

# 총장약량이 진동수준에 미치는 영향에 대한 소고

## Suggestions of an Equation for Vibration Level Influenced by Total Charge

양 형식, 장 선종

Hyung-Sik Yang, Sun-Jong Jang  
전남대학교 건설지구환경공학부

### 초 록

환산거리 예상식에 의한 진동의 예측은 널리 적용되고 있다. 여기서 환산거리는 거리와 지발당 장약량에 의해 결정된다. 그러나 환산거리가 같다고 하여 진동수준이 같은 것은 아니며, 많은 실무자들이 총장약량이 증가함에 따라 진동이 커지는 경향을 경험하고 있다.

본 연구에서는 총장약량이 진동수준에 미치는 영향을 고려한 진동 예측식을 제안하였고, 이 식을 기존의 계측자료에 적용하여 검토하였으며, 일정한 범위 내에서 진동속도에 미치는 총장약량의 영향을 반영할 수 있음을 보였다.

**핵심어** : 환산거리 예상식, 발파진동, 총장약량

### 1. 서 론

발파작업시 진동의 예측은 환산거리 예상식이 널리 적용되고 있으며, 환산거리는 지발당 장약량과 거리의 변화로서 최대 입자속도를 예측하는데 필요하다. 최대 입자속도는 지발당 최대장약량, 즉 정해진 시간 간격 내에 폭발하는 폭약의 양과 밀접한 관계가 있다.(Devine, 1966) 지발 효과는 8ms 이상의 지연시차로 구분되는 약량 중 최대치로 결정하며, 사용되는 장약량은 지발당 최대 장약량으로 발파당 총장약량과는 무관하다. 그러나, 환산거리가 같다고 하여 진동 수준이 같은 것은 아니며, 많은 실무자들이 총장약량이 증가함에 따라 진동이 커지는 경향을 보이고 있다. 양(1992)은 순발과 지발이 진동에 미치는

영향이 일정한 환산거리 범위 내에서는 크게 나타나지 않다고 하였다. 그러나, 그 자료를 분석하면 통상의 환산거리에서는 지발 발파의 진동수준이 순발 발파보다 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. (그림 1)

이 등(2001)은 총장약량이 진동수준에 미치는 영향을 보기 위하여 같은 규모의 장약공을 5, 6, 7, 8, 9, 10공으로 늘리면서 시험발파하고 진동수준을 계측하여 총장약량이 증가함에 따라 진동수준이 증가함을 보였다. 제한된 수의 실험결과이고 발파가 진행됨에 따라 발파조건이 달라졌을 것이 예상되지만, 본 연구에서는 총장약량의 변화가 진동수준에 영향을 미친다는 가정 하에 이를 반영하기 위한 식을 제안하고 이들의 자료를 이용하여 검토하였다.

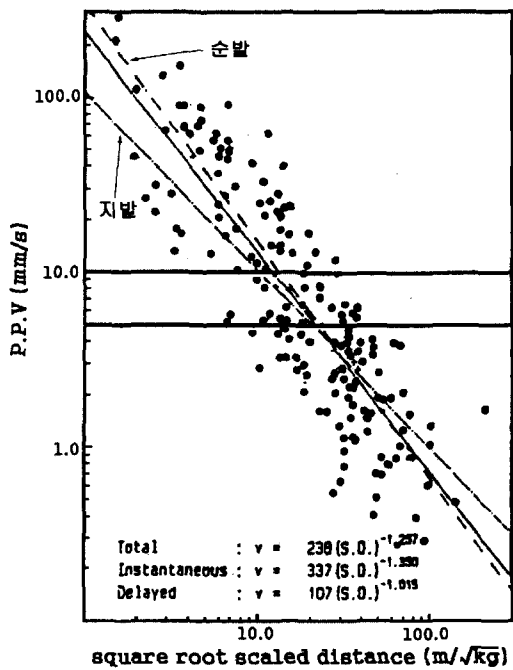


그림 1. 지발 및 순발 발파에 대한 최대입자속도

## 2. 발파 조건 및 측정 결과

이 등(2001)의 발파조건은 표1과 같으며 2자유면 상태의 수직 천공 발파로 시험하였다.

표 1. 발파조건

공 경	45 mm
약 경	32 mm
천 공 장	2.2~2.5 m
공 간 격	0.6~0.8 m
최소저항선	0.6~0.8 m
공당장약량	0.5~0.75 kg
지발당장약량	0.5~0.75 kg
사 용 뇌 관	MS #0~#9

이 등이 발파당 장약량의 증가에 따른 변화를 관찰하고자 발파공수 5~10공으로 조

절하여 발파하여 구한 환산거리식에 의한 입지상수 K, n 및 결정계수  $r^2$ 는 표 2와 같다.

표 2. 발파공수별 K, n,  $r^2$

발파공수	K	n	$r^2$
5	3026	1.754	0.928
6	1989	1.604	0.821
7	346	1.123	0.807
8	1217	1.387	0.741
9	637	1.224	0.761
10	1239	1.275	0.729

발파공수를 변화하면서 측정된 자료의 회귀 분석 결과를 토대로 공수변화에 따른 발파공수별 자승근 환산거리와 진동 속도의 관계를 보였다. 각 공수별 95% 신뢰 구간은 그림 2와 같다. 숫자로 표시된 부분은 각각의 공수를 나타낸 것이다.

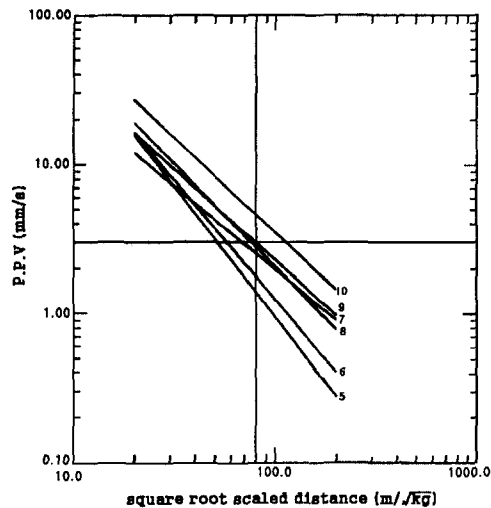


그림 2. 발파공수별 환산거리와 진동속도의 관계(재구성)

그림 2에서 나타나듯이 SD 60 ~ 90 구간에서 자승근 및 삼승근 모두 공수가 증가

할수록 K값이 증가하고 있다. 그러나 환산 거리 100 부근에서 7과 8공의 95% 신뢰구간이 교차되는 양상을 보인다. 이것은 지질 조건 등의 변화에 의한 것으로 판단된다.

### 3. 총장약량에 대한 최대 입자속도 예측

#### 3.1 최대 입자속도 식 산출

총 장약량에 대한 최대 입자속도 예측을 위한 식을 산출하기 위해서 몇 가지를 가정하였다. 첫째, 같은 지형/지층이므로 n은 변하지 않는다. 둘째, 발파규모에 따라 SD=1에서의 K값은 비례적으로 변한다. 셋째, 즉, 순발인 경우의 발파를 기준으로 한다.

최대 입자속도 예측을 위해서 위와 같이 가정을 하면 기존의 감쇠식을 (1)식과 같이 정리 할 수 있다.

$$v = \{K + (m - 1)p\}(SD)^{-n} \quad (1)$$

여기서, v : 지반진동속도(mm/sec)

SD : 환산거리(  $m/\sqrt{kg}$  )

K : 발파진동 상수

n : 감쇠지수

m :  $W_{total} / W_{delay}$

p : 진동속도 평균증가율

(1)식에서 m=1 이면 기존의 최대입자속도식인  $v = K(SD)^{-n}$  가 되며, SD=1 이면

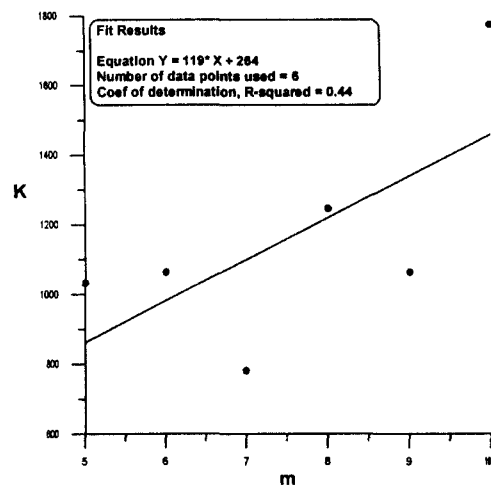
$$v = K + (m - 1)p \quad (2)$$

와 같이 표현할 수 있다.

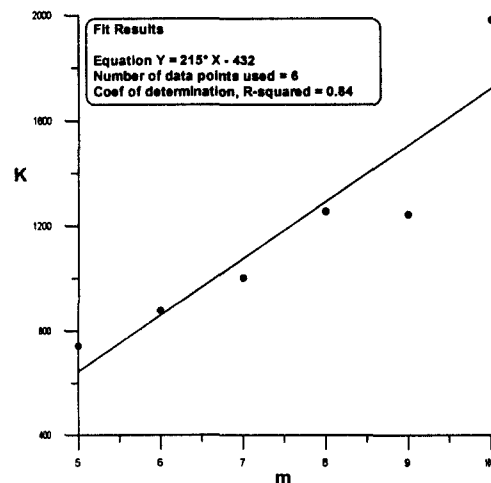
#### 3.2 K, n 및 p의 결정

표 2에서 역산된 data로부터 발파 현장의

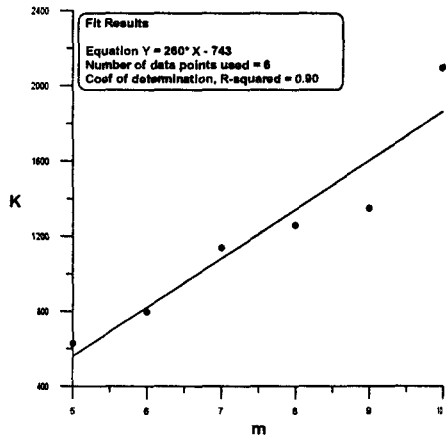
입지상수 K, n을 결정하였다. 그 결과 K값은 2041이었으며 n값은 -1.395였다. 이를 첫째 가정에 적용하여 5~10공 발파 data에 대해 SD=20, 50, 80, 100에 대하여 역산하고 총장약량에 따른 진동의 변화 상태를 그림 3에 보였다. n값을 고정시킨 상태에서 m의 증가에 따른 K의 증가는 SD20의 경우 약간의 분산을 보이거나 대부분 선형관계를 보였다.



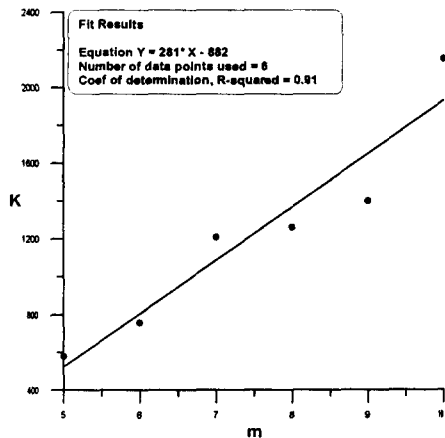
(a) SD20



(b) SD50



(c) SD80



(d) SD100

그림 3. m값의 변화에 따른 K값의 관계

그래프에서 기울기는 지발단수의 증가에 따른 진동속도 평균 증가율 p로서 1.567이 계산되었다.

따라서 최종식은 다음과 같다.

$$v = \{2041 + 1.567(m - 1)\}(SD)^{-1.395} \quad (5)$$

산출식에 의한 SD 및 m의 변화에 따른 진동속도의 변화를 표4에 나타내었다.

표 3. SD 및 m의 변화에 따른 진동속도

SD	m	p	역산 진동치	회귀식 진동치	오차(%)
20	5	1.567	15.81	15.90	0.60
	6		16.29	16.41	0.73
	7		11.96	12.10	1.19
	8		19.08	19.25	0.87
	9		16.29	16.48	1.16
	10		27.19	27.40	0.79
50	5		3.17	3.20	0.84
	6		3.75	3.78	0.88
	7		4.27	4.31	0.93
	8		5.35	5.40	0.87
	9		5.31	5.36	1.00
	10		8.45	8.51	0.71
80	5		1.39	1.40	0.99
	6		1.76	1.78	0.97
	7		2.52	2.54	0.82
	8		2.79	2.81	0.86
	9		2.98	3.01	0.92
	10		4.64	4.67	0.67
100	5	0.94	0.95	1.07	
	6	1.23	1.24	1.02	
	7	1.96	1.98	0.77	
	8	2.05	2.06	0.86	
	9	2.27	2.29	0.89	
	10	3.49	3.52	0.65	

#### 4. 결과의 해석

총장약량(m)과 환산거리(SD) 최대입자속도(v)의 관계를 파악하기 위하여, 지금까지의 결과를 종합하여 그림 4에 나타내었다. SD와 v의 관계는 대수적 선형 관계이며, m이 증가함에 따라서 v 또한 증가하는 것을 볼 수 있다. 그렇지만 SD가 작은 경우에 있어서 그 경향성이 좋지 못하며, m이 7인

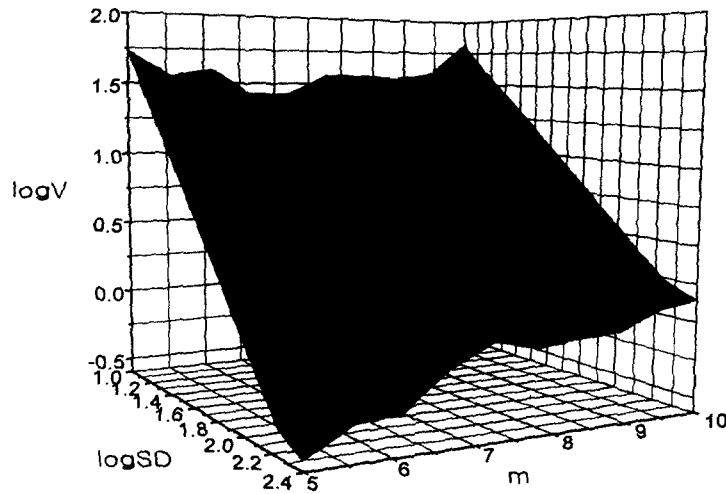


그림 4. 총장약량 증가에 따른 SD 및 v의 관계

경우 불규칙한 것은 이 등의 논문에서도 보듯이 지질학적 원인에 기인한 것으로 판단된다.

기존의 최대 입자속도식은 광범위한 범위의 자료 분석에 의해서 제안된 식으로 넓은 범위의 환산거리와 다양한 규모의 발파에서 널리 적용되어 온 식이며 발파 설계에 흔히 적용된 식이다. 본 연구에서 제안된 식은 총장약량이 진동 수준에 미치는 영향을 반영할 수 있는 방안을 보인 것이며 이런 목적으로 계획된 실험발파결과는 구하기 어려우므로 이 등(2001)의 연구 결과만으로 결과를 도출한 것이고, 그 가능성을 보였다는데 의의가 있다. 따라서 식이 현실적으로 사용되기 위해서는 다양한 발파 자료로 검증되어야 할 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 총장약량이 진동수준에 미치는 영향을 고려한 진동예측식

$$v = \{K + (m-1)p\}(SD)^{-n}$$

을 제안하였다.

여기서  $m$ 은  $W_{total} / W_{delay}$ 이며  $p$ 는 지발단수의 증가에 따른 진동속도 평균 증가율이다. 이 식을 기존의 계측자료에 적용하여 검토한 결과, 이 등의 계측결과는  $v = \{2041 + 1.567(m-1)\}(SD)^{-1.395}$ 의 식으로 나타낼 수 있었다.

또, 총 장약량 증가에 따른 SD 및 v의 관계는 대수적 선형 관계이며 m의 증가에 따라서 v또한 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 제안된 식을 적용하면 지발당 장약량이 동일하더라도 총장약량의 증가에 따라 진동속도가 증가하는 현상을 잘 나타낼 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 이창훈, 강추원, 김종인, 2001, 발파공수에 따른 진동속도 특성에 관한 연구, 화약·발파, 19.1, 63~70
2. Devine, J.R. 1966, "Avoiding Damage to Residences from Blasting Vibrations," Highway Research Record 135, Highway Research Board, National Research Council, National Academy of Sciences, 35~42
3. 양형식, 1992, 지표발파의 진동특성에 관한 기초연구, 터널과 지하공간, 2.2, 199~211