

중력하중을 받는 H형강 기둥의 폭발저항성능 평가

Evaluation of Blast Resistance of H-shaped Columns under Gravity Load

이 경 구† · 황 지 현* · 노 지 은*

Kyungkoo Lee, Jihyun Hwang and Jieun Roh

1. 서 론

2001년 세계무역센터 테러 이후 주요 건축물의 폭발피해경감을 위한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 폭발에 의한 파괴는 폭발에 의한 벽체, 기둥, 보, 바닥슬래브 등의 국부적 파괴와 주요 구조부재의 파괴가 근접 부재 파괴로 전이됨으로써 발생하는 건축물의 연쇄붕괴로 분류할 수 있다. 따라서 연쇄붕괴방지를 위해서는 건물의 중력하중을 전달하는 기둥의 폭발에 대한 저항성능평가가 매우 중요하다고 할 수 있다.

이 연구에서는 철골구조물의 H형강기둥의 방폭성능에 대한 해석적 평가를 수행하였다. 기둥에 작용하는 중력하중의 크기와 폭발물로부터의 이격거리를 달리하여 기둥의 손상도를 분석하고, 폭발 손상 이후의 잔여축력저항성능을 평가하였다. 해석 결과로부터 폭발손상도와 기둥의 잔여축력저항성능의 관계를 유도하였다.

2. 유한요소해석

Figure 1에서와 같이 H-300×300×10×15 기둥을 기본 모델로 하고, 그 높이를 3.6m로 가정하였다. 승용차로 운반될 수 있는 폭발물의 대표적인 크기인 500kg의 구형 TNT를 가정하고, 기둥으로부터 TNT 중심까지의 이격거리(R)를 4, 5, 6, 8, 10m로 달리 하였다. 결과적으로 식 1과 같이 이격거리를 폭발물의 질량(m)으로 정규화한 축척거리(Z)를 폭발하중크기의 변수로 설정하였다⁽¹⁾.

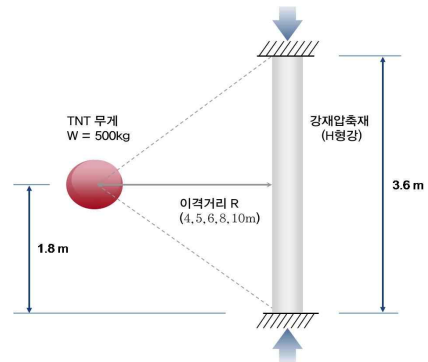


Figure 1. Analytical Model Description

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{m}} \quad (1)$$

여기서, R=폭발물과 기둥과의 이격거리, m=폭발물 TNT 등가질량, Z=축척거리(scaled distance)

강재는 SM490 강재를 채택하여, 정적 재료모델로서 탄성계수는 $E=2.06 \times 10^5$ MPa, 항복강도는 $F_y=325$ MPa, 그리고 인장강도는 $F_u=490$ MPa를 사용하였다⁽²⁾. UFC 3-340-02⁽³⁾에서 제시한 값을 바탕으로 변형률 속도에 따른 동적증폭계수를 고려하였다.

Conwep하중을 이용하여 폭발물 위치, TNT 질량, 구조물 표면을 입력함으로써 각 메쉬에 폭발파의 거리와 입사각도에 따른 폭발압력 시간이력곡선을 산정하였다. 경계조건으로는 기둥 양단을 고정단으로 설정하였다.

LS-DYNA 유한요소해석 프로그램⁽⁴⁾을 사용하여 초기 중력하중 작용, 폭발응답, 잔여축력저항성능평가의 3단계 해석을 수행하였다. 즉, 기둥에 작용하는 중력하중에 대한 해석은 Implicit method을 이용하고, 폭발하중에 대한 기둥의 거동은 Explicit method을 사용하여 해석한 후, 손상된 기둥의 잔여축력저항성능은 Implicit method을 이용하여 평가하였다.

† 교신저자; 단국대학교 건축공학과
E-mail : kklee@dankook.ac.kr
Tel : 031-8005-3742, Fax : 031-8005-4154

* 단국대학교 건축공학과
* (주)보성구조기술사그룹

초기 중력하중 P_i 은 압축재의 휨좌굴에 대한 공칭 압축강도 P_n 을 기준으로 0.0부터 0.1간격으로 증가시켰고, 기둥이 완전 손상될 때까지의 초기 중력하중을 작용하여 해석을 수행하였다.

3. 해석 결과

폭발해석을 통해 나온 결과인 수평변위를 기둥의 회전각으로 환산하고, 초기 중력하중 P_i 과 이격거리 R 에 따른 기둥의 회전각을 손상도로 평가하였다. Figure 2는 초기중력하중이 없을 때인 $P_{i, non}$ 과 기둥이 완전손상 (잔여축력하중이 없는 경우)이 될 때의 초기중력하중 $P_{i, max}$ 인 경우에 대하여 각각 축척거리에 따른 회전각을 나타낸다. 기둥의 폭발 손상도를 회전각으로 판단할 때, 축척거리가 가까울수록 폭발하중에 의한 회전각이 급속히 증가함을 알 수 있다. 또한, 동일한 축척거리에 대하여 초기중력하중의 유무에 따라 회전각의 차이가 큼을 알 수 있다.

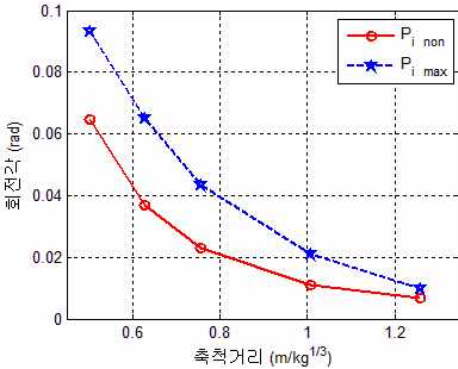


Figure 2. Relation between scaled distance and column rotation under blast load

Figure 3은 손상된 기둥의 잔여축력저항성능(P_{res})과 회전각과의 관계를 나타낸 것이다. 초기중력하중이 클수록 회전각이 크며, 따라서 잔여축력저항성능이 작음을 알 수 있다. 기둥의 회전각과 공칭압축강도로 정규화된 잔여축력저항성능은 중력하중의 유무와 관계없이 선형관계에 근사함을 보여준다.

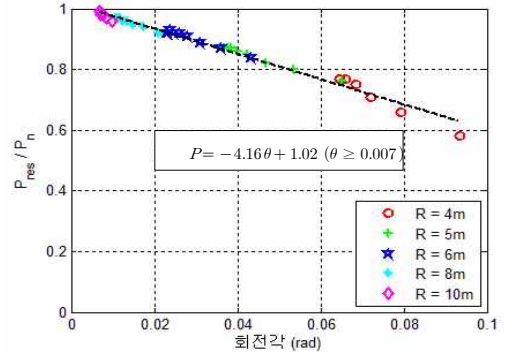


Figure 3. Relation between rotation and residual compressive strength of damaged columns

4. 결론

이 연구에서는 유한요소해석을 통해 초기중력하중을 고려한 H형강 기둥의 폭발 손상도와 손상된 기둥의 최대 잔여압축저항성능을 평가하였다. 축척거리가 가까울수록 초기중력하중에 의한 P-delta효과가 커서 기둥의 회전각이 급속히 증가하고, 이로 인해 최대 잔여압축강도도 급격히 감소함을 확인하였다. 이를 통해 기둥의 회전각과 잔여압축강도와의 선형관계를 도출하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원 ('09 첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- (1) Department of the Army. 1986. Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons, Washington DC.
- (2) 한국강구조학회. 2009. 강구조설계, 구미서관.
- (3) DoD. 2008. Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Unified Facilities Criteria, UFC 3-340-02.
- (4) LS-DYNA. 2005. LS-DYNA Keyword User's Manual, version 970, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.