

다이내마이트와 미진동파쇄기 발파에 의한 지반진동속도 비교

김일중¹⁾

The Comparison of the Ground Vibration Velocity by Dynamite and Finecker Blasting

Il-Jung Kim

ABSTRACT The results of the regression analysis and comparative study between 120 vibration events by dynamite blasting and 68 vibration events by finecker blasting which were monitored in the test blasting are as follows: The ground vibration velocity of dynamite blasting of 0.12 kg charge weight per delay at 7.4 m above the explosive is higher than that of finecker blasting of 0.96 kg charge weight per delay. In the case of 0.12 kg charge weight per delay, the ground vibration velocity of finecker blasting is equal to 5.5% of that of dynamite blasting at the 10 m distance from explosive. The decrement of ground vibration velocity of dynamite blasting of above 0.12 kg charge weight per delay is larger than that of finecker blasting of below 0.96 kg charge weight per delay. The rate of ground vibration velocity of the finecker blasting to that of dynamite blasting decreases with the distance from explosives, but increases with the charge weight per delay. The decrement of the rate of ground vibration velocity increases with the decrease of charge weight per delay. The increment of ground vibration velocity of finecker blasting is less than that of dynamite blasting with the increase of charge weight per delay at the same distance from explosives. Under the condition of the constant critical ground vibration velocity or use the same charge weight per delay, the blasting working by finecker rather than by dynamite is able to be performed at the nearer place to structures.

1. 서 론

암반발파에서 폭약의 폭발로 인하여 발생하는 충에너지중에서 약 0.5-20%가 탄성파로 변환되어 지반진동으로 소비되는 것으로 알려지고 있다.¹⁾ 발파에 의한 지반진동은 현지암반의 역학적 성질과 상태에 따라 다르게 전달된다. 또한 폭약의 폭발로 인하여 발생한 지반진동의 크기는 폭약의 종류, 발파공법 및 폭원과의 거리에 따라 다르다.

일반적으로 동일한 약량을 기폭했을때 위력이 강한*폭약은 약한 폭약에 비하여 많은 에너지를 발생하게 되어 동일한 거리에 전달되는 지반진동이 크게 되는 경향이 있다.

발파작업장 주변건물이나 시설물에 근접하여 발파작업을 실시함에 있어서 다이내마이트를 사용하여 발파작업을 실시할 수 없을 경우 브레이크나 비폭성파쇄제를 사용하는 경우가 있다. 이들은 공사기간이 길어지거나 계절에 따른 온도와 습도의 변화, 지하수용출 및 자유면 확보 등의 제약을 받게 되어 시공상의 난점이 있다.

본 연구를 위해 발파작업장 주변건물과 시설물 등으로 부터 근거리에서 2자유면상태의 암반을 대상으로 한 시험발파를 실시하여 다이내마이트발파에서 120개, 미진동파쇄기발파에서 68개의 지반진동속도 계측치를 얻었다. 이 계측자료를 근거로 통계분석하여 각

* 1995년 8월 접수

1) 정희원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원

각의 발파진동속도 추정식을 도출하였으며, 폭원과의 거리와 지발당 장약량의 변화에 따른 지반진동속도의 변화경향과 주변 구조물로 부터의 안전한 발파시공거리에 대하여 고찰하였다.

2. 시험조건 및 방법

2.1 발파암의 물리적성질

본 시험발파를 실시한 지역의 암반은 전체적으로 불규칙한 미세균열이 산재해 있으며 7개 장소에서 채취한 암석시료를 장소당 일축압축과 인장시험용 시험편을 각각 10개씩 제작하여 시험한 결과 Table 1에 나타낸 바와 같이 일축압축강도는 약 1400 kg/cm^2 , 인장강도는 약 125 kg/cm^2 , 탄성계수는 약 $4.6 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 비중은 약 2.67이고 공극율은 약0.9%의 평균치를 나타냈다.

2.2 천공 및 장약

폭발속도 5300 m/sec인 다이내마이트(직경25 m m, 32 mm)와 연소속도 60 m/sec인 미진동파쇄기(직경28 mm)를 사용한 시험발파시 각각 천공장 2.0-2.7 m, 0.95-1.60 m, 최소저항선 0.8-1.0 m, 0.35-0.55 m, 천공간격 1.10-1.35 m, 0.40-0.65 m를 직경 42 mm 비트를 사용하여 유압드릴로 수직하향 천공하였다.

다이내마이트의 지발당장약량은 0.500-1.250 kg까지 그리고 미진동파쇄기는 1회 발파당 0.24-0.96 kg까지 각각 4단계로 구분하여 장약하여 2자유면상태에서 시험발파를 실시하였으며 표준발파가 이루어 졌다.

2.3 지반진동속도계측

자유면과 폭원 및 계측점 순서로 위치하도록 하여 발파에 의한 지반진동속도를 계측하였다. 발파진동계측기 자체내에 진동감지센서가 내장된 Canada Instanetel사 제품인 Minimate(model:DS-077)2대를 사용하여 다이내마이트발파의 경우 폭원과 계측점간의 거리를 17.0-77.2 m 범위내에서 변화시키면서 총 120개, 미진동파쇄기발파의 경우 16.5-53.0 m범위내에서 총 68개의 지반진동속도를 계측하였다.

시험발파시 측정거리와 지발당 장약량에 따른 지반진동속도의 범위를 Table 2에 나타냈으며 지반진동속도는 벡터합²⁾이다.

3. 시험결과 및 분석

발파에 의해 구조물이나 시설물 등에 영향을 주는 것은 입자의 변위, 속도, 가속도 및 주파수 등이 종속변수인데 여러계측결과에 의하면 구조물이나 시설물 등의

Table 1 Mechanical properties of rock

Site	Uniaxial compressive strength (kg/cm ²)	Tensile strength (kg/cm ²)	Elastic modulus (×10 ⁵ kg/cm ²)	Specific gravity	Porosity (%)
A	1250-1430	115-130	4.2-4.7	2.60-2.68	0.85-0.95
B	1350-1480	120-135	4.1-4.9	2.63-2.69	0.80-0.92
C	1200-1450	108-128	3.8-4.6	2.64-2.70	0.78-0.98
D	1280-1420	110-130	4.0-4.5	2.65-2.70	0.77-0.93
E	1380-1440	120-135	3.9-4.9	2.60-2.69	0.85-0.92
F	1250-1450	110-140	4.2-5.1	2.64-2.68	0.88-0.96
G	1320-1410	115-133	3.9-4.8	2.63-2.68	0.79-0.98

Table 2. Blasting condition & range of measured ground vibration data

Explosives	Distance (m)	Charge/ delay (kg)	Ground vibration velocity (cm/sec)	Remark
Dynamite	17.0- 50.2	1.250	3.56-36.83	
	30.2- 73.2	1.000	1.87-14.03	
	29.5- 77.2	0.625	1.60- 6.78	
	37.5- 76.3	0.500	2.22- 6.14	
Finecker	20.4- 53.0	0.960	0.32- 2.59	Charge per cycle
	23.0- 45.6	0.720	0.27- 1.19	
	30.0- 39.8	0.480	0.27- 0.60	
	16.5- 23.5	0.240	0.27- 0.86	

피해와 입자속도는 밀접한 관계가 있다.

일정한 주파수대역의 입자속도분포는 로그 정규분포를 이루고 있으며 이러한 분산은 지질조건, 화약종류, 파형, 장약배열, 기폭 및 계측오차등이 그 원인으로 알려져있다.

따라서 발파진동속도는 경험적으로 예측하기 어려우므로 여러개의 계측자료들을 근거로 회귀분석을 실시하여 발파현장에 적합한 발파진동속도 추정식을 도출하여야 하고 이들을 다시 안전성을 부여한 식으로 환산하여야 한다.

3.1 지반진동속도 추정식

본 연구에서는 발파진동속도 추정식을 (1)식과 같은 자승근,삼승근 환산식, (2)식과 같은 일반식으로 도출하였다.

$$V_1 = K_1(SD)^n \tag{1}$$

$$V_2 = K_2 W^a R^b \tag{2}$$

여기서 V_1, V_2 : 지반진동속도(cm/sec)

K_1, K_2 : 발파진동상수

SD : 환산거리($m/kg^{1/2}, m/kg^{1/3}$)

W : 지발당최대장약량 R : 폭원과 계측점간의 거리

n : 감쇠지수 a : 장약지수 b : 거리지수

Table 2의 자료를 대상으로 회귀분석하여 95% 신뢰수준을 부여한 다이내마이트와 미진동파쇄기발파의 발파진동속도 추정식은 다음과 같다.

다이내마이트 발파진동속도 추정식

$$V=333(SD)^{-1.558} \tag{3}$$

$$V=594(SD)^{-1.729} \tag{4}$$

$$V=600 W^{0.573} R^{-1.732} \tag{5}$$

미진동파쇄기 발파진동속도 추정식

$$V=932(SD)^{-2.529} \tag{6}$$

$$V=958(SD)^{-2.548} \tag{7}$$

$$V=895 W^{1.278} R^{-2.515} \tag{8}$$

여기서 (3),(6)식은 자승근 환산식, (4),(7)식은 삼승근

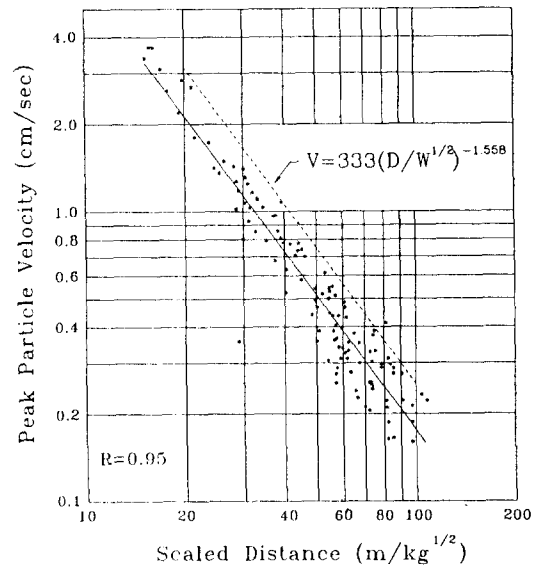


Fig. 1. Relationship between square root SD and PPV of dynamite blasting.

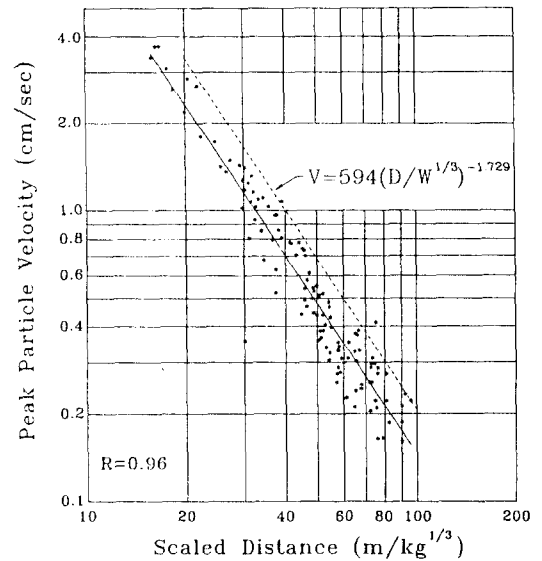


Fig. 2. Relationship between cube root SD and PPV of dynamite blasting.

환산식이고 (5),(8)식은 일반식이다.

Fig. 1과 2의 점선은 95%의 신뢰수준을 갖는 다이내마이트발파의 자승근, 삼승근 환산식을 나타내고, Fig. 3과 4의 점선은 미진동파쇄기발파의 자승근, 삼승근 환산식을 나타내고있다. 다이내마이트발파의 자승근 환산식의 상관계수는 0.95, 삼승근, 일반식은 0.

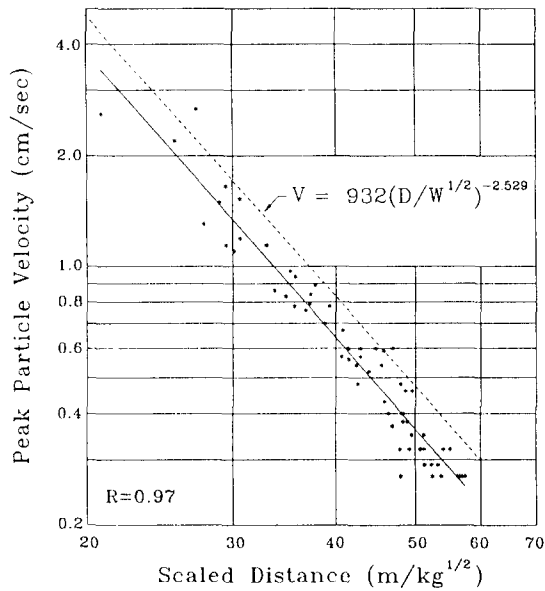


Fig. 3. Relationship between square root SD and PPV of finecker blasting.

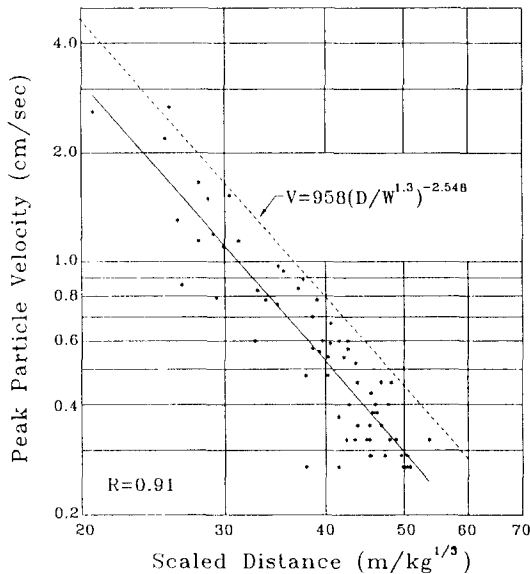


Fig. 4. Relationship between cube root SD and PPV of finecker blasting.

96, 미진동파쇄기발파의 삼승근환산식은 0.91, 자승근, 일반식은 0.97이다.

3.2 지반진동속도

다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도

Table 3. Ground vibration velocity (cm/sec)

Charge per delay (kg)	Distance (m)					Remark
	10	20	30	40	50	
0.12	3.300	0.993	0.492	0.299	0.203	D
	0.182	0.032	0.012	0.006	0.003	F
0.24	4.909	1.478	0.732	0.445	0.302	D
	0.441	0.077	0.028	0.014	0.008	F
0.48	7.303	2.199	1.089	0.662	0.450	D
	1.070	0.187	0.068	0.033	0.019	F
0.96	10.864	3.271	1.620	0.985	0.669	D
	2.595	0.454	0.164	0.079	0.045	F

*D: Dynamite, F: Finecker

추정식 중에서 공통적으로 상관계수가 높은 일반식을 이용하여 지발당장약량 0.12, 0.24, 0.48 및 0.96 kg을 각각 사용했을 때 폭원과 10-50 m거리에서의 지반진동속도를 Table 3에 나타냈다.

3.2.1 지반진동속도의 변화와 그 감소량

다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지발당장약량에 따른 폭원과 거리와 지반진동속도와 관계를 Fig. 5, 폭원과 거리에 따른 지발당장약량과 지반진동속도와 관계를 Fig. 6에 나타냈으며 Fig. 7은 다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지발당 장약량에 따른 폭원과 거리와 지반진동속도 감소량과의 관계를 보기위한 것이며 이를 수식으로 표현하면 (9)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{De} = V_{10W} - V_{DW} \tag{9}$$

여기서 V_{10W} : 폭원과의 10 m거리에서 지발당장약량에 따른 지반진동속도

V_{DW} : 임의의 거리에서 각각의 지발당 장약량 사용시 계측한 지반진동속도

V_{De} : V_{10W} , V_{DW} 과의 차이, 즉 지반진동속도 감소량

Fig. 5에서 보는 바와 같이 다이너마이트와 미진동파쇄기발파에 의한 지반진동속도는 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 감소하고 있다. 폭원과의 거리 약 7.4 m에서 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 다이너마이트 발파의 지반진동속도는 지발당장약량 0.96 kg을 사용한 미진동파쇄기발파의 것과 같은 약 5.5 cm/sec의 값을 보이고 있으며 폭원과의 거리가 약 7.4 m이상에서 다이너마이트발파의 지반진동속도가 미진동파쇄기발파의 것보다 높은 값을 보이고 있다.

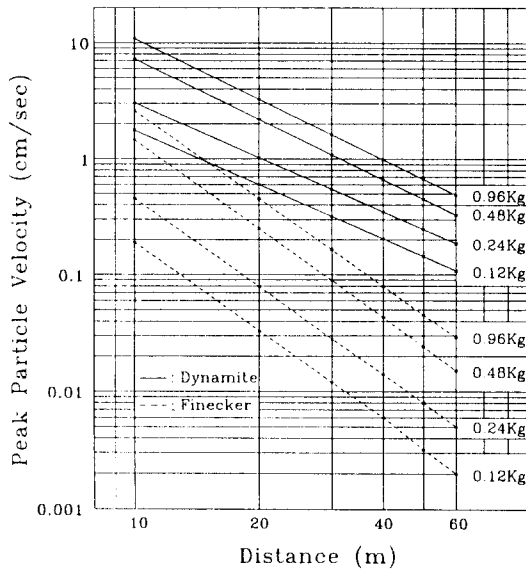


Fig. 5. Relationship between PPV and distance from explosive with charge weight per delay.

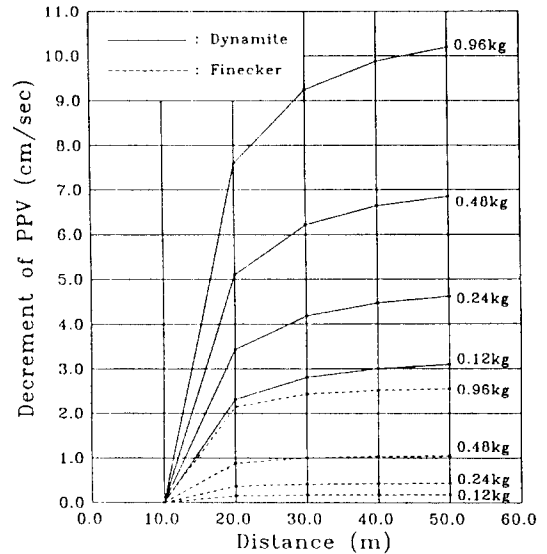


Fig. 7. Relationship between decrement of PPV and distance from explosive with charge weight per delay.

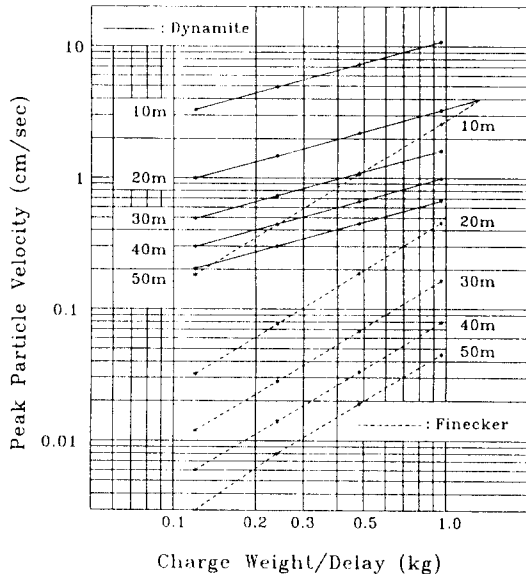


Fig. 6. Relationship between PPV and charge weight per delay with distance from explosive.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 지발당 장약량의 증가에 따라 지반진동속도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 미진동파쇄기발파의 경우 폭원과 10 m거리에서 지반진동속도는 지발당 장약량 0.12 kg을 사용할때, 다이내마이트발파에서 폭원과 50 m거리에서 측정된 진동속도

보다, 0.24 kg을 사용할때, 40 m거리의 것보다, 0.48 kg을 사용할 때, 30 m거리의 것보다, 또 0.96 kg을 사용할때, 20 m거리의 것보다 낮다. 그리고 지발당장약량 1.33 kg을 사용하여 발파할 경우 폭원과 10 m거리에서 미진동파쇄기발파의 지반진동속도는 폭원과 20 m에서 다이내마이트발파의 것과 같은 3.94 cm/sec이다.

따라서 지발당장약량 1.33 kg미만을 사용한 발파의 경우 폭원과 10 m거리에서 미진동파쇄기발파의 지반진동속도는 폭원과의 거리 20 m에서 다이내마이트발파의 것보다 낮다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 전반적으로 거리의 증가에 따라 지반진동속도는 감소되는데 그 감소율은 더욱 커짐을 알 수 있다.

지발당 장약량 0.96 kg을 사용했을 때 폭원과 20 m거리에서 다이내마이트발파의 지반진동속도 감소량은 7.59 cm/sec인데 비하여 미진동파쇄기발파는 2.14 cm/sec로써 5.45 cm/sec의 차이를 나타내고, 지발당장약량 0.12 kg을 사용했을 때 폭원과 20 m거리에서 다이내마이트발파의 지반진동속도 감소량은 2.31 cm/sec인데 비하여 미진동파쇄기발파는 0.15 cm/sec로써 2.16 cm/sec의 차이를 나타내고 있다.

지발당장약량 0.96 kg을 사용했을 때 폭원과 50 m

거리에서 다이너마이트발파의 지반진동속도 감소량은 10.20 cm/sec인데 비하여 미진동파쇄기발파는 2.55 cm/sec로써 7.65 cm/sec의 차이를 나타내고, 지발당장약량 0.12 kg을 사용했을 때 폭원과 50 m거리에서 다이너마이트발파의 지반진동속도 감소량은 3.10 cm/sec인데 비하여 미진동파쇄기발파는 0.18cm/sec로써 2.92 cm/sec의 차이를 나타내고 있다.

따라서 폭원과의 거리가 10 m에서 20 m사이의 지반진동속도의 감소량이 급격히 증가하고, 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 지반진동속도의 감소량이 완만하게 증가하고 있다. 동일한 지발당장약량을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동속도의 감소량은 미진동파쇄기발파의 경우보다 많고, 그 감소량의 차이는 폭원과의 거리가 멀어질수록 증가한다. 지발당장약량 0.96 kg을 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 감소량은 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 다이너마이트발파의 경우보다 적다.

즉 지발당장약량 0.96 kg이하를 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 감소량은 지발당장약량 0.12 kg이상을 사용한 다이너마이트발파의 경우보다 적다.

3.2.2 지반진동속도 비율과 그 감소량

지발당장약량에 따라 (10)식에 의해 구한 폭원과의 거리와 다이너마이트발파에 대한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 비율(V_{VR})과의 관계, Fig. 8에 나타냈고, 또 지발당장약량에 따라 (11)식에 의해 구한 폭원과의 거리와 지반진동속도 비율의 감소량(V_{DVR})과의 관계를 Fig. 8에 함께 나타냈다. 폭원과의 10 m거리에서의 지반진동속도를 기준으로 한 지발당장약량에 따른 폭원과의 거리와 지반진동속도 감소율과의 관계를 (12)식에 의해 구하여 Fig. 9에 나타냈다.

$$V_{VR} = (F_{DW}/D_{DW}) \times 100(\%) \quad (10)$$

$$V_{DVR} = (1 - F_{DW}/D_{DW}) \times 100(\%) \quad (11)$$

$$V_{DDR} = (1 - D_{DW}/D_{10W}) \times 100(\%) \quad (12)$$

$$V_{FDR} = (1 - F_{DW}/F_{10W}) \times 100(\%)$$

여기서 F_{DW} : 폭원과의 거리와 지발당장약량에 따른 미진동파쇄기발파의 지반진동속도

D_{DW} : 폭원과의 거리와 지발당장약량에 따른 다이너마이트발파의 지반진동속도

D_{10W} : 폭원과 10 m거리에서 지발당장약량에 따른

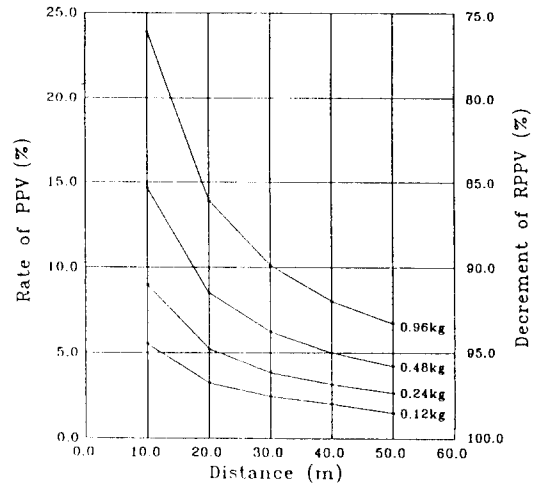


Fig. 8. Relationship between rate of PPV, decrement of RPPV and distance from explosive with charge weight per delay.

다이너마이트발파의 지반진동속도

F_{10W} : 폭원과 10 m거리에서 지발당장약량에 따른 미진동파쇄기 발파의 지반진동속도

V_{DDR} : 폭원과의 거리와 지발당장약량에 따른 다이너마이트발파의 지반진동속도 감소율

V_{FDR} : 폭원과의 거리와 지발당장약량에 따른 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 감소율

Fig. 8에 나타낸 바와 같이 지발당장약량 0.96, 0.48, 0.24 및 0.12 kg을 사용한 발파에서 폭원과의 10 m와 50 m거리에서의 지반진동속도 비율은 각각 23.9와 6.7%, 14.7과 4.2%, 9.0과 2.7% 및 5.5와 1.5%이다. 또 이들의 감소량은 각각 76.1과 93.3%, 85.3과 95.8%, 91.0과 97.3% 및 94.5와 98.5%이다.

따라서 다이너마이트발파에 대한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 비율은 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 감소하고 지발당장약량의 증가에 따라 증가한다. 또한 지발당장약량의 감소와 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 지반진동속도 비율의 감소량이 증가한다. 이러한 경향은 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 폭원과의 거리에 따라 동일한 지발당장약량을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동속도 감소율이 미진동파쇄기발파의 경우보다 낮기 때문이다.

특히 폭원과 10 m거리에서 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도는 다이너마

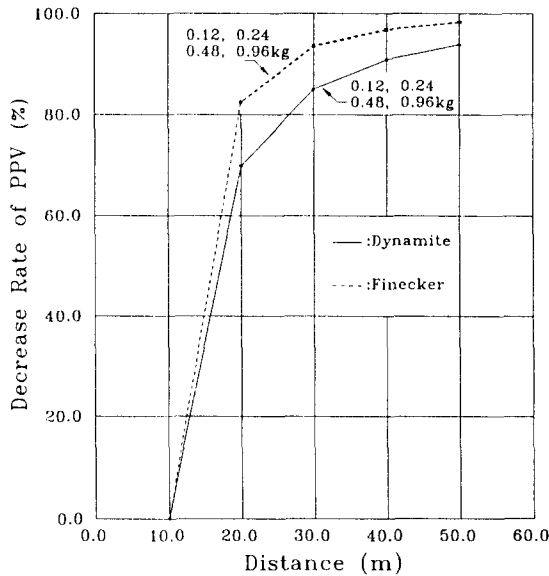


Fig. 9. Relationship between decrease rate of PPV and distance from explosive with charge weight per delay.

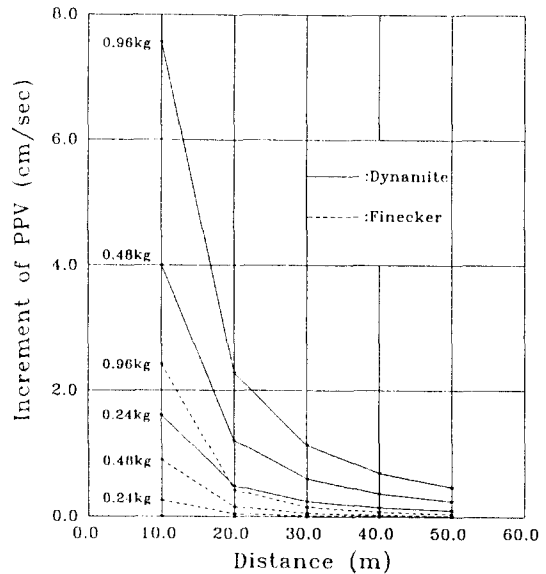


Fig. 10. Relationship between increment of PPV and distance from explosive with charge weight per delay.

이트발파에 의한 지반진동속도의 5.5%에 해당한다.

3.2.3 지반진동속도 증가량과 차이

지발당장약량 0.12 kg을 사용한 다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도를 기준으로 하여 지발당장약량과 폭원과의 거리에 따른 지반진동속도 증가량을 (13)식에 의해 구하여 Fig. 10에 나타냈다. 또 지발당장약량과 폭원과의 거리에 따른 다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 차이를 (14)식에 의해 구하여 Fig. 11에 나타냈다.

$$D_1 = D_{DW} - D_{D0.12} \quad (13)$$

$$F_1 = F_{DW} - F_{D0.12}$$

$$V_{D1} = D_{DW} - F_{DW} \quad (14)$$

여기서 D_1 : 다이너마이트발파의 지반진동속도 증가량

F_1 : 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증가량

$D_{D0.12}$: 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 다이너마이트발파에서 폭원과의 거리에 따른 지반진동속도

$F_{D0.12}$: 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 미진동파쇄기발파에서 폭원과의 거리에 따른 지반진동속도

V_{D1} : 다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동

속도 차이

Fig. 10에 나타난 바와 같이 지발당장약량 0.96, 0.48 및 0.24 kg을 사용한 발파의 지반진동속도는 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 발파의 지반진동속도보다 폭원과 10 m거리에서 다이너마이트발파는 7.56, 4.00 및 1.61 cm/sec, 미진동파쇄기발파는 2.41, 0.89 및 0.26 cm/sec가 각각 증가했으며, 폭원과 20 m거리에서 다이너마이트발파는 2.28, 1.21 및 0.49 cm/sec, 미진동파쇄기발파는 0.42, 0.16 및 0.05 cm/sec가 각각 증가했다.

따라서 지발당장약량의 증가에 따라 지반진동속도의 증가량은 많아지고 있으며 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 지반진동속도의 증가량은 적어지고 있음을 알 수 있다. 또한 폭원과의 동일한 거리에서 지발당장약량의 증가에 따라 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증가량이 다이너마이트발파의 경우보다 적고 폭원과 20 m이상의 거리에서 지발당장약량 0.24, 0.48 및 0.96 kg을 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증가량은 지발당장약량 0.24 kg을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동속도 증가량보다 적다.

즉 폭원과 20 m이상의 거리에서 지발당장약량 0.96 kg이하를 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증

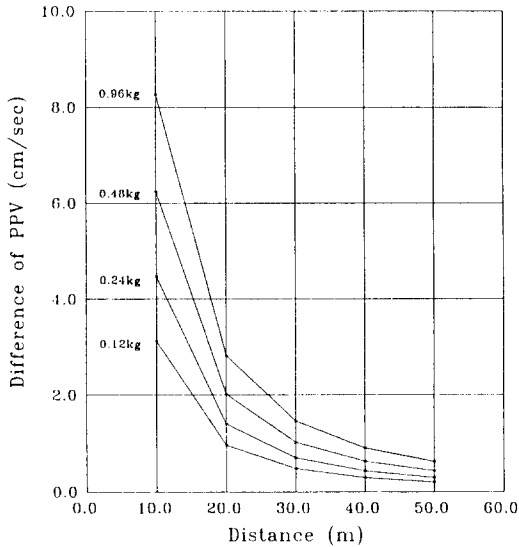


Fig. 11. Relationship between difference of PPV and distance from explosive with charge weight per delay.

가량은 지발당장약량 0.24 kg이상을 사용한 다이내마이트발파의 지반진동속도 증가량보다 적다.

Fig. 11에 나타난 바와 같이 지발당장약량 0.96, 0.48, 0.24 및 0.12 kg을 사용한 다이내마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 차이는 폭원과 10 m거리에서 각각 8.27, 6.23, 4.47 및 3.12 cm/sec, 50 m거리에서 각각 0.62, 0.43, 0.29 및 0.20 cm/sec이다.

따라서 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 지반진동속도 차이는 감소하고 있으며 지발당장약량이 증가함에 따라 다이내마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 차이는 증가하고 있음을 알 수 있다.

3.2.4 발파시공거리

본 발파지역의 한계 지반진동속도를 0.3 cm/sec와 0.5 cm/sec로 설정할 경우 다이내마이트발파의 지반진동속도 추정식들을 비교하고, 또 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 추정식들을 비교하여 가장 안전한 발파가 이루어질 수 있는 거리에 따른 지발당 장약량을 각각 산출하여 Fig. 12에 나타냈다. 즉 Fig. 12에서 미진동파쇄기발파를 나타내는 점선의 “VD1” “VD2”의 좌측 부분은 삼승근환산식, 우측 부분은 일반식, 다이내마이트발파를 나타내는 실선은 일반식에 의해 구한 주변 구조물과 발파암과의 거리에 따른 지발당 장약량을 나타내고있다.

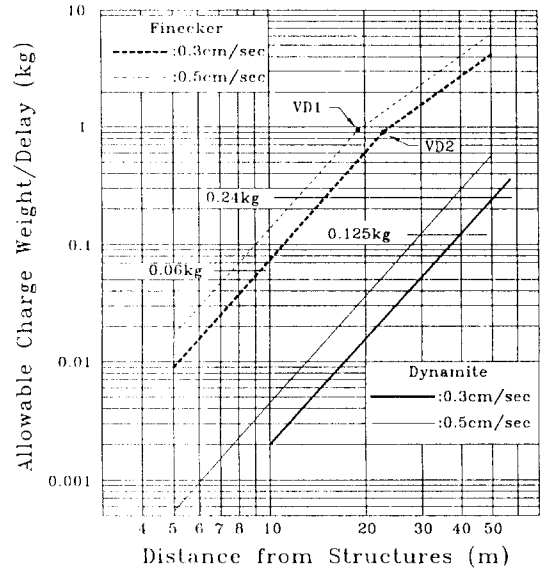


Fig. 12. Relationship between allowable charge weight per delay and distance from structures by dynamite and finecker blasting. (critical ground vibration velocity : 0.3, 0.5 cm/sec)

한계진동속도를 0.3 cm/sec로 정할 경우 지발당장약량 0.24 kg을 사용한 다이내마이트발파는 구조물로부터 약 51.7 m이상, 미진동파쇄기발파는 약 14.7 m이상, 또 한계진동속도를 0.5 cm/sec로 정할 경우 다이내마이트발파는 구조물로부터 약 37.4 m이상, 미진동파쇄기발파는 약 12.1 m이상에서 안전하게 수행될 수 있다.

장약작업상 안전을 위한 다이내마이트의 지발당 최소장약량을 0.125 kg(직경 25 mm, 약장 218 mm : 1개), 미진동파쇄기 최소장약량을 0.06 kg(직경 28 mm, 약장 140 mm : 1개)로 정하면 Fig. 12에서 보는 바와 같이 본 발파지역의 한계진동속도를 0.3 cm/sec로 정할 경우 다이내마이트에 의해 발파할 수 있는 거리는 주변 구조물로부터 약 40 m이상, 미진동파쇄기에 의한 발파는 약 9.3 m이상이다. 또 한계진동속도를 0.5 cm/sec로 정할 경우 다이내마이트에 의해 발파할 수 있는 거리는 주변 구조물로부터 약 30 m이상, 미진동파쇄기에 의한 발파는 약 7.4 m이상이다.

따라서 일정한 한계진동속도에서 동일한 지발당장약량을 사용할 경우 다이내마이트보다 미진동파쇄기에 의한 발파작업이 구조물에 더욱 가까운 거리까지 가능하다.

4. 결 론

발파현장에서 다이너마이트와 미진동파쇄기를 사용한 시험발파를 실시하여 얻은 다이너마이트발파의 120개 지반진동속도 계측치와 미진동파쇄기발파의 68개 지반진동속도 계측치를 회귀분석한 후 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 다이너마이트발파의 지반진동속도 추정식의 상관계수는 삼승근 환산식과 일반식이 미진동파쇄기발파의 경우는 자승근 환산식과 일반식이 높았다.

2) 폭원과의 거리 7.4 m 이상에서 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동속도는 지발당장약량 0.96 kg을 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도보다 높고, 지발당장약량 1.33 kg미만을 사용한 발파의 경우에 폭원과 10 m거리에서 미진동파쇄기발파의 지반진동속도는 다이너마이트발파의 20 m거리에서의 것보다 낮다. 지발당장약량 0.12 kg을 사용한 발파의 경우 폭원과 10 m거리에서 미진동파쇄기발파의 지반진동속도는 다이너마이트발파의 5.5%에 해당한다.

3) 폭원과의 거리 10 m와 20 m사이에서 지반진동속도 감소량이 급격히 증가하고 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 완만하게 증가한다. 지발당장약량 0.12 kg이상을 사용한 발파에서 다이너마이트발파에 의한 지반진동속도의 감소량은 지발당장약량 0.96 kg이하를 사용한 미진동파쇄기발파의 경우보다 많고, 그 감소량의 차

이는 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 증가한다.

4) 다이너마이트발파에 대한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 비율은 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 감소하고 지발당장약량의 증가에 따라 증가한다. 지발당장약량의 감소와 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 지반진동속도 비율의 감소량은 증가한다.

5) 폭원과의 동일한 거리에서 지발당장약량의 증가에 따라 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증가량은 다이너마이트의 경우보다 적고, 폭원과의 거리가 멀어짐에 따라 다이너마이트와 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 차이는 감소한다.

폭원과 20 m 이상 거리에서 지발당장약량 0.96 kg이하를 사용한 미진동파쇄기발파의 지반진동속도 증가량은 지발당장약량 0.24 kg이상을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동속도 증가량보다 적다.

6) 일정한 한계진동속도 또는 동일한 지발당장약량을 사용하는 조건하에서 미진동파쇄기에 의한 발파작업이 다이너마이트에 의한 것보다 구조물에 더욱 가까운 거리까지 가능하다.

참 고 문 헌

1. 김재국. 1988. 산업폭약과 발파공학. 서울대학교 출판부. p.371.
2. Dowding C.H. 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs. pp.20-21.