

Zoom-in 모델링 기법을 활용한 6층 건물 기둥부재의 폭발응답 해석 Blast Effect Analysis on the column members of a six-story building using zoom-in modeling technique

허영철† · 정태영* · 정형조** · 최현훈***

Young-Cheol Huh, Tae-Young Chung, Hyung-Jo Jung and Hyun-Hoon Choi

1. 서 론

용산과 동두천에 주둔 중인 주한미군은 지난 2004년 12월 대한민국 국회에서 비준 동의된 기지 이전 협정에 의해서 오는 2016년까지 단계적으로 평택의 미군기지로 이전할 계획이다. 평택 미군기지의 초도 물량으로써 2012년 초등학교, 고등학교 건물의 발주를 시작으로 문화센터, 병원, 미군숙소 등 기지이전 사업이 본격적으로 추진되고 있다. 평택 미군기지에 건립될 모든 건물은 설계 시 미 국방부의 대테러 예방을 위한 시설물 설계표준인 UFC 4-010-01을 의무적으로 적용해야 하며 이에 따라 폭발물로부터 충분한 이격거리를 확보할 수 있는 건물의 설계가 요구된다. 건물의 시공장소에 따라서 요구되는 설계 이격거리의 확보가 쉽지않은 경우에는 최소 이격거리를 허용하고 폭발응답 해석에 의해 건물의 구조적인 안전성을 입증하도록 규정하고 있다. 그러나 지금까지 폭발물 테러에 의한 피해 사례가 전무했던 국내 여건 상 대테러 예방 설계에 관한 관심과 그 필요성이 적었기 때문에 본 사업에 참여하고 있는 대부분의 국내 대형 건설사는 건물의 폭발응답 해석을 위한 상세한 접근방법과 해석절차에 대한 준비가 충분하지 못했던 것이 사실이다.

폭발하중은 일반적으로 수 msec의 짧은 시간 동안 구조물에 재하되며 응답결과의 유효성을 보장받기 위해서는 유한요소의 크기가 매우 작아야 한다. 특히 근거리 폭발과 같이 인접한 국부 부재에 큰 영

향을 주는 경우에는 더욱 그러하다. 그러나 건물과 같은 대형 구조물의 유한요소 해석에서 요소의 크기는 메모리 용량, CPU 성능의 컴퓨팅 환경과 해석시간 등을 고려하여 매우 제한적인 조건에서 결정된다.

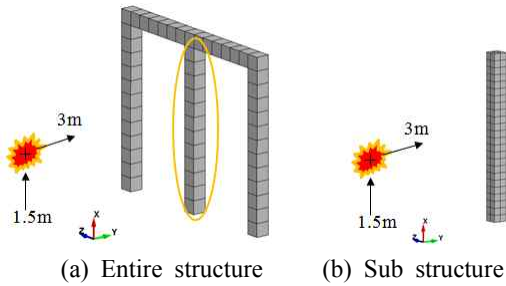
본 논문에서는 제한된 컴퓨팅 환경 하에서 대형 구조물의 폭발응답 해석을 효율적으로 수행할 수 있는 모델링 기법에 대해 소개한다. 보편적인 형태의 6층 건물을 대상으로 해석모델을 구성한 후 LS-DYAN를 활용하여 근거리 TNT 폭발에 대한 전체 구조물의 응답을 계산하였다. 응답곡선의 검토결과 폭발물에 근접한 기둥부재가 취약함을 확인하였고 zoom-in 모델링 기법에 의해 기둥부재만을 대상으로 상세한 해석모델을 구성하여 동일한 해석을 재수행하였다. 기둥부재만의 응답결과는 전체 해석모델의 응답결과에 비해 다소 높은 수준이었으나 거동특성은 동일함을 확인할 수 있었다.

2. Zoom-in 모델링 기법의 검증

2.1 예제 문제의 구성

Zoom-in 모델링이란 전체 구조물의 응답결과에서 추출한 일부 절점변위를 대응되는 부분 구조물의 경계절점에 강제변위로 부여하는 모델링 기법을 말한다. 이번 절에서는 단순한 골조 구조물에 대한 폭발응답의 예제계산을 수행하고 zoom-in 모델링 기법의 유효성을 검증한다. 대상 구조물은 높이가 3m인 강재 기둥 3개와 강재 기둥을 가로방향으로 연결하는 3.75m 길이의 강재 보로 구성된다. 부재단면은 모두 한 변의 길이가 0.25m인 정사각형 단면이다. 중앙의 강재 기둥을 대상으로 zoom-in 모델링을 수행하였는데 요소의 크기는 전체 해석모델의 경우보다 1/2 수준으로 분할하였다. 폭발조건은 중앙의 기둥부재로부터 3m 이격되고 지면으로부터 1.5m 높

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원
E-mail : ychuh@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7468, Fax : (042) 868-7418
* 한국기계연구원
** 한국과학기술원, *** 삼성물산(주) 건설부문



(a) Entire structure (b) Sub structure

Fig. 1 F.E.model for example problem

이에 위치한 5kg의 TNT가 폭발하는 것으로 가정하였다. 하중의 산정은 경험적 방법에 근거한 LS-DYNA의 내부함수를 활용하였다.

2.2 응답결과와 검토

중양 기둥부재의 중간 높이에서 횡방향의 변위 응답 결과를 비교하였다. 전체 해석모델과 중양 기둥부재만의 zoom-in 모델에 의한 응답결과는 서로 잘 일치하였다. 그러나 zoom-in 모델의 경우 전체 해석모델의 응답보다 높은 주파수 성분의 응답특성이 관찰되었는데 이는 zoom-in 모델의 상세한 요소분할로 인해 고차모드가 포함되었기 때문인 것으로 판단된다.

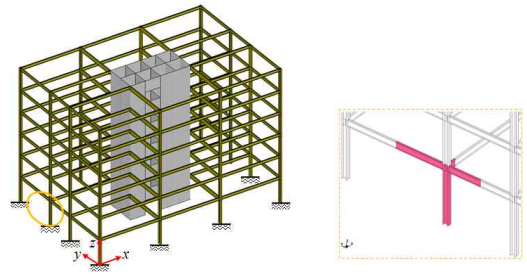
3. 6층 건물의 폭발응답 해석

3.1 건물의 구조형식과 폭발조건

보편적인 형태의 6층 건물을 대상으로 해석모델을 구성하였다. 건물의 골조는 H-형강, 중앙의 core wall은 철근콘크리트로 구성된다. 대상 건물의 제원은 $W \times D \times H = 36m \times 24m \times 26m$ 로서 실물 크기로 설계되었지만 실제 시공된 건물은 아니며 해석의 편의를 위해 외벽은 고려하지 않았다. 폭발조건은 벤차량에 의한 폭발로 가정하여 TNT의 중량은 454kg, 이격거리는 5.0m인 근거리 지표면 폭발조건을 적용하였다.

3.2 전체 해석모델에 대한 폭발응답

기둥, 보 그리고 core wall은 shell 요소로 이상화했고 철근은 등가의 단면적을 갖는 봉요소로 이상화하였다. 요소는 100mm~200mm 크기로 분할하였다. 해석결과로써 최대 등가응력과 최대 횡변위를 검토하였는데 폭발물과 인접한 기둥부재에서 최대 값이 관찰되었다. 최대 등가응력은 447MPa, 최대 횡변위는 156mm 수준으로 예측되었다.



(a) Entire structure (b) Sub structure

Fig. 2 F.E.model of the six-story building

3.3 부분 해석모델에 대한 폭발응답

폭발물과 인접한 기둥부재만을 대상으로 zoom-in 모델링 기법에 의해 상세한 해석모델을 구성하였는데 요소의 크기는 50mm 이하의 수준으로 분할하였다. 해석결과로써 최대 등가응력과 최대 횡변위를 검토하였다. 최대 등가응력은 461MPa, 최대 횡변위는 183mm 수준으로 예측되었는데 최대 응답의 발생위치는 전체 해석모델에 의한 응답결과와 동일한 위치임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

대형 구조물의 폭발응답 해석을 효율적으로 수행할 수 있는 모델링 기법을 제안하였다. 단순 구조물과 실물 크기의 6층 건물을 대상으로 수치해석 결과를 검토한 후 제안한 기법의 유효성을 확인하였다. 제한된 컴퓨팅 환경 하에서 대형 구조물의 폭발응답 해석과 같이 많은 시간과 노력이 필요한 경우 본 논문에서 제안한 모델링 기법을 활용한다면 상세한 응답해석을 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 논문은 삼성물산(주) 건설부문의 지원으로 수행한 연구과제의 결과입니다. 또한 연구내용 중 일부는 한국기계연구원의 주요사업인 “극한하중 해석 및 평가기술 개발” 과제의 연구결과를 활용하였으며 관련 지원에 감사드립니다.