

터널 방음시설의 방음재질 종류에 따른 소음과 주파수의 크기 고찰

원연호¹⁾, 조영동²⁾, 정재형³⁾

A Study on the Magnitude of the Noise and Frequency According to Materials for Soundproof Facilities of Tunnel

Yeon-Ho Won, Young-Dong Cho and Jai-Hyung Jeong

Abstract : It is difficult to measure a blast noise in the vicinity of tunnel blasting works and the effect of lowering noise changes very highly with types of soundproof materials. So, the main interest of this study focuses on the materials of a soundproof facilities and the method of noise forecast in a near distance. 20 types of the soundproof facilities are established and blast noise is generated using firecracker in a Hume concrete pipe. To analyze the variations of magnitudes of noise and frequency with the soundproof materials and types, the noise and frequency is measured in a short distance next to blast area.

Key words : soundproof materials, noise, frequency

초 록 : 터널발파작업에 따른 발생소음의 크기는 소음 계측기의 특성상 근거리의 측정이 불가하며 방음 재질의 종류에 따라 소음저감 효과는 매우 다양한 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 터널발파작업에 따라 설치되는 방음시설의 방음재질과 종류에 따른 소음저감 효과와 근거리에서의 소음예측방법을 조사하였다. 방음재질과 종류에 의한 소음과 주파수의 크기를 비교 분석하기 위하여 콘크리트 홈관 내에서 화공품의 일종인 폭죽으로 소음을 발생시키고 약 20여 종류의 방음재질을 설치하여 근거리에서 소음과 주파수의 크기를 측정 고찰하였다.

핵심어 : 방음재질, 소음, 주파수

1. 서 론

발파에 의한 굴착작업은 경제성과 시공성이 매우 양호하여 대부분의 터널굴착이 발파공법으로 수행되어지나 필연적으로 수반되는 2차적인

재해(진동, 소음, 폭풍압, 비석 등)로 인하여 민원분쟁이 증가추세에 있는 실정이며, 이 중 발파소음은 직접적으로 인체를 감응시켜 정신적 고통을 유발시킨다.

발파소음은 공기진동에 의한 음파 가운데 가청범위(20~20000(Hz))의 주파수를 갖는 충격성 소음으로 폭약이 장약공 내에서 폭발하면 폭원으로 부터 3차원적으로 전파되어온 충격압에 의한 충격파는 거리에 따라 현저히 감소되나 발파에 의한 에너지의 0.5~20(%)가 탄성파의 형태로 균열대 외부의 공기매체를 타고 전달된다.

발파소음의 인체적 영향은 인체감응에 의한 정신적 고통과 생체적인 리듬에 따라 감각적인

1) 원앤비기술사사무소

2) 무진네오테크

3) 한국건설기술연구원

* Corresponding author : yhwon99@yahoo.co.kr

접수일 : 2007년 5월 20일

게재승인일 : 2007년 12월 19일

반응정도를 달리하고 있기 때문에 정량적으로 표현할 수가 없어, 그 동안 과거 십 수년의 저감 연구와 대책에도 불구하고 발파에 대한 민원 분쟁은 나날이 증가되어 공사정지, 발파 규모 축소 등의 규제를 받게 되면서, 원활한 작업수행에 상당한 지장을 초래하고 있는 실정이다.

그러나 발파소음에 대한 저감방법은 노천발파 시 발생하는 발파소음의 경감방법을 준용하여 발파작업에 따른 지발당장약량 감소, 완전전색, 표준장약, 자유면 증가 등의 방법과 발파작업 외 방법으로 비산의 영향 방지와 더불어 터널입구를 차단하고 있으나 터널발파라는 특수성을 감안하면 이들 방법들은 소극적이었다고 생각된다.

따라서 본 연구의 주된 방향은 터널발파작업에 따라 설치되는 방음시설의 방음재질과 종류에 따른 소음저감 효과와 근거리에서의 소음측정 방법이나, 본 연구에서는 기초자료 확보단계로서 방음재질과 종류에 의한 소음과 주파수의 크기를 비교 분석하기 위해 콘크리트 흡관 내에서 화공품의 일종인 폭죽으로 소음을 발생시키고 약 20여 종류의 방음재질을 설치하여 근거리에서 소음과 주파수의 크기를 측정 고찰하였다.

본 연구의 결론 도출을 위한 과정에서 소음원의 불규칙한 제곱, 기후적인 영향과 외부소음으로 인하여 다소의 오차가 된 자료가 포함되었으나 다음 연구준비의 기본적인 자료로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 발파소음과 주파수 분석에 대한 이론적 배경

2.1 발파소음의 생성원인 및 일반적 특성

발파소음은 공기 중에서 발생하는 파동이 발파원 근처에서는 충격파의 형태(폭풍압)를 가지며, 발파원으로 부터 일정한 거리(임계거리) 이상에서는 음파로 전달된다. 음압이 180dB 이하의 경우를 음파로 정의하며 발파 작업 시 초기 발생하는 충격파가 음파로 변화되는 거리까지를 임계거리로 표현한다. 폭약을 TNT로 사용했을 경우에 충격파에서 음파로 이행되는 임계거리와 폭약량과의 관계는 표 1과 같다.

표 1. 충격파로부터 음파로 이행되는 임계거리 (TNT 경우)

약 량(kg)	임계거리(m)
1	3.3
10	7.5
100	15.0
1000	33.0

일반적으로 발파 폭풍압은 넓은 범위의 주파수를 가지고 있으며, 0.1~200(Hz) 범위의 주파수가 중심이 된다. 이 범위 중 20Hz 이상의 발파폭압은 사람이 들을 수 있는 가청영역의 소음이 된다. 20Hz 이하의 저주파는 사람의 가청영역을 벗어나 사람이 들을 수는 없지만, 비교적 먼 거리까지 에너지의 손실없이 전파하는 특성이 있고, 가옥 등 구조물을 진동시켜 이차의 소음을 발생시킨다. 가청영역의 소음과 저주파 파동을 통틀어 발파폭압으로 표현하는데 엄격한 의미에서 가청영역의 소음과 저주파음을 구별하여 기술하기도 한다.

발파폭압의 생성원인은 다음과 같은 4가지 형태로 구분할 수 있다(기와 김, 2002).

- ① 발파지점에서 직접적인 암반의 변위로 인한 공기압력파 : 지반충격음 또는 발파면음, Air Pressure Pulse, APP
- ② 지반진동에 의해 공기로 전달되는 파 : 지반진동음, Rock Pressure Pulse, RPP
- ③ 파쇄된 암반의 틈을 통해서 나오는 가스의 분출 : 발파가스음, Gas Release Pulse, GRP
- ④ 불완전한 전색에 의해 전색물이 분출되면서 나오는 가스의 분출 : 발파공음, Stemming Release Pulse, SRP

일반적인 발파에서 발생하는 저주파음의 대부분은 공기 압력파(APP)에 의한 것이 대부분이다. 소규모 발파나 부적절하게 설계된 발파에서는 ③,④의 영향도 크게 나타나지만, 이것들은 적절한 발파설계에 의해 비교적 손쉽게 제어할 수 있다.

발파설계 요인으로서 발파소음에 영향을 미치는 요소는 화약량, 기폭방식, 전색정도, 자유면의 형상, 자유면의 절리 발달상태 등을 들 수 있고, 설계 외적인 요인으로는 기후(대기의 온

도분포, 풍향, 풍속 등) 및 지형과 숲, 벽, 건물 등에 의한 차폐성 등을 들 수 있다. 특히 온도 분포는 발파 소음의 전달경로를 왜곡시켜 과가 집중 또는 분산되도록 하는데 지표보다 높은 고도에서 온도가 상승하는 대기역전의 경우에는 파로가 지표 쪽으로 휘게 되고 소음은 지상에 집중된다.

발파유형은 자유면의 수에 따라 지중발파(1 자유면 발파)와 벤치(Bench)발파로 나눌 수 있고 공중에 따라서는 크게 노천발파와 터널발파로 구분할 수 있다.

2.2 발파소음의 전달특성

그림 1은 벤치높이가 높은 채탄발파 시 발생한 지반진동과 발파음을 시간에 따른 파형으로 나타낸 그림이다. 발파작업 시 발생하는 발파소음을 시간적으로 살펴보면 우선 지반진동음이 나타나고 이후 지반 충격음과 발파풍압이 나타남을 알 수 있다.

발파소음은 발파진동과 달리 지발당 장약량보다는 층리 및 절리, 암반내의 불연속면과 생성균열, 자유면수 등 암반의 물리적 상태와 전색 등의 시공상태가 더 결정적 영향인자로 작용하고, 특히 터널발파 소음은 터널구조 형태상 터널 내부에서 거의 손실없이 터널입구로 분출되는 특징이 있고 어느 정도 지향성(directivity)을 가지므로 터널입구의 주 방향에서 벗어날 경우 전달되는 발파소음은 주방향에 비해 상대적으로 낮은 수준을 보인다.

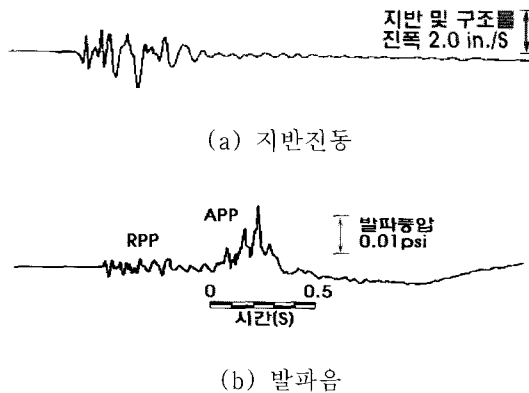


그림 1. 동일발파로 인한 지반진동과 발파음의 시간이력 특성.

그림 2는 발파소음을 건물의 내·외부에서 계측한 결과로 건물의 외부보다 내부에서의 소음이 더 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 건물의 진동에 의해 건물 내부에서 생성된 이차적 소음 때문인 것으로 추정된다(양형식, 1995).

그림 3은 동일작업 현장에서의 터널 발파소음과 개착구간 노천발파 소음의 이격거리별 소음도 변화에 대한 상호 비교를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 유사한 수준의 지발당 장약량임에도 불구하고 터널발파 소음이 노천발파 소음보다 훨씬 높은 소음레벨을 나타냄을 알 수 있다(양형식, 1995).

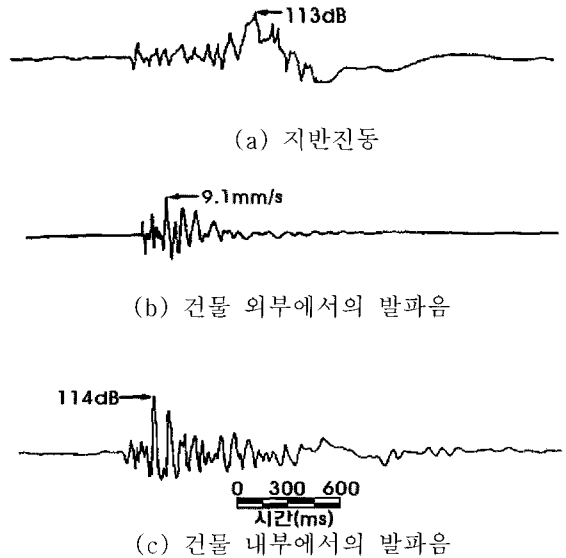


그림 2. 건물 내·외부에서의 발파소음.

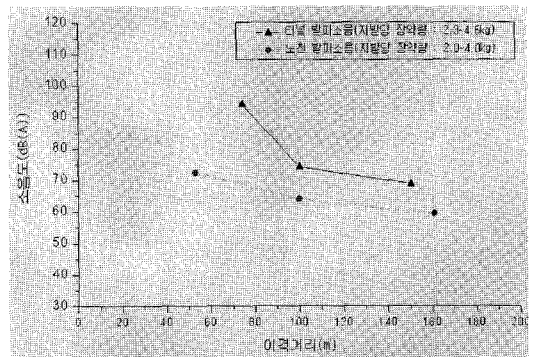


그림 3. 동일지역의 터널 및 노천발파 소음 계측사례.

2.3 주파수 분석

주파수는 소음·진동의 파동현상에서 단위시간 내에 똑같은 상태가 되풀이되는 횟수. 진동수라고도 하며 주파수는 주기의 역수이고 단위로는 Hz가 쓰인다.

주파수 분석은 소음의 감각적 평가뿐만 아니라 음원의 소음특성을 파악하여 방지대책에 이용하기 위해 사용된다. 우리가 일상적으로 경험하는 소음은 단일 주파수의 순음(pure tone)이 아니라 여러 개의 순음이 혼합된 복합음으로 존재하기 때문에 이 복합음을 성분 주파수별로 분석하는 것을 주파수 분석이라고 한다.

가시광선을 프리즘에 통과시키면 그 광선을 구성하고 있는 빛의 주파수 영역에 따라 적색부터 자색까지의 무지개 색으로 분광되듯, 소음도 주파수 분석기에 통과시키면 그 소음을 구성하고 있는 각 주파수 영역별 음압레벨로 분류된다.

이와 같은 성분 주파수별 음압레벨의 크기를 분석하여 X축에 주파수, Y축에 음압레벨의 크기를 표시한 것을 음향 스펙트럼(spectrum)이라고 한다. 주파수 분석기에는 전기적으로 어떤 주파수대역의 소음만을 통과시키는 필터가 내장되어 있는데, 그 대역의 상단 차단주파수를 f_u , 하단 차단주파수를 f_l 이라 표기한다. 이러한 필터에는 정폭형과 정비형이 있는데, 전자는 각 대역의 주파수 폭($f_u - f_l$)이 일정한 것으로 고주파음의 정밀분석에 이용되며, 후자는 소음의

주파수 분석에 가장 흔히 사용되는 방식으로 각 대역마다의 f_u/f_l 의 비가 일정한 형식의 것을 말하며, 이를 옥타브필터(octave filter)라고 하며 다음 식과 같이 표시한다.

$$f_u = 2^n \cdot f_l \quad (Hz) \quad (1)$$

여기서 n 이 1/1인 경우를 옥타브, 1/3인 경우를 1/3옥타브필터라 한다. 이러한 필터에서 각 대역(band)의 중심주파수를 f_c 라 할 때,

$$\log f_c = 1/2(\log f_l + \log f_u) = \log(f_l f_u)^{1/2} \quad (2)$$

로 정의되므로, f_c 는 다음 식과 같이 된다.

$$f_c = \sqrt{f_l f_u} = \sqrt{2} \cdot f_l \quad (Hz) : \text{옥타브 필터}$$

$$f_c = \sqrt[3]{f_l f_u} = \sqrt[3]{2} \cdot f_l \quad (Hz) : 1/3 \text{ 옥타브 필터}$$

옥타브필터의 하단 및 상단 차단주파수와 중심주파수의 예를 들면 표 2와 같다.

한편, 각 대역의 대역폭(bandwidth) $bw = f_u - f_l$ 와 %대역폭(%bw)은 식(3), 식(4)와 같이 계산되며, 동일한 소음을 옥타브 및 1/3옥타브필터로 분석한 예는 그림 4와 같다.

① 옥타브필터의 경우

$$bw = f_c [2^{(1/2)} - 2^{(-1/2)}] \quad (Hz),$$

$$\%bw = (bw/f_c) \times 100\% \quad (3)$$

표 2. 옥타브필터 각 대역의 하단 및 상단 차단주파수와 중심주파수

하단 차단주파수(Hz)	22.4	45	90	180	355	710	1,400	2,800	5,600
상단 차단주파수(Hz)	45	90	180	355	710	1,400	2,800	5,600	11,200
중심주파수(Hz)	31.5	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000

② 1/3 옥타브필터의 경우

$$bw = f_c [2^{(1/6)} - 2^{(-1/6)}] \text{ (Hz)},$$

$$\%bw = (bw/f_c) \times 100\% \quad (4)$$

위 식으로부터 옥타브 및 1/3옥타브 필터의 %대역폭을 구하면 약 70% 및 23%가 된다. 그리고 이외에 필터의 조합방식에 따라 직렬 및 실시간 병렬분석기로 구분된다.

그림 4의 옥타브 및 1/3옥타브 대역별 음압 레벨을 각각 dB 합산하면 그 값은 서로 같으며, 소음계의 청감보정회로를 통하지 않고 측정할 때에 계기에 나타나는 레벨은 바로 이 값이다 (정일록, 1999).

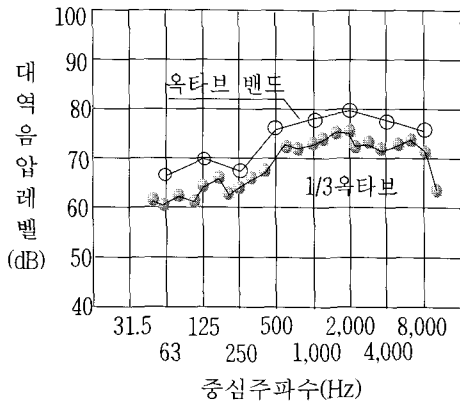


그림 4. 옥타브대역 음압레벨.

3. 실험조건 및 계측

3.1 실험조건

본 연구는 현장에서 제작 설치한 실험기구와 터널에서 방음시설제로 주로 사용된 방음재질 약20여종, 환경부 승인규격의 소음측정기, 완구용 폭죽 등을 이용하였다.

실험기구

본 연구는 터널과 같은 유사조건에서 방음시

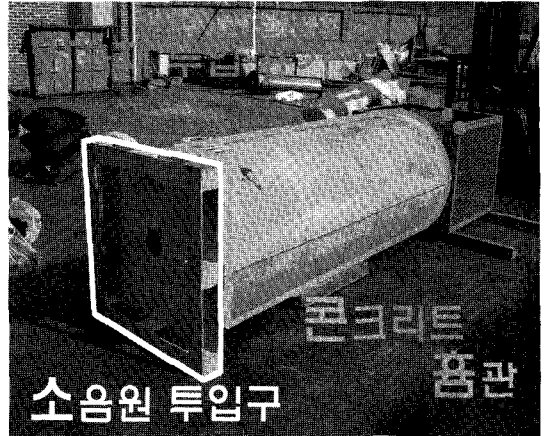


그림 5. 실험기구.

설에 따른 소음의 크기를 측정하기 위해 그림 5와 같이 콘크리트 흡관(T 60, φ800, L 3000)을 이용하여 한쪽 면은 소음원을 제공할 수 있도록 합판으로 막고 다른 한쪽은 방음재질을 넣을 수 있는 용기로 설치하였다.

소음제공용 폭죽

본 실험의 소음원 제공을 위해 사용된 폭죽은 화공품의 일종으로서 일반 이벤트행사에 주로 사용되며 일반 완구점에서 구입이 가능한 안전한 제품이다(그림 6). 일반적으로 소음의 크기는 밀폐되지 않은 공간(약 7m 정도)에서 약 90dB 정도 발생된다.

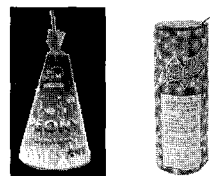


그림 6. 사용 폭죽.

방음재질의 종류와 규격

실험용 방음재질은 대부분 터널 현장에서 소음저감 목적으로 방음시설에 사용되고 있는 방음재질들을 선정하였으며 실험에 이용된 방음재질의 종류와 규격은 약 20여종으로 표 3, 그림 7과 같다.

표 3. 방음재의 종류와 규격

sample No.	방음재질 및 규격(두께)	sample No.	방음재질 및 규격(두께)
sample 1	흡판 개방 시	sample13	부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+인조솜(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)
sample 2	스펀지(20cm)	sample14	부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)
sample 3	스펀지(40cm)	sample15	벗짚(35cm)
sample 4	스펀지(60cm)	sample16	왕겨(40cm)
sample 5	스펀지(80cm)	sample17	고무판(12mm)
sample 6	스펀지(100cm)	sample18	톱밥(30cm)
sample 7	인조솜(20cm)	sample19	천막(1겹)
sample 8	인조솜(40cm)	sample20	천막(2겹)
sample 9	스펀지(20cm)+인조솜(20cm)+스펀지(20cm)+인조솜(20cm)	sample21	모래(25cm)
sample10	부직포(0.3cm, 1장)	sample22	부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)+인조솜(20cm)
sample11	부직포(0.3cm, 2장)	sample23	부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)
sample12	부직포(1장)+스펀지(20cm)+부직포(1장)+스펀지(20cm)		

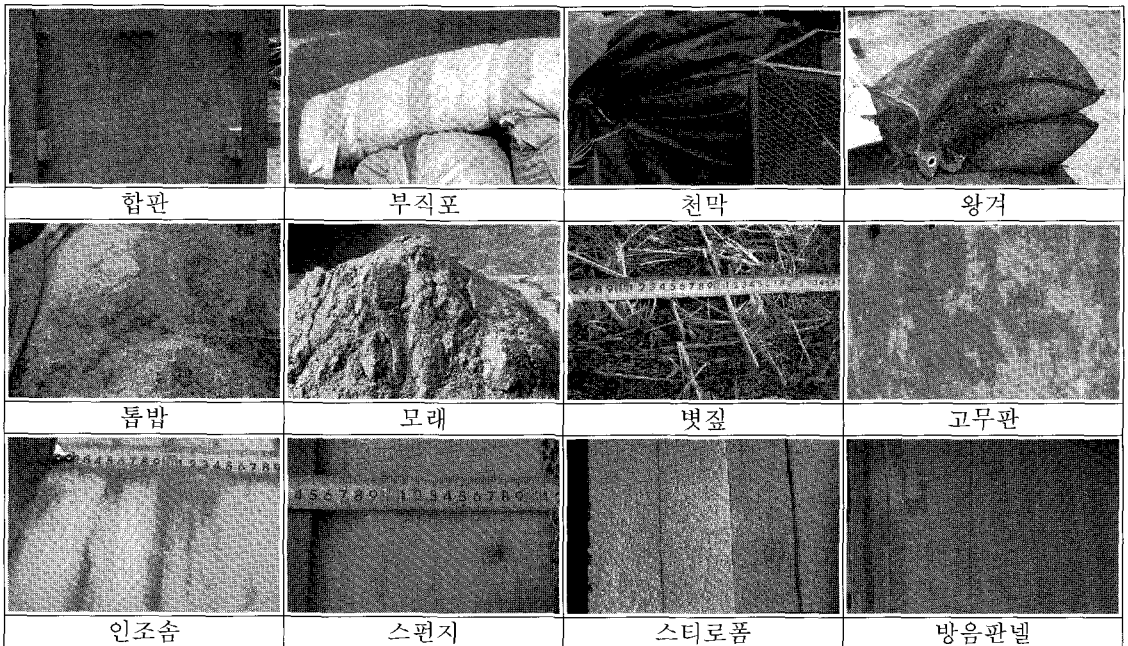


그림 7. 방음재질의 종류.

소음측정 장비

본 실험계측에 이용된 소음측정기는 실시간 적분형 소음전용측정기 SC-310(환경부 형식승인번호 : NESM-74)로서 휴대가 간편한 정밀급 적분형 소음계 기능과 주파수 분석기의 기능을 함께 갖추고 있으며, 120dB의 넓은 동적범위를 갖추고 있다. LEQ(등가소음), LMAX(최대소음), LE(폭로소음), LX(통계레벨), Lpeak(피크소음)을 동시에 측정하며, 측정된 각각의 값들은 A보정, C보정 및 Fast, Slow, Impulse에 해당하는 값으로 동시에 저장 및 편집이 가능하다. 특히, 등가소음 등 모든 측정값에 대한 곡형곡선 및 수치를 동시에 표시할 수 있으며, 측정된 자료를 실시간으로 컴퓨터에서 볼 수 있으며 저장 및 프린터로 출력이 가능하다. 소음측정기의 모습이 그림 8에 나와 있다.

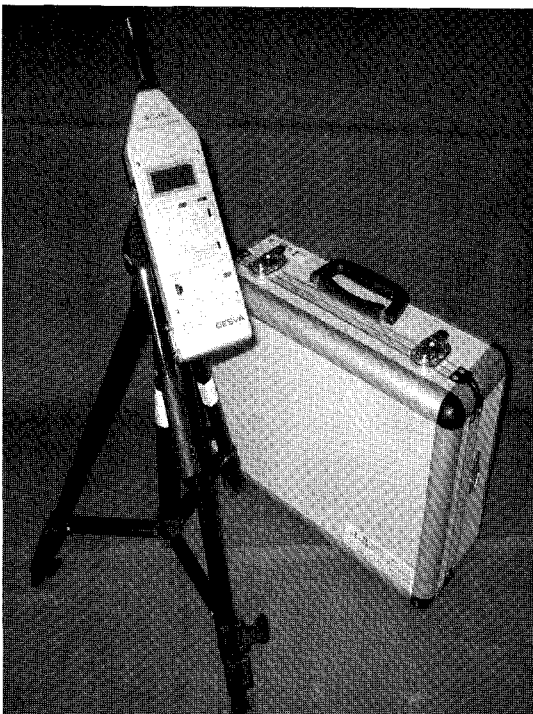


그림 8. 소음전용측정기(SC-310).

3.2 계측방법과 내용

계측방법

본 연구는 터널과 같은 유사조건에서 방음시

설에 따른 소음의 크기를 측정하기 위해 그림 9와 같이 콘크리트 홉관(T 60, ψ 800, L 3000) 내에 꽃불화약류를 이용하여 소음을 발생시키고 계측 방향 쪽에서는 각각의 방음재를 설치하여 발생된 소음과 주파수의 크기를 측정하였다. 소음계의 측정위치는 소음제공원의 소음크기를 고려하여 7m, 11m의 근거리에서 계측을 실시하였다.

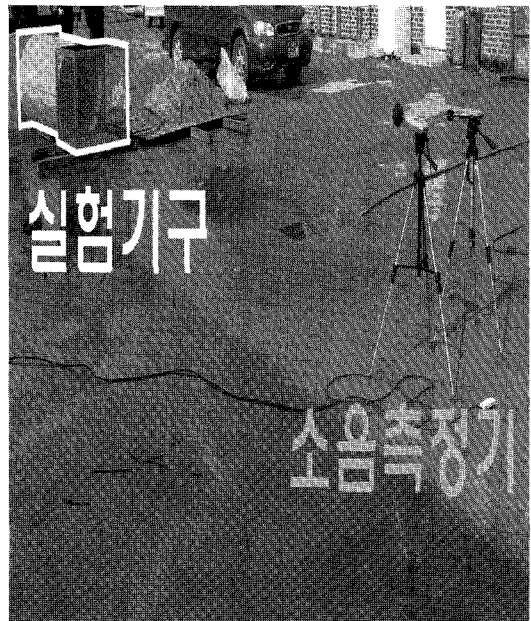


그림 9. 계측방법.

계측내용

본 연구 수행에 따른 계측은 폭죽소음에 의한 방음재질의 소음 감쇠효과를 검토하기 위해 소음전용계측기를 이용하여 방음재질별 LAFmax에 의한 음압레벨 측정과 방음재질별 주파수의 범위를 측정하였다.

4. 계측결과와 분석

4.1 방음재질별 LAFmax(최대 A특성 음압 레벨)에 의한 음압 측정결과

폭죽에 의한 소음을 방음재질별로 측정거리 7.0m, 11.0m의 거리에서 소음계의 주파수 보정 특성 A(Fast 특성)를 통해서 측정한 음압레벨은 표 4, 그림 10과 같다.

표 4. 방음재질별 LAFmax에 의한 음압레벨 측정결과

sample No.	Point 1 (7.0m지점)		Point 2 (11.0m지점)	
	측정 LAFmax	sample1과 비교시 감쇠치	측정 LAFmax	sample1과 비교시 감쇠치
sample 1	105.1	0.00	99.70	0.00
sample 2	94.50	-10.60	89.80	-9.90
sample 3	87.60	-17.50	79.80	-19.90
sample 4	81.10	-24.00	79.50	-20.20
sample 5	80.90	-24.20	79.40	-20.30
sample 6	78.10	-27.00	77.40	-22.30
sample 7	88.00	-17.10	82.40	-17.30
sample 8	82.90	-22.20	81.00	-18.70
sample 9	80.80	-24.30	78.60	-21.10
sample 10	101.6	-3.50	94.40	-5.30
sample 11	92.80	-12.30	86.70	-13.00
sample 12	88.80	-16.30	85.20	-14.50
sample 13	80.20	-24.90	78.10	-21.60
sample 14	89.40	-15.70	87.70	-12.00
sample 15	90.80	-14.30	88.20	-11.50
sample 16	80.00	-25.10	75.30	-24.40
sample 17	78.10	-27.00	76.20	-23.50
sample 18	84.80	-20.30	83.00	-16.70
sample 19	98.60	-6.50	95.40	-4.30
sample 20	94.70	-10.40	92.50	-7.20
sample 21	86.50	-18.60	84.40	-15.30
sample 22	76.40	-28.70	75.20	-24.50
sample 23	78.60	-26.50	77.20	-22.50

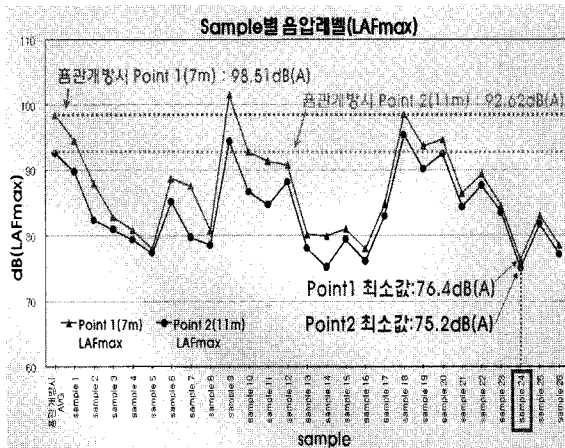


그림 10. 방음재질별 LAFmax에 의한 음압레벨.

음압레벨의 최소값은 방음재질 sample No. 22인 경우로 나타났으며, point 1(7.0m) 지점에서 76.4dB(A), point 2 (11.0m) 지점에서 75.2dB(A)을 나타냈다. 따라서 개방된 상태에서의 소음과 비교하면 방음재질 sample No. 22는 point 1(7.0m)지점에서 -28.7dB(A), point 2(11.0m) 지점에서 -24.5dB(A)로 가장 양호한 감쇠도를 나타내었다.

4.2 방음재질별 주파수 대역 음압레벨

폭죽에 의해 발생된 소음을 측정거리 7.0m, 11.0m의 거리에서 소음계의 측정음압레벨 주파수 범위를 가청영역의 전주파수 범위(10Hz~20kHz)로 하여 측정주파수 영역을 1/3 octave band로 측정한 결과가 그림 11, 12에 표시되어 있다. 그림을 보면 1.6kHz의 주파수 대역에서 가장 큰 음압레벨이 나타남을 알 수 있다.

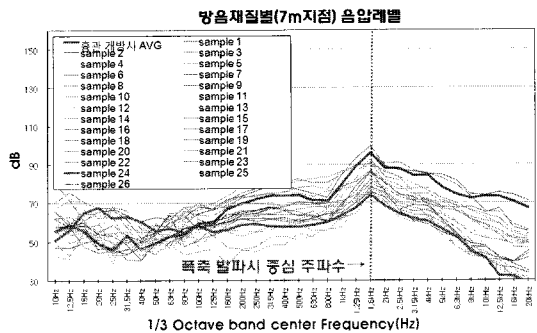


그림 11. 폭죽소음에 의한 방음재질의 주파수 대역별 음압(7.0m).

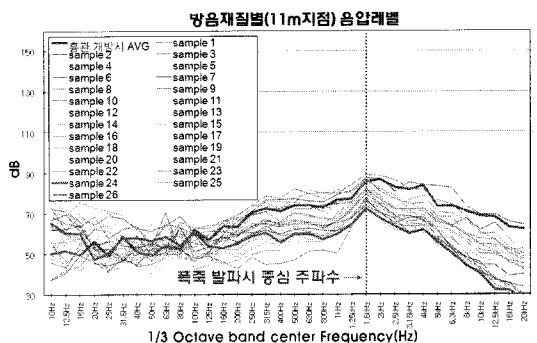


그림 12. 폭죽소음에 의한 방음재질의 주파수 대역별 음압(11.0m).

4.3 방음재질별 주주파수 대역(1.6KHz)에서의 최저 값 음압레벨 분석

방음재질별 주주파수 대역인 1.6KHz에서의 음압레벨 최저값은 표 5, 그림 13과 같이 측정

표 5. 주주파수 대역(1.6kHz)에서의 방음재질별 음압레벨

sample No.	Point 1(7m지점)		Point 2(11m지점)	
	측정 음압	sample1과 비교시 감쇠치	측정 음압	sample1과 비교시 감쇠치
sample 1	102.60	0.00	92.80	0.00
sample 2	92.80	-9.80	87.60	-5.20
sample 3	86.20	-16.40	77.20	-15.60
sample 4	78.80	-23.80	77.70	-15.10
sample 5	78.10	-24.50	76.70	-16.10
sample 6	74.70	-27.90	74.80	-18.00
sample 7	86.00	-16.60	79.80	-13.00
sample 8	80.00	-22.60	75.80	-17.00
sample 9	78.00	-24.60	76.10	-16.70
sample 10	99.70	-2.90	87.60	-5.20
sample 11	91.40	-11.20	82.40	-10.40
sample 12	86.70	-15.90	82.10	-10.70
sample 13	77.20	-25.40	74.50	-18.30
sample 14	86.40	-16.20	85.60	-7.20
sample 15	89.40	-13.20	87.20	-5.60
sample 16	77.00	-25.60	71.70	-21.10
sample 17	75.80	-26.80	75.30	-17.50
sample 18	82.80	-19.80	80.80	-12.00
sample 19	95.80	-6.80	89.40	-3.40
sample 20	90.60	-12.00	87.30	-5.50
sample 21	84.70	-17.90	82.50	-10.30
sample 22	74.10	-28.50	72.50	-20.30
sample 23	75.70	-26.90	73.80	-19.00

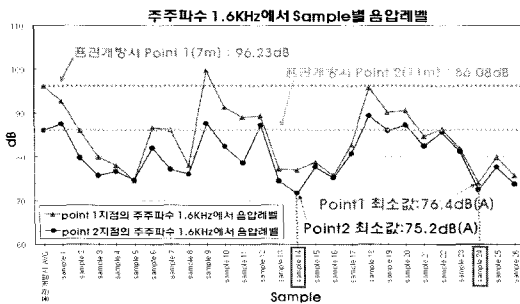


그림 13. 주주파수 대역(1.6KHz)에서의 방음재질별 음압레벨.

거리 7.0m에서는 방음재질 sample No. 16이 71.7dB(A), 11.0m 지점에서는 방음재질 sample No. 22가 74.1dB(A)로 가장 작은 음압레벨 수준을 나타내었다.

4.4 단일 방음재질별 LAFmax 측정결과에 의한 음압레벨

단일 방음재질별에 따른 LAFmax에 의한 소음측정결과, 폭죽 소음에 대한 감쇠가 가장 양호한 방음재질은 측정거리 7.0m에서는 sample No. 6가 78.10dB(A)로 가장 양호하게 나타났으며, 11.0m 지점에서는 sample No. 16이 75.3dB(A)로 가장 양호한 감쇠도를 나타내었다 (표 6, 7 참조).

표 6. 단일 방음재질별 LAFmax에 의한 음압레벨(7.0m지점)

sample No.	감쇠순위	방음재질	Point 1	
			측정 LAFmax	sample1과 비교시 감쇠치
sample 6	1	스펀지(100cm)	78.10	-27.00
sample 17	2	고무판(12mm)	78.10	-27.00
sample 16	3	왕겨(40cm)	80.00	-25.10
sample 5	4	스펀지(80cm)	80.90	-24.20
sample 4	5	스펀지(60cm)	81.10	-24.00
sample 8	6	인조숨(40cm)	82.90	-22.20
sample 18	7	툽밥(30cm)	84.80	-20.30
sample 21	8	모래(25cm)	86.50	-18.60
sample 3	9	스펀지(40cm)	87.60	-17.50
sample 7	10	인조숨(20cm)	88.00	-17.10
sample 15	11	벧짚(35cm)	90.80	-14.30
sample 11	12	부직포(2장)	92.80	-12.30
sample 21	13	스펀지(20cm)	94.50	-10.60
sample 20	14	천막(2겹)	94.70	-10.40
sample 19	15	천막(1겹)	98.60	-6.50
sample 10	16	부직포(1장)	101.60	-3.50
sample 1	-	흡관개방시	105.10	0.00

표 7. 단일 방음재질별 LAFmax에 의한 음압레벨(11.0m지점)

sample No.	감쇠순위	방음재질	Point 2	
			측정 LAFmax	sample1과 비교시 감쇠치
sample 16	1	왕겨(40cm)	75.30	-24.40
sample 17	2	고무판(12mm)	76.20	-23.50
sample 6	3	스편지(100cm)	77.40	-22.30
sample 5	4	스편지(80cm)	79.40	-20.30
sample 4	5	스편지(60cm)	79.50	-20.20
sample 3	6	스편지(40cm)	79.80	-19.90
sample 8	7	인조습(40cm)	81.00	-18.70
sample 7	8	인조습(20cm)	82.40	-17.30
sample 18	9	툽밥(30cm)	83.00	-16.70
sample 21	10	모래(25cm)	84.40	-15.30
sample 11	11	부직포(2장)	86.70	-13.00
sample 15	12	벚짚(35cm)	88.20	-11.50
sample 2	13	스편지(20cm)	89.80	-9.90
sample 20	14	천막(2겹)	92.50	-7.20
sample 10	15	부직포(1장)	94.40	-5.30
sample 19	16	천막(1겹)	95.40	-4.30
sample 1	-	흡판개방시	99.70	0.00

5. 결론

본 연구는 터널발파의 방음시설에 주로 사용된 방음재질들을 이용하여 소음과 주파수의 크기를 측정 검토하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 각 현장마다 현장조건에 따라 설치하는 방음시설 등에는 차이는 있겠으나 터널발파작업에 따른 소음저감을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

1) 방음재질별 LAFmax에 의한 음압측정결과,

방음재질 sample No. 22(부직포1장+스편지20cm+부직포1장+스편지20cm+부직포1장+스편지20cm+인조습20cm)가 개방소음 대비 24.5~28.7(dB(A))의 감쇠도를 나타내었다.

2) 폭죽에 의해 발생한 소음을 동일 위치(7.0m, 11.0m)에서 측정결과, 주주파수 대역은 1.6kHz에서 가장 큰 음압레벨을 나타내었다.

3) 주주파수 대역인 1.6KHz에서의 방음재질별 음압레벨 측정에 의한 최저 값은 측정거리 7.0m에서는 방음재질 sample No. 16(왕겨 40cm)이 71.7dB(A), 11.0m 지점에서는 방음재질 sample No. 22(부직포1장+스편지20cm+부직포1장+스편지20cm+부직포1장+스편지20cm+인조습20cm)가 74.1dB(A)로 가장 작은 음압레벨 수준을 나타내었다.

4) 단일 방음재질별에 의한 LAFmax에 의한 소음측정결과, 폭죽 소음에 대한 감쇠가 가장 양호한 방음재질은 측정거리 7.0m에서는 sample No. 6(스편지)가 78.10dB(A)로 가장 양호하게 나타났으며, 11.0m 지점에서는 sample No. 16(왕겨)가 75.3dB(A)로 가장 양호한 감쇠도를 나타내었다.

5) 본 실험의 데이터 분석결과, 소음원의 불규칙한 제곱, 기후적인 영향(바람소리), 외부소음, 실험기구와 방음재질의 밀착상태 등으로 인하여 다소의 오차가 포함되었다. 따라서 다음 연구에서는 상기사항을 고려하여 소음원은 폭약량이 일정한 뇌관, 청명한 기후, 외부 발생소음이 없는 실험조건, 방음재질의 밀착상태를 균일하게 적용하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기경철, 김일중, 2002, 산·학인을 위한 발파공학, 동화기술, 서울, pp. 253.
2. 양형식, 1995, 발파진동학, 구미서관, 서울, pp. 117.
3. 정일록, 1999, 소음·진동학, 신광출판사, 서울, pp. 46-47.



원연호

원앤비 기술사사무소 대표

전화 : 031)487-1271

E-mail : yhwon99@yahoo.co.kr



조영동

(주)무진네오테크 대표

전화 : 02)2108-1999

E-mail : moojin@empal.com



정재형

한국건설기술연구원

지반연구부 선임연구원

전화 : 031)910-0378

E-mail : jjhcivil@kict.re.kr
