

강교량 설계정보 표현을 위한 데이터모델 개발

Development of Data Model for Design Information Representation of Steel Bridges

이 상 호* 정 연 석*
Lee, Sang-Ho Jeong, Yeon-Suk

(논문접수일 : 2003년 7월 11일 ; 심사종료일 : 2004년 5월 31일)

요 지

각 산업분야의 엔지니어들은 각종 정보기술을 이용하여 통합환경을 구축해 오고 있다. 통합환경 구축을 위한 핵심기술은 표준화된 정보를 기반으로 한 데이터베이스이다. 본 연구에서는 이와 같은 요구사항에 대처하고 각종업무에서 발생하는 전자정보를 통합하기 위한 일환으로 강교량의 설계정보를 포함하는 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 구축과정에서 데이터 구조로 사용된 데이터모델은 국제 표준 즉, ISO/STEP(STandard for the Exchange of Product model data)을 기반으로 강교량의 설계정보를 표현할 수 있도록 기하부분과 비기하부분으로 분류되었다. 기하부분의 정보는 기존정보의 재사용이 가능하도록 3차원 솔리드모델로 표현하고, 비기하부분의 정보는 표준 데이터모델 개발 방법론에 의거해 분석된 정보요구사항을 표현하였다. 개발된 데이터모델의 검증은 위해서, 본 연구에서는 EXPRESS Engine을 이용하여 모델의 구문을 검토하였으며, 한남대교의 설계 데이터를 데이터베이스에 저장하여 개발된 모델의 타당성을 입증하였다.

핵심용어 : 강교량, STEP, 데이터모델, 데이터베이스, 상세설계정보, 기하형상정보

Abstract

In each industry field, many engineers have tried to develop integrated environments using information technology. The core technology in building integrated environments is the database based on standardized information. To meet the requirements, this study builds a database with detailed design information as a part of integrating digital information generated from every work of steel bridges. The data model used to build the database was developed based on the international standard, namely ISO/STEP. The data model is classified into geometric and non-geometric parts to represent the design information of steel bridges. The geometric parts are represented by a three dimensional solid model so that they may be able to reuse existing information. Also, the non-geometric parts represent information requirements that are analyzed by the development method of standard data model. To verify the data model, this study validates the syntax of the model on EXPRESS Engine and verifies the validation of the model by applying the design data of Hannam bridge to the database.

keywords : steel bridge, STEP, data model, database, detailed design information, geometric shape information

1. 서 론

지난 십수년간 각 산업분야에서 실무를 담당하는 엔지

니어들은 다양한 정보기술들을 이용하여 효과적인 업무수행이 가능하도록 통합환경을 구축해 오고 있다. 특히, 각종 정보기술 가운데 통합환경 구축을 위한 핵심적인 기술

* 책임저자, 정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공부교수

전화: 02-2123-2808 ; Fax: 02-364-5300

E-mail: lee@yonsei.ac.kr

* 정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 박사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2004년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2004년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

로써 제품모델 데이터를 전자적인 형식으로 교환하고 공유하기 위한 체계와 통합데이터베이스를 구축하는데 핵심역량을 투입하고 있다. 이미 자동차, 항공 및 선박산업에서는 전자적 제품모델 표준을 기반으로 생성된 제품 데이터를 교환하고 통합하는데 상당부분 성공을 거두었다. 일례로, AutoSTEP 프로젝트¹⁾는 자동차 제조사와 협력사 간에 제품정보와 프로세스정보를 ISO/STEP(STANDARD for the Exchange of Product model data) 표준²⁾을 적용하여 통합함으로써 정확하고 경제적인 제품데이터의 교환을 가능케 하고 동시공학(concurrent engineering)적으로 협업(collaboration work)수행이 가능한 체계를 제공하였다. 건설산업은 2차원 도면과 종이문서 형식의 정보시스템을 기반으로 업무가 진행되고, 하나의 건설 프로젝트를 여러 개의 분산된 조직이 참여하며, 빈번하게 재설계가 이루어지기 때문에 프로젝트 전 생애주기에서 발생하는 정보를 전자적으로 교환하고 공유할 수 있는 표준 개발이 절실하다.³⁾

건설산업에서도 전자적 데이터를 교환하기 위한 노력을 수행해오고 있다. 건설산업에서는 전자적으로 관련 데이터를 교환하기 위한 표준 개발이 1986년 경에 시작되었으며 Gielingh⁴⁾와 Turner⁵⁾의 논문을 필두로 연구가 활성화되었다. 특히 Gielingh은 GARM(General AEC Reference Model)이라는 하나의 모델을 제안하였다. GARM은 CAM-I 프로젝트에서 ICM(Integration Core Model) 개발을 위한 기초모델로 사용되었다. 실질적인 모델링에서 GARM은 비교적 제한적으로 사용되었을 지라도 수년간 건설산업의 데이터모델 개발에 영향을 미쳤다. GARM 이후, 1990년에 다수의 연구자들이 IRMA(Integration Reference Model AEC)라는 새로운 모델을 제안하였다. Luijten 등⁶⁾의 논문을 통해서 IRMA모델은 여전히 GARM의 몇몇 특징을 포함했다. IRMA모델은 여러 전문가들의 분석을 통해 제품모델의 범위를 프로젝트(PROJECTS)로 확장하고 프로세스(PROCESSES), 자원(RESOURCES) 및 제어(CONTROLS)를 기본 엔티티들로 구성하였다. IRMA에서 제시한 네개의 기본 엔티티들은 건설분야에 적용할 루트 엔티티로 사용되었다.

최근 들어 건설산업에서도 철골조 빌딩과 교량구조물의 데이터모델 개발을 통해 CIC(Computer Integrated Construction) 환경을 구축하고자 하는 노력이 여러 가지 성과를 드러내고 있다. 그 대표적인 업적으로 Crowley와 Watson⁷⁾은 철골조빌딩 구조물의 계획, 해석, 설계 및 시공 상에서 관련되는 조직간 정보를 관리하고 공유하기 위해서 표준 데이터모델 개발 방법론을 기반으로 CIS/2(CIMsteel Integration Standards)모델을 개발하였다.

현재 CIS/2 모델은 유럽 내에서 국제표준으로 채택되어 실제 업무에서 사용되고 있다.

한편, 교량구조물을 대상으로 국외에서는 Mikami 등⁸⁾이 교량구조물의 형상정보만을 대상으로 데이터베이스를 구축한 사례가 있다. 또한, Tah와 Howes⁹⁾는 사례기반추론기법을 이용하여 이전에 수행한 교량프로젝트의 정보를 지식화하여 새로운 프로젝트 수행시에 적용할 수 있도록 이전 프로젝트에서 발생한 지식을 저장할 수 있는 데이터모델을 구축한 사례가 있으나 프로젝트의 진행업무에 대한 정보를 위주로 모델을 구축하여 실질적인 엔지니어링 정보를 포함하는 데이터모델 구축에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 국내에서는 이상호와 정연석^{10)~12)}이 강교량 구조물을 대상으로 ISO/STEP을 기반으로 한 정보모델 개발과 데이터베이스 구축에 관한 초기 단계의 연구를 진행하여 강교량 구조물의 설계정보를 위주로 ISO/STEP 표준에 따른 정보의 교환 및 공유가 가능하다는 것을 입증하였다.

따라서 본 연구에서는 강교량 프로젝트의 전 생애주기에서 발생하는 정보를 교환·공유하여 통합환경을 구축할 수 있도록 제품정보에 대한 국제표준인 ISO/STEP 표준을 이용하여 3차원 형상정보를 근간으로 구조물의 설계정보, 물성정보 및 프로젝트정보를 표현하였다. 본 연구에서는 강교량의 설계정보를 효과적으로 표현하기 위해서 데이터모델을 기하부분과 비기하부분으로 분류하여 개발하였다. 기하부분의 정보는 기존정보의 재사용이 가능하도록 ISO/STEP에서 제공하는 Part 42(geometric and topological representation)¹³⁾를 이용하여 경계표현(Boundary Representation) 방식에 의한 3차원 솔리드모델로 표현하고, 비기하부분의 정보는 표준 데이터모델 개발 방법론에 의거해 분석된 정보요구사항을 EXPRESS 언어¹⁴⁾로 서술하였다. 개발된 데이터모델의 EXPRESS 스키마를 검증하기 위해서 본 연구에서는 EXPRESS Engine¹⁵⁾을 이용하여 개발된 모델의 구문(syntax)과 참조(reference)가 유효한지를 검토하였으며, 개발된 데이터모델이 실제 강교량 구조물의 설계정보를 표현하는 것이 가능한지를 검증하기 위해 한남대교의 설계정보를 데이터베이스에 저장하여 모델의 타당성을 입증하였다.

2. 데이터모델 개발 개요

2.1 데이터모델 개발을 위한 접근방법

본 연구에서는 강교량의 생애주기 상에서 구조물의 3차원 형상정보, 계획정보, 해석정보 및 설계정보를 표현하기

위한 데이터모델을 개발하기 위해서 크게 두 가지의 접근 방법이 적용되었다. 첫번째 접근방법은 그림 1에 나타난 바와 같이 제조업에서 정의하는 제품의 구성 체계를 강교량 구조물에 적용하여 데이터모델을 개발하는 것이다. 즉, 그림 1(a)는 강교량 구조물 가운데 강판형교 상부구조물의 3차원 형상정보를 제품의 구성 체계에 맞추어 세분화한 것이며, 그림 1(b)는 그 구조물의 설계정보를 제품의 구성 체계에 입각하여 단품(part)과 조립품(assembly)으로 세분화하여 나타난 것으로서, 세분화된 강교량의 3차원 형상정보와 설계정보를 상호간 연결관계를 설정하여 강교량의 설계정보를 표현하기 위한 데이터모델을 개발하였다. 이러한 접근 방법은 강교량의 설계정보가 제품의 단품에 해당하는 부재들의 조립형태로 표현되기 때문에 데이터모델 개발 시에 유연한 정보표현이 가능하였다.

두번째 접근방법은 데이터모델 개발 시에 ISO/STEP에서 제시하는 표준 데이터모델 개발 방법론¹⁶⁾과 국제표준으로 사용되고 있는 응용프로토콜(Application Protocol)들을 활용하여 데이터모델을 개발하는 것이다. 그림 2(a)는 ISO/STEP의 데이터모델 개발 방법론을 개략적으로 도식화한 것으로서, 제품으로 간주되어지는 강교량의 설계정보와 프로세스 분석을 통해 산출되는 정보요구사항(information requirements)을 추출하여 데이터 풀(data pool)을 구성하였다. 구성된 데이터 풀은 STEP 방법론에서 제시하는 서술방법(description method)에 의거해 강교량의 3차원 형상정보가 포함된 설계정보를 엔티티(ENTITY)와 엔티티간의 관계설정을 통해 EXPRESS 언어로 표현하였다. 이처럼 설계정보를 포함하는 데이터 풀은 앞서 언급한 강교량의 설계정보를 기하정보와 비기하

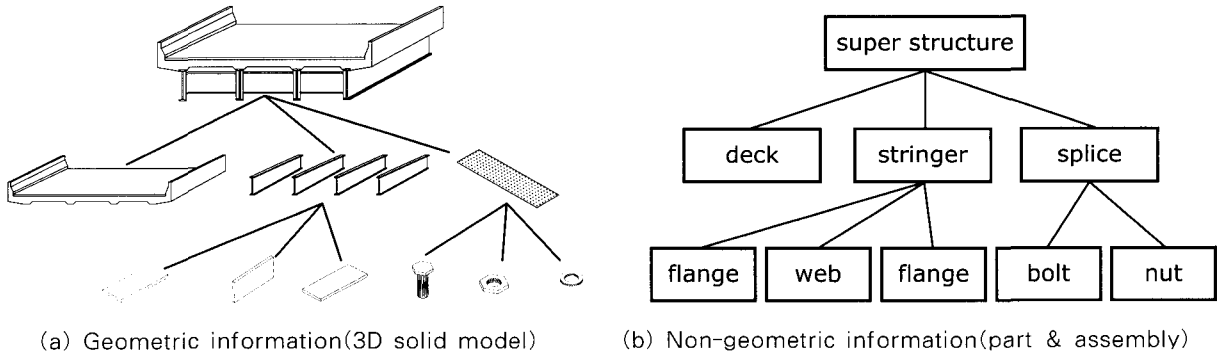


그림 1 Development concept of information model

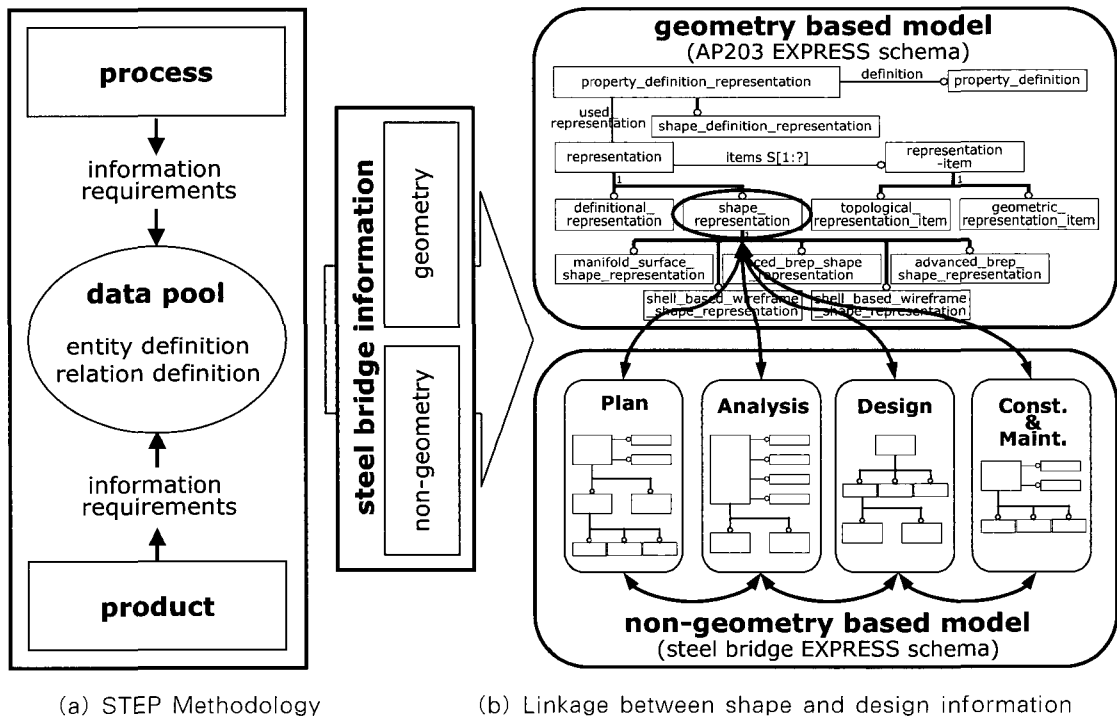


그림 2 Development methodology for representation of bridge information

정보로 세분화하는 접근 방법을 따라 그림 2(b)와 같이 순수한 3차원 형상정보를 분리해 내어 국제표준인 ISO/STEP의 AP 203(configuration controlled design)¹⁷⁾ EXPRESS 스키마로 대체하고, 3차원 형상정보를 제외한 나머지 부분의 데이터모델은 강교량의 설계정보와 3차원 형상정보와의 연계를 통해 EXPRESS 스키마로 표현하였다. 이러한 접근방법은 기존에 사용중인 CAD/CAE/CAx 틀에서 생성되는 3차원 형상정보를 사용할 수 있게 해준다.

본 연구에서는 건설산업 분야의 기존 설계정보가 2차원 도면위주로 관리·운영되고 있어서 실질적인 설계정보의 활용을 통한 부가가치 창출이 거의 불가능하다는 점을 극복하기 일환으로, 강교량 구조물의 기하학적 형상정보를 3차원 솔리드모델로 표현하여 형상정보와 설계정보와의 연계가 가능하도록 하였다.

2.2 데이터 풀 구성방법

본 논문에서는 강교량 정보를 전자적으로 표현하기 위해 데이터모델을 개발하는 과정에서 강교량 프로젝트의 전체 생애주기 즉, 계획, 설계, 시공/관리 및 유지관리 단계에서 발생하는 업무와 정보의 흐름을 IDEF0 방법론¹⁸⁾에 의거해 분석하고 프로세스모델을 정의하였다.

교량의 전체 업무프로세스 가운데 특히, 설계프로세스에서 발생하는 정보의 흐름을 분석하고 데이터모델 내에 포함될 정보의 범위를 결정하기 위해서 본 논문에서는 그

림 3, 4 및 5에서 설계단계의 각 단위 업무별 정보흐름을 나타내었다. 본 논문에서는 IDEF0 방법론을 틀로 구현한 KBSI사의 AIO Win 프로그램을 이용하여 교량의 업무 프로세스모델을 정의하였다. ISO/STEP 방법론에서는 이러한 프로세스모델로부터 데이터모델 내에 포함될 정보의 범위를 한정할 수 있도록 정보요구사항(Information Requirements)을 정의한다. 정보요구사항은 데이터모델에 포함될 데이터와 각 데이터간의 상관관계를 나타내는 것으로서, 본 논문에서는 이러한 정보요구사항을 EXPRESS 언어를 이용하여 데이터 풀로 구성하고 데이터모델에서 처리될 데이터로 사용하였다.

3. 강교량 데이터모델

본 연구에서는 강교량 구조물을 표현하기 위해서 앞서 언급한 두가지 접근방법을 적용하여 데이터모델을 7개의 하부 모델로 나누어 개발하였다. 개발된 7개의 하부 모델은 강교량 구조물의 전 생애주기 가운데 계획단계, 해석단계 및 설계단계까지의 정보를 포함한다. 즉, 시공과 유지관리단계에서 발생하는 정보는 본 연구범위에서는 포함하지 않았다. 특히, 유지관리단계에서 발생하는 정보는 기존의 BMS(Bridge Management System)¹⁹⁾에 의해 운용되고 있기 때문에 본 논문에서는 기존 시스템과의 연계를 고려해서 STEP과 같은 표준교환기술을 기반으로 개발이 이루어졌다.

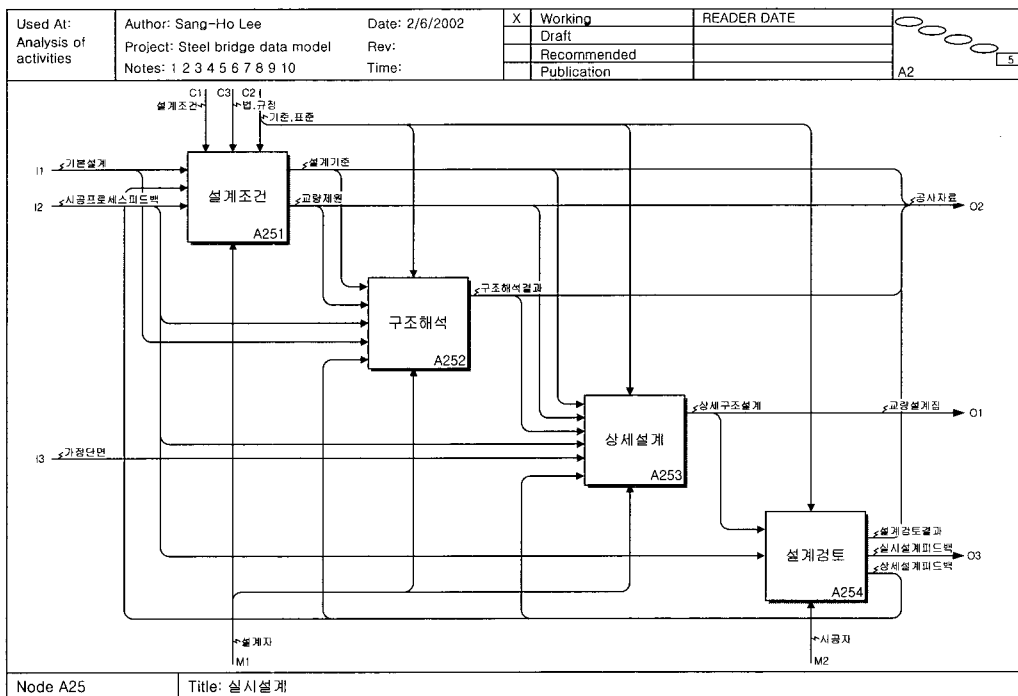


그림 3 Work process diagram for the structural design

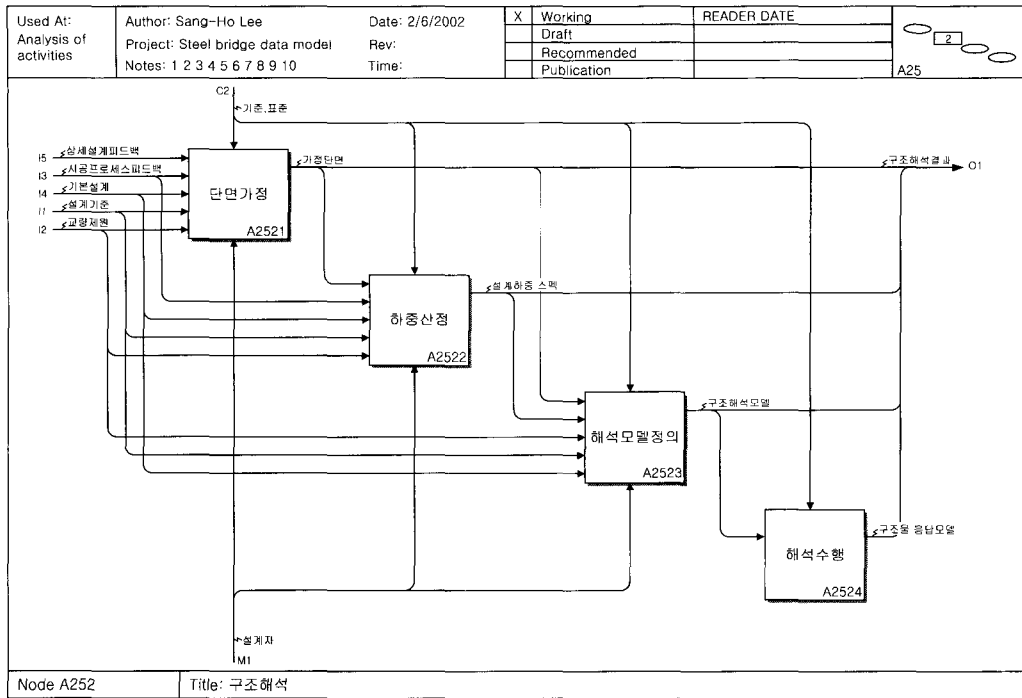


그림 4 Work process diagram for the structural analysis

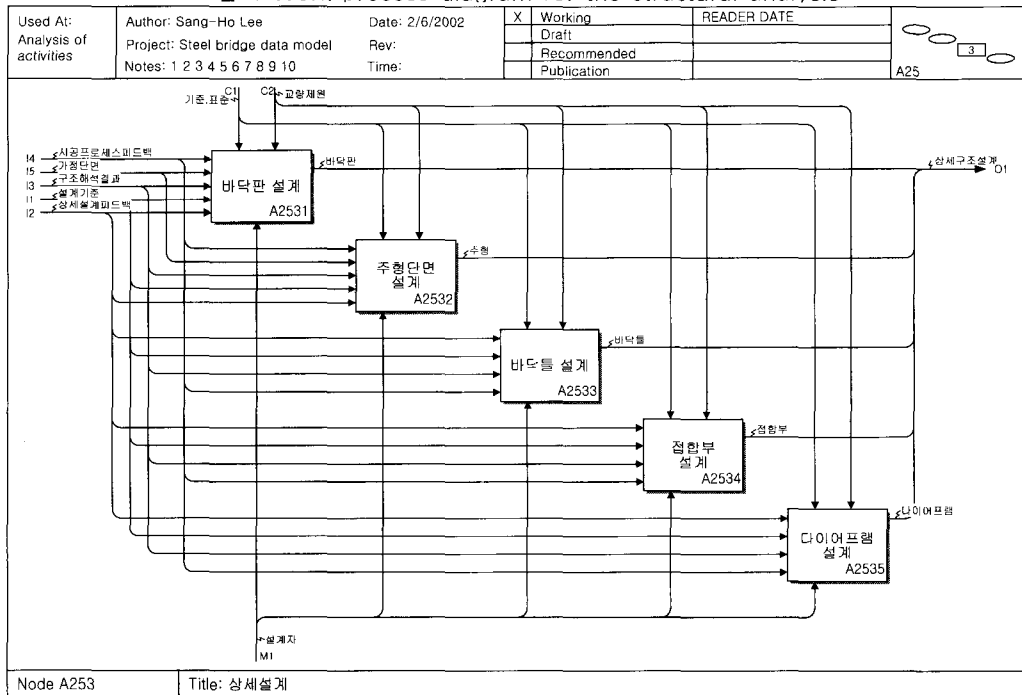


그림 5 Work process diagram for the detailed design

3.1 PROJECT 모델

PROJECT 모델은 강교량 프로젝트의 일반적인 개요정보와 강교량 구조물의 개요정보 및 설계정보를 정의하였다. 그림 6에서 bridge엔티티는 교량구조물의 정보표현을 위한 최상위 엔티티로서 사용재료에 따라 강재와 콘크리트

로 구분하였으며, 강교량의 상부구조물에 대한 속성정보를 표현하기 위해서 superstructure엔티티를 리스트 값 형태로 참조하도록 정의하고, 마찬가지로 하부구조물에 대한 정보를 표현하기 위해서 substructure엔티티를 리스트 값 형태로 참조하도록 정의하였다. 향후 강교량 정보가 현재 정부차원에서 활발하게 추진중인 국가지리정보시스템

과 연계될 수 있도록 bridge_outline 엔티티에서 location 속성값이 전체 지도상의 위치를 표현할 수 있도록 3차원 좌표값으로 표현되었다. 또한, bridge_outline 엔티티를 상속받은 structural_outline 엔티티는 구조설계에 적용된 각종 설계기준과 설계하중에 대한 정보를 표현하였다. 강교량의 전체 구조물 정보를 표현하는 bridge 엔티티는 상부구조물과 하부구조물에 대한 설계정보를 포함하도록 정의하였다.

3.2 BRIDGE COMPONENT 모델

BRIDGE COMPONENT 모델은 강교량 구조물을 구성하는 주요한 요소를 정의하였으며, 본 연구에서는 그림 7과 같이 bridge_component 엔티티를 superstructure(상부구조물)와 substructure(하부구조물) 엔티티로 나누어 정의하였다. 본 연구에서는 상부구조물을 deck(바닥판)와 주로 휨에 저항하기 위해 설계된 primary_member(주부재) 및 주부재간의 브레이싱을 위한 secondary_member(부부재) 엔티티로 정의하였다. 그리고 하부구조물을 abutment(교대), pier(교각), shoe(슈),

footing(기초) 및 pile(파일)로 정의하였다. 본 연구에서 정의한 데이터모델은 강교량 구조물을 구성하는 주요한 부재를 8개로 분류하고 세부 부재들에 대한 분류는 고려하지 않았다. 그러나 강교량 구조물의 세부 부재에 대한 정의는 bridge_component의 member 속성에서 참조하는 bridge_member 엔티티에서 정의함으로써 강교량의 모든 부재를 정의할 수 있도록 하였다. Bridge_component 엔티티는 앞서 설명한 교량구조물의 부재를 나타내는 최상위 엔티티이기 때문에 엔티티 정의부분에서 ABSTRACT 키워드를 사용하여 실제 데이터 값을 정의할 수 없도록 규정하였다. 상부구조물을 표현한 superstructure 엔티티는 상부구조의 구조형식을 정의할 수 있도록 structural_type 속성에서 정의하도록 하였다. 본 연구에서는 structural_type 속성 값에 해당하는 super_structure_type 타입(TYPE)은 상부구조물의 구조형식을 강교량에서 가장 대표적인 구조형식인 강박스거더(steel box girder)교, 강판형(steel plate girder)교 및 트러스(truss)교로 한정하였다. 이러한 3개의 구조형식은 공장생산에 의한 강재(steel-work)로 구성되기 때문에 본 연구에서 데이터모델 개발 시에 채택한 제품의 구성체계를 적용하는 것이 가능하였다.

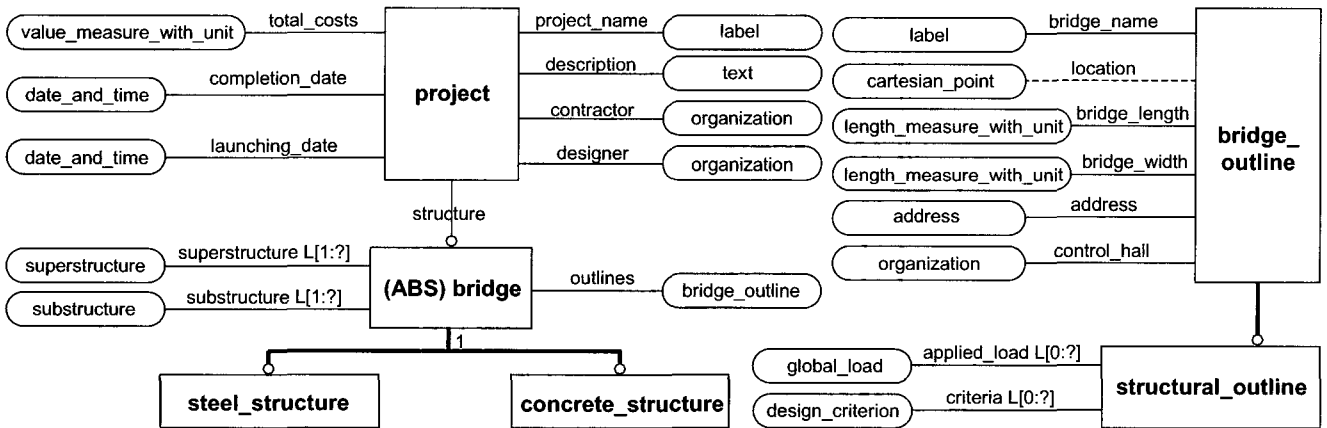


그림 6 Partial EXPRESS-G diagram of PROJECT model

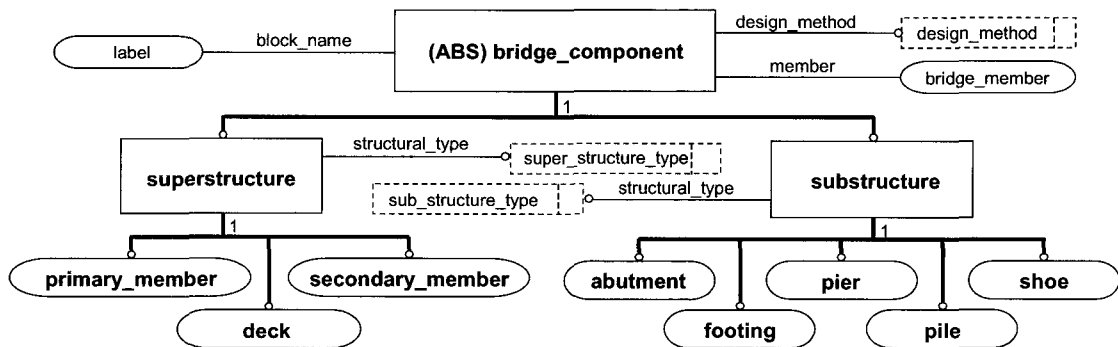


그림 7 Partial EXPRESS-G diagram of BRIDGE COMPONENT model

3.3 BRIDGE MEMBER 모델

BRIDGE MEMBER 모델은 bridge component 모델에서 분류한 8개의 부재에 포함되는 세부적인 부재들의 상세설계정보를 표현하기 위해 정의되었다. 그림 8에서 정의된 것처럼 bridge_member 엔티티는 부재들의 조합을 표현하는 assembly 엔티티와 부재를 표현하는 part 엔티티로 구성되었으며 phase 속성에서 구조물의 생애주기 상의 단계를 표현하였다. 구조물을 구성하는 부재를 정의한 part 엔티티는 부재명을 표현한 part_name 속성과 부재의 종류를 표현한 part_type 속성으로 정의되었으며, 또한 부재의 3차원 형상을 표현한 shape 엔티티를 여러개 포함할 수 있도록 components 속성을 정의하였다. 예를 들어, 강상자형 교량의 주형은 n개의 플랜지, 웹, 리브로 이루어져 있다. 주형을 이루는 n개의 강판은 점, 선, 면으로 구성된 n개의 3차원 솔리드로 표현이 가능하며, 정의된 n개의 솔리드 정보는 part 엔티티의 components 속성값에 포함됨으로써 강상자형 교량의 주형에 대한 3차원 형상을 표현할 수 있다. 부재들의 조합정보를 표현한 assembly 엔티티는 부재간의 조합을 나타낸 parts_assembly 엔티티와 조합된 부재 간의 조합을 나타낸 assembled_assembly 엔티티로 표현되었다. Parts_assembly 엔티티는 parts 속성에서 리스트 값 형태의 part 엔티티를 포함하도록 표현하였기 때문에, 동일 선상의 주형부재간 연결을 표현할 수 있다.

강교량 구조물의 구조해석정보를 묘사할 수 있도록 ISO/STEP의 AP209(composite and metallic structural analysis and related design)²⁰⁾에 정의된 유한요소해석에 관한 데이터모델을 사용하였다. 즉, 구조물의 구조설계부재와 구조해석정보와의 연결은 그림 8의 member_element_map 엔티티에서 AP209의 element_representation 엔티티와 bridge_member 엔티티와의 상관관계를 정의함으로써 이루어졌다. 여기서, element_representation 엔티티는 구조해석모델을 정의하는 과정에

서 사용되는 해석요소로서 volume, surface, curve 및 point 요소로 표현이 되며 해석되어지는 연속체를 모델링하기 위해서 노드와 연결되는 연속체의 이산화된 부분을 나타낸다. 이러한 여러 개의 해석요소들은 해석되어지는 연속체에 대해 서로 다른 모형화에 의해서 각기 다른 특징들을 가질 수 있도록 하였다.

이와 같은 연결은 구조해석모델 정의 시에 개별 엔지니어들의 모형화에 따른 구조해석정보와 설계단계를 통해 결정된 설계정보가 완전하게 일치하지 않는다는 문제점을 여전히 내포하고 있다. 즉, 구조설계정보는 유일한 하나의 정보로 표현이 가능하지만 구조해석정보는 다양한 해석모델로 모형화가 가능하기 때문에 모형화 과정에서 정의된 기하학적 형상과 실제 설계부재의 기하학적 형상이 다른 경우가 발생하게 된다. 그러나 구조해석정보를 통합된 데이터베이스에서 관리하고 운용하기 위한 측면에서 유용하다.

3.4 SHAPE 모델

SHAPE 모델은 솔리드모델로 표현된 3차원 형상정보를 기반으로 강교량 구조물의 기하학적 형상을 표현하기 위해서 정의되었다. 본 논문에서 정의한 강교량 구조물의 모든 속성정보는 3차원 솔리드모델로 표현된 형상정보와 연계되어 정의되도록 구성하였다. 그림 9와 같이 shape 모델의 최상위 엔티티인 shape 엔티티는 solid_shape 속성값으로 shape_definition_representation 엔티티를 여러개 참조하도록 정의하였다. 즉, 여러개의 형상을 조합하여 하나의 형상으로 표현하는 것이 가능하다. Shape_definition_representation 엔티티는 STEP의 응용프로토콜인 AP203에 포함된 엔티티로서, 3차원 솔리드모델의 형상을 CSG(Constructive Solid Geometry) 표현방식과 경계표현방식으로 표현하고 있다. 본 연구에서는 3차원 솔리드모델 정보 표현을 위해 널리 사용되고 있는 경계표현방식을 따라 표현하였다. 경계표현 방식은 면들의 조합으로 면을 구성한 뒤에 면들의 방향설정으로 3차원 형상을

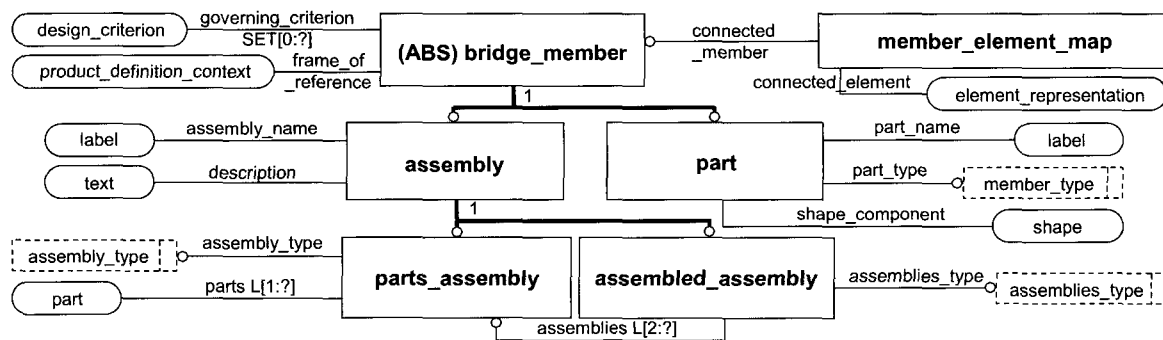


그림 8 Partial EXPRESS-G diagram of BRIDGE MEMBER model

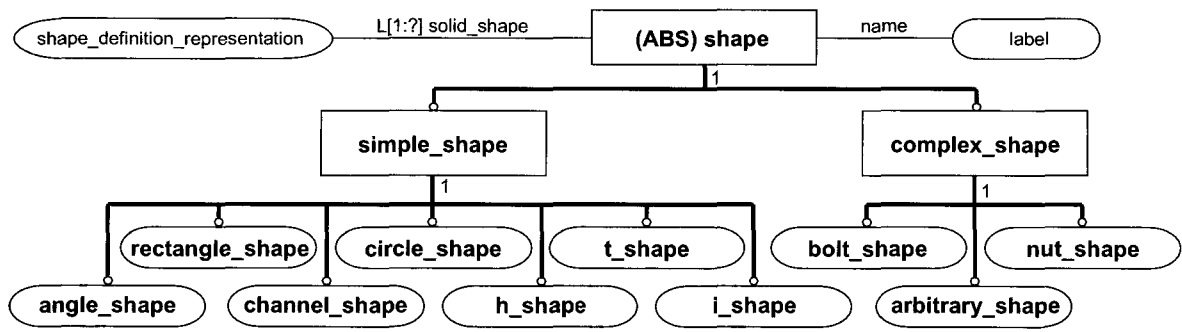


그림 9 Partial EXPRESS-G diagram of SHAPE model

만들어 내는 것으로써, 모든 면을 모서리의 경계로 반시계 방향으로 정의해 줌으로써 법선벡터를 구하고 이 법선벡터를 중심으로 일정한 방향을 규정지어 면의 내부와 외부로 정의하는 방식이다.²¹⁾ 따라서 본 연구에서는 2차원 도면 기반의 정보를 3차원 형상정보 기반으로 교량정보를 표현함으로써 정보에 대한 인식이 사람에 의해 이루어질 뿐만 아니라 컴퓨터에 의해 정보 인식이 가능해진다. 그리고 사용자가 필요로 하는 정보의 접근이 용이하고 관리자가 정보를 유지관리하기에 용이해진다. Simple_shape 엔티티는 상위 엔티티인 shape 엔티티로부터 솔리드모델 정보를 상속받아 구조물의 선형부재에 대한 단면정보를 표현한 것으로써 강교량 구조물을 구성하는 부재의 형상을 angle_shape, rectangle_shape, channel_shape, circle_shape, h_shape, t_shape, i_shape의 7개의 하부 엔티티로 표현하였다. Complex_shape 엔티티는 단면정보만으로 표현하기 어려운 부재를 표현한 것으로 3개의 하부 엔티티로 정의하였다. 즉, 접합부를 구성하는 볼트는 bolt_shape 엔티티로 너트는 nut_shape 엔티티로 정의하였으며 임의의 단면형상을 가지는 경우는 arbitrary_shape 엔티티를 이용해 표현할 수 있도록 하였다. 따라서 상부구조의 바닥판의 경우는 arbitrary_shape 엔티티를 사용하여 표현할 수 있다. 본 연구에서는 바닥판, 교각, 교대 및 기초와 같이 재료가 콘크리트인 부재는 3차원 형상정보와 개요정보만을 포함하도록 하였다.

3.5 MATERIAL 모델

MATERIAL 모델은 구조물의 부재에 사용되는 재료의 특성을 정의하기 위한 모델로써, 본 연구에서는 강재와 콘크리트 및 사용자 정의에 의한 재료로 구분하여 정의하였다. 그림 10과 같이 material 엔티티는 온도팽창계수를 표현한 thermal_expansion 속성, 탄성계수를 표현한 elasticity 속성, 포아송비를 표현한 poisson_ratio 속성, 자중을 표현한 weight_density 속성 등을 이용해 부재의 재료특성을 정의하였으며 또한, 추가적으로 필요한 물성치를 확장할 수 있도록 하였다. Material 엔티티를 상속받은 steel_material 엔티티, concrete_material 및 user_defined_material 엔티티는 생애주기 상의 설계단계에서 요구되는 재료의 특성을 표현한 엔티티이다. Steel material 엔티티는 강재의 항복응력 등을 표현하기 위한 속성값을 포함하고, concrete_material 엔티티는 철근콘크리트 부재에서 콘크리트 강도, 콘크리트의 전단 강도, 철근의 항복응력 및 전단철근의 항복응력 값 등을 포함할 수 있도록 정의하였다. Material 엔티티는 교량의 설계요소와 연결되지 않고 독립적으로 존재하는 정보이다. 따라서 재료의 물성치와 설계부재와의 연결을 위해 part_element_map 엔티티를 정의하였다. Part_element_map 엔티티는 재료의 물성치를 포함하는 material 엔티티와 설계요소의 부재정보를 표현하는 part 엔티티를 여러 개 가지도록 정의하였다.

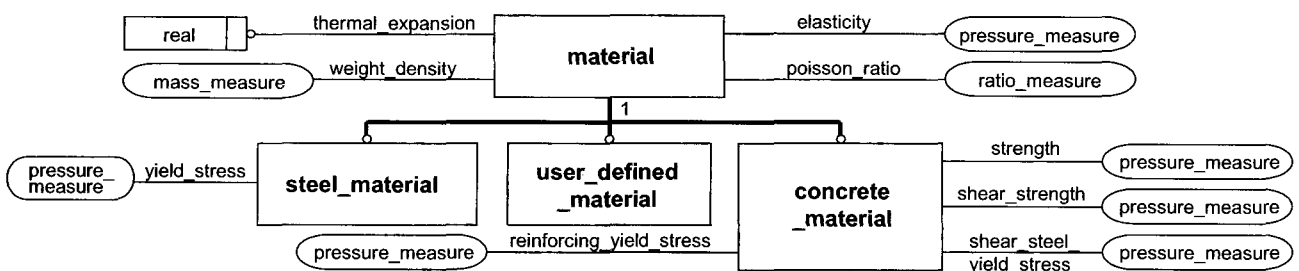


그림 10 Partial EXPRESS-G diagram of MATERIAL model

및 제품 스펙의 라이브러리에 관한 내용을 표현하는 엔티티를 제공한다. Application_context 엔티티는 제품 데이터가 정의되어지는 영역으로서, 제품 데이터의 사용과 의미에 영향을 주고 제품 데이터와 관련한 다양한 형식의 정보를 표현한다. 본 연구에서는 강교량 구조물의 3차원 형상을 표현하기 위해서 채택한 AP203과 구조해석정보를 표현하기 위해 채택한 AP209를 사용하기 때문에 여러 개의 데이터모델을 사용할 수 있도록 application_protocol_definition 엔티티를 이용하였다. 이 엔티티는 제품 정보를 표현하기 위해서 사용한 응용프로토콜을 명시하기 때문에, 강교량의 3차원 형상정보에 대해서는 AP203 스키마를 사용하고 구조해석정보에 대해서는 AP209 스키마를 사용하는 것을 명시할 수 있다. 또한 본 연구는 강교량 구조물에서 발생하는 제품정보의 생애주기 단계를 표현하기 위해서 product_definition_context 엔티티를 사용한다.

4. 데이터모델의 검증

개발된 데이터모델의 검증은 EXPRESS 스키마의 구문(syntax)에 대한 적합성 검증부분과 실제 물리적 데이터 값의 입력을 통해 개발된 모델의 적용성 검증부분으로 나누어 실시되었다.

4.1 데이터모델 구문의 적합성 검증

강교량 데이터모델의 EXPRESS 스키마 구문의 형식에 대한 검증은 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 무상으로 제공하는 EXPRESS Engine의 EXPRESS 파서(parser)를 이용하였다. EXPRESS Engine은 EXPRESS 스키마의 형식을 검토하는 기능 외에도 ISO/STEP Part 21(clear text encoding of the exchange structure)²³⁾에 따른 물리적 파일을 생성하는 기능과 스키마에서 정의한 각종 제약조건을 검토하는 기능을 제공하는 툴로써, 개발된 강교량 데이터모델의 EXPRESS 스키마가 EXPRESS 언어 참조매뉴얼에서 제시하는 적합성 분류기준에 따라 구문과 참조가 유효한지를 검토하고 형(type)과 값(value)이 일정한 조건을 만족하는지를 검토해 준다. 본 연구에서는 그림 13에 예시된 바와 같이 앞서 언급한 사항에 대해서 개발된 데이터모델의 적합성을 검증하였다.

4.2 데이터모델의 적용성 검증

개발된 데이터모델이 실제 강교량 구조물의 정보를 표현하는 것이 가능한지를 검증하기 위해서 강관형 거더 형

식을 띤 한강상의 1등급 교량인 한남대교의 다양한 정보를 개발된 데이터모델의 구조에 부합하도록 표 1에서 STEP 파일로 나타내었다. 그림 14는 한남대교의 7개 경간 가운데 첫 번째 경간인 NM1 구간의 3차원 형상과 각 형상의 설계정보를 나타낸 것이다. 한남대교 NM1 구간의 상부구조물은 강관형 거더 형식으로써 공장생산에 의한 제품의 구성 체계를 적용할 수 있는 구조형식이기 때문에 본 연구에서 개발된 데이터모델의 적합성 검증을 위한 사례로써 채택이 가능하였다.

우선, 표 1에 표현된 STEP 물리적 파일에서 구조설계 정보를 살펴보면, 그림 14의 #32와 #33은 한남대교 NM1 구간의 세로보(stringer)를 나타낸 것이며 #41, #42 및 #43은 가로보(cross beam)를 나타낸 것으로써 개발된 모델의 엔티티 가운데 part 엔티티를 사용하여 표현이 가능하였다. 그리고 #36, #46 및 #47은 볼트에 의한 접합부(splice)를 나타낸 것으로써 joint_system 엔티티로 표현이 가능하였다.

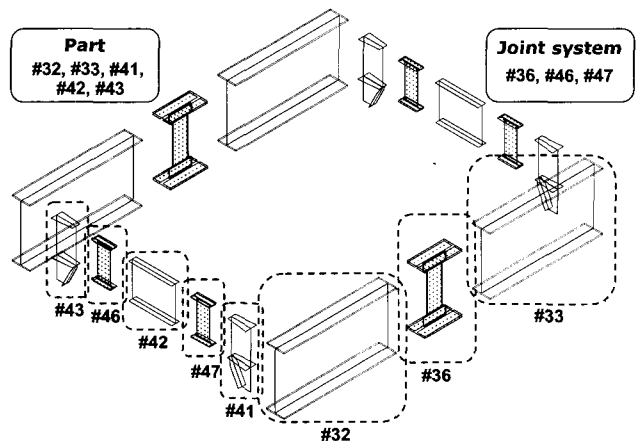


그림 14 Shape and design information of Hannam bridge

따라서 표 1에서는 여러 개의 설계부재 중에서 세로보인 그림 14의 #32, #33과 접합부인 #36에 해당하는 구조설계정보를 STEP 물리적 파일 형식으로 표현하였다. 그림 15는 #32와 #33의 설계정보에 해당하는 세로보와 #36의 접합부의 부재제원과 3차원 형상을 표현하는 것으로서, 개발된 모델의 part 엔티티와 관련 엔티티들을 이용하여 STEP 파일로 표현이 가능하다. 표 1의 STEP 파일에서 #32는 부재종류가 .STRINGER.로 표시되어 세로보를 나타내고 부재명이 'NM1-stringer1'이라는 것을 표현하고 있으며, 또한 부재와 관련한 형상정보가 #200, #201에 해당하는 정보로 표현이 가능하였다. 예로써 #200은 rectangle_shape 엔티티를 이용하여 단면형상이 사각형인 데이터 값을 나타낸 것으로써, 단면의 두께(depth)

표 1 STEP file describing information of Hannam bridge NM1 section

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(($,'2:1');
FILE_NAME( /* FILENAME */ 'D:\WHannam_bridge\WHannam.stp',
/* CREATION DATE */ '2003-04-09 T10:49:55', /* AUTHOR */ ('Yeon-Suk Jeong'),
/* ORGANIZATION */ ('YONSEI','Shinchon Seodaemun Seoul','Korea','MD','12074'),
/* PROCESSOR VERSION */ 'STEP_ARX v.1.0', /* PROCESSOR */ 'STEP_ARX',
/* AUTHORIZATION */ 'Yeon-Suk Jeong');
FILE_SCHEMA(('bridge_information'));
ENDSEC;
DATA;
#1=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('International Standard','config_control_design',1994,#2);
#2=APPLICATION_CONTEXT('configuration controlled 3d designs of mechanical parts');
#3=PRODUCT_CONTEXT('3D Parts',#2,'mechanical');
#4=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('International Standard',
'structural_analysis_design',2001,#5);
#5=APPLICATION_CONTEXT('composite and metallic structural analysis and related design');
#6=PRODUCT_CONTEXT('3D Parts',#5,'analysis');
#10=ORGANIZATION('시공자','현대건설외 4개사','시공업체');
#11=ORGANIZATION('설계자','쌍용엔지니어링 외 1 개사','설계업체');
#12=PROJECT('한남대교 프로젝트','한남대교는 강북의 용산구 한남동과 강남의 신사동 사이를 연결하는 한강교
량으로서 한남대교 남북단의 교통난을 해소하기 위하여 경부고속도로와 함께 1969년도에 개통한 기존교량의 하
류측에 1996년12월 착공하여 2001년3월 완공 개통하였다.',#10,$,#11,#20,#18,'600억');
#13=STEEL_STRUCTURE(#14,$,$,$);
#14=STRUCTURAL_OUTLINE('한남대교',$,919,22,#15,'서울시 건설안전본부',(#21,#22),$);
#15=ADDRESS($,'강남구 신사동',$,'서울특별시',$,'135-722','대한민국','364-5300', '2123-2808',$,$);
#16=CALENDAR_DATE(2001,3,1);
#18=DATE_AND_TIME(#16,$);
#19=CALENDAR_DATE(1996,12,1);
#20=DATE_AND_TIME(#19,$);
#21=DESIGN_CRITERION('도로교표준시방서','1996년 건설교통부',$);
#22=DESIGN_CRITERION('콘크리트표준시방서','1996년 건설교통부',$);
#23=GLOBAL_DESIGN_LOAD('BD-24');
#24=GLOBAL_DESIGN_LOAD('DL-24');
#30=DECK('NM1 구간',$,.LRFD,..STEEL_PLATE GIRDER.);
#31=PRIMARY_MEMBER('NM1 구간',#35,..ASD,..STEEL_PLATE GIRDER.);
#32=PART(.DESIGN.,(#21,#22),'NM1-stringer1',.STRINGER.,(#200,#201));
#33=PART(.DESIGN.,(#21,#22),'NM1-stringer2',.STRINGER.,(#203,#204));
#35=PARTS_ASSEMBLY(.DESIGN.,$,'NM1-assembly1','한남대교의 STEP 파일',.BBB1.,(#32,#33));
#36=JOINT_SYSTEM_MECHANICAL('NM1splice 1',#35,.BOLTED_TYPE.,(#206,#210,#212,#214,#220));
#50=STEEL_MATERIAL(21000000.0,0.27,$,$,$);
#200=RECTANGLE_SHAPE('flange',$,12.0,400.0,0.0);
#201=RECTANGLE_SHAPE('web',$,1500.0,12.0,0.0);
#203=RECTANGLE_SHAPE('flange',$,32.0,480.0,0.0);
#204=RECTANGLE_SHAPE('web',$,1500.0,12.0,0.0);
#206=RECTANGLE_SHAPE('splice1 plate',$,200.0,600.0,0.0);
#210=RECTANGLE_SHAPE('splice1 plate',$,1000.0,400.0,0.0);
#212=RECTANGLE_SHAPE('splice1 plate',$,1000.0,440.0,0.0);
#214=RECTANGLE_SHAPE('splice1 plate',$,1000.0,200.0,0.0);
#220=BOLT_SHAPE('splice1 bolt',$,10.0,..HIGH_STRENGTH_BOLT.);
#1500=MEMBER_ELEMENT_MAP(#31,#13877);
#13877 = CURVE_3D_ELEMENT_REPRESENTATION('1',(#12500,#13855),#13856,(#13865,#13866)
,#13864,#13842,#13854,#13876);
#13865 = NODE('2',(#12808),#13863,#13864);
#13866 = NODE('1',(#12807),#13863,#13864);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

가 12.0mm이고 너비(width)가 400.0mm인 #32의 제원정보를 표현하고 있다.

그림 15의 #36은 설계정보에 해당하는 세로보의 접합부를 joint_system 엔티티와 관련 엔티티들을 이용하여 표현한다. 그림 15에 나타난 바와 같이 접합부에서 사용된 긴장재(fastener)는 볼트접합 방식이므로 joint_system_mechanical 엔티티로 표현이 가능하였다. 표 1의 #36은 .BOLTED_TYPE.로 표현되어 접합방식이 볼트접합임을 나타내고, 접합부를 이루는 형상정보가 #206, #210, #212, #213 및 #220라는 점을 나타내고 있다. 여기서 #220은 볼트의 형상과 제원정보를 표현한 것으로서 .HIGH_STRENGTH_BOLT.에 의해 고장력볼트임을 표현하며 볼트의 반경이 10mm임을 나타내고 있다.

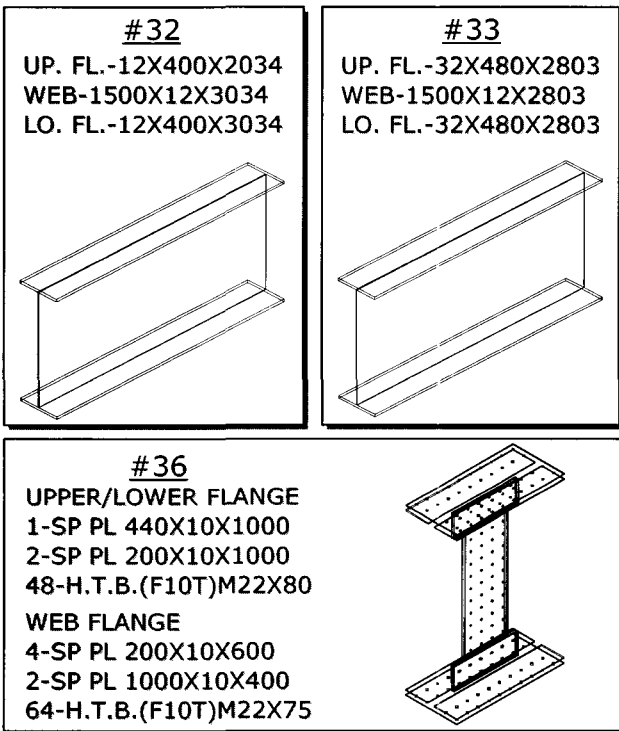


그림 15 Detailed shape and design information

PROJECT 모델을 근간으로 표현된 한남대교 정보는 대표적인 사례로 #12에서 프로젝트의 일반개요 정보를 나타내고 있으며, 또한 구조물의 개요정보를 #13에서 표현하고 있다. 이러한 개요정보는 #21, #22, #23 및 #24에서 설계기준 및 설계하중 등을 포함하고 있다. 다음으로 구조물의 주요한 요소를 표현하는 COMPONENT 모델을 근간으로 한남대교 첫번째 구간의 강상판을 표 1의 #31에서 구조형식을 .STEEL_PLATE_GIRDER로 표현하였다. 그리고 재료의 성질을 표현하는 MATERIAL 모델을 #50에 나타내었다. 마지막으로 STEP 파일에서 구조설계

정보와 구조해석정보와의 연결관계는 APPLICATION CONTEXT 모델에 따른 #1500에서 표현되었다. 그리고 구조설계부재와 연결된 해석정보의 해석요소가 3차원 curve 요소로 표현되었다는 것을 #13877에서 나타내었다. 이처럼 설계정보와 연결된 구조해석정보는 ISO/STEP의 AP209 EXPRESS 스키마를 근간으로 구축되었기 때문에 #5의 application_protocol_definition 엔티티에서 나타내고 있으며, 강교량의 3차원 형상정보를 표현하기 위해서 AP203 스키마가 사용되었다는 것을 #1에서 나타내었다.

이와 같은 과정을 통해서 본 연구에서 개발한 강교량 데이터모델이 한남대교에서 발생하는 프로젝트 개요, 3차원 형상, 구조해석 및 설계정보를 표현하는 것이 가능하다는 점을 입증하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 강교량에서 발생하는 정보를 통합하고 운용할 수 있도록 3차원 솔리드모델을 기반으로 강교량의 설계정보를 표현하기 위한 데이터모델을 개발하였다. 데이터모델의 개발 과정에서 강교량의 3차원 형상정보를 표현하기 위해서 ISO/STEP의 공통자원을 사용하였기 때문에 기존의 상용 CAD/CAD/CAx 프로그램의 결과를 사용하는 것이 가능하였다. 또한, 제조업에서 정의하는 제품의 구성체계를 강교량 구조물에 적용하여 데이터모델을 개발하였다. 즉, 강교량 구조물의 3차원 형상정보를 제품의 구성 체계에 맞추어 세분화하고, 그 구조물의 설계정보를 제품의 구성체계에 입각하여 단품과 조립품으로 세분화하여 나타내고, 세분화된 강교량의 3차원 형상정보와 설계정보를 상호간 연결관계를 설정하여 강교량의 설계정보를 표현하였다. 이렇게 정의된 설계정보는 기하부분과 비기하부분으로 구분하여 기하부분은 STEP의 자원을 이용하여 표현하고, 비기하부분은 기하부분과 연계함으로써 데이터모델의 개발이 완료되었다. 이러한 접근방법은 강교량의 설계정보가 제품의 단품에 해당하는 부재들의 조립형태로 표현되기 때문에 데이터모델 개발 시에 유연한 정보표현이 가능하였다.

개발된 데이터모델의 EXPRESS 스키마에 대한 구문검증은 NIST에서 제공하는 EXPRESS Engine을 이용하여 ISO/STEP의 Part 11에서 제시하는 모델의 적합성 분류기준에 따라 구문과 참조가 유효한지를 검토하고 형과 값이 일정한 조건을 만족하는 지를 검토하여 데이터모델의 적합성을 검증하였다. 또한 개발된 데이터모델이 실제 강교량 구조물의 설계정보를 표현하는 것이 가능한 지를 검증하기 위해서 한남대교를 대상으로 실제 물리적 데이터

값을 적용하여 데이터모델의 적합성을 검증하였다. 이와 같은 과정을 통해서 본 연구에서 개발한 강교량 데이터모델이 한남대교의 프로젝트 개요정보, 구조물의 형상정보, 해석정보 및 설계정보를 표현하는 것이 가능하였다. 본 연구에서 개발한 데이터모델은 강교량 프로젝트의 전 생애주기 상에서 발생하는 정보를 ISO/STEP을 이용하여 교환·공유를 가능케 함으로써 통합환경 구축을 위한 기저를 제공하였다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원(KICT)에서 실시한 2001년 산·학·연 공동연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Simon, P. F., *Interoperability Requirements for CAD Data Transfer in the AutoSTEP Project*, NIST, Gaithersburg, 1996, p.28
- Owen, J., *STEP an Introduction*, Information Geometers Ltd., Winchester, U.K., 1993, p.143
- Tolman, F. P., "Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future", *Automation in Construction*, Vol. 8, No. 3, 1999, pp.227~235
- Gielingh, W. F., "General AEC Reference Model(GARM)", *CIB Seminar Conceptual Modeling of Buildings*, Lund, Sweden, 1988, pp.165~178
- Turner, J., "A systems approach to the conceptual modeling of buildings", *CIB Seminar Conceptual Modeling of Buildings*, Lund, Sweden, 1988, pp.179~187
- Luijten, G., Froese, T., Bjork, B.-C., Cooper, G., Junge, R., Karstila, K. and Oxman, R., *An information reference model for AEC*, Technical Research Center of Finland(VTT), Espoo, Finland, 1993, p.10
- Crowley, A. J. and Watson, A. S., *CIMSteel Integration Standards Release 2: Overview*, Steel Construction Institute, Berkshire, U.K., 2000, p.68
- Mikami, I., Tanaka, S., Kubota, S. and Ishii, Y., "Database of Highway Bridges Product Data Models Using STEP", *Proceeding of the 7th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction*, Kochi, Japan, Vol. 2, 1999, pp.590~601
- Tah, J. H. M. and Howes, R., "Information modelling for case-based construction planning of highway bridge projects", *Advances in Engineering Software*, Vol. 30, No. 7, 1999, pp.495~509
- 이상호, 정연석, "강교량의 설계정보 데이터베이스 구축", 한국전산구조공학회 춘계학술발표회 논문집, 제16권 제1집, 2003, pp.313~320
- 이상호, 정연석, "3D 솔리드모델에 따른 강교량 정보 모델 구축에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 2002, pp.188~191
- Lee, S.-H. and Jeong, Y.-S., "STEP-based Database for Information Management of Steel Bridge", *IABSE Symposium*, Melbourne, Australia, Vol. 86, 2002, pp.74~75
- ISO TC184/SC4, *Integrated generic resources: Geometric and topological representation*, ISO, Geneva, Switzerland, 1994, p.228
- ISO TC184/SC4, *Description Methods: The EXPRESS language reference manual*, ISO, Geneva, Switzerland, 1997, p.307
- Denno, P., *NIST Expresso*, NIST, Gaithersburg, Maryland, U.S.A., 2001, p.12
- Fowler, J., *STEP architecture and methodology*, PDT Solutions, Bentham, U.K., 1996, p.16
- ISO TC184/SC4, *Application Protocol: Configuration controlled design*, ISO, Geneva, Switzerland, 1994, p.515
- NIST, *Integration Definition of Function Modeling (IDEF0)*, NIST, Gaithersburg, 1993, p.116
- 건설교통부, "'97 교량관리체계(B.M.S) 개선에 관한 연구", 연구보고서, 1998, p.578
- Yücel, A. and Hunten, K. A., *Recommended Practices for AP209*, PDES, Inc., Fort Worth, Texas, 1999, p.107
- Eastman, C. M., *Building Product Model: Computer Environments Supporting Design and Construction*, CRC Press, 1999, p.411
- ISO TC184/SC4, *Integrated generic resources: Fundamentals of product description and support*, ISO, Geneva, Switzerland, 1994, p.182
- ISO TC184/SC4, *Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure*, ISO, Geneva, Switzerland, 1994, p.57