

철근콘크리트 구조물의 비선형 FEM 해석

송성용 연구원
한양대학교 초대형구조실험소



한양대학교 초대형구조 연구센터(STRESS)는 2001년 9월 17일에 국내외 저명한 학자 및 실무자들을 초빙하여 철근콘크리트 구조물의 비선형 FEM해석에 관한 세미나를 개최하였다. 본 세미나는 FEM해석의 이론뿐만 아니라 실무에서 사용된 프로그램과 그 적용사례를 구체적으로 소개하여 많은 참석자들에게서 높은 호응을 얻었다. 세미나에서 발표된 논문내용, 발표자와 FEM해석에 쓰여진 프로그램은 다음과 같다.

1) Application of Nonlinear FEM Analysis to Design of Large Scale RC Structures

- Prof. X. Ann (Toyko Univ., Japan)

최근 재료의 발달 및 시공과 설계 기술의 향상으로 콘크리트 구조물의 규모는 점점 더 커지고 있다. 이러한 대규모의 RC구조물 설계에 비선형 FEM해석을 적용하기 위해, 치수효과에 대한 시뮬레이션이 중요하게 되었다. 따라서, 대규모인 RC구조물에 대해 설계의 목적으로 치수효과를 고려한 비선형 해석을 하기 위

해 3차원 해석 툴이 개발되었다. 파괴에너지 개념의 무근콘크리트 모델과 인장경화 거동을 고려한 철근콘크리트 모델, 치수효과를 고려한 RC부재의 전단강도를 결합함으로써 보 두께가 3m까지의 실험 데이터에 의해 증명되어진 보의 성능을 미리 예측하는 것이 가능하다. 부평면(sub-plane)과 직각으로 교차하는 평면내(in-plane) 모델의 적용에 의해 RC구조물의 3차원 거동을 예측함으로써, 여러 방향의 균열이 있는 일반적인 3차원 모델로 확장하였다. 큰 규모의 송전탑 RC기초의 실험으로 비선형 FEM 프로그램의 성능을 검토하였다. 마지막으로 커다란 지하 LNG RC탱크의 설계과정에 적용된 비선형 FEM해석을 소개했다.

2) Nonlinear FEM Analysis Report of RC Members using Total-RC Program

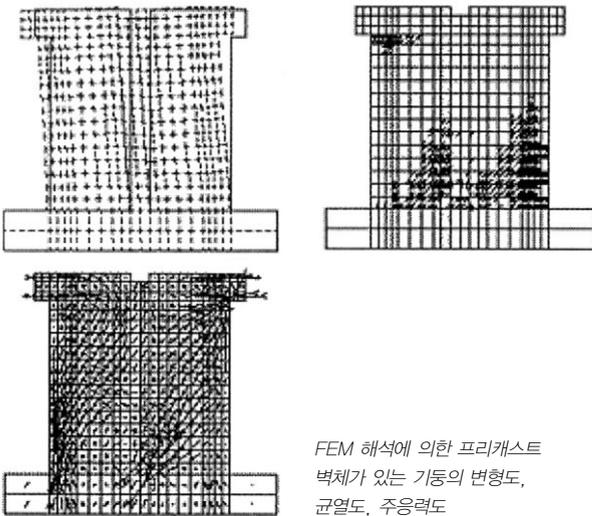
- President M. Kanetoh (Total Information Service, Japan, www.total-inf.co.jp)

Total-RC는 철근콘크리트 구조물 전용 비선형 FEM 프로그

램으로 콘크리트의 균열현상, 철근의 항복현상, 철근과 콘크리트의 슬립파괴 현상 등을 2차원 및 3차원으로 용이하게 표현할 수 있으며, 또한 콘크리트에서 인장에 의한 균열과 압축에 의한 균열을 효과적으로 표현하였다. 따라서 RC 구조물의 비선형 해석시 각 하중단계에서 균열의 진행패턴을 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 프로그램은 일본의 전력 토목 관계를 중심으로 거의 20년에 걸쳐 개발, 기능을 추가하여 오늘에 이르렀으며 대학이나 건설회사의 연구소 등을 중심으로 각종의 해석에 이용되고 있다. 본 세미나에서는 지금까지 참여한 프로젝트 및 연구에서 Total-RC가 이용된 사례를 중심으로 설명했다.

FEM 해석시 사용된 프로그램은 다음과 같으며 프로그램에 대한 문의는 한국지사로 해 주시기 바랍니다. (Tel: 031-400-4112, E-mail: ssy365@netian.com)

- 철근콘크리트에 대한 해석: Total-RC
- 지반, 터널, 기초구조물에 대한 해석: Total-NATM
- 댐, 매스콘크리트에 대한 온도해석: Total-TEMP
- 수화열에 의한 콘크리트의 온도해석: Total-DTPS



3) Concrete Cracking and Nonlinear Analysis

- Prof. S. H. Cho (Kwangju Univ., Korea)

철근콘크리트는 토목/건축 분야의 구조물에 가장 널리 사용되는 재료로 이의 설계시에는 선형탄성해석 및 균준이 제시하는 관계실험식에 의존한다. 재료의 선형탄성거동에 근거한 해석방법은 대부분의 경우에 유효하지만 콘크리트 재료가 내포하는 다양한 비선형 특성을 제대로 고려하기 위해 비선형 해석이 요구된다. 콘크리트의 비선형성은 재료의 비선형 응력-변형도 관계, 인장균열, 압축에 의한 내부균열 및 압괴, 골재의 상호작용, 철근과 콘크리트의 부착-미끄러짐, 장부작용 등에 기인한다. 한편, 부재수준에서 전단응력이 크거나(Deep Beam, Squat Shear Walls), 또는 구조물에 기하학적 불연속(Geometric Discontinuities) 및 집중하중이 존재하는 지역-Corbels, Ledge Supports, Dapped End Beams, Beams with Holes-에는 내부응력이 혼돈되어 단면해석법이 기본적으로 요구하는 평면유지설은 더 이상 유효하지 않게 된다. 따라서 응력혼돈지역(Disturbed Regions of Stress Fields)을 포함하는 구조요소를 해석하기 위해서는 유한요소법이 필수적인데, 콘크리트의 균열하중 이후의 심각한 응력재분배 현상을 제대로 묘사하기 위해서는 비선형 유한요소법에 의한 해석이 반드시 요구된다. 콘크리트 비선형 거동을 지배하는 재료의 비선형성 구성모델 및 균열 혹은 균열진전 모델에 관하여 제시된 여러 배경이론 등에 관하여 비교/분석하고, 파괴역학에 근거한 균열모델보다는 구조적, 기계적 거동에 근거하여 유도된 콘크리트의 압축 및 인장 강도기준을 사용하고 있는 평범한 비선형 유한요소법에 대해 설명한다. 유한요소법과는 별도로 비선형 해석을 수행할 수 있는 보통의 단순 보 이론을 적용한 Layer Approach, MCFT/CFT 혹은 극한 및 소성이론 등을 제시하여 다양한 비선형 해석수단을 제시했다.

4) Prediction of Cracking in Early-Age Concrete Based on Kinetics Hydration Model of Cement - Prof. T. Noguchi (Toyko Univ., Japan)

댐, 교각, 고층건축물의 기초와 같이 매우 큰 단면을 갖는 매스콘크리트에서는 이전부터 콘크리트 경화시에 발생하는 온도균열에 대한 검토가 이루어져 왔다. 그러나 최근 압축강도가 600kg/cm²가 넘는 고강도 콘크리트를 사용한 부재에서 시멘트의 수화발열에 의해 부재 중심부에 있어서는 100℃ 가까운 고온이 측정되고 있다. 따라서, 경화시의 균열에 대해 사전 검토하고 균열발생의 가능성에 대해 재료면, 배합면, 시공면에서의 대책을 세우는 것이 필요하다. 종래의 매스콘크리트에서는 경화시의 균열발생 주원인이 온도응력 뿐이었지만, 고강도 콘크리트에서는 온도응력과 함께 자기수축도 균열발생의 원인이 된다. 이와 같이 고강도 콘크리트의 경화시 균열을 제어하기 위해서는 콘크리트의 물성이 경화시에 어떻게 변

화하는가? 또한 어떠한 변형에 의해 어느 정도의 응력이 발생하는가를 파악하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 종래부터 실시되어 왔던 콘크리트 온도균열 예측방법을 개략적으로 설명하고 콘크리트 경화시의 균열발생을 충분한 정밀도로 예측할 수 있는 수화반응모델에 대하여 설명하고 이것을 이용하여 콘크리트 구조물의 온도응력을 해석한 적용 예를 소개했다. 본 연구는 윈도우 환경에서 손쉽게 대화형으로 접근할 수 있는 콘크리트 수화발열에 의한 온도해석 프로그램인 Total-DTPS로 상용화되어 사용되고 있다.

- Prof. H. Yoshikawa (Musashi Tech. Univ., Japan)
 콘크리트 구조물에서 근래에 구조형식의 다양화가 현저하며, 개략적으로 기둥·보부재, 3차원 중실(中實)구조, 평면부재, 곡면부재로 분류될 수 있다. 과거 20년간은 토목·건축 분야에 있어서 큰 발전이었다. 그 중에서 원자력 격납용기, LNG 지하탱크, PC 난(卵)형 소화조 등은 콘크리트 구조물의 새로운 가능성을 구현화한 것이고, 교량 상부공에 대해서도 프리스트레스 콘크리트 기술을 중심으로 PC 사장교, 외케이블 방식 등은 혁신적이고 합리적인 시도가 실현된 것이다. 더 나아가 콘크리트 구조물에 의한 달표면 기지건설 가능성에 대해서 소개했다. **KSEA**

5)Variety of Reinforced Concrete Introduction on RC Structures of Various Kinds in Japan

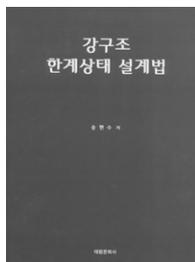
마무리합니다

| 6월호 정정기사 | | |
|----------|-------------------------|-------------------------|
| Page | 誤 | 正 |
| P51 | 김창호 회원 홍익대학교 석사학위 취득 | 김창호 회원 홍익대학교 박사학위 취득 |

추천도서

강구조 한계상태 설계법

저 자 : 송현수(기술사사무소건양 대표)
 출판사 : 태림문화사
 출판일 : 2001년 8월 16일
 면 수 : 501 / 판 형 : B5
 정 가 : 30,000원
 강구조 한계상태 설계법을 이해하고자 하는 실무종사자를 위해 각 장마다 적절한 설명과 예제를 다루고 있다. 미국 A.I.S.C LRFD의 1986 ED과 1993 ED를 비교하여 최근에 변경된 부분을 보완 설명하고 있으며, 형강의 단면성능 및 압축재 좌굴응력도를 부록에 첨부하여 실무에서의 구조계산이 가능하도록 하였다.



sTEEL HoUSE 구조설계요령집

저 자 : 포항산업과학연구원
 출판사 : 구미서관
 출판일 : 2001년 3월 24일
 면 수 : 222 / 판 형 : A4
 정 가 : 18000원
 이 구조설계요령집은 2층 이하의 스틸하우스 구조설계용으로, 1998-380호의 냉간성형 강구조기준, 건설교통부 고시 제 2000-153호의 건축물 하중기준, 건축물의 구조기준 등을 사용하여 작성되었다. 특히 냉간성형강을 골조로 사용하는 건축물의 설계에 대한 구조설계방법과 설계 결과를 도표로 제시함으로써 스틸하우스의 설계, 제작, 시공, 유지보수 등에 관련된 모든 종사자들이 알기 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.



건축기술 실무이야기

저 자 : 삼성물산 건설부문
 출판사 : 공간예술사
 출판일 : 2001년 7월 25일
 면 수 : 408 / 판 형 : A5
 정 가 : 24,000원
 건축기술 지침서, 건축구조 지식의 학습과 적용에 대한 의식전환이 필요하다는 인식하에 지난 2년간 현장실무기술의 응용 및 개선에 도움이 될 수 있는 기본사항을 요소별로 알기 쉽게 정리했다. 아울러 최근에 개발하거나 실제로 적용한 신기술, 신공법 사례를 상세하게 수록했다.

