

폭발물 이격거리에 따른 기둥의 손상도와 저항성능

Damage and Resistance of Columns Based on the Stand-off Distance from Explosives

노 지 은* · 이 경 구** · 정 린***

Roh, Jieun · Lee, Kyungkoo · Chung, Lan

요 약

최근 폭발 등 극한하중에 대한 관심의 증대와 함께 방폭 및 연쇄붕괴방지를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에, 본 연구에서는 폭발하중하의 강구조물의 손상도와 저항성능을 수치적으로 평가하고자 하였다. 이를 위해 구조물의 폭발피해경감을 위해 가장 중요한 구조부재인 기둥을 대상으로 폭발물과 구조물과의 이격거리를 달리하여 폭발하중을 적용하였다. 유한요소해석을 수행한 결과를 토대로 기둥의 손상도와 잔여압축강도를 비교하고 관계를 도출하였다. 본 연구의 목적은 폭발에 의해 기둥이 손상된 경우 구조물 전체의 연쇄붕괴저항성능에의 손상된 기둥의 기여도를 평가하는 것이다.

keywords : 강재기둥, 폭발하중, 이격거리, 손상도, 저항성능

1. 서 론

구조물의 연쇄붕괴방지를 위해서는 주요 구조부재인 기둥, 내력벽 등의 폭발피해를 최소화하고 구조시스템의 연성도 및 여유도를 충분히 확보해야 한다. 현재의 연쇄붕괴해석에서는 기둥의 완전소실을 가정하고 잔여 구조시스템의 연성 능력을 통해 연쇄붕괴저항성능을 평가하고 있다. 그러나, 실제로는 폭발에 의해 손상된 기둥에 압축강도가 존재하며, 이 압축저항성능이 구조물 연쇄붕괴저항에도 기여할 것이다.

본 연구에서는 구조물의 폭발피해경감을 위해 가장 중요한 구조부재인 강재기둥의 폭발에 의한 손상도와 잔여압축강도를 수치적으로 평가하고자 하였다. 이를 위하여 강재기둥을 대상으로 폭발물과의 이격거리를 달리한 폭발하중을 적용하고 손상된 기둥에 축력을 작용하는 연속된 유한요소해석을 수행하였다. 최종적으로 해석결과를 토대로 기둥의 손상도와 잔여압축강도와의 관계를 도출하였다.

2. 수치 해석

본 연구에서는 LS-DYNA 유한요소해석 프로그램(2005)을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석모델에서 강재기둥모델을 위해 높이 3.6m의 H-300×300×10×15 컴팩트 단면을 선택하고 4 절점의 쉘요소를 사용하였다. SM490 강재의 물성치(한국강구조학회, 2009)를 기본 재료모델로 하였고, 폭발하중에 의한 재료의 변

* 학생회원 · 단국대학교 건축공학과 석사과정 blur88@dankook.ac.kr

** 정회원 · 단국대학교 건축공학과 조교수, 교신저자 kkleee@dankook.ac.kr

*** 정회원 · 단국대학교 건축공학과 교수 lanchung@dku.edu

형률 속도 효과도 반영하였다.

폭발물로 승용차로 운반될 수 있는 대표적인 크기인 500kg의 구형 TNT를 가정하고, 경험적(empirical) 모델인 Conwep (Department of the Army, 1986) 하중모델을 통해 폭발하중을 산정하였다 (식 1, 2 참조).

$$P_{inc}(t) = P_{so} \left[1 - \frac{t - t_a}{t_o} \right] \exp^{-A \frac{t - t_a}{t_o}} \quad (1)$$

$$P_{ref}(t) = P_r \left[1 - \frac{t - t_a}{t_o} \right] \exp^{-A \frac{t - t_a}{t_o}} \quad (2)$$

여기서, $P_{inc}(t)$ =시간 t 에서의 입사폭발압력, $P_{ref}(t)$ =시간 t 에서의 반사폭발압력, P_{so} =최대입사압력, P_r =최대 반사압력, t_o =정압력 단계의 지속시간, t_a =폭발압력이 구조물에 도달한 시간, A =감쇠 상수.

기둥으로부터 TNT 중심까지의 이격거리(R)를 4, 5, 6, 8, 10m로 달리하여 폭발하중을 적용하는 변수해석을 수행하였다. (그림 1 참조)

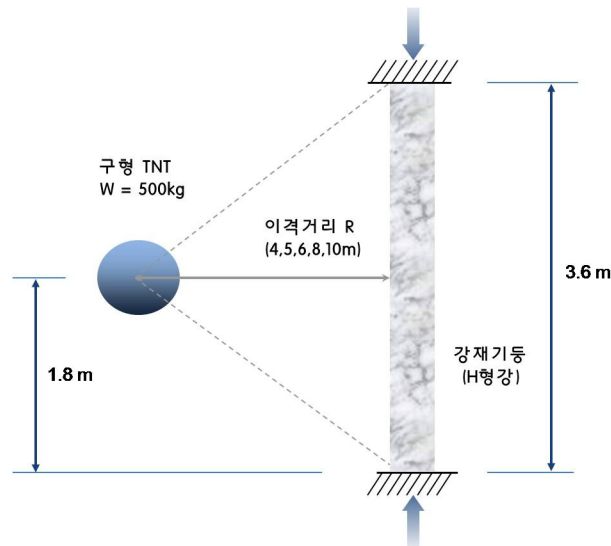


그림 1 폭발수치해석모델

3. 해석결과의 분석

3.1. 이격거리에 따른 손상된 기둥의 회전각

폭발물 이격거리에 따른 기둥의 회전각 시간이력곡선을 그림 2에 나타내었다. 회전각을 통해 기둥의 손상도를 평가하고자 함이다. 그림 2에서 보듯이 이격거리가 8m 이상인 경우 회전각이 매우 적고 6m 이하부터 회전각이 크게 증가함을 알 수 있다.

3.2 이격거리에 따른 손상된 기둥의 잔여압축강도

폭발에 의해 손상된 기둥의 수직변위와 잔여압축강도와와의 관계를 그림 3에 나타내었다. 잔여압축강도(P_{res})

를 손상이 없는 압축재의 최대압축저항성능(P_0)으로 정규화하여 비교하였다. 이격거리 8m이상에서는 압축강도의 감소가 없거나 적고, 이격거리 6m이하부터 급격히 감소됨이 볼 수 있는데 이는 그림 2의 회전각(손상도)과 직접적인 관계를 가짐을 보여준다.

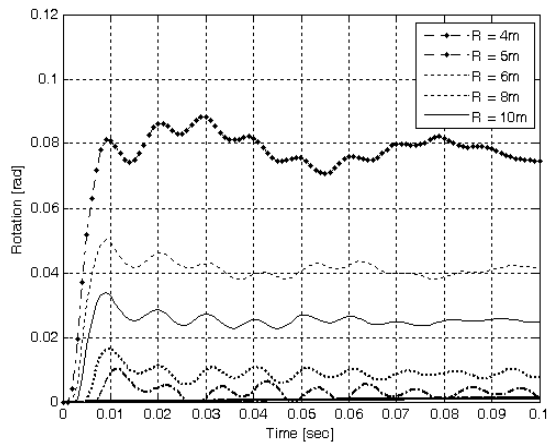


그림 2 이격거리에 따른 기둥의 수평변위 비교

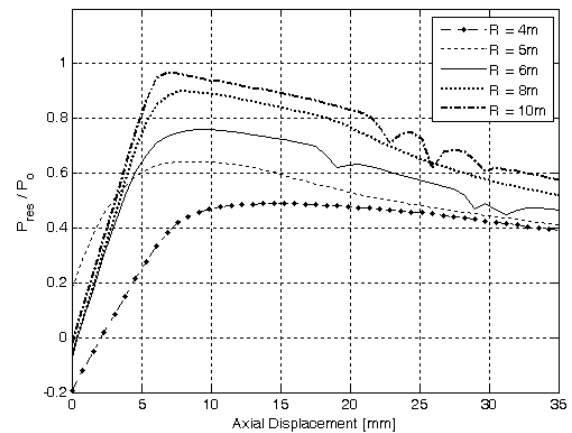


그림 3 이격거리에 따른 기둥의 잔여압축강도 비교

3.3 기둥 손상도와 잔여압축강도와의 관계

최종적으로 폭발하중에 의한 기둥의 회전각과 잔여압축강도비(P_{res}/P_0)와의 관계를 그림 4에 나타내었다. 기둥의 회전각과 잔여압축강도비는 선형관계에 가까움을 보여준다.

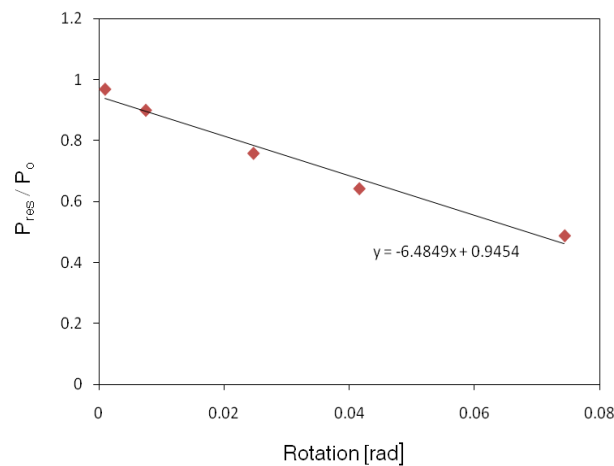


그림 4 회전각-잔여압축강도 곡선

4. 결 론

본 연구에서는 강구조물의 폭발피해시 가장 중요한 구조부재인 기둥을 대상으로 폭발물과 구조물과의 이

격거리를 달리하여 유한요소해석을 수행하였다. 수치해석을 통해 폭발하중에 의한 기둥의 손상도와 잔여압축강도를 평가하고, 기둥의 회전각과 잔여압축강도가 선형관계임을 도출하였다. 폭발에 의한 기둥의 손상도에 따라 기둥의 잔여압축강도가 구조물 전체의 연쇄붕괴저항성능에 상당한 기여를 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2011년도 초고층복합빌딩사업단(11첨단도시 A01)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

한국강구조학회 (2009) KBC2009 강구조설계, 구미서관.

Department of the Army (1986) Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons, Washington DC.

LS-DYNA (2005) LS-DYNA Keyword User's Manual, version 970, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.