

원통형 구조물의 발파해체설계에 대한 최신 발파해체 시뮬레이션 기법의 적용

박 훈^{1)*}, 석철기²⁾, 김승곤³⁾

Application of Advanced Blast Demolition Simulation Method to the Drill and Blast Design for Demolishing Cylindrical Structures

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

Abstract In order to complete successfully the demolition of a silo structure by means of felling method, structural properties and the geometric design of blast mouth have to be considered. In this study, a commercial software, 3-dimensional applied element analysis (3D AEM), was used to investigate the effect of the geometrical parameters of blast mouth on the collapse behavior of the silo structure.

Key words Blasting demolition, Cylindrical structure, Felling method

초 록 사일로와 같은 대단면 원통형 구조물을 전도시키기 위해서는 구조적 특성 및 사전 취약화를 위한 개구부의 조건을 고려하여 설계해야 한다. 본 연구에서는 원통형 구조물을 전도시키기 위해 구조적으로 동일한 원통형 구조물을 상용해석 프로그램인 3D AEM으로 모델링하여, 개구부의 조건으로는 개구부의 높이, 개구부의 각도, 개구부의 형태를 변수로 설정하여 이들 변수에 따른 원통형 구조물의 전도 붕괴 거동을 모사하고 분석하였다.

핵심어 발파해체, 원통형 구조물, 전도공법

1. 서 론

최근 사회기반시설의 확충 및 재정비 과정의 일환으로 기존의 산업구조물이 기능적인 요구 조건을 만족하지 못하고 있으며, 이러한 산업구조물에 대한 해체공사가 주요한 문제로 부각되고 있다. 산업구조물은 다양한 형태와 특수한 구조로 이루어졌으며, 대부분 경제성 확보를 위한 주변 시설물과의 연계된 생산 시스템을 갖추고 있다. 또한 대규모, 고강도, 고강성을 가지고 있는 경우에는 발파해체시 경험적인 방법으로는 해체하기가 어려워지고 있으며, 부적절한 설

계로 인해 사고가 발생할 수 있다. 따라서 발파 전에 다양한 수치 시뮬레이션을 통해 특정 변수에 대한 영향을 사전에 종합적으로 분석하는 것이 필요하다.

산업구조물 중에서 발파해체의 주대상이 되는 구조물로는 원통형 구조물인 굴뚝과 사일로를 이루며 일반적으로 전도공법을 적용하고 있다. 또한 주변공간이 협소한 경우에는 다절붕괴에 의한 원위치 붕괴를 유도하기도 한다(Wang et al, 2007; Zheng and Wei, 2007).

특히 사일로는 두꺼운 콘크리트 벽체로 구성되어 있으며, 일반적으로 슬립폼(slip form)에 의해 건설되므로 신축이음(expansion joint) 및 구조적 취약성이 없는 구조를 가지고 있으며(Elliot and Woolf, 2000), 또한 굴뚝에 비해 높이 대 지름의 비가 크지 않기 때문에 전도가 용이하지 않는 구조적 특성을 지니고 있다. 따라서 사일로와 같은 원통형 구조물을 전도시키

¹⁾ (주) 코리아 카코 연구원

²⁾ (주) 코리아 카코 대표

³⁾ 전북대학교 자원·에너지공학과 교수

* 교신저자 : hujin@chonbuk.ac.kr

접수일 : 2008년 5월 20일

게재 승인일 : 2008년 6월 8일

기 위해서는 구조적 특성 및 개구부의 조건을 고려하여 설계를 해야 한다(Stangenberg, 1994).

본 연구에서는 원통형 구조물을 전도시키기 위해 구조적으로 동일한 원통형 구조물을 모형화하였으며, 개구부의 조건으로 개구부의 높이, 개구부의 각도, 개구부의 형태를 변수로 설정하여 이들 변수에 따른 원통형 구조물의 전도 붕괴 거동을 모사하고 분석하였다.

2. 해석모델

해석대상 원통형 구조물은 국내 시멘트 사일로의 일반적인 규격으로 주요 제원은 Table 1과 같다. Fig. 1은 해석대상 원통형 구조물을 3D AEM(applied element

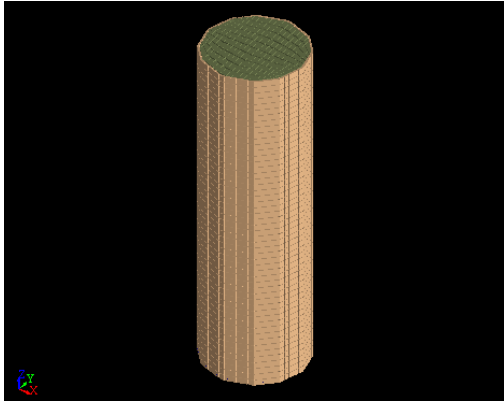


Fig. 1. Cylindrical Structure model used in ELS mesh.

method) 프로그램인 ELS를 사용하여 모델링한 결과를 보여주고(ASI, 2006), Fig. 2는 해석대상 원통형 구조물의 철근 배근 상태를 나타낸 것이다. 해석대상 원통형 구조물의 높이 대 직경의 비는 약 3.2이고, 철근 간격은 100mm, 스트립 간격은 200mm이다. 또한 신축이음이 없는 구조로 하기 위해 구조물 전체를 하나의 원통형 쉘구조로 모델링하였으며, 상부는 300mm 두께의 철근콘크리트 슬래브로 마감하였다. Table 2는 해석대상 원통형 구조물의 입력 물성을 나타낸 것이다.

3. 해석방법

원통형 구조물의 전도 붕괴 거동을 모사하기 위해 개구부의 조건으로 Table 3에 제시된 3가지 변수를 가지고 모사하였다. Fig. 3에서 Fig. 5는 각각 개구부의 높이, 개구부의 각도, 개구부의 형태에 따른 원통

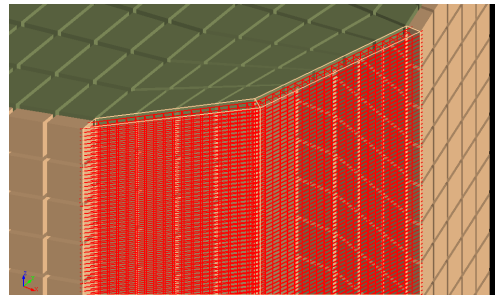


Fig. 2. Arrangement of reinforcement and stirrup.

Table 1. Specification Condition of Cylindrical Structure

Structure	Specification				
	Diameter (m)	Height (m)	Thickness (m)	Reinforcement	Stirrup
RC Shell	16.7	53.0	0.35	D25@100	D10@200

Table 2. Parameters of the analysis model for cylindrical structure

Parameter	Young's modulus (MPa)	Shear modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Specific weight (kg/m ³)
Value	2.4×10^4	9.7×10^3	3.0	29.4	2,500

Table 3. Geometric condition of blast mouth

Parameters	Terms		
	2m	4m	6m
Height	2m	4m	6m
Angle	188°	226°	250°
Shape	Rectangle	Trapezoid	Wedge

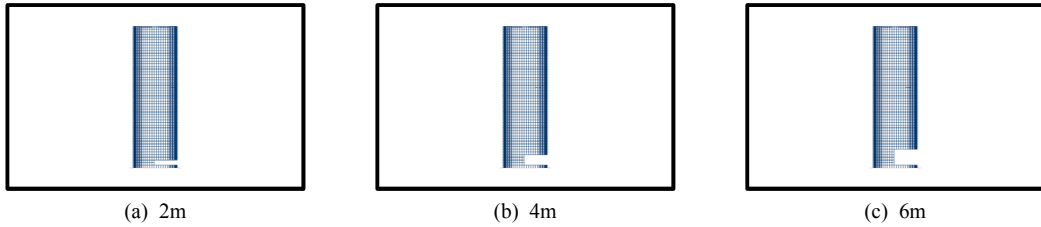


Fig. 3. Cylindrical structure models changed with the height of blast mouth.

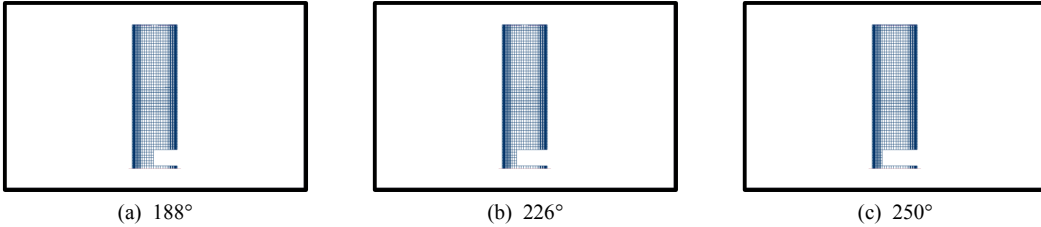


Fig. 4. Cylindrical structure models changed with the angle of blast mouth.

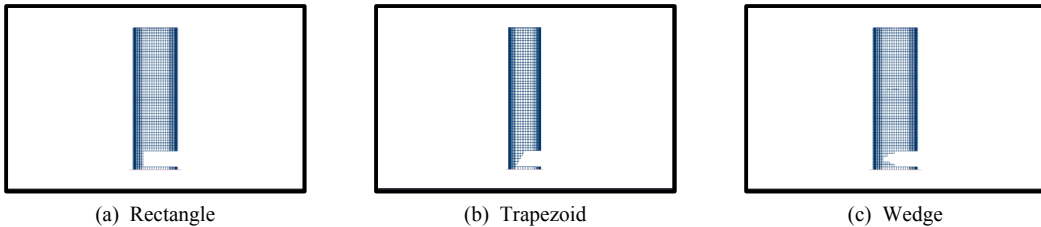


Fig. 5. Cylindrical structure models changed with the shape of blast mouth.

형 구조물의 모델이다.

발파는 개구부 전체가 동시에 0.01sec에 발파되는 것으로 설정하였으며, 10sec 동안 비선형 동적해석을 수행하였다. 또한 기상적인 조건들(풍하중, 지진하중 등)은 본 해석에서 제외하였다. 각 조건별로 개구부 중앙에서 원통형 구조물의 최상단 요소에 대해 시간에 따른 Z 방향의 낙하변위를 비교하였다. 또한 힌지부에 발생하는 Z 방향의 하중을 비교하여 후방전도(kick back)의 발생유무를 분석하였다.

본 논문에서 범례에 제시된 수치해석 모델명은 개구부의 형태-높이-각도를 의미한다. 예를들어 Fig. 6(a)의 R-2-188은 개구부의 형태는 사각형(Rectangle)이고 높이는 2m이며 각도는 188°인 모델의 수치해석 결과를 나타낸 것이다.

4. 해석결과

4.1 최상단부의 Z 방향 변위 비교

개구부 중앙에서 원통형 구조물 최상단 요소의 시

간에 따른 Z 방향의 변위는 다음 Fig. 6에서 Fig. 8과 같다. Fig. 6은 개구부의 각도와 형태가 동일한 경우에 개구부의 높이에 따른 Z 방향의 변위를 나타낸 것이다. 개구부의 높이가 증가할수록 시간에 따른 Z 방향의 초기 낙하변위는 거의 일정하지만, 전체적으로 시간에 따른 낙하속도가 증가함으로써 최초 지면에 충돌하는 시간이 짧아지는 경향을 나타낸다.

Fig. 7은 개구부의 높이와 형태가 동일한 경우에 개구부의 각도에 따른 Z 방향의 변위를 나타낸 것으로, 개구부의 각도가 증가할수록 시간에 따른 Z 방향의 초기 낙하변위가 증가하는 경향을 나타낸다.

Fig. 8은 개구부의 높이와 각도가 동일한 경우에 개구부의 형태에 따른 Z 방향의 변위를 나타낸 것으로, 개구부의 형태에 관계없이 시간에 따른 Z 방향의 초기 낙하변위는 거의 일정한 경향을 나타낸다. 또한 개구부의 각도가 188°인 (a), (d), (g)와 250°인 (c), (f), (i)인 경우에는 개구부의 상단과 지면과의 충돌 시간이 거의 일정한 경향을 보이거나, 226°인 (b), (e), (h)인 경우에는 개구부의 형태에 따라 지면과의 충돌 시간

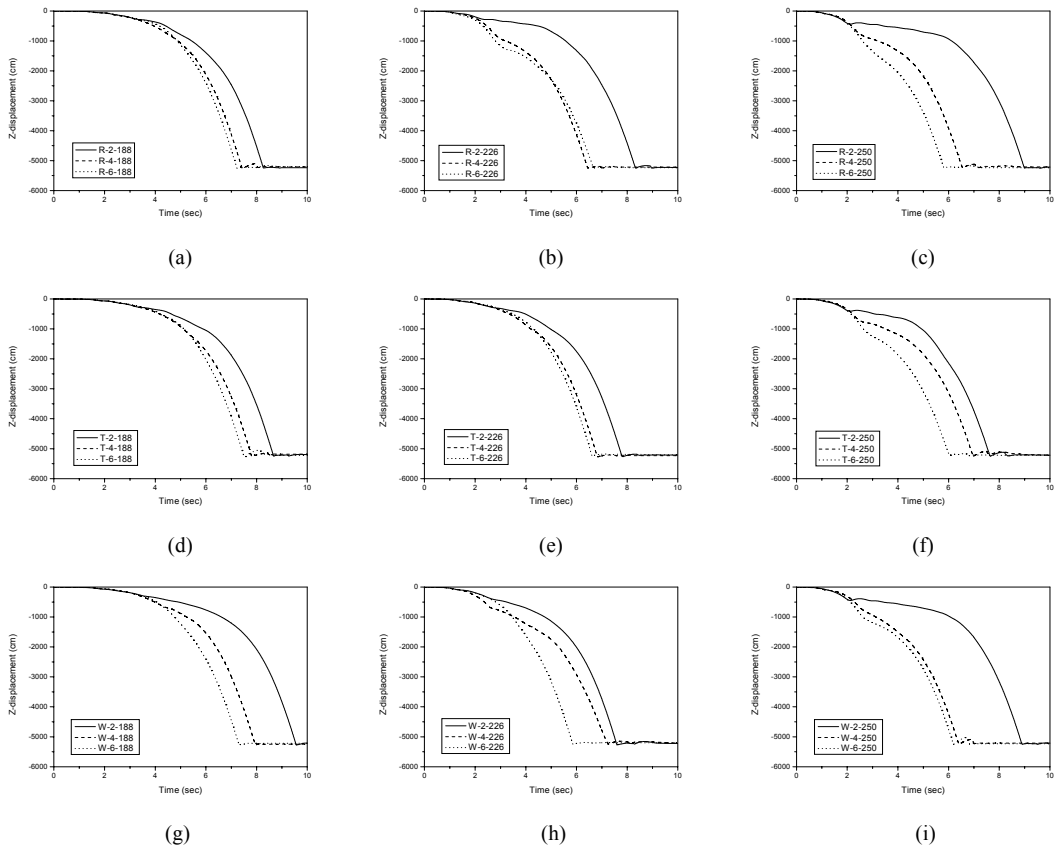


Fig. 6. Z-direction displacements of the right-top element changed with the height of blast mouth.

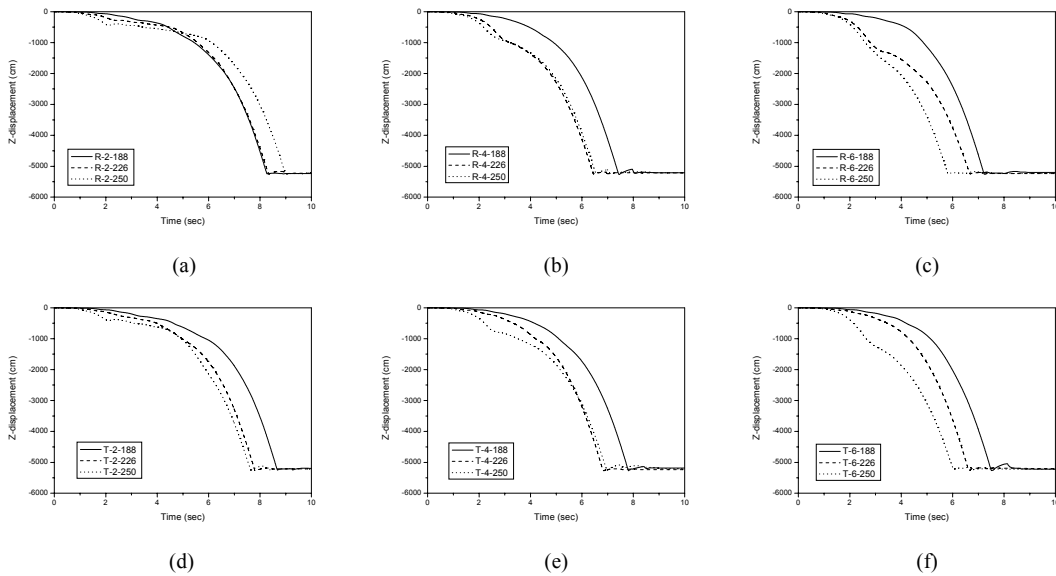


Fig. 7. Z-direction displacements of the right-top element changed with the angle of blast mouth. (Continued)

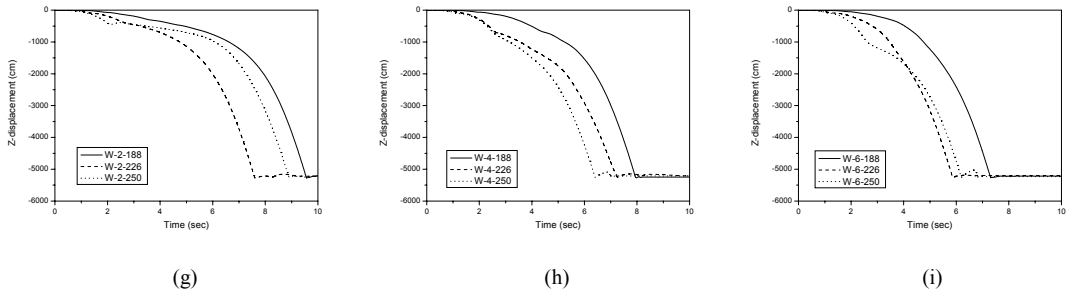


Fig. 7. Z-direction displacements of the right-top element changed with the angle of blast mouth.

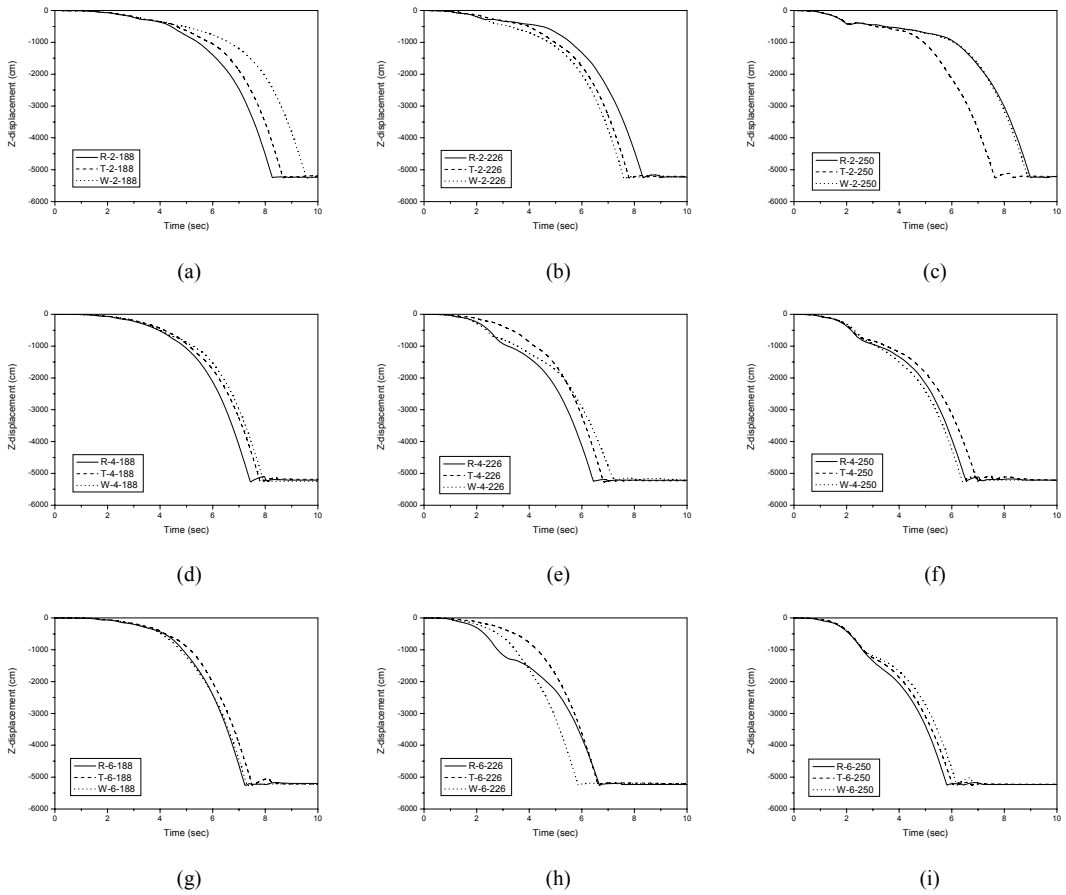


Fig. 8. Z-direction displacements of the right-top element changed with the angle of blast mouth.

이 다른 경향을 보인다.

4.2 힌지부의 Z 방향 하중 비교

원통형 구조물의 전도에 의한 발파해체에서 개구부의 발파 후 교대하중에 의한 상부하중이 재분배되면

서 회전모멘트가 발생하게 된다. 그러나 충분한 회전 모멘트가 발생하기 전에 상부하중에 의해 회전을 지지하는 힌지부의 파쇄가 먼저 발생되면 상부 구조물이 뒤로 밀리는 후방파쇄가 일어나서 계획되지 않은 결과를 초래하기도 한다. 따라서 개구부의 각도와 높이가

에 따른 힌지부에서의 Z 방향의 하중을 검토하였다.

Fig. 9는 시간에 따른 Z 방향의 하중을 개구부의 각도에 따라 비교한 것이다. 개구부의 높이에 관계없이 개구부의 형태가 사각형과 썰기형의 경우에는 개구부의 각도가 188°에서는 후방파쇄가 발생되지 않았으며, 226°와 250°에서는 후방파쇄가 발생하였다. 또한 사다리꼴의 경우에는 250°에서만 후방파쇄가 발생하였다.

후방파쇄가 발생되지 않은 경우는 힌지부의 하단이 회전모멘트에 의해 인장파쇄가 발생된 경우이며, 만약 힌지부의 상단이나 중간 부분에서 압축이나 인장 파쇄가 발생되면 원통형 구조물이 뒤로 밀리면서 후방파쇄가 발생하였다.

사다리꼴의 경우에는 힌지부의 하단이 상단보다 상대적으로 길기 때문에 하단에 응력집중 발생이 용이

하였으며, 썰기형의 경우에는 응력집중 발생이 용이한 썰기의 중심이 힌지부의 중앙에 위치하고 있기 때문에 힌지부의 중간 부분의 파쇄와 동시에 전체 부분이 거의 동시에 파쇄되었다.

개구부의 각도에 따라 초기 하중 작용 시간이 다르며, 개구부의 각도가 증가할수록 Z 방향의 초기 하중 작용 시간이 빠르게 발생하는 경향을 보였다.

Fig. 10은 시간에 따른 Z 방향의 하중을 개구부의 높이에 따라 비교한 것이다. 사각형과 사다리꼴의 경우에는 높이에 관계없이 각도가 증가할수록 힌지부에 작용하는 Z 방향 하중의 지지시간이 짧아지고 있다. 또한 높이에 관계없이 각도가 동일할 경우 힌지부에 작용하는 Z 방향의 초기 하중 작용 시간은 거의 일정함을 알 수 있다. 썰기형의 경우에는 힌지부의 전체가 거의 동시에 파쇄되므로 다른 형태보다 복잡한 하중

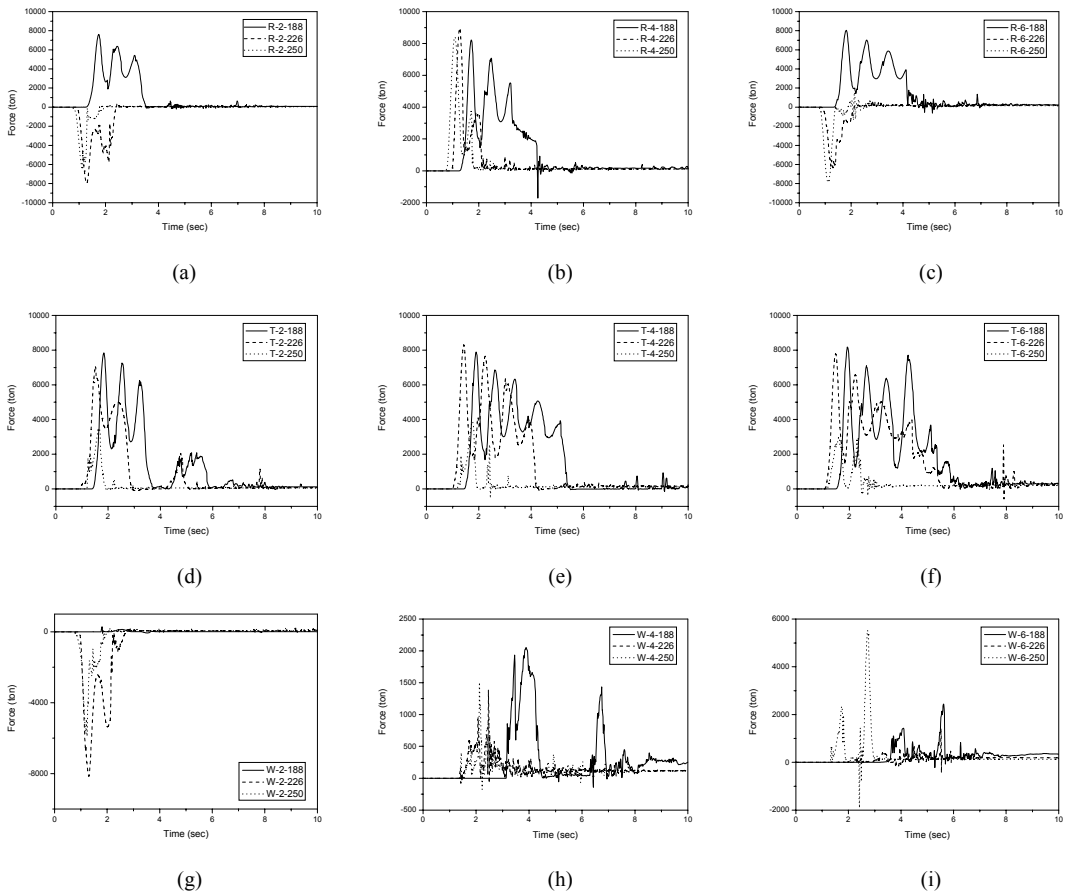


Fig. 9. Force-time histories on the hinge changed with the angle of blast mouth.

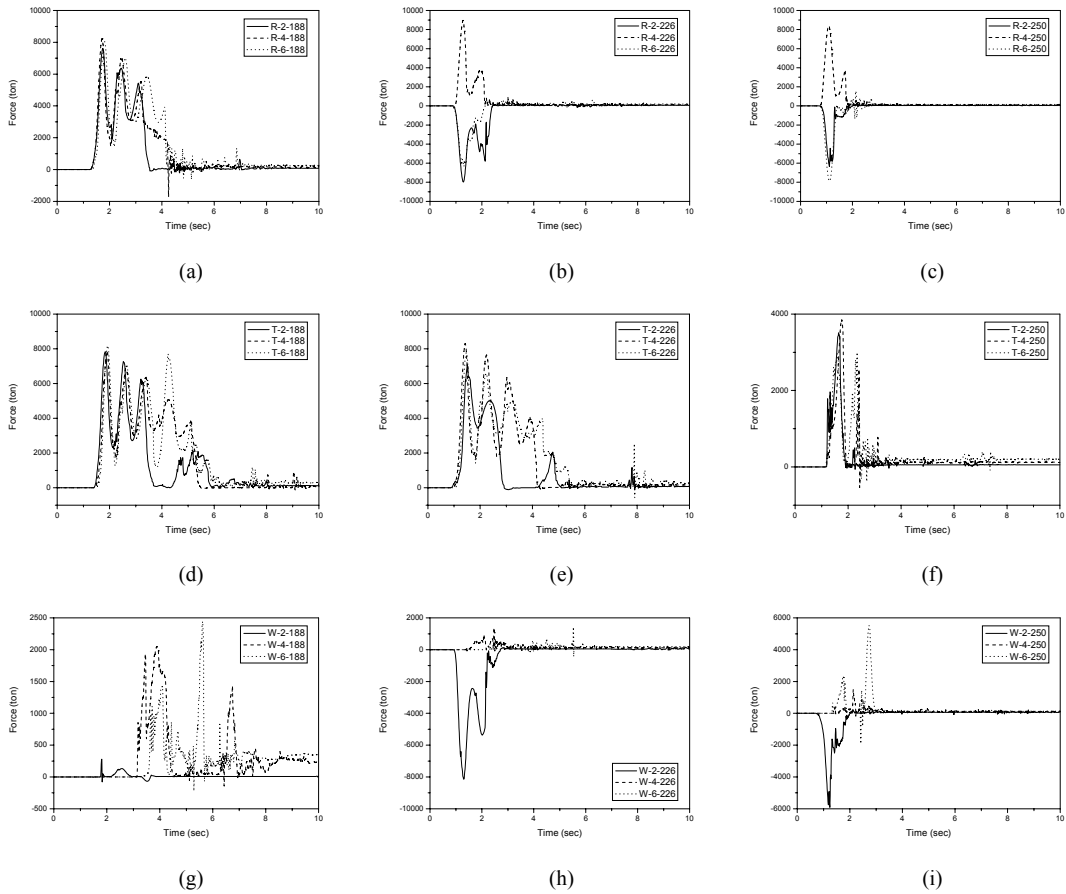


Fig. 10. Force-time histories on the hinge changed with the shape of blast mouth.

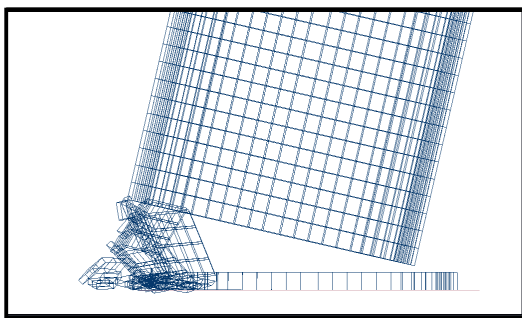


Fig. 11. Collapse behavior on the hinge of R-6-250 at 2.2sec after blasting.

발생을 보이고 있다.

Fig. 11은 개구부의 형태는 사각형이고, 개구부의 높이는 6m, 개구부의 각도는 250°인 원통형 구조물의 발파 후 2.2sec에서의 힌지부의 파쇄현상을 나타낸 것이다.

5. 결론

본 연구에서 원통형 구조물을 전도에 의해 발파해체할 때 변수인 개구부의 높이, 각도, 형태에 따른 원통형 구조물을 모사하여 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 개구부의 높이가 증가할수록 시간에 따른 Z 방향의 전체 낙하변위는 증가함으로써 최초 지면과의 충돌시간이 짧아지는 경향을 나타내었다.
- 2) Z 방향의 초기 낙하변위는 개구부의 높이와 형태 보다는 개구부의 각도에 의한 영향이 크며, 개구부의 각도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.
- 3) 개구부의 각도가 증가할수록 힌지부의 하중 지지 시간이 짧아지므로 후방파쇄가 발생할 가능성이 높아지며, 힌지부의 하단에 응력집중이 발생되도록 개구부의 높이와 형태를 고려해야 한다.

따라서, 원통형 구조물을 효율적으로 전도 해체시키기 위해서는 변수 중에서 개구부의 각도에 대한 영향을 먼저 고려해서 설계해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(과제번호: 06건설핵심B04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. ASI, 2006, Extreme Loading for Structures Technical Manual, Applied Science International, USA.
2. Elliott, R. J. and R. Woolf, 2000, Demolition blasting of reinforced concrete structures, EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE-WORLD CONFERENCE, pp. 397-404.
3. Stangenberg, F., 1994, Blast Demolition of Reinforced Concrete Industrial Chimneys, International symposium Spatial, lattice and tension structures, pp. 290-299.
4. Wang, X., K. Zhang, F. Zhou and F. Zhan, 2007, Vibration Test in Demolition Blasting of a 152.8-Meter-High Chimney in Huangdao Power Plant, APS blasting 1, Vol. 1, pp. 301-303.
5. Zheng, B. and X. Wei, Modeling Studies of High-rise Structure Demolition Blasting with Multi-folding Sequences, APS blasting 1, Vol. 1, pp. 326-332.



박 훈

(주) 코리아 카코 연구원

Tel : 02)834-4590
E-mail : hujin@chonbuk.ac.kr



석 철 기

(주) 코리아 카코 대표

Tel : 02)834-4590
E-mail : kacoh@hanmail.net



김 승 곤

전북대학교 자원·에너지공학과 교수

Tel : 063)270-2365
E-mail : kimsk@chonbuk.ac.kr