

교량의 유지관리를 위한 멀티레이어 데이터베이스 개념

A Concept of Multi-Layered Database for the Maintenance and Management of Bridges

김 봉 근* 이 진 훈** 이 상 호†

Kim, Bong-Geun Yi, Jin-Hoon Lee, Sang-Ho

(논문접수일 : 2007년 2월 26일 ; 심사종료일 : 2007년 5월 25일)

요 지

본 연구에서는 교량정보의 통합 운용을 지원하기 위해 멀티레이어 데이터베이스의 프레임워크를 제시하였다. 멀티레이어 데이터베이스란 표준화된 정보 레이어로 이루어진 논리적으로 통합된 데이터베이스를 말한다. 표준화된 정보 레이어는 한 부류로 구분할 수 있는 데이터 집합을 나타내며, 정보모델에 의해 정의된다. 본 연구에서 제시한 교량의 멀티레이어 데이터베이스 개념은 구조요소의 분류를 나타내는 정보체계를 기반으로 하며, 구조요소의 분류체계에 따른 코드를 사용함으로써 여러 정보계층에 분포된 데이터를 통합하도록 하였다. 또한 멀티레이어 데이터베이스 프레임워크의 한 축으로서 데이터 레벨을 설정하였다. 데이터 레벨은 정보계층에 포함된 데이터들의 재활용성에 따른 중요도를 의미하며, 이에 따라 정보모델의 세분화되는 정도를 정의하여 방대한 양의 교량정보 데이터베이스 구축을 위한 효과적인 전략수립이 가능하도록 하였다. 제시된 개념의 검증을 위해 객체지향개념의 3-D 형상정보 계층과 구조계산서 정보계층으로 이루어진 시범 데이터베이스를 구축하였다. 또한 두 계층으로 분산되어 있는 데이터의 일치여부를 자동으로 검토하는 실험을 통하여 본 연구에서 제시된 멀티레이어 데이터베이스 개념이 교량정보를 관리하는데 있어 정보의 무결성과 일관성을 보장할 수 있음을 보였다.

핵심용어 : 멀티레이어 데이터베이스, 교량정보, 정보계층, 3-D 형상정보

Abstract

A concept of multi-layered database is proposed for the integrated operation of bridge information in this study. The multi-layered database is a logically integrated database composed of standardized information layers. The standardized information layers represent the data sets that can be unified, and they are defined by standardized information models. Classification system of bridge component was used as a basis of the multi-layered database, and code system based on the classification system was employed as a key integrator to manipulate the distributed data located on the different information layers. In addition, data level indicating priorities of information layers was defined to support strategic planning of the multi-layered database construction. As a proof of concept, a prototype of multi-layered database for object-oriented 3-D shape information and structural calculation document was built. Data consistency check of the semantically same data in the two different information layer was demonstrated. It is expected that the proposed concept can assure the integrity and consistency of information in the bridge information management.

Keywords : multi-layered database, bridge information, information layer, 3-D shape information

1. 서 론

교량의 설계 및 시공단계의 업무 수행을 통해 생산되는 정보는 유지관리 단계에서 교량의 안전성과 성능을 평가하

나, 구조물의 결함의 원인을 분석하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 이와 같은 교량의 정보를 저장하고 재사용하는데 있어서 데이터베이스는 정보의 영속성(persistence)을 지원하며, 다수의 정보입출력 동작을 동시에 지원하는 트랜잭

† 책임저자, 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수

Tel: 02-2123-2808 ; Fax: 02-364-5300

E-mail: lee@yonsei.ac.kr

* 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정

** 학생회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2007년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

선(transaction)과 동시성(concurrency)을 제공한다. 또한 정보의 재가공 측면에 있어서도 파일기반의 정보 저장 및 운용방식의 한계를 극복할 수 있는 기반을 제공한다. 이는 유지관리 단계에서 수행되는 다양한 업무의 목적에 따라 참조되는 정보를 해당 조건과 맞추어 검색하고 재가공하여 제공하는데 매우 큰 강점으로 작용한다.

건설정보의 통합적인 운용을 위한 개념의 정립과 이를 구현하려는 시도는 Wright(1988)이 Computer Integrated Construction(CIC) 개념을 제시하면서 활성화되기 시작된 것으로 볼 수 있다. 특히, Sanvido 등(1990)은 CIC를 위한 프레임워크를 제시하면서 전통적으로 제조산업에서 중요시 되어왔던 CAD 데이터베이스를 CIC 구현의 핵심적인 툴로 선정하였다. 그러나 건설분야에서는 동일한 구조물 요소를 대상으로 하여도 업무에 따라 사용되는 데이터의 형태가 다른 경우가 많기 때문에 3-D 형상에만 의존한 정보관리 방식의 경우 건설정보를 통합 관리하는데 어려움이 발생한다. 이에 따라서 과거의 CAD 모델은 객체지향개념에 따른 3-D 형상기반 CAD 모델로 발전되어 왔으며, 많은 연구들에서도 객체지향개념에 따른 3-D 형상기반의 CAD 모델이 건설정보의 통합의 핵심 모델로 적절한 것으로 보고하고 있다(Tatum, 1990; Teicholz 등, 1994; Faraj 등, 2000; Chen 등, 2005). 최근 빌딩분야에서 이슈가 되고 있는 Building Information Modeling(BIM) 또한 객체지향개념에 따른 3-D 형상기반의 CAD 모델을 기본으로 한다. 이와 같이 객체지향개념에 근간을 둔 구조물의 3-D 형상기반의 CAD 모델은 건설정보의 통합운용에 핵심적인 툴로 자리매김하고 있고 제품정보모델에 대한 표준화도 활발히 진행되고 있으나 아직은 빌딩 구조물을 위주로 진행되고 있는 추세이다. 토목 구조물의 경우 교량을 중심으로 한 제품정보모델의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Lee 등(2002)과 이상호 등(2004)은 ISO 10303의 자원을 직접 이용하여 교량의 설계정보를 표현하기 위한 커널과 강교량 상부구조를 대상으로 한 데이터모델을 각각 개발하였으며, Yabuki 등(2003)과 Lebeque(2005)는 International Alliance for Interoperability(IAI)의 Industry Foundation Class(IFC)를 기반으로 교량의 제품정보모델을 개발한 바 있다.

그러나 현재까지 개발된 3-D 기반 CAD 모델링 툴을 통해 다루어지는 정보는 아직까지는 일정 단위 업무에 한정되어 있다. 따라서 교량의 생애주기 동안 수행되는 다양한 업무를 통해 산출되는 정보를 유기적으로 연계하고 효과적으로 관리할 수 있는 데이터베이스의 구축방안이 필요하다. 이를 위해 객체지향개념에서 구조물의 정보를 업무적 관점에 따라 분류하고, 구조물을 구성하는 구조요소를 기반으로 통합하는 방

안을 고려할 수 있는데, 이러한 사례로 관점/계층모델(이재철 등, 1999), 참조영역 모델(이재철 등, 2000) 그리고 이를 기반으로 김치경 등(2001)이 제시한 객체-관계형 데이터베이스의 모델링 방법 등을 들 수 있다. 이들의 연구는 건축 구조 설계를 위해 수행되었으며, 구조물 요소를 기반으로 한 기본 객체를 바탕으로 각 업무적 관점에서 수행되는 세부 기능의 정보 객체를 계층화하여 확장하는 방법을 이용하였다. 이러한 방법은 하나의 패키지 프로그램을 개발하는데 있어 매우 유용하게 활용될 수 있다. 그러나 본 논문에서 대상으로 하는 교량과 같이 여러 기관에서 제출되는 다수의 준공도서에 대한 정보를 데이터베이스를 통해 관리하기 위해서는 보다 현실적인 데이터베이스 구축 방안이 마련되어야 한다.

본 논문에서는 강교량의 제품정보모델을 표준화하고 대표적인 엔지니어링 문서인 구조계산서와 통합으로 운용하기 위해 수행된 이전의 연구(이상호 등, 2004; 이상호 등, 2006; Lee 등, 2006b)를 바탕으로 교량 구조물의 유지관리 관점에서 필요한 설계 및 시공정보를 수용하고 통합관리하기 위한 멀티레이어 데이터베이스의 프레임워크를 제시하였다. 본 연구에서 제시하는 멀티레이어 데이터베이스의 프레임워크는 교량 구조요소의 분류체계를 근간으로 하며, 생애주기 동안 발생하는 정보 항목의 활용성에 따른 등급체계를 갖는다. 이를 통해 교량의 유지관리 시 재활용성이 크거나 상호 다른 계층에 존재하는 정보와 연계를 위한 항목부터 세분화된 데이터베이스를 구축하는 단계적인 계획 수립을 지원할 수 있다.

2. 멀티레이어 데이터베이스의 프레임워크

2.1 멀티레이어 데이터베이스 개념

본 연구에서 정의하는 멀티레이어 데이터베이스란 표준화된 레이어 체계가 상호 논리적으로 통합된 데이터베이스를 의미한다. 여기서 의미하는 레이어 체계란 본 연구에서 대상으로 하는 교량의 생애주기 동안 수행되는 각종 단위 업무를 통해 산출되면서 하나의 부류로 분류될 수 있는 정보 또는 데이터의 집합을 의미한다. 그림 1은 이와 같은 레이어 체계의 개념을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 교량 및 구성요소를 근간으로 하는 객체지향개념의 3-D 형상정보를 응용 레이어를 위한 기본 레이어로 정의하였다. 이러한 기본 레이어위에 교량의 생애기간 동안 발생하는 다양한 정보를 계층화하여 교량의 구성요소에 매핑시킴으로써 동일한 요소를 대상으로 발생한 정보를 통합적으로 관리할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

하나의 레이어에 포함되는 정보 또는 데이터의 집합을 표현하기 위해서 정보모델이 사용된다. 정보모델은 데이터 집

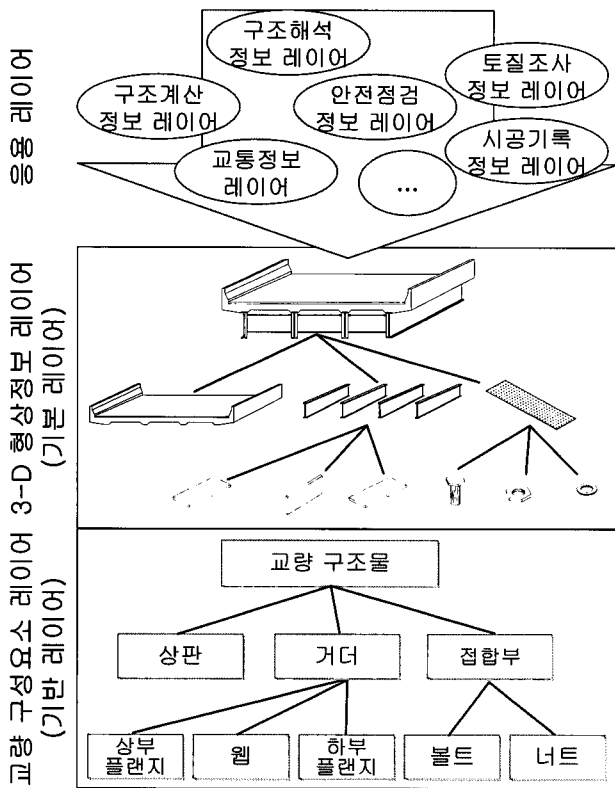


그림 1 객체지향개념에 따른 레이어 체계 개념도

합과 이를 구성하는 데이터 요소간의 관계를 표현한 것이다. 객체모델, 엔터티-관계 모델 그리고 XML 스키마 모델이 대표적인 정보모델의 형태이다. 정보모델 그 자체는 데이터와 구성요소 간의 관계를 정의하는 추상적 표현이지만, 데이터베이스의 데이터 스키마와 응용프로그램 입출력 정보의 포맷으로 사용된다. 따라서 표준화된 레이어 체계는 교량의 관리를 담당하는 각 공공기관 및 건설산업의 합의에 따라 규정된 관계성을 가지는 데이터의 집합 또는 포맷이라 할 수 있다.

2.2 데이터 레벨 개념

교량의 생애기간은 계획, 설계, 시공, 유지관리 및 폐기로 크게 구분될 수 있으며, 각 생애기간동안 수행되는 다양한 단위 업무에 따라 도면 또는 문서형태로 각종 정보가 생산된다. 각 단위 업무를 통해 산출되는 각 도서는 2.1절에서 정의하는 하나의 부류로 정의된 레이어로 볼 수 있다. 선행 업무에서 생성된 정보를 이후 단계 업무에서 활용하는 연속적인 업무 프로세스를 지원하거나 자연재해관리 또는 위기관리와 같이 임의적으로 발생하는 업무를 보다 신속히 지원하기 위해서는 인력에 의해 저장된 정보를 판독하고 목적에 맞게 재가공하여 정보를 활용하는 것 보다는 가능하면 응용프로그램에서 직접 재활용이 가능하도록 정보체계가 구축되는 것이

바람직할 것이다. 그러나 미래 개발될 응용모듈의 기능을 예측하여 모든 데이터를 세분화하여 데이터베이스 테이블에 저장하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 데이터베이스 구축에 대한 단계적 계획을 수립할 수 있도록 각종 응용모듈에서 활용도가 매우 높은 항목들과 그렇지 않은 항목들을 구분하는 데이터 레벨이라는 축을 설정하였다.

2.3 데이터 레벨에 따른 정보모델의 상세화

데이터 레벨은 세부 부류로 정의할 수 있는 단위 레이어에 포함된 하위 데이터 집합의 중요도를 나타낸다. 하위 데이터 집합의 중요도는 가장 기본적으로 한 업무에서 산출된 데이터들이 이후 단계의 업무에서 재사용되거나 참조되는 재활용성에 의해 정해지며, 이에 따라 각 레이어의 데이터 집합을 표현하는 세분화의 정도를 조절한다. 세분화 정도에서 가장 기본적으로 사용될 수 있는 것이 현재 주요 공공기관(건설교통부, 2006b; 한국시설안전기술공단, 2004)에서 문서의 납품에 사용하는 방법이다. 이는 문서를 인덱싱하기 위한 메타데이터와 장별로 구분된 문서파일을 저장하고 관리하는 방식이다.

표 1은 레이어의 중요도에 따라 정보모델을 세분화 한 예시를 구조형식, 교면포장 및 주형정보를 대상으로 나타낸 것이다. 이 항목들은 설계보고서나 구조계산서에도 존재하지만 일반국도공사의 준공도서를 납품할 때에 유지관리 시스템 및 교량관리시스템과 연동되는 데이터베이스 구축을 위해 별도의 정보입력을 요구하는 항목들이다(건설교통부, 2006b). 표 1에서 나타낸 중요도가 가장 낮은 'Level 1'의 경우는 문서의 인덱싱을 위한 기본 정보만을 데이터 항목으로 구분하고 나머지의 정보는 문서파일형태로 관리하는 방법을 의미한다. 이에 따라 교면포장재질이나 주형정보를 얻고자 한다면 사용자가 직접 문서파일을 조회하여 정보를 획득해야 한다. 'Level 2'의 경우는 타 시스템에서 사용되는 중요항목만을 대상으로 데이터 항목을 세분하는 것으로서 'Level 1'의 인덱싱 데이터의 개수가 좀 더 확장된 형태이다. 따라서 응용프로그램은 교면포장의 재질이 콘크리트인지 아스팔트인지의 정도까지만 인식할 수 있으며, 강도 또는 단위중량과 같은 데이터는 인식하지 못한다. 중요도가 가장 높은 'Level 4'의 경우는 해당 레이어에 포함된 모든 정보를 각종 응용프로그램에서 자동으로 인식할 수 있는 수준으로 세분화하여 저장하는 형태를 의미한다. 이러한 방법은 기본적으로 문서에 포함되어야 하는 항목과 이를 정의하는 정보모델의 표준화가 선행되어야 하며, 문서를 작성하는 가이드가 잘 갖추어져 있어야 실무에서 작성된 문서를 효율적으로 데이터베이스에 저장할 수 있다.

표 1 정보의 중요도에 따른 데이터 항목 세분화의 예

정보모델의 세분화 정도	데이터 항목 세분화의 예
Level 1: 문서 인덱싱을 위한 주요 항목만을 구분 (현행체계)	<ul style="list-style-type: none"> 구조형식: 강상자형식(문자열) 교면포장 재질: N/A 주형정보: N/A
Level 2: 타 시스템에 연계된 데이터 항목 중 필수항목만 세분화	<ul style="list-style-type: none"> 구조형식: 강상자형교(문자열) 교면포장 재질: 콘크리트 or 아스팔트 주형정보: N/A
Level 3: 타 시스템에 연계된 데이터 항목을 모두 세분화	<ul style="list-style-type: none"> 구조형식: 강상자형교(문자열) 교면포장 재질: 콘크리트 or 아스팔트 주형정보: <ul style="list-style-type: none"> - 단면치수: 하부플랜지두께 (숫자), 상부플랜지두께 (숫자), ... - 단면성질: N/A
Level 4: 레이어에 포함된 모든 데이터 항목을 세분화	<ul style="list-style-type: none"> 구조형식: 강상자형교(문자열) 교면포장 재질: 타입 (콘크리트 or 아스팔트), 강도 (숫자+단위타입) 주형정보: <ul style="list-style-type: none"> - 단면치수: 하부플랜지두께 (숫자+단위타입), 상부플랜지두께 (숫자+단위타입), ... - 단면성질: 합성전/합성후 단면적(숫자+단위타입), 단면2차모멘트(숫자+단위타입), ...

3. 멀티레이어에 분산된 정보의 통합 운용을 위한 통합 요소

교량의 생애주기 동안 발생하는 정보를 데이터베이스에 저장하는데 있어서 정보의 무결성(integrity)과 일관성(consistency) 보장은 매우 중요한 요소로 고려되어야 한다. 본 연구에서 정의하는 통합요소란 멀티레이어 데이터베이스 내에서 서로 다른 레이어에 분산된 데이터의 무결성과 일관성을 확인하고 정보를 통합적으로 운용하는데 사용할 수 있는 정보체계를 말한다.

생애주기에 따라 여러 기관 및 프로젝트 참여자에 의해 생성되는 정보를 연계하기 위해 사용될 수 있는 통합요소로서 표준화된 정보분류체계에 의한 코드를 이용할 수 있다. 정보분류체계에 의한 코드는 건설 프로젝트에 참여한 팀들 사이의 정보교환에 있어 핵심적인 역할을 오래전부터 담당해 오고 있다. 그림 2는 ISO 12006-2에서 제시한 건설정보 분류항목간의 관계를 나타내는 개념모델을 나타낸 것이다(한국표준협회, 2005). 그림 2에 나타난 바와 같이 시설물과 이를 구성하는 부위는 생애기간 동안 발생하는 모든 업무를 통해 산출되는 결과의 한 형식으로 정의되어 있다. 이는 생애기간 동안 생성된 데이터 집합은 시설물 또는 이를 구성하는 부위를 나타내는 객체를 다루게 된다는 것을 의미한다. 따라서 생애주기를 축으로 서로 다른 레이어에 따라 저장된 데이터를 연계하기 위해서는 교량을 구성하는 물리적 요소에 대한 분류체계가 가장 기본적인 통합요소로 사용될 수 있다. 즉, 시설물 또는 이를 구성하는 요소들을 의미하는 정보객체와 정보분류체계의 코드를 사용함으로써 각 레이어에 포함된 정보가 시설물 또는 시설물을 구성하는 각 요소에 매핑되는 효과를 기대할 수 있다. 이와 같은 매핑효과는 해당 코드가 각

객체의 속성에 저장됨으로써 구현될 수 있으며, 그림 2의 속성/특성이 이를 나타낸다. 건설결과, 건설프로세스 및 건설자원은 모두 한 개 또는 그 이상의 속성/특성을 가지게 되는데 이들 속성/특성들은 건설결과, 건설프로세스 및 건설자원의 정보를 나타내는 기본단위이다. 따라서 속성/특성에 저장되는 데이터를 체계화하고 일관성 있게 사용하는 것이 여러 레이어에 분산된 데이터의 연계성을 확인하는데 핵심적인 역할을 담당한다. 이에 따라 건설결과, 건설프로세스 및 건설자원에 대한 속성/특성을 체계화하여 나타내고자 한 것이 표준화된 정보분류체계에 따른 코드들이다.

이와 같은 정보분류체계의 사용과 더불어 다른 레이어에 존재하는 데이터의 매칭을 위해서는 해당 레이어에 포함된 정보객체의 의미(semantics)에 따른 매핑관계 정의가 보조적으로 필요하다. 그림 3은 서로 다른 레이어를 의미하는 두 데이터 집합사이에서 정보가 상호 매칭되는 경우를 나타낸 것이다. 그림 3에서 데이터 집합 A와 B가 각각 3-D 형상기반의 CAD 모델과 구조계산서라 가정하자. 이때 만약 엔터티 A와 B가 모두 교량을 구성하는 슬래브를 나타내면 엔터티 A와 B는 의미적으로 같다. 또한 엔터티 A의 속성인 A1이 슬래브의 단면속성 타입이고 엔터티 B가 구조계산서에 포함된 단면속성을 나타낸다면 A1과 엔터티 B는 같은 의미를 지닌 정보요소로 매칭할 수 있다. 그리고 마지막으로 A2와 B2가 모두 물성정보를 표현한 타입을 가지고 있다면 이도 의미적으로 같은 항목으로 매칭시킬 수 있다. 객체의 인스턴스(instance) 레벨에서 이러한 관계는 모두 n:n의 매칭 관계를 가질 수 있는데 이는 하나의 구조물 요소에 형상과 관련한 여러 인스턴스가 매칭될 수도 있으며, 하나의 단면이 여러 구조물 요소에 매칭될 수도 있기 때문이다.

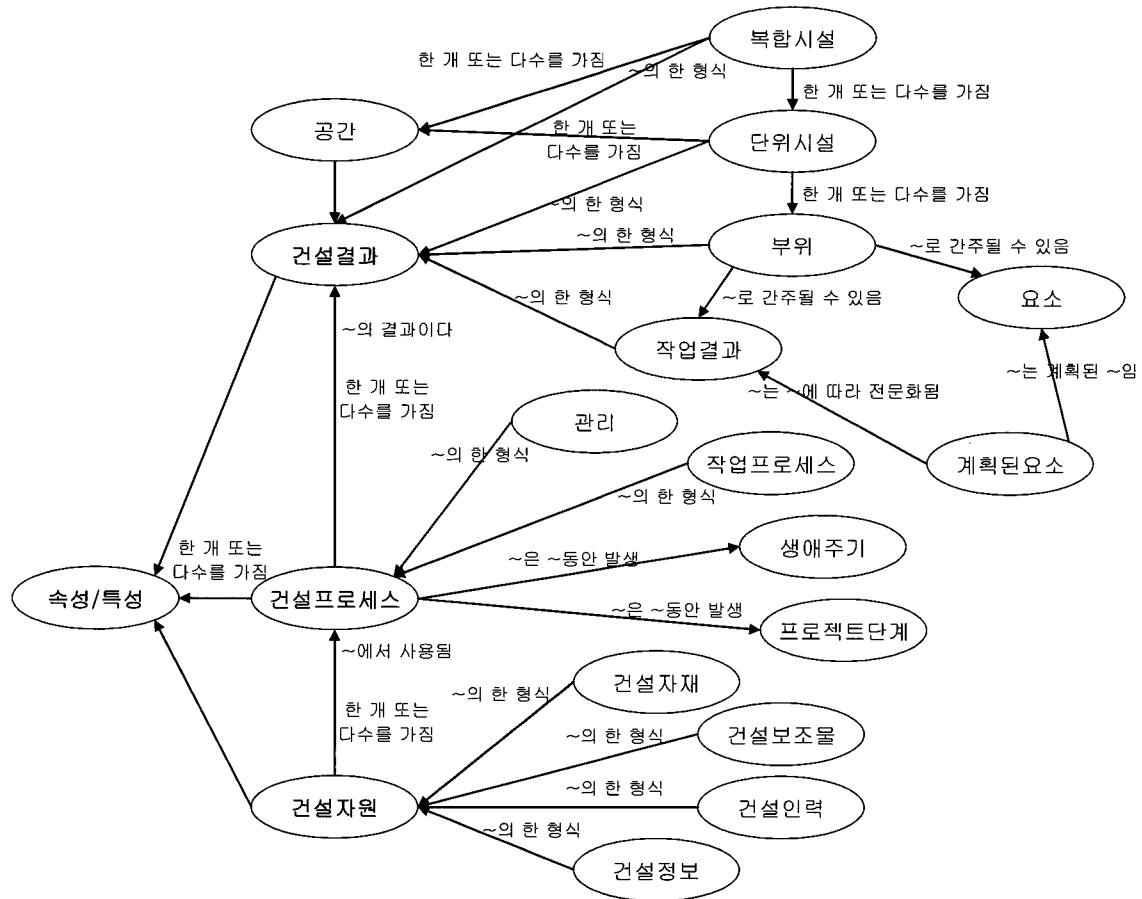


그림 2 건설정보의 분류 항목들과 이들 사이의 일반적 관계(한국표준협회, 2005)

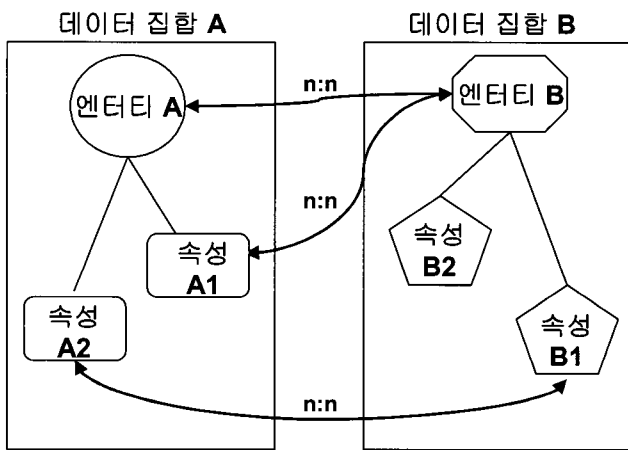


그림 3 다른 데이터 집합의 의미적 매칭에 대한 타입

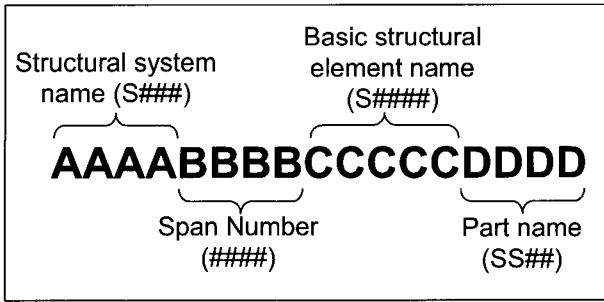
4. 멀티레이어 데이터베이스 개념에 따른 강교량 설계 정보의 시범 데이터베이스 구축

본 논문에서 제시한 멀티레이어 데이터베이스 개념에 따른 데이터베이스를 강교량을 대상으로 시범 사례로 구축하였다. 본 연구에서는 교량의 주요 구조요소별로 구분된 3-D 형상

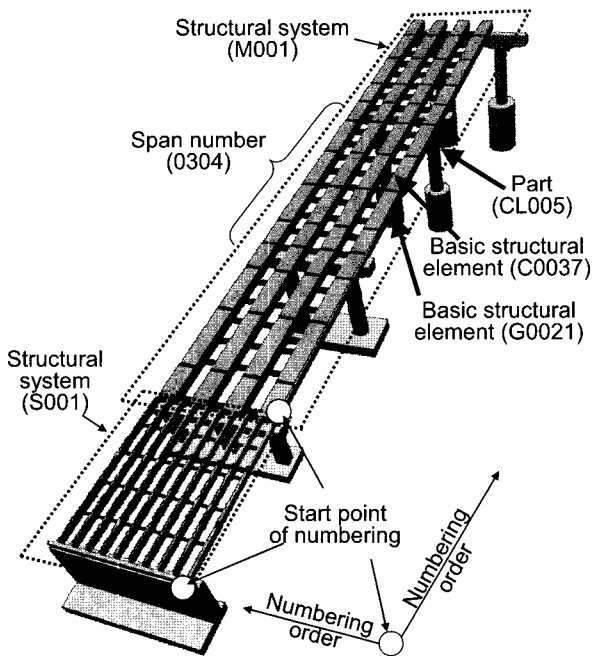
정보 레이어와 구조계산서 레이어를 대상으로 하였다. 이를 위하여 강교량의 구조요소를 식별하기 위한 세부 분류체계를 정의하였으며, 교량의 주요 파트에 대한 3-D 형상정보와 이와 관련된 구조계산서의 정보를 데이터베이스로 구축하여 형상정보의 상호 연계 가능성을 확인하였다.

4.1 강교량의 세부 부위 분류체계

교량을 이루고 있는 구성요소를 분류하기 위해 먼저 건설교통부(2006a)가 새로이 공고한 건설정보분류체계를 조사하였다. 이 건설정보분류체계는 크게 시설물, 공간, 부위, 공중, 자원의 7개의 분류면으로 구성되어 있다. 교량의 구성요소와 관련이 있는 분류면은 시설물(F)과 부위(E)로서 시설물의 분류에서는 교량시설(F15)로 구분되고 이는 다시 도로교(F151), 철도교(F152)와 같은 교량의 사용용도에 따라 분류되어 있다. 그리고 부위분류의 경우 중분류로서 교량시설부위(E13)로 구분되며, 소분류서 교량하부구조(E131), 교량상부구조(E132), 교량부속시설부위(E136) 등이 구분되어 있다. 세분류로서 제시한 상세화 수준은 주형보(E13220), 브레이싱



(a) 강교량 부위 코드체계의 예



(b) 강교량 부위별 코드의 예
그림 4 강교량 세부 부위분류체계 사례

(E13230)과 같이 교량의 주요 구성요소까지 정의되어 있다. 그러나 3-D 형상을 가지는 정보객체의 인스턴스를 구분하기 위해서는 인스턴스 구분을 위한 ID 체계를 갖추어야 하는데 이는 동일한 속성을 가지는 구성요소 타입이라도 실제로는 여러 개의 요소가 동시에 존재하기 때문이다. 즉, 교량 한구조물에 주형보(E13220), 브레이싱(E13230)이 실제로는 여러 개가 건설되고 유지관리 시에는 개별적으로 취급된다. 따라서 본

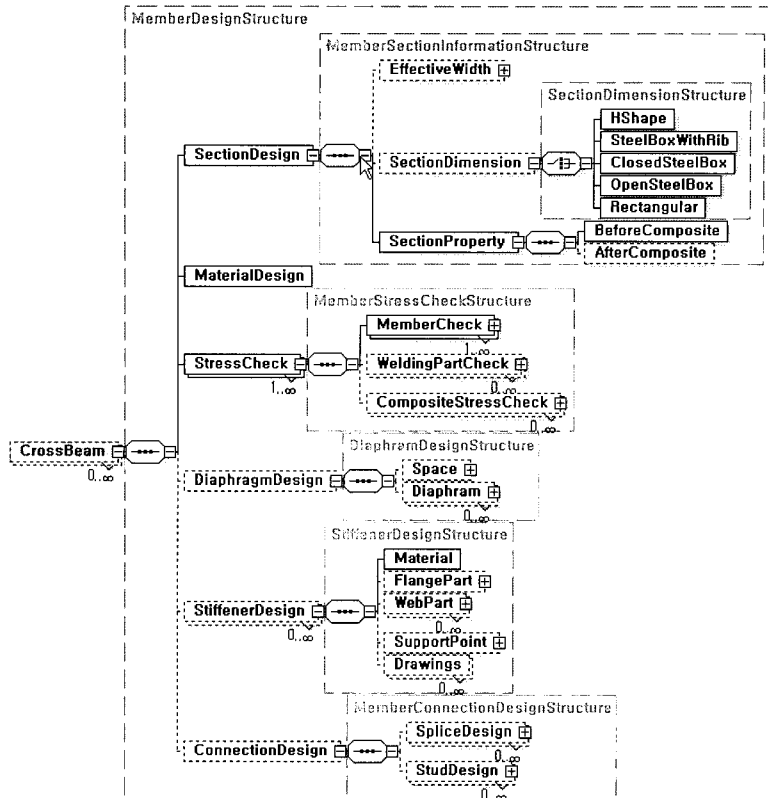
연구에서는 교량의 정밀안전진단 보고서 7종을 참조하여 강교량의 세부 부위 표현할 수 있도록 별도의 코드체계를 설정하여 교량설계정보 모델링에 활용하였다. 그림 4(a)는 이와 같이 설정된 강교량의 세부 부위를 표현을 위한 코드체계를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 'S'는 표 2에 나타난 기호 사용을 의미하며, '#'은 일련번호를 의미한다. 그림 4(b)는 설정된 코드체계에 따라 각 부위요소별로 부여된 코드의 사례를 나타낸 것이다. 그림 4(b) 및 표 2에 나타난 structural system은 연속구간을 가져 하나의 단위 구조 시스템으로 구분할 수 있는 구조계를 나타낸 것으로서 'S000'의 경우 본교(main bridge)의 시점에 접근하는 구조물의 구분을 나타내며, 'M000'의 경우 본교의 첫 번째 구조계를 나타낸다. span number는 각 구조계에서 시작되는 지점과 끝나는 종점의 지점 번호를 일련번호로 나타낸 것으로 첫 번째 두 자리는 시작점의 일련번호를 의미하며, 두 번째 두 자리는 종점을 의미한다. 지점의 일련번호는 span number의 시작점과 종점을 같게 하여 표기한다. Basic structural element는 강교량의 상부 및 하부 구조물의 주요 구성요소를 나타내며, part는 다시 각 주요 구성요소를 이루는 세부 구성요소를 나타낸다.

4.2 강교량의 설계정보를 대상으로 한 정보모델

본 연구에서는 강교량의 설계정보를 표현하는 서로 다른 정보모델로서 STEP을 기반으로 개발한 강교량의 제품정보모델(Lee 등, 2006a)과 강교량의 구조계산서 문서정보를 위한 XML Schema(Lee 등, 2006b)를 이용하였다. STEP 기반의 강교량의 제품정보모델은 강교량의 구성 요소에 대한 3-D 기반 기하형상에 대한 정보와 물성정보를 나타낸다. Lee 등(2006b)의 연구를 통해 개발된 강교량 구조계산서의 XML Schema는 기존에 실무에서 작성된 문서를 기반으로 개발된 것으로서 강교량의 구조계산 프로세스에 따른 목차로 이루어져 있다. 그러나 교량의 구성요소에 대한 정보를 다루기 위해서는 4.1절에서 정의한 코드체계를 입력할 수 있는 필드가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 그림 5(a)와 같이 강교량의 구성

표 2 강교량의 주요 구조 요소 구분을 위한 기호 목록

구분	사용 기호	
Structural system	본교(M), 접속교(S or E), 램프(R)	
Basic element	상부: 상판(D), 거더(G), 가로보(C), 스트링거(S), 브레이스(B)	
	하부: 주탑(T), 교각(P), 교대(A), 케이블(L)	
Part	상판	슬래브(SL), 포장(PV), 신축이음(EJ), 배수(DR), 난간(RL), 연석(CB)
	거더, 가로보, 스트링거, 브레이스	상부 플랜지(UF), 하부 플랜지(LF), 웹(WB), 좌측웹(LW), 우측웹(RW), 다이아프램(DP), 수직보강재(VS), 수평보강재(HS), 리브(RB), 연결부(SP)
	주탑, 교각, 교대	받침(BR), 코핑(CP), 기둥(CL), 벽체(WL), 기초(FD), 케이블(CB), 앵커리지(AC), 케이블정착부(CL), 세굴방지부(SP)



(a) MemberDesignStructure 타입을 가지는 CrossBeam 엘리먼트의 예

```

<xs:complexType name="MemberDesignStructure">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="SectionDesign" type="MemberSectionInformationStructure"/>
    <xs:element name="MaterialDesign" type="GeneralMaterialPropertyStructure"/>
    <xs:element name="StressCheck" type="MemberStressCheckStructure" maxOccurs="unbounded"/>
    <xs:element name="DiaphragmDesign" type="DiaphragmDesignStructure" minOccurs="0"/>
    <xs:element name="StiffenerDesign" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
      <xs:complexType>
        <xs:complexContent>
          <xs:extension base="StiffenerDesignStructure"/>
        </xs:complexContent>
      </xs:complexType>
    </xs:element>
    <xs:element name="ConnectionDesign" type="MemberConnectionDesignStructure" minOccurs="0"/>
  </xs:sequence>
  <xs:attributeGroup ref="CommonAttGroup"/>
  <xs:attribute name="AppliedBasicStructuralIDs" type="xs:string" use="optional"/>
  <xs:attribute name="AppliedPartIDs" type="xs:string" use="optional"/>
</xs:complexType>
  
```

(b) MemberDesignStructure의 구조

그림 5 강교량 상부구조 구조계산서의 부재설계정보의 구조

요소의 설계과정을 정의하는 MemberDesignStructure라는 complex type을 정의하고 이를 거더, 크로스빔, 세로보 및 브레이싱 엘리먼트의 타입으로 설정하였다. MemberDesign Structure는 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 공통의 속성그룹과 구조계를 구성하는 파트와 구조계를 각각 나타내는 AppliedPartIDs와 AppliedBasicStructuralIDs 속성을 가지고 있다. 이를 통하여 구조계산서에서 하나의 타입으로 정의

된 정보가 실제 3-D 모델에서 존재하는 여러 개의 파트와 매핑이 가능하다.

4.3 강교량 설계정보의 데이터베이스 구축

본 연구에서는 교량설계정보 데이터베이스 구축을 위한 기존의 연구(이상호 등, 2005; 김봉근 등, 2006)에서 개발된


```

<CrossBeam ID="000091" IDREF="000068" AppliedBasicStructuralIDs="M040"
  AppliedPartIDs="C0001 C0002 C2126 C2127">
  <SectionDesign TitleName="가로보제원" SectionName="H_shape_1">
    <SectionDimension>
      <HShape Name="H_shape_1" UpperFlangeWidth="600." UpperFlangeThickness="30." WebHeight="2785."
        WebThickness="16." LowerFlangeWidth="600." LowerFlangeThickness="40."/>
    </SectionDimension>
    <SectionProperty>
      <BeforeComposite A="0.08656" lxx="0.112306" lyy="0.001261"/>
    </SectionProperty>
  </SectionDesign>
  
```

그림 7 서해대교 사장교 구간의 구조계산서에 표기된 가로보 제원의 일부

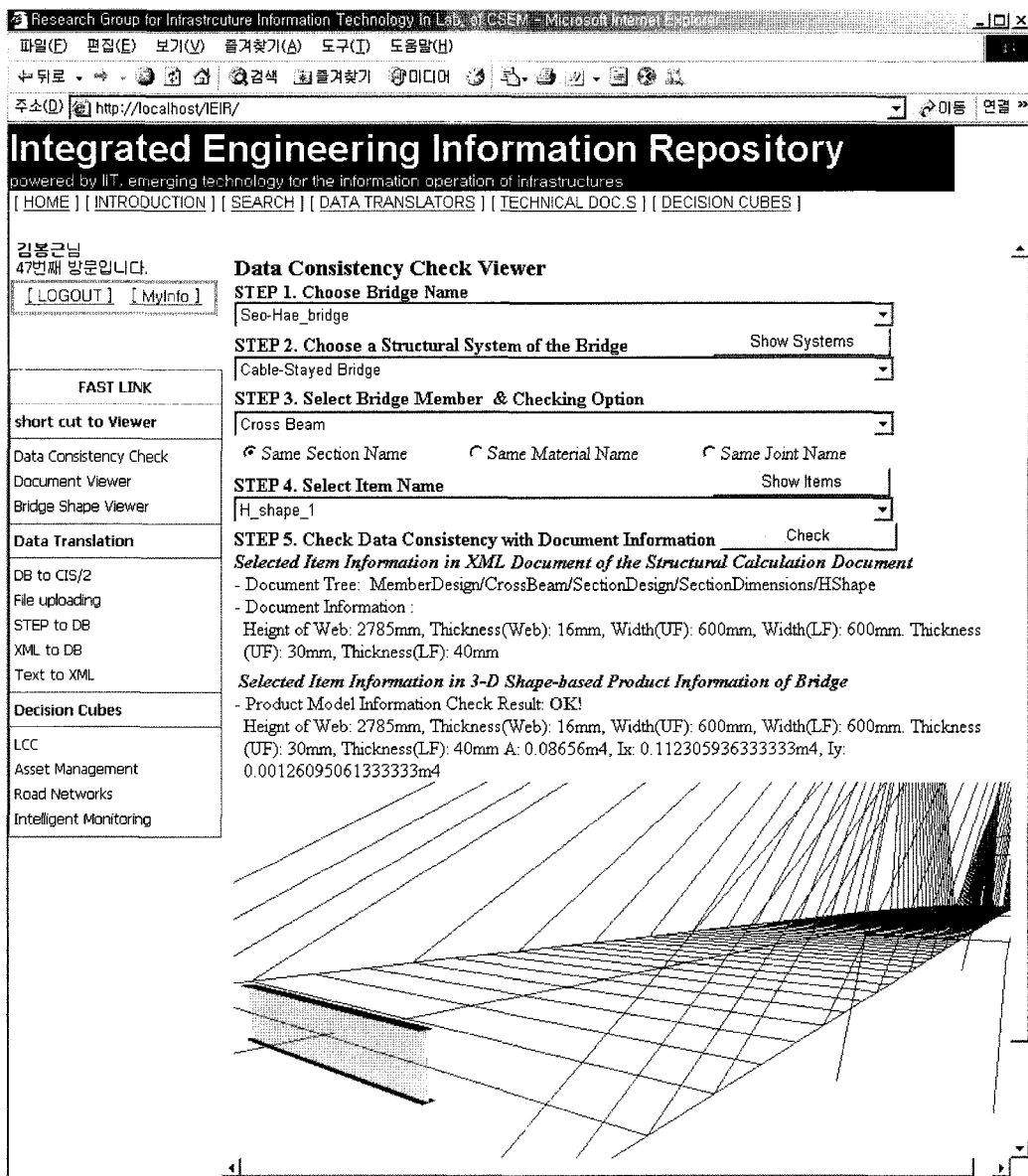


그림 8 3-D 형상객체의 모델정보와 구조계산서의 정보와 일관성 검토 사례

변환모듈들을 이용하여 강교량에 대한 설계정보의 데이터베이스를 구축하였다. 대상 구조물은 상부구조가 강거더, 크로스빔 및 세로보 형식으로 이루어진 서해대교의 사장교 구간

을 선정하였으며, 교량모델링은 주요 부재만을 수행하였다. STEP 기반 강교량의 제품정보모델에 따른 STEP 파일을 생성하기 위해 AutoCAD를 기반으로 개발한 교량정보 모델

링 툴을 이용하였다. 그림 6(a)는 서해대교 사장교 구간의 주요부재에 대한 모델링을 수행한 후 STEP 파일로 저장하는 사례를 나타낸 것이며, 그림 6(b)는 4.1절에서 정의된 분류체계에 따라 각 파트의 이름이 붙여진 STEP 파일의 일부를 나타낸 것으로서 '#14408'부터 '#16745'에 나타낸 파트 정보 중 'S0001'부터 'C2127'까지가 그 예이다. STEP 파일로 저장된 서해대교의 각 구조물의 분류체계에 따른 파트의 구성정보와 형상정보는 ST-Oracle을 이용하여 개발된 변환기를 통하여 Oracle 데이터베이스에 구축된다. 4.2에서 설명한 구조계산서의 XML Schema에 따른 구조계산서 XML 파일은 Altova사에서 개발한 XMLSpy를 이용하여 작성하였으며, 그림 7은 작성된 XML 구조계산서 데이터의 일부를 나타낸 것이다. 그림 7에 나타낸 바와 같이 구조계산서에 명시된 단면의 이름 'H_shape_1'은 그림 6(b)의 '#38'의 H_SHAPE의 이름과 같게 사용되며, 해당되는 구조물의 파트명이 'AppliedPartIDs'에 나타나 있다.

4.4 설계정보의 데이터 일관성 검증

2장에서 제시된 멀티레이어 개념에 따라 서로 다른 레이어에 시범적으로 구축된 데이터의 일관성을 검증한 사례를 그림 8에 나타내었다. 그림 8은 4.1에서 설명한 부위별 분류체계에 따라 모델링된 서해대교의 STEP 기반 제품정보모델에 따른 형상정보와 XML 기반 구조계산서 스키마에 따라 저장된 구조계산서의 단면 치수를 비교하여 상호간의 일치성을 검토한 사례를 나타낸 것으로 그림 6(b)와 그림 7에 표시된 가로보의 단면 정보와 이와 동일한 이름의 3-D 형상객체를 보여준다. 그림 8에 나타낸 바와 같이 'H_shape_1'의 이름을 가지는 가로보는 사장교의 양단 끝 지점부에 위치한 가로보로서 교량 중심선을 기준으로 좌우 2개씩 총 4개의 객체가 존재함을 알 수 있다.

동일한 설계단계에 생성되는 정보라 할지라도 분업화된 현재의 실무현황을 고려할 때 데이터의 일치성을 검토하는 응용 사례는 멀티레이어 데이터베이스에 저장되는 데이터의 품질과 신뢰도를 높일 수 있는 하나의 방법으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 구조계산서의 정보와 3-D 형상기반 설계정보의 데이터 일관성을 검토하는 이전의 연구방법(이상호 등, 2006)과는 달리 구조계산서 내에 해당되는 구조요소에 대한 객체정보를 직접 포함하였다. 이전의 연구방법의 경우 동일한 의미를 가지는 속성에 부여된 이름만으로 데이터를 찾기 때문에 3-D 형상기반 설계정보의 데이터베이스에 저장된 다수의 파트정보를 거쳐 형상을 다루는 테이블에까지 접근하여 데이터를 탐색하였으나, 본 연구의 경우 형상의 이름을

가진 테이블까지 접근하지 않고도 직접 파트의 이름을 가진 테이블만을 검색함으로써 데이터 탐색의 효율성을 보완할 수 있었다. 그러나 실제 XML 문서에 3-D 요소의 각 부위별 코드를 인력으로 직접 기입하기에는 매우 많은 시간이 소요되고 기입에 오류가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이상호 등(2006)의 연구방법에 따라 상호 매칭되는 정보를 최초 한번 검색한 후에 매칭되는 각 파트에 부여된 구조요소에 대한 코드를 구조계산서의 관련 속성에 자동으로 저장하도록 함으로써 3-D 요소에 부여된 코드를 XML 문서에 기입하는데 발생하는 문제점을 해결할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 교량의 생애주기 동안 생산되는 다양한 정보의 통합운용을 지원할 수 있는 멀티레이어 데이터베이스의 프레임워크를 제시하였다. 멀티레이어 데이터베이스의 기본 구성 측은 생애기간 동안 수행되는 각 업무에서 생산되는 데이터 집합을 의미하는 레이어와 데이터 레벨로 정의하였다. 제안된 개념을 바탕으로 서해대교 사장교구간의 주요 구성요소들에 대한 설계정보를 시범 데이터베이스로 구축하였으며, 구축된 데이터베이스의 정보의 일관성을 검토하는 실험을 통하여 본 논문에서 제시된 멀티레이어 개념의 데이터베이스가 교량정보의 무결성과 일관성을 보장할 수 있음을 보였다. 본 연구 수행을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 멀티레이어 데이터베이스 구축에 있어서 각기 다른 레이어에 분포된 정보의 상호 연계에 필요한 핵심 통합요소로서 구조요소에 대한 정보분류체계가 효과적으로 적용될 수 있음을 보였다. 그러나 4.1절에서 설명한 바와 같이 현재의 건설정보분류체계의 경우 건설관리를 위한 주요 공종에 초점이 맞추어져 있어 교량을 구성하는 세부 구성요소에 대한 분류가 추가적으로 필요하였으며, 또한 유지관리단계에서 교량의 각 세부 파트에 해당되는 여러 관련 정보를 매핑하기 위해서는 3-D 형상으로 구현되는 세부 파트를 식별할 수 있는 표준화된 ID 체계가 필요한 것으로 분석되었다.

(2) 본 연구에서는 효율적인 멀티레이어 데이터베이스의 구축을 지원하기 위해 데이터 레벨 개념을 정의하였으며, 2.2절에서 각 데이터 레벨에 따른 정보모델의 상세화에 대한 예를 설명하였다. 이는 차후 각 공공기관에서 교량의 생애주기 단계별로 납품되고 있는 다량의 설계 및 준공도서를 3-D 형상기반 모델링 정보와 통합하고자 하는 정보화 계획 수립에 있어 단계적인 목표를 설정하는데 매우 효과적으로 활용될 수 있는 개념이라 판단된다. 그러나 이러한 데이터베이스 구축전략을 수립하기 위해서는 무엇보다도 교량의 생애주기

에서 발생하는 정보들의 전체의 흐름을 업무 프로세스에 따라 분석하여 그 활용성을 평가하는 연구가 필요하다.

(3) 본 논문에서 제시된 멀티레이어 데이터베이스의 개념은 국가 자산관리를 위한 사회기반시설물 정보의 통합 데이터베이스 구축 전략 수립에도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해서는 각 레이어를 정의하는 정보모델에 대한 표준화가 범국가적 차원에서 진행되어야 할 것이다. 또한 생애기간이 매우 긴 사회기반시설의 관리를 지속적으로 지원하기 위해서는 각 레이어를 정의하는 정보모델의 표준을 개발하는데 있어서 국제적으로 공인된 개방형 표준을 활용하는 것이 멀티레이어 데이터베이스의 지속적인 사용성을 확보하는 측면에서 바람직할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 실시한 건설핵심기술연구개발사업(교량설계핵심기술연구단)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 2007년도 교육인적자원부 BK21사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회기반시설 산학연공동사업단의 부분적인 지원을 받았다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(2006a) 건설정보분류체계 적용기준 (건설교통부 공고 제2006-281호), 건설교통부, p.59.
- 건설교통부(2006b) 도로 및 하천공사의 설계·준공도서 전자납품 편람, 건설교통부, p.90.
- 김봉근, 정연석, 김동현, 이상호(2006) XML 스키마 매칭 기법을 이용한 구조설계 문서 구조 표준화 방법론, 한국전산구조공학회 2006 정기 학술대회 논문집, 19(1), pp.200~207.
- 김치경, 홍성목(2001) 객체-관계형 구조설계정보 데이터베이스의 모델링과 구현, 대한건축학회논문집 구조계, 17(2), pp.3~12.
- 이상호, 정연석(2004) 강교량 설계정보 표현을 위한 데이터모델 개발, 한국전산구조공학회 논문집, 17(2), pp.105~117.
- 이상호, 정연석, 김봉근(2005) ACIS 솔리드 모델러 기반의 CAD 시스템을 이용한 강교량 정보의 공유체계, 대한토목학회 논문집, 25(4A), pp.677~687.
- 이상호, 정연석, 김봉근(2006) 교량 유지관리 지원을 위한 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보의 통합 데이터베이스, 한국CAD/CAM학회논문집, 11(3), pp.183~196.
- 이재철, 김영민, 김치경, 홍성목(1999) 구조설계 통합시스템을 위한 관점/계층 기반 데이터 모델, 대한건축학회논문집 구조계, 15(3), pp.47~54.
- 이재철, 김치경, 홍성목(2000) 구조설계정보의 체계적 관리를 위한 객체 모델의 설계 및 활용, 대한건축학회논문집 구조계, 16(2), pp.65~72.
- 한국시설안전기술공단(2004) 설계도서 등의 사본작성 및 관리지침, 한국시설안전기술공단, p.19.
- 한국표준협회(2005) KS F ISO 12006-2: 건설-건축 공사 관련 정보의 조직-제2부: 정보분류체계, 한국표준협회, p.20.
- Chen, P.H., Cui, L., Wan, C., Yang, Q., Ting, S.K., Tiong, R.L.K.(2005) Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architectures and structural engineers, *Automation in Construction*, 14(1), pp.115~128.
- Faraj, I., Alshawi, M., Aouad, G., Child, T., Underwood, J.(2000) An industry foundation classes Web-based collaborative construction computer environment: WISPER, *Automation in Construction*, 10(1), pp.79~99.
- Lebegue, E.(2005) *IFC-BRIDGE V2 Data Model - Edition R2*, International Alliance for Interoperability, p.34.
- Lee, S-H., Jeong, Y-S.(2002) Step-Bases Database for Information Management of Steel Bridge, *Proceeding of International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) Symposium*, Abstract pp.74~75. (CD-Rom paper, 8 pages)
- Lee, S-H., Jeong, Y-S.(2006a) A system integration framework through development of ISO 10303-based product model for steel bridges, *Automation in Construction*, 15(2), pp.212~228.
- Lee, S-H., Kim, B-G., Kim, D-H., Jeong, Y-S.(2006b) Development of standardized semantic model for structural calculation documents of bridges and XML Schema matching technique, *Proceedings of the Third International Conference on Bridge Maintenance Safety and Management, Life-Cycle Performance and Cost*, pp.633~634. (CD Rom paper P-228, 8 pages)
- Sanvido, V.E., Medeiros, D.J.(1990) Applying computer integrated manufacturing concepts to construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(2), pp.365~379.
- Tatum, C.B.(1990) Integration: emerging management challenge, *Journal of Management in Engineering*, 6(1), pp.47~58.
- Teicholz, P., Fischer, M.(1994) Strategy for computer integrated construction technology, *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(1), pp.117~131.

Wright, R.N.(1988) Computer integrated construction,
IABSE Proceedings P-123/88, pp.17~25.

Yabuki, N., Shitani, T.(2003) An IFC-based pro-

duct model for RC or PC slab bridges, *The 20th
CIB W78 Conference on Information Tech-nology*,
pp.463~470.