

충격진동 예측방법에 관한 새로운 방법 제안

조규용^{1)*}, 강추원²⁾, 고진석²⁾

Suggestion of New Method for the Prediction of Shock Vibration

Kyu-Yong Cho, Choo-Won Kang and Jin-Seok Go

Abstract In case of estimating the shocking vibration during the blasting demolitions, the weight and falling height of the structure, that is a potential energy, had been considered. But, this study presented a new equation which used the impulse concerning a falling weight instead of potential energy as a method of predicting the shock vibration. In this experiment, the data of the impulse were compared with the data of the potential energy by performing the free-fall, and all data were comparatively analyzed by the regression analysis method. Also, the method of the superposition theory, which is calculated by the diminution ratio according to distance, the free-fall difference according to height, and the time giving the shock to the ground according to the breakdown pattern, was compared with the previous vibration data occurring from the blasting demolitions in the same conditions. As a result, this study suggests that the impulse and the method of superposition theory be applied as a method of predicting the shocking vibration. Therefore, these results could be expected to estimate the shocking vibration more accurately than the previous method.

Key words Impact power, Superposition theory

초 록 건물해체에서 발생하는 충격진동의 예측은 구조물의 낙하높이와 중량, 즉 위치에너지가 고려되어져왔다. 본 연구에서는 충격진동의 예측방법으로써, 위치에너지 대신 낙하중량에 관한 충격량을 이용한 새로운 식을 제시하였다. 실험은 자유낙하를 통해 기존의 방법인 위치에너지와 본 연구에서 제시하는 충격량을 회귀분석 결과로 비교 분석하였다. 또한 중첩원리를 이용한 방법도, 즉 거리별 감쇠율, 높이별 자유낙하시차, 붕괴패턴에 따른 지반에 충격을 가하는 시점을 산정함으로써, 기존 건물해체 진동데이터와 동일 조건에서 비교해 보았다. 결론적으로 본 연구에서는, 기존의 충격진동을 예측하는 방법으로써 충격량과 중첩의 원리를 이용한 새로운 방법이 적용되어야 함을 제안하였다. 이러한 결과는 실제 건물해체 시 발생하는 충격진동을 기존의 방법보다 정확하게 예측할 수 있을 거라고 기대할 수 있다.

핵심어 충격량, 중첩의 원리

1. 서 론

최근 도심지 재개발사업의 증가, 노후 산업건물의 개축 및 증축을 위한 대규모 건축물의 철거에 발파해체공법이 적용되고 있다(강추원, 2005). 그러나 발파

해체공법으로 철거 시 화약력으로 인한 비석, 소음 및 낙하중량의 충격으로 인해 발생하는 진동의 영향으로 주변 구조물에 영향을 줄 수 있다. 특히 구조물 해체 시 발생하는 진동은 폭약이 장전공 내에서 폭발할 때 발생하는 발파진동과 구조물 붕괴 시 낙하물이 지면과 충돌하여 발생하는 충격진동으로 구분할 수 있다. 일반적으로 발파에 의한 진동을 예측할 경우, 지발당 장약량을 기준으로 산출하고, 건물해체 시 발생하는 충격에 의한 예측에는 건물의 중량과 낙하높이에 따라 적용한다. 또한 진동수준은 발파부지와 인근 구조

¹⁾ (주)한화 당진사업소

²⁾ 조선대학교 자원공학과

* 교신저자 : rain2640@hanwha.co.kr

접수일 : 2008년 5월 21일

게재 승인일 : 2008년 6월 10일

물의 기하학적 형태, 대상암반의 지질학적 특징 및 역학적 성질 등에 의해 결정되는데, 이러한 조건은 발파진동과 비슷한 조건이다. 이 요인들 모두가 충격진동의 크기와 전파특성에 영향을 미치게 되며, 이중에서도 건물의 중량, 낙하높이와 보안물진(측점간의 거리)과의 거리가 가장 중요한 요인으로 작용한다. 건물의 발파해체공법은 주로 도심지의 고층건물 철거에 적용되고 있기 때문에 구조물의 낙하충격에 의한 진동으로 인해 주변 구조물에 심각한 손상을 끼칠 수 있는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 진동 감쇠기법과 낙하중량에 의한 충격진동에 관한 연구가 진행되고 있다(임과 임, 2004 ; 과학기술부, 2003).

본 연구에서 낙하중량에 의한 충격진동을 예측하는 방법에 대한 새로운 방법을 제시하고자 한다. 기존의 발파진동추정식(예측식)에서 사용되는 환산거리 변수 중 장약량에 대해서 낙하충격진동을 예측할 때 위치에너지를 사용하는데 반하여 이 연구에서는 충격량으로 산정하는 식을 제안하였고 낙하중량이 지면에 충격을 가하는 시차에 따른 진동 중첩의 원리를 자유낙하시차와 낙하충격량의 거리별 감쇠율을 적용하여 충격진동을 예측하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 충격진동 예측식

2.1 기존의 예측식(고영선 외, 1996 ; 임과 임, 2004 ; 과학기술부, 2003)

Robert Folchi는 14층 건물이 수직으로 붕괴될 때 건물의 중심으로부터 거리 D 만큼 떨어진 지점에서 예상되는 지반진동을 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$V_{\max} = 167.3D^{-1.41} \quad (1)$$

여기서, V_{\max} : 예상 지반진동(cm/sec)

D : 충격질량 중심으로부터 측정지점까지의 거리(m)

식 (1)은 거리만을 변수로 하고 있고 충격량의 규모에 따른 변수가 포함되어 있지 않기 때문에 특정 지역 외의 일반적 적용이 어렵다. 또한, 실제 여러 발파패턴에 대한 효과를 예측함에 있어서 제한을 갖고 있다.

국내에서는 충격에 의한 지반진동의 전파특성을 고찰하기 위하여 낙하추를 이용한 충격실험을 실시한 결과를 분석하여 낙하충격에 의한 지반진동의 속도는 발파진동 예측식의 환산거리 변수에서 장약량(\sqrt{W}) 대신 에너지양(\sqrt{E})을 사용하여 유도할 수 있음을 보여주었다. 낙하충격에 의한 지반진동에 전파되는 추의 위치에너지를 $E(J)$, 낙하시점에서의 거리 $D(m)$ 에서의 최대진동속도를 PPV 라 할 때 식 (2)로 표현하였다.

$$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{E}} \right)^n \quad (2)$$

여기서, V : 최대 진동속도(mm/sec)

D : 충격지점으로부터의 거리(m)

E : 낙하물체의 초기 위치에너지(J)

K : 발파진동 상수

n : 감쇠지수

낙하물체의 초기 위치에너지(E)는 식 (3)으로 계산할 수 있다.

$$E = mgh \quad (3)$$

여기서, m : 추(부재)의 질량(kg)

g : 중력가속도($9.8m/sec^2$)

h : 추(부재)의 높이(m)

2.2 제안된 충격진동 예측식

기존의 예측식 (2)처럼 환산거리변수에서 위치에너지를 장약량 대신 사용한다면 높이가 2배 증가한 경우와 하중을 2배 증가한 경우의 위치에너지는 같게 된다. 하지만 지면에 발생시키는 충격량의 차이가 발생한다. 하중을 2배 증가할 때에는 충격량도 하중만큼 2배 증가하지만 높이가 2배 증가할 때는 $\sqrt{2}$ 만큼 증가한다. 그러므로 환산거리 변수를 사용하는데 있어 장약량 대신 사용하는 것은 위치에너지가 아닌 지면에 닿는 충격량을 사용하여야 할 것으로 판단된다. 환산거리변수에서 장약량 대신 충격량을 사용한 다음 식 (4)를 본 연구에서는 제안하고 사용하였다.

$$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{I}} \right)^n \quad (4)$$

여기서, V : 최대 진동속도(mm/sec)
 D : 충격지점으로부터의 거리(m)
 I : 낙하물체가 지면과 충돌 시 발생하는 초기충격량
 K, n : 입지상수

충돌 전의 운동량인 초기충격량은 다음 식 (5)와 같다.

$$I = mv \tag{5}$$

여기서, I : 낙하물체가 지면과 충돌시 발생하는 초기 충격량($kg \cdot m/sec$)
 m : 부재의 질량(kg)
 v : 자유낙하속도(m/sec)

충돌 후 운동량은 지반진동으로 변환되면서 속도는 소멸된다고 생각할 수 있다. 그리고 자유낙하로 지면에 닿는 속도를 산정한다면 자유낙하에 의한 충격에너지를 구할 수 있고, 식 (6)과 같다.

$$v = \sqrt{2gh} \tag{6}$$

여기서, v : 자유낙하속도(m/sec)
 g : 중력가속도($9.8m/sec^2$)
 h : 부재의 높이(m)

위 식 (6)을 이용한다면 높이별 속도를 구할 수 있다. 또한 식 (6)을 식 (5)에 대입하면 다음과 같다.

$$I = m\sqrt{2gh} \tag{7}$$

여기서, I : 낙하물체가 지면과 충돌시 발생하는 초기 충격량
 m : 부재의 질량(kg)
 g : 중력가속도($9.8m/sec^2$)
 h : 부재의 높이(m)

위 식 (7)에서 알 수 있듯이 충격량은 중량에 대해서는 중량의 배수만큼, 높이에 대해서는 \sqrt{h} 만큼 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서는 장약량 대신 충격량을 환산거리에서의 변수로 사용하였다. 하지만 식 (4)는 자유낙하에 의한 충격진동을 예측한 것이므로 실제 건물발파해체에 적용한다면 파괴된 부재의 형태자체가 단순한 형

상이 아닐 경우의 충격흡수 영향문제에 대한 고려가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 식 (4)를 이용하여 충격진동 추정식과 거리별 감쇠지수를 산출하는데 사용하였다. 그리고 한 번의 낙하실험으로 얻은 데이터 파형을 중첩시켜 중첩모델링을 통한 예측을 하였다

3. 실험방법

3.1 낙하충격실험 개요

지반에 충격진동을 주기 위해서 본 실험에서는 조선대학교 주차장 바닥위에 실험 장치를 고정시키고 중량 1.70kg~5.6kg의 콘크리트 블록을 자유낙하하도록 설계하였다. Fig. 1은 실험 장치를 나타낸 것이다. 이러한 고정틀을 만들어서 낙하도중 발생할 수 있는 회전운동을 최소화하여 비교적 정확하게 낙하할 수 있도록 하였다.

콘크리트 블록은 1m와 2m의 높이에서 실시하였고, 콘크리트 블록의 중량은 1개, 2개 및 3개를 연결하여 중량 증가에 따른 실험을 실시하였다. 또한 지반과 접촉 면적이 다른 가로방향과 세로방향으로 낙하시킴으로써 접촉면적에 따른 진동수준의 차이를 비교실험하였고 바닥에 블록을 1단과 2단을 쌓아 블록위에 낙하 충격을 줌으로써 붕괴 부산물에 의한 진동 감쇠 수준을 측정하였다. 이러한 방법으로 총 60회의 낙하실험이 이루어 졌으며 진동측정은 낙하지점으로부터 1m, 2m, 3m 지점에 진동측정기를 설치하여 진동을 각각 측정하였다.

3.2 발파진동 계측기

본 연구에 사용된 발파진동 계측기는 InstanTel INC.의 BlastMate Series인 BlastMate III를 사용하였다.

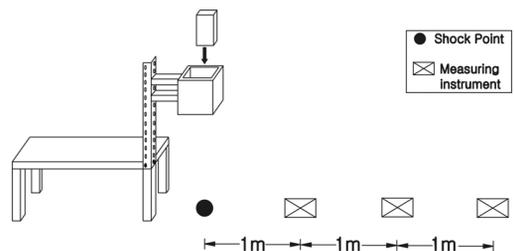


Fig. 1. The position of experimental instrument and measuring instrument.

측정기는 낙하지점을 기준으로 하여 일직선상으로 1~3m의 거리에 1m간격을 두고 설치하였으며, 계측기의 센서는 모두 주차장 바닥에 고정하였다. BlastMate III는 현장의 발파 및 건설장비 등을 이용한 작업 시 발생하는 소음, 진동 등을 계측하여 진행, 접선, 수직 및 주파수 등을 현장에서 인쇄하여 진동 계측 값을 손쉽게 확인할 수 있다. 이 장비로 거리와 같은 변수를 수동 입력하면 이를 자동으로 계산하는 기능뿐만 아니라, 진동측정의 주파수 및 시간이력 등을 상세히 보여주는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 진동측정 기기라 할 수 있다.

4. 계측결과 및 분석

4.1 실험방법별 계측결과

일반적으로 발파에 의한 진동 예측식에서 사용되는 환산거리의 거리와 장약량을 변수로 한다. 장약량은 폭원에서 에너지에 비례하므로 충격진동의 경우에도 장약량에 해당하는 충격량을 변수로 고려해 볼 수 있다. 충격 시 지반에 전달되는 에너지는 블록이 지면에 닿을 때의 속도와 중량에 의해 변환되므로 계측자료의 처리는 장약량 변수를 충격량 변수로 대체하였다. 본 연구에서 획득한 데이터 수는 총 126개이다. Table 1과 Table 2는 낙하방향별 개수를 Table 3은 획득한 데이터의 회귀분석 결과를 나타내었다.

4.2 위치에너지와 충격량 비교

본 회귀분석을 함에 있어 환산거리 변수에서 장약량 변수대신 위치에너지와 충격량을 산정했을 때를 비교해 보면 같은 높이에서의 회귀분석 결과는 K값

만 변했다. 하지만 높이가 서로 다른 Type XI에서는 (결정계수)에서 차이를 보였다. 위치에너지와 충격량을 산정했을 때 충격진동 추정식은 식 (8)과 식 (9)로 나타낼 수 있다.

Table 2. Width direction

Falling height (m)	The number of blocks	The number of data	Type	
1	1	6	VI	
2	1	18	VII	XII
	2	27	VIII	
sum	-	51	XIII	

Table 3. Result of regression analysis

Type	Potential energy		
	K	n	r ²
I	0.224	-1.09	0.873
II	0.175	-1.32	0.956
III	0.234	-1.26	0.939
IV	0.109	-1.30	0.926
V	0.129	-1.37	0.984
VI	0.064	-1.44	0.929
VII	0.094	-1.18	0.871
VIII	0.146	-1.01	0.565
IX	0.202	-1.24	0.919
X	0.114	-1.49	0.904
XI	0.209	-1.23	0.845
XII	0.129	-1.04	0.683
XIII	0.121	-1.06	0.694

Type	Impulse		
	K	n	r ²
I	0.346	-1.09	0.873
II	0.296	-1.32	0.956
III	0.234	-1.26	0.939
IV	0.229	-1.30	0.926
V	0.282	-1.37	0.984
VI	0.114	-1.44	0.929
VII	0.183	-1.18	0.871
VIII	0.260	-1.01	0.565
IX	0.331	-1.24	0.919
X	0.267	-1.49	0.904
XI	0.319	-1.23	0.896
XII	0.233	-1.04	0.683
XIII	0.217	-1.06	0.691

Table 1. Length direction

Falling height (m)	The number of blocks	The number of data	Type	
1	1	27	I	IX
	2	15	II	
	3	6	III	
2	1	15	IV	X
	2	12	V	
sum	-	75	XI	

$$V = 0.209 \left(\frac{D}{\sqrt{E}} \right)^{-1.23} \quad r^2 = 0.845 \quad (8)$$

$$V = 0.319 \left(\frac{D}{\sqrt{I}} \right)^{-1.31} \quad r^2 = 0.896 \quad (9)$$

식 (8)과 (9)는 동일 측정값을 이용한 회귀분석 결과이다. 두 식을 비교해보면 결정계수에서 차이가 나는데 이것은 2절에서 언급했듯이 중량과 높이에 따른 적용방법의 차이라고 판단된다.

또한 Type I~III은 블록시료가 1m의 동일 높이에서 각각 1개, 2개, 3개로 중량을 증가시켜 낙하충격 실험을 통해 획득한 식이다. 이 제안식에서는 중량이 2배, 3배가 되면 충격량도 2배, 3배가 된다. 하지만 진동값은 2개일 때 2배가 아닌 예상치의 0.945배, 3개일 때는 3배가 아닌 0.84배의 진동값을 나타낸다. 이 결과는 회귀분석에서의 충격량 증가에 의한 진동 결과값과 비교해 보면 일치한다.

Type I과 IV, Type II와 V는 각각 동일 중량일 때의 높이증가에 따른 진동값에 대한 예측식이다. 이 제안식에서는 높이가 증가함에 따라 충격량은 \sqrt{h} 배 증가한다. 다시 말해 동일중량으로 실험할 경우 낙하높이를 1m에서 2m로 증가시키면 충격량은 \sqrt{h} 배 증가한다는 것이다. 이 실험자료 역시 Type I과 Type II를 기준값 1로 하고 Type IV와 Type V의 결과값을 분석해보면 높이 증가에 따른 결과는 기준값보다 약 1.085배, 1.38배 증가하는 것으로 나타났다. 이 두 개의 결과는 Type XI의 회귀분석 결과를 기준으로 중량과 높이에 대한 비교를 하였다. 회귀분석 결과와 실제 실험에서 측정된 진동값의 결과가 거의 일치함으로 본 연구에서 제안한 식 (4)의 충격량을 환산거리 변수로 적용함은 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 (감쇠지수)의 변화에 의한 거리별 감쇠율 분석결과

본 연구에서는 회귀분석을 통한 95% 충격진동 추정식의 (감쇠지수)값을 중첩모델링의 거리별 감쇠율로 사용한다. Type I~VIII의 결과는 각각 낙하높이, 중량 및 낙하방향의 변수가 하나일 때의 결과이다. 이 경우 Type VIII을 제외하면 결정계수가 높게 나오는 것을 알 수 있다. Type IX~XIII까지는 동일 높이의 낙하충격 진동 값에 대한 충격진동 추정식이며 결정계수가 약간 낮아졌다. 또한 한 번의 충격으로 발생하는 거리별 진동 값에 대한 결정계수는 거의 모든 값이

1에 근사한 값을 나타낸다. 하지만 60회 정도의 실험 결과로 어느 지반을 대표한다고 할 수 없으므로 보다 많은 정확한 실험을 통해 지반의 감쇠지수 대표 값을 산정해야 할 것이다. 이 연구에서는 실험결과 중 결정계수가 가장 높은 값을 보이는 Type II, III, V의 실험 데이터 중에서 중첩모델링에 적용할 데이터를 선정하였고 위 세 개의 데이터를 모두 포함한 Type XI를 대표값으로 하였다. 거리별 감쇠율은 회귀분석을 통한 추정식의 값에만 영향을 받으며, 초기값에 대해 일정한 비율로 감소한다.

5. 충격 진동의 중첩모델링

5.1 대상 파형의 선정(김종인, 2006)

선정된 파형은 주변의 noise에 의해 교란되지 않은 비교적 양호한 파형을 보이며 동일거리에서 평균치에 근사한 수준으로 보이는 진동데이터를 선정하였다. 잔여진동이 많은 파형은 중첩모델링과정에서 부정확한 결과를 보일 가능성이 많아 선정에서 제외하였다. 신뢰성을 높이기 위해 대표값으로 산정된 파형을 진동데이터 내에서 선정하였으며, 높이와 중량이 각각 다른 파형을 선택하였다. 선정된 파형은 자료처리의 편의를 위하여 T1, T2, T3의 번호를 부여하였고, 위 세 개의 데이터가 모두 포함된 Type XI를 대표값으로 사용하였다.

5.2 파형의 중첩 방법

선정된 파형은 층별 낙하시간차를 이용하여 시차에 따라 중첩시켜 초기파형을 만들었다. 건물의 전체하중을 지발시차별로 나누어 각 지발당 중량을 산출하였으며 이렇게 산출한 지발당 하중을 다시 1ms간격으로 세분화하여 1ms의 하중에 의한 진동데이터를 1지발 시차까지 1ms간격으로 중첩을 실시하였다. 중첩을 통해 만들어진 파형을 낙하실험에 의해 산출한 감쇠지수를 적용하여 거리별 파형으로 변환하였다.

본 연구에서는 낙하충격실험에 대해 아래와 같은 가정 하에서 중첩모델링 시험을 시행하였다.

- 동일한 지반에서는 모든 낙하충격실험에서 동일한 진동파형이 발생한다.
- 높이는 잔재물의 높이에 따른 충격흡수제 역할을 할 것으로 판단되므로 각층이 바닥에 충격을 가

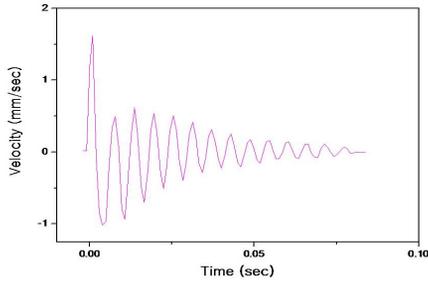


Fig. 2. T1 waveform.

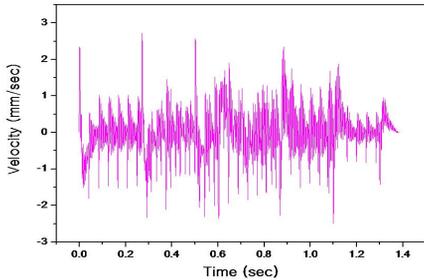


Fig. 3. Superposition modeling waveform of T1.

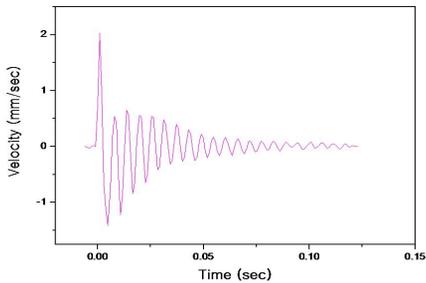


Fig. 4. T2 waveform.

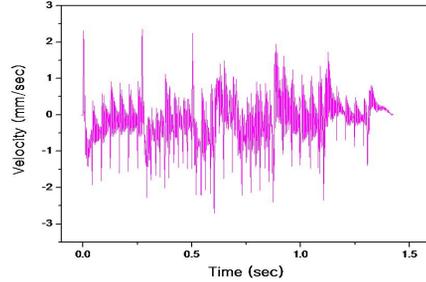


Fig. 5. Superposition modeling waveform of T2.

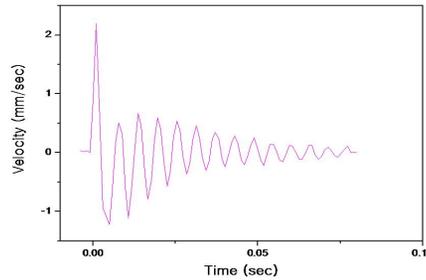


Fig. 6. T3 waveform.

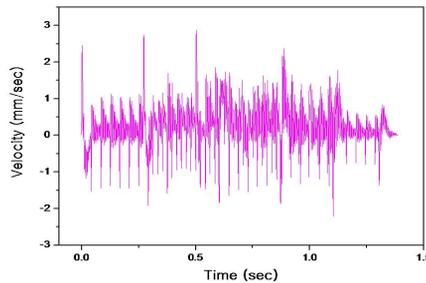


Fig. 7. Superposition modeling waveform of T3.

하는 시점에서 다음 층의 높이를 계산한다.

- 주파수(f)는 고려하지 않았다.

5.3 중첩모델링 결과

본 연구에서는 중첩모델링으로 결과를 산출하기 위해 한 번의 충격으로 발생하는 진동값에 대한 중첩을 하였다. 실제 파형과 비슷한 파형과 진동값을 예측하기 위해 중량과 높이를 산정해야 한다. 중량과 높이는 발파해체공법으로 철거된 조선대학교 제1공학관을 기준으로 산정하였으며 T1, T2, T3는 건물의 가장자리에서 동일거리까지(13m) 임의의 축점을 선택하여 중첩모델링을 하였다.

중첩모델링 결과는 Fig. 2~7과 같다.

6. 결론

건물해체 시 발생하는 충격진동을 예측하기 위해서 본 연구에서는 충격량을 환산거리 변수로 사용할 것을 제안하고 낙하충격실험을 통한 진동데이터의 거리별 감쇠율, 높이별 자유낙하시차 및 1ms 간격의 중첩모델링을 이용하여 충격진동을 예측하는 방법을 연구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 무게가 다른 블록을 낙하했을 때 발생하는 낙하충격진동을 1m, 2m, 3m에서 측정하였고, 측정결과로부터 K , n 값을 구하기 위해 발파진동 예측식의 지발당장약량에 대해 기존의 위

치에너지 대신 낙하중량의 충격량을 적용하였다.

$$V = 0.209 \left(\frac{D}{\sqrt{E}} \right)^{-1.23} \quad r^2 = 0.845$$

$$V = 0.319 \left(\frac{D}{\sqrt{I}} \right)^{-1.31} \quad r^2 = 0.896$$

- 2) 블록으로 실험을 실시했을 때의 시험 결과를 보면 하중은 같고 지면에 닿는 면적을 2~4배정도로 했을 때 지반진동은 약 60~80%의 정도의 평균적인 감쇠가 이루어졌다. 하지만 회귀분석을 해본결과 상관계수와 결정계수가 낮게 도출되어 대표 값으로 쓰기에는 불충분하였다. 그러므로 향후 다양한 실험을 통해 충격면적에 대한 감쇠적용 여부를 판단하여야 할 것이다.
- 3) 낙하중량의 충격량을 구하기 위한 높이는 지면에 쌓이는 부산물과 자유낙하운동에서의 층별 시차를 이용하여 높이를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 건물해체발파 시 낙하실험을 통한 거리별 감쇠율과 1ms 시차에서 받을 수 있는 충격량을 산정한다면 실제 해체발파 시 비슷한 진동값과 진동파형을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

- 5) 이상의 연구결과로 볼 때 충격량을 이용한 추정식에 의해 지반조건에 따른 낙하충격진동의 감쇠지수를 구한 값을 대표값으로 하여 동일 지반에서 한 번의 낙하충격 진동값을 측정하여 해체대상건물에 대한 높이, 중량, 낙하시차에 대하여 중첩모델링을 적용한다면 다른 지반조건에서도 충분히 충격진동을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강추원, 2005, 발파공학 A to Z, 구미서관, 서울, pp. 279-290, 444-445.
2. 고영선, 이기락, 김종우, 1996, 낙하충격에 의한 지반진동특성에 관한 연구, 청주대학교 산업과학연구, Vol. 14.
3. 과학기술부, 2003, 제어발파기법을 이용한 구조물 발파해체기술 개발, 과학기술부, pp. 222-223.
4. 김종인, 2006, 단일공 파형 중첩 모델링 자료에 의한 발파진동의 예측, 공학박사 학위논문, 조선대학교, 광주.
5. 임대규, 임영기, 2004, 발파해체시 낙하충격진동 예측에 관한 연구, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 22, pp. 43-45.



강 추 원

조선대학교 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7117
E-mail : cwkgang@mail.chosun.ac.kr



고 진 석

조선대학교 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7118
E-mail : jsgo@mail.chosun.ac.kr



조 규 용

(주)한화 당진공장 재직중

Tel : 010-2088-2798
E-mail : rain2640@hanwha.co.kr