# 객체지향기법을 이용한 플레이트 거더교의 동해석

## Dynamic Analysis of Plate Girder Bridge Using Object-Oriented Technique


| 조 정 래* | 곽 종 원* | 진 원 종** | 최 은 석** | 강 재 윤* | 이 정 우** |
|---|---|---|---|---|---|
| Cho, Jeong-Rae | Kwark, Jong-Won | Chin, Won-Jong | Choi, Eun-Suk | Kang, Jae-Yoon | Lee, Jung-Woo |



ABSTRACT

This paper presents a newly proposed object-oriented finite element framework and its applications on dynamic analysis of plate girder bridge. The developed framework supports various types of finite elements, materials, constraints, loads, and solution methods. One major feature different from other object-oriented finite element programs is that static model and dynamic state can be easily read from or written to a file. In addition, the framework supports efficient DOF pattern handling for a node connecting elements with different DOF patterns, new multi-point constraint handling, and various scripting languages for easy use of the library. In order to show the applicability to dynamic analysis, dynamic moving load analysis on plate girder bridge is performed.


## 1. 서론

타 분야에 비해 객체지향(object-oriented) 프로그래밍 기법이 유한요소 프로그램에 늦게 도입된 이유는 (1) 유한요소 프로그램은 많은 수치연산이 필요하기 때문에 절차지향(procedure-oriented) 프로그래밍 기법에 적합하고, (2) 현존하는 대부분의 검증된 프로그램이 절차지향언어인 포트란으로 작성되어있기 때문이다. 최근 Czech Technical University의 OOFEM(www.oofem.org), Swansea University의 SOFER(www.swan.ac.uk/mecheng/sofer), Purdue University의 SECSDE (www.ecn.purdue.edu/SECSDE/), University of California at Berkeley의 OpenSees (opensees.berkeley.edu) 등과 같이 프로젝트 단위의 객체지향 유한요소 프로그램 개발이 활발하게 추진되고 있다. 그 이유는 객체지향 기법이 시스템의 복잡성(complexity)을 잘 표현할 수 있고, 절차지향 프로그램 기법과 같은 다른 패러다임을 수용하는 프레임웍(architectural framework)을 제공할 수 있다는 점이 강조되기 때문이다.

이 논문은 개발된 객체지향 유한요소 프레임웍을 소개하고 이 프레임웍을 이용하여 수행된 플레이트 거더교의 동적 이동 하중 해석을 소개한다. 기존의 객체지향 유한요소 프로그램과 구분되는 개발 프레임웍의 가장 큰 특징은 유한요소 모델과 그 상태 정보를 파일에 입출력하기가 용이하다는 점이다. 또한 자유도 패턴 정의가 다른 요소가 만나는 절점의 자유도, 다중구속조건 등을 효율적으로 처리하


* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

며, 다양한 스크립트 언어를 지원한다. 개발된 객체지향 유한요소 프레임웍의 동해석에 대한 적용성을 검증하기 위해 플레이트 거더교에 대해 고유진동수 해석, 동적이동하중 해석을 수행하였다.

## 2. 객체지향 유한요소 프레임웍

그림 1은 개발된 유한요소 프레임웍의 클래스 다이어그램으로 전체적인 구성을 표현하고 있다. Domain 객체는 유한요소 모델에 대응하는 객체로서 재료, 단면, 요소, 절점, 하중조건, 구속조건 등을 저장하는 역할을 한다. AnalysisModel 객체는 Domain 객체에 기반하여 해석 유형에 따라 생성되며, 해석에 필요한 각종 서비스를 제공한다. Domain 객체는 serialization이라는 기법을 통해 이진 파일에 읽고 쓸 수 있으며, AnalysModel은 절점 하중, 적분의 응력 등과 같은 상태 정보를 데이터베이스에 입출력할 수 있다. 또한, 다점구속조건(multi-point constraint) 처리를 위해 변환법, Lagrange multiplier 법, Penalty 법 등을 지원하며, 하나의 유한요소 모델에서 각 기법들을 선택적으로 도입할 수 있다. 한편, 자유도 패턴 정의가 다른 요소가 만나는 절점의 자유도를 효율적으로 처리할 수 있으며, Python과 같은 스크립트 언어를 지원한다.

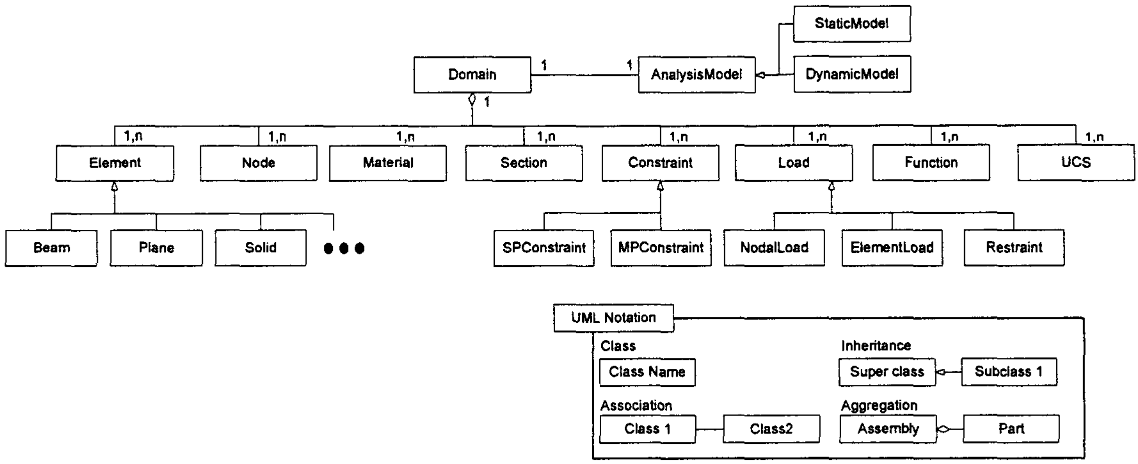



그림 1 클래스 다이어그램

## 3. 동적 이동 하중 해석 검증

현재 프레임웍에서 2절점 보요소 및 4절점 평판쉘 요소에 대한 이동 하중 기능이 구현되어 있다. 동적 이동 하중 해석 기능을 검증하기 위해 그림 2와 같이 단순보를 보요소 및 평판쉘요소로 모델링한 수치해석결과를 해석해와 비교하여 검증하였다.

## 4. 플레이트 거더교의 동해석

그림 3과 같은 2경간 연속 플레이트 거더교(2@50m)에 대해 고유진동수를 계산하고, 고속전철하중에 대해 동적 이동 하중 해석을 수행하였다. 슬래브는 4절점 평판쉘, 거더는 2절점 보요소, 슬래브와

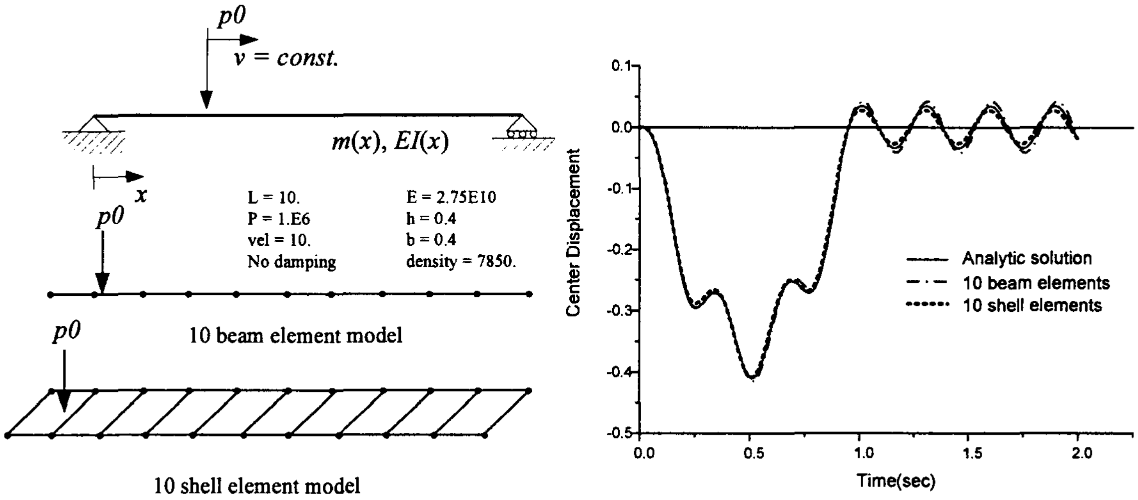



그림 2 동적 이동 하중 해석 검증

거더의 연결은 이격거리를 고려한 연결요소를 적용하였다. 4절점 평판쉘 요소는 K. J. Bathe 등이 제안한 (substitute shear strain 또는 assumed shear strain)을 도입하여 잠김현상을 제거하였고, 연결요소는 이격거리를 고려한 6개의 구속조건을 사용하기 편리하도록 조합한 요소이다. 표 1은 고유진동수를 해석한 결과이고, 그림 4는 동적 이동 하중 해석을 수행한 결과이다. 동적 이동 하중 해석에서 감쇠는 1.67%의 등가감쇠비를 앞서 계산된 1차, 2차 고유진동수에 적용하여 Rayleigh 감쇠비로 변환하여 사용하였다. 이동속도는 27.7778 m/sec이고, 총 차륜은 45개이고, 각 차륜에 가해지는 수직하중은 1.6678E5 N이다.

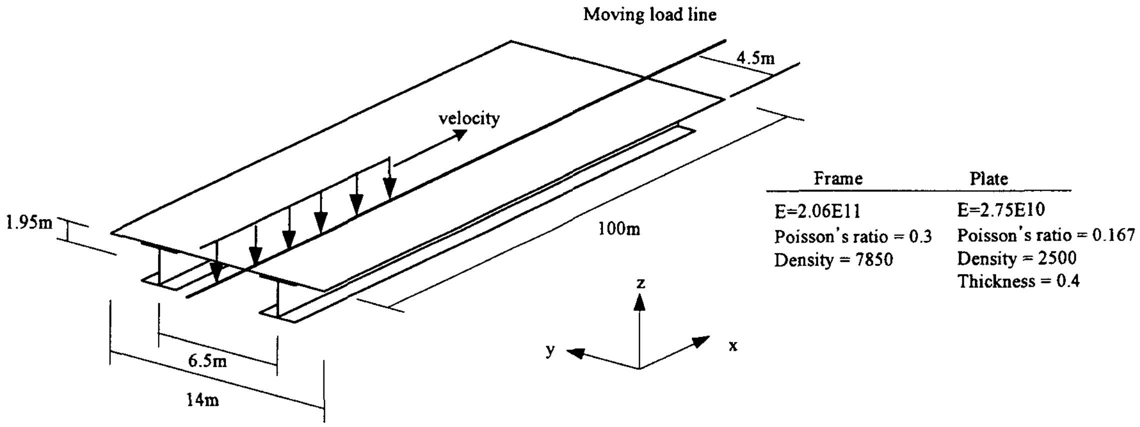
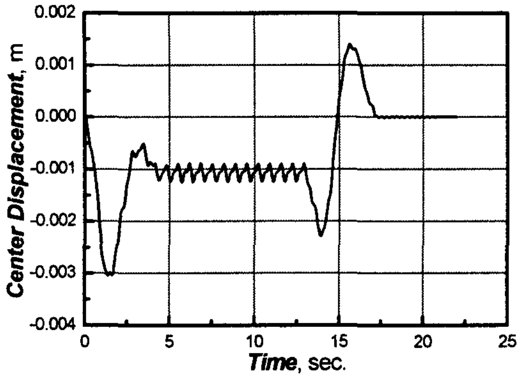



그림 3 플레이트 거더교 모델

표 1 고유진동수

| 구분 | 모드 1 | 모드 2 | 모드 3 |
|---|---|---|---|
| 고유진동수 | 3.31151 Hz | 5.27527 Hz | 7.34691 Hz |



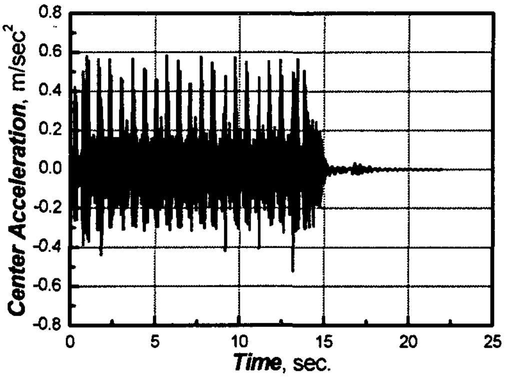




그림 4. 해석결과(중앙점의 수직변위이력 및 수직가속도이력)

## 4. 결론

이 연구에서는 개발된 객체지향 프레임웍을 소개하고, 이를 이용해 동적 이동 하중 해석을 수행한 예를 제시하였다. 향후 다양한 해석 기능, 요소, 재료 등을 구현할 예정이다. 일차적으로 차량-교량 상호작용 해석 기능을 구현하고, 프리/포스트 프로그램을 개발할 예정이다. 또한, 객체지향 프로그램의 단점인 오버헤드의 최소화, multi-frontal solver 및 최적화된 BLAS(Basic Linear Algebra Subprogram)의 도입 등을 통해 프레임웍을 최적화할 예정이다.


## 감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 수탁사업인 "고속철도 선로구축물 시스템 안정화 기술개발" 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.


## 참고 문헌


1. 조정래, 조근희, 박성용, 김병석(2005) 객체지향 유한요소 프로그램 개발, 2005년 대한토목학회 학술발표회
2. 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원 (2005) 고속철도 선로구축물 시스템 안정화 기술개발, 3차년도 단계보고서
3. Dubois-Pelerin, Y., and Zimmermann, T. (1993) Object-Oriented Finite Element Programming: Ⅲ. An Effective Implementation in C++, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 108, No. 1-2, pp. 165-183.
4. F. T. McKenna (1997) Object-Oriented Finite Element Programming : Frameworks for Analysis, Algorithms and Parallel Computing, PhD thesis, Dissertation, University of California at Berkeley