

콘크리트 기둥의 발파해체시 파쇄도에 미치는 수직하중의 영향

Effect of Vertical Load on Fragmentation by Demolition of Model Concrete Pillar

김 승곤¹⁾, 박 훈¹⁾, 양 형식²⁾

Seung-Kon Kim, Hoon Park and Hyung-Sik Yang

¹⁾전북대학교 ²⁾전남대학교

초 록

본 연구에서는 콘크리트 기둥 발파시 단부 조건을 고려하여 수직 하중에 따른 발파에 의한 파쇄형태를 비교하였다. 또한 파쇄도에 대한 정량적인 해석을 위해 상·하단부의 무게비와 각 방향별 단면의 면적비를 비교하였으며, 장전충을 달리한 모형 구조물 발파해체시 각 층별 기둥의 파쇄형태와 방향별 면적비를 비교하여, 전체적인 구조물의 파쇄도를 비교하였다.

핵심어 : 콘크리트 기둥 발파, 파쇄도, 구조물 발파해체

1. 서 론

구조물의 노후화에 따른 철거 및 재건축을 위해 많은 해체공사가 이루어지고 있으며 발파해체공법을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 이에 따라, 구조물 발파해체에 대한 다양한 부재실험과 수치적 모델링에 대한 연구가 이루어져 왔다. 특히 주부재인 콘크리트 기둥에 대한 발파 실험을 통해 장약량 및 파쇄도, 방호재의 특성 등에 대한 기초적인 연구가 이루어지고 있다.(류 외, 1996, Molin, 1998)

그러나 이들 연구는 기둥의 단부 조건을 고려하지 않았고, 실험으로는 실제 발파 해체시 적절한 장약량 및 파쇄도를 예측하지는 못하였으며, 대상 구조물의 시험 발파를 통해 확

인해야만 했다. 또한 파쇄도에 대한 정량적인 해석이 없고, 단지 상·하단부의 파쇄 형태만 비교하여 왔다.(강, 1995a, Saito et al., 1998) 본 연구에서는 콘크리트 기둥의 단부조건을 고려하여 고정단-고정단에서 수직하중에 따른 발파에 의한 파쇄형태를 비교하였고, 파쇄도의 정량적인 해석을 위해 상·하단부의 무게비와 각 방향별 단면의 면적비를 비교하였다. 또한 콘크리트 구조물의 장전충을 달리하여 발파함으로써 각 층별 파쇄도를 비교하여, 구조물 붕괴시 발파에 의한 파쇄와 낙하충격에 의한 파쇄를 비교하였다.

2. 하중에 따른 콘크리트 기둥 발파

2.1 실험방법

하중에 따른 콘크리트 기둥 발파 실험을 위해 15×15×60cm의 콘크리트 기둥 8개를 제작하였고, 파쇄도를 비교하기 위하여 기둥의 각 면에 3×3cm의 눈금을 그리고 천공 방향을 기준으로 전·후·좌·우로 구별하였다.

콘크리트의 설계기준 강도는 180kgf/cm²이고, 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 강모래를 5mm 체를 통과한 모래, 굵은 골재는 강자갈로 5mm 체에는 남고, 20mm 체를 통과한 자갈을 사용하였다. 재료의 배합표는 표 1과 같고, 물/시멘트 비율은 0.45로 하였다.

표 1. 콘크리트 배합표

배합재료	물	시멘트	잔골재	굵은골재
배합비	0.45	1	2.06	3
단위중량	162	360	742	1080

콘크리트 기둥을 파쇄시키기 위해 각 기둥마다 2공씩 천공하였고, 공당 순발너판 1개씩을 장전하였다. 천공장이 짧기 때문에 완전전색을 하기 위해 모래를 사용하지 않고, 시멘트와 모래의 비율이 1:1인 시멘트 모르타르를 사용하여 전색하였고, 3일간 양생시켰다. 천공의 오차는 ±5° 이내로 하고, 천공장은 기둥 단면 두께의 75%로 하였다. 천공위치는 기둥길이의 0.5배 되는 위치를 중심으로 상하 기둥쪽의 0.635배 되는 곳에 천공하였다.(강, 1995b)

방호는 Ψ 1.2mm인 10mm 격자형 철망을 천공면과 수직한 측면부에서 각각 2cm 떨어진 곳에서 시작하여, 3cm 이상이 겹치도록 마감을 하고 철사로 고정시켰다.

최대 하중 200톤까지 가압할 수 있는 만능

재료시험기로 콘크리트 기둥의 단부에 수직하중을 가하면서 하중이 각각 0.1, 0.5, 1.0, 2.0톤일 때 발파를 실시하였다.

기둥별 발파 패턴은 표 2와 같으며, 그림 1 천공 및 방호 상세도이다.

표 2. 기둥별 발파 패턴

기둥번호	A-1 A-5	A-2 A-6	A-3 A-7	A-4 A-8
수직하중	0.1톤	0.5톤	1.0톤	2.0톤
천공수	2공	2공	2공	2공
천공장	11.25cm	11.25cm	11.25cm	11.25cm
천공각	0°(수평)	0°(수평)	0°(수평)	0°(수평)
천공경	7.5mm	7.5mm	7.5mm	7.5mm
천공위치	20.6cm 39.4cm	20.6cm 39.4cm	20.6cm 39.4cm	20.6cm 39.4cm
방호재	격자철망 10mm Ψ 1.2	격자철망 10mm Ψ 1.2	격자철망 10mm Ψ 1.2	격자철망 10mm Ψ 1.2

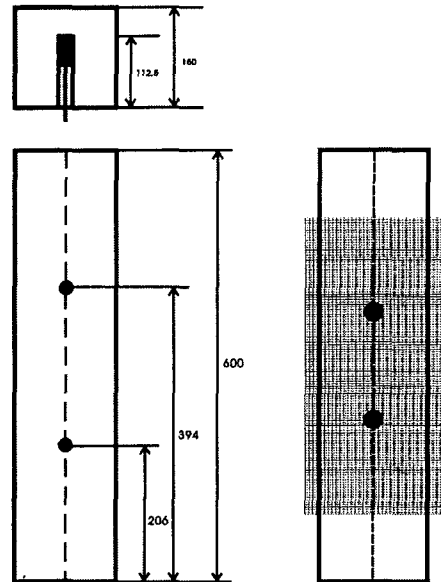


그림 1. 천공 및 방호 상세도

발파 후 무게비를 고려하기 위해 상·하단부의 파쇄되고 남은 부분의 무게를 측정하였고, 각 방향별 단면의 면적비를 비교하기 위해 방향별로 사진 촬영을 하였으며, 단면의 면적은 기둥의 중심축 최대 면적을 계산하였다.

2.2 하중별 파쇄 형태

그림 2에서 그림 5는 하중을 0.1, 0.5, 1.0, 2.0톤으로 재하시 발파한 후의 각 방향별 파쇄 형태를 나타낸다.

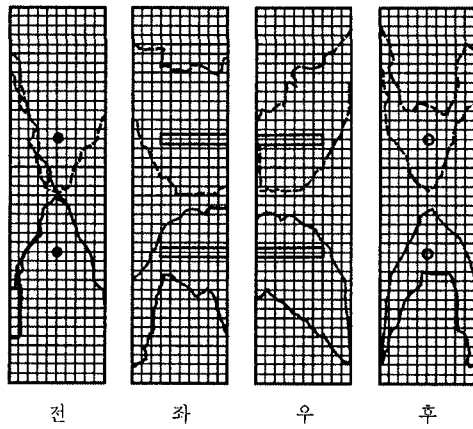


그림 2. 방향별 파쇄형태(하중0.1톤)

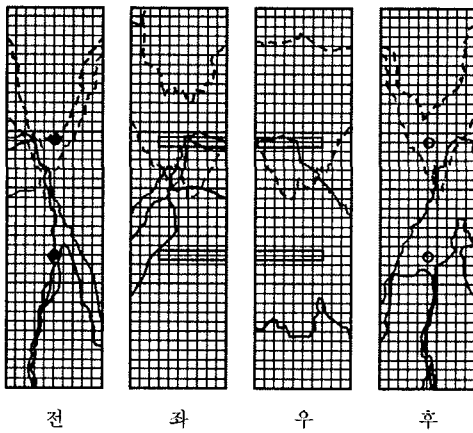


그림 3. 방향별 파쇄형태(하중 0.5톤)

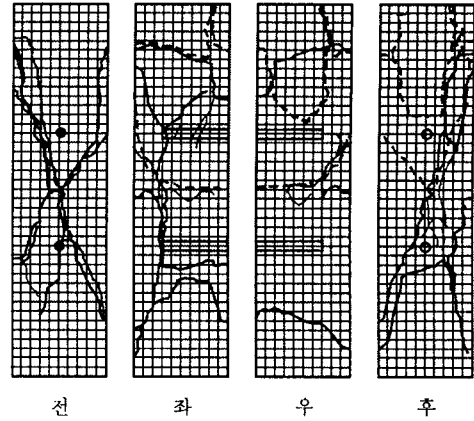


그림 4. 방향별 파쇄형태(하중 1.0톤)

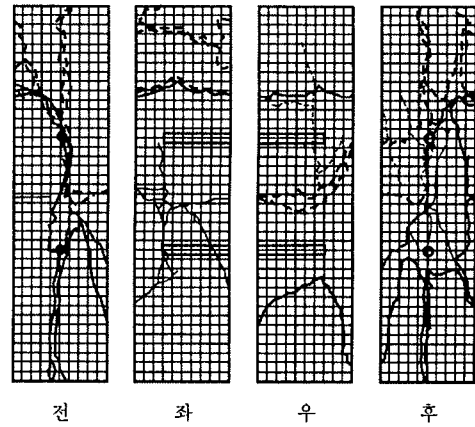


그림 5. 방향별 파쇄형태(하중 2.0톤)

하중이 0.1톤일 때 발파된 기둥의 각 방향별 상·하단부의 파쇄 형태는 전면과 후면에서는 원추형의 파쇄 형태를 보이며, 좌측면과 우측면은 수평방향으로의 파쇄 형태를 보이나, 천공의 끝부분에서는 원추형의 파쇄 형태를 보인다. 또한 상·하단부의 전면과 후면에서의 수평방향 및 수직방향의 두드러진 균열은 보이지 않았다.

하중이 0.5톤일 때 파쇄 형태는 상단부 전면과 후면은 원추형의 파쇄 형태를 보이나,

하단부의 경우에는 파쇄 형태가 일정하지 않았다. 좌측면과 우측면은 하중이 0.1톤일 때의 경우와 비슷하게 수평방향으로의 파쇄 형태를 보이고, 천공의 끝부분에서는 원추형의 파쇄 형태를 보인다. 상·하단부 전면과 후면에서 수평방향의 균열은 기둥의 중심에서 미세하게 발생하였으며, 천공 위치를 중심으로 수직방향으로 두드러진 균열이 발생하였다.

하중이 1.0톤일 때 기둥의 파쇄 형태는 상단부의 전면과 후면은 하중이 0.5톤일 때의 경우와 비슷하게 원추형의 파쇄 형태를 보이며, 하단부의 파쇄 형태는 일정하지 않았다. 좌측면과 우측면은 복잡한 파쇄 형태를 보이며, 상·하단부의 전면과 후면에서 수평방향으로 미세한 균열이 발생하였으나, 수직방향으로는 두드러진 균열이 발생하였다. 좌측면과 우측면에서는 수직방향과 수평방향으로의 미세한 균열이 복잡하게 발생하였다.

하중이 2.0톤일 때의 파쇄 형태는 전반적으로 더욱 복잡한 균열의 발생 형태를 보여주었다. 상단부의 전면과 후면은 하중이 0.1, 0.5, 1.0톤일 때의 경우와 달리 복잡한 파쇄 형태를 보이며, 하단부의 파쇄 형태 또한 일정하지 않았다. 또한 좌측면과 우측면의 파쇄 형태도 일정하지 않았다. 상·하단부 전면과 후면에서 수평방향의 균열은 기둥의 중심에서 미세하게 발생하였고, 수직방향으로는 두드러진 균열이 발생하였다.

하중이 증가할수록 전면과 후면에서의 수직방향의 균열은 더욱 두드러졌으며, 좌측면과 우측면에서는 수직방향과 수평방향의 미세한 균열이 복잡하게 발생하였다.

일반적으로 압력이 증가하면 탄성과 속도는 증가하고, 그 증가율은 대부분이 비교적 압력이 낮은 부분에서 일어난다(윤, 1992). 수직방향의 하중이 증가할 때 수직방향의 탄성과 속

도가 수평방향의 탄성과 속도보다 상대적으로 커지고, 기둥의 중심에서 수직방향으로 인장 균열면이 발달하여 발파후 파쇄 형태는 하중이 증가할수록 기둥의 중심에서 수직방향의 균열이 두드러진다(Jung et al., 2001).

하중이 0.1톤의 경우 수직방향의 균열은 발생하지 않았으며, 0.5톤과 1.0톤의 경우에는 상·하단부 중 어느 한쪽으로 수직방향의 균열이 발생하였으며, 2.0톤의 경우에는 상·하단부 모두 수직방향의 균열이 발생하였다. 이것은 하중이 0.1톤과 0.5톤 사이에 탄성과 속도 증가율이 크게 발생하였고, 이 후에는 탄성과 속도 증가율이 비교적 완만하다는 것을 알 수 있다.

구조물 발파해체시 저층에 있는 기둥은 상대적으로 고층에 있는 기둥보다 수직하중을 많이 받고 있으므로, 동일한 규격과 물성을 지닌 기둥이라도 저층에 있는 기둥은 수직방향의 파쇄가 우세하지만, 상대적으로 수평방향의 파쇄는 미약하여 붕괴되지 않을 수 있다. 그러므로 수평방향의 파쇄를 발생시키기 위해 장약량의 증가, 천공수의 증가 또는 천공 패턴을 적절히 조절해야 한다.

고층에 있는 기둥은 수직방향의 파쇄가 우세하지 않더라도 수평방향의 파쇄가 일어나기 때문에 붕괴가 용이하며, 저층에 있는 기둥보다 상대적으로 장약량이 감소하고, 천공수도 감소한다.

2.3 무게비와 면적비 비교

콘크리트 기둥 발파시 기둥의 파쇄도에 대한 정량적인 해석을 위해 상·하단부의 무게비와 각 방향별 단면적의 면적비를 비교하였다.

다음 표 3은 하중에 따른 상·하단부의 측정된 무게와 무게비의 결과를 나타낸 것이다.

각 방향별 전체 면적비의 표준편차는 전체 무게비의 표준편차보다 작으며, 무게비로 파쇄도를 고려할 경우 기둥의 파쇄 형태를 비교할 수 없으나 면적비로 파쇄도를 고려할 경우

방향별 파쇄 정도에 따라 천공상태 및 장약량을 조절할 수 있다. 그러므로 각주형 기둥의 발파시 상·하단부의 무게비보다 방향별 면적비로 파쇄도를 비교하는 것이 효율적일 것이다.

각 방향별 파쇄 형태를 예측할 수 있으며, 각

표 4. 기둥의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비

시료번호 (하중)	상단부 면적(cm ²)		하단부 면적(cm ²)		전체 면적(cm ²)		면적비(상단/하단)
	Front	Left	Front	Left	Front	Left	
A-1 (0.1)	Front	270.408	Front	324.209	Front	594.671	0.455/0.545
	Left	364.844	Left	416.077	Left	780.921	0.467/0.533
	Right	416.496	Right	371.990	Right	788.486	0.528/0.472
	Back	343.300	Back	248.228	Back	591.528	0.580/0.420
A-2 (0.5)	Front	469.919	Front	492.467	Front	962.386	0.488/0.512
	Left	473.707	Left	510.446	Left	984.153	0.481/0.519
	Right	513.623	Right	468.559	Right	982.182	0.523/0.477
A-3 (1.0)	Front	487.095	Front	496.555	Front	983.651	0.495/0.505
	Left	466.879	Left	483.411	Left	950.290	0.491/0.509
	Right	505.664	Right	466.505	Right	972.169	0.520/0.480
	Back	497.789	Back	467.356	Back	965.144	0.516/0.484
A-4 (2.0)	Front	486.909	Front	506.413	Front	993.323	0.490/0.510
	Left	482.566	Left	522.190	Left	1004.756	0.480/0.520
	Right	523.519	Right	468.722	Right	992.241	0.528/0.472
	Back	496.726	Back	469.321	Back	966.047	0.514/0.486
A-5 (0.1)	Front	293.529	Front	341.546	Front	635.075	0.462/0.538
	Left	352.783	Left	389.309	Left	742.093	0.475/0.525
	Right	388.286	Right	361.576	Right	749.862	0.518/0.482
	Back	347.838	Back	298.504	Back	646.341	0.538/0.462
A-6 (0.5)	Front	366.961	Front	403.837	Front	770.798	0.476/0.524
	Left	418.176	Left	460.149	Left	878.325	0.476/0.524
	Right	456.213	Right	424.891	Right	881.104	0.518/0.482
	Back	414.012	Back	336.922	Back	750.934	0.551/0.449
A-7 (1.0)	Front	406.051	Front	468.319	Front	874.369	0.464/0.535
	Left	485.072	Left	482.236	Left	967.308	0.501/0.499
	Right	487.684	Right	475.424	Right	963.109	0.506/0.494
	Back	459.308	Back	428.967	Back	888.275	0.517/0.483
A-8 (2.0)	Front	460.506	Front	479.293	Front	939.799	0.490/0.510
	Left	452.212	Left	460.210	Left	912.422	0.496/0.504
	Right	499.563	Right	449.528	Right	949.091	0.526/0.474
	Back	474.449	Back	481.240	Back	955.689	0.496/0.504

3. 구조물 발파 해체

3.1 실험방법

콘크리트 발파실험과 동일한 기둥과 보, 슬래브로 구성된 3층 콘크리트 구조물을 제작하여, 구조물 B의 경우 1층과 2층에, 구조물 C의 경우 1층과 3층에 콘크리트 발파 실험과 동일하게 천공하여 장전하였다. 천공 및 방호는 콘크리트 발파실험과 동일하며, 대상 구조물의 정면도, 평면도, 측면도는 그림 8에서 그림 10과 같다.

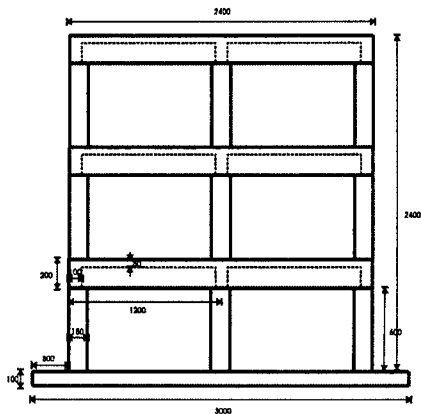


그림 8. 대상 구조물 정면도

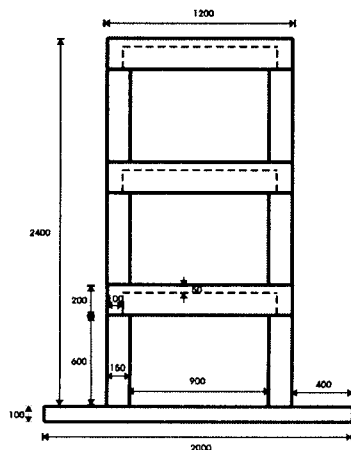


그림 9. 대상 구조물 측면도

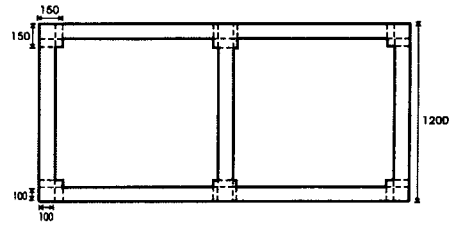


그림 10. 대상 구조물 평면도

3.2 층별 파쇄 형태

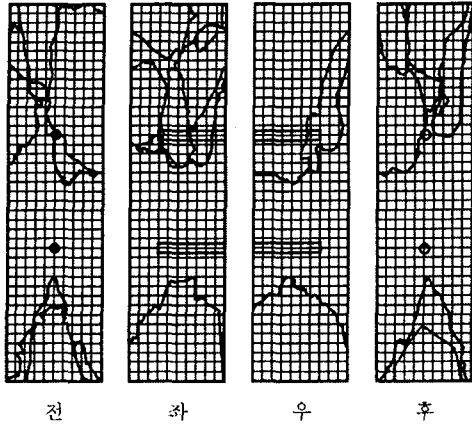
그림 11에서 그림 18은 구조물 B와 C의 장전층에 따른 발파후 콘크리트 기둥의 방향별 파쇄 형태를 나타낸 것이다.

구조물 B동 1층의 상·하단부의 파쇄 형태는 전면과 후면에서 하단부는 원추형의 파쇄 형태를 보이지만 상단부의 파쇄 형태는 일정하지 않고, 수직방향으로 다수의 균열이 발생하였다. 좌측면과 우측면은 수평방향의 파쇄 형태를 보이며 천공의 끝부분은 원추형의 형태를 보인다.

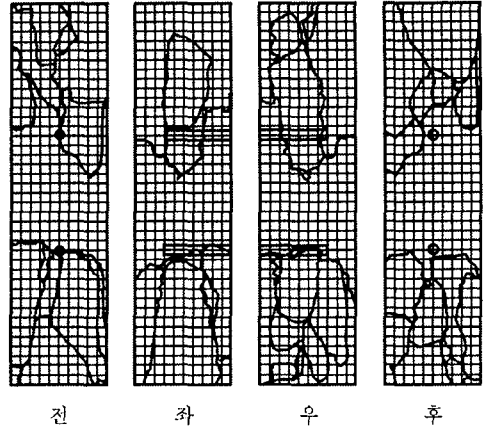
구조물 B동 2층의 상·하단부의 파쇄 형태는 전면, 후면, 좌측면, 우측면 모두 파쇄 형태가 일정하지 않고 복잡한 균열이 발생하였으며, 특히 수직방향으로 다수의 균열이 발생하였다.

구조물 C동 1층의 파쇄 형태는 상·하단부의 경우 전면과 후면에서는 원추형의 파쇄 형태를 보이고, 좌측면과 우측면의 경우 수평방향의 파쇄 형태를 보이며, 천공의 끝부분은 원추형의 파쇄 형태를 보인다.

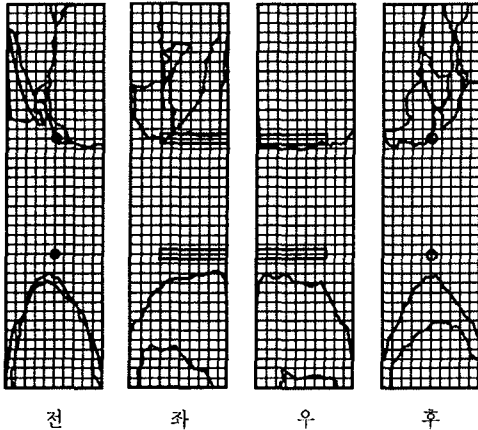
구조물 C동 3층의 파쇄 형태는 상단부의 파쇄 형태는 전면과 후면에서 원추형의 파쇄 형태를 보이지만, 하단부의 경우 파쇄 형태는 일정하지 않았고, 수직방향의 균열이 발생하였다. 좌측면과 우측면에서 상단부와 하단부는 모두 수평방향의 파쇄 형태를 보이지만 하단부의 경우 수직방향의 균열이 발생하였다.



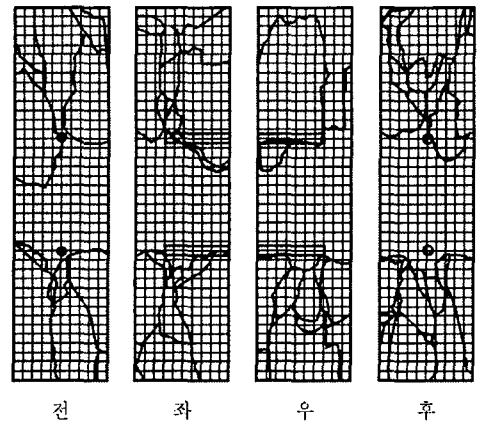
전 좌 우 후
그림 11. 방향별 파쇄형태(B-1-1)



전 좌 우 후
그림 13. 방향별 파쇄형태(B-2-1)



전 좌 우 후
그림 12. 방향별 파쇄형태(B-1-2)



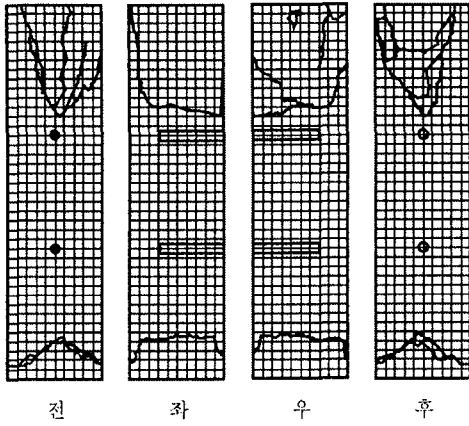
전 좌 우 후
그림 14. 방향별 파쇄형태(B-2-2)

구조물 B동 2층 상·하단부, 구조물 C동 3층 하단부는 구조물의 자중에 의한 수직방향의 복잡한 파쇄 형태를 보이지만, 구조물 B동 1층 상·하단부와 C동 1층의 상·하단부는 구조물의 자중에 의한 수직방향의 균열이 확장되고 구조물이 붕괴되면서 낙하 충격에 의한 2차 파쇄의 영향으로 파쇄가 크게 발생하였다.

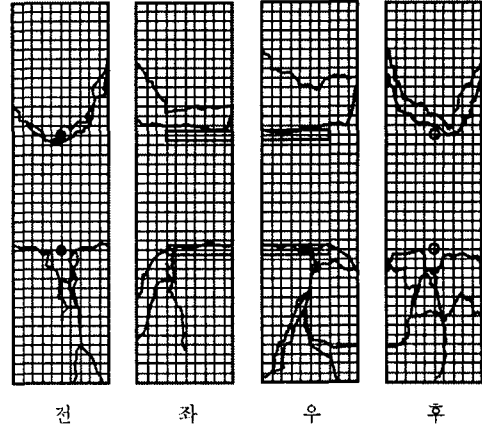
또한 구조물 B동 1층은 상단부보다 하단부에서 낙하 충격에 의한 2차 파쇄가 상대적으로 크게 발생하였으며, 구조물 C동 1층은 상·하단부에서 낙하 충격에 대한 2차 파쇄가 균일하게 발생하였다.

3.3 층별 파쇄 면적비 비교

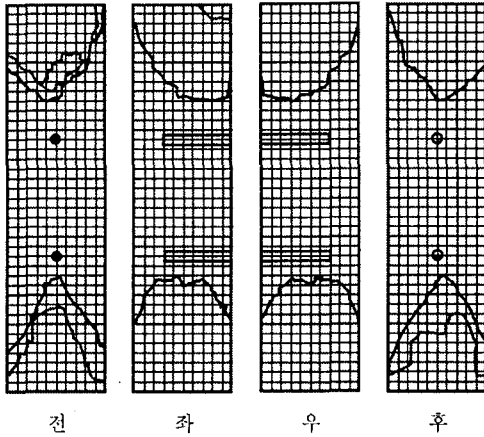
구조물 B동 1층의 상·하단부 각 방향별 면적비의 범위는 상단부의 경우 0.424~0.769



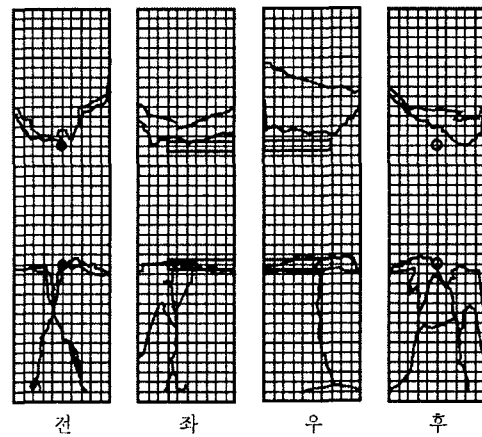
전 좌 우 후
그림 15. 방향별 파쇄형태(C-1-2)



전 좌 우 후
그림 17. 방향별 파쇄형태(C-3-1)



전 좌 우 후
그림 16. 방향별 파쇄형태(C-1-6)



전 좌 우 후
그림 18. 방향별 파쇄형태(C-3-2)

이고, 하단부의 경우 0.231~0.576이다. 구조물 B동 3층의 경우 상단부 면적비의 범위는 0.417~0.566이고, 하단부 면적비의 범위는 0.434~0.583이다.

구조물 C동 1층의 상·하단부의 각 방향별 면적비는 상단부의 경우 0.226~0.781이고, 하단부의 경우 0.281~0.774이다. 또한 3층의 각 방향별 면적비는 상단부의 경우 0.438~0.559이고 하단부의 경우 0.441~0.562이다.

하중에 따른 콘크리트 기둥 발파 실험 결과, 상·하단부가 차지하는 면적비는 하중에 관계없이 평균 0.483~0.518이었지만, 구조물 B동 1층과 구조물 C동 1층의 경우 실험 결과와는 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 구조물 1층의 경우에는 발파에 의한 파쇄와 함께 낙하 충격에 의한 2차 파쇄에 의한 영향으로 면적비 평균값의 차이가 발생하는 것으로 추정된다. 표 5에서 8은 구조물의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비를 나타낸다.

표 5. 구조물 B동 1층 기둥의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비

기둥번호	상단부 면적(cm ²)		하단부 면적(cm ²)		전체 면적(cm ²)		면적비(상단/하단)
B-1-1	Front	366.830	Front	110.297	Front	477.127	0.769/0.231
	Left	348.675	Left	178.515	Left	477.1270	0.661/0.339
	Right	364.822	Right	192.850	Right	477.127	0.654/0.346
	Back	316.785	Back	117.770	Back	477.127	0.729/0.271
B-1-2	Front	285.749	Front	185.594	Front	471.343	0.606/0.394
	Left	279.849	Left	235.447	Left	471.343	0.543/0.457
	Right	322.795	Right	220.866	Right	471.343	0.594/0.406
	Back	275.160	Back	194.380	Back	471.3430	0.586/0.414
B-1-3	Front	356.869	Front	194.167	Front	551.036	0.648/0.352
	Left	384.700	Left	234.424	Left	551.036	0.621/0.379
	Right	364.969	Right	268.450	Right	551.036	0.576/0.424
	Back	352.904	Back	225.512	Back	551.036	0.610/0.390
B-1-4	Front	323.965	Front	167.210	Front	491.175	0.660/0.340
	Left	310.956	Left	203.260	Left	491.175	0.605/0.395
	Right	336.340	Right	212.116	Right	491.175	0.613/0.387
	Back	281.866	Back	173.632	Back	491.175	0.619/0.381
B-1-5	Front	349.192	Front	410.117	Front	759.309	0.460/0.540
	Left	345.337	Left	466.537	Left	759.309	0.425/0.575
	Right	373.055	Right	336.340	Right	759.309	0.526/0.474
	Back	314.758	Back	427.030	Back	759.309	0.424/0.576
B-1-6	Front	340.458	Front	245.756	Front	586.214	0.581/0.419
	Left	358.777	Left	280.787	Left	586.214	0.561/0.439
	Right	329.013	Right	286.527	Right	586.2140	0.535/0.465
	Back	318.117	Back	245.652	Back	586.214	0.564/0.436

표 6. 구조물 B동 2층 기둥의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비

기둥번호	상단부 면적(cm ²)		하단부 면적(cm ²)		전체 면적(cm ²)		면적비(상단/하단)
B-2-1	Front	299.191	Front	297.900	Front	597.091	0.501/0.499
	Left	327.076	Left	297.900	Left	597.091	0.523/0.477
	Right	334.339	Right	290.502	Right	597.091	0.535/0.465
	Back	292.667	Back	286.511	Back	597.091	0.505/0.495
B-2-2	Front	356.021	Front	297.900	Front	653.921	0.544/0.456
	Left	339.672	Left	295.594	Left	653.921	0.535/0.465
	Right	315.891	Right	290.137	Right	653.921	0.521/0.479
	Back	307.215	Back	286.056	Back	653.921	0.518/0.482
B-2-3	Front	297.857	Front	415.582	Front	713.439	0.417/0.583
	Left	299.006	Left	347.831	Left	713.439	0.462/0.538
	Right	309.744	Right	372.135	Right	713.439	0.454/0.546
	Back	308.628	Back	375.282	Back	713.439	0.451/0.549
B-2-4	Front	503.648	Front	386.424	Front	890.072	0.566/0.434
	Left	423.832	Left	398.090	Left	890.072	0.516/0.484
	Right	385.922	Right	401.273	Right	890.072	0.490/0.510
	Back	448.064	Back	405.420	Back	890.072	0.525/0.475
B-2-5	Front	354.803	Front	327.997	Front	682.800	0.520/0.480
	Left	357.234	Left	332.316	Left	682.8	0.518/0.482
	Right	328.008	Right	325.729	Right	682.8	0.502/0.498
	Back	377.063	Back	333.408	Back	682.8	0.531/0.469
B-2-6	Front	287.049	Front	351.578	Front	638.627	0.449/0.551
	Left	308.002	Left	368.239	Left	638.627	0.455/0.545
	Right	281.556	Right	366.086	Right	638.627	0.435/0.565
	Back	300.738	Back	338.970	Back	638.627	0.470/0.530

표 7. 구조물 C동 1층 기둥의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비

기둥번호	상단부 면적(cm ²)		하단부 면적(cm ²)		전체 면적(cm ²)		면적비(상단/하단)
C-1-1	Front	301.190	Front	139.391	Front	440.581	0.684/0.316
	Left	338.699	Left	163.844	Left	440.581	0.674/0.326
	Right	342.727	Right	169.180	Right	440.581	0.670/0.330
	Back	287.397	Back	116.178	Back	440.581	0.712/0.288
C-1-2	Front	159.614	Front	63.477	Front	223.091	0.715/0.286
	Left	223.604	Left	91.851	Left	223.091	0.709/0.291
	Right	240.794	Right	94.416	Right	223.0910	0.718/0.282
	Back	149.581	Back	65.527	Back	223.091	0.695/0.305
C-1-3	Front	241.399	Front	200.091	Front	441.490	0.547/0.453
	Left	292.243	Left	266.013	Left	441.49	0.523/0.477
	Right	271.734	Right	264.463	Right	441.49	0.507/0.493
	Back	248.973	Back	183.082	Back	441.49	0.576/0.424
C-1-4	Front	81.854	Front	244.201	Front	326.055	0.251/0.749
	Left	86.702	Left	258.877	Left	326.055	0.251/0.749
	Right	96.619	Right	268.165	Right	326.055	0.265/0.735
	Back	70.770	Back	241.780	Back	326.0550	0.226/0.774
C-1-5	Front	166.954	Front	196.675	Front	363.629	0.459/0.541
	Left	199.728	Left	256.836	Left	363.629	0.437/0.563
	Right	214.502	Right	229.793	Right	363.629	0.483/0.517
	Back	160.598	Back	195.584	Back	363.629	0.451/0.549
C-1-6	Front	166.379	Front	181.168	Front	347.547	0.479/0.521
	Left	178.485	Left	235.403	Left	347.547	0.431/0.569
	Right	180.469	Right	239.309	Right	347.547	0.430/0.570
	Back	163.643	Back	190.753	Back	347.547	0.462/0.538

표 8. 구조물 C동 3층 기둥의 상·하단부 각 방향별 면적 및 면적비

기둥번호	상단부 면적(cm ²)		하단부 면적(cm ²)		전체 면적(cm ²)		면적비(상단/하단)
C-3-1	Front	290.262	Front	308.190	Front	598.452	0.485/0.515
	Left	289.042	Left	309.313	Left	598.452	0.483/0.517
	Right	291.369	Right	314.153	Right	598.452	0.481/0.519
	Back	269.089	Back	290.630	Back	598.452	0.481/0.519
C-3-2	Front	264.876	Front	305.739	Front	570.615	0.464/0.536
	Left	293.560	Left	311.499	Left	570.615	0.485/0.515
	Right	273.876	Right	322.977	Right	570.615	0.459/0.541
	Back	265.640	Back	302.725	Back	570.615	0.467/0.533
C-3-3	Front	271.995	Front	255.788	Front	527.783	0.515/0.485
	Left	339.155	Left	267.113	Left	527.783	0.559/0.441
	Right	329.341	Right	276.026	Right	527.783	0.544/0.456
	Back	264.219	Back	221.937	Back	527.783	0.543/0.457
C-3-4	Front	202.104	Front	232.320	Front	434.424	0.465/0.535
	Left	238.578	Left	289.088	Left	434.424	0.452/0.548
	Right	222.688	Right	285.670	Right	434.424	0.438/0.562
	Back	209.735	Back	248.912	Back	434.424	0.457/0.543
C-3-5	Front	220.556	Front	268.863	Front	489.419	0.451/0.549
	Left	239.928	Left	222.752	Left	489.4190	0.519/0.481
	Right	228.059	Right	291.421	Right	489.4190	0.439/0.561
	Back	228.222	Back	253.666	Back	489.419	0.474/0.526
C-3-6	Front	273.381	Front	241.550	Front	514.931	0.531/0.469
	Left	276.861	Left	270.679	Left	514.9310	0.506/0.494
	Right	285.137	Right	276.639	Right	514.931	0.508/0.492
	Back	266.875	Back	237.008	Back	514.931	0.530/0.470

다음 그림 19는 구조물 발파해체시 콘크리트 기둥의 층별 파쇄도를 면적비로 비교한 것이다.

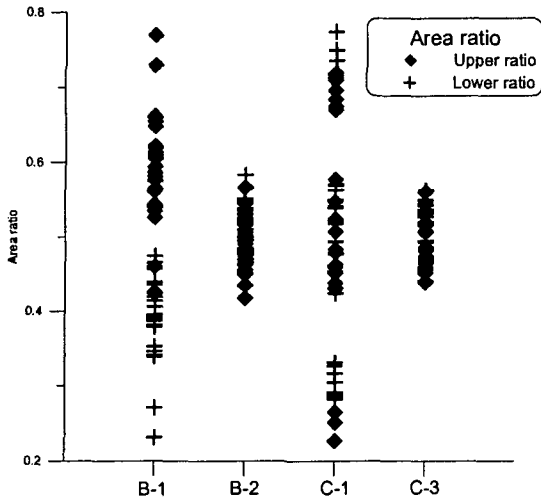


그림 19. 콘크리트 기둥의 층별 면적비

구조물 B동 1층의 경우 전체 면적비의 폭이 넓고 특히 하단부의 파쇄가 크고, 상단부의 파쇄는 작게 발생하였는데, 이것은 낙하 충격에 의한 2차 파쇄가 발생하였으며, 전체 파쇄가 일정하지 않다는 것을 알 수 있다. 또한 2층의 경우 낙하 충격에 의한 파쇄보다 발파에 의한 파쇄가 주로 발생하였다는 것을 알 수 있으며 전체적인 파쇄는 일정하다는 것을 알 수 있다.

구조물 C동 1층의 경우 전체 면적비의 폭이 구조물 B동 1층의 경우처럼 넓으므로 2차 파쇄가 발생함을 알 수 있으며 상·하단부의 파쇄 또한 균일함을 알 수 있다. 또한 전체적인 파쇄도가 균일하다. 발파에 의한 파쇄는 하중에 관계없이 상·하단부의 면적비가 일정하기 때문에, 3층의 경우 낙하 충격에 의한 파쇄는 거의 발생하지 않았으며, 발파에 의한 파쇄가 주로 발생하였다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

구조물 발파해체를 위한 콘크리트 기둥 발파 실험에서 기둥의 단부조건을 고려하지 못하였고, 파쇄도에 대한 정량적인 해석이 없이 파쇄 형태만을 비교하였기 때문에 적절한 장약량 및 파쇄도를 예측하지 못하였다. 본 연구에서는 콘크리트 기둥의 단부조건을 고려하여 고정단-고정단에서 수직하중에 따른 발파에 의한 기둥의 파쇄 형태를 비교하였고, 파쇄도의 정량적인 해석을 위해 면적비를 비교하였다. 또한 구조물의 각 층별 파쇄 형태와 면적비를 비교하여 구조물 붕괴시 전체적인 구조물의 파쇄도를 예측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 하중에 따른 콘크리트 기둥 발파시 하중이 증가할수록 수직 방향의 균열이 두드러졌으며, 수평 방향의 파쇄를 위해 하중에 따라 장약량, 천공수, 천공 패턴을 적절히 조절해야 한다는 것을 보여준다.
- 2) 파쇄도의 정량적인 해석을 위해 각주형 기둥의 경우, 각 방향별 전체 면적비의 표준편차는 전체 무게비의 표준편차보다 작으며, 무게비의 경우 기둥의 파쇄 형태를 비교할 수 없으나, 면적비의 경우 각 방향별 파쇄 형태를 비교할 수 있으며, 파쇄 정도에 따라 천공상태 및 장약량을 조절할 수 있다.
- 3) 발파에 의한 파쇄는 하중에 관계없이 상·하단부의 면적비는 일정하고, 구조물 발파해체시 각 층별 기둥의 전체 면적비를 비교하면 발파에 의한 파쇄와 낙하 충격에 의한 2차 파쇄의 영향을 예측할 수 있으며, 전체적인 구조물의 파쇄도를 예측할 수 있다.

발파해체시 발파하려는 콘크리트 기둥의 위치와 기둥이 받는 하중에 따라 대상 구조물의

전체적인 붕괴거동 및 파쇄도에 영향을 미칠 것이다. 이에 대한 기둥의 장약량 및 천공 위치의 적절한 선정이 사전 계획시 철저히 검토 되어 효과적인 발파해체가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 강영철, 1995a, 붕괴 기구 형성을 위한 적정 장약량 산정 공식의 평가, 한국자원공학회 춘계학술발표회 논문집, 274-283.
2. 강영철, 1995b, 철근콘크리트 구조물의 발파 해체를 위한 자동화 지식베이스 시스템, 공학박사 학위논문, 서울대학교 대학원.
3. 류창하, 최수일, 박용원, 김양균, 1996, 철근콘크리트 기둥 발파해체를 위한 방호재 특성에 대한 실험적 연구, 터널과 지하공간 6, 260-266.
4. 山口梅太郎, 西松裕一, 1967, 岩石力學入門, 東京大學出版會, 184-189.
5. Jung, W. J., M. Utagawa, Y. Ogata, M. Seto, K. Katsuyama, A. Miyake and T. Ogawa, 2001, Effects of rock pressure on crack generation during tunnel blasting, 火藥學會誌 62.3, 138-145.
6. 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, 69-77.
7. 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, 79-87.