

계단식 발파에 있어서 자유면 전·후방의 지반진동에 관한 연구

A Study on the Ground Vibration of the Front and the Back Direction
of the Free Face in the Bench Blasting

기 경 철¹⁾ 김 일 중²⁾

Kyoung-Chul Ki, Il-Jung Kim

¹⁾한국산업인력공단 ²⁾전북대학교

Abstract

We did bench blasting upon the natural rock which it's uniaxial compressive strength was about 1,420~1,476kgf/cm². This is the results we inferred after measuring, analyzing the ground vibration velocity of the front and back direction from the free face of the bench blasting.

We have to induce the square and cube root scaled equation and the general equation to guarantee confidence upon the data when analyzing the measurement data of the test blasting. The variable distance is in reverse proportion to the permitted ground vibration velocity.

The shorter is the exploding point to a protection structure, the bigger is the reflection that the direction of the free face experts the ground vibration velocity. The ground vibration velocity front of the free face tends become reduced about 38~46% compare with back of the free face in the range that the permitted ground vibration velocity is 2.0~5.0mm/sec.

In case of 2.0mm/sec, when a protection structure is within about 95m, the max. allowable charge weight per delay on positing front of the free face can be more used about 2.61 times than that on positing back of the free face, in case of 3.0mm/sec within about 78m more about 2.38 times, in case of 5.0mm/sec within 60m more about 2.10 times. In case of 2.0~5.0mm/sec when a protection structure is within about 200m front from the free face, the max. allowable charge weight per delay can become about 1.52 times than the case on back to the free face.

Keyword : variable distance, the front and back of the free face, ground vibration velocity, the max. allowable charge weight per delay,

1. 서론

도로개설이나 도심지의 택지개발 등을 위해 폭약을 사용한 수많은 노천발파가 진행되고 있으며, 폭약을 사용한 암반발파는 지반진동과 더불어 소음 및 발파풍 등의 공해를 유발하게 된다. 노천이나 지하 암반발파에서 발생하는 발파공해 중 구조물의 안전에 문제가 되고 있는 것은 지반진동이라 할 수 있다. 신선하고 균질인 암반내에서 폭약이 폭발하게 되면 발생된 진동은 폭원에서 동심원적으로 매질을 따라 전파되지만 불연속면이나 이종 매질이 존재하게 되면 진동의 전파가 차단되거나 급격히 감소하게 된다¹⁾. 계단식 발파에서 자유면은 불연속면으로 간주할 수 있으므로 폭약의 폭발로 인해 발생한 진동의 전파는 자유면 전방보다 후방이 우세할 것으로 생각된다.

일반적으로 계단식 발파에서 암반을 통해 전파되는 자유면 후방의 지반진동을 주로 예측한 자료를 분석하여 암반발파 설계를 하는 경우가 대부분이다. 그러나 현장 상황에 따라서는 암반의 분포상태와 주변 보안물건의 위치를 고려하여 발파작업을 실시할 수도 있다. 즉 발파암반 주변에 위치하는 보안물건이 계단식 발파의 전방에 위치하도록 발파계획을 세워 시공하게 되면 지반진동에 더 안전한 발파작업이 이루어질 수도 있다. 발파암반 주변에 보안물건이 위치하는 경우 지발당 최대허용장약량과 발파작업의 경제성은 상관관계를 가지게 된다. 즉, 지발당 최대허용장약량이 증가하게 되면 발파공사비는 감소하는 경향을 나타낸다.

따라서 계단식 발파에서 자유면 전방과 후방에서 예측한 지반진동속도를 통계분석하여 지반진동의 크기와 지발당 최대허용장약량을 비교 분석하고자 한다.

2. 시험대상 암반

본 실험은 4차선 도로개설공사 현장에서 비교적 신선하고 균질인 화강암질 암반을 대상으로 실시하였으며, 지반진동의 전파를 감소시킬 만한 지질구조는 발견할 수 없었다. 시험 대상인 화강암질 암반의 물성은 5개씩의 시료를 시험하여 신뢰도 99%로 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Some physical properties of rock

Items	Range
Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm ²)	1,402 ~ 1,476
Tensile Strength (kgf/cm ²)	88.0 ~ 109.0
Young's Modulus ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	3.60 ~ 4.18
Specific Gravity	2.55 ~ 2.77
Poisson's Ratio	0.20 ~ 0.24
Internal Friction Angle (°)	59.0 ~ 62.0
Cohesion Force (kgf/cm ²)	196 ~ 227
P-wave Velocity (km/sec)	5.1 ~ 5.5
S-wave Velocity (km/sec)	2.63 ~ 2.73

3. 계단식 발파 시험

3.1 비장약량

발파대상암반의 일축압축강도는 1,402~1,476 kgf/cm²의 범위로서 경암으로 분류된다²⁾. 암반 발파에서는 국내 H사에서 생산하는 상대위력계수(e_r)가 1.37인 폭약을 사용하였다. 계단식 발파에서 비장약량(W_s)계산은 본인이 다수의 실험을 실시하여 얻은 경험식 (1)을 이용하였다. 본 식은 상수와 암석항력계수(g), 폭약의 절대위력계수(e_a), 전색계수(d) 및 파쇄암의 체적(V)을 변수로 하고 있다.

$$W_s = 0.6 \cdot e_a \cdot d \cdot g \cdot V \quad (1)$$

본 실험에서 발파암반의 비장약량(W_s)을 산출하기 위하여 절대위력계수(e_a)는 상대위력계수(e_r)의 약45%인 0.62, 전색계수(d)는 완전전색으로 1.0, 발파대상 암반은 경암으로 분류되므로 암석항력계수(g)를 1.0, 발파암의 단위체적(V)을 1.0으로 적용하면 비장약량은 0.372 kg/m^3 로 산출되었으나, 실제 비장약량은 약 0.376 kg/m^3 을 적용하였다.

3.2 천공 및 장약

천공은 직경 45mm의 비트를 사용하여 Fig.1(b)의 횡단면도에서 보는 바와 같이 지표면과 70° 의 경사로 총32개의 발파공을 천공하였다. Fig.1(a)의 배공도와 Fig.1(b)의 횡단면도에서와 같이 저항선(B) : 공간격(S) : 계단높이(H)의 비율은 저계단식 발파³⁾인 $H/B \approx 2.85$ 를 적용하였으며 공간격(S)은 $S/B \approx 1.4$ 를 적용하였다. 즉,

$$B : S : H \approx 1 : 1.4 : 2.85$$

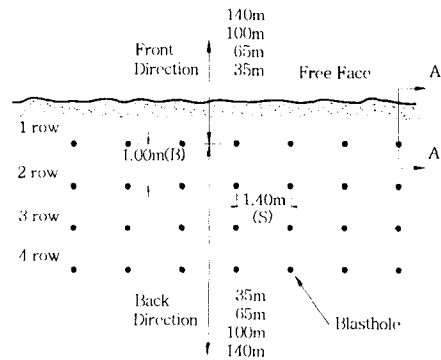
이다. 초과천공(subdrilling)은 저항선(B)의 15%인 $0.15B$ 로 하였다. 발파공당 장약량은 1.5 kg 을 사용하였고 비장약량은 0.376 kg/m^3 이므로 1공당 발파암량은 약 4.0 m^3 이다. 저항선(B)은 $[4.0 \text{ m}^3 \div (1.4 \times 2.85)]^{1/3} \approx 1.0 \text{ m}$, 공간격(S)은 $1.4B = 1.4 \text{ m}$ 이고, 계단높이(H)는 $2.85B = 2.85 \text{ m}$ 이다. 천공장(L)은 계단높이(H)와 초과천공장(S_d)을 합한 길이를 $\cos 20^\circ$ 로 나누어 산출한다. 즉,

$$L = (H + 0.15B) / \cos 20^\circ = (2.85 \text{ m} + 0.15 \text{ m}) / \cos 20^\circ \approx 3.20 \text{ m}$$

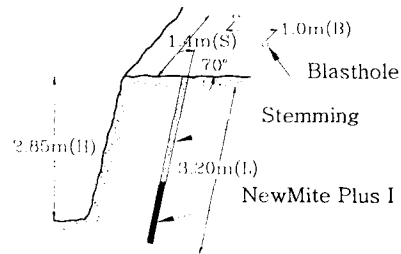
이다(Fig.1(b) 참조).

직경 32mm, 길이 29.5cm, 1개당 0.25kg인 폭약을 전기식뇌관을 사용하여 기폭하였다. 계측기는 Fig.1(a)에 나타낸 바와 같이 1열 중심으

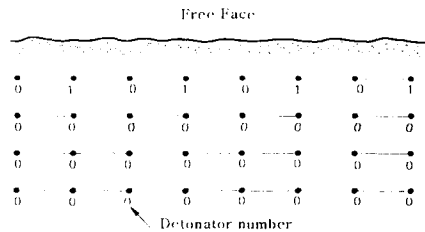
로부터 자유면 전·후방으로 35, 65, 100 및 140m 거리에 설치하고, Fig.1(c)의 뇌관배열 및 결선도에서 보는 바와 같이 지발당 장약량을 1.5 kg (1공씩 기폭)으로 4회, 3.0 kg (2공씩 기폭)으로 6회, 4.5 kg (3공씩 기폭)으로 4회 발파하여 총14회 발파를 실시하였다. 또 자유면 전·후방 각각 56개씩 지반진동속도를 계측하였다. 계측한 자료는 Table 2에 요약하여 나타났다.



(a) Blastholes Array View



(b) A-A Cross Sectional View



(c) Firing Connection View

Fig. 1. Test Blasting Pattern of Bench Cut

Table 2. Results of ground vibration monitoring

Charge weight per delay W(kg)	Front direction of free face		Back direction of free face		비 고
	Distance (m)	Ground vibration velocity (mm/sec)	Distance (m)	Ground vibration velocity (mm/sec)	
1.50	35.0~35.2	3.38~5.41	35.0~35.2	6.52~8.98	
	65.0~65.1	1.02~1.49	65.0~65.1	2.02~3.69	
	100.0~100.1	0.45~0.75	100.0~100.1	1.04~1.50	
	140.0	0.23~0.42	140.0	0.54~0.95	
3.00	36.0~38.3	5.43~9.01	32.3~34.3	8.98~18.25	
	66.0~68.1	1.95~3.12	62.1~64.1	3.62~5.22	
	101.0~103.1	0.80~1.41	97.1~99.1	1.91~3.13	
	141.0~143.1	0.52~0.81	137.1~139.1	1.11~1.62	
4.50	37.0~38.2	9.52~14.19	32.0~33.2	12.52~21.62	
	67.0~68.1	2.63~3.97	62.0~63.1	4.63~7.53	
	102.0~103.1	1.31~2.01	97.0~98.1	2.45~3.49	
	142.0~143.1	0.85~1.12	137.0~138.1	1.52~2.32	

4. 계측자료 분석

자유면 전·후방에서 측정된 지반진동속도를 계측방향에 따라 각각 회귀분석을 실시하여 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식으로 도출하였으며, 평균값에 해당하는 식(V_{50})과 95%의 신뢰수준에 해당하는 식(V_{95})으로 나타냈다.

4.1 자유면 전방 추정식

자승근 환산식

$$V_{50} = 2143.57(D/W^{1/2})^{-1.8532} \quad (1)$$

$$V_{95} = 2895.20(D/W^{1/2})^{-1.8532} \quad (2)$$

삼승근 환산식

$$V_{50} = 3639.60(D/W^{1/3})^{-1.9070} \quad (3)$$

$$V_{95} = 5403.18(D/W^{1/3})^{-1.9070} \quad (4)$$

일반식

$$V_{50} = 1858.72 W^{0.9852} D^{-1.8341} \quad (5)$$

$$V_{95} = 2508.71 W^{0.9852} D^{-1.8341} \quad (6)$$

자승근과 삼승근 환산식 및 일반식의 상관계수는 각각 0.985와 0.974 및 0.985이고, 표준오차는 0.078000과 0.102531 및 0.077819이다.

Fig.2와 Fig.3은 자유면 전방의 지반진동속도와 환산거리와의 관계를 나타내고 있으며, 실선은 평균값인 식(2)와 (4)를, 점선은 95% 신뢰수준인 식(3)과 (5)를 각각 나타내고 있다.

4.2 자유면 후방 추정식

자승근 환산식

$$V_{50} = 1398.40(D/W^{1/2})^{-1.5922} \quad (8)$$

$$V_{95} = 1897.90(D/W^{1/2})^{-1.5922} \quad (9)$$

삼승근 환산식

$$V_{50} = 2374.57(D/W^{1/3})^{-1.6577} \quad (10)$$

$$V_{95} = 3270.29(D/W^{1/3})^{-1.6577} \quad (11)$$

일반식

$$V_{50} = 1730.16 W^{0.7097} D^{-1.6212} \quad (12)$$

$$V_{95} = 2337.46 W^{0.7097} D^{-1.6212} \quad (13)$$

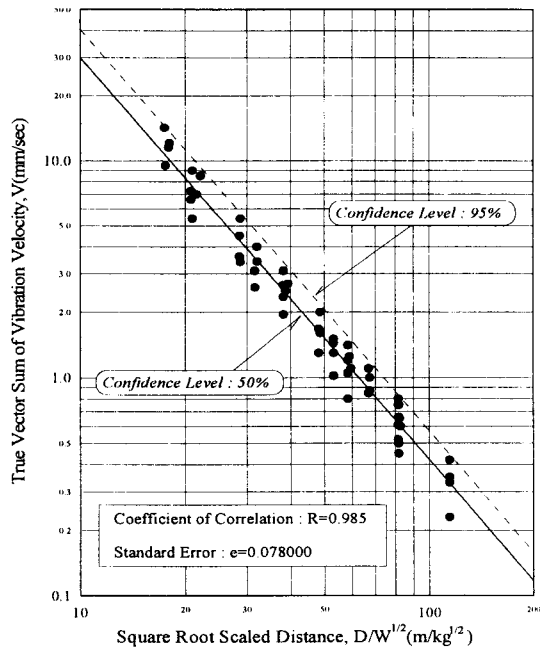


Fig. 2. Relationship between TVS of Vibration Velocity and SRSD (Front)

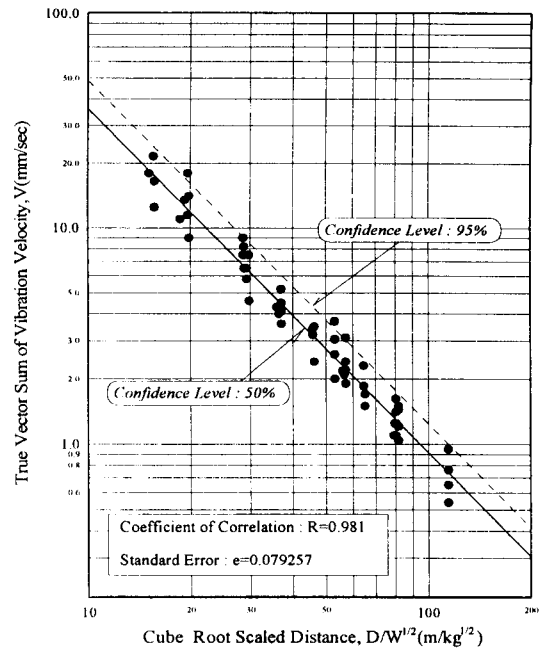


Fig. 4. Relationship between TVS of Vibration Velocity and SRSD (Back)

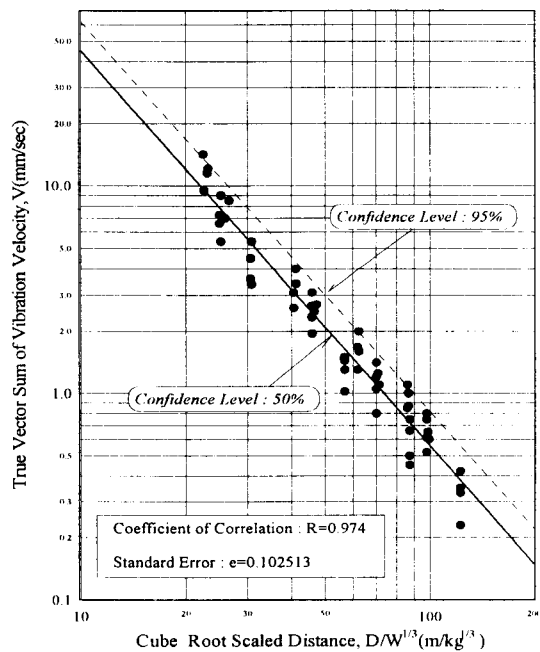


Fig. 3. Relationship between TVS of Vibration Velocity and CRSD (Front)

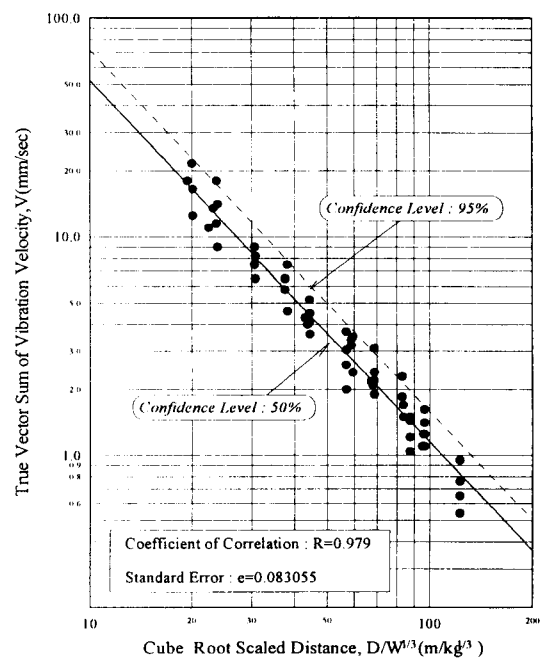


Fig. 5. Relationship between TVS of Vibration Velocity and CRSD (Back)

자승근과 삼승근 환산식 및 일반식의 상관계수는 각각 0.981 및 0.982이고 표준오차는 0.079267과 0.078071이다. 이들의 상관계수가 0.84이상으로 적합도가 충족되었다⁴⁾. Fig.4와 Fig.5는 자유면 후방의 지반진동속도와 환산거리와의 관계를 나타내고 있으며 실선은 평균값인 식(8), (10)을 점선은 95% 신뢰수준인 식(9), (11)을 각각 나타내고 있다. 상기식에서 D는 폭원과 계측점과의 거리, W는 지발당 장약량을 나타내고 있으며, V_{50} 과 V_{95} 는 자료의 평균식과 95%신뢰수준을 나타내는 추정식 임을 의미한다.

5 결과 및 고찰

5.1 추정식

자유면 전·후방 모두 상관계수가 0.84이상으로 적합도가 충족되고 있으며, 일반식에서 지발당장약량(W)의 지수가 양의 부호이고, 거리(D)의 지수가 음의 부호를 가지고 있으므로 시험발파계획과 시험발파 및 계측자료를 신뢰할 수가 있다. 잘못된 자료를 분석하게 되면 일반식의 지발당장약량과 거리의 지수가 동일한 부호를 가지게 된다. 즉 일정한 허용지반진동속도 하에서 동일한 부호를 가지는 경우 폭원과의 거리가 멀어질수록 지발당 장약량은 감소하게 되는 경우가 발생하게 된다. 이렇게 잘못된 자료를 이용하여도 자승근과 삼승근 환산식을 도출하는 데는 문제가 노출되지 않는다.

따라서 시험발파자료를 분석하여 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식을 반드시 도출하여야 하여 계측자료의 신뢰성을 확인해야 하며, 경우에 따라서는 일반식도 거리별 지발당 최대허용장약량을 산출하는데 이용되는 경우가 있다.

5.2 지반진동속도

지발당 장약량과 거리에 따른 지반진동속도

예측은 추정식 중 지반진동속도가 가장 높게 나타나는 식을 기준으로 하는 것이 안전에 유리하다. 그러므로 본 시험결과 지반진동속도가 가장 높게 예측되는 95%신뢰수준을 가지는 삼승근 환산식(5)와 (11)을 기준으로 지발당 장약량 0.25, 0.50, 1.00 및 1.25kg을 사용하는 경우에 대해 고찰하고자 한다.

Table 3은 폭원과의 거리와 지발당 장약량에 따른 자유면 전·후방의 지반진동속도를 나타내고 있으며, Fig.6은 이들의 경향을 나타내고 있다.

Fig.6에서 보는 바와 같이 지발당 장약량 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 및 1.25kg을 사용할 경우 자유면 전방은 폭원과의 거리 10m에서 27.729, 43.082, 55.748, 66.934 및 77.135mm/sec이고, 200m에서는 0.092, 0.142, 0.184, 0.221 및 0.255mm/sec인데 비하여 자유면 후방은 폭원과의 10m거리에서 33.436, 49.040, 60.174, 71.926 및 81.365mm/sec이고, 200m에서는 0.233, 0.342, 0.428, 0.501 및 0.567mm/sec이다.

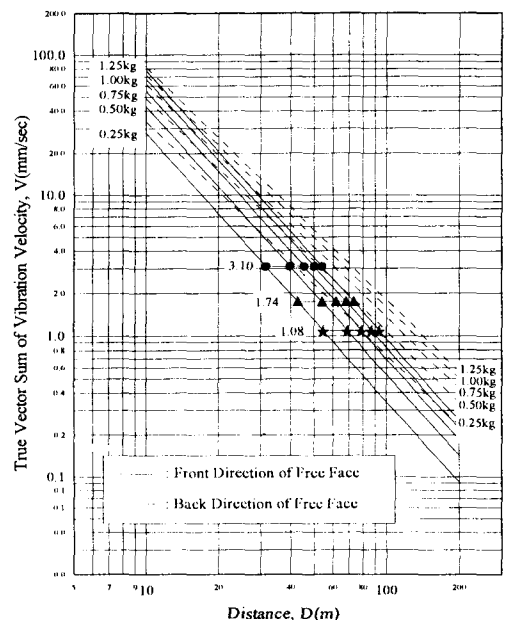


Fig. 6. Relationship between Distance and True Vector Sum of Vibration Velocity with Charge Weight per Delay

Table 3. Ground vibration velocity used cube root scaled equation

Distance D(m)	Max. allowable charge weight per delay, W(kg)									
	0.25		0.5		0.75		1.0		1.25	
	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back
10	27.729	33.436	43.082	49.040	55.748	61.355	66.934	71.926	77.135	81.365
20	7.394	10.597	11.488	15.543	55.748	19.446	17.848	22.797	20.568	25.788
30	3.412	5.411	5.302	7.936	14.865	9.930	8.237	11.640	9.493	13.168
40	1.972	3.359	3.063	4.926	6.861	6.163	4.759	7.225	5.484	8.1738
50	1.288	2.320	2.002	3.403	3.964	4.258	3.110	4.911	3.584	5.646
60	0.910	1.715	1.414	2.515	2.590	3.147	2.196	3.689	2.531	4.173
70	0.678	1.328	1.054	1.948	1.829	2.437	1.637	2.857	1.887	3.232
80	0.526	1.065	0.817	1.561	1.363	1.953	1.269	2.290	1.462	2.591
90	0.420	0.876	0.653	1.284	1.057	1.607	1.014	1.884	1.168	2.131
100	0.344	0.735	0.534	1.079	0.844	1.349	0.829	1.582	0.956	1.790
110	0.286	0.628	0.445	0.921	0.691	1.152	0.691	1.351	0.797	1.528
120	0.243	0.544	0.377	0.797	0.576	0.998	0.586	1.169	0.675	1.323
130	0.208	0.476	0.324	0.698	0.488	0.874	0.503	1.024	0.579	1.159
140	0.181	0.421	0.281	0.618	0.419	0.773	0.437	0.906	0.503	1.024
150	0.159	0.376	0.246	0.551	0.364	0.689	0.383	0.808	0.441	0.914
160	0.140	0.337	0.218	0.495	0.319	0.619	0.338	0.726	0.390	0.821
170	0.125	0.305	0.194	0.448	0.282	0.560	0.301	0.656	0.347	0.743
180	0.112	0.278	0.174	0.407	0.251	0.509	0.270	0.597	0.312	0.675
190	0.101	0.254	0.157	0.372	0.225	0.466	0.244	0.546	0.281	0.618
200	0.092	0.233	0.142	0.342	0.203	0.428	0.221	0.501	0.255	0.567

동일한 지발당 장약량과 동일한 거리에서 자유면 전방의 지반진동속도는 후방의 것보다 낮은 경향을 나타내고 있다.

Fig.6에 나타낸 바와 같이 서로 다른 지발당 장약량에서 자유면 후방의 지반진동속도가 5.0, 3.0 및 2.0mm/sec인 경우 전방의 지반진동속도는 각각 3.10, 1.74 및 1.08mm/sec이다.

자유면 후방의 지반진동속도(V_B)에 대한 전방의 지반진동속도(V_F)와의 비(V_R)를 다음과 같은 식(14)로 계산하여 Fig.7에 나타냈다.

Fig.7에서 보는 바와 같이 폭원과의 거리가 멀어질수록, 그리고 지발당 장약량이 적어질수록 지반진동속도의 비(V_R)가 감소되는 경향을

보인다.

$$V_R = V_F / V_B \quad (14)$$

즉 전방의 지반진동속도의 감소가 크게 나타나므로 폭원이 보안물건에 가까울수록 자유면 방향이 진동감소에 미치는 영향이 더 크게 됨을 알 수 있다.

지발당 장약량 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 및 1.25kg을 사용할 경우 폭원과 각각 약32, 40, 45, 50 및 54m 거리에서 자유면 후방의 지반진동속도가 5.0mm/sec가 되는데 반하여 전방의 지반진동속도는 그것의 약62%인 3.10 mm/sec

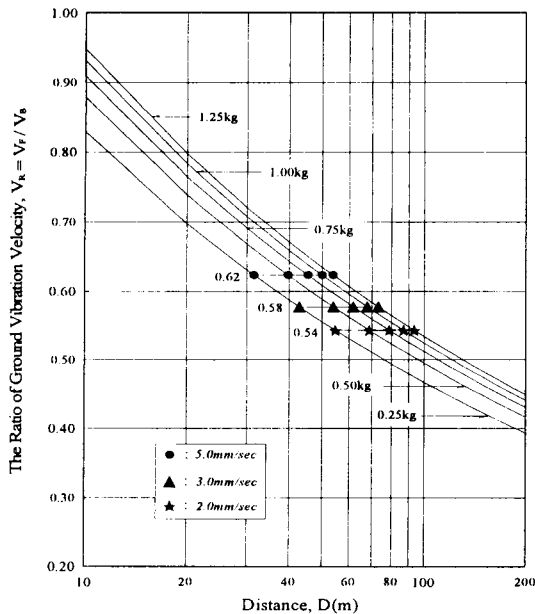


Fig. 7. Relationship between the Distance of Front and Back Direction and the Ratio of GVV with Charge Weight per Delay

가 된다. 그리고 폭원과 약43, 54, 62, 68 및 73m 거리에서 후방의 지반진동속도가 3.0mm/sec가 되는데 반하여 전방의 지반진동속도는 그것의 약58%인 1.74mm/sec가 되며, 폭원과 약54, 69, 79, 87 및 95m 거리에서 후방의 지반진동속도가 2.0mm/sec가 되는데 반하여 전방의 지반진동속도는 그것의 약 54%인 1.08mm/sec가 된다.

따라서 자유면 후방의 지반진동속도가 2.0, 3.0 및 5.0mm/sec가 되는 거리와 동일한 자유면 전방의 거리에서 지반진동속도가 각각 38, 42 및 46% 감소된 3.10, 1.74 및 1.08mm/sec이다.

5.3 지발당 장약량 및 가변거리

발파진동속도 추정식 중 95% 신뢰수준을 가지는 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식을 기준으로 허용지반진동속도 2.0, 3.0 및 5.0 mm/sec에 대해 거리별 지발당 최대허용장약량을

구하였다. 지발당 최대허용장약량이 자승근과 삼승근 환산식에 의해 동일해지는 거리를 VD1, 삼승근 환산식과 일반식에 의한 거리를 VD2, 자승근 환산식과 일반식에 의한 거리를 VD3라 하였다. 여기서 VD1, VD2 및 VD3는 가변거리를 의미한다.

(1) 자유면 전방

허용지반진동속도 2.0, 3.0 및 5.0mm/sec에서 VD1은 각각 97.16(지발당 장약량 3.664 kg), 79.51(3.801kg) 및 61.79m(3.984kg), VD2는 95.42(3.471kg), 78.21(3.617kg) 및 60.89m(3.812kg), VD3은 83.77(2.724kg), 69.30(2.887kg) 및 54.76m(3.129kg)이다.

가변거리 VD2 이내의 거리에서는 삼승근 환산식, 그 이상의 거리에서는 일반식을 기준으로 지발당 장약량을 사용해야 하며, 이들을 Table 4에 나타냈다.

(2) 자유면 후방

허용지반진동속도 2.0, 3.0 및 5.0 mm/sec에서 VD1은 각각 119.07(2.581kg), 95.16(2.743 kg) 및 71.71m(2.960kg), VD2는 121.97(2.775 kg), 97.24(2.927kg) 및 73.04m(3.127kg), VD3는 112.07(2.287kg), 90.11(2.460kg) 및 68.47m(2.698 kg)이다.

가변거리 VD1 이내의 거리에서는 삼승근 환산식, 그 이상의 거리에서는 자승근 환산식을 기준으로 지발당 장약량을 사용하여야 하며, 이들을 Table 4에 나타냈다.

Fig.8은 허용지반진동속도 2.0, 3.0 및 5.0 mm/sec에서 폭원과의 거리와 지발당 최대허용장약량을 나타내고 있는 것으로써 전반적으로 자유면 전방의 지발당 최대허용장약량이 후방의 것보다 많은 경향을 나타내고 있다.

자유면 전방은 가변거리 VD2, 후방은 VD1을 변곡점으로 거리에 따른 지발당 최대허용장

Table 4. Max. allowable charge weight per delay

Distance D(m)	Allowable ground vibration velocity, V(mm/sec)						Remark
	2.0		3.0		5.0		
	Front	Back	Front	Back	Front	Back	
10	0.004	0.002	0.008	0.003	0.017	0.008	
20	0.032	0.012	0.060	0.025	0.135	0.064	
30	0.108	0.041	0.204	0.086	0.456	0.217	
40	0.256	0.098	0.484	0.204	1.081	0.514	
50	0.499	0.191	0.945	0.398	2.111	1.003	
60	0.863	0.330	1.633	0.688	<u>3.648</u>	1.734	
70	1.370	0.524	<u>2.593</u>	1.092	4.942	<u>2.753</u>	
80	2.045	0.783	3.773	1.630	6.336	3.683	
90	<u>2.912</u>	1.115	4.698	<u>2.321</u>	7.890	4.662	
100	3.787	1.529	5.716	3.030	9.600	5.755	
110	4.523	<u>2.035</u>	6.825	3.666	11.463	6.964	
120	5.318	2.622	8.026	4.363	13.479	8.288	
130	6.172	3.077	9.315	5.120	15.645	9.727	
140	7.086	3.568	10.693	5.938	17.959	11.281	
150	8.057	4.096	12.159	6.817	20.421	12.950	
160	9.085	4.661	13.711	7.756	23.028	14.734	
170	10.171	5.262	15.349	8.756	25.779	16.633	
180	11.313	5.899	17.073	9.816	28.673	18.648	
190	12.511	6.572	18.880	10.937	31.710	20.777	
200	13.764	7.282	20.772	12.119	34.887	23.022	

약량이 변화하고 있음을 알 수 있다.

자유면 후방에 대한 전방의 지발당 최대허용장약량의 비(W_R)를 다음과 같은 식(15)를 이용하여 산출하였으며, 허용지반진동속도와 거리에 따른 지발당 최대허용장약량의 비를 Fig.9에 나타냈다.

$$W_R = W_F / W_B \quad (15)$$

여기서 W_F 와 W_B 는 각각 자유면 전방과 후방의 허용지반진동속도에 따른 지발당 최대허용장약량이다.

Fig.9에서 보는 바와 같이 폭원과의 거리가 멀어질수록, 그리고 허용지반진동속도가 높아질수록 자유면 전·후방의 지발당 최대허용장약량의 비가 감소하는 경향을 보이고 있다.

안전한 지발당 최대허용장약량에 영향을 미치는 자유면 전방의 가변거리(VD2)인 95.42, 78.21 및 60.89m까지는 일정한 값을 유지하다가 안전한 지발당 최대허용장약량에 영향을 미치는 자유면 후방의 가변거리(VD1)인 119.07, 95.16 및 71.71m까지는 급격히 감소하며, 그 후로는 감소율이 완화된 경향을 보인다. 이는 폭원과 보안물건과의 거리가 가까울수록, 그리고 허용지반진동속도가 낮을수록 지발당 최대허용장약량의 비(W_B)가 높아짐을 의미한다. 즉 허용지반진동속도를 2.0, 3.0 및 5.0mm/sec로 제어하는 경우 보안물건과 폭원과의 거리가 각각 95.42, 78.21 및 60.89m까지는 보안물건이 자유면 후방에 위치하는 경우의 지발당 최대허용장약량에 비해 전방에 위치하는 경우가 각각 2.61, 2.38 및 2.10배를 더 많이 사용할 수가 있다.

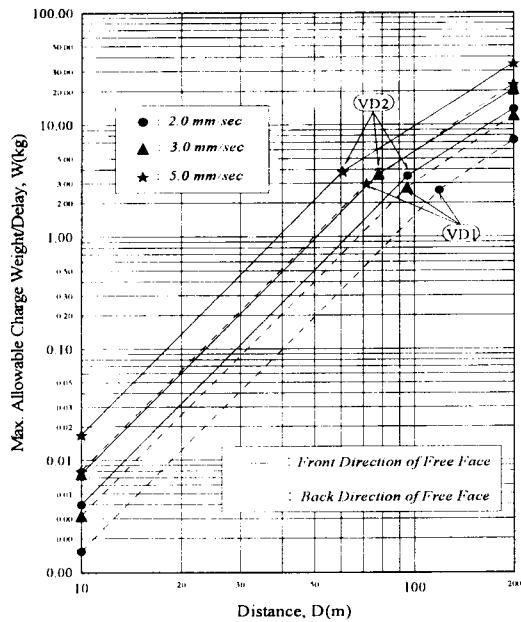


Fig. 8. Relationship between the Max. Allowable Charge Weight per Delay and the Distance of Front and Back Direction of Free Face with Vibration Velocity.

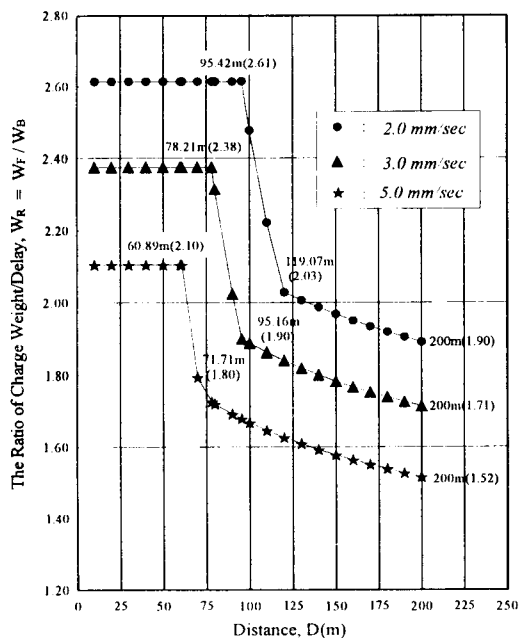


Fig. 9. Relationship between the Ratio of Charge Weight per Delay and the Distance of front and Back of Free Face with Vibration Velocity

그리고 보안물건이 폭원으로부터 200m 자유면 전방에 위치하는 경우의 지발당 최대허용장약량은 자유면 후방에 위치하는 경우에 비해 허용지반진동속도 5.0mm/sec에서는 최소1.52배, 3.0mm/sec에서는 1.71배, 2.0mm/sec에서는 1.90 배를 많이 사용할 수 있다.

Fig.10은 자유면 전·후방의 안전한 지발당 최대허용장약량에 영향을 미치는 가변거리와 허용지반진동속도와의 관계를 나타내고 있는 것으로서 허용지반진동속도 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0mm/sec에서 안전한 지발당 최대허용장약량에 영향을 미치는 자유면 전방의 가변거리는 각각 95.42, 78.21, 67.92 및 60.89m이고, 자유면 후방의 가변거리는 각각 119.07, 95.16, 81.14 및 71.71m 이다.

Fig.10에서 보는 바와 같이 허용지반진동속도가 증가함에 따라 가변거리의 감소하고, 동일한 허용지반진동속도에서 자유면 전방의 가변거리

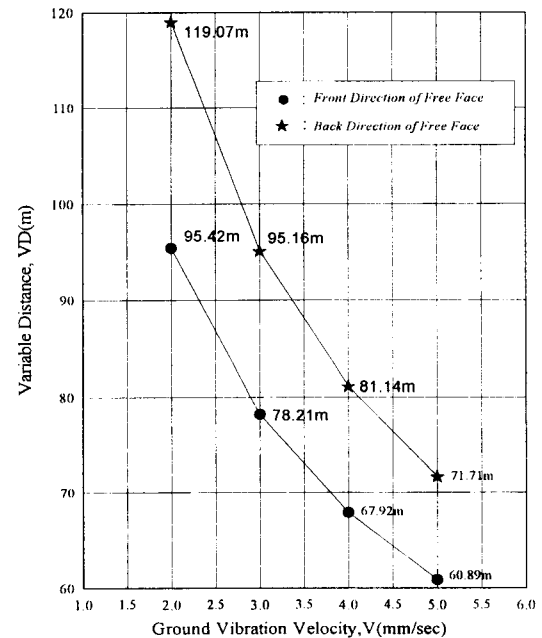


Fig. 10. Relationship between the Variable Distance and the Ground Vibration Velocity of Front and Back of Free Face

는 자유면 후방의 가변거리보다 작은 경향을 나타낸다. 즉 허용지반진동속도 2.0~5.0mm/sec의 범위에서 자유면 전방의 가변거리는 후방의 가변거리의 약80.1~84.9 % 범위이다.

따라서 동일한 허용지반진동속도에서 가변거리가 낮은 자유면 전방의 경우가 후방의 경우보다 동일한 폭원과의 거리에서 더 많은 지발당 장약량을 사용할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

일축압축강도가 약1,402~1,476kg/cm²인 현지 암반을 대상으로 계단식 시험발파를 실시하였다. 계단식 발파에서 자유면 전·후방의 지반에 전달되는 지반진동속도를 측정·분석하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 시험발파 계측자료를 분석함에 있어서 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식을 반드시 도출해야 한다.

2) 허용지반진동속도 2.0~5.0mm/sec의 범위에서 거리에 따른 안전한 지발당 최대허용장약량에 영향을 미치는 자유면 전방의 가변거리는 자유면 후방의 가변거리의 약80.1~84.9% 범위이다.

3) 동일한 허용지반진동속도에서 가변거리가 낮은 자유면 전방의 경우가 후방의 경우보다 동일한 폭원과의 거리에서 더 많은 지발당 장약량을 사용할 수 있다. 그리고 허용지반진동속도와 가변거리는 반비례 관계에 있다.

4) 폭원이 보안물건에 가까울수록 자유면 방향이 지반진동속도에 크게 영향을 미치게 된다.

5) 허용지반진동속도 2.0~5.0mm/sec의 범위

에서 자유면 전방의 지반진동속도는 자유면 후방의 지반진동속도에 비해 약46~38% 감소되는 경향을 나타낸다.

6) 허용지반진동속도가 2.0~5.0mm/sec의 범위일 때 자유면 전방 약200m이내에 보안물건이 위치하는 경우의 지발당 최대허용장약량은 자유면 후방에 위치하는 경우에 비해 최소 약1.52배 이상 더 사용할 수 있다.

7) 보안물건과 절취암반의 분포상태와 발파방향을 고려한 시험발파를 실시하여 자료를 분석하는 것이 바람직하며, 노천 암반 발파공사비 절감에도 큰 영향을 미치게 될 것으로 사료된다.

8) 보안물건과 자유면의 방향을 고려한 노천발파의 결과를 터널발파에 응용함으로써 지반진동에 의한 피해를 감소시키고, 굴진효과를 증대할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 기 경철, 김 일중, 2002, 산·학인을 위한 발파공학, 동화기술, pp. 244~248.
2. 건설 연구원, 건설공사 표준품셈, 2000, p.97
3. 기 경철, 김 일중, 2002, 산·학인을 위한 발파공학, 동화기술, p.118.
4. Michael F.R. & Gregory L.M. "Blasting Guidance Manual" Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 1987, p.87.