

## 철근 콘크리트 기둥 발파시 수직하중에 따른 파쇄형태 및 파쇄체적

박 훈<sup>1)</sup>, 송정언<sup>1)</sup>, 김승곤<sup>1)</sup>

### Fracture Formation and Fracture Volume on Vertical Load by Blasting Demolition of Model Reinforced Concrete Pillars

Hoon Park, Jung-Un Song and Seung-Kon Kim

**Abstract :** In this study, fracture formation and fracture volume by blasting demolition of model reinforced concrete pillars were compared with various vertical load and influence of reinforced steel bar. The more vertical load increased, the more tensile cracks and vertical direction cracks produced. In vertical load of 2.0ton, tensile cracks on vertical direction were predominantly produced. Generally, the more vertical load increased, the more bending deformation of concrete steel bar decreased. As a result, vertical load was influenced fracture formation of concrete and bending deformation of reinforced steel bar. Reinforced steel bar was influenced fracture volume of concrete. According to vertical load and influence of reinforce steel bar by blasting demolition of reinforced concrete pillars, drilling and blasting pattern may be modified.

**Key words :** blasting demolition, reinforced concrete blasting, scaled model test, fracture formation, fracture volume

초록 : 본 연구에서는 철근 콘크리트 기둥 발파시 수직하중과 철근의 영향에 따른 파쇄형태 및 파쇄체적에 대해 축소모형실험을 수행하였다. 수직하중이 증가할수록 수직하중에 의한 수직방향의 인장균열 및 철근에 의한 수직방향의 균열이 발생하였으며, 2.0톤에서는 수직방향의 인장균열이 철근에 의한 수직방향의 균열보다 우세하게 나타났다. 또한 수직하중이 증가할수록 수직방향의 인장균열이 우세하여 철근의 휨정도는 감소하였다. 발파공수가 증가하여도 수직하중에 따른 평균 파쇄체적은 크게 증가하지 않았으며, 이는 철근이 파쇄체적에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 기둥 발파시 수직하중은 콘크리트의 파쇄형태와 철근의 휨정도에 중요한 영향을 미치며 철근은 파쇄체적에 영향을 미친다. 그러므로 철근 콘크리트 기둥 발파해체시 수직하중과 철근의 영향에 따라 천공패턴 및 발파패턴을 조절해야 한다.

핵심어 : 발파해체, 철근 콘크리트 발파, 축소모형실험, 파쇄형태, 파쇄체적

## 1. 서 론

최근 철근 콘크리트 구조물의 노후화에 따른 철거 및 재건축이 다양한 방법으로 수행되고 있다. 노후화된 철근 콘크리트 구조물을 해체하기 위한 발파해체공법의 사용이 증가하고 있으나, 대부분의 발파해체공법이 경험적 기술을 토대로 수행되고 있으며, 대상 구조물의 다양한 물리적 조건에 대한 기술적인 보완이 요구되고 있다.

Saito(1998)는 철근 콘크리트 기둥을 천공패턴과

장약량을 변화시키면서 발파하여 파쇄체적과 철근의 노출정도를 평가하였으며, 철근 콘크리트 기둥 발파시 발생하는 지반진동 및 소음을 측정하였다. Molin(1998)은 서로 다른 폭약을 사용하여 다양한 철근 콘크리트 부재를 발파하여 부재의 철근량, 무게, 압축강도에 따른 비장약량을 비교하였으며, 발파형태와 방호재에 따른 균열 전파와 공기중 충격파의 감쇄에 대해 연구하였다. 김승곤(2003)은 무근 콘크리트 기둥의 축소모형실험에서 너판을 폭원으로 사용하여 기둥의 상·하단을 고정단으로 하여 발파 후 수직하중에 따른 파쇄도를 정량적으로 평가하였다.

또한 Loring과 Cundall(1987)은 개별요소법

1) 전북대학교 자원·에너지공학과

접수일 : 2005년 6월 15일

(DEM)을 이용하여 철근의 유무에 따른 보의 정적 및 동적 시험을 수행하였으며 Guichen 외(1998)는 DYNA-3D 코드를 이용하여 철근 콘크리트 기둥 발파시 응력분포에 의한 파괴거동을 예측하고 콘크리트 내 철근의 영향을 해석하였다. 김승곤(2003)은 무근 콘크리트 기둥의 동적파괴 과정에서 수직하중에 따른 균열발생 상태를 모사하였다.

본 연구에서는 수직하중에 따른 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 축소모형실험을 수행하였다. 콘크리트 재료의 물리적 특성은 실제 콘크리트 기둥과 유사하게 하기 위하여 콘크리트의 배합비에 따른 물성 실험을 통하여 배합비를 결정하였으며, 발파공수에 따른 수직하중에 의한 철근 콘크리트 기둥의 발파 후 파쇄형태를 비교하였으며, 수직하중에 의한 무근 콘크리트 기둥 및 철근 콘크리트 기둥의 발파 후 파쇄체적을 비교하였다.

2. 콘크리트 물성 실험 및 배합비 산정

콘크리트는 시멘트/물 비에 따라 강도가 변화하는 특성을 가지고 있으므로, 본 연구에서는 시멘트, 모래, 물의 배합비를 변화시켜가며 시멘트/물비, 모래/물 비에 따른 콘크리트의 물성을 비교하였다. 먼저 물의 중량비를 0.4로 하여 시멘트/물비를 감소시키면서 모래/물 비를 증가시켰다.

Table 1은 시멘트, 모래, 물의 배합비를 나타낸 것으로 물의 중량비가 0.6인 경우는 초기 배합에 따른 물의 손실을 보정한 값이다.

본 실험에서는 배합비에 따른 콘크리트의 일축 압축강도, 탄성파속도, 비중을 측정하기 위하여 일축 압축강도 및 탄성파속도 시험편의 거푸집은 외

경 60mm, 길이 120mm, 비중 시험편의 거푸집은 외경 60mm, 길이 60mm의 원통형 파이프로 제작하였다. 제작된 거푸집에 배합비에 따라 재료를 배합하여 다짐을 한 후, 3일 후에 거푸집을 제거하고, 28일간 양생하였다.

Fig. 1은 시멘트/물 비에 따른 일축압축강도, 탄성파속도, 비중을 나타내고 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 일축압축강도는 시멘트/물 비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다.

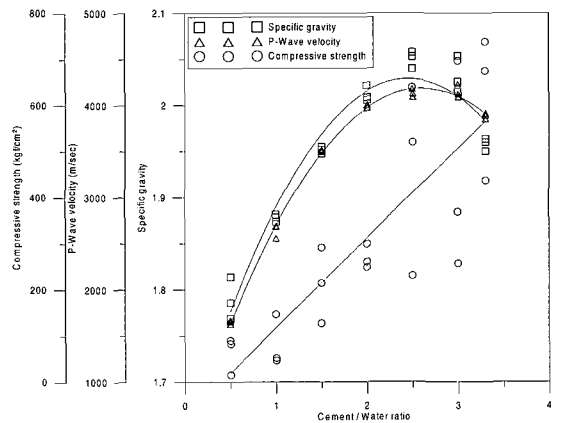


Fig. 1. Result of Cement/Water ratio VS. Physical Property.

I. Lyse의 시멘트-물 비설에서 일축압축강도와 시멘트/물 비와의 사이에는 직선 관계가 성립한다. 본 콘크리트 배합비 산정 실험은 다음 식과 같은 직선의 방정식이 성립되었으며, 여기서 X는 시멘트/물 비이다.

Table 1. Compounding ratio for various samples

Sample Number	Weight ratio			Cement/Water ratio	Sand/Water ratio
	Cement	Sand	Water		
1	2.0	1.0	0.6	3.3	1.7
2	1.2	1.2	0.4	3.0	3.0
3	1.0	2.0	0.4	2.5	5.0
4	0.8	2.2	0.4	2.0	5.5
5	0.6	2.4	0.4	1.5	6.0
6	0.4	2.6	0.4	1.0	6.5
7	0.2	2.8	0.4	0.5	7.0

$$\sigma = aX + b = 195X - 78$$

탄성파속도, 비중은 시멘트/물 비의 증가와 함께 증가하다가 시멘트/물 비가 약 2.5 이후에서는 감소하는 경향을 보인다.

모래/물 비에 따른 일축압축강도, 탄성파속도, 비중은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 일축압축강도는 모래/물 비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보

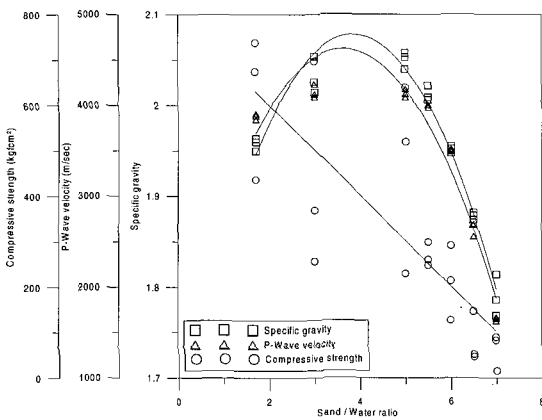


Fig. 2. Result of Sand/Water ratio VS. Physical Property.

인다. 이것은 상대적으로 시멘트 양이 적어서 재료의 분리현상을 발생시킨다. 따라서 콘크리트의 일축압축강도는 모래/물 비보다는 시멘트/물 비와 시멘트 배합비에 의해 좌우된다.

탄성파속도와 비중은 모래/물 비가 증가함에 따

라 증가하다가 모래/물 비가 약 5 이상에서 급격히 감소하는 경향을 보인다. 이는 상대적으로 잔골재인 모래의 양이 증가하여 균일한 입도를 가진 모래 때문에 시험편 내부의 전체 공극이 증가됨으로써 결과적으로 탄성파속도와 비중의 크기가 감소한다.

건축공사 표준시방서에 제시된 건축공사 콘크리트 설계기준강도  $F_c = 240\text{kgf/cm}^2$  이상의 잔골재만 포함된 콘크리트 기둥을 제작하기 위하여 배합비는 시멘트/물 비의 경우 2 정도, 모래/물 비의 경우 5 정도가 적합하며, KSL 5105에서 제시한 시멘트 모르타르의 표준 배합인 시멘트와 모래를 1 : 2.45 무게비로 섞고, 물의 양은 시멘트 무게의 48.5%로 한 배합비를 콘크리트 기둥 제작의 표준배합비로 설정하였다.

따라서 본 실험에서 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥을 제작하기 위한 시멘트 : 모래 : 물의 무게비는 1 : 2.45 : 0.485를 표준배합비로 설정하였으며, 콘크리트 기둥의 일축압축강도, 인장강도, 만곡강도, 탄성파속도, 비중을 구하였다. 각각의 시험편은 표준배합비로 28일간 양생한 기둥에서 코어를 회수하여 제작하였다.

다음 Table 2는 표준배합비로 양생한 시험편의 각각의 물성치를 나타낸다.

각각의 물성치의 평균값은 일축압축강도  $324.4\text{kgf/cm}^2$ , 인장강도  $36.0\text{kgf/cm}^2$ , 만곡강도  $62.4\text{kgf/cm}^2$ , 탄성파속도  $3824.3\text{m/sec}$ , 비중은 2.03이었다.

콘크리트 설계기준강도  $F_c = 240\text{kgf/cm}^2$ ,

Table 2. Physical property for standard compounding ratio

Sample No.	Comp. Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sample No.	Tens. Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sample No.	Bend. Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sample No.	P-wave Velocity (m/sec)	Sample No.	Specific Gravity
C-1	314.3	T-1	34.5	B-1	61.7	P-1	3815.3	G-1	2.03
C-2	364.8	T-2	36.7	B-2	61.5	P-2	3820.3	G-2	2.02
C-3	295.0	T-3	36.7	B-3	61.4	P-3	3815.6	G-3	2.05
C-4	350.9	T-4	36.6	B-4	65.5	P-4	3827.4	G-4	2.04
C-5	297.1	T-5	35.3	B-5	61.9	P-5	3842.9	G-5	2.03

Note : C-Compressive strength, T-Tensile strength, B-Bending strength, P-P wave velocity, G-Specific gravity

콘크리트 강도의 기온에 따른 보정값  $K = 30\text{kgf/cm}^2$ , 콘크리트 강도의 표준편차  $\sigma = 31.8\text{kgf/cm}^2$ 이므로, 배합강도  $F$ 는 다음 식과 같다.

$$F \geq F_c + T + 1.73\sigma \approx 325\text{kgf/cm}^2$$

따라서 건축공사 표준시방서에 제시된 배합강도와 본 실험에서의 일축압축강도 평균값은 유사하다.

다음 Fig. 3은 표준배합비로 양생한 시료의 일축 압축강도, 탄성과속도, 비중을 나타낸 것이다.

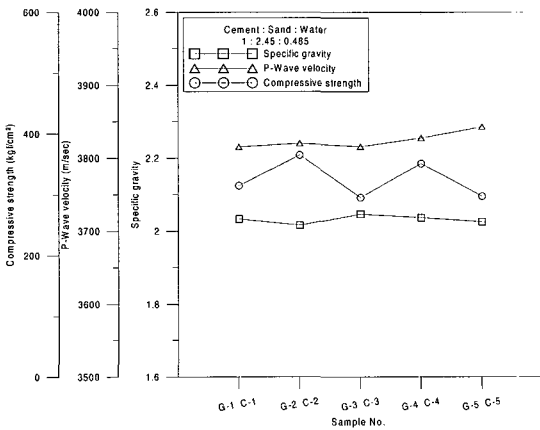


Fig. 3. Result of standard compounding ratio.

### 3. 무근 콘크리트 기둥 및 철근 콘크리트 기둥 제작

무근 콘크리트 기둥은 15×15×60cm의 각주형으로 제작하였으며, 철근 콘크리트 기둥은 무근 콘크리트 기둥과 동일한 각주형으로 제작하였고, 주철근은 직경 8mm인 이형철선 4개, 띠철근은 직경 8mm인 이형철선을 철근 콘크리트 기둥 상·하단에서 각각 6cm의 위치에 설치하였으며, 보조 띠철근은 직경 1mm인 어닐링 철선을 띠철근에서 각각 3cm 이격하여 결선하였다.

무근 콘크리트 기둥 및 철근 콘크리트 기둥 1공 발파시 천공위치는 기둥길이의 0.5배 되는 곳에 천공하였으며, 2공 발파시 천공위치는 기둥길이의 0.5배 되는 위치를 중심으로 상하 기둥폭의 0.625배 되는 곳에 천공하였다. 천공장은 기둥 단면 두

께의 75%로 하였으며, 공당 순발파관을 1개씩 장전하였고 천공장이 짧기 때문에 완전 전색을 하기 위해 모래를 사용하지 않고 시멘트와 모래를 1 : 2.45로 배합하여 전색하였고, 3일간 상온에서 양생시켰다.

Fig. 4는 콘크리트 기둥의 천공 위치도이며 Fig. 5는 철근 콘크리트 기둥의 철근 배치도이다. 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 발파패턴은 Table 3과 같다.

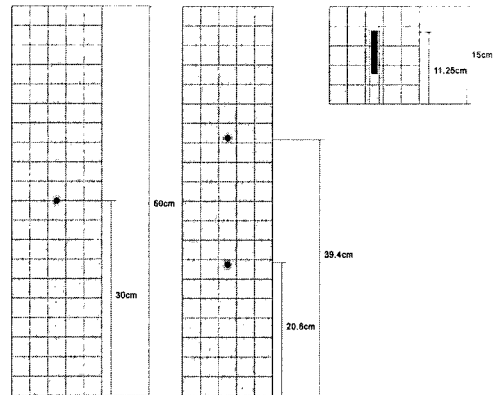


Fig. 4. Diagram showing drilling pattern.

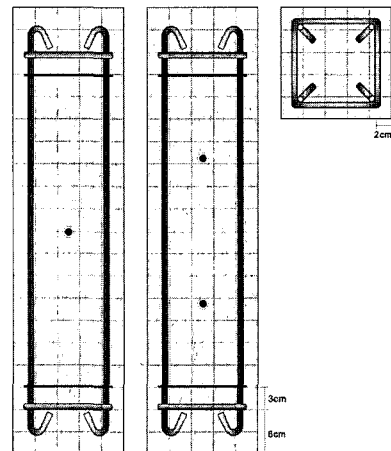


Fig. 5. Diagram showing steel bar.

콘크리트 기둥의 상·하단을 고정시키고 수직하중을 가하기 위하여 Fig. 6과 같은 실험장치를 제작하여, 수직하중이 각각 0.1톤, 0.5톤, 1.0톤, 2.0톤 일 때 뇌관을 기폭시켰다.

Table 3. Blasting pattern for concrete pillars

Form	Blasthole No.	Sample No.	Vertical Load (ton)	Blasthole position (cm)	Blasthole length (cm)	Blasthole diameter (mm)																								
Non reinforced concrete	1hole	NC1-01	0.1	30	11.25	7.5																								
		NC1-05	0.5	30	11.25	7.5																								
		NC1-10	1.0	30	11.25	7.5																								
		NC1-20	2.0	30	11.25	7.5																								
	2hole	NC2-01	0.1	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		NC2-05	0.5	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		NC2-10	1.0	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		NC2-20	2.0	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
Reinforced concrete	1hole	RC1-01	0.1	30	11.25	7.5																								
		RC1-05	0.5	30	11.25	7.5																								
		RC1-10	1.0	30 </tr <tr> <td>RC1-20</td> <td>2.0</td> <td>30</td> <td>11.25</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">2hole</td> <td>RC2-01</td> <td>0.1</td> <td>20.6, 39.4</td> <td>11.25</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>RC2-05</td> <td>0.5</td> <td>20.6, 39.4</td> <td>11.25</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>RC2-10</td> <td>1.0</td> <td>20.6, 39.4</td> <td>11.25</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>RC2-20</td> <td>2.0</td> <td>20.6, 39.4</td> <td>11.25</td> <td>7.5</td> </tr>	RC1-20	2.0	30	11.25	7.5	2hole	RC2-01	0.1	20.6, 39.4	11.25	7.5	RC2-05	0.5	20.6, 39.4	11.25	7.5	RC2-10	1.0	20.6, 39.4	11.25	7.5	RC2-20	2.0	20.6, 39.4	11.25	7.5
		RC1-20	2.0	30	11.25	7.5																								
	2hole	RC2-01	0.1	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		RC2-05	0.5	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		RC2-10	1.0	20.6, 39.4	11.25	7.5																								
		RC2-20	2.0	20.6, 39.4	11.25	7.5																								

Note : NC1-Non reinforced concrete pillar 1hole, NC2-Non reinforced concrete pillar 2hole, RC1-Reinforced concrete pillar 1hole, RC2-Reinforced concrete pillar 2hole.

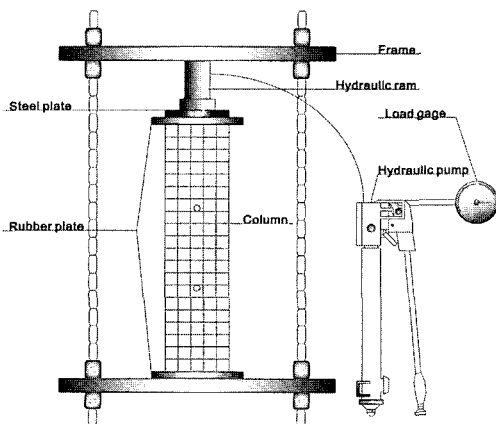


Fig. 6. Experimental device.

발파 후 파쇄체적을 비교하기 위하여 무근 콘크리트 기둥의 경우는 파쇄 후 상-하단부의 남은 부분의 무게를 측정하였으며, 철근 콘크리트 기둥의 경우는 상-하단부와 철근에 부착된 콘크리트의 무게를 측정하였다.

또한 수직하중에 따른 철근 콘크리트의 파쇄형태를 비교하였다.

#### 4. 하중별 철근 콘크리트의 파쇄형태

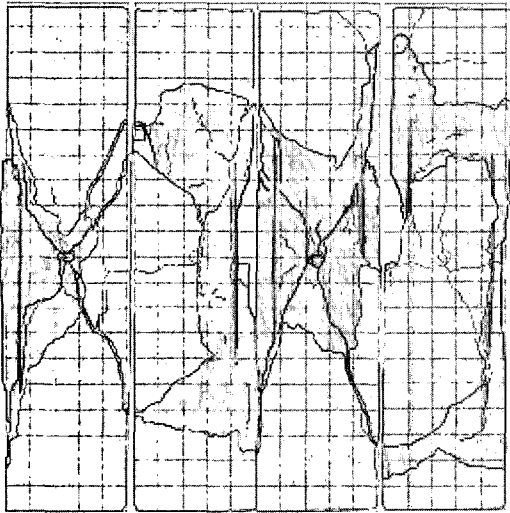
철근 콘크리트 기둥을 0.1톤, 0.5톤, 1.0톤, 2.0톤으로 수직하중을 재하한 상태에서 발파 후 각 방향별 파쇄형태를 비교하였다. 발파공의 천공방향을 기준으로 전면, 좌면, 후면, 우면으로 파쇄형태를 도시하였다.

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10은 각각 수직하중이 0.1톤, 0.5톤, 1.0톤, 2.0톤이고 발파공이 1공일 때 각 방향별 파쇄형태를 나타낸 것이다.

수직하중이 0.1톤일 때는 발파된 기둥의 상-하단부의 전면과 후면에서 원추형의 파쇄형태를 보이며, 좌면과 우면에서는 수평방향으로의 파쇄형태

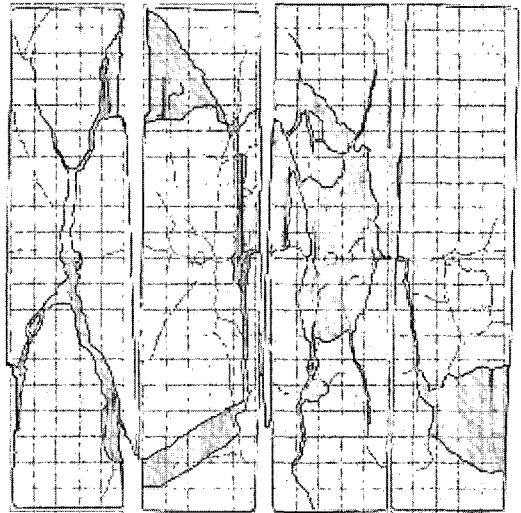
를 보인다.

수직하중이 0.5톤일 때는 전면과 후면은 수직방향으로의 균열이 발생되며, 특히 전면에서 상-하단부는 원추형의 파쇄형태를 보이나 기둥의 중심부에서는 수직방향의 균열이 발생하였고, 후면에서는 전체적으로 수직방향의 균열 발생이 두드러졌다.



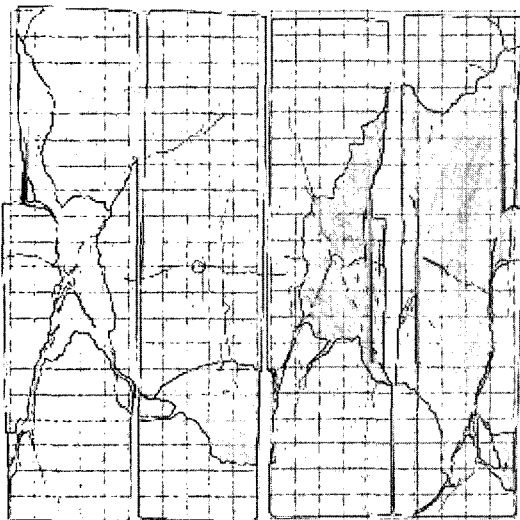
Front Right Back Left

Fig. 7. Fracture formations due to vertical load of 0.1ton(RC1-01-2).



Front Right Back Left

Fig. 8. Fracture formations due to vertical load of 0.5ton(RC1-05-2).



Front Right Back Left

Fig. 9. Fracture formations due to vertical load of 1.0ton(RC1-10-2).



Front Right Back Left

Fig. 10. Fracture formations due to vertical load of 2.0ton(RC1-20-2).

좌면과 우면에서도 상·하단부 일부는 수평방향의 균열이 발생하지만, 중심부에서부터 수직방향의 미세균열이 다수 발생하였다.

수직하중이 1.0톤일 때는 하단부에서는 원추형 파쇄형태를 보이나 전체적으로 파쇄형태가 일정하지 않았으며, 좌면과 우면에서는 부분적인 파쇄가 발생하였다.

수직하중이 2.0톤인 경우는 전면에서는 0.1톤과 유사한 파쇄형태를 보이나 두드러진 균열이 발생하였으며 미세한 균열이 다수 발생하였다.

후면에서는 수직방향으로의 균열이 두드러졌으며 복잡한 균열의 발생 형태를 보여주고 있다. 좌면과 우면 또한 수직방향으로의 균열이 발생하고 미세한 균열이 다수 발생하였다.

수직하중이 0.5톤일 때와 2.0톤일 때 전면 또는 후면에서의 수직방향 균열이 두드러졌으며, 좌면과 우면에서의 균열은 수직방향과 수평방향의 미세 균열이 복잡하게 발생하였다.

수직하중에 따른 각 방향별 철근은 일부 노출되었으나 수직하중이 증가할수록 철근의 휨 정도는 감소하였다. 또한 일부 철근과 파쇄된 콘크리트의 부착력으로 인해 중심부의 콘크리트 파쇄물이 남아 있었다.

김승곤(2003)은 기둥 중심부에서의 수직방향의 균열은 하중이 증가할 때 수직방향의 탄성파속도

가 수평방향의 탄성파속도보다 상대적으로 커지고 반사 인장응력에 의한 수직방향의 인장균열면이 발달하여 기둥의 중심부에서 수직방향의 균열이 두드러진다는 것을 축소모형실험 및 동적파괴 과정으로 모사하였다.

본 연구에서도 이와 유사한 현상을 확인할 수 있었으며, 또한 기둥의 좌·우 자유단에서의 수직방향 균열은 철근의 배근 위치에 따라 주로 발생하였으며, 이는 동일 단면적에서의 철근의 전파속도가 콘크리트의 전파속도보다 약 1.5배정도 크기 때문에 발파시 발생하는 압축파가 콘크리트와 철근과의 경계면을 따라 진행함으로써 철근의 배근 위치에서 수직방향의 균열이 발생하였다.

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14는 각각 수직하중이 0.1톤, 0.5톤, 1.0톤, 2.0톤이고 발파공이 2공일 때 각 방향별 파쇄형태를 나타낸 것이다.

2공 천공하여 발파한 철근 콘크리트 기둥의 파쇄형태는 수직하중이 0.1톤일 때 상단부는 원추형 파쇄형태를 보이며, 발파공 사이는 수직방향의 파쇄형태를 보였다. 또한 좌면과 우면의 상단부에서는 수평방향의 파쇄를 보이지만 하단부에서는 수직방향의 균열이 두드러졌다.

수직하중이 0.5톤일 경우, 발파공 사이의 수직방향의 파쇄는 수직방향의 균열이 확장되어 더욱 두드러졌으며, 좌면과 우면에서도 수직방향의 균열

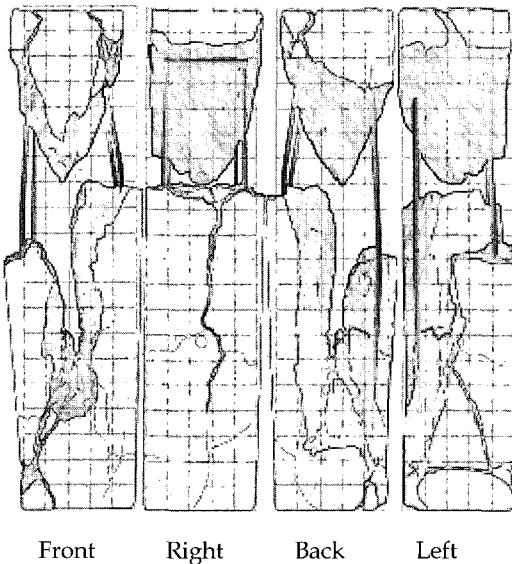


Fig. 11. Fracture formations due to vertical load of 0.1ton(RC2-01-2).

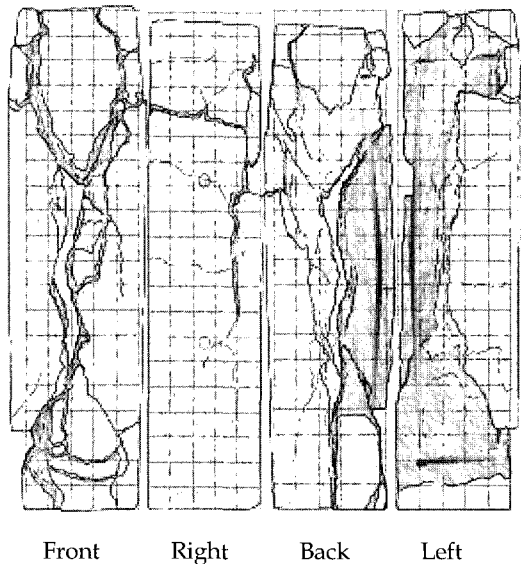


Fig. 12. Fracture formations due to vertical load of 0.5ton(RC2-05-2).



Fig. 13. Fracture formations due to vertical load of 1.0ton(RC2-10-2).

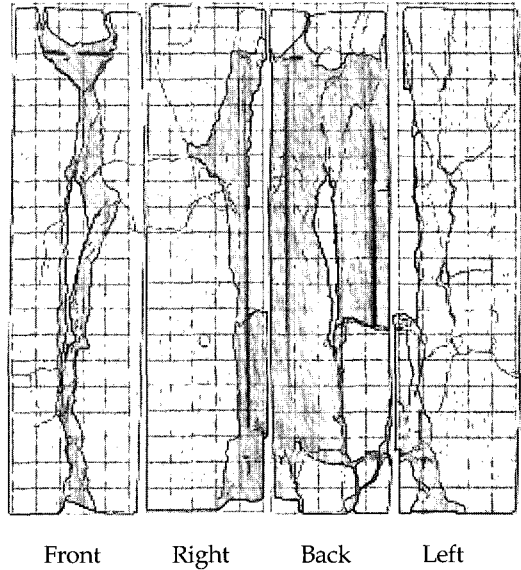


Fig. 14. Fracture formations due to vertical load of 2.0ton(RC2-20-2).

이 발생하였다.

수직하중이 1.0톤일 때는 0.1톤일 경우와 비슷한 경향을 보이며 상단부는 원추형 파쇄형태를 보인다. 수직하중이 2.0톤일 때는 0.5톤의 파쇄형태와 유사하지만 원추형의 파쇄형태는 보이지 않고 상단부에서 하단부까지 수직방향의 파쇄가 두드러졌다. 또한 좌면과 우면에서는 수직방향의 균열과 함께 미세균열이 복잡하게 발생하였다.

철근의 노출은 0.1톤과 1.0톤일 때 두드러졌으나 휨정도는 수직하중이 증가할수록 감소하였다. 0.5톤 및 2.0톤일 경우에는 수직방향의 균열로 인한 기둥의 좌-우 자유단에서의 파쇄된 콘크리트는 철근에 의해 부착되어 있었고, 1공 콘크리트 기둥 발파와 동일하게 콘크리트의 파쇄는 철근의 배근 위치를 따라 수직방향의 균열이 발생하였으나 기둥 중심부의 수직방향의 파쇄보다는 두드러지지 않았다. 이것은 철근에 의해 전달되는 압축파속도보다는 발파공과 기둥 양단과의 사이가 짧고, 좌-우 자유단에서 반사된 인장응력파에 의한 영향이 우세한 것으로 사료된다.

수직하중이 0.1톤에서 1.0톤 사이에서의 수직방향의 균열발생이 수평방향의 균열발생보다 두드러지며, 수직방향의 균열과 함께 철근을 일부 노출시키고 휘어지게 한다. 이는 수직하중에 의한 단성파속도의 증가 및 철근의 영향으로 수직방향의 균열

이 발생하기 때문이다. 2.0톤 이후에서는 수직방향의 균열은 더욱 두드러지며 일부 철근을 노출시키지만 철근의 휨 정도에는 거의 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 수직하중이 증가할수록 철근 콘크리트 기둥 발파시 수직방향의 균열이 우세하여 철근에 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

철근 콘크리트 구조물의 경우 구조물 자체의 하중을 받는 동시에 다양한 동하중을 받고 있다. 또한 저층 기둥은 상대적으로 고층 기둥보다 수직하중을 크게 받고 있으며, 또한 철근의 규격, 배열, 배근량 및 콘크리트의 강도 등에 차이가 있다. 따라서 수직하중을 크게 받고 있는 저층 기둥은 고층 기둥에 비해 동일한 천공패턴으로 발파하면 수직방향의 파쇄가 우세하게 발생하며 철근의 휨 정도에 영향을 미치지 못할 것이다. 그러므로 발파해체시 수직하중에 따라 수평방향의 파쇄 및 철근의 휨 정도에 영향을 미칠 수 있게 천공패턴 및 발파패턴을 조절해야 할 것이다.

## 5. 하중별 콘크리트의 파쇄체적

콘크리트 기둥 발파 후 기둥 파쇄도에 대한 정량적인 평가를 위해 무근 콘크리트 기둥의 경우는 발파전의 기둥의 무게와 발파 후 상-하단부의 파



쇄되고 남은 무게를 측정하였으며, 철근 콘크리트 기둥은 발파 전 기둥의 무게와 발파 후 파쇄되고 남은 기둥의 무게를 측정하여 각 하중별로 비교하였다. Fig. 15는 1공 발파시 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 파쇄체적을 비교한 것이다.

1공 발파시 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 0.5톤 이상에서는 하중이 증가하여도 큰 체적변화를 보이지 않는다. 이것은 수직하중이 0.5톤 이하에서는 수직하중에 의한 수평방향의 파쇄가 수직방향의 파쇄보다 상대적으로 우세하여 전체적인 파쇄체적에 영향을 미치며 수직하중이 0.5톤 이상에서는 수직하중에 의한 수직방향의 파쇄가 우세하여 파쇄체적에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

Fig. 16은 2공 발파시 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 파쇄체적을 비교한 것이다.

2공 발파시 무근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 수직하중에 큰 체적변화를 보이지 않으나, 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 수직하중에 따라 체적변화를 보인다.

무근 콘크리트 기둥 2공 발파시의 평균 파쇄체적은 수직하중이 0.1톤, 0.5톤, 1.0톤, 2.0톤일 경우 무근 콘크리트 기둥 1공 발파시보다 각각 2.1배, 9.56배, 7.02배, 7.60배 증가하였으며, 철근 콘크리트 기둥 2공 발파시의 평균 파쇄체적은 수직하중에 따라 철근 콘크리트 기둥 1공 발파시보다 각각 2.05

배, 3.2배, 3.26배, 2.22배 증가하였다.

무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 경우 발파공수가 증가함에 따라 평균 파쇄체적은 증가하였다. 수직하중이 0.1톤에서는 발파공수가 증가하여도 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 거의 동일하였으며, 수직하중이 0.5톤 이상에서는 무근 콘크리트 기둥의 경우 평균 파쇄체적이 크게 증가하였으나 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 크게 증가하지 않았다. 이것은 수직하중이 0.5톤 이하일 경우에는 수직방향의 파쇄보다는 수평방향의 파쇄가 우세하고 철근의 휨정도가 커지면서 철근이 파쇄체적에 영향을 거의 미치지 않으나, 수직하중이 0.5톤 이상에서는 수직방향의 파쇄가 수평방향의 파쇄보다 우세하고 철근의 휨정도가 작아지며 철근이 파쇄체적에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 파쇄체적을 증가시키기 위해서 발파해체 설계시 무근 콘크리트 기둥의 경우에는 수직하중에 대한 조건보다는 발파공수에 대한 조건을 우선해야 하며, 철근 콘크리트 기둥의 경우에는 철근의 영향을 고려하여 수직하중 조건의 변화에 따른 발파공수 조건의 변화가 요구된다.

다음 Table 4는 하중에 따른 무근 콘크리트 기둥의 파쇄체적 결과를 나타낸 것이며, Table 5는 하중에 따른 철근 콘크리트 기둥의 파쇄체적의 결과를 나타낸 것이다.

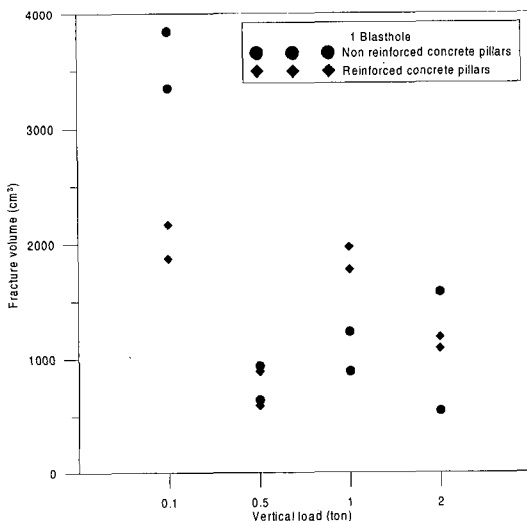


Fig. 15. Comparison between fracture volume due to 1 blasthole.

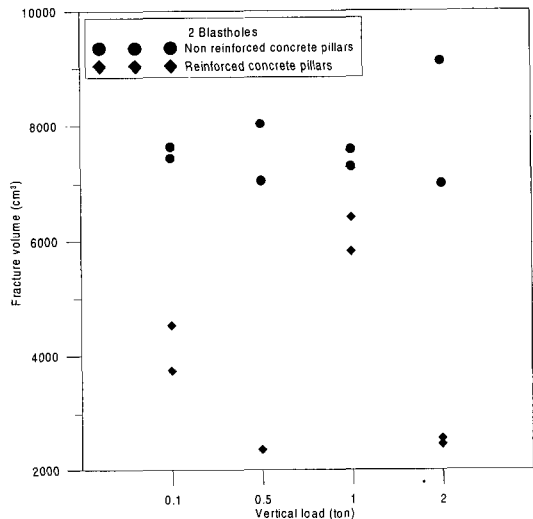


Fig. 16. Comparison between fracture volume due to 2 blastholes.

Table 4. Result of fracture volume for non reinforced concrete pillars

Form	Blasthole No.	Vertical load (ton)	Sample No.	Weight before blasting (kg)	Weight after blasting (kg)	Fracture volume (cm <sup>3</sup> )
Non reinforced concrete	1hole	0.1	NC1-01-1	28.6	20.8	3842.36
			NC1-01-2	27.6	20.8	3349.75
		0.5	NC1-05-1	29.0	27.1	935.96
			NC1-05-2	29.4	28.1	640.39
		1.0	NC1-10-1	28.6	26.8	886.70
			NC1-10-2	28.2	25.7	1231.53
	2.0	NC1-20-1	28.6	25.4	1576.35	
		NC1-20-2	28.6	27.5	541.87	
	2hole	0.1	NC2-01-1	28.8	13.3	7635.47
			NC2-01-2	28.0	12.9	7438.42
		0.5	NC2-05-1	28.8	14.5	7044.33
			NC2-05-2	28.2	11.9	8029.56
		1.0	NC2-10-1	28.6	13.2	7586.21
			NC2-10-2	28.2	13.4	7290.64
	2.0	NC2-20-1	29.0	10.5	9113.30	
		NC2-20-2	28.0	13.8	6995.07	

Table 5. Result of fracture volume for reinforced concrete pillars

Form	Blasthole No.	Vertical load (ton)	Sample No.	Weight before blasting (kg)	Weight after blasting (kg)	Fracture volume (cm <sup>3</sup> )
Reinforced concrete	1hole	0.1	RC1-01-1	30.4	26.0	2167.49
			RC1-01-2	29.8	26.0	1871.92
		0.5	RC1-05-1	29.0	27.2	886.70
			RC1-05-2	29.4	28.2	591.13
		1.0	RC1-10-1	29.8	26.2	1773.40
			RC1-10-2	30.0	26.0	1970.44
	2.0	RC1-20-1	29.8	27.6	1083.74	
		RC1-20-2	30.0	27.6	1182.27	
	2hole	0.1	RC2-01-1	29.8	22.2	3743.84
			RC2-01-2	29.4	20.2	4532.02
		0.5	RC2-05-1	29.8	25.0	2364.53
			RC2-05-2	29.2	24.4	2364.53
		1.0	RC2-10-1	30.4	18.6	5812.81
			RC2-10-2	29.2	16.2	6403.94
	2.0	RC2-20-1	30.0	24.8	2561.58	
		RC2-20-2	28.8	23.8	2463.05	

## 5. 결 론

본 연구에서는 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 축소모형실험을 수행하였다. 연구에서 얻은 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 콘크리트 배합비에 따른 물성 실험을 통해 콘크리트의 일축압축강도와 시멘트/물 비와의 사이에는 직선의 관계가 성립되며, 콘크리트의 일축압축강도는 모래/물 비보다는 시멘트/물 비와 시멘트 배합비를 고려해야 한다.

(2) 철근 콘크리트 기둥 발파시 수직하중에 의해 기둥의 중심부에 수직방향의 인장균열이 발생하며, 철근의 배근 위치에 따라 수직방향의 균열이 발생하였다. 또한 수직하중이 증가할수록 철근의 휨정도가 감소하며, 수직하중에 의한 수직방향의 인장균열 발생이 우세하였다.

(3) 1공 발파시 수직하중에 의한 무근 콘크리트 기둥과 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 수직하중이 0.5톤 이후에서는 파쇄체적에 큰 변화를 보이지 않았으며, 2공 발파시 무근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 수직하중에 큰 체적변화를 보이지 않았고, 철근 콘크리트 기둥의 평균 파쇄체적은 수직하중에 따라 체적변화를 보였다.

(4) 철근 콘크리트 기둥의 경우 발파공수가 증가하여도 수직하중에 따른 평균 파쇄체적은 크게 증가하지 않았으며, 이는 철근이 파쇄체적에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 수직하중이 0.1톤 이하일 경우에는 철근이 파쇄체적에 영향을 거의 미치지 않으며, 수직하중이 0.5톤 이상에서는 철근이 파쇄체적에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(5) 파쇄체적을 증가시키기 위해 무근 콘크리트 기둥의 경우는 수직하중에 대한 조건보다는 발파공수에 대한 조건을 고려해야 하며, 철근 콘크리트 기둥의 경우는 철근의 영향을 고려하여 수직하중 조건의 변화에 따른 발파공수 조건의 변화를 고려한 발파설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 말

이 논문은 2003년도 전북대학교 연구기반조성 연구비의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Saito, T., N. Kobayashi and T. Yoshida, 1998, Blasting demolition of model reinforced concrete pillars, Proc. 2nd Int. Symp. on RILEM(Demolition and Reuse of Concrete Masonry) 1, pp. 79-87.
2. Molin, C., 1998, Localized cutting and partial demolition in concrete with careful blasting, Proc. 2nd Int. Symp. on RILEM(Demolition and Reuse of Concrete Masonry) 1, pp. 69-77.
3. 김승곤, 2003, 구조물 축소 모형의 발파해체로 인한 지반진동 및 파쇄도에 관한 연구, 전남대학교 박사학위논문.
4. Loring, L. J. and P. A. Cundall, 1987, Modeling of reinforced concrete using the distinct element method, SEM/RILEM International Conference on Fracture of Concrete and Rock, Houston, Texas, pp. 276-287.
5. 馬 貴臣, 三宅淳巳, 小川輝繁, 緒方雄二, 瀬戸政弘, 勝山邦久, 1998, 鐵筋コンクリートの發破解体における鐵筋の影響について, 火藥學會誌, Vol. 59, No. 2, pp. 93-103.



박 훈

1998년 전북대학교 자원공학과 공학사  
 2000년 전북대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
 E-mail : hujin@chonbuk.ac.kr  
 현재 전북대학교 대학원 자원·에너지공학과 박사과정



김 승 곤

1977년 전북대학교 자원공학과 공학사  
 1980년 전북대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
 2003년 전남대학교 대학원 자원공학과 공학박사  
 E-mail : kimsk@chonbuk.ac.kr  
 현재 전북대학교 자원·에너지공학과 교수

---



송 정 언

2001년 전북대학교 자원공학과 공학사  
 2003년 전북대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
 E-mail : sjuda@chonbuk.ac.kr  
 현재 전북대학교 대학원 자원·에너지공학과 박사과정

---