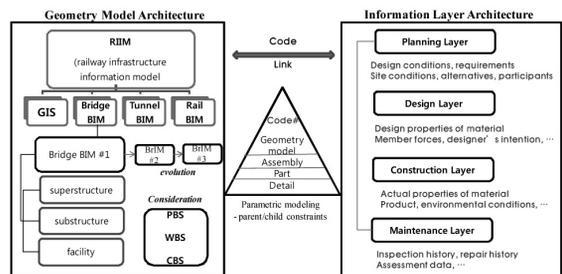


그림 1. Railway infrastructure information model

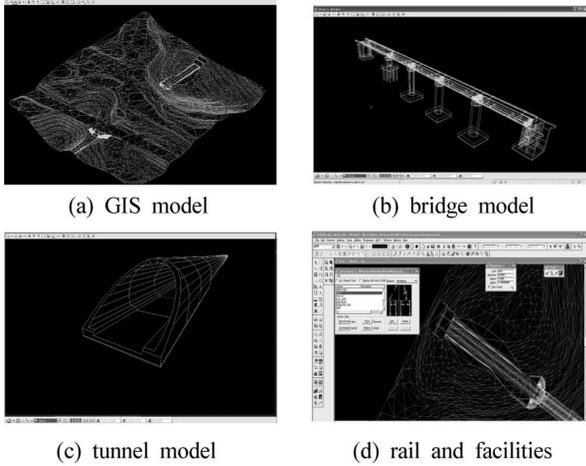


그림 2. Layered 3D information modeling

조물 형태별로 구분할 수 있다. 공사를 담당하는 시공사의 업무 체계를 반영하는 경우에는 전체 공정 관리 및 비용 관리가 용이해질 수 있다. 그림 2에서 대분류된 모델을 보여 주고 있는데 대상구간에 대한 3차원 지형모델은 전자지형도로부터 생성하고 지반조사 결과가 있는 경우에는 지층에 대한 모델을 포함할 수 있다. 교량 모델은 단계별로 진화할 수 있도록 최초 계획시는 형상모델을 시작으로 상세와 시공을 고려한 모델로 변화해야 한다. 유사한 이전 모델이 존재하는 경우에는 설계 복사(design copy) 기능을 통해서 3차원 모델의 변수 조절을 통해 수월하게 초기 모델 생성이 가능하다. 고속철도와 같은 경우에는 동일 형식의 교량 혹은 구조물이 많기 때문에 상당히 효율적으로 사용할 수 있다. 터널 모델은 주로 라이닝 구조에 대한 상세가 포함될 수 있고 철도 노선 모델에는 노반 및 레일 구조와 전력 설비 등이 포함되는데 표준화된 제품이 다수 있어서 3차원 라이브러리로 관리할 수 있다.

2.2 변수모델링 및 2차원 도면 연동성

이 논문에서는 지형 모델 및 구조물 모델링의 기본 캐드 엔진으로 Microstation을 선택하였고⁹⁾ 철근 모델링을 위해서는 Rebar 솔루션을 사용하였다.¹⁰⁾ 서로 다른 캐드 엔진과의 호환성 검토를 위해 CATIA를 사용하였다.¹¹⁾ 변수 모델링 기법은 제조업에서 많이 사용되고 있고 제작 기술 등을 모델의 기본정의에 포함하여 제약조건으로 부여할 수 있다. 이 논문에서 다루는 구조물에 대한 변수 모델링은 설계

에서 도출되는 형상에 관련한 주요 변수를 3차원 모델의 생성시 변수화하고 설계기준에서 정하는 요구사항중 상세에 관한 부분, 예를 들어 철근 단개 등은 제약조건으로 부여하였다. 그림 3에 대표적인 변수모델링의 예와 기본단위 모델을 조합하고 서로간의 관계를 설정하여 모듈을 형성하고 이를 합쳐서 시스템을 완성하는 예를 표시하였다. 설계변경시 기본 단위 모델에서의 변수값 변경을 통해 자동으로 전체모델의 수정으로 이어지도록 할 수 있다.

3차원 모델을 최초로 생성할 경우에 2차원 도면에서 시작하는 것이 일반적인데 설계 성과품으로 관리되는 많은 수의 2차원 도면을 모델 변경시마다 새롭게 생성해야 하는 경우에는 3차원 모델의 효율성을 현저하게 저하시킬 수 있다. 따라서, 2차원 도면을 3차원 모델과 연동시켜서 이러한 절차를 신속하게 처리할 수 있도록 해야 한다. 그림 4에 나타난 것은 생성된 3차원 모델로부터 특정위치에서 2차원 도면으로 포함되어야 하는 대상, 치수, 기본 템플릿을 정의하는 솔루션을 개발하였고 이를 통해 필요한 2차원 도면을 생성한다. 일단 3차원 모델에서 2차원 도면 생성에 대한 정의가 완성되면 추후 3차원 모델이 변경될 경우에 실시간

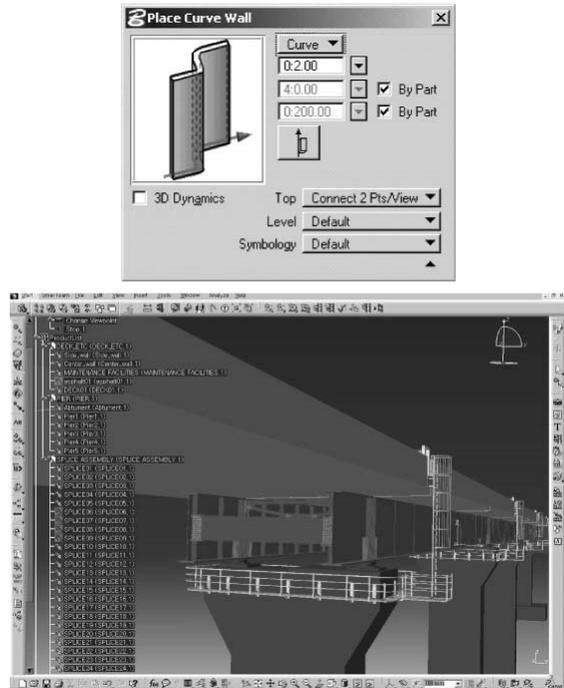
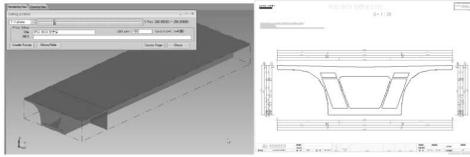
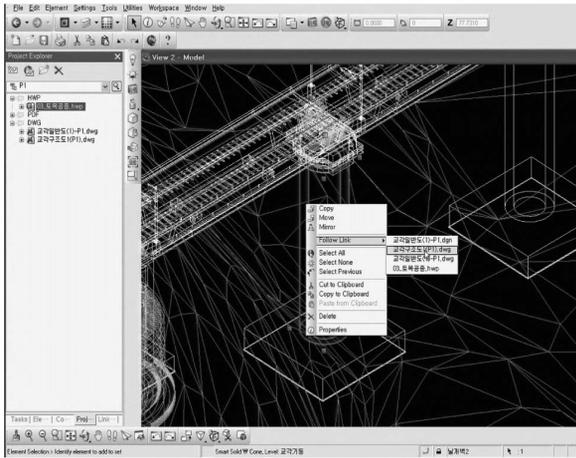


그림 3. Parametric modeling⁹⁾ and interlinked module



(a) location of 2D drawing (b) 2D drawing



(c) management of 2D drawings

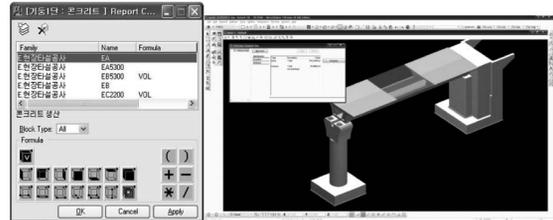
그림 4. Integration of 2D drawings with 3D models

으로 2차원 도면을 생성할 수 있게 된다. 이는 유지관리 시스템의 구축에도 효율적으로 적용될 수 있는데 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 3차원 모델의 특정 객체는 이에 연관된 도면 및 관련 정보를 연결하여 관리할 수 있고 2차원 도면을 열어 수치를 수월하게 확인할 수 있다.

2.3 물량 및 견적 프로세서 연동

3차원 모델의 장점은 물량 산출을 모델로부터 직접 수행할 수 있기 때문에 설계 변경 혹은 시공상의 변경 요인으로 인해 수정할 경우에 신속하게 결과를 출력할 수 있다는 것이다. 이를 위해서는 3차원 모델 생성시 모델의 물량 속성을 정의해야 하고 모델의 분류체계와 단가분류체계를 결합해야 한다. 자원-세부공정-통합공정-세부프로젝트-전체프로젝트로 계층화된 체계가 정의되어야 한다.

현재는 3차원 모델이 단가를 포함하기는 힘들기 때문에 3차원 모델에서 정의된 물량정보를 추출하고 출력물을 입력으로 하는 별도의 솔루션을 통해서 단가정보와 결합하여 최종적인 견적을 산출하도록 하였다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 교량 구조물의 물량 산출에는 콘크리트 부피,



(a) definition of volume and surface area

Item	Part	Description	Quantity	Unit	Unit Price	Time	Weight (Area)	Weight (Line)
18	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
19	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
20	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
21	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
22	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
23	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
24	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
25	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
26	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
27	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
28	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
29	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
30	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
31	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
32	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
33	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
34	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
35	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
36	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
37	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
38	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
39	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
40	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
41	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
42	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
43	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
44	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
45	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
46	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
47	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
48	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
49	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
50	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
51	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
52	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
53	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
54	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
55	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
56	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
57	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
58	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
59	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
60	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
61	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
62	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
63	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
64	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
65	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
66	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
67	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
68	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
69	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
70	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
71	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
72	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
73	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
74	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
75	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
76	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
77	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
78	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
79	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
80	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
81	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
82	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
83	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
84	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
85	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
86	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
87	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
88	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
89	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
90	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
91	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
92	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
93	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
94	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
95	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
96	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
97	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
98	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94
99	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.021	m3	0	0	0	0.94
100	상행역 위부 교각 교각기	단속 교각단면기	0.046	m3	0	0	0	0.94

WBS CBS 수량산출값 (b) combination of WBS and CBS

그림 5. Integration of Estimation Process

거푸집에 소요되는 면적 정의, 철근의 직경에 따른 수량 및 길이 등의 주요 사항을 모델에 정의하게 된다. 이렇게 정의된 물량은 모델 생성이 완료되면 일괄적으로 다양한 형태의 출력물로 추출할 수 있는데 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 공정분류(WBS)와 단가분류(CBS)를 상호 결합하는 솔루션을 통해서 수량 및 견적을 산출하게 된다. 물량과 직접적으로 연관되지 못하는 간접비 등의 산출은 별도의 작업을 필요로 하지만 현재의 견적 프로세서를 획기적으로 단축할 수 있고 설계의 마지막 단계에서 주로 수행하기 때문에 시간적 제약으로 인해 다양한 대안을 찾기 어려운 여건에 대한 좋은 대안이 될 수 있다.

2.4 시공성 검토 및 시뮬레이션 프로세서 연동

현재 사용되고 있는 대부분의 3차원 캐드 엔진은 기본적으로 간섭 검토 기능을 제공하고 있다. 따라서, 3차원 모델에 상세가 반영되는 경우에는 설계기준에서 정하는 상세기준에 위배되거나 서로 간섭되는 사항을 추출해서 리스트로 제시하고 시각화할 수 있다. 실제 사전제작을 통한 검토 과정을 디지털화하기 때문에 DMU (digital mock-up)이

라 하고 시간과 비용을 상당히 줄일 수 있다.^{5,6)} 이를 통해 설계 혹은 시공자는 상세 수정을 통해서 시공 중 발생 가능한 시공지연 요인을 사전에 제거할 수 있다. 상세 수정을 위한 모델의 수정은 3차원 도면과 연결된 2차원 도면상에서 수행하고 이를 통해 3차원 모델을 변경할 수 있다. 장비 모델링을 포함하는 경우에는 작업 공간에 대한 검토 및 안전에 대한 사전 평가에 활용할 수 있다.

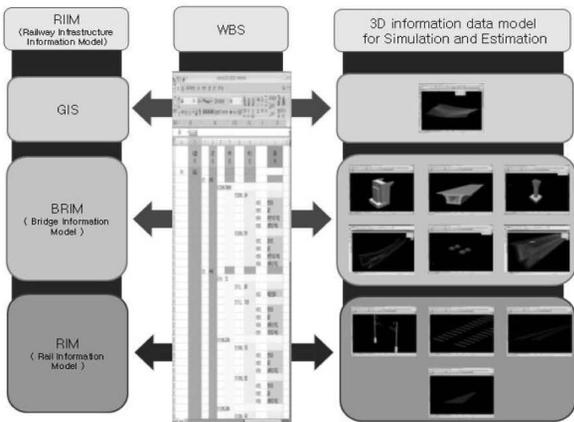
공정에 대한 시뮬레이션은 주로 그래픽 차원에서 이루어져서 재활용되거나 시공 대안을 반영하기가 불가능하기 때문에 3차원 정보모델 활용시 상호 연동성 확보가 필요하다. 이를 위해서는 두 가지 고려사항이 모델에 반영되어야 한다. 첫 번째는 공정 시뮬레이션(4D)에서 나누어야 하는 세부공정의 단위를 모델의 형상 모델 분류에 반영해야 한다. 물량 산출을 위한 형상 분류가 가장 상세하기 때문에 공정 분류에서는 이를 조합하는 모델의 수준을 결정하는

데 반영한다. 이는 추후 공정 및 비용 시뮬레이션(5D)를 실현하기 위한 필수적인 고려사항이다. 두 번째는 능동적인 4D 시뮬레이션을 구현하기 위해서 모델의 속성정보로서 해당 공정이 일반적으로 소요하는 공기에 대한 정보를 정의하는 것이다. 그림 6(a)에 3차원모델에 WBS를 반영하는 방법에 대한 예시를 나타내었고 이를 이용하여 일반적으로 공정관리에 사용되는 bar chart와 3차원 모델 기반의 시뮬레이션을 그림 6(b)에 도시하였다. 이렇게 구성된 시뮬레이션은 3차원 모델기반으로 이루어져있기 때문에 시뮬레이션 전용 솔루션에 수월하게 받아들여지고 능동적으로 공정을 변경할 수 있다. 따라서, 설계 변경 혹은 대체 공정 발생시 전체 공정의 영향을 손쉽게 수정하고 파악할 수 있을 뿐 아니라 공사중 안전관리, 진도관리 등 체계적이고 효율적인 공사관리가 가능해진다.

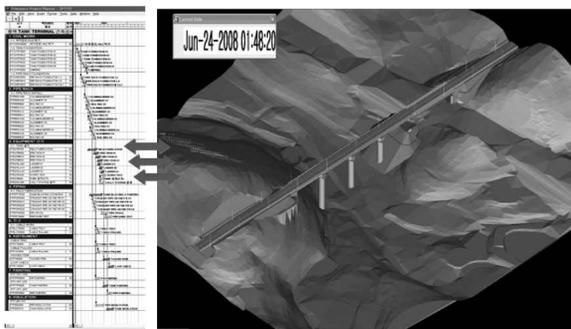
2.5 유지관리시스템과의 연동

NIST의 보고서에 따르면 체계적인 정보 관리를 통한 효과를 가장 많이 누리는 것은 유지관리의 주체인 발주처인 것으로 나타났다.⁴⁾ 설계와 시공단계에서 3차원 모델은 수정 진화하게 되고 최종적으로 유지관리를 위해 필요한 형상모델과 이에 연결된 정보모델이 유지관리자에게 제출되도록 할 수 있다. 이는 유지관리의 기본정보를 하나의 3차원 모델내에서 관리할 수 있고 시각적일 뿐 아니라 신속하게 연관된 정보를 추출할 수 있기 때문에 점검 메뉴얼의 디지털화, 자동 보고서 추출 기능, 보수 교체 기록의 관리 등이 가능하게 된다.

유지관리를 위한 3차원 정보모델은 실제 시공된 최종 시설물에 대한 정보를 포함하게 된다. 특히, 재료 정보, 제품 정보, 시험 기록 등이 연결되고 2차원 도면이 연동될 뿐 아니라 다양한 디지털 기기를 통해 점검 대상 부위의 시각화 및 매뉴얼화가 가능할 수 있다. 이 논문에서는 그림 7에서 보는 바와 같이 실제 유지관리 시스템에서 사용하는 데이터의 계층화를 3차원 정보모델과 연계하는 방안으로 코드 번호를 택하였다. 이는 발주처에서 사전에 설계 및 시공자에게 요구사항을 설정하여 전달하여 제출된 3차원 모델을 유지관리자의 유지관리시스템이 받아들일 수 있도록 하는 체계이다. 이를 통해 특정 솔루션에 의존성을 없애고 연동성을 확보할 수 있는 기반을 제공한다. 다만, 코드 체계에 대한 공통의 정의가 요구된다.



(a) definition of WBS in 3D model



(b) 4D simulation linked to bar-chart

그림 6. 4D simulation

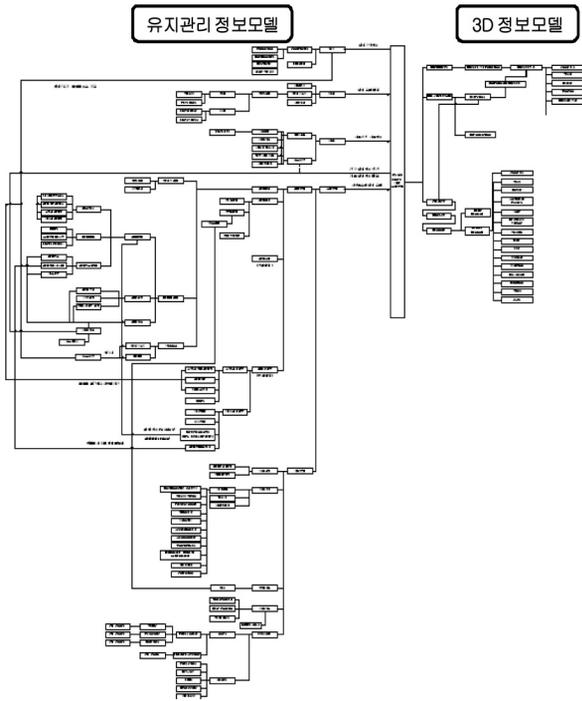


그림 7. Integration of maintenance data model

유지관리자의 점검시 해당 구간에 대한 정보를 모두 담은 모델을 디지털 기기에 담아 이용하기에는 정보의 양이 방대하기 때문에 3차원 모델을 디지털 문서화하여 필요한 정보만을 휴대할 수 있게 하였다. 현재는 acrobat 문서인 pdf 파일에서 3차원 모델의 문서화를 지원하고 있다. 그림 8에서 나타낸 예시에 보는 바와 같이 지형과 시설물 정보를 포함한 모델을 10km 구간의 고속철도에 대해서 하나의 문서로 생성하고 이를 능동적으로 선택하고 조작할 수 있도록 하였다. 디지털 문서의 장점은 용량이 작고 필요한 정

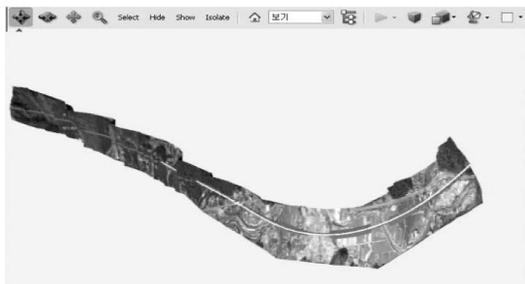


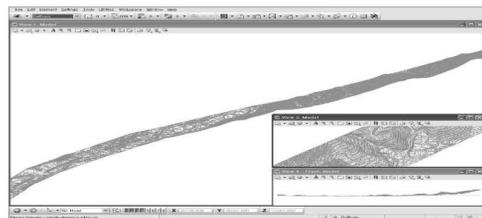
그림 8. Digital document including 3D models

보는 데이터 통신을 통해서 받아들이거나 다시 저장하도록 하여 유지관리 정보의 중앙관리 및 점검 기록의 실시간 저장을 가능하게 한다.

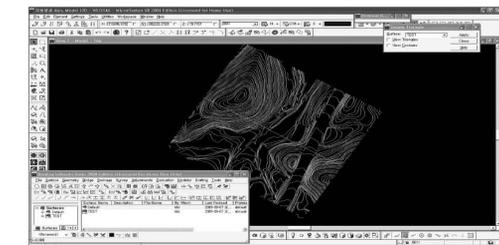
3. 고속철도 교량 구간에 대한 적용

3.1 지형정보 모델 및 노선 설계

3차원 모델의 대상이 되는 구간은 고속철도 총 연장 10.9km 구간으로 6개의 고가교와 2개의 터널이 존재한다. 철도시설물은 토목구조 뿐 아니라 노반, 레일, 전력선 등 복잡한 구성을 가지면서도 많은 부분이 표준화가 가능하기 때문에 3차원 라이브러리가 구축되면 효율적인 작업이 가능하게 된다. 그러나 현재 국내에는 이를 구축한 사례가



(a) 3D GIS model



(b) cut/fill estimation

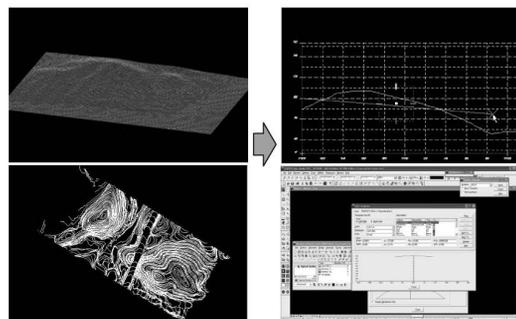
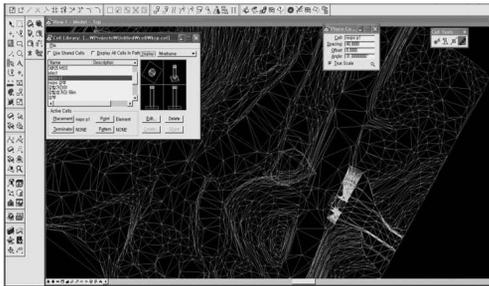
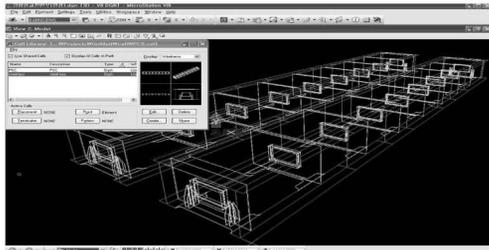


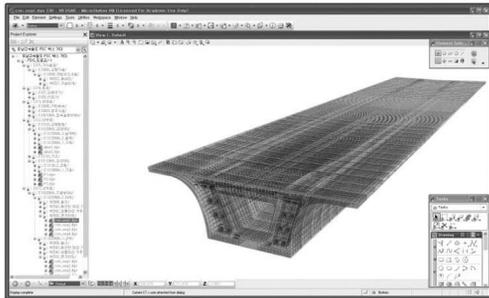
그림 9. Railway line design using 3D models



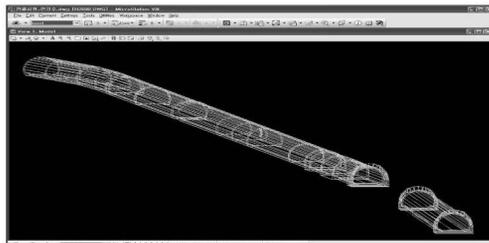
(a) library of substructures



(b) steel bridge model



(c) concrete bridge model



(d) tunnel model



(e) integrated whole model

그림 10. 3D railway infrastructure information model

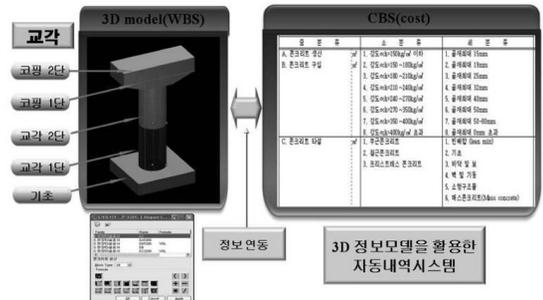
없기 때문에 이 논문에서는 초기 단계로 전자지형도로부터 3D(DTM) 지형을 만들고 절성도 템플릿을 작성하고 이를 적용하여 해당 구간의 station별 횡단면 추출 및 토공량을 산정하였다.

3.2 구조물 설계 및 3차원 정보모델 구성

노선에 대한 설계로부터 교량 및 터널 구간의 설계 조건이 설정되게 된다. 교량 모델의 경우에는 최근에 제안된 BrIM (Bridge Information Model)의 경우를 고려하여⁽²⁾ 형상 및 속성정보를 정의하였다. 유사 형상의 하부구조 등은 모델 데이터베이스를 구축하여 이를 반복 사용할 수 있도록 하였다. 구축된 구조물의 3차원 모델은 지형모델에 좌표를 이용하여 탑재하게 된다.

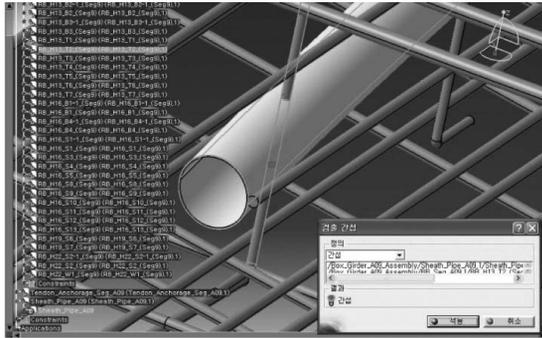
3.3 상세 모델을 통한 견적 및 시공성 검토

견적을 위해서는 철근 혹은 시공에 필요한 세부적인 항목까지의 모델링이 필요하다. 이는 시공성 검토를 위해서

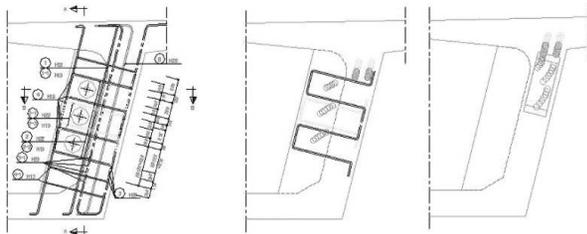


(a) property modeling for estimation

LevelName	Fam.	Part	Fam.	Component	Description	Quantity	Unit	Unit Price	Total
기둥2001	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2002	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2003	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	14,800
기둥2004	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2005	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2006	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2007	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2008	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2009	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2010	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2011	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2012	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2013	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2014	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2015	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2016	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2017	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2018	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2019	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2020	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2021	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2022	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2023	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2024	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2025	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2026	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2027	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2028	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2029	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2030	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2031	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2032	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2033	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2034	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2035	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2036	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2037	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2038	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2039	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2040	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2041	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2042	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2043	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2044	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2045	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2046	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2047	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2048	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2049	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2050	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2051	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2052	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2053	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2054	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2055	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2056	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2057	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2058	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2059	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2060	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2061	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2062	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2063	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2064	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2065	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2066	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2067	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2068	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2069	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2070	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2071	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2072	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2073	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2074	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2075	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2076	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2077	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2078	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2079	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2080	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2081	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2082	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2083	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2084	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2085	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2086	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2087	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2088	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2089	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2090	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2091	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2092	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2093	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2094	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2095	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2096	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2097	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2098	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2099	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2100	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2101	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2102	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2103	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2104	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2105	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2106	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2107	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2108	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상	148.000	m ³	100	
기둥2109	기둥단	기둥상	콘크리트	기둥상	기둥상				



(a) interference check

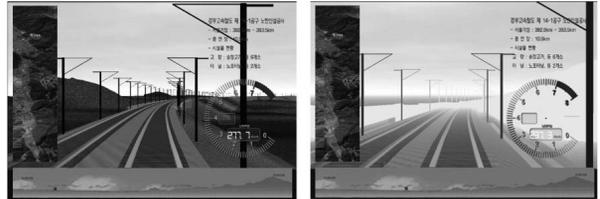


(b) revision of 3D model

그림 12. Digital mock-up

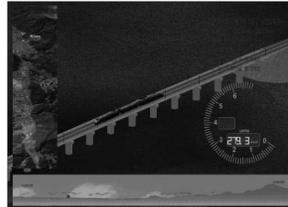
도 마찬가지로이기 때문에 3차원 모델의 수준이 가장 세부적인 것까지 요구된다. 그림 11(a)에서 나타낸 바와 같이 3차원 모델에 견적 산출을 위한 수량 정의에 필요한 모델의 속성을 정의해야 한다. 시공단계를 고려하여 모델을 구분하고 각 부분별로 면적, 체적, 개수 등을 산출할 수 있도록 하였다. 이렇게 정의된 모델이 완성되면 그림 11(b)와 같이 3차원 모델로부터 추출된 수량에 근거한 견적 산출 솔루션과 연동하여 최종적인 결과물을 얻게 된다. 이 논문에서는 기존의 2차원 기반의 견적 프로그램에 3차원 모델에서 산출할 수량을 불러들여서 산출할 수 있도록 개발하였다.

시공성 검토는 가장 기본적으로 구조물 제작을 위해 간섭검토를 수행하고 이를 토대로 시공가능한 상세를 개선하는 것이다. 그림 12에 나타낸 바와 같이 설계 결과물을 바탕으로 작성된 3차원 모델에서 간섭검토 기능을 제공하기 때문에 이를 통해 직접 간섭되거나 설계기준에서 제시하고 있는 간격 규정을 위반하는 부위를 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 부분은 설계자의 판단에 의해서 3차원 모델과 연동된 2차원 도면상에서 수정하여 3차원 모델을 시공 가능한 모델로 완성하게 된다. 이를 통해서 현재 별도 작업



(a) operator view

(b) weather condition simulation



(c) bird-eye view



(d) upward view

그림 13. Active virtual simulation

로 진행하고 있는 제작을 위한 shop drawing 과정을 신속하게 진행할 수 있게 된다.

3.4 능동형 시뮬레이션

철도 시설물은 설계 결과물 제출시 혹은 시공중에 운영 중에 발생할 수 있는 다양한 문제들에 대한 검토가 필요하다. 전력 공급 시설물에 의한 신호기 인지에 대한 어려움이 있거나 기상조건에 따른 운전자 시야 확보 등 다양한 상황에 대한 능동적인 시뮬레이션이 필요하다. 이 논문에서는 생성된 3차원 지형모델과 구조물 모델을 3DVIA Vrttools에서¹³⁾ 받아들이고 후 프로그래밍을 통해 기상상황, 속도 등을 반영한 능동형 시뮬레이션을 구현하였다. 그림 13에서 보는 바와 같이 철도 운전자 혹은 운영자의 시각에서 다양한 상황을 사전에 운영해서 문제점을 찾아서 이를 해결할 수 있도록 하여 리스크를 줄일 수 있다. 또한, 이 시뮬레이션은 완공 후 홍보용으로 활용될 수 있다. 차량에 대한 모델링이 결합할 경우에는 좀 더 유기적인 가상현실 구현이 가능하다.

4. 결론

3차원 정보모델 기반의 철도시설물에 대한 생애주기 관리를 위한 기본 체계와 시범 적용사례를 제시하였다. 정보

통신 기술의 발전은 시스템 산업의 대표사례인 철도시설물에 대한 설계, 시공, 유지관리의 패러다임의 변화를 가능하게 하고 있다. 철도시설물 정보모델의 체계화와 적용을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 철도시설물 정보모델은 3차원 모델생성시 변수모델링 기법 적용, 계층화된 형상모델, 각 응용 프로세서에 필요한 분류체계 및 정보체계를 반영하여야 한다.

(2) 계획단계에서 3차원 지형모델은 전자지형도로부터 추출하여 노선설계 프로그램과 연동하도록 구성하고 구조물은 좌표를 기준으로 지형위에 올리게 된다.

(3) 표준화된 제품, 반복적으로 위치하는 구조물 등은 라이브러리화하여 사용할 수 있고 주요 변수 수정을 통해 기존 3차원 모델의 설계 복사가 가능하다.

(4) 2차원 도면의 3차원 모델과의 효율적인 연동을 위해서는 별도의 관리 솔루션이 필요하고 도면 추출 위치, 포함되는 객체 및 치수, 템플릿 등이 정의되어야 한다.

(5) 물량 및 견적을 위해서는 3차원 모델 생성시 비용분류체계를 반영하고 물량 산정을 위한 속성정보를 모델에 정의해야 한다.

(6) 3차원 모델을 기반으로 한 시뮬레이션은 4D 및 가상 현실 구현에 효과적으로 적용될 수 있고 다양한 리스크의 사전제거에 유용하다.

3차원 설계 적용의 초기 단계에 있기 때문에 기본적인 캐드 엔진의 연동성 미비점과 관련 솔루션 개발의 필요성이 여전히 있음에도 불구하고 현재의 철도 시설물 관련 기술 경쟁력을 혁신적으로 높일 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 해외시장 진출을 위한 기술력의 패키징에 효과적으로 활용되어 국내 고속철도 산업의 국제 경쟁력을 획기적으로 높일 수 있을 것이다. 

♣ 참고 문헌

1. Shim, C.S., Lee, K.M., Son, W.S., Moon, J.W. (2008), Collaborative design of high-speed railway lines using 3D information models, IABSE Conference on Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice, Helsinki, Finland, C33.
2. Eastman, C.M., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2008), BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owner, Managers, Architects, Engineers, Contractors, and Fabricators, John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
3. Latham, M. (1994), Constructing the Team, Final Report of the joint Government/Industry Review of Procurement and Contractual Arrangements in the UK Construction Industry, HMSO.
4. Gallaher, M.P., O'Connor, A.C., Deitbarn, J.L., Gilday, L.T. (2004), Cost Analysis of Inadequate Inoperability in the Capital Facilities Industry, National Institute of Standards and Technology (NIST) Technical Report, NIST GCR-04-867.
5. Duxbury J. and Nader, M. (2008), Use of Integrated Shop Drawings for the San Francisco Oakland Bay Bridge, IABSE Conference on Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice, Helsinki, Finland, Keynotes.
6. Lee, Y.B., Lee, K.M., Park, K.L., Shin, H.Y. (2008), Application of Digital Mock-Up Technology to Design and Construction of Precast Segmental Bridge, IABSE conference, Information and Communication Technology (ICT) for Bridges, Buildings and Construction Practice, Helsinki, Finland.
7. Yabuki, N., Shitani, T. (2003), An IFC-Based Product Model for RC or PC Slab Bridges, Proceedings of the CIB W78's 20th International Conference on Information Technology for Construction, Waiheke Island, New Zealand, 463-470.
8. Moon, J.W., Shim, C.S., Lee, K.M., Kim, Y.H., Son, W.S. (2008), Development of Railway Infrastructure Information Models based on Object-based 3D Models, 8th World Congress on Railway Research, Paper #. I3412.
9. Bentley Institute (2008), MicroStation V8i For CAD Users, TRN012280-1/0001.
10. Bentley Systems (2007), Rebar working with 3D.
11. Dassault (2008), CATIA Manual.
12. Janjic, D., Bokan, H., Love, R.A. (2008) The evolution of bridge information modeling, Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11), Taipei, Taiwan, No. 240-2, 146-147.
13. Virtools (2001), Virtools Dev User Guide.