

지표면에서 뇌관과 폭약 폭발 소음에 관한 연구

기경철¹⁾, 김일중²⁾, 원연호³⁾, 김영근⁴⁾

A Study on Noise of Detonator and Explosive Initiation on Ground Surface

Kyoung-Chul Ki, Il-Jung Kim, Yeun-Ho Won, Young-Kun Kim

초 록. 암반발파에 사용하고 있는 전기식 뇌관과 비전기식 연결뇌관 및 번치 커넥터(Bunch connector), 점화구, 에멀전류 폭약이 지상에서 기폭 될 때 발생하는 소음을 비교 분석하였다. 에멀전류 폭약의 폭발소음과 화공품의 기폭소음에 대한 추정식을 도출하였다. 에멀전류 폭약의 폭발 소음 예측은 반대수 자승근 환산식, 번치 커넥터, 전기식 뇌관 및 비전기식 연결뇌관 및 점화구는 전대수식이 적합한 것으로 판단된다. 소음원으로부터 약20~300m거리에서의 소음은 점화구, 비전기식 연결뇌관, 전기식 뇌관 및 번치 커넥터 순으로 높았다. 소음원으로부터 약20~300m거리에서의 소음은 번치 커넥터의 기폭소음은 에멀전류 폭약 0.250kg의 폭발소음보다 약15.6~20.2dB(A) 낮고, 비전기식 연결뇌관 보다 약13.5~16.0dB(A) 높고, 전기식 뇌관 보다는 약6.5~7.5dB(A) 높게 됨을 알 수 있었다. 점화구는 약20m 거리에서 약70dB(A)이하 이었다. 에멀전류 폭약의 폭발과 번치 커넥터의 기폭소음에 미치는 주(主)소음원은 에멀전류 폭약의 약량과 번치 커넥터의 도폭선임을 확인하였다.

핵심어 : 소음, 전기식 뇌관, 비전기식 연결 뇌관, 번치 커넥터, 에멀전 폭약

1. 서 론

노천이나 터널발파에서 소음의 발생 요인 중의 하나인 암반표면에서 기폭되는 비전기식 연결뇌관이나 번치 커넥터, 이전 발파공의 기폭으로 인하여 다음 발파공이 열림으로서 대기 중에 노출된 상태에서의 폭약의 폭발 등을 들 수 있다.

실제 이들의 기폭으로 인해 발생하는 소음을 정량화함으로써 발파공해를 예측하는데 도움이 될 것으로 판단하여 전기식 뇌관과 비전기식 연결뇌관, 번치 커넥터, 에멀전류 폭약, 미진동파쇄기의 점화구를 대기중 지표면에서 각각 기폭하여 소음을 측정하여 분석하였다.

2. 시험 및 장치

2.1 시료제작

- 1) 한국산업인력공단
 - 2) 전북대학교 공업기술연구센터
 - 3) I&B기술사사무소
 - 4) 엔-토비기술사사무소
- 논문접수일 : 2003년 9월 25일

에멀전류 폭약(H사 제품)은 평균 폭속이 5700m/sec이고, 폭발열은 880 kcal/kg으로서 개당 10g, 20g 및 40g이 되게끔 제작하였다.

번치 커넥터는 일반적으로 터널발파에서 사용하는 평균 폭속 7000m/sec이고, 심약량이 5g/m인 도폭선이 연결된 상태이다.

전기식 뇌관과 비전기식 연결뇌관(H사 제품) 및 점화구는 일반적으로 현장에서 사용하는 뇌관이다.

2.2 기폭장치

에멀전류 폭약의 기폭은 전기뇌관(H사 제품인 LP 뇌관)을 사용하였고, 비전기식 연결뇌관과 번치 커넥터는 전기뇌관을 사용하여 시그널 튜브를 점화하였다. 전기뇌관과 점화구는 일반발파기를 사용하여 기폭하였다.

2.3 계측기 운용

계측기는 Canada InstanTel사 제품인 Blastmate-II와 Minimate를 사용하였다. 계측기는 폭원과 일직선상으로 일정 거리를 유지하여 배치하였으며, 계측위치의 레벨의 차이가 거의 없는 비교적 평탄한 장소에서 운용하였다.

2.4 기폭 및 계측

음의 지향계수(Q)가 2가 될 수 있는 충분한 공간이 확보된 장소에서 시험을 실시하였다.

모든 시험은 계측기 위치를 정하기 위해 예비시험을 실시한 후 본시험을 실시하였다.

점화구의 경우는 1회에 1개씩, 나머지 실험의 경우는 예비시험 후 1회에 순발과 400ms 및 800ms 시차를 두어 3단으로 실시하였다. 특히 비전기식 연결뇌관과 번치 커넥터는 전기뇌관으로 시차를 주었으며, 이들의 기폭소음에 영향을 미칠 수 있는 전기뇌관의 기폭소음을 억제하기 위해 흙과 모래 속에 깊게 묻었다. 그리고 번치 커넥터 도폭선의 길이는 변화시키지 않았다.

에멀전류 폭약의 경우 70개, 전기식 뇌관은 66개, 번치 커넥터는 49개, 비전기식 연결뇌관은 47개, 점화구는 40개의 계측자료를 각각 얻었으며, 이들을 각각 표1~표5에 나타냈다.

표1 에멀전류 폭약 폭발 소음

거리 (m)	약량 (g)	소 음 dB(A)	약량 (g)	소 음 dB(A)
15	10	94.4~98.4	20	98.0~100
20	10	90.2~94.2		
25	40	95.6~100		
40	10	85.0~90.2	20	88.0~93.8
	40	91.0~95.0		
50	10	82.8~86.8	20	96.2~91.2
60	40	88.6~92.6		
80	40	86.2~89.0		

표2 전기식 뇌관 기폭 소음

거리 (m)	소 음 dB(A)	거리 (m)	소 음 dB(A)
15	91.8~89.0	50	74.6~79.4
20	83.4~89.4	60	72.4~77.0
40	78.4~83.4	70	72.8~77.0

표3 번치 커넥터 기폭 소음

거리 (m)	소 음 dB(A)	거리 (m)	소 음 dB(A)
15	95.4~98.2	35	83.8~91.8
20	89.8~95.4	50	81.6~87.0

표4 비전기식 연결뇌관 기폭 소음

거리 (m)	소 음 dB(A)	거리 (m)	소 음 dB(A)
15	81.2~87.8	40	69.2~73.8
20	77.2~81.4	50	69.0~71.4

표5 점화구 기폭 소음

거리 (m)	소 음 dB(A)	거리 (m)	소 음 dB(A)
5~6.5	76.4~82.4	12.5~15	66.4~70.7
8.5~10	71.4~79.4	16.5	66.3~67.2

3. 계측결과 및 고찰

3.1 추정식 도출

계측자료를 회귀분석하여 소음을 예측하기 위한 최적곡선(best curve)을 찾아내기 위해 $Y=AX^n$ (전 대수)와 $Y=B+A\log X$ (반 대수)형태의 식으로 각각 도출하였다.

(1) 에멀전류 폭약

에멀전류 폭약은 폭약량과 계측거리를 변화시켜 시험을 실시하였으므로 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식의 형태로 도출한 결과 식은 다음과 같다.

전 대수함수

i) 자승근 환산식

$$dB(A)_{50} = 152.97(D/W1/2)-0.0934$$

$$dB(A)_{95} = 157.74(D/W1/2)-0.0934$$

ii) 삼승근 환산식

$$dB(A)_{50} = 140.78(D/W1/3)-0.0891$$

$$dB(A)_{95} = 146.17(D/W1/3)-0.0891$$

$$dB(A)_{95} = 121.05-24.13 \log(D)$$

상기 식들의 상관계수와 표준오차는 각각 0.967, 0.008422와 0.967, 1.589336이다.

iii) 일반식

$$dB(A)_{50} = 157.76(W)0.0550 (D)-0.0928$$

$$dB(A)_{95} = 162.52(W)0.0550 (D)-0.0928$$

상기의 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식의 상관계수와 표준오차는 각각 0.929, 0.007984와 0.892, 0.009777 및 0.934, 0.007728이다.

(3) 번치 커넥터

도폭선의 약량에 따른 소음도의 변화를 고찰하고자하는 것이 아니므로 도폭선의 길이를 변화시키지 않고 기폭한 소음을 분석하였다.

전대수 함수

$$dB(A)_{50} = 130.25(D)-0.1120$$

$$dB(A)_{95} = 134.61(D)-0.1120$$

반 대수함수

i) 자승근 환산식

$$dB(A)_{50} = 138.83-19.76 \log(D/W1/2)$$

$$dB(A)_{95} = 141.59-19.76 \log(D/W1/2)$$

반대수 함수

$$dB(A)_{50} = 123.38-23.19 \log(D)$$

$$dB(A)_{95} = 126.33-23.19 \log(D)$$

ii) 삼승근 환산식

$$dB(A)_{50} = 131.26-18.87 \log(D/W1/3)$$

$$dB(A)_{95} = 134.64-18.87 \log(D/W1/3)$$

상기 식들의 상관계수와 표준오차는 각각 0.936, 0.008527과 0.936, 1.758568이다.

iii) 일반식

$$dB(A)_{50}=141.49+11.52\log(W)-19.64 \log(D)$$

$$dB(A)_{95}=144.17+11.52\log(W)-19.64 \log(D)$$

(4) 비전기식 연결뇌관

비전기식 뇌관 역시 기폭약량이 변화하지 않고 거리만 변화시켰으므로 단일 식으로 도출하였다.

상기의 자승근과 삼승근 환산식 및 일반식의 상관계수와 표준오차는 각각 0.932, 1.650995와 0.896, 2.026186 및 0.936, 1.605450이다.

전 대수함수

$$dB(A)_{50} = 125.38(D)-0.14960$$

$$dB(A)_{95} = 129.47(D)-0.14960$$

(2) 전기식 뇌관

전기식 뇌관은 동일한 종류로서 기폭되는 침장약과 점폭약의 양이 동일하고 계측거리만 변화시켰으므로 단일 식으로 도출하였다.

반 대수함수

$$dB(A)_{50} = 114.74-26.51 \log(D)$$

$$dB(A)_{95} = 117.35-26.51 \log(D)$$

상기 식들의 상관계수와 표준오차는 각각 0.967, 0.008307과 0.964, 1.552627이다.

전 대수함수

$$dB(A)_{50} = 127.22(D)-0.1273$$

$$dB(A)_{95} = 131.41(D)-0.1273$$

(5) 점화구

점화구는 동일한 종류로서 기폭량이 동일하고 계측거리만 변화시켰으므로 단일 식으로 도출하였다

반 대수함수

$$dB(A)_{50} = 118.40-24.13 \log(D)$$

전 대수함수

$$B(A)50 = 103.30(D)-0.1498$$

$$B(A)95 = 107.55(D)-0.1498$$

반 대수함수

$$dB(A)50 = 98.85-25.53 \log(D)$$

$$dB(A)95 = 101.83-25.53 \log(D)$$

상기 식들의 상관계수와 표준오차는 각각 0.932, 0.010468과 0.932, 1.782301 이다.

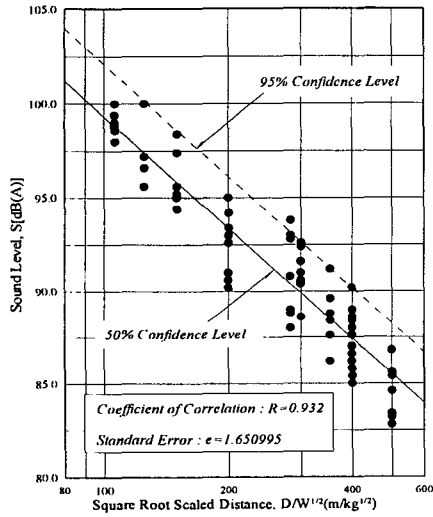


그림 1 에멀전류 폭약 폭발소음과 자승근 환산 거리와의 관계(반 대수)

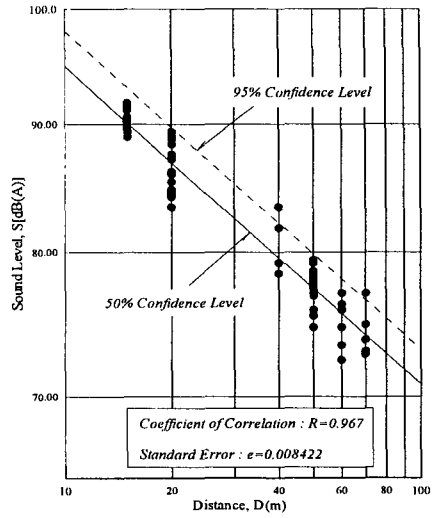


그림 2 전기식 뇌관 기폭소음과 거리와의 관계 (전 대수)

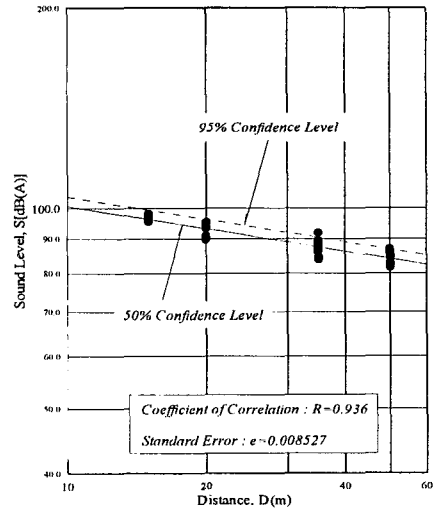


그림 3 번치 커넥터 기폭소음과 거리와의 관계 (전 대수)

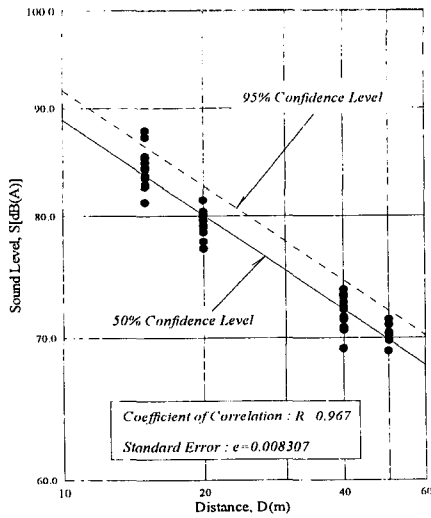


그림 4 비전기식 연결뇌관 기폭소음과 거리와의 관계(전 대수)

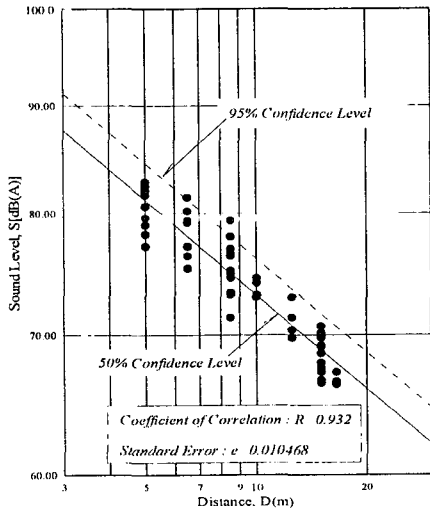


그림 5 점화구 기폭소음과 거리와의 관계 (전 대수)

3.2 고찰

(1) 예측식의 적합성

상기의 식들 중에서 신뢰수준 95%에 해당하는 식을 기준으로 에멀전류 폭약은 화약량과 거리 변

화, 그리고 나머지의 경우는 거리만의 변화에 따른 소음도를 예측하였다.

r_0 거리에서 음압레벨이 L_0 일 경우 r 거리에서의 음압레벨 L 은 다음과 같은 식을 이용하여 산출할 수 있다1).

$$L = L_0 - 20 \log(r/r_0) \tag{1}$$

1) 에멀전류 폭약과 전기뇌관

에멀전류 폭약의 소음 추정식들을 이용하여 폭약량 0.25, 0.375, 0.50, 0.75kg 및 1.00kg을 사용하는 경우 20~300m거리까지 20m간격으로 각각의 식들을 이용하여 소음도를 산출하여, 식(1)에 의한 거리별 소음감소 치에 대한 각종 식들에 의한 소음감소 치의 비는 반 대수함수 형태로 나타낸 식에서 자승근과 삼승근 및 일반식의 평균은 각각 약98.80과 94.35% 및 98.20%정도이고 전 대수함수 형태로 나타낸 식에서 자승근과 삼승근 및 일반식의 평균은 각각 약114.58과 104.15% 및 116.91% 정도로 나타났다.

전반적으로 거리의 변화에 따라 식(1)의 경향과 유사하였으나 반 대수함수 형태의 식 중 자승근 환산식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 폭약의 지표폭발에 의한 소음예측 또한 본 식을 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

전기식 뇌관의 경우에도 소음 추정식들을 이용하여 동일한 거리의 범위에서 소음도를 산출하였으며, 식(2)와 같은 합성소음 산출식을 이용하여 뇌관 기폭에 의한 소음이 폭약 폭발소음 증가에 기여하는 소음도를 산출한 결과 폭약으로부터 약 20m 이격된 거리에서 폭약 0.25, 0.375, 0.50, 0.75kg 및 1.0kg이 폭발하는 경우 각각 0.04, 0.03, 0.02 dB(A) 및 0.01dB(A)정도가 뇌관기폭 소음에 의해 증가되는 것으로 나타났다.

따라서 폭발하는 폭약량이 증가 할수록 뇌관 기폭소음은 전체소음에 큰 영향을 미치지 않으며, 폭약 폭발 주(·)소음원은 폭약 자체임을 알 수 있다.

$$L_n = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n N_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2)$$

여기서 L_n 은 합성소음도, n 은 소음원 종류 수, N_i 는 소음원 종류별 수, L_i 는 소음원별 소음도

2) 번치 커넥터와 비전기식 연결뇌관

번치 커넥터의 소음 추정식인 반 대수함수와 전 대수함수식을 이용하여 300m까지 거리별로 소음도를 산출하여, 식(1)에 의한 거리별 소음감소 치에 대한 산출한 소음감소 치의 비는 반 대수함수식은 115.77%, 전 대수 함수식은 약103.33% 정도로서 전 대수함수식이 더 적합한 것으로 나타났다.

식(2)와 같은 합성소음 산출식(2)을 이용하여 비 전기식 연결뇌관 기폭에 의한 소음이 번치 커넥터 기폭소음 증가에 기여하는 소음도를 산출한 결과 번치 커넥터로부터 약20~300m범위의 거리까지 약 0.11~0.20dB(A) 정도가 비전기식 연결뇌관의 기폭 소음에 의해 증가되는 것으로 나타났다.

따라서 번치 커넥터의 기폭에 의한 주(1)소음원은 도폭선 자체임을 알 수 있다.

3) 점화구

점화구 기폭소음의 신뢰수준 95% 추정식들을 이용하여 100m까지 20m간격으로 각각의 식들을 이용하여 소음도를 산출하여, 식(1)에 의한 거리별 소음감소 치에 대한 각종 식들에 의한 소음감소 치의 비는 반 대수와 전대수 함수 형태로 나타낸 식에서 평균은 각각 약127.64와 105.22% 정도로 나타났다으며, 전 대수함수 형태의 식이 거리의 변화에 따라 식(1)의 경향과 유사하므로 전 대수함수 형태의 식이 점화구의 지표기폭에 의한 소음 예측에 적합한 것으로 사료된다.

(2) 소음의 비교

실험한 재료들의 소음을 상호 비교하기 위해서 신뢰성이 높은 식들을 이용하였다.

1) 에멀전류 폭약과 번치 커넥터

그림 6에서 보는바와 같이 거리에 따른 에멀전류 폭약의 폭발소음 감소 기울기는 번치 커넥터보다 완만하다. 그리고 에멀전류 폭약폭발소음이 번치 커넥터의 기폭소음보다 전반적으로 높은 경향을 보이고 있으며, 에멀전류 폭약 0.250kg의 폭발소음은 폭약으로부터 약20~300m 범위의 동일한 거리에서 번치 커넥터의 기폭소음보다 약13.8~17.8dB(A) 높고, 0.375, 0.500, 0.750kg 및 1.000kg의 경우는 각각 약15.5~19.5, 16.7~20.78, 18.5~22.5 dB(A) 및 19.7~23.7dB(A) 만큼 높은 경향을 나타내고 있다.

에멀전류 폭약량 0.25~1.00kg 범위에서 번치 커넥터와 동일한 소음도를 나타내는 에멀전류 폭약으로부터 거리는 번치 커넥터로부터 거리의 약5~10배 정도로서 에멀전류 폭약량이 증가할수록 번치 커넥터로부터 거리도 증가하는 경향을 보였다.

2) 번치 커넥터와 전기식 뇌관

그림 6에서 보는바와 같이 거리에 따른 번치 커넥터의 기폭소음 감소 기울기는 전기식 뇌관보다 완만하다. 그리고 소음원으로부터 약20~300m 범위의 거리에서 전반적으로 번치 커넥터의 기폭소음이 전기식 뇌관의 기폭소음보다 약6.50~7.50dB(A) 정도 높게 되며 원거리로 갈수록 기폭소음의 차이가 증가하고 있다.

기폭소음이 75dB(A)가 되는 거리는 번치 커넥터의 경우 약183.5m, 전기식 뇌관의 경우는 약81.9m이다.

그러므로 번치 커넥터 기폭에 의한 소음이 전기식 뇌관 기폭에 의한 소음보다 동일한 거리에서 높게 됨을 알 수 있다.

3) 전기식 뇌관과 비전기식 연결뇌관

그림 6에서 보는바와 같이 거리에 따른 전기식 뇌관의 기폭소음 감소 기울기는 비전기식 연결뇌관보다 완만하다. 그리고 소음원으로부터 약20~300m 범위의 거리에서 전반적으로 전기식 뇌관의 기폭소음이 비전기식 연결뇌관의 기폭소음보다

약7.00~8.50dB(A)정도 높게 되며 원거리로 갈수록 기폭소음의 차이가 증가하고 있다.

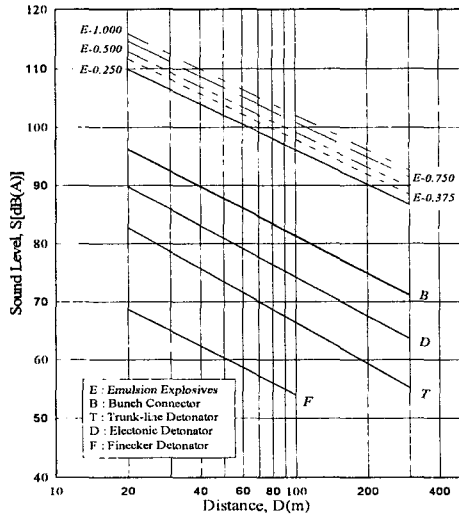


그림 6 실험재료의 폭발 및 기폭소음도와 거리와의 관계

4) 번치 커넥터와 비전기식 연결뇌관

그림 6에서 보는바와 같이 거리에 따른 번치 커넥터의 기폭소음 감소 기울기는 비전기식 연결뇌관보다 완만하다. 그리고 소음원으로부터 약20~300m 범위의 거리에서 전반적으로 번치 커넥터의 기폭소음이 비전기식 연결뇌관의 기폭소음보다 약 13.5~16.0dB(A) 정도 높게 되며, 75dB(A)가 되는 거리는 번치 커넥터의 경우 약183.5m, 비전기식 연결뇌관의 경우는 약38.5m이다.

그러므로 비전기식 뇌관을 사용한 터널발파에서 소음의 문제가 있는 현장의 경우 공의 지연시간을 주기 위하여 번치 커넥터를 사용하는 것 보다 비전기식 연결뇌관을 사용하는 편이 소음저감을 위해 유리할 것으로 판단된다.

5) 비전기식 연결뇌관과 점화구

그림 6에서 보는바와 같이 거리에 따른 비전기식 연결뇌관의 기폭소음 감소 기울기는 점화구보다 급하고, 거리에 따른 소음의 차이가 다른 시험 대상의 것에 비해 가장 적다.

소음원으로부터 약20~100m거리 범위에서 점화구의 소음은 비전기식 연결뇌관의 소음보다 약11~14dB(A)정도 낮은 값으로 산출되는 것은 비전기식 연결뇌관은 시그널 튜브에 충격을 가하기 위한 뇌관의 폭굉 소음이라면, 점화구는 미진동파쇄기 파우더에 불을 붙이기 위한 점화의 원리이기 때문 일 것이다.

4. 결 언

에멀전류 폭약, 번치 커넥터, 전기식 뇌관, 비전기식 연결뇌관 및 점화구가 지표면에서 폭발 및 기폭 되었을 경우 이들 상호간의 소음을 비교분석하기 위해 지향계수가 2인 지표면에서 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 에멀전류 폭약, 번치 커넥터, 전기식 뇌관, 비전기식 연결뇌관 및 점화구가 지표면에서 폭발 및 기폭 되었을 경우 그 약량과 거리에 따라 소음도를 예측할 수 있는 소음 추정식을 도출하였다.
- 2) 에멀전류 폭약의 폭발 소음 예측은 반 대수 자승근 환산식, 번치 커넥터, 전기식 뇌관, 비전기식 연결뇌관 및 점화구는 전 대수식이 적합한 것으로 판단된다.
- 3) 에멀전류 폭약의 폭발과 번치 커넥터의 기폭 소음에 미치는 주(1)소음 원은 폭약량과 번치 커넥터의 도폭선임을 확인하였다.
- 4) 소음원으로부터 동일한 거리에서의 화공품류의 소음도는 번치 커넥터, 전기뇌관, 비전기식 연결 뇌관 및 점화구 순으로 낮아짐을 확인하였다.
- 5) 번치 커넥터의 기폭소음은 비전기식 연결뇌관의 기폭소음보다 소음원에서부터 약20~300m 범위의 거리에서 약13.5~16.0dB(A) 정도 높

고, 전기식 뇌관의 기폭소음보다 약6.50~7.50dB(A) 정도 높으며, 에멀전류 폭약 0.25kg의 폭발소음 보다는 약15.6~20.2dB(A)정도 낮게 됨을 알 수 있었다.

- 6) 소음원에서부터 약20~300m 범위의 거리에서 전기식 뇌관의 기폭소음은 비전기식 연결뇌관 기폭소음보다 약7.0~8.5dB(A) 정도 높고, 에멀전류 폭약 0.250kg의 폭발 소음보다 약27.2~31.5dB(A) 낮게 됨을 알 수 있었다.
- 7) 터널발파에서 공외 지연시간을 주기 위한 비전기식 연결뇌관을 사용하는 것은 번치 커넥터를 사용하는 것보다 소음저감에 유리할 것으로 판단된다.
- 8) 노천발파에서 비전기식 연결뇌관의 기폭소음을 억제하지 않는 한 전기식 뇌관을 사용하는 것이 소음공해저감 측면에서 유리할 것으로 판단된다.
- 9) 소음원의 종류에 따라 소음발생의 크기와 전파특성이 다름을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 기경철, 김일중, "산·학인을 위한 발파공학" 동화기술, p.273.
- 2) 기경철, 김일중, "산·학인을 위한 발파공학" 동화기술, p.277