

축소모형 철근콘크리트 기둥에서 철근의 노출길이와 수직하중에 따른 발파공수와의 상관성 분석

박 훈¹⁾, 유지완²⁾, 이희광²⁾, 송정언²⁾, 김승곤²⁾

Analysis of Correlativity with the Number of Blasting Holes Due to Exposed Length of Steel Bars and Vertical Load on Scaled Reinforced Concrete Columns

Hoon Park, Ji-Wan Yoo, Hee-Gwang Lee, Jung-Un Song and Sung-Kon Kim

Abstract : In this paper, the 1/5 scale models of the reinforced concrete columns were designed and fabricated. The influence of the number of blasting holes on the exposed length of steel bars and vertical load was investigated. The relation between the length of steel bar and the number of blasting holes was examined by performing the blast tests considering the vertical load on the scaled reinforced concrete columns. Weight of scaled column models by blasting and that of exposed was compared with the number of blasting holes. Finally, based on the exposed length of steel bars and vertical load, the number of blasting holes were calculated. Results shows that the number of blasting holes calculated in this study are suitable for scaled structure models test by blasting demolition.

Key words : exposed length of steel bars, weight ratio, scale model, blasting demolition

초 록 : 본 연구에서는 1/5 축소모형 철근콘크리트 기둥을 이용하여 철근의 노출길이 및 수직하중과 발파공수와의 관계에 대해 연구하였다. 축소모형 철근콘크리트 기둥에 수직하중을 재하하여 철근의 노출 길이와 발파공수와의 관계를 비교하였다. 또한 발파된 축소모형 기둥의 무게와 철근이 노출된 축소모형 기둥의 무게를 발파공수와 비교하였다. 축소모형 철근콘크리트 기둥에 대한 시험결과로부터 철근의 노출길이 및 수직하중을 바탕으로 축소모형 철근콘크리트 기둥의 발파공수를 산정할 수 있으며, 이를 축소모형 구조물에 적용할 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 철근의 노출길이, 무게비, 축소모형, 발파해체

1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 주부재인 보와 기둥의 발파해체에 관한 연구는 원형 모델(prototype model)에 대한 발파 후 파쇄형태, 철근의 휨과 절단, 방호재의 방호효과, 비산 등에 관한 기초적인 연구를 수행하였다. 이를 기초로 원형 모델의 장

약량과 천공위치, 천공수를 조절하였다. 일반적으로 구조해석상 철근콘크리트 기둥은 상하 고정단으로 해석하며, 일부 기초보가 없는 철근콘크리트 기둥의 경우에는 하단부를 반자유단으로 해석한다. 그러나 원형 모델 실험은 상하단부가 자유단인 조건에서의 결과를 제시하고 있으며, 단부 조건을 제어하기 위해서는 대규모의 실험기기 및 실험장소가 요구된다(Kumar et al., 1997 ; 김남식 외, 2003 ; 김남식 외, 2004).

축소모형 기둥의 발파해체는 실험기기의 규모 및 실험 장소에 따라 상·하단부의 단부 조건을 제어할 수 있는 장점이 있어서, 원형 철근콘크리트 기둥의 위치에 따른 상·하단부에 재하되는 하중의 조절이 가능하다(김승곤 외, 2002).

1) 전북대학교 공업기술연구소 객원연구원

2) 전북대학교 자원·에너지공학과

* Corresponding author : hujin@chonbuk.ac.kr

접수일 : 2007년 5월 18일

게재승인일 : 2007년 11월 27일

본 연구에서는 철근콘크리트 기둥을 압축부재 단면의 길이에 대해 1/5로 축소하고, 축소모형 재료로 역학적 특성이 유사한 축소모형 콘크리트 및 철근을 선정하여 축소모형 철근콘크리트 기둥을 콘크리트 표준시방서, 콘크리트 구조설계기준에 준하여 제작하였다(박훈 외, 2007).

축소모형 철근콘크리트 기둥에 수직하중을 재하하여 축소모형 철근의 노출 길이와 발파공수와의 관계를 비교하였고, 뇌관을 기폭제로 하여 발파공수에 따른 축소모형 기둥 발파의 무게비와 축소모형 철근이 노출된 축소모형 기둥의 무게비를 비교하여 발파공수와의 관계를 고찰하였다.

2. 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험

2.1 축소모형 노출 기둥 제작 및 시험방법

본 연구에서는 축소모형 철근콘크리트 기둥의

철근을 노출시킨 상태에서 UNIT에 따른 수직 하중에 의한 축소모형 기둥의 좌굴 영향을 검토하였다. 축소모형 주기둥과 보조기둥을 철근이 노출된 상태에서 UNIT에 따라 양생하였다. 이때 UNIT 1은 뇌관 1개에 의한 1공을 발파할 때, UNIT 2는 2공을 발파할 때, UNIT 3은 3공을 발파할 때, 그리고 UNIT 4는 4공을 발파할 때 파쇄되는 가상의 파쇄체적을 나타낸다.

좌굴시험은 (주)경도케이디피에서 제작한 만능시험기를 이용하여 수행하였다. 철근이 노출된 주기둥과 보조기둥에 수직하중을 재하하여 기둥이 완전히 좌굴할 때까지의 하중을 측정하여 좌굴강도를 계산하였다. Table 1은 철근이 노출된 축소모형 기둥의 제원을 나타낸 것이며, Fig. 1과 Fig. 2는 각각의 UNIT별로 철근이 노출된 주기둥과 보조기둥의 모형을 도시한 것이다.

Table 1. The specification of exposed main column and sub-column

Member type	Main column				Sub-column			
Dimension(mm)	80×120×680				80×80×680			
UNIT	1	2	3	4	1	2	3	4
Main reinforcement number(EA)	8	8	8	8	6	6	6	6
Tie reinforcement number(EA)	10	10	10	10	10	10	10	10
Tie reinforcement spacing(mm)	62	62	62	62	62	62	62	62
Exposed length(mm)	62	186	310	434	62	186	310	434

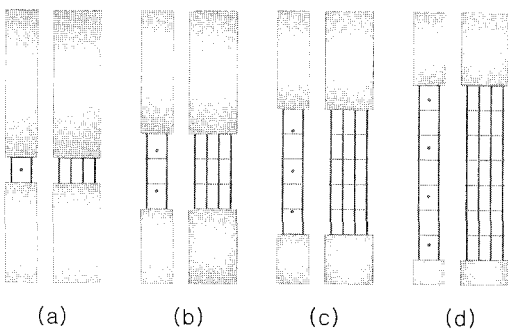


Fig. 1. Exposed main column test diagram.
(a) UNIT 1 column, (b) UNIT 2 column
(c) UNIT 3 column, (d) UNIT 4 column

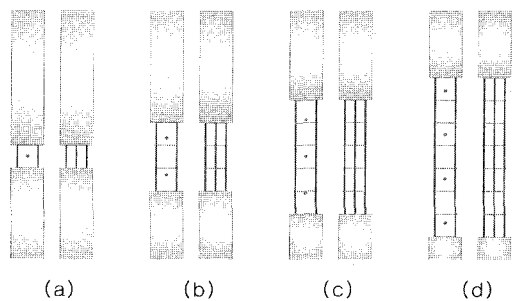


Fig. 2. Exposed sub-column test diagram.
(a) UNIT 1 column, (b) UNIT 2 column
(c) UNIT 3 column, (d) UNIT 4 column

2.2 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험 결과

Table 2는 각각의 UNIT에서 철근이 노출된 기둥의 수직하중에 따른 좌굴강도를 나타낸 것이다. 주기둥 UNIT 1에서 좌굴강도는 0.82~1.18(MPa) 이고, UNIT 2는 0.44~0.82(MPa), UNIT 3은 0.24~0.28(MPa), UNIT 4는 0.21~0.29(MPa)이다. 보조기둥 UNIT 1의 좌굴강도는 0.59~1.02 (MPa), UNIT 2는 0.40~1.24(MPa), UNIT 3은 0.22~0.39(MPa), UNIT 4는 0.22(MPa)이다. 두 경우 UNIT가 증가함에 따라 좌굴강도는 감소하고, UNIT 3 이후에는 거의 일정하였다.

노출된 철근의 길이가 길어질수록 수직하중에 의한 철근의 압축력에 대한 저항은 작아지고 철근에 힘이 발생하면서 기둥이 좌굴하는데 용이하나 노출된 철근의 길이가 상대적으로 짧은 UNIT 1과

UNIT 2에서는 수직하중에 대한 철근의 휨강도가 크며, 철근이 압축력에 크게 저항하는 경우가 발생하게 되면서 좌굴강도의 값이 커지게 된다. 철근의 노출 길이가 UNIT 3 이상일 때 수직하중에 의한 철근의 휨 발생이 용이하게 되어 좌굴이 용이하다는 것을 알 수 있다. 따라서 발파공수에 따른 장약량이 증가함에 따라 파쇄체적이 증가하게 되고 철근의 노출 길이를 예측하면 주어진 수직하중에 대한 발파공수를 선정할 수 있다.

이 결과로부터 축소모형 구조물을 발파를 할 경우 수직하중에 의해 붕괴거동에 영향을 주는 저층부에서는 UNIT 4 또는 UNIT 3을, 파쇄 형태에 영향을 주는 상층부에서는 UNIT 2, UNIT 1을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. The results of buckling strength for exposed column test

Sample number	X-dir. length (mm)	Y-dir. length (mm)	Column weight (kgf)	Vertical load (KN)	Buckling strength (MPa)	Remarks
M1-1	86.6	126.4	14.2	9.02	0.82	Main column UNIT 1
M1-2	83.4	119.9	14.2	11.77	1.18	
M1-3	86.0	122.3	14.2	9.32	0.89	
M2-1	86.9	120.3	11.4	8.53	0.82	Main column UNIT 2
M2-2	86.1	121.3	11.4	4.61	0.44	
M2-3	85.2	120.1	11.4	4.90	0.48	
M3-1	87.3	121.2	8.8	2.94	0.28	Main column UNIT 3
M3-2	85.2	120.7	8.8	2.45	0.24	
M3-3	83.8	121.3	8.8	2.75	0.27	
M4-1	84.9	122.9	6.0	2.75	0.26	Main column UNIT 4
M4-2	84.8	121.0	6.0	2.16	0.21	
M4-3	85.8	120.2	6.0	2.94	0.29	
S1-1	83.5	84.1	9.6	4.12	0.59	Sub-column UNIT 1
S1-2	79.2	84.7	9.6	6.86	1.02	
S1-3	85.2	80.8	9.6	4.31	0.63	
S2-1	85.6	82.6	8.0	3.24	0.46	Sub-column UNIT 2
S2-2	84.8	80.7	8.0	2.75	0.40	
S2-3	83.7	81.9	8.0	8.53	1.24	
S3-1	86.8	80.6	5.8	1.57	0.22	Sub-column UNIT 3
S3-2	87.9	82.4	5.8	1.86	0.26	
S3-3	86.3	80.7	5.8	2.75	0.39	
S4-1	85.2	83.1	4.0	1.57	0.22	Sub-column UNIT 4
S4-2	86.1	81.2	4.0	1.57	0.22	
S4-3	85.3	82.1	4.0	1.57	0.22	

Fig. 3에서 Fig. 10은 철근이 노출된 축소모형 주기둥과 보조기둥에 대한 좌굴시험의 UNIT에 따른 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 두 경우 철

근에 힘이 발생하면서 수직하중이 증가하나 축소모형 기둥이 좌굴된 후에는 하중이 감소하는 경향을 보인다.

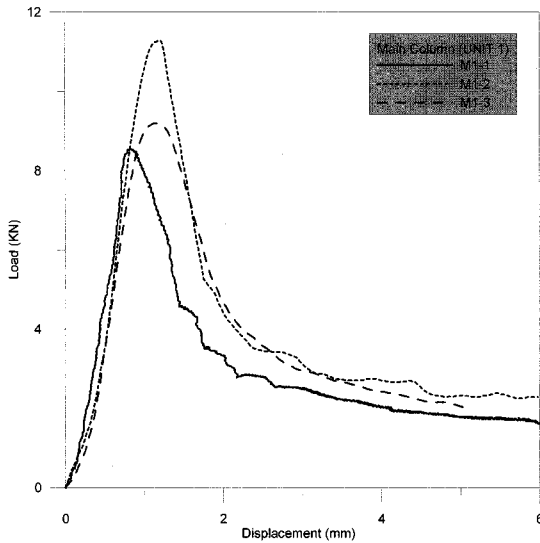


Fig. 3. Load vs. displacement graph for exposed main column test of UNIT 1.

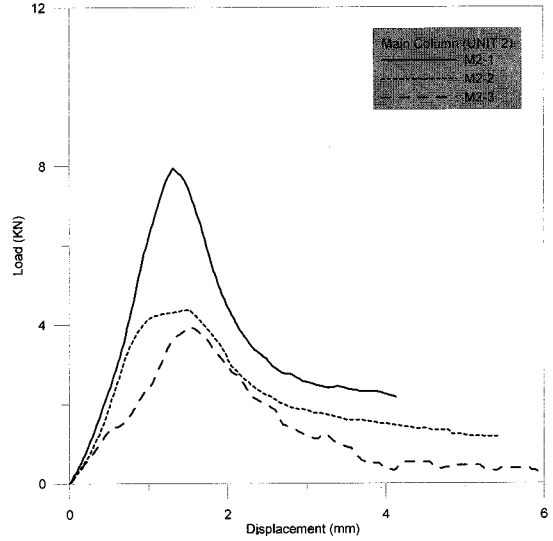


Fig. 4. Load vs. displacement graph for exposed main column test of UNIT 2.

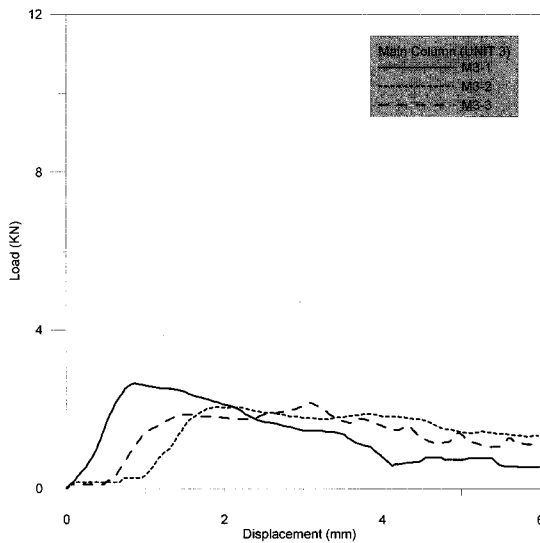


Fig. 5. Load vs. displacement graph for exposed main column test of UNIT 3.

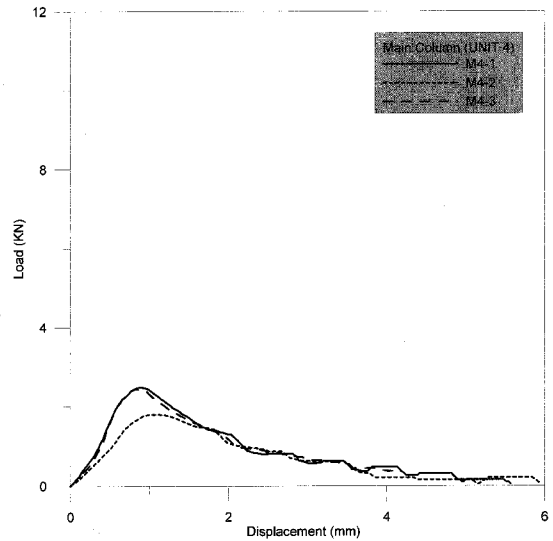


Fig. 6. Load vs. displacement graph for exposed main column test of UNIT 4.

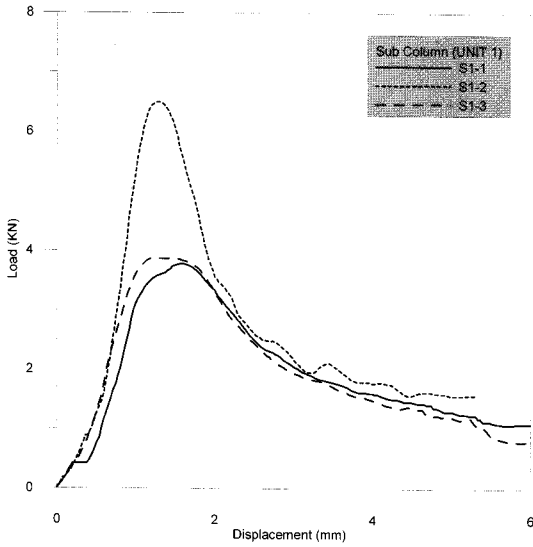


Fig. 7. Load vs. displacement graph for exposed sub-column test of UNIT 1.

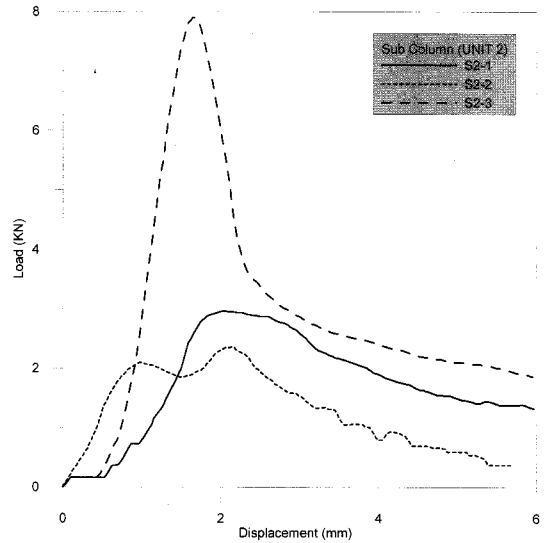


Fig. 8. Load vs. displacement graph for exposed sub-column test of UNIT 2.

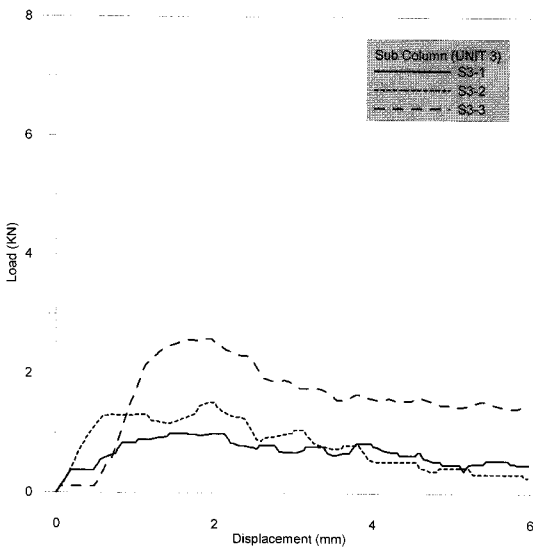


Fig. 9. Load vs. displacement graph for exposed sub-column test of UNIT 3.

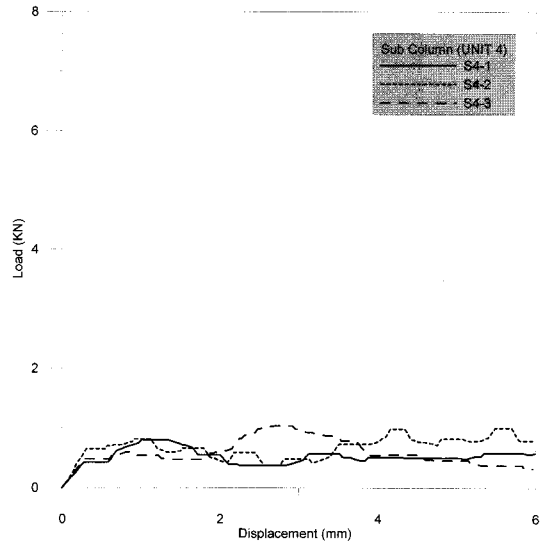


Fig. 10. Load vs. displacement graph for exposed sub-column test of UNIT 4.

3. 발파공수에 따른 축소모형 기둥발파

3.1 축소모형 기둥 제작 및 시험방법

본 연구에서는 축소모형 주기동과 보조기둥에 대해 기둥 당 1~4공을 천공하여 공당 순발너관 1

개씩을 장악하고 발파 후 무게비 및 파쇄형태를 비교하였다. 천공에 수직한 축소모형 단면의 길이가 종방향, 천공에 수평한 축소모형 단면의 길이가 횡방향 일 때 횡방향 단면 길이의 70%를 ϕ 8mm 핸드드릴로 천공하였으며, 1공당 순발너관 1

개를 장악하여 에폭시수지로 전색하였다.

Table 3은 각 축소모형 기둥별 발파 패턴을 나

타낸 것이고, 축소모형 기둥의 천공 단면도 및 천공 위치도를 나타내면 Fig. 11 및 Fig. 12와 같다.

Table 3. Blasting patterns in each column

	Main column				Sub-column			
Dimension(mm)	80×120×680				80×80×680			
Hole diameter(mm)	8				8			
Hole length(mm)	84				56			
Hole angle(°)	0				0			
Protection	Non-woven fabric				Non-woven fabric			
Hole number(mm)	1	2	3	4	1	2	3	4
Hole position(mm)	280	230 330	180 280 380	100 220 340 460	280	230 330	180 280 380	100 220 340 460
Wrap number(EA)		1~ 2	3	3	1	1	3	4

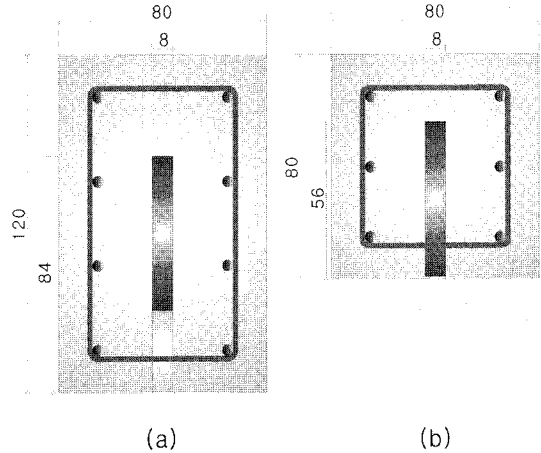


Fig. 11. Diagram of detonator charge in column(unit: mm).
(a) main column, (b) sub-column

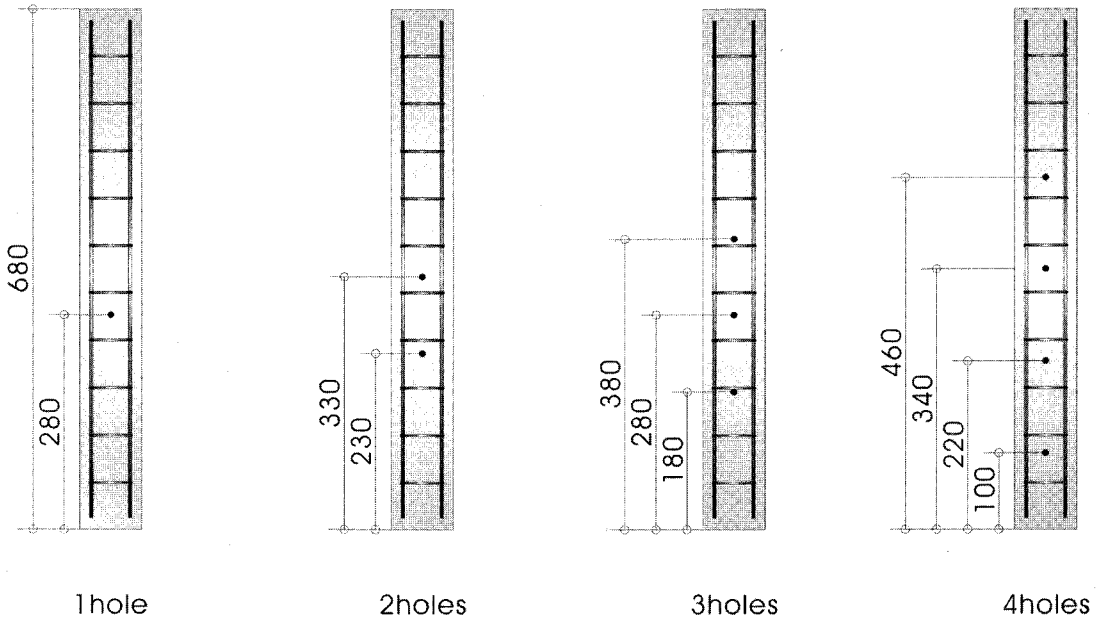


Fig. 12. Diagram of drilling pattern in main column and sub-column(unit: mm).

3.2 발파공수에 따른 축소모형 기둥발파 결과

Table 4는 발파 전과 발파 후의 축소모형 기둥의 무게 및 무게비를 나타낸 것이다. 무게비는 발파후의 무게를 발파전의 무게로 나눈 값이며, 무게비가 작을수록 파쇄량이 많이 발생함을 의미한다. Fig. 13은 발파공수에 대한 무게비를 비교한 것으로 본 연구에서 사용된 축소모형 기둥은 발파공수에 따라 무게비가 선형적으로 감소한다는 것을 알 수 있다.

축소모형 주기둥과 축소모형 보조기둥에 대한 발파공수에 따른 무게비와의 관계식은 식 (1)과 식 (2)와 같으며, 전체 기둥에 대한 관계식은 식 (3)과 같다.

$$W \cdot R = -0.086(B \cdot N) + 0.949$$

$$R^2 = 0.965 \tag{1}$$

$$W \cdot R = -0.090(B \cdot N) + 0.935$$

$$R^2 = 0.965 \tag{2}$$

$$W \cdot R = -0.088(B \cdot N) + 0.942$$

$$R^2 = 0.959 \tag{3}$$

여기서, WR은 무게비를 나타내고, BN은 발파공수를 나타낸다.

Table 4. The results of before and after blasting column weight and weight ratio

Sample number	Longitudinal length (mm)	Transversal length (mm)	Column weight before blasting(A) (kgf)	Column weight after blasting(B) (kgf)	Weight ratio (B/A)	Remarks
M-1-1	85.6	121.6	16.4	13.6	0.829	Main column 1 hole
M-1-2	89.8	123.8	16.4	14.2	0.866	
M-1-3	88.6	120.2	16.8	14.0	0.833	
M-2-1	85.4	120.1	16.2	11.4	0.704	Main column 2 holes
M-2-2	87.2	122.2	16.6	11.4	0.687	
M-2-3	86.0	120.8	16.2	11.6	0.716	
M-3-1	90.3	122.3	16.6	8.8	0.530	Main column 3 holes
M-3-2	88.4	121.2	17.2	9.2	0.535	
M-3-3	83.8	121.1	16.0	9.8	0.613	
M-4-1	87.8	124.9	16.8	5.6	0.333	Main column 4 holes
M-4-2	86.5	121.1	16.2	4.6	0.284	
M-4-3	82.7	119.8	15.6	5.2	0.333	
S-1-1	81.1	85.1	11.0	8.8	0.800	Sub-column 1 hole
S-1-2	80.5	82.9	11.0	8.8	0.800	
S-1-3	84.6	85.2	11.6	9.8	0.845	
S-2-1	82.6	85.7	11.0	7.6	0.691	Sub-column 2 holes
S-2-2	79.7	85.9	11.2	7.6	0.679	
S-2-3	82.8	82.9	11.0	7.6	0.691	
S-3-1	77.4	85.2	10.6	5.8	0.547	Sub-column 3 holes
S-3-2	82.2	85.3	10.8	5.8	0.537	
S-3-3	81.8	82.9	11.2	5.8	0.518	
S-4-1	81.1	85.9	11.0	3.0	0.273	Sub-column 4 holes
S-4-2	82.5	86.7	11.6	3.0	0.259	
S-4-3	81.2	85.8	11.2	3.0	0.268	

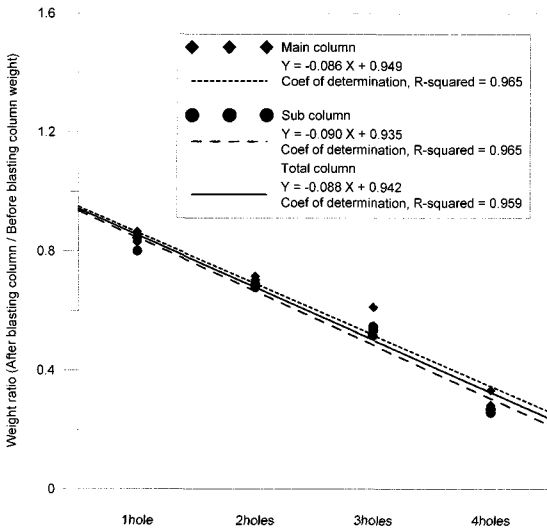


Fig. 13. Comparison of the weight ratio of main columns and sub-columns by blasting holes.

Table 5는 축소모형 주기둥과 보조기둥의 발파 후 파쇄형태를 찍은 사진이다. 주기둥과 보조기둥 모두 공수가 증가함에 따라 파쇄량이 증가하였으며, 4공 발파의 경우에는 주기둥과 보조기둥 하단부의 파쇄에 의해 철근이 완전히 노출되었다. 또한 철근의 노출길이를 비교하면, 1공의 경우에는 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험에 사용된 UNIT 1과 유사하며, 2공의 경우에는 UNIT 2, 3공의 경우에는 UNIT 3, 4공의 경우는 UNIT 4와 유사한 경향을 보여주고 있다.

철근의 휨상태도 발파공수의 증가에 따라 더 많이 휘어졌으며, 띠철근의 이탈도 많아졌다. 그러나 4공 발파의 경우에는 3공 발파보다 파쇄체적은 많았지만, 방호재의 영향으로 인해 철근의 휨이 적게 발생하였다. 따라서 축소모형 구조물을 발파해체할 때 과도한 방호는 구조물의 붕괴에 저항하는 요인으로 작용한다.

Table 1. Fracture patterns of main and sub-columns due to blasting holes

No. of holes (EA)	Main column	Sub-column
1		
2		
3		
4		

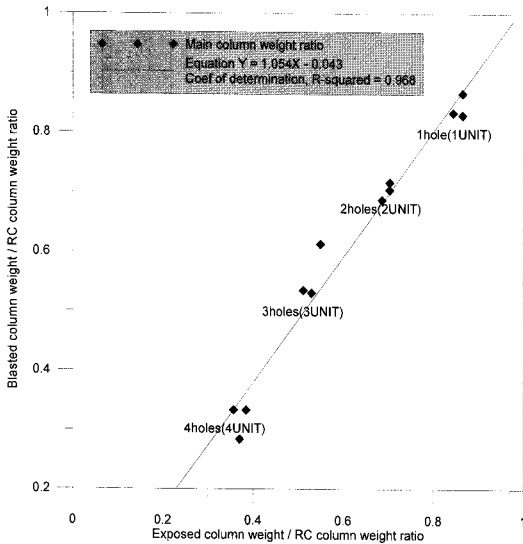


Fig. 14. Comparison of the weight ratio normalized by main column weight.

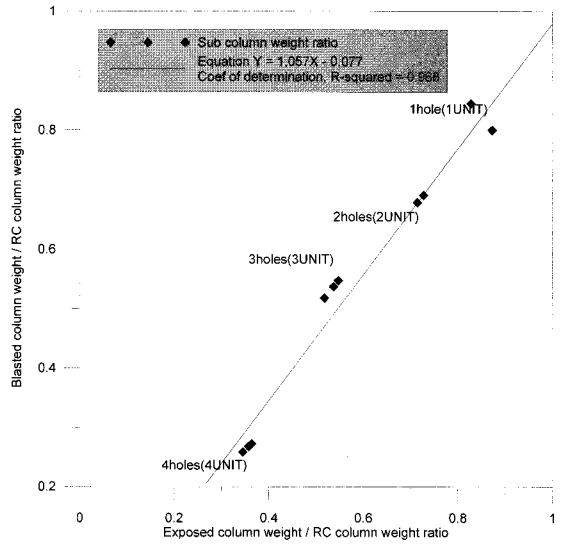


Fig. 15. Comparison of the weight ratio normalized by sub-column weight.

Fig. 14와 Fig. 15는 축소모형 주기동과 보조기동의 발파 후 남아있는 기둥의 무게와 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험에서의 UNIT 당 무게를 발파 전 기둥의 무게로 나누어 정규화시킨 후 비교한 것이다. 축소모형 기둥 1공 발파는 UNIT 1, 2공 발파는 UNIT 2, 3공 발파는 UNIT 3, 4공 발파는 UNIT 4에 각각 상응되는 것을 알 수 있다. 따라서 철근의 노출길이와 무게비에 따른 축소모형 철근콘크리트 기둥의 발파공수를 산정할 수 있으며, 이를 축소모형 구조물에 적용할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 축소모형 철근콘크리트 기둥을 발파해체할 때 철근의 노출길이와 수직하중에 따른 발파공수의 상관성 분석 결과는 아래와 같다.

1) 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험에서 축소모형 철근의 노출길이가 UNIT 3 이상일 때 노출된 철근에 축방향 하중에 의한 철근의 압축력에 대한 저항이 작아지고, 철근에 휨이 발생하게 되어 좌굴이 용이하다. 이것은 파쇄체적과 철근의 노출 길이에 따른 수직하중의 영향에 대해

축소모형 구조물의 붕괴거동에 적합한 발파공수를 선정할 수 있다.

2) 축소모형 기둥을 발파할 때 발파공수에 따라 축소모형 기둥의 무게비가 선형적으로 감소하며, 축소모형 기둥 발파와 철근이 노출된 축소모형 기둥의 좌굴시험과 높은 상관성을 보였다. 따

라서 철근의 노출길이와 무게비에 따른 축소모형 철근콘크리트 기둥의 발파공수를 산정할 수 있으며, 이를 축소모형 구조물에 적용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 김남식, 광영학, 장승필, 2003, Modified simulation law for pseudodynamic test on small-scale steel models, 한국지진공학회 논문집, Vol. 7, No. 6, pp. 49-57.
2. 김남식, 이지호, 장승필, 2004, RC 축소모형의

- 유사동적실험을 위한 Equivalent multi-phase similitude law : 검증실험, 한국지진공학회 논문집, Vol. 8, No. 5, pp. 35-43.
3. 김승곤, 박훈, 양형식, 2002, 콘크리트 기둥의 발파해체시 파쇄도에 미치는 수직하중의 영향, 화약발파, Vol. 20, No. 3, pp. 97-109.
 4. 박훈, 유지완, 이희광, 김승곤, 2007, 철근콘크리트 구조물의 축소모형 부재 제작 및 역학적 특성, 대한화약발파공학회 춘계학술발표회 논문집, 전주, pp. 1-10.
 5. Kumar, S., Y. Itoh, K. Saizuka and T. Usami, 1997, Pseudodynamic testing of scaled models, Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 524-526.

**박 훈**

전북대학교 공업기술연구소 객원연구원

전화 : 063) 270-2358

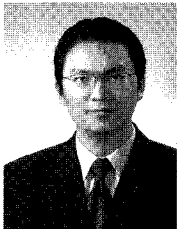
E-mail : hujin@chonbuk.ac.kr

**송 정 언**

전북대학교 자원·에너지공학과 박사수료

전화 : 017-642-4007

E-mail : sjuda@chonbuk.ac.kr

**유 지 완**

전북대학교 자원·에너지공학과 석사과정

전화 : 011-9477-0720

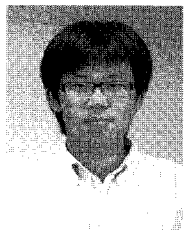
E-mail : zaamchi@nate.com

**김 승 곤**

전북대학교 자원·에너지공학과 교수

전화 : 063) 270-2365

E-mail : kimsk@chonbuk.ac.kr

**이 희 광**

전북대학교 자원·에너지공학과 석사과정

전화 : 011-9437-8250

E-mail : leeheegwang@nate.com