

AEM을 이용한 철근콘크리트 모형 구조물의 붕괴 모델링

박 훈^{1)*}, 석철기²⁾, 김승곤³⁾

Collapse Modeling of model RC Structure Using Applied Element Method

Hoon Park, Chul-Gi Suk, Seung-Kon Kim

Abstract In order to analyze collapse behavior of structure containing irregular and large displacement, many numerical analyses have been conducted. In this study, using a new method, Applied Element Method (AEM) for collapse analysis of structures, collapse behavior of model RC structures is simulated. From these simulations results, displacement of X-direction (or horizontal) and displacement of Y-direction (or vertical) is similar to that of model RC structures. It is confirmed that collapse behavior of structures using AEM is reliable accurately simulated with that of model RC structures.

Key words Applied element method (AEM), Explosive demolition, Model RC structure, Felling method

초 록 구조물의 비선형적인 대변위 붕괴거동을 해석하기 위해 다양한 수치 해석에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 새로운 수치해석 기법인 Applied Element Method (AEM)를 이용하여 철근 콘크리트 모형 구조물의 발파해체 붕괴거동을 모사하였다. 모형 구조물의 발파해체 붕괴거동과 수치해석으로 모사된 구조물의 붕괴거동을 X 방향(수평방향)의 변위와 Z 방향(수직방향)의 변위에 대해 비교한 결과, 수치해석에서 모사된 구조물의 붕괴거동은 실제 모형 구조물의 붕괴거동을 사실적으로 모사할 수 있음을 확인하였다.

핵심어 applied element method (AEM), 발파해체, 철근콘크리트 모형, 전도공법

1. 서 론

도시재생활 과정에서 기능적 요건을 만족시키지 못하는 구조물의 해체 수요가 증가하고 있으나, 발파해체 경향이 적고 해체대상 구조물이 고층화, 고강성, 비정형화된 특성을 지니고 있어 부적절한 발파해체 설계로 인한 사고 발생 가능성을 내재하고 있다. 이러한 사고 발생 가능성을 최소화하고, 사전에 해체대상 구조물의 정확한 붕괴거동을 예측하기 위해 수치해석을 통한 사전 검토가 요구되어 왔다.

최근 컴퓨터의 발전과 함께 구조물의 붕괴거동을 예측하기 위한 다양한 수치해석이 수행되었다. Tosaka 외 (1988)는 직접 강성 매트릭스법을 이용하여 철근콘크리트

구조의 전도를 모사하였으며, Yarimer (1989), Yarimer와 Lepa (1998)는 구조물의 자유낙하 운동방정식을 연속 모델과 이산모델로 구분하여 구조물의 거동을 비교하였다. Katsuyama 외 (1996)는 Discontinuous Deformation Analysis (DDA)를 이용하여 발파해체를 모사하였으며, Isobe와 Toi (2000)는 Finite Element Method (FEM)에 Adaptively Shifted Integration (ASI) 기법을 적용하여 라멘 구조물에 대한 동적해석을 수행하였다. 최근에는 유한요소법인 ANSYS/LS-DYNA를 이용한 연구들(양준 외, 2006, Yang et al., 2007, Chen and Liu, 2007, Choi and Jeon, 2008)이 수행되었다. 또한 새로운 해석 방법인 Applied Element Method (AEM)를 이용하여 발파해체 시 구조물의 비선형 대변위 거동을 모사하였다(Park et al., 2008).

본 연구에서는 3D AEM을 기반으로 한 Extreme Loading for Structures (ELS) 프로그램을 이용하여 철근콘크리트 모형 구조물의 붕괴거동을 모사하였다. 전도공법으로 붕괴시킨 철근콘크리트 모형 구조물의 붕괴거동과 AEM을 이용하여 모사된 구조물의 시간에 따른 붕괴거동을 X 방향과 Z 방향의 변위를 비교하는 방법으로 비

¹⁾ (주)코리아 카코 책임연구원

²⁾ (주)코리아 카코 대표이사

³⁾ 전북대학교 자원·에너지공학과 교수

* 교신저자 : hujin@chonbuk.ac.kr

접수일 : 2009년 1월 15일

심사 완료일 : 2009년 2월 18일

게재 확정일 : 2009년 2월 18일

교 분석하였다.

2. Applied Element Method (AEM) 개요

AEM은 해석대상 구조물을 Fig. 1과 같이 작은 요소들의 집합체로 모형화하며, 요소들은 요소면 주위에 분포되어 있는 접촉점에서 한 개의 수직 스프링과 두 개의 전단 스프링에 의해 연결된 것으로 가정한다.

2.1 형상 및 자유도

AEM에서 각각의 요소는 3차원의 물리적인 좌표와 형상을 가지며 서로 분리되거나 충돌할 수 있다. 3D AEM 해석의 경우 주로 입방체 요소들로 구조물을 모형화하며 4점, 5점, 6점의 각추형 또는 각주형으로도 모형화 할 수 있다.

각 요소들은 3개의 병진과 3개의 회전인 6개의 자유도를 가지며, 자중은 항상 Z 방향으로 가해진다. Table

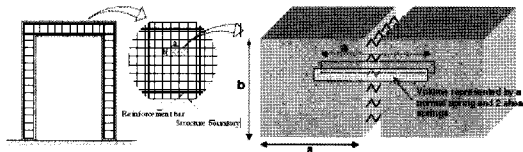


Fig. 1. Modeling of structure to AEM

1은 해석 사례별 활동 자유도를 나타낸다.

2.2 요소간의 연결

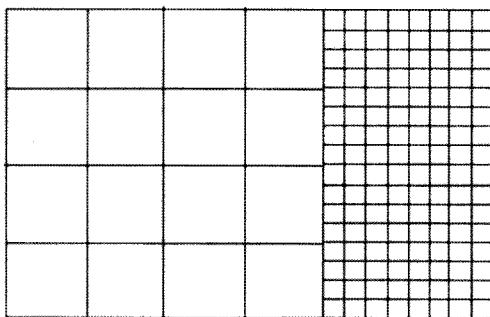
AEM에서 요소는 인접된 요소와 요소 사이의 면에 일련의 스프링들을 통해 연결된다. 이러한 연결 스프링은 요소 사이의 응력, 변형을 그리고 연결상태를 나타낸다. 또한 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 요소들의 크기가 변화될 때 특정한 변환요소가 필요 없으며, 같은 면을 공유하는 요소들은 면의 일부분만이 공유되더라도 연결 스프링을 지닌다. 이러한 연결 스프링들은 구조물을 임의의 요소들로 모형화하면 ELS 프로그램에서 자동으로 생성된다(ASI, 2006).

요소를 연결하는 연결 스프링은 매트릭스 스프링과 철근 스프링으로 구별되며, 매트릭스 스프링은 인접한 두 요소의 연결 상태와 주요 구성재료의 특성을 나타낸다. 예를 들어 콘크리트 구조물의 경우, 이 스프링은 콘크리트의 재료 특성을 나타내며, 철골 구조물의 경우 철골의 재료 특성을 나타낸다. 매트릭스 스프링의 경우 한 개의 수직 스프링과 두 개의 전단 스프링인 3개의 스프링으로 구성되어 있다. 철근 스프링은 철근의 재료 특성, 정확한 위치 및 크기를 가지며, 매트릭스 스프링과 유사하게 철근과 요소 경계와의 교점에서 3개의 스프링으로 구성되어 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 요소 사이의 매트릭스 스프링과 철근 스프링의 결합을 나타낸 것이다.

Table 1. Degree of freedom (DOF) for different analysis cases

| Case | Sample | Active DOF |
|---------------------|---------------------------|------------------------|
| 2-D Analysis in X-Z | 2-D Multi story frame | Ux, Uz, Ry |
| Grid in X-Y | Floor, Slab or Raft | Uz, Rx, Ry |
| General 3-D problem | Demolition of RC Building | Ux, Uy, Uz, Rx, Ry, Rz |

Note. U : translation, R: rotation, x, y, z : direction



No transition elements needed

Fig. 2. Transition of element size

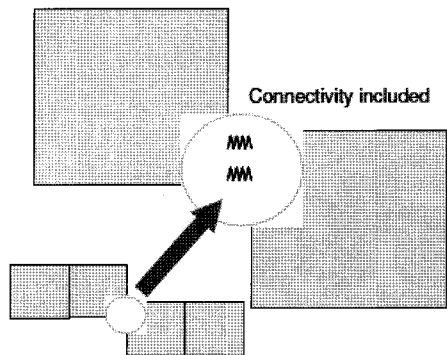


Fig. 3. Partial element connectivity

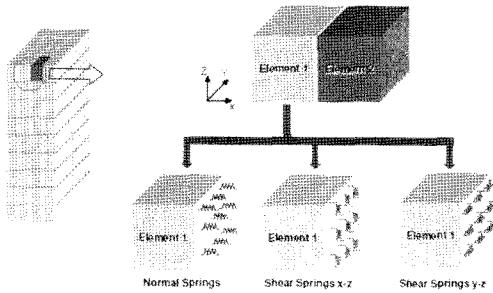


Fig. 4. Connectivity matrix springs

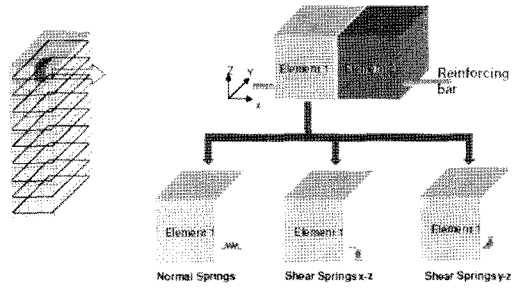


Fig. 5. Connectivity reinforcement springs

2.3 구성재료 모델 및 파괴 기준

Fig. 6은 ELS 프로그램에서 사용되는 철근콘크리트 재료의 구성모델이다. Fig. 6(a)는 콘크리트의 Maekawa 압축 모델이다. 이 모델은 초기 영률, 파괴 파라미터, 콘크리트의 내부 손상, 압축소성 변형률 등이 압축응력과 압축 변형률의 포락선으로 표현된다 (Okamura and Maekawa, 1991).

인장의 경우 스프링 강성은 균열이 발생할 때까지는 초기 강성으로 나타내며, 균열 발생 이후에는 0으로 설정된다.

Fig. 6(b)와 같이 전단응력과 전단변형률과의 관계는 콘크리트 균열 발생까지 선형으로 증가하다가 균열 발생 이후에는 잔류 전단응력이 발생하는 것으로 가정된다. 또한 잔류 전단응력은 균열 표면에서 상호 결합과 마찰에 의해 결정된다.

철근의 경우 Ristic 외 (1986)에 의해 제시된 모델이 사용되며 Fig. 6(C)와 같다. 철근의 접선 강성은 철근 스프링, 재하 상태 그리고 Bauschinger 효과를 조절하는 철근 스프링의 이력 곡선으로부터 변형률에 기초하여 계산된다. Bauschinger 효과는 재료의 탄성한계를 초과한 인장력을 가한 후에 압축력을 가하면 인장에 대한 탄성한계보다 낮은 응력상태에서 재료가 항복되는

현상으로 제시된 모델은 추가적인 해석없이 부분적인 재하 효과와 Bauschinger 효과를 쉽게 고려할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

3. 해석모델

모형 구조물은 Fig. 7과 Fig. 8에 도시된 것과 같이 1×1 경간 3층과 5층 구조물로서 층 높이는 680 mm, X열 폭은 800 mm, Y열 폭은 800 mm인 장방체 구조물이다. 주요 제원은 Table 2와 같으며, 구조물 제작 및 시험방법은 기존의 연구(박과 김, 2007, 박 외, 2007)에 기술되어 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 해석 대상 구조물을 3D AEM을 기반으로 한 ELS 프로그램을 사용하여 모델링한 것이다. 해석 대상 구조물은 입방체 요소들로 균일하게 분할하고, 접촉면당 5개의 매트릭스 스프링을 설정하였다. 철근의 배근 및 간격도 실제 모형 구조물과 동일하게 하였으며, 지반은 구조물과 동일한 물성값을 가지는 콘크리트로 가정하였다. Table 3은 해석 대상 구조물의 입력 물성값을 나타내며, Table 4는 ELS 프로그램에서 계산된 분할된 요소에 대한 자료이다.

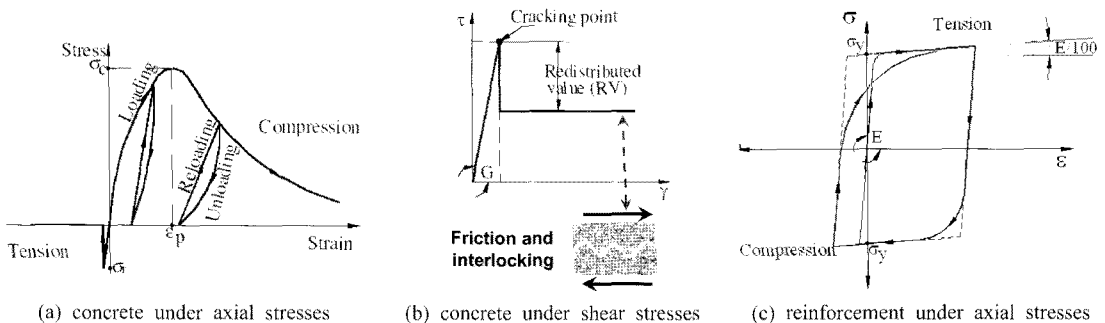


Fig. 6. Constitutive models for concrete and reinforcement used in ELS

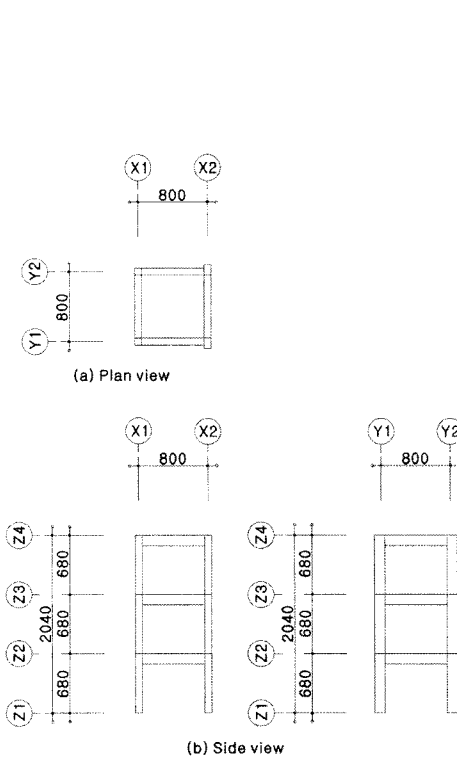


Fig. 7. Framing plan of 3 stories structure (unit: mm)

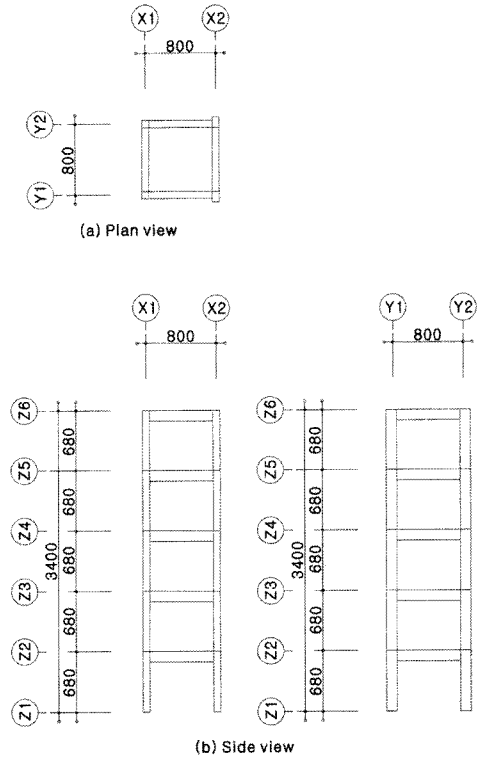


Fig. 8. Framing plan of 5 stories structure (unit: mm)

Table 2. Specification of structures

| Structure | Specification | | |
|-----------|----------------|--------------------|----------------------------------|
| | Dimension (mm) | Main reinforcement | Tie (distributing) reinforcement |
| 3 stories | 800×800×2040 | SWM-A*, 4.00** | SWM-A, 3.20 |
| 5 stories | 800×800×3400 | SWM-A, 4.00 | SWM-A, 3.20 |

Note. * annealing wire symbol

** diameters (mm)

Refer to KS D3552 low carbon steel wires

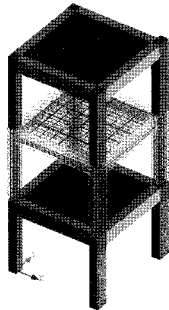


Fig. 9. 3 stories structure model

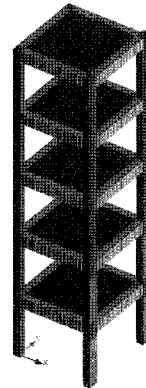


Fig. 10. 5 stories structure model

Table 3. Parameters of the analysis model

| Property | Young's modulus (MPa) | Shear modulus (MPa) | Tensile strength (Tensile yield stress) (MPa) | Compressive strength (Compressive yield stress) (MPa) | Specific weight (kg/m ³) |
|---------------|-----------------------|---------------------|---|---|--------------------------------------|
| Concrete | 2.610 ⁴ | 1.0510 ⁴ | 3.1 | 31.7 | 2,500 |
| Reinforcement | 2.010 ⁵ | 8.010 ⁴ | 3.1310 ² | 3.1310 ² | 7,840 |

Table 4. Statistical information of used elements

| Structure | No. of Matrix elements | No. of Matrix springs | No. of RFT* springs | No. of Frames |
|-----------|------------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| 3 stories | 3,111 | 167,550 | 3,841 | 211 |
| 5 stories | 5,185 | 279,250 | 6,439 | 211 |

Note. * reinforcement bar

4. 해석방법

해석 대상 구조물은 실제 모형 구조물 실험과 동일하게 3층 구조물의 경우 기둥 ${}_1C_{X2Y1}$, ${}_1C_{X2Y2}$ 를 동시에 발파하였으며 5층 구조물의 경우 기둥 ${}_1C_{X2Y1}$, ${}_1C_{X2Y2}$, ${}_2C_{X2Y1}$, ${}_2C_{X2Y2}$ 를 동시에 발파하였다. 여기서 C는 기둥을 나타내며, C 전후의 아래첨자는 각각 기둥이 위치한 층과 X, Y 좌표를 나타내어 기둥의 위치를 나타낸다. 각각의 해석 대상 구조물은 2초 동안 비선형 동적해석을 수행하였다. 또한 기타 기상적인 조건들(풍하중, 지진하중 등)은 본 해석에서 제외하였다.

실제 모형 구조물과 AEM을 이용하여 모사된 해석 대상 구조물을 일정한 시간대별로 붕괴 거동을 비교하였으며, 3층 구조물의 (X1, Y1, Z4) 교점과 5층 구조물의 (X1, Y1, Z6) 교점에서의 X 방향의 변위와 Z 방향의 변위를 비교하였다.

5. 수치해석 결과

Fig. 11은 3층 모형 구조물의 실제 붕괴 거동과 수치 해석 모델의 붕괴 거동을 일정한 단위 시간별로 비교한 것이다. 모사된 구조물의 초기 붕괴 거동은 실제 붕괴 거동과 상당히 부합하는 결과를 보여주고 있다. 800 ms 이후 1층 기둥인 ${}_1C_{X1Y1}$, ${}_1C_{X1Y2}$ 가 지면에서 분리되었으며, 1200 ms 이후에는 X2열이 지면과 완전히 충돌한 후 충격하중에 의해 구조물 부재에 균열이 발생하고 회전으로 인해 X1열이 X 방향으로 밀리면서 모형 구조물의 붕괴 거동보다 다소 빠르게 밀리는 경향을 보였다. 이것은 수치해석에 적용한 지반의 물성값을 구조물의 물성값과 동일한 콘크리트로 가정하여 해석한 결과로 판

단된다.

Fig. 12와 Fig. 13은 3층 구조물의 (X1, Y1, Z4) 교점에서의 X 방향과 Z 방향의 변위곡선을 나타낸 것이다. 모사된 구조물의 초기 X 방향 변위곡선과 Z 방향 변위곡선은 실제 모형 구조물의 변위곡선과 유사하였지만, X2열이 지면에 완전히 충돌한 1200 ms 후에는 X 방향과 Z 방향의 붕괴 속도가 빨라지는 경향을 보였다. 모사된 3층 구조물의 X 방향의 최대 변위는 329.6 cm이었으며 Z 방향의 최대 변위는 192.4 cm이었다. 이것은 실제 모형 구조물의 X 방향과 Z 방향의 최대 변위에 대해 각각 8.2%, 2.8%의 오차를 갖는다.

Fig. 14는 5층 구조물의 실제 붕괴 거동과 모사된 붕괴 거동을 일정한 단위 시간별로 비교한 것이다. 모사된 구조물의 초기 붕괴 거동은 X1의 Z2를 기준으로 전도되기 시작하였으며, 이것은 실제 붕괴 거동과 상당히 부합하는 결과를 보여주고 있다. 모사된 구조물의 경우에는 X1의 1층 기둥 상단에서 인장파괴가 발생하였으나, 모형 구조물의 경우에는 X1의 1층 기둥과 2층 기둥과의 접합부에서 인장파괴가 발생하였다. 이것은 모형 구조물 제작 시 기둥과 기둥 사이의 층간 변위의 오차에 의한 것으로 판단되며, 따라서 1층 슬래브와 보의 거동이 다소 상이함을 확인할 수 있다. 지면과 충돌하는 1400 ms 이후에는 충격하중에 의해 구조물 부재에 균열이 발생하고 회전에 의해 X1열이 X 방향으로 밀리면서 모사된 3층 구조물과 유사한 경향을 보였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 5층 구조물의 (X1, Y1, Z6) 교점에서의 X 방향과 Z 방향의 변위곡선을 나타낸 것이다. 모사된 구조물의 X 방향 변위곡선과 Z 방향 변위곡선은 실제 모형 구조물의 변위곡선과 전체적으로 유사하였지만, X2열이 지면에 완전히 충돌한 1400 ms 이후에

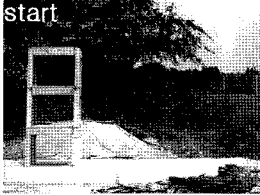
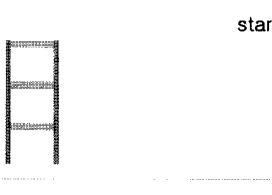
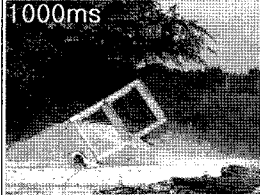
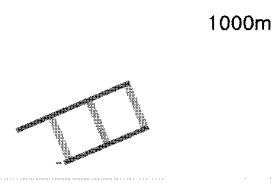

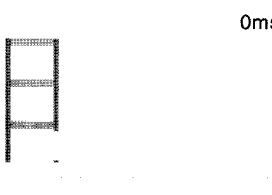
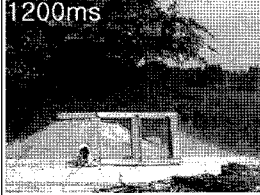
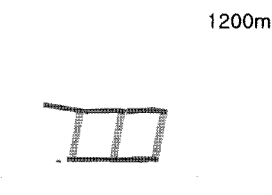

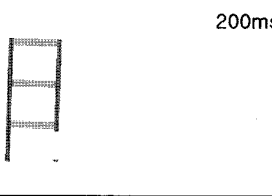
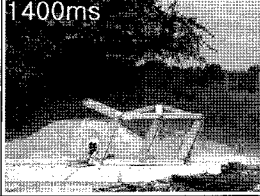
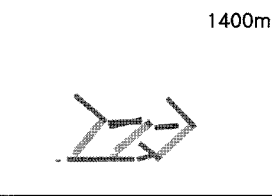

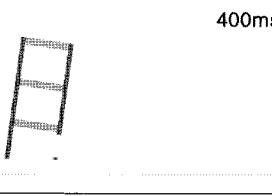
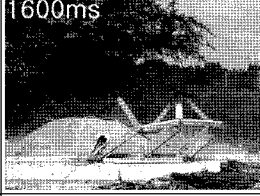
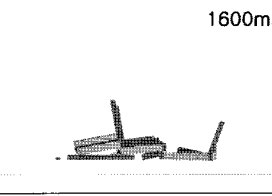

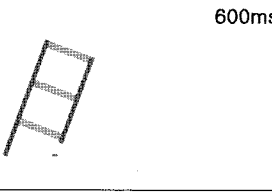

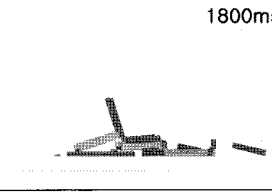

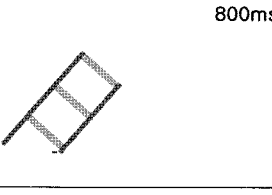

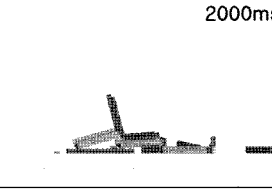
| 3 stories model | AEM simulation | 3 stories model | AEM simulation |
|--|---|---|--|
| start  |  | start 1000ms  | 1000ms  |
| 0ms  |  | 1200ms  | 1200ms  |
| 200ms  |  | 1400ms  | 1400ms  |
| 400ms  |  | 1600ms  | 1600ms  |
| 600ms  |  | 1800ms  | 1800ms  |
| 800ms  |  | 2000ms  | 2000ms  |

Fig. 11. Collapse behavior process of 3 stories structure

는 모사된 3층 구조물의 변위곡선과 유사하게 X 방향과 Z 방향의 붕괴 속도가 빨라지는 경향을 보였다. 모사된 5층 구조물의 X 방향의 최대 변위는 450.0 cm이었으며 Z 방향의 최대 변위는 328.0 cm이었다. 이것은 실제 5층 모형 구조물의 X 방향과 Z 방향의 최대 변위에 대해 각각 1.9%, 0.3%의 오차를 갖는다.

6. 결론

본 연구에서는 모형 구조물의 발파해체 붕괴거동과 3D AEM을 기반으로 한 ELS 프로그램을 이용하여 수치해석으로 모사된 구조물의 붕괴거동을 X 방향(수평방향)의 변위와 Z 방향(수직방향)의 변위에 대해 비교하는 방법으로 수치해석 모델의 발파해체 붕괴거동에




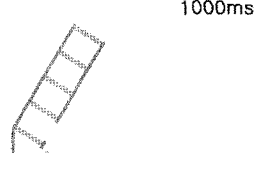

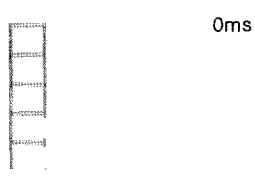
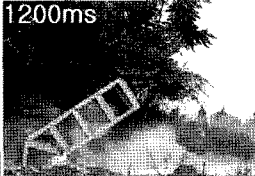
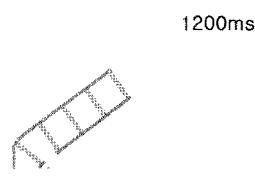

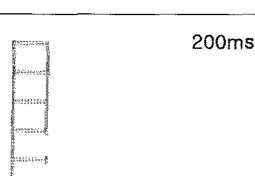
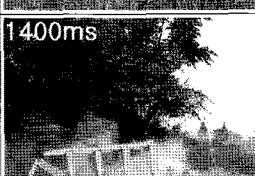
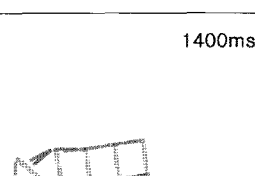

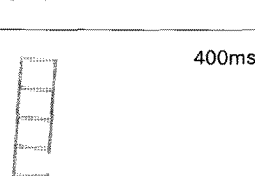
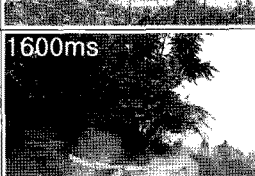
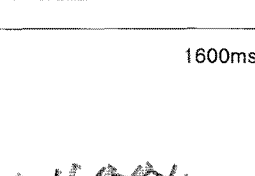

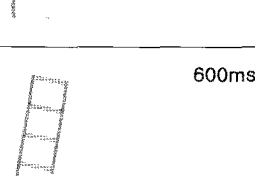
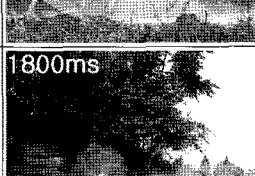
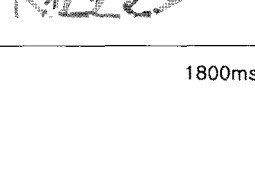

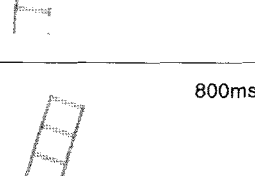
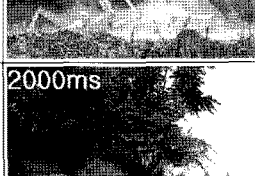
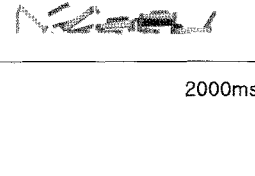
| 5 stories model | AEM simulation | 5 stories model | AEM simulation |
|--|--|---|--|
| start  | start  | 1000ms  | 1000ms  |
| 0ms  | 0ms  | 1200ms  | 1200ms  |
| 200ms  | 200ms  | 1400ms  | 1400ms  |
| 400ms  | 400ms  | 1600ms  | 1600ms  |
| 600ms  | 600ms  | 1800ms  | 1800ms  |
| 800ms  | 800ms  | 2000ms  | 2000ms  |

Fig. 14. Collapse behavior process of 5 stories structure

측 적용성을 검토하였다.

실제 모형 구조물과 모사된 구조물의 초기 붕괴 거동은 상당히 유사한 결과를 보였으며 구조물이 지면과 충돌 이후에는 붕괴 속도가 약간 빨라지는 경향을 보였다. 이는 구조물과 지면과의 낙하 충격에 의한 접촉이 실제 모형 구조물과는 다소 차이를 보이며, 또한 지반의 물성값을 구조물의 물성값과 동일하게 가정한 것에 의한

영향일 것으로 판단된다. 모사된 구조물의 X 방향 및 Z 방향의 최대 변위는 실제 모형 구조물의 최대 변위와 상당히 부합되는 결과를 보여 주었다. 따라서 3D AEM을 이용한 구조물의 발파해체 모사는 실제 구조물의 전체적인 붕괴 거동 및 형태, 붕괴 시간을 사실적으로 모사할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 보다 정확하고 사실적인 구조물의 붕괴 거동을 모

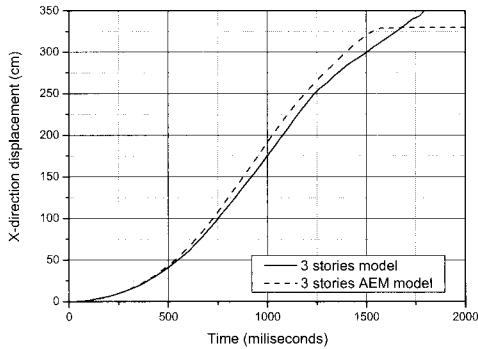


Fig. 12. Displacement of X-direction at 3 stories structure

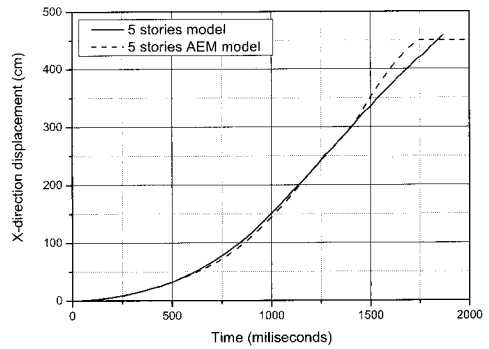


Fig. 15. Displacement of X-direction at 5 stories structure

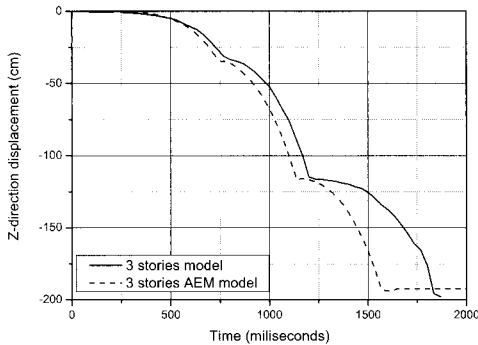


Fig. 13. Displacement of Z-direction at 3 stories structure

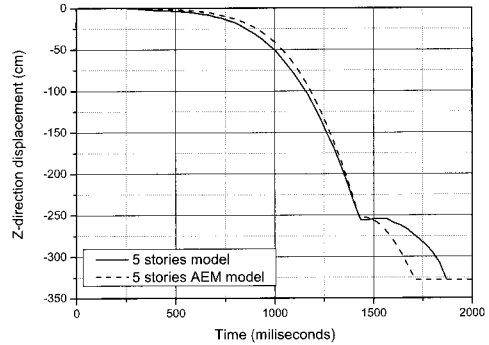


Fig. 16. Displacement of Z-direction at 5 stories structure

사하기 위해서는 구조물의 구조적 형태 및 구성 재료 특성에 따른 구조적 강성문제와 낙하 충격에 의한 접촉 발생시 요소간의 미끄러짐과 반력, 지반에 대한 영향을 고려한 다양한 수치해석적 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호:06건설핵심04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박훈, 김승곤, 2007, 전도공법에 의한 축소모형 철근콘크리트 구조물의 지반진동 특성, 한국지구시스템공학회지, 44.6, 517-525.
2. 박훈, 이희광, 유지완, 송정연, 김승곤, 2007, 전도공법에 의한 축소모형 철근콘크리트 구조물의 붕괴거동, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), 17.5, 381-388.
3. 양준, 천평완, 쉬페이, 양귀량, 2006, 철근콘크리트 구조물 발파해체의 FEA 시뮬레이션 연구, 한·중·일 3국의 발파해체 기술현황 및 활성화 방안, 주택도시연구원, 165-182.

4. ASI, 2006, Extreme Loading for Structures Technical Manual, Applied Science International, USA, 5-33p.
5. Chen, B. and W. Liu, 2007, Simulation Study on Demolition Blasting of Frame Structure Buildings, The Asian-Pacific Symposium on Blasting Techniques, 322-325.
6. Choi, J. H. and S. W. Jeon, 2008, Numerical analysis of collapsing behaviors of RC Rahmen Structures using blast demolition, 3rd International Conference on Explosives and Blasting, 145-152.
7. Isobe, D. and Y. Toi, 2000, Analysis of structurally discontinuous reinforced concrete building frames using the ASI technique, Computers and Structures, 76, 471-481.
8. Katsuyama, K., Y. Ogata and Y. Wada, 1996, Demolition of storehouse by the blasting and the simulation of the demolition by DDA method, Proceedings of the Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, International Society of Explosives Engineers, 268-275.
9. Ohtsuka, N., Y. Shindo and M. Ueoka, 1996, Deformation measurement and FEM simulation of a reinforced concrete building during controlled demolition, Proceedings of the Australasian Congress on Applied Mechanics, 643-648.
10. Okamura, H. and K. Maekawa, 1991, Nonlinear analysis

- and constitutive models of reinforced concrete, Gihodo Co. Ltd., Tokyo.
11. Park, H., S. O. Jang, H. K. Park, N. H. Kim and C. G. Suk, 2008, A study on explosive demolition of the cylindrical silo structure, 3rd International Conference on Explosives and Blasting, 103-117.
 12. Ristic, D., Y. Yamada and H. Iemura, 1986, Stress-strain based modeling of hysteric structures under earthquake induced bending and varying axial load, Kyoto University, Kyoto, Japan.
 13. Tosaka, N., Y. Kasai and T. Honma, 1988, Computer simulation for felling patterns of building, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Second International Symposium held by RILEM, Japan, Chapman and Hall, 395-403.
 14. Yang, G., J. Yang and P. Chen, 2007, Numerical Simulation of Frame-shear Wall Structure Blasting Demolition, The Asian-Pacific Symposium on Blasting Techniques, 314-317.
 15. Yarimer, E., 1989, Demolition by controlled explosion as a dynamical process, Proc. of 1st Int. Conf. Cambridge, Massachusetts, USA, 411-416.
 16. Yarimer, E. and J. A. M. Lapa, 1994, Factors affecting the numerical modeling of demolition by explosive, Structures under Shock and Impact 3rd International Conference, 11-20.

박 훈



1998년 전북대학교 자원공학과 공학사
 2000년 전북대학교 자원·에너지공학과 공학석사
 2007년 전북대학교 자원·에너지공학과 공학박사

Tel: 02-834-4590
 E-mail: hujin@chonbuk.ac.kr
 현재 ㈜코리아 카코 책임연구원

석철기



1985년 서울산업대학교 학사
 1993년 Yokohama national university 석사
 2008년 Ehime university 박사

Tel: 02-834-4590
 E-mail: kacoh@hanmail.net
 현재 ㈜코리아 카코 대표이사

김승곤



1977년 전북대학교 자원공학과 공학사
 1980년 전북대학교 자원공학과 공학석사
 2003년 전남대학교 지구시스템공학과 공학박사

Tel: 063-270-2364
 E-mail: kimsk@chonbuk.ac.kr
 현재 전북대학교 자원·에너지공학과 교수