

교량설계 고도화를 위한 3D CAD 모델링 기법 개발

Development of 3D CAD Modeling for
Bridge Design Improvement



박영하*



박민석*

*한국도로공사 도로교통기술원 구조연구그룹 책임연구원

1. 서 론

최근 제조업계를 위주로 제품의 라이프 사이클(Life Cycle : 생애주기) 전반에 걸쳐 발생하는 정보, 지식, 업무 등을 관리하고 부품의 규격이나 표준을 구축하려는 경향이 많아지고 있다. 지금까지는 제품에 관련된 기획, 설계, 제조, 마케팅(marketing) 등 다양한 부서에서 발생하는 정보가 서로 별개로 관리되어 관련 정보를 얻고자 할 때 복잡한 절차와 경로를 거쳐야만 얻을 수 있다. 최근 들어 PDM(Product Data Management) 시스템과 네트워크망을 이용한 3D CAD를 통한 객체지향적인 3차원 형상 정보에 설계, 재료, 규격, 작업인력, 아웃소싱(outsourcing) 정보 등을 함께 저장하고 관리함으로써 서로 분산되어 관리되고 있는 정보의 원활한 흐름과 공유를 가능하게 할 수 있게 되었다. 제품의 형상적인 분류기준 뿐만 아니라 제품을 기획하여 생산하기까지의 일련의 과정들을 업무관점 혹은 다른 관점에서 분류하여 제품의 라이프 사이클 동안 관리하는 것을 PLM(Product Lifecycle Management)이라고 한다.

교량 구조물은 제조업에서 다량 생산되는 제품들과는 달리 단품으로 존재하고 생애주기 또한 길고, 계획, 설계, 시공부터 유지관리, 폐기에 이르기까지 많은 인력과 자원, 재료 등이 필요하며 관련된 정보와 업무, 지식의 양 또한 방대하다고 할 수 있다. 이러한 많은 양의 정보를 교량의

복잡한 제품구조 혹은 업무구조에 따라 분류하여 PLM, PDM기법을 적용하기에 다소 어려움이 있는 것은 사실이다. 일반적으로 교량은 단품인 만큼 지형적 특성, 현장 여건들에 따라 교량 형식이나 공사 일정 등에 많은 변화가 있기 때문이다. 하지만, 교량의 완성을 위해서는 많은 기관들의 협업이 필수적이고 설계, 도면 등의 자료를 장기간 보관하여 시공이나 유지관리 기간 동안 지속적으로 사용해야 하는 필요성이 있다. 따라서, 본 기사에서는 교량에 대한 PLM 우선 적용 대상으로 자체 선정한 소수 주거더교에 대한 제품구조와 업무구조를 분석한 후 PLM 및 PDM기법 적용의 실효성 검토에 대해 알아보고자 한다. 먼저 객체지향 모델링 기법을 적용하기 위한 이론적인 배경을 살펴보고, 소수 주거더교에 대한 구성성분을 분석한 후, 이를 토대로 3D CAD 모델링을 위한 방법론을 제시하는 순서로 논하고자 한다. 무엇보다도, 정보 공학적인 관점에서 살펴보면, 최초 설계시 정의되었던 모델데이터를 시공 및 유지관리까지 교량의 생애주기(Life Cycle)동안 지속될 수 있는 구조형태로 만드는 것은 매우 중요하며, 교량의 설계단계에서 표출될 수 있는 다양한 데이터 정보의 처리를 정리하는 것도 우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 여기서 객체지향모델링에 적용되는 모델링 언어로써 UML(Unified Modeling Language)을 사용하고, 교량의 데이터관리에 PDM기법을 적용하고자 한다.

2. 객체지향 방법론

2.1 객체지향 모델링

객체지향 방법론은 정보공학적인 관점에서 발전되기 시작했는데, 1990년대에 들어서면서 부터 소프트웨어 공학 분야에서는 소프트웨어의 재사용성 및 유지보수를 위한 효과적인 방법을 제시하는 객체지향 개발 방법론이 큰 관심을 끌게 되었다. 이에 따라 각자의 표기법(notation)을 가진 많은 객체지향 개발 방법론이 소개되었다. 특히 각자의 방법론을 보완하는 차원에서 모델링 언어의 하나인 UML(Unified Modeling Language)이 개발되었다. UML은 시스템 개발 과정에서 객체지향 시스템의 결과물을 명세화하고, 시각화하고, 문서화하기 위하여 사용되는 모델링 언어로써, 많은 방법론의 우수한 개념을 통합한 것이다. UML은 객체지향 방법론에 사용되는 표기법을 통합함으로써 객체지향 분석과 설계분야에서 표준을 위한 기초를 제공하였다.

2.2 교량 설계의 객체지향 방법론

교량의 완성을 위해서는 설계, 해석, 시공, 유지관리 등 많은 업무와 방대한 자료가 발생하게 된다. 이러한 거대 구조물의 프로세스를 효율적으로 관리하고 발생하는 지식의 재사용을 위해서는 설계자, 관리자, 개발자, 사용자 등을 중심으로 유스 케이스(Use Case)를 구현하고, 사용자가 적용할 수 있는 설계상의 프로세스(Process)를 조직화하여 다양한 다이아그램(Diagram)으로 표현할 수 있어야 하며, 데이터베이스(Database)를 구축하여 발생하는 자료를 중앙 집중적으로 관리할 수 있어야 한다. 교량 구조물의 업무 프로세스를 분석하고 각 부재를 개별 요소(component)로 분류하여 해석, 시공, 유지관리 등 각각의 특성에 맞게 분류할 수 있도록 하여야 한다.

2.3 교량 설계 프로세스 모델링의 개념

교량에 대한 설계를 통해서 획득되는 성과물로는 도면과 갖가지 재료 및 시공발생하는 구조계산서 및 컴퓨터 관련자료 등 다양한 자료가 생성된다. 따라서, 교량에 대한 설계 프로세스의 모델링은 발생된 지식을 향후에 동일한 프로세스를 진행시킴에 있어, 프로세스 적용의 효율성

을 강화시키는 방향으로 정의되어야 한다. 이를 위해서는 각각의 객체들에 대한 모델링과 프로세스 상에서 존재하는 정보와 지식들이 교량의 설계 이후 시공과 유지관리에서 적용될 수 있도록 연결할 수 있어야 한다.

교량은 특성상 설계 정보를 바탕으로, 제작 및 시공, 유지관리를 진행하기 때문에 전체 프로세스에 대한 데이터의 종합적인 처리는 대단히 중요하다. 각각의 데이터 정보는 필요시 관계형 데이터베이스(RDB : Relational DataBase)를 구성하도록 하며, 전체적인 데이터의 생애주기 관점에서는 객체지향적인 모델링을 통한 데이터의 체계정립이 병행되어야 할 것이다. 최근에 들어서 일반적인 제품개발 시간을 단축함으로서 생산성을 증가시키고 있는데, 이를 실현하기 위해서 주로 설계정보와 제조관련 정보를 결합한 PDM기법이 널리 활용되고 있다. PDM기법은 조직내 관련 구성원 모두에게 필요한 모든 데이터를 적절한 시점에 원하는 곳으로 제품개발에 필요한 모든 정보인 이미지정보, 도면, 문서, 제품구성, 엔지니어링 정보, 업무프로세스, 프로젝트 관리에 관한 정보를 개념설계부터 제품 전체의 라이프 사이클에 걸쳐 정보를 공유하여 관리하는 것이다.

따라서, 교량의 설계모델링에 있어서도, 교량에 관련한 이미지정보, 도면 및 문서 등 각종 엔지니어링 정보를 체계화하여 관리함으로써, 공정의 효율을 극대화 시키는 것이 대단히 중요하다. 이러한 것들이 요소(Component)를 기반으로 하여 객체화시키고, 형상화 시켜야 하는데, 일반적으로 교량에 대해서는 설계에 대한 기준을 중심으로 한 설계영역(Specification Domain)과 교량을 실제적으로 구현하는 실제영역(Realization Domain)으로 구분하여 CBD(Component Based Design) 기법을 활용하면, 그림 2와 같이 추상화 시킬 수 있다.

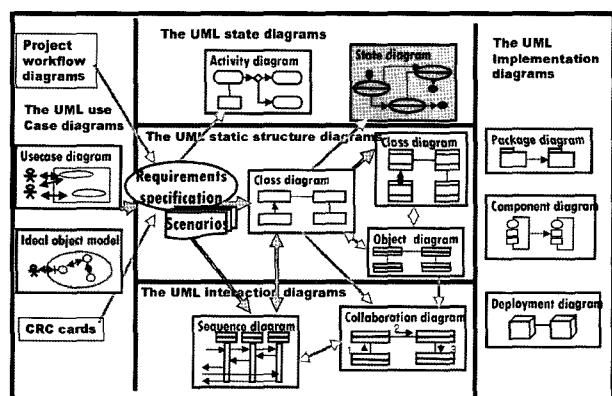


그림 1 교량설계 프로세스 구축을 위한 UML Diagram 체계

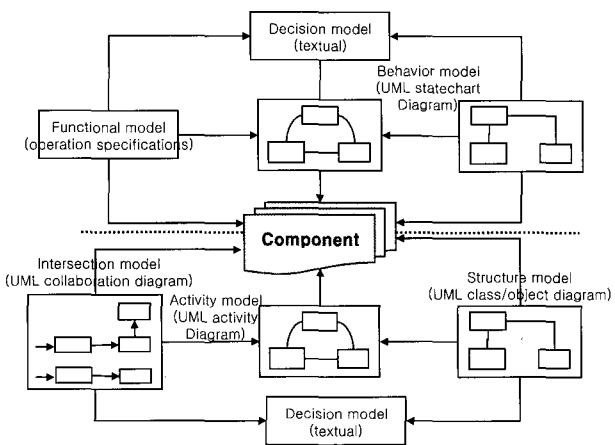


그림 2 콤파넌트 기반의 객체지향형 PDM 방안

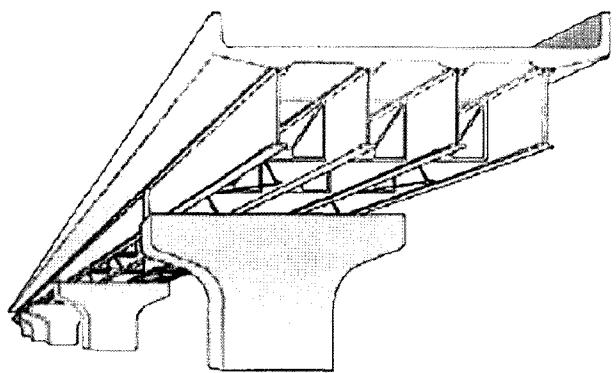


그림 3 일반 플레이트거더교

3. 소수 주거더교의 설계 개요

3.1 소수 주거더교의 특성

소수 주거더교는 단면과 횡방향 구조계를 단순화한 플레이트 거더교를 의미하는데, 기존의 플레이트 거더교는 다양한 보강재를 설치하기 때문에 제작비와 유지관리비의 상승을 초래하기 때문에 교량의 생애주기비용을 증가시키기 위해 합리화하는 개념으로 프랑스 등을 중심으로 유럽 등에서 적용되었으며, 일본에서도 활발히 적용되고 있다. 이 교량형식의 주요한 특징은 다음과 같다.

- ① 주거더 개수의 최소화
- ② 바닥판의 장지간화(지간장:6m~10m)
- ③ 수직 및 수평보강재의 최대한 생략을 통한 거더 단면의 단순화
- ④ 수직 및 수평브레이싱의 생략 및 H형강 가로보 적용

3.2 소수 주거더교의 설계시 고려할 사항

1) 바닥판 형식

소수 주거더교는 거더 개수가 적고 간격이 넓기 때문에 바닥판이 파손될 경우 바닥판을 보수하거나 교체하는데, 어려움이 있다. 따라서, 장지간 바닥판의 적용에 있어서, 교량의 전체 수명기간 동안에 적절한 내구성을 유지하기 위해서, 프리스트레스트 콘크리트 바닥판을 적용하게 된다. 일본 등에서는 현장타설 바닥판이 적용되고 있으며, 최근에는 합성바닥판과 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 적용이 시도되고 있는 추세이다. 본 기사에서는 이 중에서 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 적용하는 것을 가정하였다.

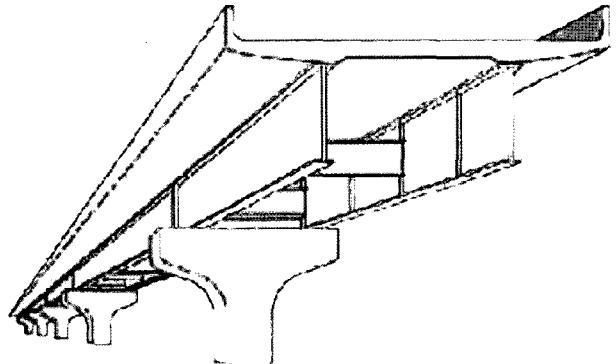


그림 4 합리화된 소수주거더교

2) 전단 연결재

바닥판의 거동은 일반 플레이트 거더에 비해 보강재의 적용이 줄어들게 되기 때문에, 설계시 종방향 전단력뿐만 아니라, 횡방향 전단력과 바닥판의 횡방향 모멘트로 인한 인장력도 고려되어야 하기 때문에 전단연결재의 형식은 대구경의 전단연결재가 사용되도록 한다.

3) 기타 고려사항

고속도로상 소수 주거더교는 다음과 같은 사항에 대해서 고려하도록 제시하고 있다.

- ① 직선교에 적용하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 프리스트레스트 콘크리트 바닥판 적용을 기본으로 한다.
- ③ 바닥판의 두께와 설계모멘트는 기존의 도로교 설계 기준을 따른다.

3.3 소수 주거더교의 구성성분에 대한 구분 예

소수 주거더교에 대한 구성성분은 크게, 바닥판, 주거더, 보강재, 부속장치(신축이음장치, 교량받침), 하부구조

표 1 소수주거더교의 객체 구성성분 분류

구분	주요 성분	세부 구성성분
기능적인 분류	상부구조	바닥판, 주거더, 2차부재
	하부구조	교대, 교각
	부속장치	신축이음장치, 교량받침,
물리적인 분류	바닥판	PSC 콘크리트, 철근, PSC 강선, 접착제
	주거더	플레이트, 복부판, 전단연결재
	보강재	수직보강재
	브레이싱	가로보, 대각브레이싱
	연결부	스플라이스판, 볼트, 너트
	교량받침	상부플레이트, 반침장치, 하부플레이트, 앵커볼트
	교각	철근콘크리트, 철근
	교대	어프로치 슬래브, 응벽, 교대

(교량, 교대) 등으로 구분할 수 있는데, 이에 대한 기능적인 분류와 물리적인 분류에는 표 1과 같이 차이를 보이는 데 기능적인 분류는 교량의 역학적인 거동에 따라, 교량 공학적인 접근을 통한 기능적인 구분이며, 상부구조, 하부구조, 부속장치(연결장치 포함) 등으로 크게 구분할 수 있으며, 각 성분들은 다시, 교량에 대한 세부 구성성분에 대한 명칭에 근거하여 구분지을 수 있다. 또한, 물리적인 분류는 교량에 대한 형태별 물리적인 구분이 가능하며, 교량에 대한 3D CAD 모델링에서는 세부구성성분을 바탕으로 한 물리적인 구분을 통해서 개별적인 객체화 과정이 필수적이다.

4. PLM / PDM 기법을 적용한 교량 정보 관리

4.1 PLM 기법의 적용

PLM은 Product Life Cycle Management의 약자로써 제품의 라이프 사이클(Life Cycle), 즉 제품의 기획, 설계, 제조, 운영, 유지보수, 폐기기에 이르기까지 모든 활동을 관리하고 관련 데이터, 정보, 지식 등을 관리하는 것을 말한다. 현재는 주로 제조업에서 많이 사용되고 있으며 자동차, 항공우주, 조선, 기계제조 등의 분야에서 널리 적용되고 있는 기법이다. PLM은 제품의 기계적, 형상적 특성만을 관리하는 것이 아니라 제품의 기획, 설계, 생산, 재료, 마케팅(Marketing), 사후관리(A/S)까지 제품에 관련된 모든 활동과 정보를 다루어 보다 효율적으로 제품을 관리하고자 하는 관리체계로서, 그것을 사용할 필요가 있는 사람이나 시스템에게 정확한 데이터를 제공한다. 이러한 제품의 라이프 사이클 매니지먼트는 다음과 같이 교량에서도 적용될 수 있다.

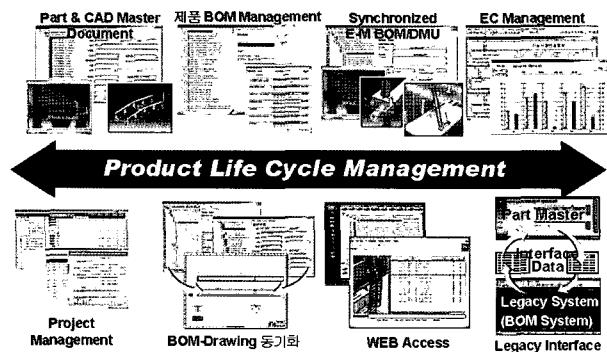


그림 5 교량의 PLM 구현

4.2 PDM 기법의 적용

PDM이란 Product Data Management의 약자로써 정보시스템을 이용하여 방대한 양의 제품정보를 효과적으로 관리하여 양질의 제품을 보다 신속하고 경제적으로 개발 가능하도록 하는 것으로 제품개발의 품질, 비용 그리고 시간 요소를 개선하는데 목적이 있다. 일반적으로 PDM 시스템은 제품구조(Product Structure)를 중심으로 주로 제품상세 설계 과정(Detailed Design Process)에 관련된 제품정보를 효과적으로 관리하는 컴퓨터 정보 시스템 기반의 자료관리 활동으로 정의된다. 제품 설계 및 생산을 위한 업무와 제품 구조를 분석하여 관련된 정보를 중앙시스템에 저장하여 관리함으로써 자료저장과 문서관리, 워크 플로우(Work Flow)와 업무과정관리(Process Management), 제품구조(Product Structure Management)와 부품관리(Part Master), 자료전환 및 교환, 자료의 버전 관리 등 많은 방면으로 정보를 활용할 수 있다. PDM 시스템은 다음과 같은 기능을 가진다. 교량은 특성상 설계 정보를 바탕으로, 제작 및 시공, 유지관리를 진행하기 때문에 전체 프로세스에 대한 데이터의 종합적인 처리는 대단히 중요하다.

이를 요약하면 아래와 같은 기능으로 정리 될 수 있다.

① 제품 구조 관리(Product Structure Management)
PBS(Product Breakdown Structure), ZBS(Zone Breakdown Structure), WBS (Work Breakdown Structure) 개념에 의해 제품의 구성을 Tree 형태로 관리함으로써 설계 EBOM, 생산 BOM, 유지보수 BOM을 구성을 가능하게 함을 말한다.

② BOM 관리

BOM(Bill Of Material) 관리는 제품을 구성하는 부품(Part), 중간 제품(Interim Product) 등을 모자(Parent-Child) 관계로 구성함을 말한다. 이는 설계

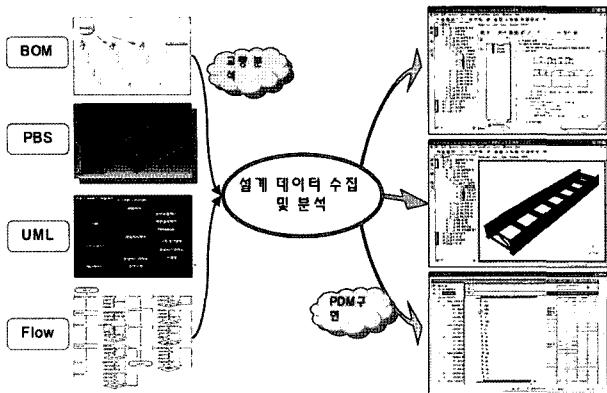


그림 6 교량의 PDM 구현

를 위한 E-BOM(Engineering BOM)과 생산을 위한 M-BOM(Manufacturing BOM)과 더불어 유지보수를 위한 BOM 등으로 나눈다. BOM은 기준 정보로써 관리되어야 하므로 변경 History 관리도 병행되어야 한다.

- ③ 표준 부품(ITEM/Part) 관리(Part Master)
제품을 이루는 표준 부품(자재, 장비, 부품) 등의 정보 제공함으로써 설계 정보의 재활용성을 높일 수 있어야 한다. 표준 부품의 속성(spec. 제질 등)도 동시에 관리함으로써 활용성을 높이는 목적이 이루어져야 한다.
- ④ 도면 및 모델 관리
각 제품 또는 부품의 도면, 3차원 모델 정보를 PBS, ZBS, WBS와 연관관계(Link, Association)를 맺음으로써 동시에 참조할 수 있도록 제공하여야 한다. 또한 도면 및 3차원 모델의 개정을 관리함으로써 설계 변경 정보도 제공하여야 한다.
- ⑤ 사업관리(Program & Project management)
설계 프로젝트의 일정, 투입 인원, 산출물 일정, 산출물을 정의함으로써 설계 프로젝트의 품질을 유지하여야 한다. 이는 일반적인 사업관리의 기능과 함께 PDM의 제품 정보를 연결하는 시스템으로 구축되어야 한다.
- ⑥ Data Vault 관리
설계 산출물로 나오는 기술 검토 문서, 사양서, 해석 문서, 도면 등의 정보를 유일한 정보로써 DataBase에 저장하고 제공하여야 한다.
- ⑦ Work Flow 관리(Work flow & Process management)
설계 작업 및 변경 등의 업무 프로세스를 flow chart 형태로 모델링하고, 각 업무 process에 산출물, 업무 일정, 관련 문서, 업무 수행자를 지정함으로써 설계

업무가 수행되도록 시스템을 통해 관리하여야 한다.

- ⑧ 설계 변경 관리(Engineering Change Management)
BOM, ITEM, Part의 설계 변경은 불가피하게 발생하며, 각 설계 변경 업무 프로세스 및 개정 사항을 관리하여야 한다. 특히 설계 변경 ITEM이 발생함으로써 설계 변경에 영향을 미치는 부서 및 item 등을 자동으로 지정하여 설계 변경을 공지(Engineering Change Notice)하여 설계 변경 결과가 반영되도록 하여야 한다.

⑨ CAD 및 System Integration

설계 소프트웨어(CAD, 성능 해석) 등과 PDM은 interface를 통해 정보를 공유하는 것이 바람직하며, interface가 제공되지 않는 경우에는 neutral data를 EDI(electronic data interface) 또는 DB 통합을 통해 작업하는 것이 바람직하다.

⑩ WEB 지원

시스템은 Web기반으로 작성함으로써 전산환경에 구애받지 않고 사용자가 접근할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 또한 Web환경에서 구축된 시스템은 유지 보수 및 신기술 적용이 지속적으로 가능하도록 하여야 한다. 교량은 특성상 설계 정보를 바탕으로, 제작 및 시공, 유지관리를 진행하기 때문에 전체 프로세스에 대한 데이터의 종합적인 처리는 대단히 중요하다. 본 연구에서는 대상 교량으로 삼고 있는 소수 주거더교의 설계 프로세스와 교량구조를 분석하여 PDM시스템을 적용하고 나아가 라이브 쌔이클 매니지먼트를 할 수 있는 관리 구조를 구축하려 한다.

4.3 소수 주거더교의 자료구조분석

본 기사에서는 소수 주거더교에 대한 PDM시스템 개발을 위하여 기존에 교량건설 프로젝트에서 발생하는 여러 가지 양식의 데이터를 분석한 결과를 보여주고자 한다. 교량 구조물에 발생하는 데이터는 설계보고서, 구조계산서, 상세 도면 등이 있으며 각 항목마다 방대한 양의 정보를 가지고 있다. 이러한 데이터를 통합하기 위해서는 기존의 데이터 구성방식을 분석하고 재구성하여야만 한다.

5. 결 론

본 기사에서는 일반적으로 기계 및 제조업에서 적용되고 있는 PLM과 PDM이라는 개념을 이용하여 교량 설계

의 고도화를 위한 방법론을 제시하고자 하였다. 교량의 생애주기 동안 발생하는 정보를 효율적으로 관리하고 3D 모델링 데이터의 활용과 협업체계 등의 설계 고도화를 도모하기 위해서는 현재의 설계프로세스와 교량의 제품구조 분석이 이루어져야 할 것이다.

소수 주거더교의 정보관리와 업무관리를 위하여 제품 구조와 업무구조 분석을 실시하였다. 제품의 구조와 업무 구조는 보는 시각에 따라 달라질 수 있기 때문에 다양한 관점에서 분석하여 합당한 실용방안을 제시하여야 한다. 먼저 소수 주거더교에 대한 자료구조를 분석한 후 설계데

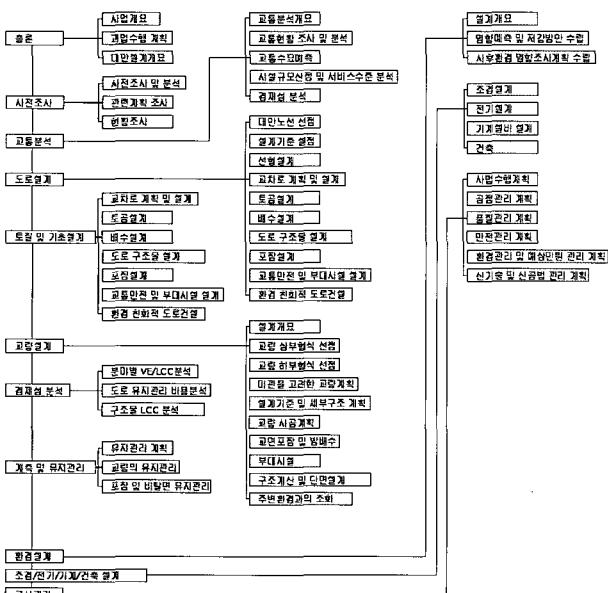


그림 7 설계보고서의 자료구조



SUPERSTRUCTURE	
Slab	Deck Steel Longitudinal Transverse Prestress Longitudinal Transverse Expansion Joint Others Handrail Medial Strip Curb Guard Rail Safety Barriers Drainage
SPlice	Splice01 Main Girder Girder Upper Flange Lower Flange Web Plate Stud Section Type Type A Stiffener Reinforced Plate Stringer I- Shape Steel L-Shape Steel Horizontal Steel Inclined Steel, Right Inclined Steel, Left
	Gusset Plate Side Anchor CT_Plate UR_Plate DR_Plate UL_Plate DL_Plate
	Bolting Type B Stiffener Type C Stiffener Cross Beam
Splice02 Main Girder	Upper Flange Lower Flange Web Plate Connect Plate Gusset Plate Horizontal Vertical Bolting Type D Stiffener Girder Upper Flange Lower Flange Web Plate Stud Section Type Type E Stiffener Cross Beam Upper Flange Lower Flange Web Plate Connect Plate Horizontal Vertical Bolting Type F Stiffener Type G Stiffener

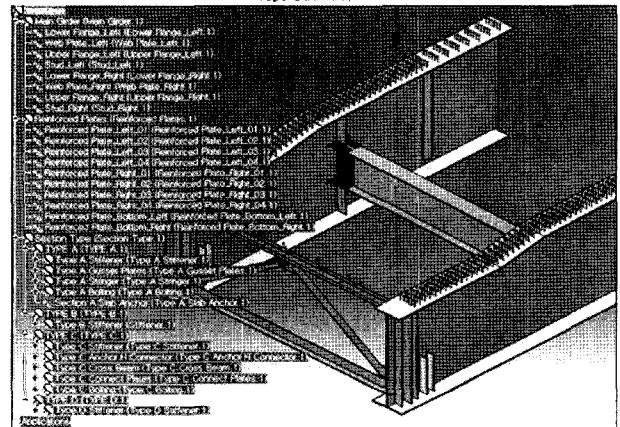


그림 9 소수 주거더교의 물리적 구조

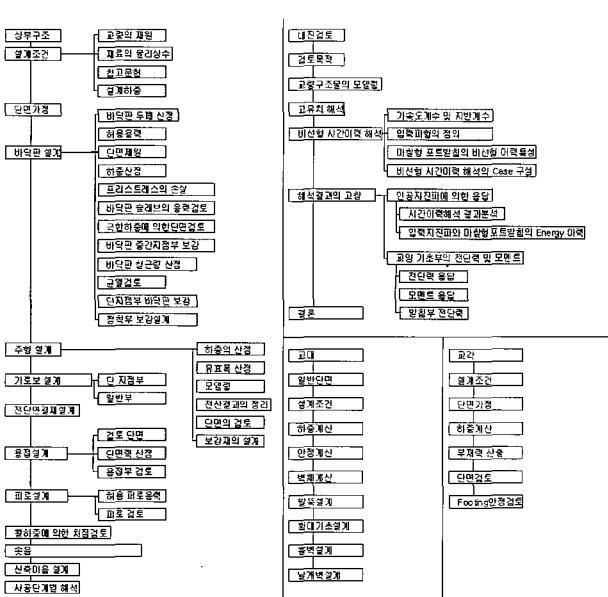


그림 8 구조계산서의 자료구조

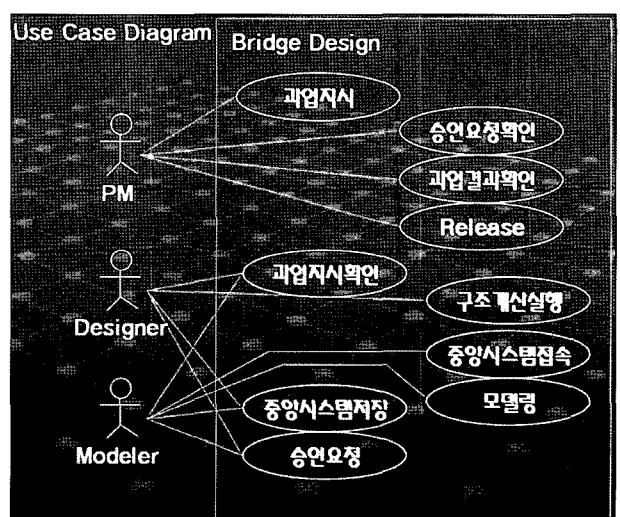


그림 10 UML 업무분석 다이어그램

이터와 도면데이터, 그리고 각 설계업무자의 업무를 조직화하기 위하여 각각의 데이터를 재구성하게 된다. 또한 통합시스템 구축을 위하여 PDM 프로그램을 이용하여 소수 주거더교를 실 예로 하여 PDM시스템을 제시하고 UML을 이용하여 설계 업무 프로세스를 정립하였다.

참 고 문 헌

1. 조대연, 안상섭, 박영하, 이일근, 정홍시, 2004, “소수 주거더교의 3D CAD 모델링을 위한 객체지향방법론”, 대한토목학회 학술대회.
2. 박영하, 안상섭, 박민석, 정홍시, 2005, “소수 주거더교에의 PLM(Product Life Cycle Management)기법 적용”, 대한토목학회 학술대회.
3. Collier, Eric. Fischer, Martin. Visual-based scheduling: 4D modeling on the San Mateo County Health Center. Computing in Civil Engineering(New York). pp.800~805.
4. Colin Atkinson, Joachim Bayer etd, 2000, “Component-based Product Line Engineering with UML”, Addison Wesley.
5. 길홍배 등, 2003, “후판강재 적용을 통한 교량 합리화 연구”, 한국도로공사 도로교통기술원 연구보고서.
6. 포항산업과학연구원, 2000, “합리화 2주형교용 바닥판 개발에 관한 연구”.
7. Andrew Haigh, “Object-Oriented Analysis & Design”, McGraw Hill.
8. 권종구, 1998, “에이전트 기반의 워크플로우에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, pp.1~21.
9. 서정우, 이규열, 1997, “STEP 을 이용한 초기 선형 및 구획정보의 범용 CAD 시스템으로의 데이터 교환 방법”, 대한조선학회 논문집, 제34권, 제4호, pp.119~126.
10. 유상봉, 이재원, 1993, “선박의 설계 및 생산 정보의 통합을 위한 Product Model의 구축”, 대한조선학회 논문집, 제30권, 제2호, pp.1~12.
11. 한관희, 박찬우, 2002, “제품정보관리 시스템 개발을 위한 기능 분석에 관한 연구”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 7, No. 1, pp.35~42.
12. Xu, X.W. and Liu, T., 2003, “A web-enabled PDM system in a collaborative design environment”, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 19, pp.315~328. 