

LS-DYNA를 활용한 공기 중 폭발하중의 모델링 기법에 관한 연구 A Study on the Modeling Techniques of Air Blast Load Using LS-DYNA

허영철† · 정태영* · 김경철** · 정형조** · 최현훈***

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

1. 서 론

폭발물, 차량폭탄, 생화학무기 등 각종 테러에 의한 위험도가 높은 미국, 유럽 등에서는 테러에 대비한 시설물 방호설계의 절차와 제반 규정이 잘 마련되어 있고 건물의 설계에도 이를 반영해 오고 있다. 특히 지난 2001년 미국의 세계무역센터에서 발생한 9·11 테러 이후 미 국방부 소유의 모든 신축 건물에 대해 테러예방 설계표준의 적용을 의무화하고 있으며 기존의 건물이나 임대 건물에도 테러에 대비한 최소한의 요구조건을 적용하고 있다. 그 동안 외국의 테러리스트들에 의한 피해사례가 전무했던 국내의 경우 시설물의 테러예방에 관한 사회적 관심도 매우 적었고 관련 연구의 수행 실적도 미미한 수준이었으나 지난 2010. 4월 국토해양부에서 발표한 “건축물 테러예방 설계가이드 라인” 정책시행(안)에 따라 종합병원, 초고층 빌딩 등을 포함한 20,000m² 초과 건축물에 대해서는 향후 폭발피해 최소화 설계, 피난 및 피해 대비 설비의 계획 등이 점진적으로 적용될 것으로 예상된다. 아울러 국토해양부와 건설교통기술평가원의 V-10 사업의 일환으로써 초고층복합빌딩 사업단이 발족하였으며 세부 과제의 하나인 “구조시스템 성능 개선기술 개발”에서는 폭발물 테러예방 및 피해경감 설계기술 등의 시설물 방호설계 관련 연구가 추진되고 있다. 한편 지난 2010년 G20 세계정상 회담 개최를 비롯하여 2018년 평창올림픽 유치 등 세계적 규모의 행사를 앞두고 있는 우리나라의 대외적 위상을 고려해 볼 때 테

러에 대비한 시설물의 방호설계 관련 연구가 본격화되고 있는 것은 시의적절한 것으로 판단된다.

수치해석적 방법으로 폭발하중에 대한 구조물 동 응답을 예측하는 것은 시설물 방호설계를 위한 유용한 수단으로 활용되고 있다. 그 동안 해석결과의 정도를 높이기 위한 많은 노력들이 있었고 또한 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 그 중에서도 폭발하중을 산정할 수 있는 수치적 기법들이 많은 연구자들에 의해 개발이 되어 일부는 범용 유한요소 프로그램에도 적용이 되었다. 본 논문에서는 범용 유한요소 해석 프로그램인 LS-DYNA를 활용하여 공기 중 폭발하중을 산정할 수 있는 다양한 모델링 기법을 소개하고자 한다. 그 기법으로써 경험식을 이용한 기법, 수치모델을 이용한 ALE 기법 그리고 경험식과 ALE 기법을 동시에 이용한 혼합 기법에 대하여 검토하였다. 폭발물질로써 TNT를 고려하였으며, 구조물 표면에서 반사되는 반사압력의 피크 값을 기준으로 구조물 높이에 대한 분포를 살펴보았다. 이 때 지표면의 반사효과는 고려하지 않았다. 산정된 하중 결과는 적용된 기법들 간의 상호비교 또는 참고논문과의 비교를 통해 다양한 모델링 기법에 따른 차이점과 함께 그 유용성을 확인하였다.

2. 폭발하중의 모델링 기법

2.1 경험식을 이용한 기법

경험식을 이용한 폭발하중의 산정기법은 2002년에 개정된 UFC 3-340-01(舊 TM 5-855-1)의 재래식 무기에 관한 절차를 따른다. 폭발물 중량, 이격 거리 그리고 폭발위치(공기 중 또는 지표면)를 주요 변수로 고려하여 피크 압력(입사 또는 반사), 지속시간, 충격량 등을 산정한다. LS-DYNA에서는 *Load_Blast_Enhanced keyword에 주요 변수를 지

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

정할 수 있다. 검증 예제로써 UFC 3-340-02(舊 TM 5-1300)에 수록된 Problem 2A-10을 참고하여 단순한 박스 형태의 구조물을 대상으로 기폭위치에 대한 앞면, 측면에서의 반사압력과 지속시간을 비교하였다. 이 때 폭발조건으로써 5,000-lbs의 TNT, 이격거리는 155ft 그리고 지표면 폭발을 고려하였다. 앞면의 반사압력 크기는 34.6psi로써 LS-DYNA의 결과인 34.5psi와 매우 잘 일치하였으나 측면결과의 경우 다소 차이를 보였다.

2.2 ALE 모델링을 이용한 기법

유한요소해석을 위한 ALE 모델링 기법은 비교적 근거리 폭발문제에 적합하며 구조물 형상변화에 따른 폭발과와의 상호작용 효과를 정밀하게 예측할 수 있다고 알려져 있다. LS-DYNA에서는 공기영역을 Euler 모델, 구조영역을 Lagrange 모델을 사용하고 두 영역이 서로 만나는 부분은 접촉문제로 해결한다. TNT의 형상대로 모델링할 수 있으며 전체를 solid 요소로 모델링할 수도 있고 또는 외부 표면만을 surface 요소로 모델링할 수도 있다. 후자의 경우 구형의 TNT도 용이하게 고려할 수 있는 장점이 있다.

(1) TNT의 Solid 모델링

예제계산을 위해서 이경구 등⁽¹⁾의 논문을 참고하였다. 고려된 폭발물질은 정육면체 형상의 TNT로써 중량은 500kg, 이격거리는 3.0m 그리고 지표면으로부터 1.5m 높이에서 기폭한 것으로 가정하였다. 구조물은 3.6m 높이의 H-beam을 고려하였다. 경험식에 의한 폭발하중 산정결과도 함께 비교하였는데 반사압력의 피크 값을 기준으로 판단할 때 참고논문⁽¹⁾과는 약간의 차이를 확인할 수 있었다. 하지만, 해당 논문에서 파악할 수 없었던 여러 가지 해석변수를 고려하면 크게 다르지 않은 타당한 결과로 판단된다.

(2) TNT의 Surface 모델링

동일한 예제에 대하여 TNT를 surface 요소로 모델링 하였다. Surface 요소의 normal 방향이 surface 내부로 향할 경우 내부 영역의 Euler 모델은 폭발물질로 채워진 것으로 인식을 한다. 기폭위치로부터 최단거리 위치에서 산정된 구조물 표면의 반사압력은 경험식의 경우 53.5MPa, ALE 모델링의 경우 56.4 MPa로써 서로 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

2.3 경험식과 ALE 모델링을 이용한 혼합기법

혼합기법의 경우 구조물 주변을 둘러싸는 공기 영역은 ALE 모델링 기법을 적용하고 TNT 기폭위치에서는 경험식을 적용한다. 공기 영역의 Euler 모델에서 기폭위치의 방향으로 normal하게 위치하는 바깥 표면(ambient layer)에는 경험식에 의해 산정된 입사압력이 재하되며 이 후의 충격과 전달과정은 ALE 모델링 기법과 동일하다. 예제 계산을 위해 Todd⁽²⁾의 논문을 참고하였다. 고려된 폭발물질은 구형의 TNT로써 중량은 517g, 이격거리는 26.14cm다. 기폭위치에서 ambient layer까지의 거리는 16.14cm, ambient layer에서 구조물까지는 10cm를 고려하였다. 구조물은 직사각형 판으로써 길이, 폭, 두께는 각각 1.0m, 0.5m, 5cm이다. 대표적 결과로써 판 중앙과 edge 근처에서의 충격량을 비교하였다. edge 근처보다는 판 중앙에서의 결과가 잘 일치함을 확인하였다.

3. 결론

LS-DYNA에서 제공하는 다양한 모델링 기법을 활용하여 TNT에 의한 폭발하중을 산정하고 그 결과를 검토하였다. 경험식을 이용한 기법에서는 기존의 하중절차서와 동일한 결과를 얻었으며, ALE 모델링을 이용한 기법도 본 논문에서 고려한 조건을 기준으로 판단할 때 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있었다. 혼합기법의 경우에도 비교적 합당한 결과를 얻을 수 있었으나, 다양한 예제계산을 통해 결과의 신뢰성을 좀 더 확인해 볼 필요가 있다.

후 기

본 연구는 삼성건설(주)의 후원으로 수행한 “공공 시설에 대한 방폭성능 해석절차 개발” 과제의 결과 중 일부이며 관련 지원에 감사드립니다.

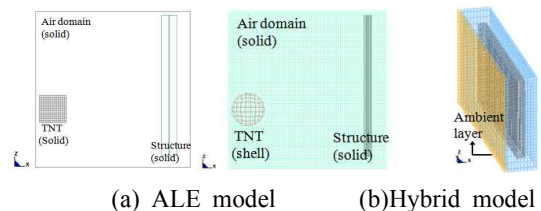


Fig.1 Various modeling techniques for estimation of blast load in LS-DYNA