

STEP Part 104를 기반으로한 강상자형 교량의 유한요소해석 데이터모델 개발

Development of a Finite Element Analysis Data model for Steel Box Girder Bridges Based on STEP Part 104

이 상 호 * 송 정 훈** 정 연 석*** 이 영 수****
Lee, Sang-Ho Song, Jeong-Hoon Jeong, Yeon-Suk Lee, Yung-Soo

ABSTRACT

In this study, the methodology to develop a data model for steel box girder bridge based on STEP part 104 is presented. The concept of STEP and the schema of part 104 are briefly reviewed, and then the procedure of data model standardization is described. A new data model for steel box girder bridge is developed by incorporating with not only the geometric and topological representation schema of the part 42 but also the representation structure information of the part 43 and the detailed finite element analysis information of the part 104. The prototype of integrated finite element analysis(FEA) system by interfacing STEP physical file is also presented. The applicability of developed data model for FEA is verified by preprocessor system of FEA.

1. 서 론

현재 건설산업에서는 비교적 데이터모델 개발이 용이한 설계도면 및 철골 빌딩구조물 정보에 한하여 활용 가능한 데이터모델이 개발되어 실제업무에 적용되고 있으며, 그 예로는 1990년대 들어 개발된 STEP AP230⁽¹⁾, CIS/2⁽²⁾, IFC⁽³⁾ 및 STEP-CDS⁽⁴⁾등을 들 수 있다. 이중 CIS/2, IFC 및 STEP-CDS 모델의 경우에는 현재 상용애플리케이션에서 각 모델을 데이터 표준으로 채택하여 입·출력을 위한 인터페이스를 제공함으로써 실질적인 데이터 공유가 이루어지고 있다.

그러나 토목분야의 교량과 같이 특수한 형태의 구조물에 대해서는 이처럼 표준화된 데이터모델이 제시되고 있지 않다. 이로 인하여 현재 CIC 및 SIT(Structural IT) 분야에서 개발되는 시스템들은 내부적으로는 동일한 제품데이터를 다루고 있음에도 불구하고 대부분의 데이터모델이 표준화된 방식을 따르지 않고 독립적으로 개발되었기 때문에 각각의 고유한 데이터 표현방법과 관리방법을 가진 이질적인 시스템으로 존재한다. 이것은 각각의 프로세스에서 발생하는 데이터의 불일치로 인하여 상호 데이터 교환 및 공유상의 문제를 일으키고 있으며, 또한 새롭게 개발되는 시스템들이 독자적 데이터모델을 사용함에 따라 일회성 시스템으로 제한되는 비효율을 낳고 있다.

이러한 점을 개선하기 위하여 국제표준기구(ISO)에서는 1984년부터 각 프로세스에서 발생하는 데이터를

* 정회원, 연세대학교 사회환경건축공학부 토목공학전공 부교수
** 학생회원, 연세대학교 사회환경건축공학부 토목공학과 석사과정
*** 정회원, 연세대학교 사회환경건축공학부 토목공학과 박사과정
**** 정회원, 현대산업개발(주) 토목설계팀 이사

처리할 수 있는 표준적 데이터모델을 개발함으로써 독자적으로 개발되는 시스템일지라도 각각의 시스템간에 자유로운 데이터 상호교환이 가능하도록 하는 ISO10303(Standard for the Exchange Product model data: STEP)을 통한 데이터 표준화를 수행해 오고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 필요성에 기인하여 가상자형 교량을 대상으로 교량의 형상정보 및 구조적 특성을 반영할 수 있는 데이터모델을 생성한 후 STEP Part 104⁽⁵⁾와의 해석모델 구성에 대한 연계를 통하여 실제 가상자형 교량의 유한요소해석에 사용할 수 있는 데이터모델을 제시하고자 한다.

2. STEP의 구조

2.1 STEP의 기본구조 및 정보교환

STEP은 각 산업분야별 정보교환 및 공유를 위한 표준데이터모델과 그 개발을 위한 방법론을 제공하는 Part라는 문서들의 집합으로 이루어져 있다. 이 문서들은 상위 관점에서는 STEP의 기본적인 구성을 위한 파트문서들과 이를 기반으로 구축되어 상호 정보교환을 위한 데이터모델을 제시하는 파트문서들의 집합으로 그림 1과 같이 구성되어 있다. 이중 실제적으로 사용되는 STEP의 데이터모델은 크게 응용자원과 일반자원을 포함하는 통합자원(Integrated Resource)과 이를 기반으로 실제 개별적인 산업분야에 사용하기 위한 응용프로토콜(Application Protocol)의 두 종류로 구성된다.

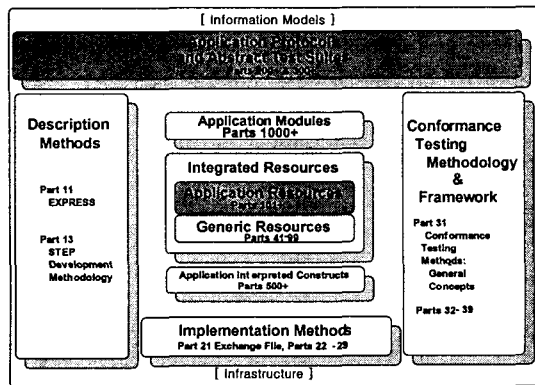


그림 1. STEP의 구조

현재 통합자원에 해당하는 Part 40번대 및 Part 100번대 문서들은 대부분 국제표준(International Standard)으로 승인되어 응용프로토콜 개발에 적용되고 있다. 그러나 각 산업분야별 해당 표준을 제공하기 위한 응용프로토콜의 경우 일부는 현재 국제표준으로 승인이 되어 상용애플리케이션에서 적용되는 반면에 데이터 표준의 어려움으로 인하여 응용프로토콜개발 프로젝트가 중단된 경우도 있다.

2.2 STEP Part 104의 개요

Part 104는 STEP내의 통합자원이며 ISO TC184/SC4에 의해 진행된 프로젝트로서 현재 국제표준으로 승인되어 기계, 자동차 및 선박과 같은 제품의 데이터모델 개발에 적용되고 있다. 이 문서는 유한요소해석 데이터모델 정의를 위해 4개의 스키마(schema)로 구성되어 전 산업분야에서 사용할 수 있는 일반적인 유한요소해석과 관련된 정보를 표현한다. 표 1은 Part 104를 구성하고 있는 4개의 스키마에 대한 개요를 나타내고 있다.

표 1. Part 104의 주요 스키마 개요

STEP Part 104의 스키마	내용
Structural Response Definition Schema	FEA모델에 대한 정의적 특징을 나타냄
Structural Response Representation Schema	FEA 모델을 생성하기 위한 절점, 요소, 재료와 요소특성, 좌표계, 요소적분 등을 나타냄
Finite Element Analysis Control and Result Schema	유한요소해석을 위한 제어와 해석 후의 결과를 나타냄
FEA Scalar Vector Tensor Schema	유한요소해석의 입력과 결과를 나타내기 위한 scalar, vector, tensor를 나타냄

3. 강상자형 교량의 유한요소해석에 적합한 데이터모델 구축

3.1 강상자형 교량의 유한요소해석에 적합한 데이터모델 생성방안

STEP에서 제시하는 표준데이터모델 개발 방법론을 따르면 Part 104와 같은 통합자원을 이용하여 특정 산업분야에 적합한 응용해석모델(Application Interpreted Model: AIM)을 개발할 때에는 기존의 통합자원을 별도의 가공 없이 블록식으로 조립하여 구성함을 원칙으로 하고 있다. 그러나 토목분야의 강상자형 교량과 같은 특수한 구조물에 대해서 기존의 통합자원을 그대로 적용하여 AIM을 구성하거나 AP230과 같이 일반적인 강구조물을 대상으로 개발된 응용프로토콜을 사용하기에는 현재 제시되고 있는 데이터모델이 구조물 전체의 특성을 잘 반영하지 못하는 문제점이 있다.

따라서, 강상자형 교량을 대상으로 유한요소해석시 사용 가능한 데이터모델을 구축하기 위해서는 구조물의 형상과 해석모델 구성에 필요한 구조정보를 잘 반영할 수 있는 특성화된 데이터모델을 기존의 통합자원을 참조하여 새롭게 생성⁶⁾한 후 이를 Part 104의 스키마중 해석모델을 표현하는 스키마와 연계시키는 방안이 필요하다. 이를 위하여 그림 2와 같이 STEP에서 제안하는 표준적 데이터모델 개발방법론에 따라 강상자형 교량을 대상으로 해당구조물의 AAM, ARM을 생성한 후 Part 104를 구성하고 있는 스키마에 대한 선택적 선별을 통해서 연계시킴으로써 강상자형 교량의 유한요소해석을 수행하는데 적합한 데이터모델을 생성하는 방안을 채택하였다. 그림 2에서 본 연구를 통하여 고려되는 부분은 AAM, ARM 및 AIM 구축 부분이며 이외의 ATS와 AIC 등에 대한 부분은 배제하도록 한다.

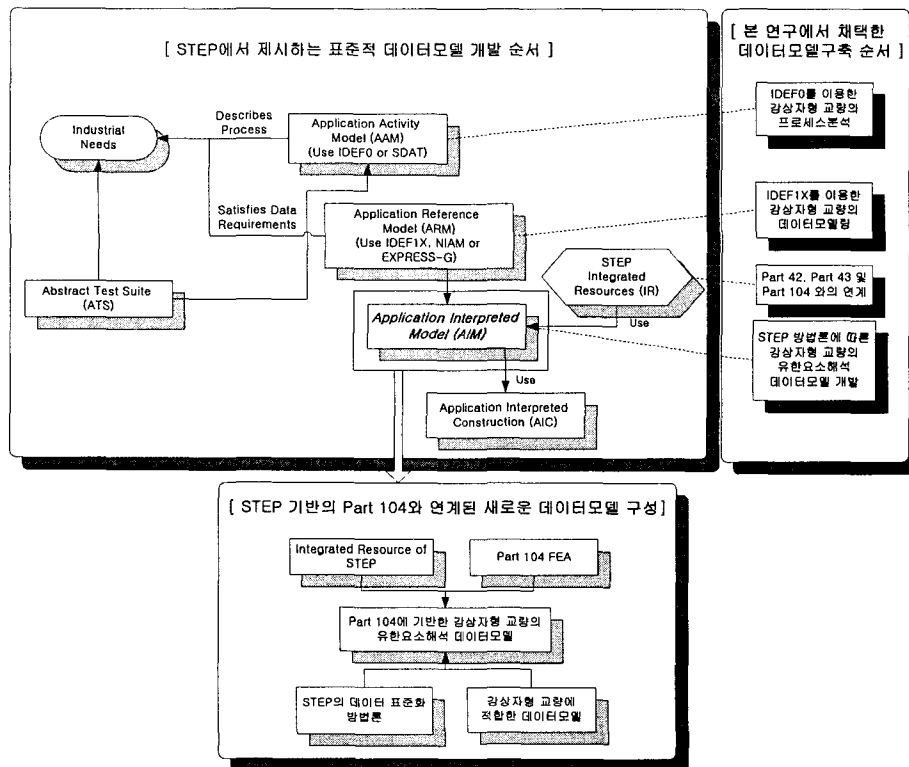


그림 2. STEP에서 제시하는 데이터모델 구축과정

3.2 강상자형 교량의 AAM 및 ARM 구축

강상자형 교량의 ARM 구축을 위하여 우선 STEP 방법론에 따라 강상자형 교량의 형상표현 및 유한요소해석과 관련된 프로세스들을 분석하여 요구되는 정보를 정의한 후 IDEF0를 이용하여 각각의 활동(activity)에 소요되는 ICOM(Input, Control, Output, Mechanism)을 분석함으로써 AAM을 구축하였다. 그림 3은 AAM 구축을 위하여 프로세스 분석의 기반이 된 강상자형 교량의 프로세스 계층도이다.

구축된 AAM을 재분석함으로써 각각의 프로세스의 활동으로부터 단위기능(Unit of Functionality: UoF)을 추출하였으며, 이는 IDEF1X에 따라 응용오브젝트로 구성된 후 각각의 오브젝트간 관계 및 속성을 정의함으로써 강상자형 교량의 ARM이 구축되었다. IDEF1X 방법론에 따라 구축된 응용참조모델은 97개의 엔티티들로 구성되었으며, 그 필요에 따라 7개의 view로 구성하였다. 그림 4와 그림 5는 이들 ARM중 해석 모델과 구조 어셈블리(assembly)를 표현하는 view를 나타낸 것이다.

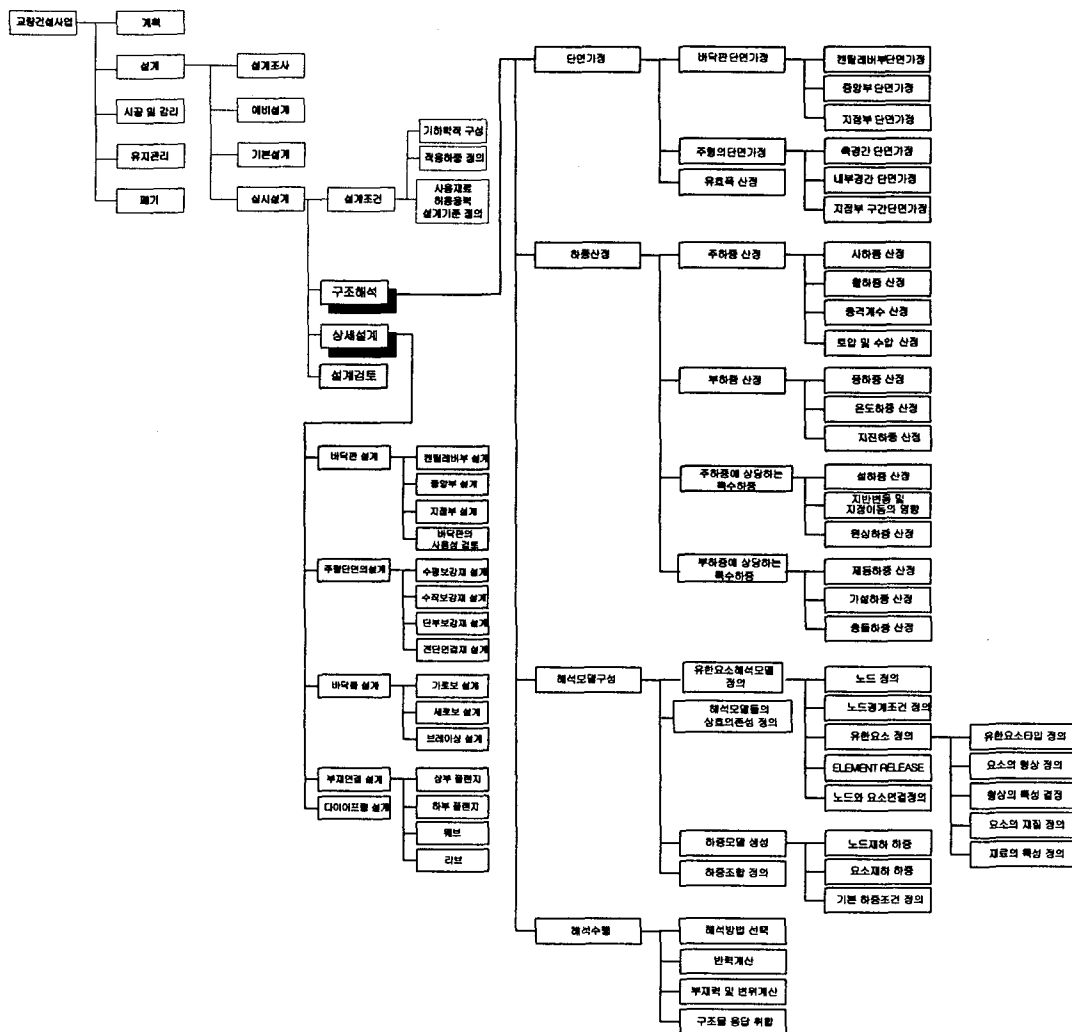


그림 3. 강상자형 교량의 설계 및 유한요소해석 프로세스 계층도

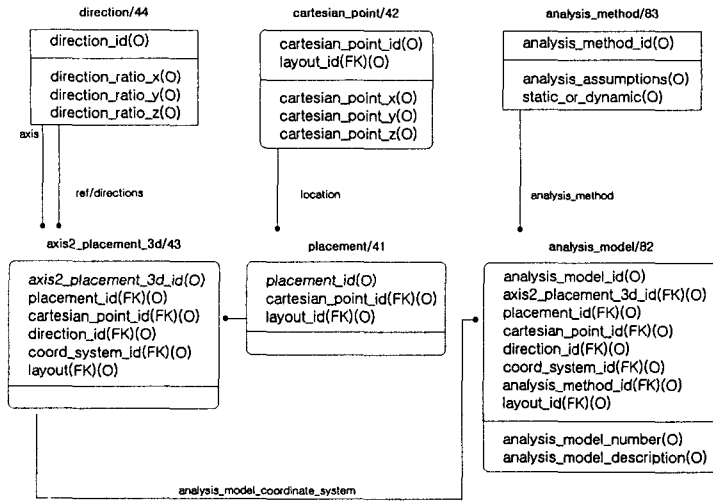


그림 4. Analysis_model_definition view

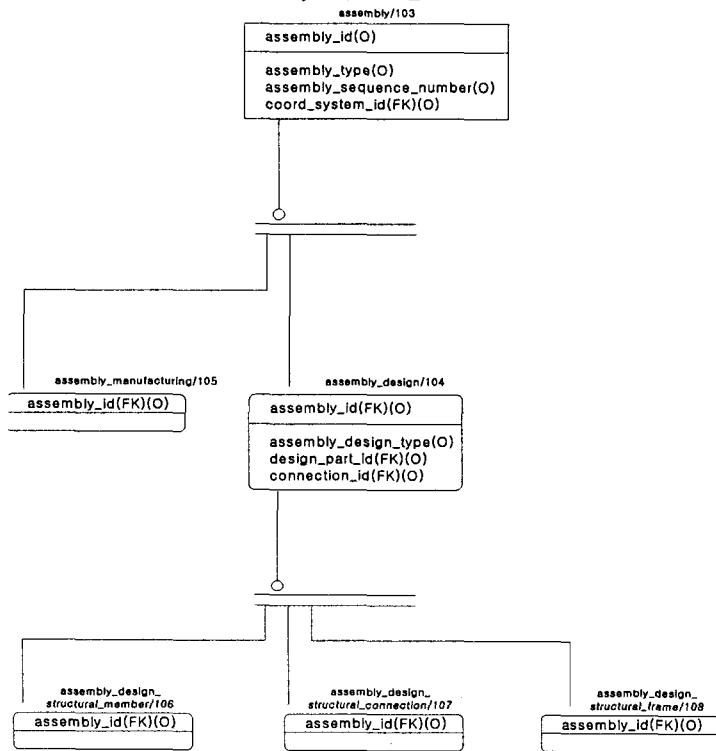


그림 5. Assembly_definition view

Analysis_model_definition view는 구조해석 상의 해석방법 좌표계 등을 표현한 것으로서, 구조해석 모델의 일반적인 개요에 대한 부분을 표현한 엔티티들의 집합이다. 본 연구에서는 해석방법에 대하여 정적해석과 동적해석에 대한 부분을 위한 슬롯을 제공하지만 현 연구단계에서는 정적해석에 대한 부분만을 고려하여 그림 4와 같이 구성하였다. 이 해석 모델 view는 analysis_model 엔티티가 최상위에 위치하여 direction, placement, analysis_method와 같은 하위 엔티티들을 참조하도록 구성하였다.

Assembly_definition view는 실제 교량의 부재들의 조합을 표현하기 위한 것으로서, 구조설계서의 어셈블리를 나타내기 위한 엔티티는 assembly_design 이며, 시공시의 어셈블리를 나타내기 위한 엔티티는 assembly_manufacturing 이다. 하지만 이번 연구에서는 시공부분에 대한 것은 제외하고 구성하였다. 그리고 구조설계 어셈블리는 크게 부재, 프레임 및 접합부로 나누어 그림 5와 같이 구성하였다. 여기서 어셈블리의 개념은 부재와 부재의 결합을 의미한다. 예를 들어, 주형과 주형의 결합을 통해 전체 상부구조가 이루어지게 되는데 여기서 전체 상부구조는 주형들의 어셈블리가 되는 것을 의미한다.

3.3 강상자형 교량의 데이터모델과 STEP Part 104와의 연계구축

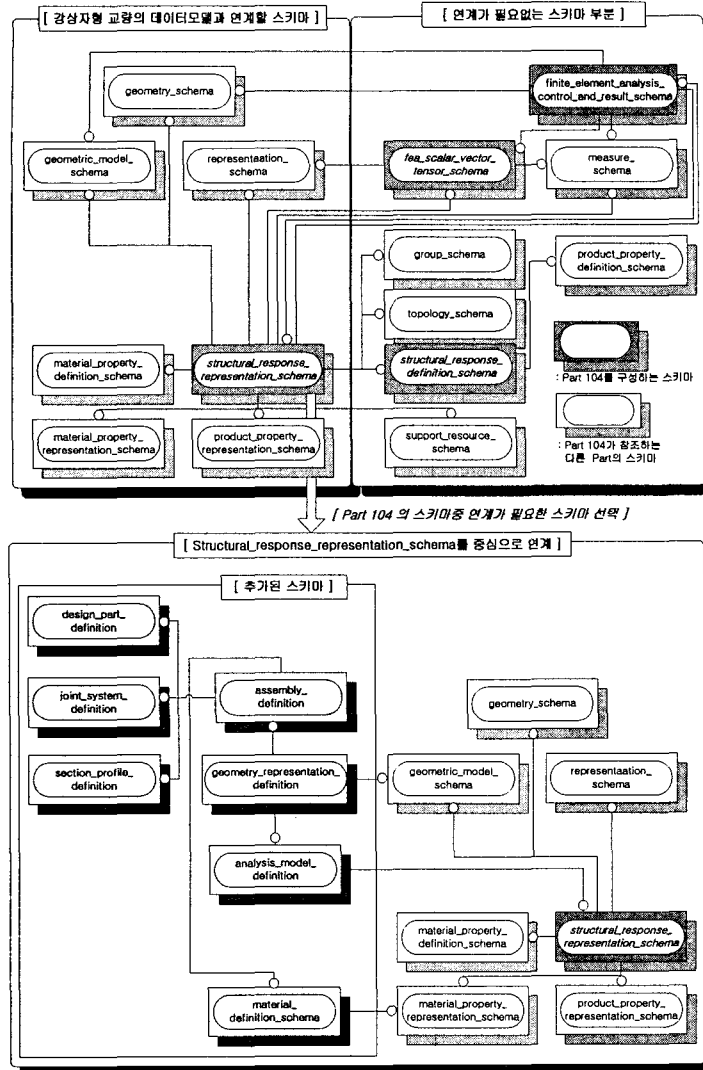


그림 6. 강상자형 교량의 데이터모델과 Part 104와의 연계

교량의 구조적 특성을 반영하기 위하여 연계된 스키마이다. Part 104에서 실제적인 유한요소해석 모델의 구성은 Part 104의 참조 스키마중 representation_schema에서 이루어지므로 이 스키마를 참조한 structural response representation schema에 강상자형 교량을 대상으로 구축된 ARM 단계의 analysis_model_definition을 연계하여 실제적인 유한요소해석모델의 데이터 공유가 가능하도록 하였으며, 강상자형 교량의 형상 및 어셈블을 나타내기 위하여 design_part_definition, joint_system_definition 및 section_profile_definition을 참조한 assembly_definition을 geometry_representation_definition을 통하여 geometry_model_schema에서 참조하도록 하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 실제 유한요소해석시 적용가능한 강상자형 교량의 데이터모델을 구축하였다.

Part 104를 구성하고 있는 4개의 스키마중 강상자형 교량의 유한요소 해석 수행을 위한 데이터모델 구축을 위하여 앞에서 제시한 ARM과 연계되어야할 스키마를 structural response representation schema로 파악하였다. 이는 위의 스키마가 유한요소 해석모델을 표현하기 위하여 해석모델을 구성하는 절점(node), 요소(element) 및 재료와 특성 등을 나타내고 있으며, 더 나아가서 제품과 유한요소 모델과의 관계 및 기하학적 정의, 식별자, 좌표계 등에 대한 확장성 등을 포함하고 있기 때문이다. 따라서 강상자형 교량의 구조적 특성에 대한 표현과 Part 104의 실질적인 유한요소해석모델 제시가 이 스키마를 통하여 연계될 수 있다.

이 스키마를 앞에서 구축한 강상자형 교량의 ARM에 그림 6과 같이 연계시켰으며, 강상자형 교량의 구조 어셈블리, 접합부 시스템 및 단면 등과 같이 기존의 STEP자원으로 표현이 어려운 부분을 제외하고는 기존의 STEP 자원을 참조함으로써 중복 생성되는 데이터가 없도록 하여 정보의 무결성을 획득하였다. 그림 6의 상단이 원래의 STEP Part 104이며 하단 좌측은 강상자형

3.4 제안한 강상자형 교량의 데이터모델 검증을 위한 시험 시스템 구현

본 연구는 STEP Part 104와 강상자형 교량의 ARM을 형상 및 구조적 특성을 반영하도록 연계하기 위한 목적으로 수행되었으므로 연구결과 제시된 강상자형 교량의 데이터모델을 활용하여 유한요소해석 전체 프로세스를 수행하기 위한 시스템 구축은 향후 연구를 통하여 제시될 사항이다. 그러나 우선 본 연구에서는 강상자형 교량의 ARM과 Part 104중 structural response representation schema을 연계하여 데이터모델을 제시하였으므로 그림 7과 같은 전체 시스템 중 강상자형 교량의 형상 및 구조 정보에 대하여 제시된 데이터모델을 이용한 부분에 대하여 시험 시스템을 구축하였다. 시스템은 Visual C++ V6.0, Open-GL Graphics Library, ST-Developer V7.0을 구축환경으로 이용하였다. 또한, 본 연구를 통하여 제시된 강상자형교량의 데이터모델은 NIST Expresso를 이용하여 STEP Physical file로 작성한 후 ST-Developer의 Rose Library를 이용하여 C++ Language Early Binding을 하여 사용하였으며 구축된 시험용 시스템의 프로토타입은 그림 7과 같다.

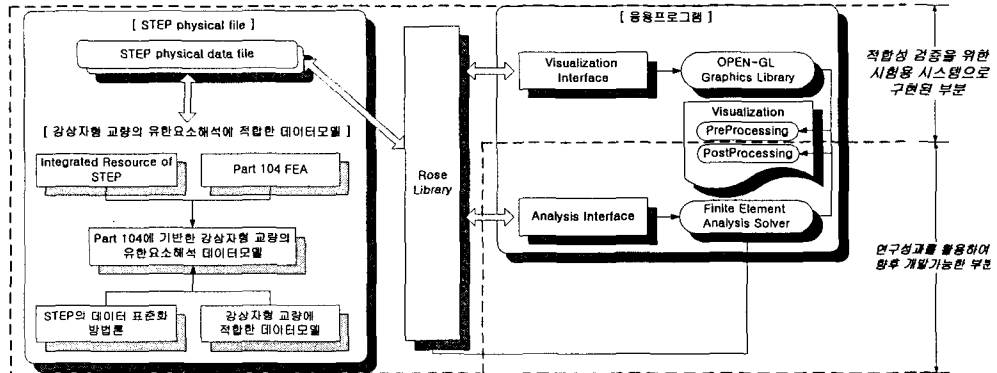
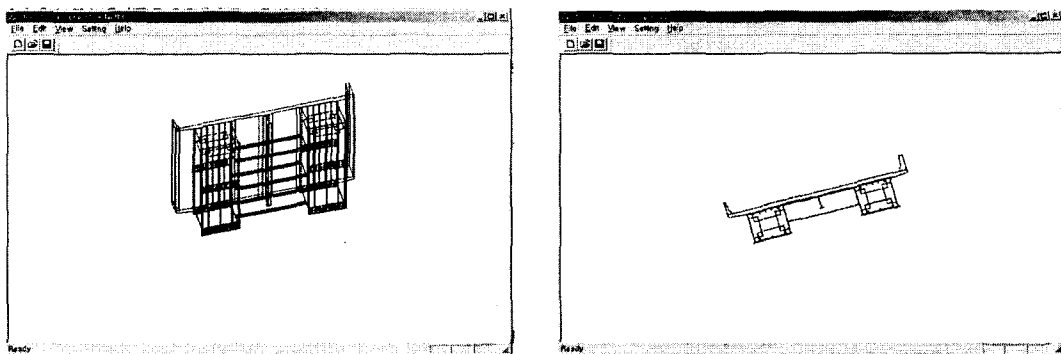


그림 7. 응용해석모델 검증을 위한 시험 시스템의 프로토타입

이와 같은 시험용 시스템을 구축한 후 제안된 강상자형 교량의 데이터모델에 대한 형상 및 구조 정보를 STEP file로 생성하여 시험용 시스템을 통하여 그림 8과 같은 형태로 형상화하였다. 따라서 본 연구에서 제안된 강상자형 교량의 데이터모델이 실제 STEP Part 104의 structural response representation schema와 연계되어 실제 강상자형 교량의 유한요소해석시 활용될 수 있음을 검증하였다.



(a) 강상자형 교량의 형상 모델

(b) 강상자형 교량의 단면 모델

그림 8. 시험 시스템을 이용한 강상자형 교량의 구조정보 형상화

5. 결론

본 연구에서는 STEP Part 104를 기반으로 이와 연계될 수 있는 강상자형 교량의 데이터모델을 생성하기 위한 방안을 제시한 후 실제 구축된 데이터모델을 바탕으로 그 적합성을 검증하였다. 이와 같은 연구를 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강상자형 교량의 프로세스 중 유한요소해석모델 및 구조적 특성에 필요한 데이터를 분석하여 AAM을 구축함으로써 각각의 프로세스에서 필요로 하는 UoF를 도출하였다.
- (2) 구축된 AAM을 바탕으로 STEP의 표준화 방법론에 따라 이를 ARM으로 변환하였다.
- (3) 구축된 강상자형 교량의 응용참조모델과 기존의 STEP에서 제시된 Part 104와 같은 통합자원과의 연계를 통하여 강상자형 교량에 대해 유한요소해석을 시행하는데 필요한 데이터모델을 구축하였다.
- (4) 본 연구를 통하여 구축된 데이터모델은 강상자형 교량의 통합적 유한요소해석시스템 개발에 효과적 활용이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 현대산업개발 주식회사의 연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. ISO/TC184, "Application Protocol 230: Building Structural Frame-Steelwork", ISO10303-230, Switzerland, 1995
2. Andrew, C., "CIMsteel Integration Standard Release2", URL [HTTP://www.cis2.org](http://www.cis2.org), 2000
3. Jeffrey, W., Richard S., "An Introduction to the IAI & the IFC", IAI, 1999
4. Wolfgang, H., "STEP-CDS", URL [HTTP://www.step-cds.de](http://www.step-cds.de), 1997
5. ISO/TC184, "Integrated Application Resources 104: Finite Element Analysis", ISO10303-104, Switzerland, 2000
6. 이상호, 정연석, 이영수, "STEP 기반의 교량정보 표준화 방법론에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 2000, pp. 45-48