

콘크리트의 파괴 및 유동해석 시뮬레이션 기법

Simulation for Failure of Concrete and Flow Analysis of Fresh Concrete



조창근*
Chang-Geun Cho



김화중**
Wha-Jung Kim



최 열***
Yeol Choi

본 문헌은 일본 류큐대학 공학부 환경건설공학과와 Jun Tomiyama 선생의 연구 문헌 Shimataei No. 25에 게재된 "계산역학과 건설공학"이라는 문헌에서 콘크리트의 파괴 및 유동 해석 시뮬레이션 기법에 관한 최신 연구 기술에 관해서 소개한 것이다.

1. 서 론

최근, 건설공학의 각 분야에서 유한요소법(FEM) 및 개별요소법(DEM) 등과 같은 계산역학을 근간으로 하는 연구가 널리 활용되고 있다. 계산역학이란 도대체 어떤 역학인가? 당신은 어떤 의미의 역학을 상상하고 있는가? 물론 간단히 설명되는 것은 아니다. 그러나, 내가 인식하기로는 "현상을 설명하는 유력한 여러 역학 해법 중에서 하나"라고 언급할 수 있다. 여기서 "현상"이란 물리적인 현상에 국한되지 않고, 인간의 심리·감성, 생물의 습성 등과 같은 비물리적 현상에도 계산역학은 적용된다. 더불어 계산역학은 컴퓨터를 이용하여 계산을 수행하기 때문에 컴퓨터 계산기 능력의 발전에 따라서 더욱 위력을 발휘하게 될 것은 말할 필요가 없겠다. 이런 측면에서 현재 수행되고 있는 연구 가운데 계산역학과 관련된 다음 주제들에 관해서 소개하고자 한다.

- (1) 콘크리트 구조물의 파괴 시뮬레이션
- (2) 굳지않은 콘크리트의 점소성 유동해석

2. 콘크리트 구조물의 파괴 시뮬레이션

콘크리트는 굳은 골재와 모르타르로 구성된 2상계 재료이다. 그러나 콘크리트 구조물의 응력해석, 파괴해석, 또는 유동해석

에 있어서도 콘크리트를 균질재료로 가정하고 계산하는 경우가 다수이다(굳은 골재와 모르타르를 동시에 모델링 하는 것은 난제이기 때문). 거시적인 관점에서 보면 타당성 있을 수 있을지 모르지만(실은 그르다?), 미시적인 관점에서 보면 콘크리트에 관한 연구에 깊게 관여되어 있지 않은 사람에게도 직관적으로 "그르다"라고 판단할 것이다. 이런 측면에서 소개하고자 하는 것이 필자 등이 연구 및 개발하고 있는 새로운 접근법에 의한 콘크리트의 해석 모델의 방법이다.

간단히 설명하면 다음과 같다.

- (1) 굵은 골재를 네 방향으로부터 디지털 화상으로 보존한다.
- (2) 얻어진 화상에 의해 굵은 골재의 형상(좌표값)을 <그림. 1>에 소개한 소프트웨어를 이용하여 산정(마우스 클릭), 굵은 골재의 데이터(입상체 데이터)를 얻는다(그림. 2).
- (3) 얻어진 굵은 골재 데이터의 입도분포를 고려한 난수제어에 의해 해석 대상 콘크리트 구조물 내부에 삽입한다(그림. 3). 상술한 방법을 이용하여 작성한 콘크리트 해석 모델을 입력테

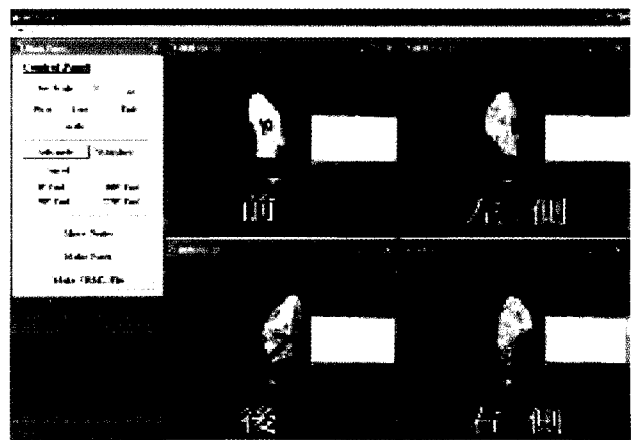


그림 1. 개발된 굵은골재 형상 추출 소프트웨어

* 정회원, 경북대학교 건설공학부 BK교수
chocg@knu.ac.kr

** 정회원, 경북대학교 건설공학부 교수

*** 정회원, 경북대학교 건설공학부 조교수

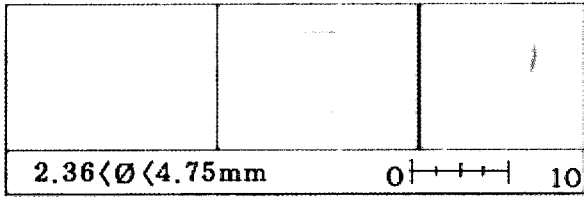


그림 2. 얇은 골재 형상 모델의 예(ϕ : 입경)

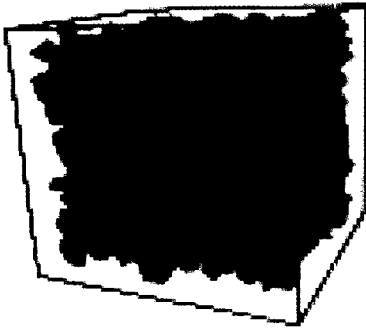


그림 3. 콘크리트의 해석 모델

이타로서 응력해석(그림 4) 및 골재의 팽창에 의한 균열해석(그림 5)을 수행한 결과를 각각 그림과 같이 소개하였다. 지면 상 이에 대한 상세한 이론 및 해석 조건은 생략한다. 더불어 수치해법으로는 동경대에서 제시하여 현재 공동연구 진행 중인 Freemesh법(FMM)을 적용하였다. (그림 4)에 제시한 것은 모르타르와 골재를 평균화한 경우와 개발된 방법에 의한 얇은 골재를 고려한 경우의 응력해석 결과를 각각 소개한 것이다. 그림에서처럼, 두 해석 결과의 차이에 놀라지 않을 수 없다. 즉, 콘크리트를 해석 대상으로 할 경우에는 얇은 골재를 고려한 조건을 반영한 해석법의 필요가 명백해진 것이다. 또한 (그림 5)에 소개한 골재 팽창에 의한 균열해석은 현재 문제가 되고 있는 알칼리 골재반응이 원인이 되어 골재 표면에 켈이 생성되어 팽창하는 현상을 모델링한 것이다. 그 결과, 콘크리트의 표면에는 거북등 모양의 균열이 발생하고, 실제와 같은 알칼리 골재반응에 의한 균열 형태와 매우 유사한 결과를 시뮬레이션 하였다. 켈의 시간에 따른 팽창량 등을 고려한다면 이와 같은 현상의 예측 해명에도 큰 기대가 될 것으로 판단된다.

3. 굳지 않은 콘크리트의 점소성 유동해석

굳지 않은 콘크리트의 성질을 아는 것은 타설과 시공 면에서 매우 중요한 것이다. 다시말해서, 타설 펌프 내의 조건, 바이브레이터의 타설 조건 등등, 유동성이 적절하지 못함으로 인해 타설에 지장을 초래하는 경우가 발생한다. 이와 같은 문제를 시뮬레이션 해석에 의해서 사전에 해명할 수 있다면 콘크리트를 다루는 기술자에게는 매우 유익한 일이 될 것이다. 이와 같은 현

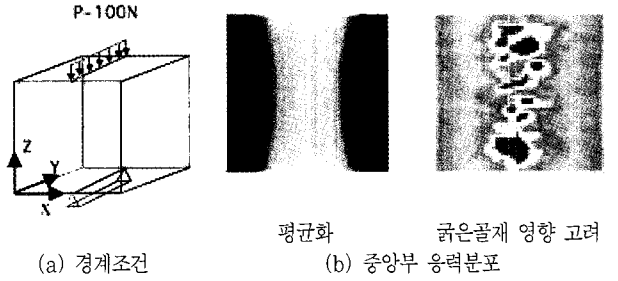


그림 4. 할렬시험의 응력해석

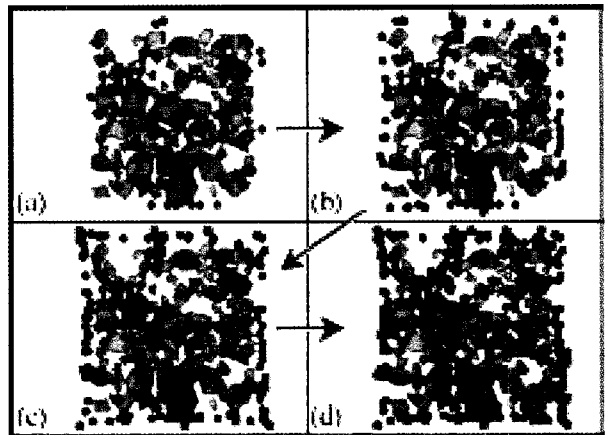


그림 5. 골재 팽창에 의한 콘크리트표면의 거북등 모양의 균열발생(적색: 균열)

상을 시뮬레이션 하기 위한 기초적 연구로서 굳지 않은 콘크리트의 컨시스턴시 시험인 슬럼프 시험과 L형 흐름 시험의 해석을 수행한다. 해석 방법들로서는 FMM 및 MPS법 등이 새로 개척 될 분야가 될 것이다.

3.1 Freemesh법(FMM)에 의한 굳지 않은 콘크리트의 유동해석(3차원 해석)

여기서 FMM 법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 유동해석에 대해서 소개하였다. 본 해석 방법에 의해서 굳지 않은 콘크리트의 유동특성을 표현하기 위하여 응력과 변형률속도 관계를 (그림 6)에 제시한 Bingham 모델을 이용하였다. 더불어 (그림 7)에 두 시험에 의한 변형도를 제시하였다. 그림에서처럼, 본 해석 결과는 실제 현상을 충분히 유사하게 묘사해 주고 있다.

3.2 MPS법(입자법의 일종)에 의한 굳지 않은 콘크리트의 유동해석(2차원 해석)

동경대의 Koshitsuka 선생에 의해 제안된 자유표면의 표현이 용이한 MPS법을 굳지 않은 콘크리트의 유동해석에 적용하여 L형 흐름 시험 해석을 수행한 결과를 일례로 (그림 8)에 제시하

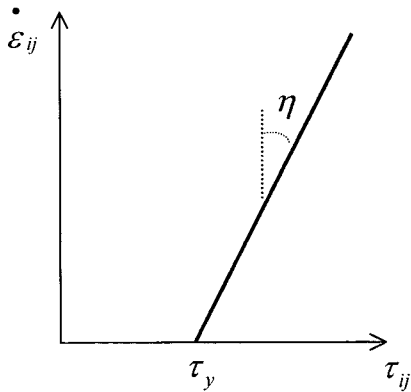


그림 6. Bingham 모델

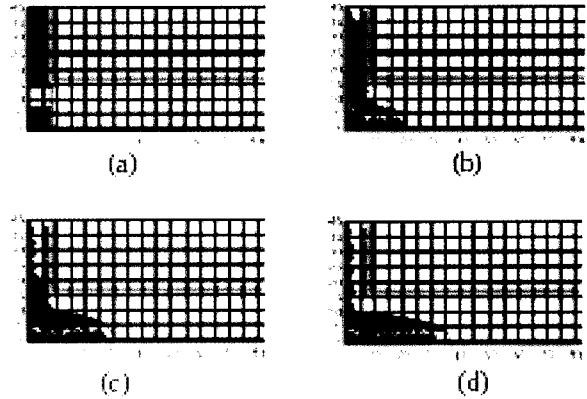
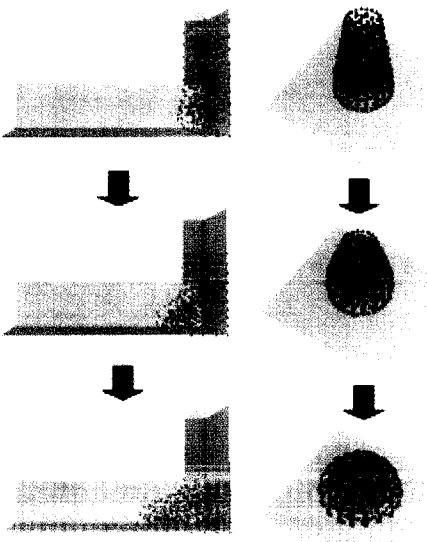


그림 8. 유동변형도



(a) L형 흐름시험 (b) 슬럼프 시험

그림 7. 유동변형도

4. 결론

본 기사에서는 콘크리트의 파괴 및 유동 현상 시뮬레이션과 연관된 계산역학 분야의 기대되는 연구 주제들에 관해서 소개하였다. 지금까지 기여해왔던 것 보다 더 진전되게 향후에도 계산역학의 활용은 관련 분야와 지역 사회 발전에 보다 향상된 공헌을 가져다 줄 것으로 생각된다. ■

감사의 글

본 연구는 2005년도 건설교통부 건설핵심기술연구개발 사업인 고성능/다가능 콘크리트의 핵심 및 활용 기술 개발에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yagawa G., Furukawa T., Recent developments of free mesh method, *Int. Journal. Numer. Meth. Engng.*, Vol.47, 2000, pp. 1419 ~ 1443.
2. 越塚, 數直流體力學, 培風館, 1997.

였다. 여기서 응력과 변형률 속도 관계는 앞 절과 동일한 (그림 6)의 Bingham 모델을 이용하였다.

(그림 8-(d))에서 알 수 있는 것처럼, MPS법에서는 시험기에 부착된 유동 콘크리트가 중력에 의해서 각각 분리되어서 떨어지는 현상까지 재현할 수 있다. 더불어 본 방법은 앞 절에서 소개한 방법으로는 해석이 곤란한 골재를 다루는 데 있어서도 비교적 용이하게 고려할 수 있어서 굳지 않은 콘크리트의 유동 해석에는 매우 적합한 해석법이라 할 수 있다.

앞에서 소개한 두 방법 모두 현 시점에서는 기초적 단계에 머물러 있으며, 향후 연구를 진전시킨다면, 현장 상황에서 문제가 되고 있는 현상들을 해명하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.