

강교량의 설계정보 데이터베이스 구축

Database Development for Archiving Detailed Design Information of Steel Bridges

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

ABSTRACT

The efficient and well organized database is essential for the management of information in every industrial field. In this study, a practical and effective database which can handle 3-D information of steel bridges is built on the basis of a STEP-based data model. The data model of steel bridge information is classified into geometric and non-geometric part and the design information is represented by linking geometric information and life cycle supported non-geometric information. Especially, the shape information is represented by boundary representation method, which is one of the representative methods of solid model information. In this study, ISO/STEP(STandard for the Exchange of product model data) AP203(configuration controlled design) EXPRESS schema is used to represent the shape information of steel bridge. The syntax of EXPRESS schema of developed data model is verified by NIST Expresso - is a tool for parsing and compiling EXPRESS schema. Also, this study verifies the conformance of the data model by applying to the real data of Hannam bridge. Therefore, the constructed database using STEP-based data model of steel bridges can be used effectively in the concurrent engineering point of view with transferring and sharing steel bridge information.

1. 서 론

지난 십수년간 대부분의 산업분야는 제품모델 데이터를 전자적인 형식으로 교환하고 공유하기 위해서 다양한 표준들을 개발해 오고 있다. 이미 자동차, 항공 및 선박산업에서는 전자적 제품모델 표준을 기반으로 생성된 제품 데이터를 교환하고 통합하는데 상당부분 성공을 거두었다. 일례로, AutoSTEP 프로젝트는 자동차 제조사와 협력사 간에 제품과 프로세스 설계활동을 ISO/STEP 표준을 적용하여 통합함으로써 정확하고 경제적인 제품데이터의 교환을 가능케 하고 동시공학(Concurrent Engineering)적으로 협업(Collaboration Work)수행이 가능한 체계를 제공하였다. 이에 반해 건설산업은 전통적으로 2차원 도면과 종이문서 형식의 정보시스템을 기반으로 분산된 조직구조로 이루어져 있어서 통합환경 구축이 어렵다. 이러한 미래의 도전에 대처하기 위해서 건설산업에서는 프로젝트 정보를 전자적으로 교환하고 저장하고 공유할 수 있는 제품모델 표준의 개발이 필수적이다.⁽¹⁾ 건설산업에서도 전자적 데이터를 교환하기 위한 노력을 수행해오고 있다. 건설산업에서는 전자적으로 관련 데이터를 교환하기 위한 표준 개발이 1986년 경에 시작되었으며 Gielingh⁽²⁾와 Turner⁽³⁾의 논문을 필두로 연구가 활성화 되었다. 특히 Gielingh은 GARM(General AEC Reference Model)

* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 부교수
** 정희원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정

모델을 제안하였다. GARM은 CAM-I 프로젝트에서 ICM(Integration Core Model) 개발을 위한 기초모델로 사용되었다. 실질적인 모델링에서 GARM이 비교적 국부적으로 사용되었을 지라도 수년간 건설산업의 데이터모델 개발에 영향을 미쳤다. GARM 이후, 1990년에 다수의 연구자들이 IRMA(Integration Reference Model Architecture)라는 새로운 모델을 제안하였다. Luijten의 논문을 통해서 IRMA 모델은 여전히 GARM의 몇몇 특징을 포함했다. IRMA 모델은 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 Watson⁽⁴⁾은 철골조빌딩의 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 하여서는 Mikami 등⁽⁵⁾은 교량구조물의 형상정보만을 대상으로 데이터베이스를 구축한 사례가 있다. 또한, Tah 등⁽⁶⁾은 사례기반추론기법을 이용하여 이전에 수행한 교량프로젝트의 지식을 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.

따라서 본 연구에서는 강교량 프로젝트의 업무프로세스 상에서 발생하는 정보를 교환·공유하여 통합환경을 구축할 수 있도록 3차원 형상정보를 근간으로 구조물의 설계정보, 물성정보 및 프로젝트정보를 표현한 데이터모델을 개발하였다. 개발된 데이터모델은 상용 데이터베이스 내에서 데이터구조(Data Structure)를 정의하는데 사용되며 구축된 데이터베이스가 실제 물리적인 데이터 값을 포함하도록 한강상의 1등급 교량인 한남대교의 설계정보를 중립적 형식의 파일로 생성하고 데이터베이스를 구축하였다.

2. 데이터모델 개발 개요

본 연구에서는 강교량의 생애주기 상에서 구조물의 3차원 형상정보, 계획정보, 해석정보 및 설계정보를 표현할 수 있는 데이터모델을 개발하였다. 강교량 구조물 정보에 대한 데이터모델을 개발하기 위해서, 본 연구는 STEP(STandard for the Exchange of Product model data)의 데이터모델 개발 방법론에서 제시하는 절차와 자원들을 이용하였다.

본 연구에서 개발한 데이터모델은 우선, 강교량의 기하학적 형상을 표현하는 정보와 설계정보를 표현하는 비기하정보로 구분하였다. 엔지니어는 강교량의 설계정보를 구조물의 기하학적 형상을 근간으로 인식한다는 점에 착안하여 그림 1과 같이 STEP 방법론을 따라 정의된 강교량 정보를 기하정보와 비기하정보로 구분하고 6개의 하부 모델로 정의하였다. 기존의 설계정보는 2차원 도면으로 표현되어 있어서 강교량의 형상정보와 설계정보를 연계하여 정보를 관리하는 것이 거의 불가능하기 때문에 본 연구에서는 강교량 구조물의 기하학적 형상정보는 3차원 솔리드모델을 이용하여 표현하였다. 현재 3차원 솔리드모델 정보는 각종 CAD/CAE 소프트웨어에서 STEP 파일 형식으로 정보를 제공하고 있기 때문에 정보획득이 용이하다. 강교량의 설계정보는 그림 2에 나타난 바와 같이 기하형상정보와 강교량의 생애주기 별 비기하정보와의 연계를 통해 표현되었다. 또한 비기하정보는 각 단계(Phase)와 서로 연계하여 강교량 구조물에서 발생하는 정보 표현을 위한 데이터모델을 정의하였다.

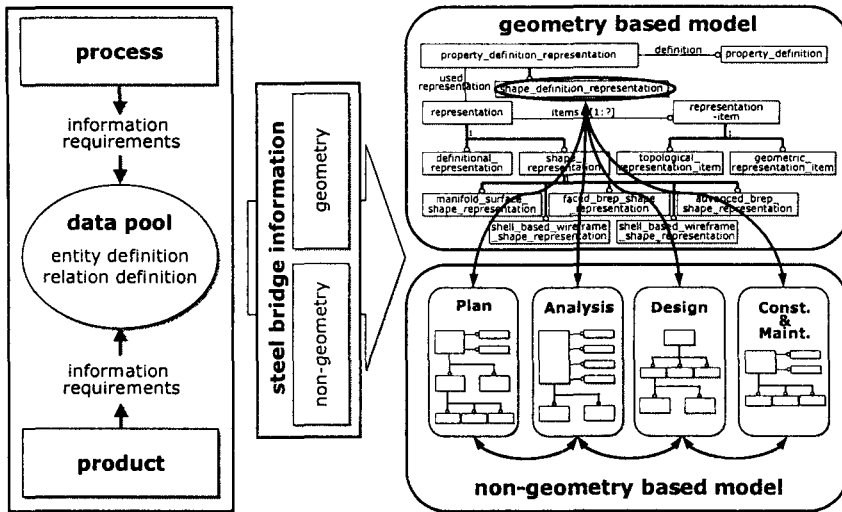


그림 1 STEP 방법론에 따른 제품의 데이터모델 개발 개념도

3. 강교량 데이터모델

본 연구에서 개발한 정보모델은 교량구조물의 형상정보를 근간으로 각 형상과 설계정보를 연계하였다. 교량의 기하학적 형상정보를 효과적으로 표현하기 위해서 본 연구에서는 솔리드모델을 표현하는 방법 중에서 경계표현방식을 채택하였다. 이와 같은 연구목적을 달성하기 위해서 본 연구에서는 대상교량의 형상정보에 대한 정보모델 표현 시에 ISO/STEP의 AP203을 이용하였다. 현재 상용 CAD 프로그램에서 AP203 스키마에 따른 정보 출력시에 경계표현방식으로 솔리드모델 정보를 이용하도록 규정하고 있다. 구조해석정보 표현은 형상정보와 직접적으로 연계하여 표현하기가 어렵다. 왜냐하면 구조해석정보는 해석단계에서 구조 엔지니어에 의해 해석모델을 정의하기 때문에 시공된 실제 교량의 형상정보와 다르기 때문이다. 따라서 본 연구에서 정의한 정보모델은 구조해석 정보를 표현한 ISO/STEP의 AP209 스키마를 상세설계된 부재 정보와 연계하지 않고 설계단계의 최상위 요소와 연계하여 정의하였다.

3.1 Project 모델

Project 모델은 강교량 프로젝트의 일반적인 개요정보와 강교량 구조물의 개요정보 및 속성정보와의 연결 관계를 정의하였다. 그림 2에서 bridge 엔티티는 교량구조물의 정보표현을 위한 최상위 엔티티로서 사용재료에 따라 강재와 콘크리트로 구분하였으며, 강교량의 상부구조물에 대한 속성정보를 표현하기 위해서 superstructure 엔티티를 리스트 값 형태로 참조하도록 정의하고, 마찬가지로 하부구조물에 대한 정보를 표현하기 위해서 substructure 엔티티를 리스트 값 형태로 참조하도록 정의하였다. 향후 대상교량의 정보가 현재 정부차원에서 활발하게 추진중인 국가지리정보시스템과 연계될 수 있도록 bridge_outline 엔티티에서 location 속성값이 전체 지도상의 위치를 표현할 수 있도록 하였다. Location 속성에 저장 가능한 정보는 3차원 좌표값으로 표현하였다. 교량의 전체 구조물 정보를 표현하는 bridge 엔티티는 상부구조물과 하부구조물에 대한 설계정보를 포함하고 구조해석정보를 포함하도록 정의하였다. Bridge 엔티티의 analysis_info 속성은 analysis_item_within_representation 엔티티를 참조하도록 정의하였다. 여기서 analysis_item_within_representation 엔티티는 구조해석정보를 표현하기 위한 최상위 엔티티를 나타낸 것이다.

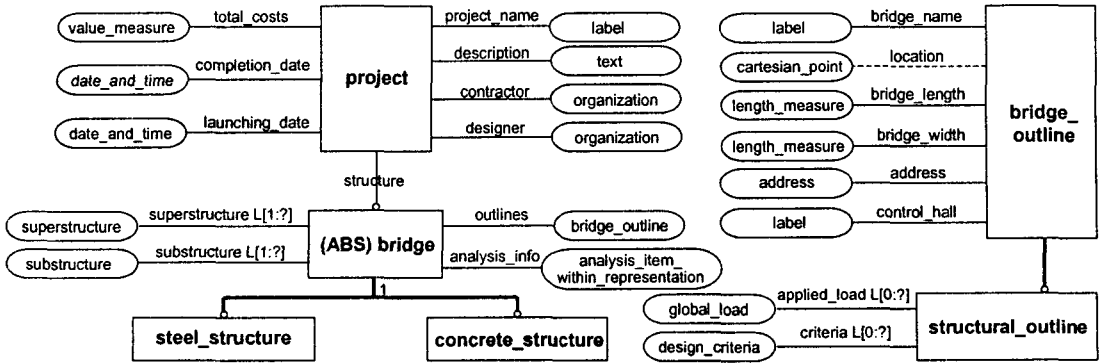


그림 2 Project 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

3.2 Bridge component 모델

Bridge component 모델은 강교량 구조물을 구성하는 주요한 요소를 정의하였으며, 본 연구에서는 그림 3과 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 정보모델은 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 bridge_component 엔티티는 EXPRESS 언어에서 ABSTRACT 옵션을 사용하여 자신의 값을 정의할 수 없도록 규정하였다. 상부구조물을 표현한 superstructure 엔티티는 대상교량의 상부구조의 구조형식을 정의하기 위해서 structural_type 속성에서 정의하도록 하였다. Structural_type은 상부구조물의 구조형식을 정의하는 데이터 타입이다.

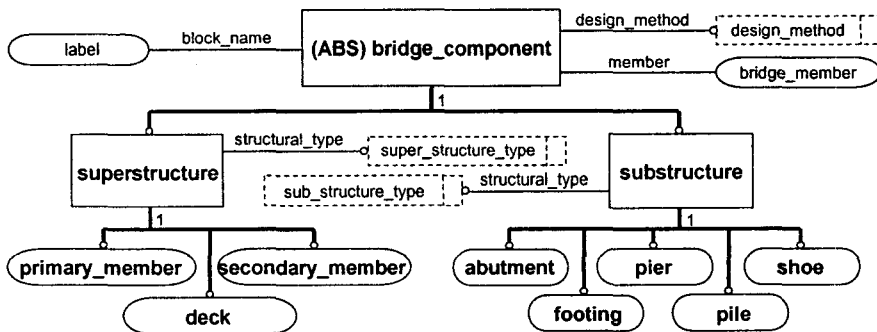


그림 3 Bridge component 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

3.3 Bridge member 모델

Bridge member 모델은 bridge component 모델에서 분류한 8개의 부재에 포함되는 세부적인 부재들의 정보를 표현하기 위해 정의되었다. 그림 4에서 정의된 것처럼 bridge_member 엔티티는 부재들의 조합을 표현

하는 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, 웨브, 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.

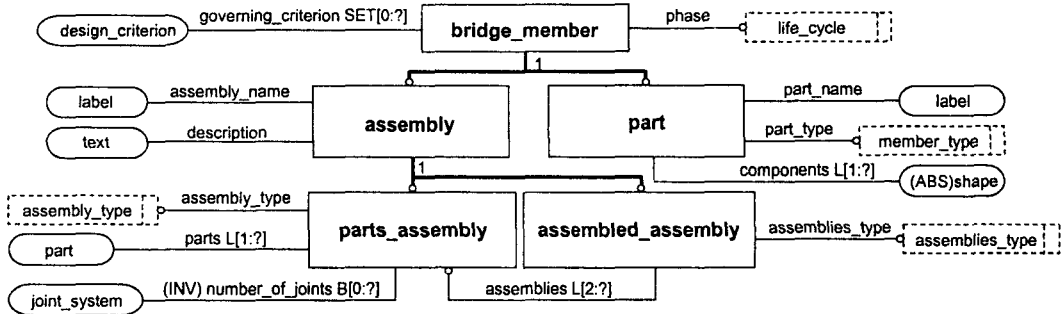


그림 4 Bridge member 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

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 5와 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 만들어 내는 것으로써, 모든 면을 모서리의 경계로 반시계 방향으로 정의해 줌으로써 법선벡터를 구하고 이 법선벡터를 중심으로 일정한 방향을 규정지어 면의 내부와 외부를 정의하는 방식이다. 따라서 본 연구에서는 2차원 도면기반의 정보를 3차원 형상정보 기반으로 교량정보를 표현함으로써 정보에 대한 인식이 사람에게 의해 이루어질 뿐만 아니라 컴퓨터에 의해 정보 인식이 가능해진다. 그리고 이용자가 필요로 하는 정보의 접근이 용이하고 관리자가 정보를 유지관리하기에 용이해진다. `Simple_shape` 엔티티는 상위 엔티티인 `shape` 엔티티의 솔리드모델 정보를 상속받아 구조물의 선형부재에 대한 단면정보를 표현한 것으로써 강교량 구조물을 구성하는 부재의 형상을 표현한 엔티티로서 `angle_shape`, `rectangle_shape`, `channel_shape`, `circle_shape`, `h_shape`, `t_shape`, `i_shape`의 7개로 하부 엔티티로 이루어져 있다. `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 임

의 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 개요정보 만을 포함하도록 하였다.

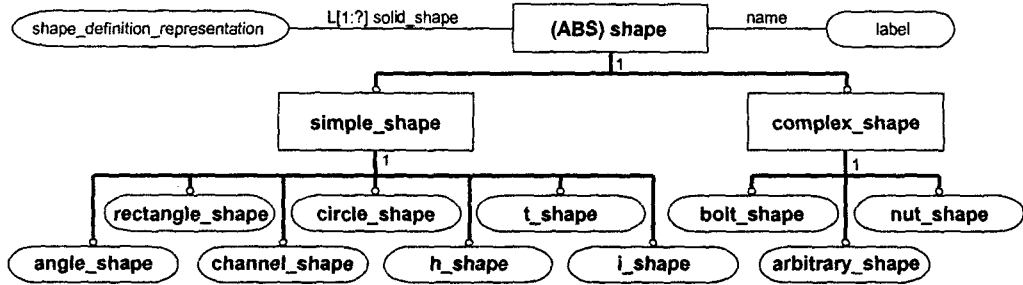


그림 5 Shape 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

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 6과 같이 Material 엔티티는 온도팽창계수를 표현한 thermal_expansion 속성, 탄성계수를 표현한 elasticity 속성, 포아송비를 표현한 poisson_ratio 속성 및 자중을 표현한 weight_density 속성을 이용해 부재의 재료특성을 정의하도록 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 항복응력을 표현하기 위한 속성값을 포함하고, concrete_material 엔티티는 철근콘크리트 부재에서 콘크리트 강도, 콘크리트의 전단 강도, 철근의 항복응력 및 전단철근의 항복응력 값을 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.

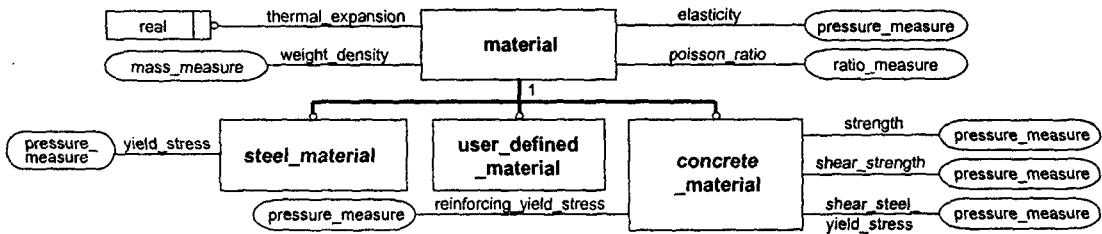


그림 6 Material 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

3.6 Joint system 모델

Joint system 모델은 구조물의 접합부를 표현한 것으로, 접합방법은 용접에 의한 방법과 기계적 방법으로 정의되었다. 그림 7과 같이 joint_system 엔티티는 접합부를 표현하는 최상위 엔티티로서 connected_assembly 속성 값을 통해 접합이 이루어질 설계부재를 명시하도록 하였다. 기계적 접합방법을 정의한 joint_system_mechanical 엔티티는 형상정보를 표현하는 components 속성에서 다수의 shape 엔티티를 가지도록 정의하였으며, mechanism 속성에서는 기계적인 접합 타입을 볼트, 핀 및 리벳접합으로 범위를 한정하

었다. 즉, joint_system_mechanical 엔티티는 기계적 방법에 의한 연결부 접합을 표현하며 접합부를 구성하는 요소들(볼트, 너트, 워셔 및 강판)을 묶어서 하나의 부제로 간주한다.

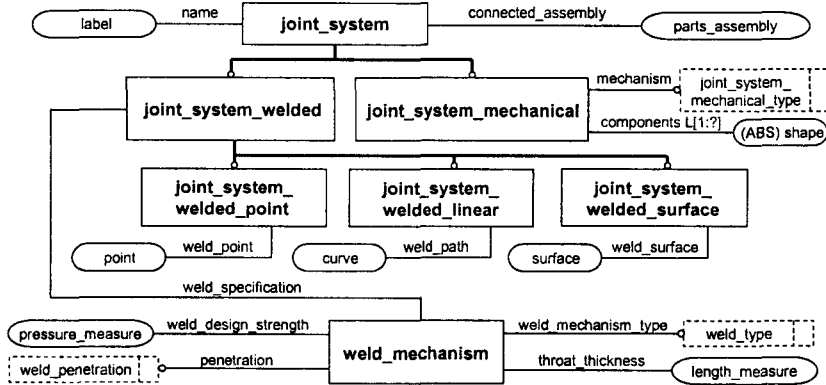


그림 7 Joint system 모델의 EXPRESS-G 다이어그램

4. 데이터모델의 검증

본 연구를 통해 개발된 정보모델은 강교량 구조물을 대상으로 3차원 형상정보를 근간으로 설계정보를 표현할 수 있다. 개발한 정보모델이 실제 강교량 구조물의 기하학적 형상정보와 설계정보를 표현하는 것이 가능한지를 검증하기 위해서 한강상의 1등급 교량인 한남대교와 관련한 정보를 STEP 파일로 생성하였다. 또한, 개발한 정보모델의 EXPRESS 스키마 구문(syntax)에 대한 검증은 NIST에서 무상으로 제공하는 Expresso를 이용하여 완료하였다. Expresso는 EXPRESS 스키마로 표현된 데이터구조를 따라 물리적 과일을 생성하는 기능과 스키마에서 정의한 각종 제약조건을 검토하는 기능을 제공하는 프로그램이다.

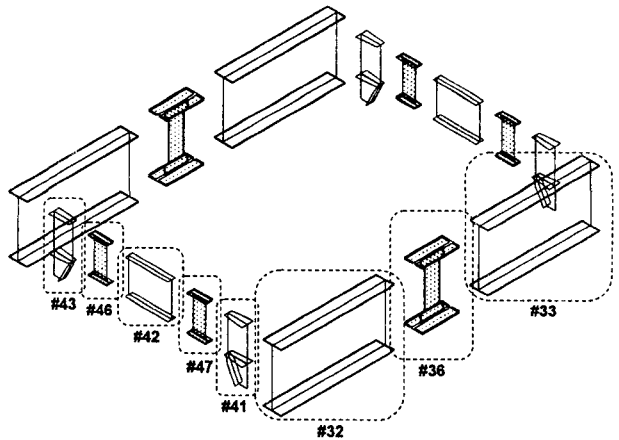


그림 8 한남대교 NM1구간의 형상 및 설계정보

그림 8은 한남대교의 7개 구간 중 NM1 구간의 3차원 형상과 형상에 관련되는 설계정보를 나타내었다. 한남대교 NM1 구간의 상부구조물 구조형식은 강판형거더(steel plate girder)이다. 그림 8의 #32와 #33은 한남대교 NM1 구간의 세로보(stringer)를 나타낸 것으로써, 각 부재는 2개의 플랜지와 1개의 웨브로 구성되어 있다. 또한, #32와 #33에 대한 실제 데이터 값은 표 1에 나타난 바와 같이 3차원 형상정보를 표현한 #200, #201, #203 및 #204를 포함하고 각종 물성정보를 표현하였다. 예로써, #200은 단면형상이 사각형인 요소를 표현한 rectangle_shape 엔티티에 의한 물리적인 데이터 값으로써 단면의 두께(depth)가 12.0mm이며 너비(width)가 400.0mm인 플랜지를 표현하였다. 한남대교 NM1 구간의 스플라이스(splice)는 그림 8의 #36과 같으며, 실제 데이터 값은 표1의 #36에서 나타내었다. #36은 접합부를 표현한 것이며, 접합방법은 볼트에 의한 접합이며 관련된 형상은 다수의 플레이트와 볼트로 이루어져 있다는 것은 나타내 준다.

표 1 NIST Espresso를 이용하여 한남대교의 설계정보를 표현한 STEP 물리적 파일

```
FILE_SCHEMA('bridge_information');
#14=STRUCTURAL_OUTLINE('한남대교',$,919,22,#15,'서울시 건설안전본부',(#21,#22,$);
#30=DECK('NM1 구간',$,LRFD,,STEEL_PLATE_GIRDER.);
#31=PRIMARY_MEMBER('NM1 구간',#35,,ASD,,STEEL_PLATE_GIRDER.);
#32=PART(.DESIGN.,(#21,#22),'NM1-stringer1',.STRINGER.,(#200,#201,#200));
#33=PART(.DESIGN.,(#21,#22),'NM1-stringer2',.STRINGER.,(#203,#204,#203));
#35=PARTS_ASSEMBLY(.DESIGN.,$,'NM1-assembly1','한남대교의 설계정보에 대한 STEP 파일을 생성하기 위한 사례',$,(#32,#33));
#36=JOINT_SYSTEM_MECHANICAL('NM1 splice 1',#35,.BOLTED_TYPE.,(#206,#210,#212,#214,#220));
#200=RECTANGLE_SHAPE('flange',$,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.);
```

5. 결론

본 연구에서는 강교량에서 발생하는 각종 정보를 통합 운용하기 위해서 3차원 솔리드모델 기반으로 강교량의 정보를 표현하기 위한 연구를 수행하였다. 이러한 연구수행을 통해서 기존의 정보모델에서 표현하지 못한 교량의 3차원 형상표현이 가능하였다. 개발된 정보모델의 EXPRESS 스키마에 대한 구문검증은 NIST에서 제공하는 Espresso를 이용하여 실시하였으며, 한남대교를 대상으로 실제 물리적 데이터 값을 적용하는 과정을 통해 정보모델의 적합성을 검증하였다. 본 연구는 STEP과 같은 국제표준 방법론에 의거해 정보모델을 구축함으로써 강교량 정보의 교환 및 공유가 가능하였다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. Frits, P.T., "Product modeling standards for the building and construction industry: past, present and future", *Automation in Construction*, Vol.8, No.3, 1999, pp.227-235
2. Gielingh, W.F., "General AEC Reference Model (GARM)", *CIB Seminar Conceptual Modeling of Buildings*, Lund, Sweden, October 1988
3. Turner, J., "A systems approach to the conceptual modeling of buildings", *CIB Seminar Conceptual Modeling of Buildings*, Lund, Sweden, October 1988
4. Crowley, A.J. and Watson, A.S., "CIMSteel Integration Standards Release 2: Overview", Steel Construction Institute, Berkshire, U.K., 2000
5. 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
6. 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