

구조물 발파해체로 인한 지반진동의 해석 연구

김승곤¹⁾, 박 훈¹⁾, 양형식²⁾

Analysis of Ground Vibration due to Demolition

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

Abstract. In the ground vibration due to demolition, blasting vibration and impact vibration of collapsed structure are separated. In this paper, model structures were collapsed by blasting with different charge locations. Ground vibrations were measured and separated as blasting and impact vibrations by waveform and dominant frequency. Vibration characteristics of different charge locations were examined.

KeyWords: Blasting vibration, Impact Vibration, Demolition, Waveform analysis, Frequency analysis

초 록. 구조물 발파해체시 발생하는 지반진동은 발파진동과 붕괴되는 구조물의 낙하에 의한 충격진동으로 구별되어 나타난다. 본 연구에서는 모형 구조물에 장전층을 달리하여 붕괴시켰다. 이때 발생하는 지반진동을 발파진동과 충격진동으로 구별하여 각 방향별 파형 및 주파수를 분석하고 장전층의 변화에 따른 진동의 특성을 비교하였다.

핵심어: 발파진동, 충격진동, 발파해체, 파형분석, 주파수분석

1. 서 론

최근 노후 구조물의 철거 및 재건축을 위해 발파해체 공법이 적용되고 있다. 그러나 많은 사람들이 발파에 대해 위험하다는 인상을 가지고 있고 법적·제도적인 가이드 라인이 설정되지 않아서 발파해체에 대한 이론적이고, 기술적인 자료와 연구가 부족한 실정이다(Kasai et al., 1994).

최근 들어 발파해체에 대한 기초적인 연구와 실험이 실시되고 있으며, 특히 콘크리트 부재에 대한 발파실험(Saito et al., 1998)과 방호재에 대한 실험(Sueyoshi, 1994, 류 외, 1996), 철골 구조물에 대한 성형폭약의 특성(류 외, 1997)과 붕괴 거동을 예측하기 위한 수치 모델링도 연구되고 있다(송 외, 1995, 고 외, 1997, He et al., 1999, Isobe & Toi, 2000).

일반적으로 발파해체 때의 지반진동은 발파에 의한 발파진동과 구조물의 낙하에 의한 충격진동의 형태를 지니므로(Williams, 1990, Dowding, 1994) 일반 발파

진동과는 다른 형태의 파형을 나타내며 이에 대한 파형 및 주파수 분석이 필요하다(小林茂雄 외, 1993, 馬 외, 1995).

본 연구에서는 모형 구조물을 발파해체하고 그 지반진동을 발파와 충격진동으로 나누어 각 방향별 파형과 주파수를 분석하여 장전층의 변화가 파형과 주파수에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 구조물 제작 및 실험방법, 계측 장비

콘크리트의 물성자료를 구하기 위해 구조물의 각 층마다 압축강도와 인장강도 시험용으로 지름 15 cm 길이 30 cm인 콘크리트 공시체와 15×15×60 cm의 콘크리트 블록에서 코어를 채취하여 압축강도 시험, 직접전단 시험, 인장강도 시험용의 시험편을 제작하였다.

콘크리트의 설계기준 강도는 180 kg/cm²이고, 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 강모래로 5 mm 체를 통과한 모래, 굵은 골재는 강자갈로 5 mm 체에는 남고, 20 mm 체를 통과한 자갈을 사용하였다. 재료의 배합표는 표 1과 같고, 물/시멘트 비율은 0.45로 하였다. 각 구조물의 시료를 시험한 결과 비중은 2.45~2.66, 일축압축강도는 193.1~255.7 kg/cm², 인장강도는

¹⁾전북대학교 자원에너지공학과

²⁾전남대학교 건설지구환경공학부

접수일: 2002년 9월 4일

심사 완료일: 2002년 9월 19일

표 1. 콘크리트 배합표.

배합재료	물	시멘트	잔골재	굵은골재
배합비	0.45	1	2.06	3
단위량 (kg/m ³)	162	360	742	1080

19.6~22.1 kg/cm², 전단강도는 74.95 kg/cm², 포아송비는 0.18~0.37, 탄성계수는 1.64~1.93×10⁵ kg/cm²로 나타났다.

본 실험을 위해 주요 부재인 기둥, 보, 슬래브로 구성된 3층 콘크리트 구조물 3동(구조물 A, B, C)을 제작하였으며 대상 구조물의 정면도, 측면도, 평면도는 그림 1에서 그림 3과 같다.

구조물 A의 경우 1층에 있는 총 6개의 기둥에 대해서만 뇌관을 장전하였는데 각 기둥당 1개씩 총 6개의 순발뇌관을 장전하였다. 구조물 B의 경우 1층과 2층에 있는 총 12개의 기둥에 대해 각 기둥당 2개씩 총 24개의 순발뇌관을 장전하였고, 구조물 C의 경우 1층과 3층에 있는 총 12개의 기둥에 대해 각 기둥당 2개씩 총 24개의 순발뇌관을 장전하였다.

천공장이 짧기 때문에 완전 전색을 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 1공일 때 기둥길이의 0.5배 되는 위치에, 2공일 때 기둥길이의 0.5배 되는 위치를 중심으로 상하 기둥폭의 0.635배 되는 곳에 천공하였다(강, 1995).

방호는 ϕ 1.2 mm인 10 mm 격자형 철망을 천공면과

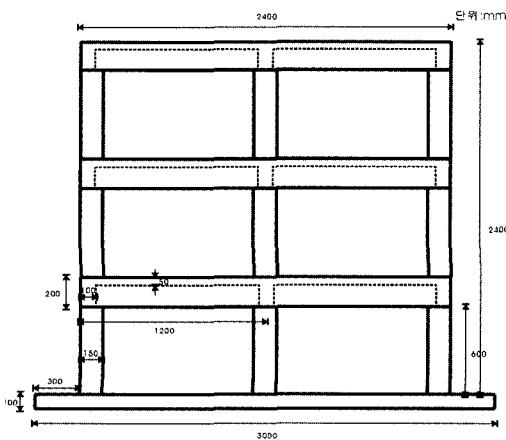


그림 1. 대상 구조물 정면도.

수직인 측면부에서 각각 2 cm 떨어진 곳에서 시작하여, 3 cm 이상이 겹치도록 마감을 하고 철사로 고정시켰다. 각 구조물의 발파패턴은 표 2와 같으며, 그림 4와 그림 5는 천공 상세도 및 방호 상세도이다.

본 구조물 발파해체시 사용한 발파진동측정기는 Canada의 Instantel 사 BlastMate II DS-477, DS-677, BlastMate III 및 MiniMate DS-077 기종으로 초당 1,024의 data가 측정 가능하고, 수직방향, 진행방향 및 접선방향의 세 방향 진동을 감지하는 geophone과 폭풍압을 감지하는 microphone, 그리고 측정된 자료를 기록하고 저장하는 장치로 구성되어 있다. 또한 본 연구에 사용된 진동파형 분석 프로그램은 동사에서 제작한 BlastWare III (Ver 4.01)로서, 진동파형의 필요한 부분을 따로 분리하여 파의 특성을 분석할 수 있고, 각 파형별로 속도, 가속도, 변위의 파형으로 변환시킬 수 있으며 주파수

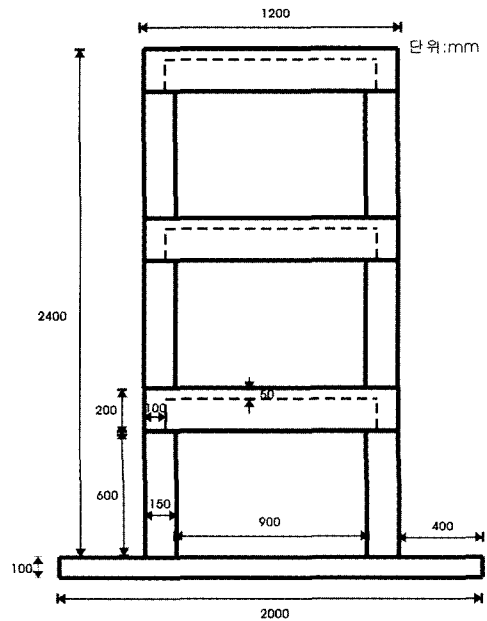


그림 2. 대상 구조물 측면도.

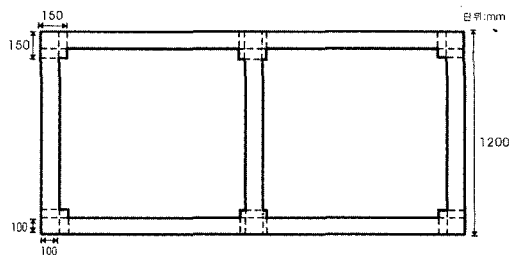


그림 3. 대상 구조물 평면도.

표 2. 구조물별 발파 패턴.

구조물	A	B	C
장전층	1층	1, 2층	1, 3층
기동별 천공수	1공	2공	2공
천공장	11.25 cm	11.25 cm	11.25 cm
천공각	0°(수평)	0°(수평)	0°(수평)
천공경	7.5 mm	7.5 mm	7.5 mm
천공위치	30 cm	20.6 cm 39.4 cm	20.6 cm 39.4 cm
방호재	격자형철망 10 mm, Ψ1.2	격자형철망 10 mm, Ψ1.2	격자형철망 10 mm, Ψ1.2
공당뇌관수	1개	1개	1개
전체천공수	6공	24공	24공
기폭방법	1층 동시발파	1, 2층 동시발파	1, 3층 동시발파

분석이 가능하다.

수진점의 위치는 구조물의 중심으로부터 6 m, 8 m, 10 m, 12 m 떨어진 지점에 각각 설치하였고, 각각의 방향에 따른 파형을 발파진동과 낙하진동을 구별하고, 장전층의 변화에 따른 파형 분석 및 주파수를 분석하였다. 각 구조물의 진동측정 위치는 그림 6과 같다.

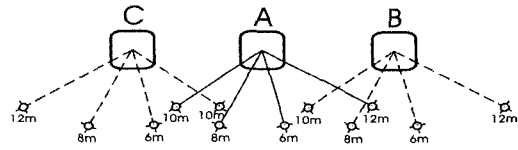


그림 6. 진동측정 위치.

3. 실험결과 및 해석

구조물 발파해체를 실시하여 구한 진동측정 기록치의 분석을 통해 발파진동과 충격진동을 구별하고, 장전층의 변화에 따른 진동파형과 주파수의 변화를 검토하였다.

3.1 진동파형 분석

구조물 A를 시험 발파한 결과, 구조물의 붕괴는 이루어지지 않았고, 발파에 의한 지반 진동 파형만 측정되었다. 구조물 B와 C는 각각 장전층을 달리하여 발파를 하였으며 완전히 붕괴되었고 붕괴시 발생된 지반 진동 파형은 발파에 의한 진동파형과 구조물 낙하에 의한 진동파형이 동시에 측정되었다.

그림 7은 구조물 B 발파시 6 m 지점에서 계측된 각 방향별 진동속도이력을 동일한 거리에서 측정된 구조물 A의 각 방향별 진동속도이력과 비교한 것을 보여주고 있다. 또한 횡축의 시간축을 확대하여 0.5초까지의

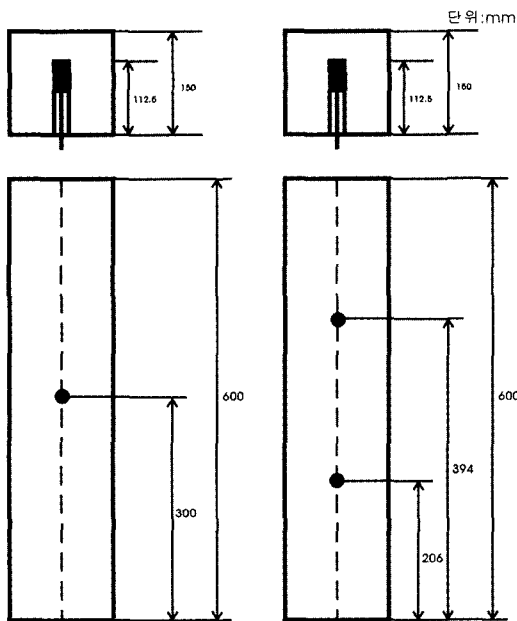


그림 4. 천공 상세도.

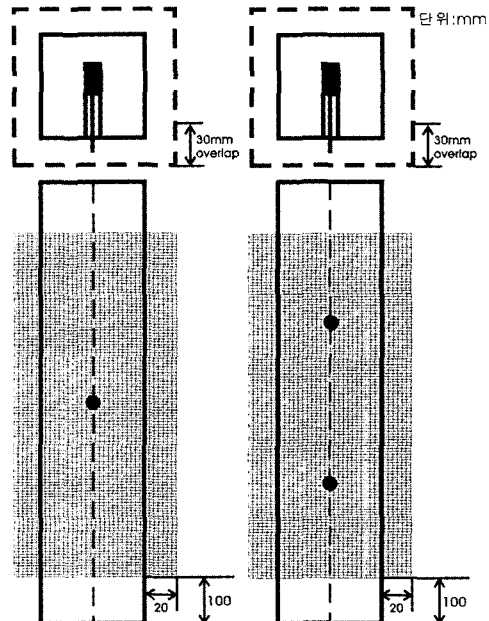


그림 5. 방호 상세도.

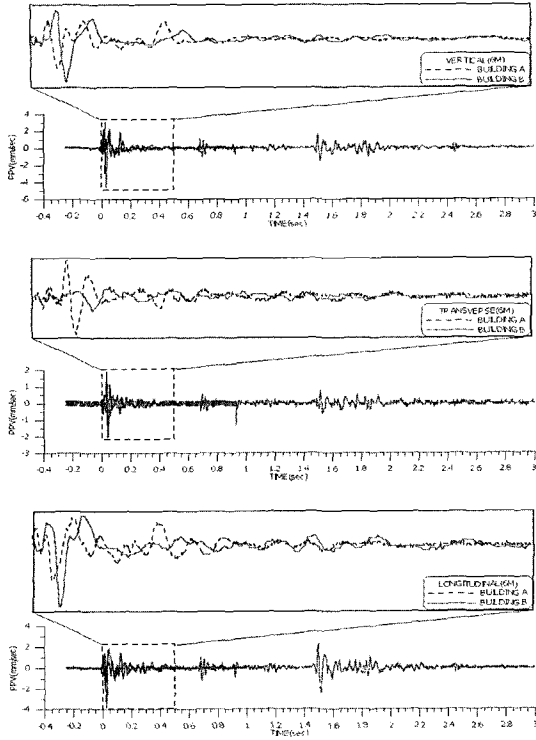


그림 7. 구조물 A와 B의 발파에 의한 진동 파형 비교 (6 m 지점)

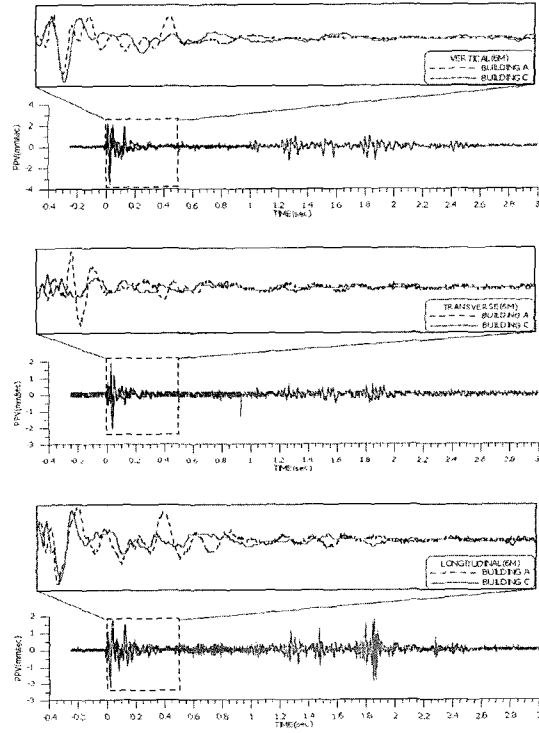


그림 8. 구조물 A와 C의 발파에 의한 진동 파형 비교 (6 m 지점)

파형을 비교하여 발파진동의 변화양상을 관찰하였다.

그림에서 보는 바와 같이 발파에 의한 진동의 전체적인 파형은 거의 동일한 형태를 보이고 있으며, 시간축의 변화는 거의 일어나지 않고 일정하며, 진동속도축의 진동속도 크기의 변화만이 일어나고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 구조물 C 발파시 6 m 지점에서 계측된 각 방향별 진동속도이력을 동일한 거리에서 측정된 구조물 A의 각 방향별 진동속도 이력과 비교한 것이다.

여기에서도 전술한 바와 같이 시간축의 변화는 거의 일정하되, 진동속도 크기의 변화만이 일어나고 있음을 확인할 수 있다.

표 3은 그림 7과 그림 8의 파형으로부터 0.2 sec까지의 zero crossing 시간들을 추출하여 나타낸 것이다. 이는 동일한 거리에서 구조물의 발파해체시 발파에 의한 진동파는 위상의 변화는 거의 없고, 진동속도 크기인 진폭의 변화만이 일어나고 있음을 보여주고 있다.

구조물의 장전충을 달리하여 붕괴시켰을 경우 거리에 따른 방향별 진동파형을 비교하였다. 그림 9에서 그림 14는 구조물 B와 C를 발파 해체하였을 때 6 m와 10 m 거리에서 계측된 진동파의 파형을 각 방향별로 나타

낸 것이다.

발파에 의한 진동의 경우 구조물 B의 진동이 구조물 C의 진동보다 크게 나타났고, 낙하 충격에 의한 진동의 경우 역시 구조물 B의 진동이 구조물 C의 진동보다 크게 나타났다.

이것은 구조물 B는 발파에 의한 진동파가 1층과 2층이 동시에 발파됨으로써 지반에 직접적으로 전달되었고, 구조물 C는 1층과 3층을 동시에 발파하였지만 3층의 발파에 의한 진동파가 2층의 발파되지 않은 층을 통과하면서 감쇠가 일어난 것을 예측할 수 있다.

또한 낙하 충격에 의한 진동의 경우 구조물 B는 1층과 2층이 동시에 0.7 sec에서 붕괴되고, 1.5 sec에 3층이 붕괴되면서 최대의 진동을 발생시켰고, 구조물 C는 1층과 3층을 동시에 기폭시켰지만 1층의 붕괴는 1.2 sec에서, 3층의 붕괴는 1.5 sec에서, 2층의 붕괴는 1.8 sec에서 발생하여 지면에 충돌하는 시간을 분산시킴으로써 구조물 B보다 작은 진동을 발생시키고 있음을 보여주고 있다. 이것은 비디오 분석 결과와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

그림 15는 구조물의 거리별 전체 진동속도의 최대치

표 3. 구조물의 발파진동 zero crossing 시간.

Count	Tran.(ms)			Vert.(ms)			Long.(ms)		
	Building A	Building B	Building C	Building A	Building B	Building C	Building A	Building B	Building C
1	2.9	4.9	5.9	8.8	7.4	7.9	10.7	4.9	6.9
2	7.8	8.8	16.2	25.4	19.1	23	14.6	11.8	8.3
3	11.2	11.8	21	37.1	31.3	38.6	20	24.4	14.2
4	18.1	21.5	22.5	48.8	47.4	57.7	34.7	36.7	32.3
5	25.4	24.4	24	64.9	73.3	60.1	55.7	66	53.8
6	34.7	30.8	29.8	85.4	84.5	98.2	96.2	114.3	81.6
7	43	41.5	50.8	109.9	86.5	120.2	97.7	129.4	98.7
8	55.2	54.7	71.8	114.7	134.3	123.6	108.9	141.6	100.1
9	69.3	70.8	82.6	128.4	165.1	131.9	122.1	172.9	117.2
10	88.9	89.9	96.7	147	176.8	145.6	140.1	203.2	126.5
11	92.8	91.8	98.7	203.6	217.8	202.2	158.7		151.9
12	95.2	102.1	123.1				169.4		198.3
13	124	122.1	132.4				187		
14	145.5	152.9	159.2						
15	154.3	164.1	205.1						
16	168.9	171.4							
17	196.3	193.4							
18	210	198.3							

를 나타낸다. 거리가 6 m인 경우, 구조물 C에서의 수직, 접선, 진행방향의 최대진동속도는 3.048, 1.270, 2.286이며, 이것은 구조물 B에서의 계측값인 4.064, 1.270, 4.064보다 작았다. 거리가 8 m인 경우, 구조물 C에서의 수직, 접선, 진행방향의 최대진동속도는 2.048, 0.540, 2.064이며, 이것은 구조물 B에서의 계측값인 2.858, 0.714, 3.159보다 수직방향과 진행방향에서의 계측값이 작았다. 거리가 10 m인 경우, 구조물 C에서의 수직, 접선, 진행 방향의 최대진동속도는 2.064, 0.587, 1.286이며, 이것은 구조물 B에서의 계측값인 1.064, 0.619, 1.953보다 접선방향과 진행방향에서의 계측값이 작았다. 거리가 12 m인 경우, 구조물 C에서의 수직, 접선, 진행 방향의 최대진동속도는 1.461, 0.572, 0.953이며, 이것은 구조물 B에서의 계측값인 1.840, 0.953, 1.650보다 작았다. 이것은 장전충을 달리함으로써 진동의 크기를 감쇠시킬 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 구조물 C는 사용 순발뇌관 수가 구조물 A인 경우보다 4배이지만 진동속도는 크게 차이가 나지 않음을 보여주고 있으며, 이것은 장전충의 분산에 따른 발파에 의해 직접적으로 가해지는 발파진동의 감쇠와 낙하하는 구조물의 충격진동이 분산됨으로써 발생하는 결과임을 보여주고

있다.

표 4에서 표 6은 구조물 A, B, C의 각 방향별 발파에 의한 발파진동과 낙하 충격에 의한 충격진동의 측정값이다. 본 실험에서는 발파에 의한 발파진동이 구조물 낙하에 의한 충격진동보다 일반적으로 크게 나타났다.

구조물 B와 C의 지반진동 파형을 보면, 구조물의 붕괴시간은 실제 물체의 자유낙하 시간과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 자유낙하 속도보다 상당히 작은 속도로 구조물이 붕괴되어 낙하하고, 동일한 높이에서 자유낙하시의 중력가속도보다 발파시 구조물이 붕괴되는 하향의 가속도가 적기 때문이다.

본 실험에서도 발파 후 구조물이 곧바로 붕괴되지 않고 구조물 B의 경우에는 0.7 sec에 구조물 C의 경우에는 1.2 sec에 붕괴가 시작되었다.

이러한 원인은 일반적으로 기폭 시차에 따른 복잡한 붕괴 시작 시간과 붕괴가 시작하기 전에 장전 위치로부터 나머지 층까지 파괴의 점진적인 확산과 관련이 있다. 즉 발파 후 구조물이 붕괴되기 시작하기 전까지의 시간인 잠복주기(period of latency)는 실제 가속도에 영향을 주고 상향의 반력의 영향으로 추정된다(Yarimer & Brown, 1989, Yarimer, 1989).

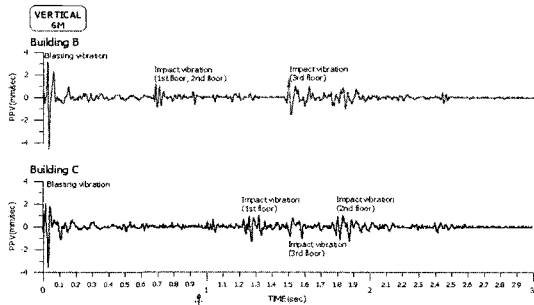


그림 9. 구조물 B와 C의 수직방향 진동 파형 (6 m 지점).

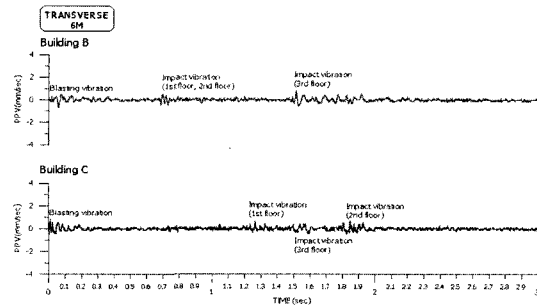


그림 10. 구조물 B와 C의 접선방향 진동 파형 (6 m 지점).

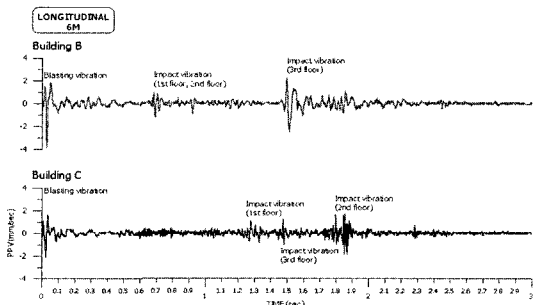


그림 11. 구조물 B와 C의 진행방향 진동 파형 (6 m 지점).

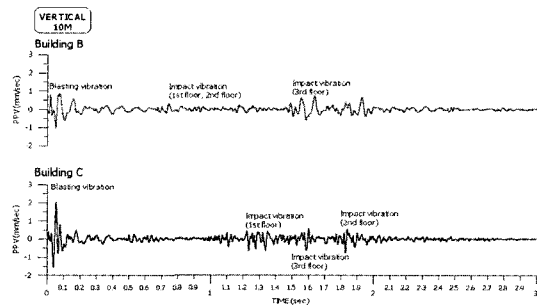


그림 12. 구조물 B와 C의 수직방향 진동 파형 (10 m 지점).

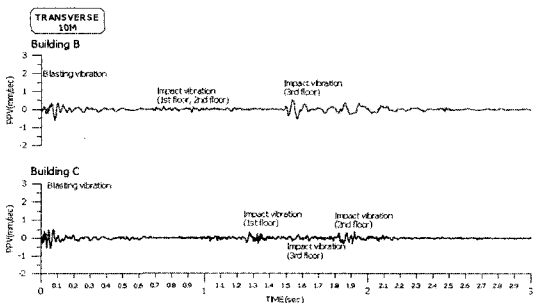


그림 13. 구조물 B와 C의 접선방향 진동 파형 (10 m 지점).

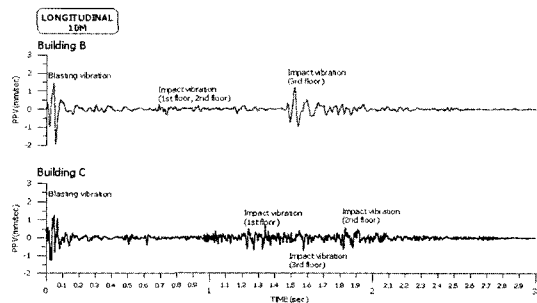


그림 14. 구조물 B와 C의 진행방향 진동 파형 (10 m 지점).

3.2 주파수 분석

일반적으로 구조물 발파해체시 지반진동 파형은 발파에 의한 발파진동과 구조물의 낙하에 의한 충격진동이 기폭시차 및 장전층의 위치에 따라 다양한 형태를 나타낸다.

본 연구에서는 발파진동과 충격진동을 구조물의 붕괴가 시작되는 시간을 기준으로 구별하여 주파수를 분석하였다. 즉 그림 9에서 그림 14에서 보여주는 것처럼 구조물 B의 경우 1층과 2층이 붕괴되는 0.7 sec를 기준으로, 구조물 C의 경우 1층이 붕괴되는 1.2 sec를 기준으로 각각 발파진동과 충격진동을 구별하였다.

그림 16은 전체 측정된 파형의 주파수 크기를 방향별로 보여주고 있다. 구조물 A의 주파수 대역은 12~33 Hz이고 구조물 B는 11~22 Hz이고 구조물 C는 9~40 Hz로 나타났다. 구조물 B에서 12 m에서 측정된 계측치는 충격진동에 대한 측정이 이루어지지 않아 제외시켰다. 구조물 C의 주파수 대역폭은 구조물 B의 주파수 대역폭보다 넓게 나타났다. 표 7은 구조물 A의 발파진동에 대한 주파수를 분석한 결과이고, 표 8과 표 9는 구조물 B와 C의 발파진동 및 충격진동에 대한 주파수를 분석한 결과이다.

구조물 B의 경우 발파에 의한 주파수는 충격진동

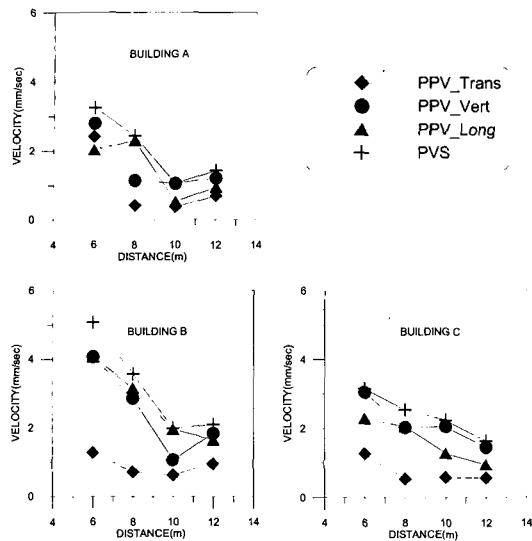


그림 15. 구조물의 거리별 진동속도 최대치.

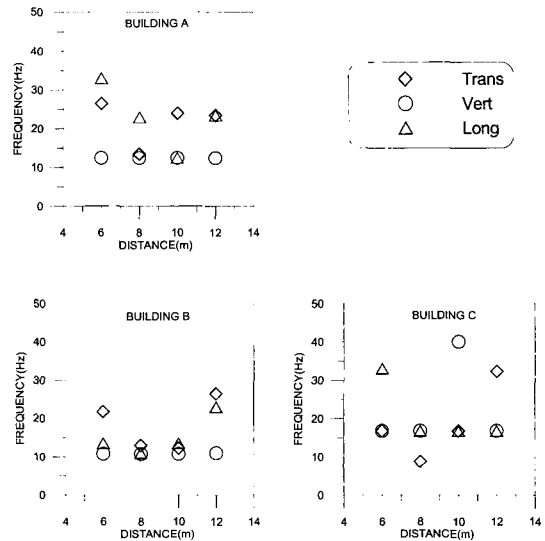


그림 16. 구조물 거리별 전체 주주파수.

표 4. 구조물 A의 발파진동 측정치.

Measuring point	Vert.(mm/s)		Tran.(mm/s)		Long.(mm/s)		PVS(mm/s)	
	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact
B-6m	2.79	—	2.41	—	2.03	—	3.24	—
B-8m	1.14	—	0.413	—	2.30	—	2.43	—
B-10m	1.05	—	0.365	—	0.524	—	1.05	—
B-12m	1.21	—	0.699	—	0.953	—	1.43	—

표 5. 구조물 B의 발파진동 및 충격진동 측정치.

Measuring point	Vert.(mm/s)		Tran.(mm/s)		Long.(mm/s)		PVS(mm/s)	
	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact
B-6m	4.064	2.286	1.016	1.270	4.064	2.540	5.056	3.111
B-8m	2.858	1.603	0.476	0.714	3.159	1.254	3.572	1.830
B-10m	1.064	0.683	0.619	0.572	1.953	1.191	1.987	1.208
B-12m	1.840	—	0.953	—	1.650	—	2.100	—

에 의한 주주파수보다 크게 나타났으나, 구조물 C의 경우 발파에 의한 주주파수와 충격진동에 의한 주주파수가 분산됨을 보이고 있다. 이것은 구조물 C의 경우에 낙하 시간이 분산됨으로써 지반진동의 크기가 구조물 B보다 상대적으로 작아지기 때문이다. 그러므로 낙하에 의한 충격진동의 주주파수가 구조물 C의 경우 구조물 B보다 상대적으로 커지는 경향을 보이며, 또한 각 방향

별 주주파수 대역도 구조물 B보다 구조물 C가 상대적으로 넓게 분포하는 경향을 나타내고 있다.

그림 17은 구조물 B와 C의 전체 주주파수, 발파에 의한 주주파수, 낙하에 의한 주주파수의 히스토그램을 나타내고 있다.

표 6. 구조물 C의 발파진동 및 충격진동 측정치.

Measuring point	Vert.(mm/s)		Tran.(mm/s)		Long.(mm/s)		PVS(mm/s)	
	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact	Velocity in blasting	Velocity in mass impact
C-6m	3.048	1.778	1.270	1.270	1.905	2.286	3.157	2.456
C-8m	2.032	0.857	0.476	0.540	2.064	0.968	2.544	1.228
C-10m	2.064	0.730	0.587	0.365	1.286	0.730	2.242	0.879
C-12m	1.461	0.635	0.572	0.318	0.953	0.572	1.639	0.651

표 7. 구조물 A의 발파진동 주파수.

Measuring point	Predominant frequency of total (Hz)			Predominant frequency of blasting (Hz)			Predominant frequency of mass impact (Hz)		
	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.
B-6m	13	27	33	13	27	33	—	—	—
B-8m	13	14	23	13	14	23	—	—	—
B-10m	13	24	13	13	24	13	—	—	—
B-12m	13	24	24	13	24	24	—	—	—

표 8. 구조물 B의 발파진동 주파수 및 충격진동 주파수.

Measuring point	Predominant frequency of total (Hz)			Predominant frequency of blasting (Hz)			Predominant frequency of mass impact (Hz)		
	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.
B-6m	11	22	14	30	22	30	11	22	28
B-8m	11	13	11	21	23	21	11	13	11
B-10m	11	12	14	23	27	23	10	12	12
B-12m	11	27	23	—	—	—	—	—	—

표 9. 구조물 C의 발파진동 주파수 및 충격진동 주파수.

Measuring point	Predominant frequency of total (Hz)			Predominant frequency of blasting (Hz)			Predominant frequency of mass impact (Hz)		
	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.	Vert.	Tran.	Long.
C-6m	17	17	33	24	27	33	17	26	21
C-8m	17	9	17	9	9	24	17	17	50
C-10m	40	17	17	16	40	16	40	17	17
C-12m	17	32	17	32	33	16	32	32	17

4. 결 론

발파해체공법은 기폭시차와 장전층에 따라 다양한 형태의 구조물 붕괴를 유도할 수 있으며, 이에 따른 발파진동과 충격진동의 중첩에 의해 주변 구조물에 영향을 줄 수 있다.

따라서 동일한 구조물의 경우에도 장전층의 설정에 따라 주변 구조물에 미치는 지반진동을 제어할 수 있다. 본 연구에서는 구조물의 장전층을 달리하여 발파해체

함으로써 야기되는 지반진동을 발파진동과 충격진동으로 구별하고 이에 따른 파형분석 및 주파수분석을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각 구조물의 발파에 의한 발파진동 파형은 수진점 매질의 특성에 따라 다소 차이는 있겠지만, 동일한 거리에서 발파진동파는 위상의 변화는 거의 없고 진동속도의 크기인 진폭의 변화만이 일어난다.
- 2) 구조물 붕괴시 발생하는 충격진동의 크기는 낮아하

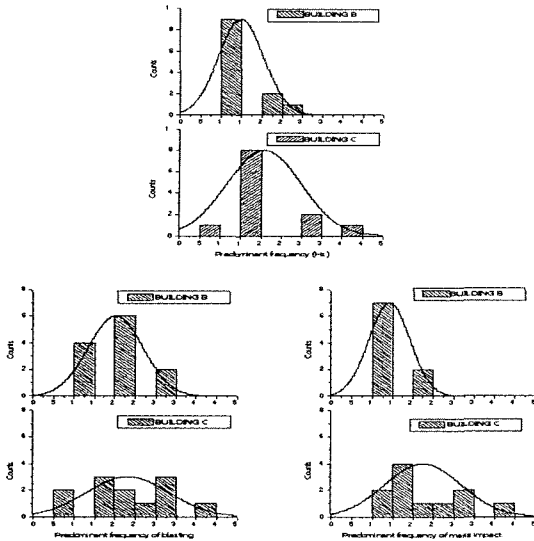


그림 17. 주주파수 히스토그램.

는 구조물의 중량이 가장 큰 영향을 미치며, 구조물 B에는 1층과 2층의 기둥에 총 24개의 순발파관을 적용하고, 구조물 C에는 1층과 3층의 기둥에 총 24개의 순발파관을 적용하여 동일한 형태의 두 구조물에 장전층을 달리하여 붕괴시켰을 때 발생하는 충격진동의 크기는 구조물 B보다 구조물 C의 낙하충격진동속도가 작고, 이것은 낙하하는 구조물의 지면과의 충돌시간을 분산시킴으로써, 작은 진동을 발생시킨다는 것을 보여준다.

- 3) 발파진동과 충격진동의 주주파수를 비교한 결과 1층과 2층을 발파한 구조물 B의 경우, 발파에 의한 주주파수는 충격진동에 의한 주주파수보다 크게 나타났으며, 1층과 3층을 발파한 구조물 C의 경우, 발파에 의한 주주파수와 충격진동에 의한 주주파수가 분산됨을 보였으며 충격진동의 주주파수 대역이 구조물 B보다 높게 나타났다. 이것은 붕괴되는 구조물의 각 층에 대한 낙하시간의 분산에 따른 영향으로 판단된다.

발파해체 사전 계획시 주변 구조물에 대한 영향을 최소화하기 위해 지반진동을 발파진동과 충격진동으로 구분하여 각각에 대한 영향을 검토해야 할 것이다. 또한 실제 구조물 발파해체시 낙하시간은 물체의 자유낙하 시간과는 차이가 있으며, 이것은 기폭시차와 장전층의 위치에 따른 파괴 진행의 확산과 반력의 영향으로 추정되므로 이에 대한 수치해석 및 계측자료 등의 분석 등을 통하여 더욱 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 강영철, 1995, 철근콘크리트 구조물의 발파 해체를 위한 자동화 지식베이스 시스템, 공학박사 학위논문, 서울대학교 대학원.
2. 고현무 외, 1997, 구조물의 붕괴거동 해석을 위한 감쇠모델링, 대한토목학회 논문집 17, 627-634.
3. 류창하 외, 1996, 콘크리트 기둥 발파해체를 위한 방호재 특성에 대한 실험적 연구, 터널과 지하공간 6, 260-266.
4. 류창하 외, 1997, 철골구조 발파해체를 위한 성형폭약 기술 개발 연구, 한국자원공학회 추계학술발표회 논문집, 275-283.
5. 송상훈 외, 1995, 구조물의 붕괴거동에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표회 논문집 15.2, 471-474.
6. 馬 貴臣 외, 1995, 發破シミュレーションと發破解體時の振動軽減, 工業火災 56.1, 33-43.
7. 小林茂雄 외, 1993, 鐵筋コンクリート構造物發破解體時の振動, 騒音に関する検討, 工業火災 54.6, 302-309.
8. Dowding, C. H., 1994, Ground motions and air-blast effects of explosive demolition of structures, J. Construction Engineering and Management, 120.3, 838-856.
9. He, J., Y. Yu and Z. Li, 1999, A mathematical model for the demolition of tubular structures by controlled blasting, FRAGBLAST 3, 127-135.
10. Isobe, D. & Y. Toi, 2000, Analysis of structurally discontinuous reinforced concrete building frames using the ASI technique, Computers & Structures 76, 471-481.
11. Kasai, Y., K. Hashizume and T. Shindo, 1994, Progress of blasting demolition techniques for reinforced concrete constructions in JAPAN, Demolition and Reuse of Concrete, RILEM, 183-193.
12. Saito, T., N. Kobayashi, and T. Yoshida, 1998, Blasting demolition of model reinforced concrete pillars, Demolition and Reuse of Concrete Masonry, Proc. 2nd Int. Symp. on RILEM 1, 79-87.
13. Sueyoshi, K., Y. Kasai, T. Saitou, K. Tomita and S. Kobayasi, 1994, Protection methods from fragmentation in blasting demolition, Demolition and Reuse of Concrete, RILEM, 207-217.
14. Williams, G. T., 1990, Explosive demolition of tall buildings in inner city areas, Mun. Engr, 7, August, 163-173.
15. Yarimer, E. & C. D. Brown, 1989, Structures under shock and impact, Proc. of 1st Int. Conf., Cambridge, Massachusetts, USA, (P.S. Bulson ed), 25-33.
16. Yarimer, E., 1989, Structures under shock and impact, Proc. of 1st Int. Conf., Cambridge, Massachusetts, USA, (P.S. Bulson ed), 411-416.

김 승 곤



1977년 전북대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
1980년 전북대학교 공과대학
자원공학과, 공학석사
1988년 전남대학교 공과대학
자원공학과, 박사과정 수료
Tel: 063-270-2364
E-mail: kimsk@moak.chonbuk.ac.kr
현재 전북대학교 공과대학
자원·에너지공학과, 교수

박 훈



1998년 전북대학교 공과대학
자원공학과, 공학사
2000년 전북대학교 공과대학
자원공학과, 공학석사
2002년 전북대학교 공과대학
자원공학과, 박사과정 수료
Tel: 063-270-2358
E-mail: hujin@hanmail.net
현재 전북대학교 공과대학
자원·에너지 공학과, 조교

양 형 식



1979년 서울대학교 자원공학과, 공학사
1981년 서울대학교 대학원 자원공학과,
공학석사
1987년 서울대학교 대학원 자원공학과,
공학박사
Tel: 062-530-1724
E-mail: hsyang@chonnam.ac.kr
현재 전남대학교 건설지구환경공학부 교수