

상용해석프로그램간 데이터 통합운용을 위한 AP 209기반의 변환기 개발

Development of a Translator based on AP 209 for the Integrated Data transfer among Commercial Structural Analysis Programs

정 동 균* 정 연 석** 이 상 호***
Jeong, Dong-Gyun Jeong, Yeon-Suk Lee, Sang-Ho

ABSTRACT

In this study, a translator for transferring structural analysis data among commercial structural analysis programs was developed. The translator adopted the neutral format type based on ISO standard STEP AP 209 not only for the international standardization and robustness but also for the efficient management of structural analysis data. Additional load entity is developed and added to AP 209 for the prevention of loss of information in retrieving exact loading condition. A modulization which is needed for efficient management and extension of the translator was made for the encapsulation of file format of each commercial code. Pilot tests performed with 3-D frame analysis data of Sung-su bridge show that the developed translator guarantees the integrated management of analysis information as well as the exact transferring and retrieving of analysis data and related information.

1. 서 론

건설산업은 산업의 특성상 계획, 설계, 시공 및 유지관리에서 다수의 기업이 다양한 업무형태로 참여한다. 이러한 특성으로 인해 건설프로젝트 수행 시 다양한 정보들이 생산되며, 특히 대형 국책사업의 경우 유사한 업무를 수행하는 기업간에도, 서로 다른 형태의 정보들을 생성하게 된다. 이런 특이성은 참여기업간의 정보 교환과 공유를 어렵게 하는 요인으로 작용하여 건설프로젝트의 생산성을 저하시킨다. 이러한 문제점 해결하기 위해서는 건설산업에서 교환되는 정보의 표준화 및 IT기반의 정보화가 필요하다⁽¹⁾. 현재 빌딩 및 철골구조물의 경우, 국제적인 정보표준인 IFC(Industrial Foundation Classes)⁽²⁾와 CIS/2(CIMsteel Integration Standard Release2)⁽³⁾가 미국과 유럽을 중심으로 통용되고 있다. 하지만 기간시설물의 대부분을 차지하는 토목구조물의 경우 정보의 표준화가 미흡한 실정이다. 국내 건설산업에서도 이러한 표준화 요구를 수용하기 위하여 건설CALS/EC 체계를 수립하여 정보표준화를 진행하고 있으나, 기존에 종이로 납품하던 정보의 형태를 인터넷 기반의 파일전송체계로 변화시킨 정도에 그치고 있다⁽⁴⁾.

* 학생회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정

** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정

*** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수

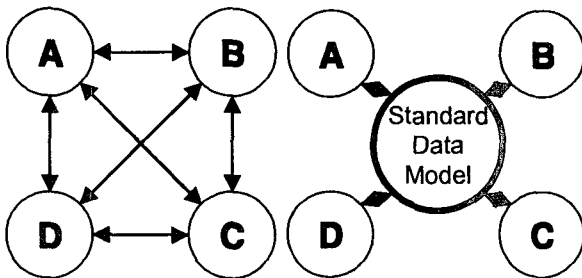
다양한 건설정보 중에서 특히 구조해석정보는 구조물의 안전성 및 사용성과 직접적인 연관성을 가지며, 이로 인해 설계 단계에서부터 유지/보수단계에 이르기까지 지속적으로 유지되어야 한다. 일련의 건설프로젝트가 시행되면 대상 구조물의 구조해석정보는 엔지니어링 업체에서 작성되어, 시공업체로 전달되고, 시공업체의 수정사항을 반영하여 재해석 된다. 그리고 시설물이 완공된 후, 보고서, 설계도면, 시방서등과 함께 구조해석 결과를 포함하는 구조계산서도 시설물의 유지관리를 위해 관공서에 납품된다. 이처럼 구조해석정보는 크게 두 번의 전달과정을 거치게 되는데, 엔지니어링 업체에서 시공업체로 전달되는 첫 번째 단계에서는 제작된 구조해석프로그램의 종류가 상이하어 해석데이터를 재작성하는 사례가 빈번하게 발생한다. 두 번째 단계에서는 납품되는 구조해석정보들의 데이터 포맷이 상이하기 때문에, 유지관리단계에서의 재사용성을 어렵게 만든다. 이처럼 정보전달 및 재사용성의 문제점은 상이한 상용 구조해석프로그램의 정보를 변환해 줄 변환기의 부재와 정보의 전달 및 보관과정에서 해석데이터를 통합적으로 운용할 수 있는 표준 구조해석정보모델이 없기 때문에 발생한다.

따라서 본 연구에서는 구조해석정보의 사용빈도가 높은 교량을 대상으로 각 설계 및 시공, 유지관리 주체 간에 구조해석 정보 전달을 원활히 할 수 있는 변환기를 개발하였다. 개발된 변환기는 데이터의 통합운용을 위하여 ISO/STEP(Standard for The Exchange Product Model Data)에서 유한요소해석정보의 표준정보모델로 제시한 AP 209⁽⁵⁾를 사용하였다. 그리고 교량구조물의 구조해석 시 대부분 사용하고 있는 3차원 프레임모델만을 대상으로 개발하였다.

2. AP 209를 이용한 변환기의 데이터 구조 정의

2.1 변환기 개발을 위한 중립포맷의 역할

변환기를 개발하기 위해서는 각 상용프로그램에서 사용하고 있는 파일의 데이터구조에 대한 분석이 선행되어야 한다. 각 상용프로그램의 데이터구조는 상호연관관계 정의를 통해 변환알고리즘으로 구현되는데, 알고리즘의 개수는 교환 대상프로그램의 개수에 따라 정해진다. 변환기 개발의 효율성을 높이기 위해서는 변환알고리즘의 개수를 줄이는 것이 중요하다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 표준정보모델을 도입하여 변환알고리즘의 개수를 줄일 수 있었다. 그림 1(a)는 표준모델이 존재하지 않는 경우 변환알고리즘의 필요개수를 도식화 한 것이다.



(a) 표준정보모델이 없는 경우
(b) 표준정보모델이 있는 경우
그림 1. 표준정보모델 유무에 따른 변환 알고리즘의 개수

다. 각각의 프로그램은 자신을 제외한 $n-1$ 개 프로그램으로의 변환 알고리즘을 필요로 하며, 이로 인해 전체 변환 알고리즘은 $n(n-1)$ 개가 된다. 반면 표준모델을 사용한 그림 1(b)의 경우, 각 프로그램은 표준모델과의 매핑관계만 정의하면 되므로 $2n$ 개의 변환 알고리즘만이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 개발의 편의성을 위해 표준구조해석모델을 사용하여 변환기를 개발하였으며, 또한 표준구조해석모델의 신뢰성과 범용성 확보를 위해 표준구조해석모델을 독자적으로 구축하지 않고 ISO/STEP에서 제안한 유한요소해석모델에 대한 응용프로토콜인 AP 209를 도입하였다.

2.2 AP 209상의 3차원 프레임 해석정보 구성요소

AP 209는 항공기동체의 유한요소해석과 같이 제조업 분야의 구조해석을 위해 개발된 응용프로토콜이며,

이를 위해 다양한 해석모델을 포함하고 있다. 하지만 이러한 다양성에 대한 고려는 여러 정보단위들이 복잡하게 연결시켜 가독성을 저하시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 상용 구조해석프로그램에서 지원하는 3차원 프레임모델의 데이터구성 요소를 분석하여 공통된 요소를 산출하였으며, 이를 통해 AP 209에서 정의하고 있는 요소와의 매핑관계를 아래 표 1과 같이 정의하였다. 상용 프로그램에서 3차원 프레임모델을 구성하는 해석요소는 크게 단위, 절점, 경계조건, 부재요소 및 요소를 구성하는 절점정의, 재료성질, 단면특성, 하중의 총 7개 요소로 구성된다. 재료성질의 경우, 상용프로그램에서는 하나의 데이터 구조로 정의되는 반면, AP 209의 경우 fea_linear_elasticity와 data_environment 요소로 구분되어 정의되며, 각각 탄성재료의 기본적인 계수(E, ν)값과 열 전달계수를 포함한 그 외의 재료성질을 정의한다. 또한 하중의 경우, 각 상용프로그램들은 절점하중과 부재하중으로 구분하여 정의하는 반면, AP 209는 절점하중에 대해서만 정의하도록 되어 있다.

표 1. 3차원 프레임 데이터를 구성하는 AP 209 엔티티

| 상용프로그램의 3차원 프레임모델 구성요소 | 대응하는 AP 209 구성요소 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| unit | representation_context |
| node | node |
| constraint (B.C.) | single_point_constraint_element |
| element | curve_3d_element_representation |
| material | fea_linear_elasticity, data_environment |
| section | curve_element_section_derived_definitions |
| load (nodal, element) | nodal_freedom_action_definition control_linear_static_load_increment_process |

2.3 부재하중 정보 유지를 위한 엔티티 추가정의

본 연구에서는 상용프로그램의 3차원 프레임모델 구성요소와 AP 209의 매핑관계 분석을 통해 AP 209에는 부재에 재하되는 하중에 대한 정의가 없음을 알 수 있었다. 실제 제조업에서 AP 209를 사용하는 경우에는 분업을 통한 제품해석의 효율성 향상을 목적으로 하기 때문에, 부재하중을 절점하중으로 변환하여 정보를 전달해도 문제가 되지 않는다. 하지만 본 연구에서 해석자체보다는 구조해석 데이터를 추후 구조물 거동상태 파악 등을 위해 재사용하고자 할 경우 해석정보의 누락과 손실없이 사용가능하게 데이터를 보존하기 위해 AP 209를 사용한다. 따라서 최초 설계 시 정의한 구조해석정보가 유지되어야 하며, 이를 위해 추가적인 엔티티 정의가 필요하다.

따라서 교량구조해석에서 자주 사용하는 SAP2000⁽⁶⁾, MIDAS⁽⁷⁾ 상용프로그램을 분석하여 그림 2와 같이 분포하중을 처리하기 위한 element_load 엔티티를 추가로 정의하였다. 이 때 각 하중이 가해지는 위치와 하중 값은 리스트로 선언하였으며, 이를 통해 하중의 종류에 따라 여러 세트가 정의될 수 있도록 구성하였다. 예를 들어 사다리꼴 분포하중의 경우는 시작점으로부터 끝점까지 세트가 연결되어 분포하중을 구성한다. 사다리꼴 분포하중 처리를 위한 EXPRESS언어⁽⁸⁾ 표현 예를 그림 3에 도식하였다. 그림 3을 구성하는 하중은 총 3개로 구성되어 있으며, 각각의 하중 값은 10, 15, 10으로 되어 있다. 시작 절점과의 거리는 상대값(.related.)으로 표현하였으며, 각각 시작점으로 부터의 거리가 0.1, 0.4, 0.6이 된다. 이와 같이 정의된 부재하중 엔티티를 추가 정의하여 여러 분포하중에 대한 자료의 보존이 가능하도록 하였다.

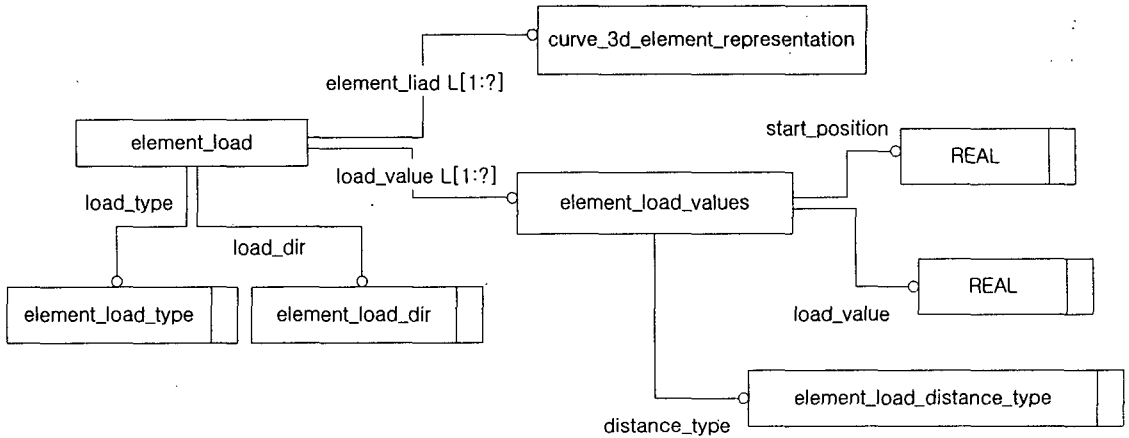
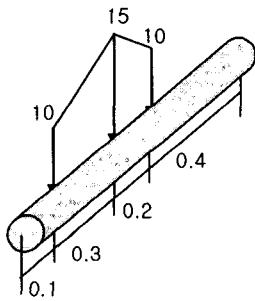


그림 2. element_load 엔티티의 EXPRESS-G 다이어그램



```
#100 element_load_values(.relative., 0.1, -10);
#101 element_load_values(.relative., 0.4, -15);
#102 element_load_values(.relative., 0.6, -10);

#110 element_load($,
    .TRAPEZOIDAL_LOAD.,
    .LZ.,
    (#100, #101, #102));
```

그림 3. 사다리꼴 분포하중의 EXPRESS 구현

3. 객체지향 개발방법론에 의한 변환기 개발

3.1 객체지향 개발의 필요성

본 연구에서 개발하고자 하는 변환기의 핵심은 각종 상용프로그램의 자료구조와 AP 209의 자료구조간의 매핑관계를 정의하는 것이다. 이때 우선적으로 필요한 것이 상용프로그램의 자료형 정의이고, 다음으로 각 자료형과 AP 209 자료형을 매핑해 주는 함수의 구현이다. 기존의 절차지향형 개발방법론은 자료형과 함수를 동시에 정의할 수 없었다. 하지만 객체지향형 개발방법론을 사용하면 클래스 선언을 통해 각 속성과 해당 속성을 활용한 메소드가 하나의 집합체인 클래스로서 정의가 가능해진다⁽⁹⁾. 본 연구에서는 객체지향방법론을 기반으로 각 상용프로그램의 자료형을 클래스의 속성으로 정의하였으며, 변환기와의 입출력에 대한 정의를 클래스 내부의 메소드로 정의하였다. 그리고 AP 209를 클래스로 변환시키기 위하여 Step Tools사의 STEP 개발 툴인 ST-Developer v.10.0⁽¹⁰⁾을 사용하였다. ST-Developer는 EXPRESS언어로 작성된 스키마를 C++기반의 클래스로 변환시켜주는 기능을 보유하고 있으며, 생성된 클래스를 편리하게 운용하도록 지원하는 Rose 라이브러리⁽¹¹⁾를 제공한다.

3.2 상용소프트웨어 해석데이터와 AP 209 간의 효과적인 자료 변환을 위한 최상위 클래스정의

Rose 라이브러리를 통해 개발자는 AP 209 구조를 클래스기반으로 쉽게 접근할 수 있게 된다. 하지만 AP 209 자체의 복잡성으로 인하여 자동 생성된 클래스들도 모두 복잡한 관계구조를 가지게 된다. 따라서 각 상용프로그램 별로 직접적인 AP 209 클래스 매핑알고리즘을 개발하는 것은 효과적이지 못하다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 AP 209 자료형을 기반으로 하면서 상용프로그램의 데이터 구조와 유사한 형태의 중립적인 클래스를 추가적으로 정의하였다. 그림 4는 중립클래스와 AP 209 클래스, 상용 프로그램 파일구조 클래스간의 관계 중 질점정보에 대한 연결관계를 구체적으로 도식화한 것이다. 그림 4와 같이 중립클래스는 기본적으로 두 개의 메소드를 정의하게 되는데, 하나는 AP 209로부터 중립클래스 형태로 자료를 추출하는 기능을 하고, 다른 하나는 중립클래스에 저장된 데이터를 AP 209 클래스의 각 데이터 형에 대입하는 기능을 한다. 그림 4와 마찬가지로, AP 209에서 중립 클래스로 전달되는 과정과 중립클래스에서 AP 209 클래스로 전달되는 과정이 상이하다. 이는 AP 209가 가지고 있는 참조관계의 복잡성 때문이며, 이러한 복잡성은 중립클래스를 사용함으로써 각 상용프로그램과 정보가 연결될 때에는 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 상용프로그램이 추가되더라도, 복잡한 구조의 AP 209로 직접적으로 연결할 필요 없이 중립적인 클래스로 연결만 하면 된다. 이로 인해 추가적인 변환알고리즘 개발을 단순화시켜 개발 효율성을 향상시킬 수 있었다.

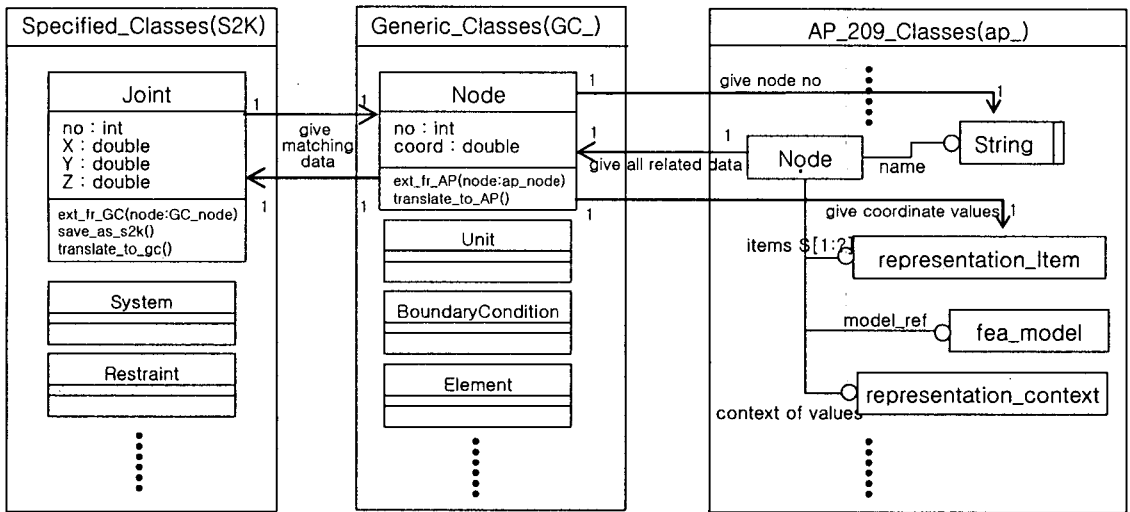


그림 4. 중립클래스를 활용한 AP 209와의 접근의 최적화 (Node Class를 중심으로)

3.3 관련된 기능별 모듈화 및 개발프로그램의 Pilot 테스트

각 상용프로그램별로 정의된 클래스를 독립적으로 활용하여 확장성 및 개발 효율성을 확보하는 방법은 연관된 클래스별로 모듈화를 시키는 것이다. 본 연구에서는 모듈화를 위해서 DLL(Dynamic Link Library)을 사용하였다. DLL은 클래스 데이터구조를 모듈화 시키는 기능만을 하며 실행하기 위해서는 실행프로그램을 추가적으로 제작하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 각 상용프로그램 데이터 및 AP 209 클래스와 중립클래스를 각각 DLL로 정의하였으며, 이를 구동시키기 위한 실행모듈을 추가적으로 개발하였다. 그림 5는 MIDAS로 작성된 성수대교 한 경간의 구조해석정보를 SAP2000 및 STEP파일로 전환한 결과와 실제 구동되는 알고리즘 시나리오를 도식화 한 것이다. 콘솔환경을 통해 입력된 MIDAS정보는 MIDAS DLL 모듈을 통

하여 정의된 클래스 속성형태로 변환되고, 변환된 속성정보는 중립클래스로 전달되게 된다. 이때 대부분의 정보들은 중립클래스와 1:1로 매핑관계를 가지게 되는데, 이는 본 연구에서 중립클래스 개발 시 상용프로그램의 3차원 프레임 구조해석정보를 모사하도록 하였기 때문이다. 중립 클래스로 전달된 정보들은 정의된 메소드를 통해 AP 209의 각 요소로 저장되게 된다. 이 단계에서 구조해석정보에 대한 STEP파일이 생성되어 지며, 생성된 STEP파일은 상용프로그램의 종류에 상관없이 동일한 자료구조를 가지게 된다. 다른 상용프로그램으로 저장하기 위해서는 다시 중립 클래스로 자료가 전달되고, 이 자료는 SAP2000 DLL로 전달되어 최종적으로 SAP2000파일을 생성하게 된다. 산출된 결과의 정확도를 확인하기 위하여 SAP2000에 로딩해본 결과, 설계 시 사용된 그리드정보 및 색상정보가 유실된 것을 제외하고는 원 데이터와 차이가 나지 않음을 확인할 수 있었다.

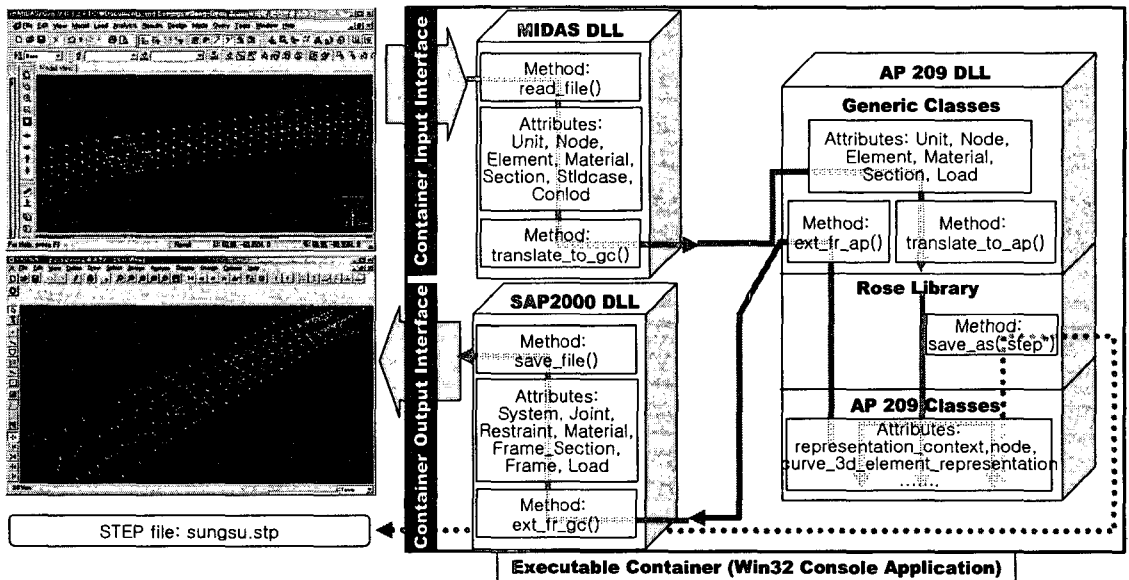


그림 5. 변환기 응용모듈의 구성

4. 결론

본 연구에서는 교량구조물의 설계 및 시공 단계에서 발생하는 특정 상용프로그램용 구조해석정보를 다양한 상용프로그램 상에서 활용하기 위한 변환기를 개발하였다. 이때 구조해석정보를 통합적으로 유지하고 표준화된 중립포맷을 이용한 변환기를 개발하기 위해 표준정보모델로서 ISO/STEP의 AP 209을 도입하였으며, 하중상태 정보의 유실을 막기 위해서는 필요한 엔티티를 추가 정의하였다. 개발된 변환기를 활용하면 구조해석정보를 다른 상용프로그램 포맷으로 변환할 수 있을 뿐만 아니라 표준데이터 구조인 STEP파일로도 출력이 가능하다. 개발된 변환기를 이용한 서로 다른 상용프로그램간의 자동 데이터 변환을 통해 설계, 시공 상에서 빈번히 발생하는 재해석과 구조 재검토를 효율적으로 처리할 수 있을 뿐만 아니라, 표준데이터 포맷을 활용하면 통합적인 구조해석정보의 관리가 가능해진다. 이를 통해 노후시설물의 증가와 함께 점차 강조되고 있

는 유지관리를 위한 구조해석 정보체계 구축의 기초를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 실시한 2005년 건설핵심기술연구개발사업(교량설계핵심기술연구단)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Faraj, I., Alshawi, M., Aouad, G., Child, T., and Underwood, J., "An industry foundation classes Web-based collaborative construction computer environment: WISPER", *Automation in Construction*, Vol.10, 2000, pp.79-99
2. Yabuki, N. and Shitani, T., "An IFC-based Product Model for RC or PC Slab Bridges", *The 20th CIB W78 Conference on Information Technology: Construction IT Bridging the Distance*, International Council for Building Research Studies and Documentation, 2003
3. Andrew, C., "CIMsteel Integration Standard Release2 : Second Edition", URL <http://www.cis2.org>, 2003
4. 한국건설기술연구원, "건설CALS/EC 전자문서 표준 (건설CALS/EC 단체표준 공고 제2004-02호)", 한국건설기술연구원, 2004
5. ISO TC184/SC4, "Application Protocol: Composite and Metallic Structural Analysis and Related Design", ISO, 1996
6. 한성천, 이원홍, "Structural analysis with SAP2000 : 토목 건축 전산구조해석", 공간예술사, 2003
7. POS-MIDAS, "MIDAS GENw - Getting Strated & Tutorials", POS-MIDAS, 2000
8. ISO TC184/SC4, "Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual", ISO, 1997
9. Alok, M., "Object-Oriented Paradigm in Programming for Computer-Aided Analysis of Structures", *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol.18, No.3, 2004, pp.226-236
10. STEP Tools, Inc., "ST-Developer Tools Reference", STEP Tools, Inc., 2003
11. STEP Tools, Inc., "ROSE Library Reference", STEP Tools, Inc., 2003