

철근콘크리트 기둥폭파 및 방호재료 특성에 대한 실험적 연구

류창하¹⁾, 최수일²⁾, 박용원²⁾, 김양준²⁾

1) 한국자원연구소

2) 코오롱건설 기술연구소

1. 서 론

건물발파해체 설계 및 시공에 있어서 중요한 공정의 하나는 불안정성을 유도하도록 실시하는 건물의 주요 지지부 기둥에 대한 발파이다. 이와 관련된 요소기술로는 기둥단면에 따라 천공패턴을 결정하고 적정장약량을 산정하는 것과 폭파시 파괴된 파편의 비산에 대한 방호기술을 들 수 있다. 비산은 인접건물에 대한 피해와 인명사고들을 유발할 수 있으므로 사전에 철저한 대책이 강구되어야 할 대상이다. 비산에 대한 피해발생은 국내.외에서 종종 발생하고 있으며 이에대한 방호대책은 발파해체시 주요 과제의 하나가 되고 있다. 본 연구에서는 실험적 관찰을 통하여 비산의 양상을 정량적으로 검토하고 방호대책수립을 위한 기초자료를 도출하기 위한 목적으로 수행되었다. 실험크기의 철근 콘크리트 기둥을 제작하고 이에 대한 폭파시험 및 방호재료 특성에 관한 시험을 실시하였다.

2. 실험방법

2.1 시험기둥제작

폭파시험을 위한 철근 콘크리트 기둥은 국내 저층건물에서 많이 시공되고 있는 450 x 450 x 1,800 mm (기둥 I) 와 600 x 300 x 1,800 mm (기둥 II)의 두가지 형태로 제작하였고 철근배근량은 주근이 직경 18 mm x 8 개, 띠철근이 직경 10 mm, 300 mm 간격이며 대각띠철근은 직경 10 mm, 900 mm 간격으로 하였다. Fig. 1은 철근 배치도를 보여준다. 콘크리트의 압축강도가 210 kgf/m² 이상을 유지하기 위하여 No 325 slag 시멘트를 사용하였으며 조성은 시멘트 : 모래 : 자갈 = 1 : 1.59 : 3.05로 하였고 물/시멘트 비율은 0.52로 하였다. 콘크리트 양생기간은 1달 이상이 있으며 강도를 측정하기 위하여 강도실험을 위한 시험편을 같은 재료로 부터 제작하였다. 시험편크기는 15 x 15 x 15 cm 이었다. 강도실험결과 압축강도는 평균 334 kgf/m² 로 측정되었다.

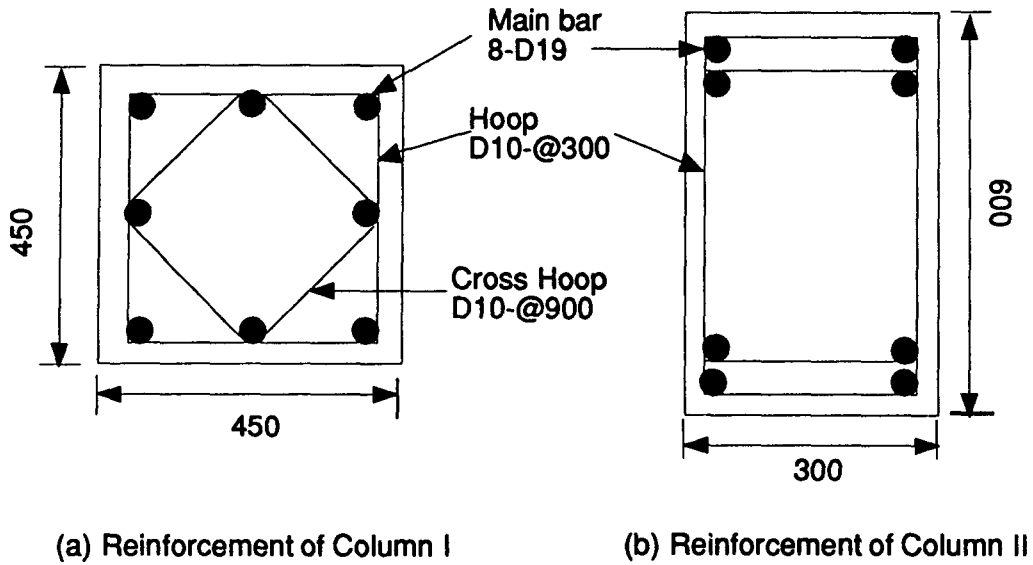


Fig. 1. Diagram Showing Reinforced Test Specimen Column

2.2 발파관련 변수설계

2.2.1 장약공 패턴

장약할 공의 직경은 36mm로 하였으며 기둥 전단면이 450 x 450 mm 일때는 구멍의 간격을 400 mm, 구멍의 깊이를 300 mm로 하고 3개공을 배열시켰다. 기둥 전단면이 600 x 300 mm 일 때는 구멍의 간격을 300 mm, 깊이를 400 mm로 하고 모두 4개공을 배열시켰다.

2.2.2 폭약

폭약은 종류가 다양하고 경우에 따라 선택하는 변수이다. 본 실험에서는 실험비의 제약상 여러종류에 대한 효과보다는 비산 및 방호특성 규명에 초점을 두어 중국에서의 폭발해체에 주로 사용하는 안전도가 높은 질산암모니움을 사용하고 성분비교를 통하여 기타 폭약류와 비교할 수 있도록 하였다. 실제 초속도의 예측이나 필요장약량의 산정은 폭약자체의 이름보다 폭약의 일반적인 성능을 이용하여 정량화할 필요가 있다. Table 1은 사용된 폭약의 특성을 보여준다.

U. Langefors에 의해 제안된 방법에 의하면 폭약의 강도 S는 35% NG 표준 다이ना마이트 (강도 S=1)와 비교하여 계산할 수 있다. 사용된 폭약의 강도는 0.833에 해당한다.

2.2.3 비장약량 (Specific charge)

비장약량은 1차 1.0 - 1.25 kg/m³ 를 취하여 공당 장약량을 산정하고 시험발파를 실시하고 재조정하였다. 450 x 450 mm 기둥의 경우 공당 81 - 100 g에 해당하며, 600 x 300 mm 기둥의 경우 공당 57 - 80 g에 해당한다.

Table 1. Characteristics of explosive used in experiment

Diameter	32mm
Density	0.95 - 1.10 g/cm ³
Detonation Velocity	3,286 m/sec
Oxygen Balance	3.36%
Specific Volume	922 l/kg
Explosion Heat	3,831 kJ/kg

2.2.4 장약 및 기폭방법

시험기둥 I에 대한 장약은 공저부분에 장약을 하고 역기폭을 하였다. 시험기둥 II는 옆면에 대한 저항선이 15 cm 이하이고 공깊이가 깊고 장약길이가 짧게 됨을 고려하여 발파효율을 높일 수 있도록 2부분으로 나누어 분산장약을 하고 역기폭을 하였다. 뇌관은 동시에 기폭하기 위하여 순발뇌관이 사용되었다. 장약 및 기폭에 대한 상세도는 Fig. 2와 같다.

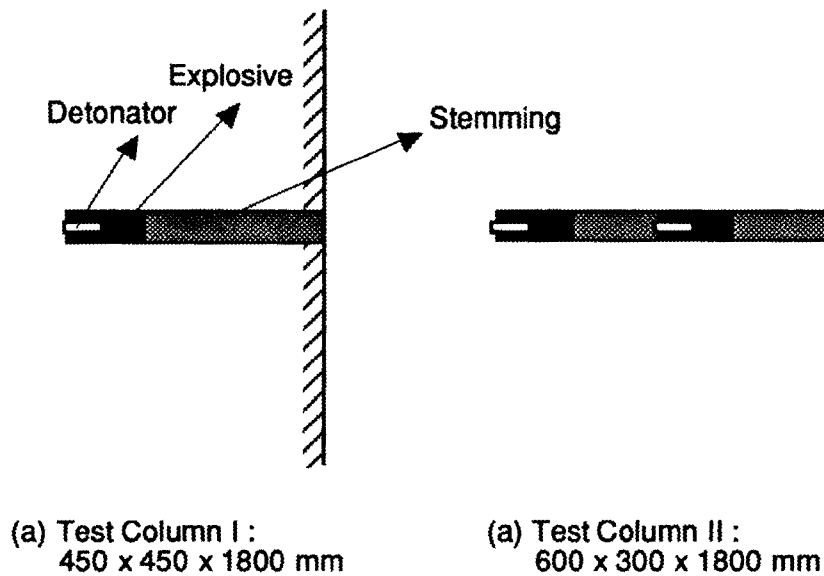


Fig. 2. Diagram Showing Charge Structure

2.3 고속카메라 촬영

2.3.1 고속카메라를 이용한 계측시스템

실험에 사용된 고속카메라 모델 LBS-16A의 주요 규격은 Table 2와 같다.

Table 2. Specification of High Speed Camera Model LBS-16A

Frame Rate: 100 – 8,000 frame/sec

Image Size: 7.5 x 10.4 mm

Film Capacity: Max. 120 m/case

Dynamic Resolution: 40-55 line pair/mm

Shutter Factor: 1/2.9

Time Scale: 5 settings of 100, 500, 1000, 5000, and 10,000 Hz

Technical Features:

Focal Distance	38	100	500
Relative Aperture	1:3	1:3	1:3
Field Angle	19° 7'	7° 24'	1° 30'

Fig. 3은 고속카메라를 이용한 계측시스템을 보여준다.

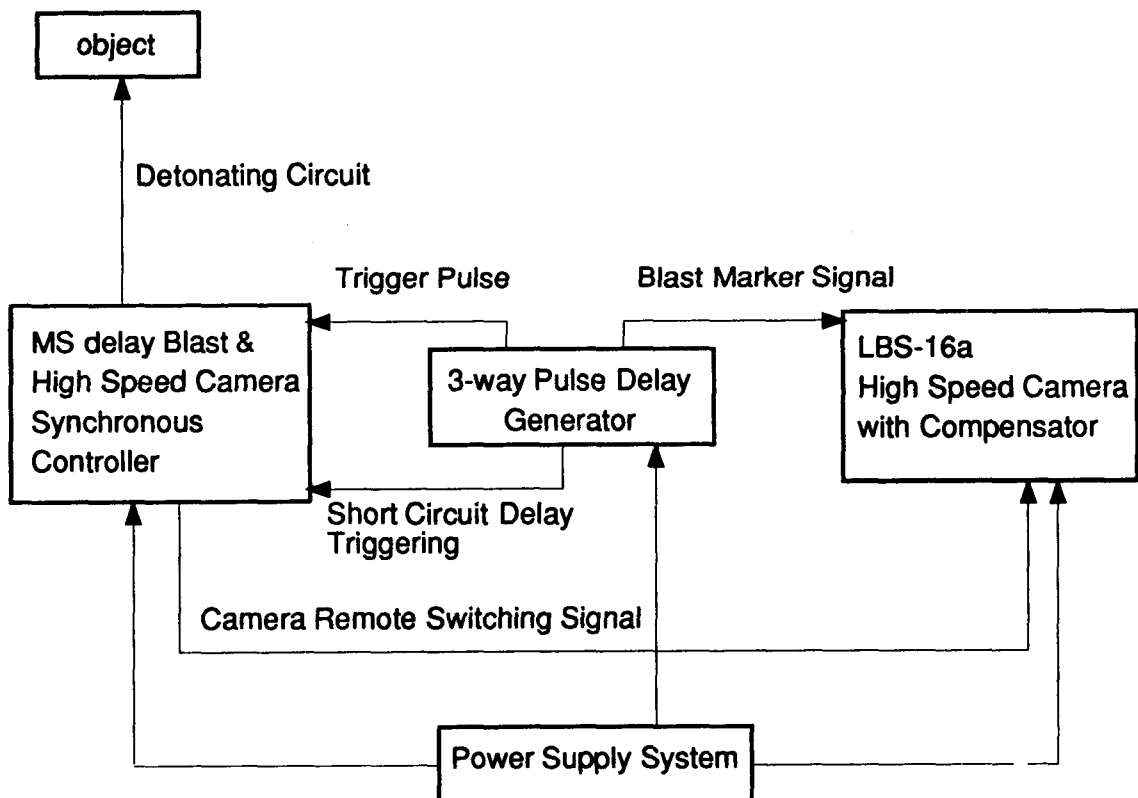


Fig. 3. Diagram of High Speed Photo Testing System

2.3.2 설치 및 조명

발파시 콘크리트 기둥이 파괴되어 비산되어 가는 모습을 촬영하기 위하여 장약공을 향하여 고속카메라를 설치하고 철망을 대어 카메라를 보호하였다. 실험동 내에서의 시험발파시에는 별도로 조명을 하였으나 4차례의 시험발파 결과 영상이 뚜렷하지 않아 외부에서 자연조명(빛)을 이용하여 촬영하였다.

2.4 시험계획

방호재료는 철망과 부직포 2종류를 사용하였고 방호재료가 없을 때와 방호재료를 한 경우 효과를 비교 검토하였다. 철망은 3mm 직경의 철선으로 5 cm x 5 cm 격자가 되도록 하였으며 부직포는 남산아파트 폭파해체 시공시 사용하였던 코오롱 제품의 것과 일반 보온 덮개용(약 5 mm 두께)을 사용하였다. 2종류의 철근 콘크리트 기둥에 대하여 다음과 같은 실험을 실시하였다. 여기서 부직포 A는 남산시공시 사용하였던 재질이며 부직포 B는 일반 보온덮개용이다. 부직포 A는 코오롱 섬유제품으로 100% 폴리에스터 장섬유를 사용하여 Spun Bond 법에 의해 제조된 것이다. 재료의 물성은 인장강도 15kgf/cm², 신장률 70-100%, 인열강도는 10 kgf이었다.

- 1) 장약량 결정을 위한 시험발파 4회
- 2) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 부직포 B 1겹
- 3) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 부직포 B 1겹
- 4) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 부직포 A 1겹
- 5) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 부직포 A 1겹
- 6) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 철망 1겹
- 7) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 철망 1겹
- 8) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 철망 1겹+ 부직포 B 1겹
- 9) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 철망 1겹+ 부직포 B 1겹
- 10) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 철망 1겹+ 부직포 A 1겹
- 11) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 철망 1겹+ 부직포 A 1겹
- 12) 기둥 I (450 x 450 x 1800) + 부직포 B 1 & 2겹 + 부직포 A 1겹 (일정거리 위치)
- 13) 기둥 II (600 x 300 x 1800) + 부직포 B 1 & 2겹 + 부직포 A 1겹 (일정거리 위치)

3. 시험결과 및 분석

3.1 시험발파 및 결과

시험발파는 적정 장약량의 추정과 고속카메라 촬영을 위한 frame rate의 적정성, 조명의 세기 등 여러가지 시험변수를 검토하기 위하여 실시되었다.

1차 실험은 450 x 450 mm 기둥(이하 기둥 I로 표현)에 대하여 실시하였으며 장약공에서 나오는 연기 및 물질로 카메라 판독에 어려움을 예상하여 장약공 반대면을 고속카메라로 향하게 하고 장약공의 위치를 표시하고 종이를 일정 간격으로 붙여 거리 척도로 사용하였다. Fig. 4는 시험기둥의 설치도이다.

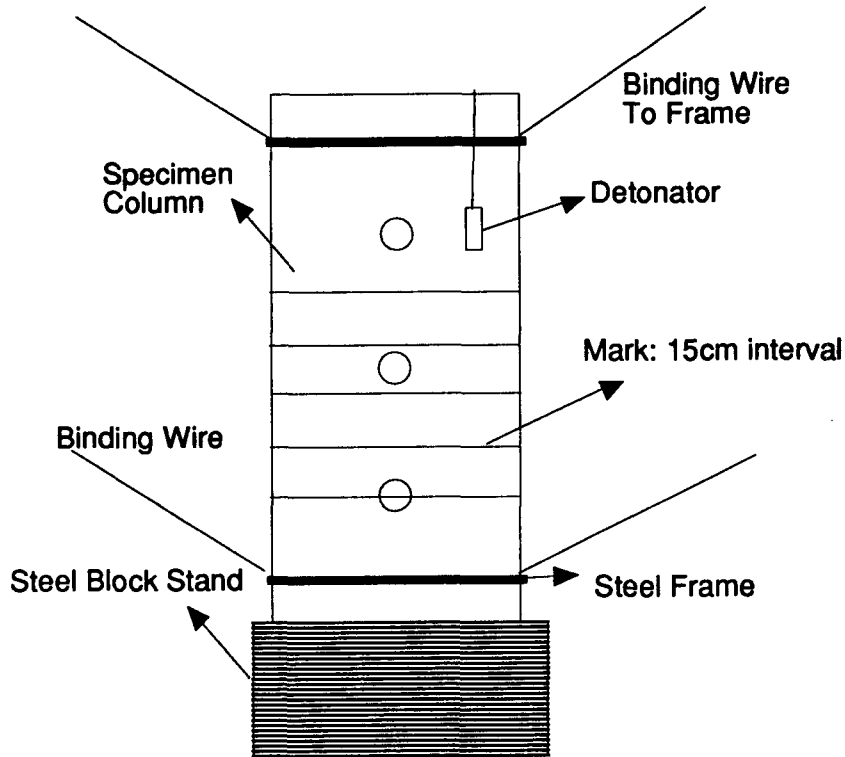


Fig. 4. Setup of Test Specimen Coulmn

폭약은 질산암모니움을 공당 100g 씩 장약하고 전색은 흙에 약간의 물을 섞어 진흙처럼 반죽하여 다짐을 하였고 폭발시간의 지표로써 뇌관을 바깥에 위치시키고 동시에 점화하였다.

시험발파 결과 및 비장약량 결정

1차 시험발파결과는 철근까지 빠질 정도의 효과를 보여 공당 장약량 100 g이 너무 많은 것으로 판단하고 기둥 I에 대하여는 장약량을 1/2로 줄여 2차 실험을 실시하였다. 2차 시험발파는 철망으로 방호를 하고 장약량을 1/2로 하여 (비장약량, $q = 0.615 \text{ kg/cm}^3$) 실시하였다. 2차 시험발파결과 콘크리트는 매우 적당하게 파쇄되었으며 따라서 450 x 450 mm 기둥에 대한 본실험에서는 비장약량을 0.7 kg/cm^3 으로 결정하였다. 3차 시험발파는 기둥 II (600 x 300 x 1800 mm) 기둥에 대하여 $q = 0.7$ 로 38 g을 공당 두 부분에 분할하여 장약하였다. 발파결과는 콘크리트도 완전히 파쇄되지 않고 형상이 그대로 유지되었으며 철근 배치 및 띠철근이 기둥 I 보다 훨씬 강하게 배치된 효과로 판단되었다. 따라서 장약량을 30 g씩 분할 공당 60 g 장약하고($q = 1.1$) 철망을 씌운 후 4차 시험발파를 실시하였다. 4차 시험발파 결과 콘크리트는 모두 적정하게 파쇄되었으며

따라서 기둥 II에 대한 본 발파실험에서의 장약량은 비장약량 $q=1.3$ 인 공당 70 g으로 조절하였다. 시험발파결과를 요약하면 Tabel 3과 같다.

Table 3. Summary of test blasting results

Test Column	Charge Weight per hole (g)	Specific Charge (kg/m^3)	Description of Test Results	Remarks
I	100	1.23	Shattered column; bars pulled out; too much charge	450 x 450 x 1800 mm
I	57	0.7	Broken hole area; bars bulged at sides; good result	w/ wire mesh
II	38	0.7	Local hole area broken but not fallen; too small charge	600 x 300 x 1800 mm
II	60	1.1	Broken hole area in large lumps; insufficient charge	adjusted to $q = 1.3$

3.2 방호재 특성에 대한 고찰

본 실험은 상기 2종류의 기둥에 대하여 부직포 2종류와 철망에 대한 방호효과를 검토하기 위한 목적으로 실시되었다. 기둥 I에 대한 비장약량은 $0.7 \text{ kg}/\text{m}^3$ 이었으며 공당 장약량은 57 g, 총 장약량은 171 g이었다. 단면에 3 개의 공을 천공하였다. 기둥 II에 대한 비장약량은 $1.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 이었으며 공당 장약량은 70 g, 총 장약량은 280 g이었다. 단면에 4개의 공을 천공하고 각 공은 분할 장약하여 공당 2개의 뇌관을 사용하였다.

발파결과를 요약하면 Table 4와 같다.

Table 4. Description of Test Results

Test Column	Protection Method	Description of Results	
		Protection Material	Test Column
I	B	-ditto-	Concrete completely shattered and thrown away in hole area, bars exposed; a part of 25-35 cm thick at column ends not shattered but cracked

Table 3. Description of Test Results (continued))

Test Column	Protection Method	Description of Results	
		Protection Material	Test Column
II	B	Completely torn, a great part thrown away with flying chips	Concrete shattered in hole area, a great part thrown away, bars exposed; a part of 30-40 cm thick at column ends not shattered but cracked
I	A	Non-woven fabric torn, a part thrown away	Column toppled, 8 bars all pulled out; a part of 35-40 cm thick not shattered but cracked
II	A	Non-woven fabric joint forced apart, torn holes at some part, but still hung on column	Concrete shattered and thrown away in hole area, bars loosened ; a part of 40-50 cm thick at column ends not shattered but cracked
I	C	3 torn holes of about 100 cm ² , the rest in good condition	Concrete shattered in hole area, all fallen on removal of wire mesh; a part of 33-41 cm thick at ends not shattered
II	C	A torn hole of 500x300 mm over column face with blast hole, the rest in good condition	Concrete in hole area shattered, all fallen on removal of wire mesh; a part of 20-30 cm thick at ends not shattered but cracked
I	B + C	Torn holes on both materials	Broken pieces all fallen on removal of protective materials; a part of 35 cm thick at ends not shattered
II	B + C	Grey fabric torn, wire mesh partially torn at blast holes and at right side	Concrete in hole area shattered, all fallen on removal of protective materials; a part of 40-45 cm thick at ends not shattered

Table 3. Description of Test Results (continued))

Test Column	Protection Method	Description of Results	
		Protection Material	Test Column
I	A + C	Only lap joint of white fabric torn apart	All broken pieces fallen on removal of protection; a part of 40-44 cm thick at ends not shattered
II	A + C	White fabric torn, wire mesh damaged with many torn holes	Concrete at blast hole area shattered; a part of 40-44 cm thick at ends not shattered
I	A + B	White fabric thrown away by 7 m; grey fabric at left side torn to strips, many torn holes at right side and shifted backwards over 1m	Concrete shattered and thrown away; a part of 45 cm thick at ends not shattered but seriously cracked
II	A + B	All fabric torn	Concrete at hole area shattered and thrown away; a part of 27-35 cm at ends not shattered

4. 결론

적정파쇄에 필요한 장약량은 비장약량개념에서 비교하여 볼 때 콘크리트의 강도외에 철근의 배치가 매우 중요한 역할을 하고 있는 것으로 나타났으며, 방호재로서 철망간격의 크기, 연결방법 등의 영향이 관찰되었다.

철근배치에 따라 적정 비장약량은 0.62 kg/cm³에서 1.1 kg/cm³의 차이를 보여 주었다. 콘크리트 파쇄물 입도는 5 cm x 5 cm 격자의 철선보다 작은 크기가 상당량 발생하고 있으나 입도분포가 장약공에서 자유면을 향하여 크게 분포함에 따라 자유면부근의 큰 크기를 가진 파쇄물이 내부의 작은 입도를 가진 파쇄물이 비산되는 것을 상당량 억제하고 있음이 관찰되었다. 가스압의 작용을 조절하는 방법에 따라 파쇄물의 가속현상이 좌우되고 있으며 가스방출을 효율적으로 하는 방법이 비산의 위험을 감소시킬 수 있는 주요 변수가 되는 것으로 나타났다. 시험에 사용된 부직포 A는 작은 파쇄물의 비산까지 억제할 수 있는 충분한 재질로 나타났으나 가스압의 제어에

어려움이 있었다. 따라서 가스압 방출효과를 고려하여 1차 방호재로서 철망의 사용과 2차 방호재로서 부직포의 설치는 비산방지에 매우 큰 효과를 가져올 수 있는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 건설교통부로부터 건설교통기술연구개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었다. 국내에는 발파실험동이 없는 관계로 중국의 建井研究所(Central Coal Mining Research Institute) 폭파실험동을 이용하였으며 실험에 협조를 준 建井研究所 Ni Shishun, Sha Wenjian과 중국과학원 Jin Xing Nan 선생께 감사를 드린다.

참 고 문 헌

R. Saito, N. Kobayashi & Y. Yoshida, 1988, Blasting Demolition of Model Reinforced Concrete Pillars, Demolition and Reuse of Concrete Masonry, vol.1, Proc. 2nd Int. Symp. on RILEM, pp. 79-87.