화약·발파, 대한화약발파공학회
제25권 제1호, 2007년 6월, pp. 1~14

EXPLOSIVES & BLASTING, Vol. 25, No. 1 (2007) pp. 1~14
J. of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering

터널발파작업에 따른 방음시설의 설치시기와 방법에 대한 고찰

원연호[1)*], 손영복[2)], 정재형[3)]

A Study on the Installation Time and Method of Soundproofing Facilities According to Tunnel Blasting Work

Yeon-Ho Won, Young-Bok Son and Jai-Hyung Jeong

Abstract : A blasting noise generated by blasting work, which is a kind of shock-noise, influences the human body. A civil appeal due to blasting noise causes work discontinuance and downsizing of a blasting scale. Most of soundproof facilities for reducing a blasting noise is installed at each working spot by itself and the degree of a noise reduction is very low. The aim of this study is to recommend a technology on noise reduction considering the method and material of soundproof facilities. As the first study step to acquire basic data, investigations on the installation time, installation method, and material of the soundproof facilities have been done at about 20 tunnel work spots such as railroad tunnel, road tunnel, tunnel for electric power.

Key words : blasting noise, shock-noise, soundproof facilities

초 록 : 발파작업에 따라 필연적으로 발생되는 발파소음은 충격성소음으로 인체에 영향을 미친다. 이로 인한 민원 발생은 공사 중지, 발파규모의 축소 등을 유발시킨다. 발파소음저감을 위한 방음시설은 대부분 민원의 정도에 따라 설치시기나 설치방법 등이 각 현장마다 자체적으로 이루어지고 있으나 소음 저감도는 매우 낮은 실정이다. 본 연구의 최종적인 목표는 방음시설의 방법과 재질에 따른 소음저감 기술연구이다. 1단계 기초자료 확보를 위한 연구단계로서 철도, 도로, 전력구 등의 약 20여개의 터널 현장을 대상으로 방음시설의 설치시기와 설치방법, 재질에 대한 조사를 수행하였다.

핵심어 : 발파소음, 충격성소음, 방음시설

1. 서 론

발파를 통한 암반 굴착작업은 폭약의 폭발 시 발생하는 충격압과 가스압을 이용하여 암석을 제거하게 된다. 즉, 폭약이 장약공 내에서 폭발하면 수만에서 수십만 기압에 달하는 강력한 충격압(또는 폭굉압)과 연소된 폭약에 의한 가스압 그리고 약 3000℃ 이상의 고온이 발생한다. 이 때, 충격압과 고온에 의해 발파공에서 수 mm에서 수십 mm이내에 인접한 암반은 녹거나 잘게 파쇄되어 파쇄대를 형성하고, 연속되는 가스압과 충격파의 전달로 인해 파쇄대 외부의 암반에는 균열이 발생 전파되어 균열대를 형성하게 된다. 이렇게, 폭원으로 부터 3차원적으로 전파되어온 충격압에 의한 충격파는 거리에 따라 현저히 감소되어 발파에 의한 에너지의 0.5~20(%)가 탄성파의 형태로 균열대 외부의 지반속으로 전파되면서 지면에서는 진폭과 주기를 갖는 진동으로 나타나는데 이를 발파진동이라 하며, 공기매체를 타고 전달되는 것을 소음이라고 한다.

일반적으로 발파공해는 발파작업을 실시할 때 발생하는 2차적 재해(진동, 소음, 폭풍압, 비석 등)

1) 원앤비 기술사사무소 대표
2) 원앤비 기술사사무소 차장
3) 한국건설기술연구원 선임연구원
* Corresponding author : yhwon99@yahoo.co.kr
접수일 : 2006년 11월 22일
게재승인일 : 2007년 6월 8일

진동파가 구조물·인체에 대하여 미치는 영향이 문제로 제기되는 것이며, 발파소음은 공기의 진동에 의한 음파 가운데 가청범위(20~20000(Hz))의 주파수를 갖는 충격성 소음이 인체 감응에 의해 영향이 제기되는 것으로, 과거 십수년간의 연구와 대책에도 불구하고, 발파공해의 90% 이상이 발파진동과 소음으로 나타나고 있다. 이것은 발파진동과 소음의 문제가 구조물 등에 대한 물적 피해로서 논해지는 것보다 주민 등에 대한 정신적 고통을 중심으로 한 문제에 의존하고 있기 때문이다.

최근에는 소음·진동으로 인한 민원이나 물적 피해로 인해 공사정지, 발파 규모 축소 등의 규제를 받게 되면서, 원활한 작업수행에 상당한 지장을 초래하고 있는 바, 발파공법을 적용할 경우는 발파 영향권 내의 구조물 및 인체에 피해가 없도록 발파진동 및 소음의 크기를 사전에 예측하여 허용수준 이내로 발파에 의한 저감대책을 수립하고, 매회 발파 시마다 계측을 실시하여 그 측정결과 데이터를 분석함으로써 허용 수준이 초과하지 않도록 발파방법을 선택적으로 적용하여 지속적인 관리가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 도로터널, 철도터널 전력구터널 등의 NATM 터널현장을 대상으로 발파작업에 따른 소음저감을 위해 설치된 방음시설의 설치시기와 방법, 설계사항, 그리고 방음벽의 종류·재질에 대한 결과를 고찰하였다.

2. 발파소음의 이론적 배경

2.1 발파소음의 생성원인 및 일반적 특성

공기 중에서 발생하는 파동이 발파원 근처에서는 충격파의 형태(폭풍압)를 가지며, 발파원으로부터 일정한 거리(임계거리) 이상에서는 음파로 전달된다. 음압이 180dB 이하의 경우를 음파로 정의하며 발파 작업시 초기 발생되는 충격파가 음파로 변화되는 거리까지를 임계거리로 표현한다. 폭약을 TNT로 사용했을 경우에 충격파에서 음파로 이행되는 임계거리와 폭약량과의 관계는 표 1과 같다(한국토지공사, 1993).

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 발파풍압은 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 발파풍압으로 표현하는데 엄격한 의미에서 가청영역의 소음과 저주파음을 구별하여 기술하기도 한다.

발파풍압의 생성원인은 다음과 같은 4가지가 있다.

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 발생되는 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 온도분포, 풍

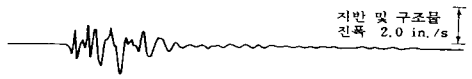
향, 풍속 등) 및 지형과 숲, 벽, 건물 등에 의한 차폐성 등을 들 수 있다. 특히 온도분포는 발파소음의 전달경로를 왜곡시켜 파가 집중 또는 분산되도록 하는데 지표보다 높은 고도에서 온도가 상승하는 대기역전의 경우에는 파로가 지표 쪽으로 휘게 되고 소음은 지상에 집중된다.

발파유형은 자유면의 수에 따라 지중발파(1자유면 발파)와 벤치발파로 나눌 수 있고 공종에 따라서는 크게 노천발파와 터널발파로 구분할 수 있다.

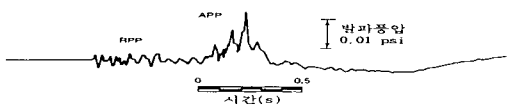
2.2 발파소음의 전달특성

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 주방향에서 벗어날 경우 전달되는 발파소음은 주방향에 비해 상대적으로 낮은 수준을 보인다.



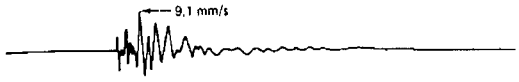
(a) 지반진동



(b) 발파음

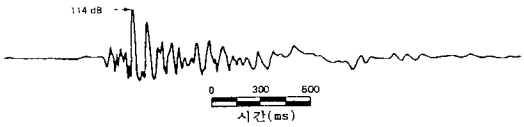
그림 1. 동일발파로 인한 지반진동과 발파음의 시간이력

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.



(a) 지반진동

(b) 건물 외부에서의 발파음



(c) 건물 내부에서의 발파음

그림 2. 건물 내·외부에서의 발파소음.

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.

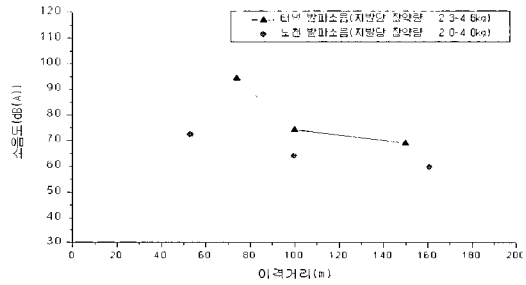


그림 3. 동일지역의 터널 및 노천발파 소음 계측 사례.

2.3 인체와 구조물에 미치는 영향과 허용한계

소음은 사람에게 직접 또는 간접적으로 여러 가지 영향을 준다. 시끄러운 직장에서 일하는 사람이 난청이 되는 것은 가장 직접적인 영향이다. 이 경우 처음에는 일시적으로 귀가 멀어지지만 시끄러운 장소로부터 멀어지면 자연히 회복된다. 그러나 충분히 회복되지 않은 채 다시 소음의 영향을 받게 되면 영원히 회복되지 않은 채 난청이 될 수 있다. 말하자면 직업성 난청에 해당한다. 이와 같은 정도는 아니더라도 소음 때문에 대화나 텔레비젼 소리를 잘 들을 수 없다거나 소음이 커서 시끄러운 느낌을 느낀다는 것 역시 직접적인 영향이라고 말 할 수 있다. 표 2에는 소음레벨의 정도와 인간이 느끼는 정도를 표시하였다(양형식, 1995).

일반적으로 발파진동보다 발파풍압이 구조물에 미치는 영향은 크지 않다. 그러나 구조물보다 감수성이 예민한 인체의 경우에는 구조물에 영향을 미치지 않는 음압수준에서도 불쾌감을 느낄 수 있으며, 심한 경우에는 고막손상, 청력의 장애 등을 초래하기도 한다

발파풍압의 영향은 구조물의 경우 창문에 가장 먼저 나타난다. 일본통상성에 의해 실시된 연구결과에 따르면 창문 유리가 파손되기 시작하는 발파풍압은 0.02kg/cm^{2}이며, 약 160dB에 해당한다. 다른 연구결과에서는 이 보다 낮은 140dB의 음압수준에서 35,000개의 유리창 중에 239개가 깨진 경우를 보여주고 있다(Dowding, 1996)

인체에 대한 발파풍압의 영향을 고려하면 음압의 허용치는 더욱 제한되어야 한다. 일본에서의 연구결과에 의하면 120dB이면 사람들이 고통을 받기 시작해서 150dB에서 고막이 손상된다고 하였으며, Dupont사에서 제안한 인체에 영향을 미치지 않는 음압수준은 115dB정도라고 하였다. 표 3에는 발파풍압에 따른 구조물과 인체의 반응, 그리고 미 광무국 등에서 제안한 허용기준치가 표시되어 있다(김재극, 1999). 일반적으로 발파현장에서 사용되고 있는 발파풍압의 기준은 115dB이며, 미국의 Dupont사에서 제시한 기준으로 볼 때 인체에 영향을 미치지 않는 음압수준이다. 이는 발파풍압으로 인해 접시나 창문이 흔들리기 시작하는 값으로서 이를 초과할 경우 주민들의 불평이 시작된다고 할 수 있다. 따라서 115dB 기준은 주민들이 불평을 호소하지 않는 상한 값으로서 매우 엄격한 기준이라고 할 수 있다(김재극, 1999).

표 2. 소음레벨과 인간이 느끼는 정도

소음레벨(dB)	소음의 느낌	예(例)
130	귀에 통증을 느낀다.	
120		제관, 못 박는 작업
110		터널안의 기차의 열려진 창, 1m 거리에서의 착암기 작업 소리
100	귀를 막고 싶어진다.	전철통과시, 지하철의 역 통과시
90	옆 사람과의 대화가 불가능하다.	시끄러운 광장
80	거의 소리를 지르지 않으면 대화를 할 수 없다.	기차가 고가철도를 지날 때(차내)
75		(준 농림지역에서 주간의 공사장 소음 한계기준)
70	의식적으로 크게 이야기 한다.	복잡한 거리, 보통의 기계공장
60	소란스럽기는 하나 대화를 할 수 있다.	바쁜 사무실 내부
50	웅성거리는 소리가 귀에서 떠나지 않는다.	사무실, 조용한 보행자 집단 내부
40	조용하지만 소리의 개방감이 없다.	귀를 기울이고 있는 청중, 일상적 회화
30	조용하게 가라앉은 느낌	방송용 스튜디오 내부, 조용한 밤
20	적막한 느낌	
10		2m 떨어진 곳에서의 속삭임
0		방음실에서의 최소 가청음

표 3. 음압 수준에 따른 인체 및 구조물의 반응

dB	음압(lb/in^2)		dB	음압(lb/in^2)	
180	3	구조물 손상	110	9.5×10^{-4}	
170	0.95	대부분의 유리창 깨짐	70	9.5×10^{-6}	
150	0.095	일부분 유리창 깨짐			일상적인 대화
140	0.030	피해한계-미 광무국 허용 한계치	60	3×10^{-6}	
130	9.5×10^{-3}		40	3×10^{-7}	병실
120	3×10^{-3}	미 광무국 안전기준-고통한계, 불평한계 (접시나 창문이 흔들림)	20	3×10^{-8}	속삭임

2.4 발파소음의 법적 규제기준

1990년 8월 1일 환경법에서 '소음·진동규제법'이 분리되어 제정된 이후, 공장·건설공사장·도로·철도 등으로부터 발생하는 소음 및 진동은 '생활소음 및 생활진동'으로 일괄 규제를 받게 되었다(1997년 10월 22일 개정). 그 이후 여러 차례 개정 후 2004년 1월 15일 다시 개정되었고, 발파소음은 지속시간이 극히 짧은 발파소음의 특성에 비추어 볼 때 연속소음인 공사장의 규제기준보다 +10dB 완화된 규제기준을 적용하였다. 이러한 개정은 소음과 진동이 구조물보다는 인체에 미치는 영향에 더욱 중점을 두고자 하는 것으로 해석된다.

그리고 최근 국민들의 '참살이(Well-Being)' 의식 확대와 정온한 생활환경에 대한 욕구 증대를 반영하여 2005년 12월 31일 공휴일에 한하여 생활소음기준을 -5dB(A)강화 하였다. 소음·진동규제법에 의한 생활소음 규제기준은 표 4와 같다.

표 4. 생활소음규제기준(제29조의2제3항 관련 별표의2-개정:2005년12월31일)

대 상 지 역	시간별 대상소음		조석 (5-8,18-22)	주간 (8-18)	심야 (22-5)
주거지역,녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 휴양지구,자연환경보전지역,기타 지역안에 소재한 학교 · 병원 · 공공도서관	확성기에 의한 소음	옥외설치	70dB(A)이하	80dB(A)이하	60dB(A)이하
		옥내에서 옥외로 방사 되는경우	50dB(A)이하	55dB(A)이하	45dB(A)이하
	공장 및 사업장의 소음		50dB(A)이하	55dB(A)이하	45dB(A)이하
	공사장의 소음		65dB(A)이하	70dB(A)이하	55dB(A)이하
기타지역	확성기에 의한 소음	옥외설치	70dB(A)이하	80dB(A)이하	60dB(A)이하
		옥내에서 옥외로 방사 되는 경우	60dB(A)이하	65dB(A)이하	55dB(A)이하
	공장 및 사업장의 소음		60dB(A)이하	65dB(A)이하	55dB(A)이하
	공사장의 소음		70dB(A)이하	75dB(A)이하	55dB(A)이하

※비고

1~5. 생략

6. 발파소음의 경우 주간에 한하여 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.

7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에 한하여 -5dB를 규제기준치에 보정한다.

가. 주거지역

나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관 및 독서진흥법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역

3. 터널발파작업에 따른 방음시설의 현장 시공사례 고찰

본 연구관련 현장 방음시설의 시공사례 고찰은 표 5와 같이 도로터널, 철도터널, 기타터널(전력구, 통신구, 지하철) 등을 대상으로 하였으며, NATM공법에 의해 시공되는 현장을 대상으로 하였다.

고찰내용은 발파작업과 방음시설 설치에 따른 적용굴착패턴, 암종, 굴착방법, 방음벽의 설치시기, 방법, 설계사항, 그리고 방음벽의 종류·재질에 대한 내용을 고찰하였다.

표 5. 대상현장

구 분	개소	비 고
도로터널	18	
철도터널	7	
기타터널	3	전력구, 지하철, 통신구
계	28	

3.1 방음시설 관련 현장 시공사례 고찰

방음시설과 발파작업에 따른 적용 굴착패턴

방음시설과 발파작업 따라 가장 많이 적용되는 굴착패턴은 TYPE-Ⅳ~Ⅵ패턴(3개 패턴)으로 암반의 강도와는 무관하며 대부분 갱구설치 구간으로 갱구부의 초기응력에 따른 터널의 자립도를 위해 비교적 낮은 보강패턴이 적용되었다. TYPE-Ⅱ가 적용되는 도로터널의 경우는 발파공해로 인해 발파공법의 적용이 불가하여 타 공법(기계굴착 등) 적용 후, 발파공법을 적용한 것으로 나타났다. 방음시설 설치에 따른 최초 적용 굴착패턴은 TYPE-Ⅳ~Ⅵ까지 3종류의 패턴이 가장 많이 적용되며 갱구 지보간격은 0.8~1.0(m) 인 것으로 나타났다(표 6).

표 6. 방음시설과 발파작업에 따른 적용 굴착패턴

장소 / 패턴	도로 터널	철도 터널	기타 터널
TYPE-Ⅱ	2	-	-
TYPE-Ⅲ	-	-	-
TYPE-Ⅳ	7	2	1
TYPE-Ⅴ	3	4	1
TYPE-Ⅵ	6	-	1

방음시설의 설치시기와 굴착방법

방음시설의 설치시기는 대부분 민원발생 여부와 발파시점에 맞추어 이루어지며, 민원발생의 우려가 없는 지역에서는 방음시설을 설치하지 않으나 갱구로부터 설치되는 이격거리는 기타터널(통신구, 전력구, 지하철 등)을 제외하면 갱구 형성과 자립도를 위해 3~5지보(2.4~5.0(m))는 브레이커에 의한 기계굴착 후 방음시설을 설치한다. 갱구부의 암반강도가 높아 기계굴착이 어려울 경우에는 가설갱구를 외부로 2~3지보 설치하거나 막장면에서 바로 발파작업을 수행하며 기타 터널의 경우에도 일정 심도의 수직구 내에 터널이 위치하고 암반강도가 높기 때문에 막장면에서 바로 발파작업을 수행한다. 갱구부의 암반상태가 불량할 경우에는 기계굴착을 하거나 부분적인 발파굴착 후, 기계굴착이 병행 수행되며, 발파공해(소음, 진동, 비산 등)가 우려되는 지역도 기계굴착(브레이커, 유압력을 이용한 할암공법 등)이 수행되며 발파시점에 맞추어 방음시설을 설치한다. 암반상태가 불량할 경우에는 발파굴착 보다는 기계굴착이 빠르고 터널의 자립도 등의 영향을 고려하면 양호한 것으로 판단된다(표 7).

표 7. 방음벽 설치시기와 굴착방법

장소 / 거리	도로 터널	철도 터널	기타 터널
0m	-	-	3
1.0~1.5m	3	1	-
1.5~3.0m	6	1	-
3.0~5.0m	7	5	-
5.0m 이상	2	-	-

방음시설의 설치방법

방음시설의 설치방법은 발파공해(소음, 비산)에 의한 민원발생 여부와 발파에 의한 비산의 영향을 고려하여 이동식 또는 고정식으로 구분 설치된다. 이동식 방음벽의 설치시기는 주로 발파에 의한 비산거리(약 20~30(m)) 이내에서 설치되며 고정식 방음벽은 발파에 의한 비산거리(약 30~50(m)) 이상에서 설치한다. 기타 터널(전력구, 통신구, 지하철 등)의 경우에는 GL 20m 이하의 수직구내에 터널이 위치하여 비산에 의한 영향을 받지 않으므로 막장면에 고무매트나 타이어매트 등의 이동식 방음벽을 설치 후 발파작업을 수행되며, 대부분 지상에 위치한 터널은 대부분 고정식 방음시설에 따른 설치비, 환기 등을 영향을 고려하여 이동식 방음시설의 설치가 많은 것으로 나타났다(표 8).

표 8. 방음시설의 설치방법

구분 \ 장소	도로 터널	철도 터널	기타 터널
이동식	11	1	1
고정식	2	2	
이동식+고정식	5	3	2

방음시설의 재질

방음시설의 재질은 이동식과 고정식에 따라 구분되며 이동식 방음시설은 소음저감 보다는 주로 비산방지를 위한 목적으로 설치되므로 발파 비산석에 직접 노출되어도 파손이 적은 고무 재질 또는 압축짚 매트, 철판 등이 많이 사용되며, 고정식 방음시설의 재질은 스펀지, 방음판, 압축짚 매트 등이 많이 사용된다. 이동식 방음시설은 재질과 설치에 따른 공간이 많아 소음효과는 매우 적은 것으로 판단된다(표 9).

표 9. 방음시설의 재질

패턴 \ 장소	도로 터널	철도 터널	기타 터널
천막	–	1	–
부직포+콘베아벨트	2	1	1
타이어메트	–	1	1
천막+압축짚메트+합판+부직포	11	–	–
압축스펀지+방음판+천막+토류판+흙둑	5	–	–
고무판+부직포+천막	–	–	1
부직포	–	1	–
shotcrete+부직포+천막+ 방음판	–	1	–

방음시설의 제작방법

방음시설의 제작은 대부분 현장 제작으로 현장 기능공에 의해 제작되며, 주로 고정식 방음시설과 터널 외부에 사용되는 방음시설(방음판) 등은 외주 규격품을 구입하여 현장 제작으로 이루어진다(표 10).

표 10. 방음시설의 제작방법

패턴 \ 장소	도로 터널	철도 터널	기타 터널
현장제작	15	5	2
외주제작	2	–	1
현장+외주	1	1	–

방음시설의 설계 적용

방음시설의 설계 적용은 발파작업 구간의 발파공해 영향 여부에 따라 적용되며 발파공해의 영향이 없는 지역에서는 설계에 적용이 되지 않는다. 대부분 현장은 발파작업에 따른 방음시설의 설계사항은 없는 실정이며 다만 일반적인 시방사항으로 발파에 의한 소음을 방지하고 있으며 설치에 따른 설계내역은 없는 것으로 나타났다. 그러나 부분적으로 턴키방식으로 발주된 공사에 대해서는 방음시설이 설계된 것으로 나타났다. 발파에 의한

소음저감을 위해서는 굴착조건에 따른 정량적인 설계사항이 적용되어야 할 것으로 판단된다(표 11).

표 11. 방음시설의 설계적용

장소 / 패턴	도로 터널	철도 터널	기타 터널
설계 적용	3	–	–
설계 미적용	4	1	–
일반시방 적용	11	6	3

3.2 방음시설의 제작과 종류에 관한 고찰

이동식 비산방지 및 방음시설의 제작과 설치과정

그림 4는 이동식 방음시설로서 폐 콘베아벨트를 이용한 제작과정과 설치과정이며, 그림 5는 이동식 방음시설로서 압축짚 매트와 와이어메쉬, 앵글 등을 이용하여 제작하였다. 이들 이동식 방음시설의 설치는 장비에 의해 발파작업 시에 갱구부에 설치한다.

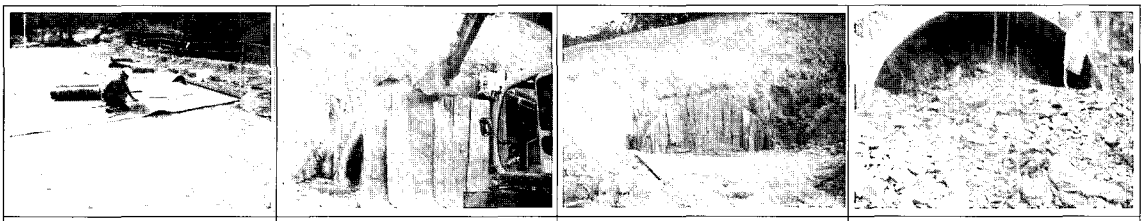


그림 4. 폐 콘베아벨트를 이용한 이동식 방음시설.

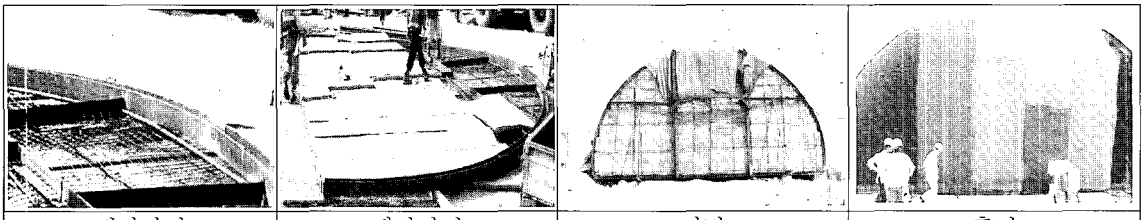


그림 5. 압축짚 매트를 이용한 이동식 방음시설.

수직구 외부 방음시설

주로 지하철, 통신구, 전력구 터널공사는 수직구내에 터널이 설치된다. 따라서 터널내의 방음시설 외 수직구 외부에 방음벽을 설치한다(그림 6).

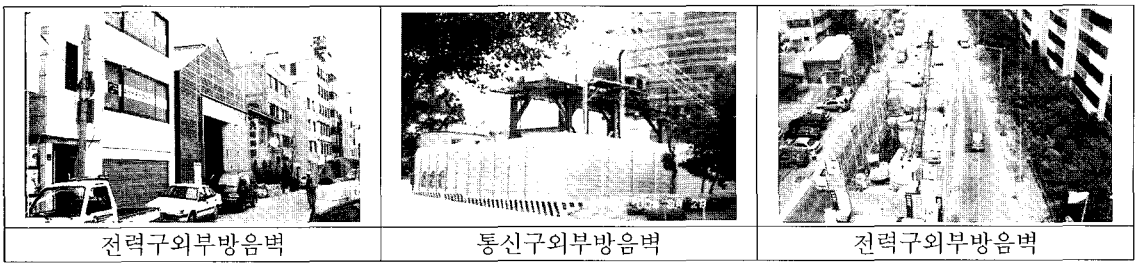
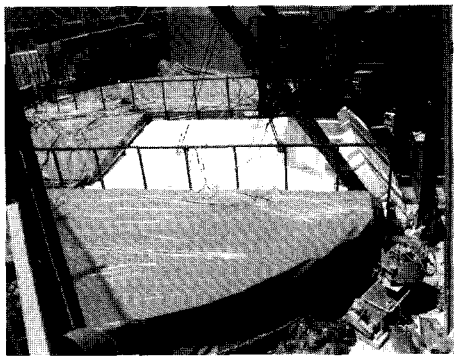


그림 6. 수직구 외부 방음시설.

수직구 방음시설(명동전력구)

주로 지하철, 통신구, 전력구 터널공사의 수직구에 설치되는 개폐식 고정식 방음시설로서 두께 60cm의 압축스펀지와 부직포 등을 이용하여 제작하였다(그림 7).

수직구 방음시설 개방상태

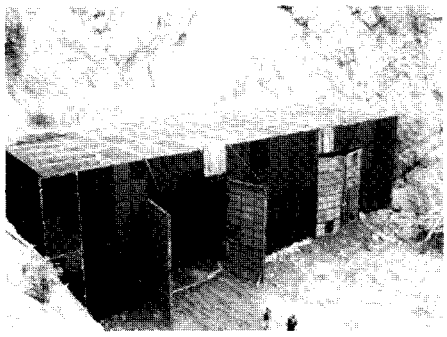


수직구 방음시설 차단상태

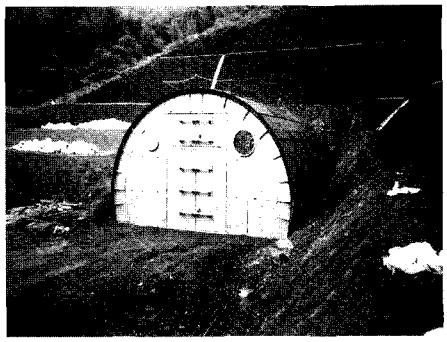
그림 7. 수직구 방음시설.

터널 외부 방음시설

터널 외부 방음시설로서 주로 발파에 의한 소음공해지역에서 방음패널을 이용한 박스형 방음시설과 터널형 방음시설이다. 이들은 터널 전면 외부로 가설 갱구를 설치하는 것이 특징이다(그림 8).



터널 전면 방음판넬을 이용한 방음시설

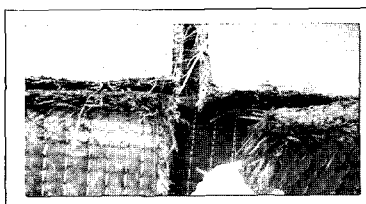


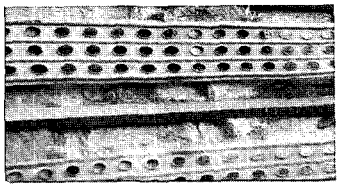
가설갱구 설치 후, 방음시설

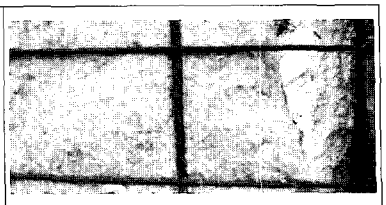
그림 8. 터널 외부 가설 방음시설.

방음재의 재질

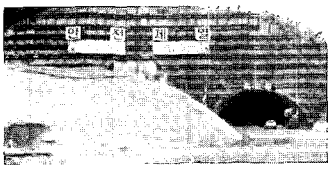
방음재의 재질은 발파에 의한 비산의 영향을 고려하여 이동식과 고정식으로 설치되지만 주로 방음시설에 이용되는 방음재질은 그림 9와 같다.

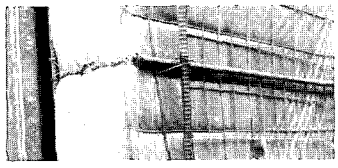

압축짚 메트

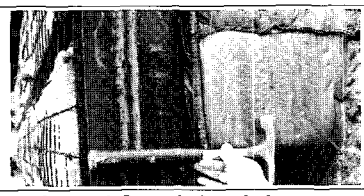

압축짚메트+ps철판


압축짚메트+부직포

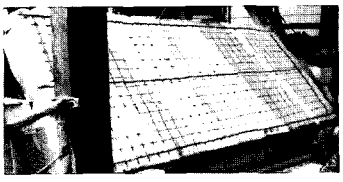
(1)

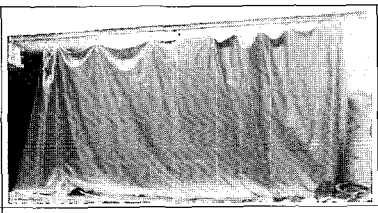

터널전방에 설치된 흙둑

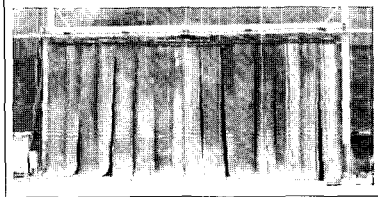



와이어메쉬+부직포+압축짚 메트+압축스펀지+천막

(2)


압축스펀지+와이어메쉬


커튼형 천막

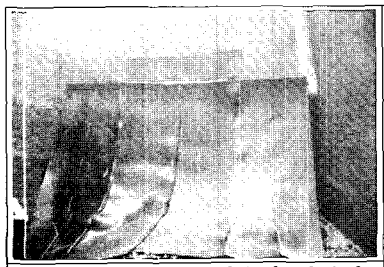

커튼형 고무벨트

(3)

그림 9. 방음재의 재질.

방음시설의 종류

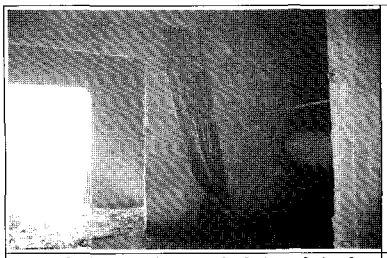
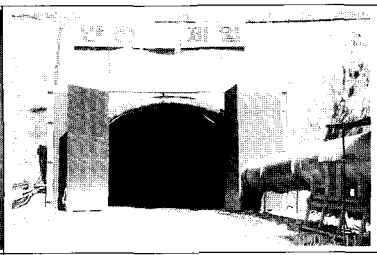
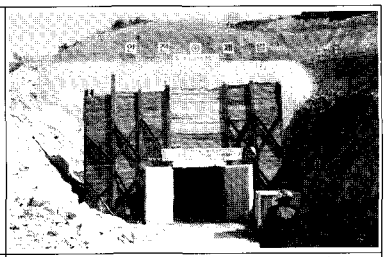
발파작업에 따른 방음시설의 종류는 이동식과 고정식 그리고 이동식+고정식으로 구분되며 주로 현장에서 사용되는 방음시설의 종류는 그림 10과 같다.


폐 콘베아벨트를 이용한 이동식 방음시설(수직구)

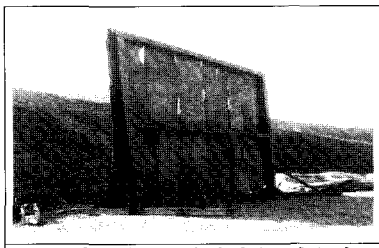
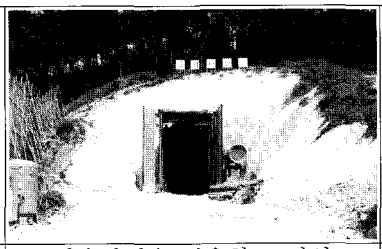
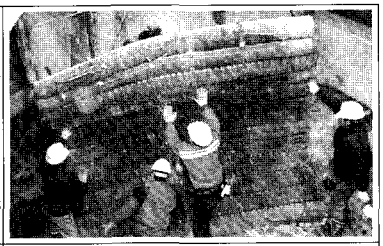
폐 콘베아벨트를 이용한 이동식 방음시설

합판+압축짚메트+철재앵글로 제작된 이동식 방음시설

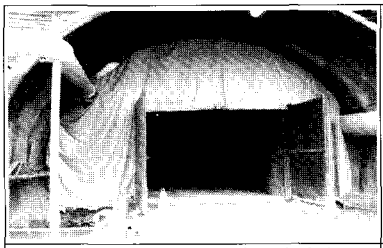
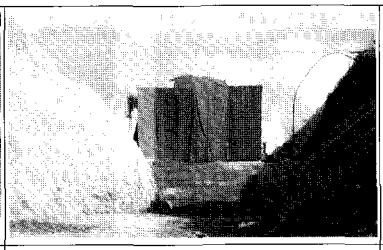
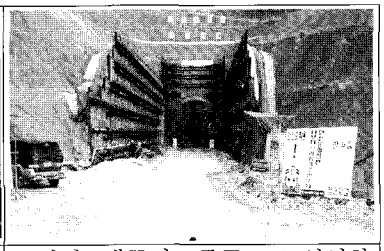
(1)

		
스펀지+부직포+천막을 이용한 터널내 고정식 방음시설	방음판넬을 이용한 고정식 방음시설	스펀지+방음판넬을 이용한 고정식 방음시설

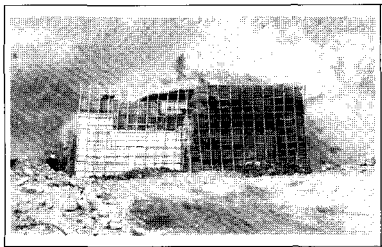
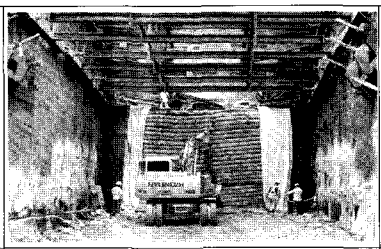
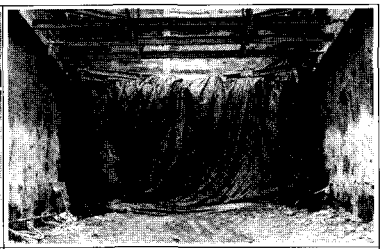
(2)

		
콘베아벨트+철재빔을 이용한 이동식 방음시설	방음판넬을 이용한 고정식 방음시설	타이어메트를 이용한 이동식 방음시설

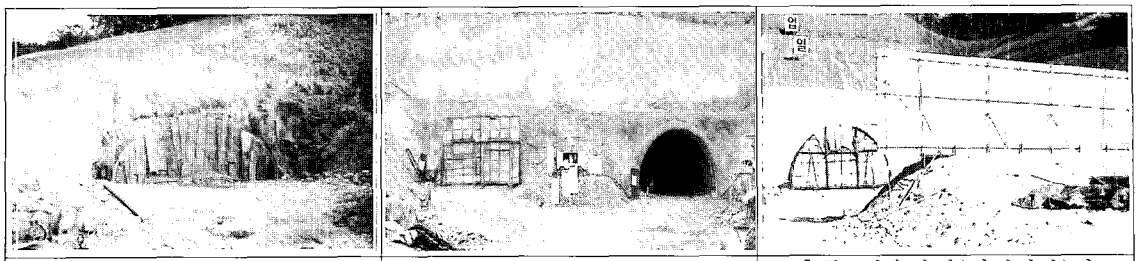
(3)

		
숏크리트+방음판넬+천막을 이용한 고정식 방음시설	부직포를 이용한 이동식 방음시설	스펀지+앵글의 3중구조로 설치한 고정식 방음시설

(4)

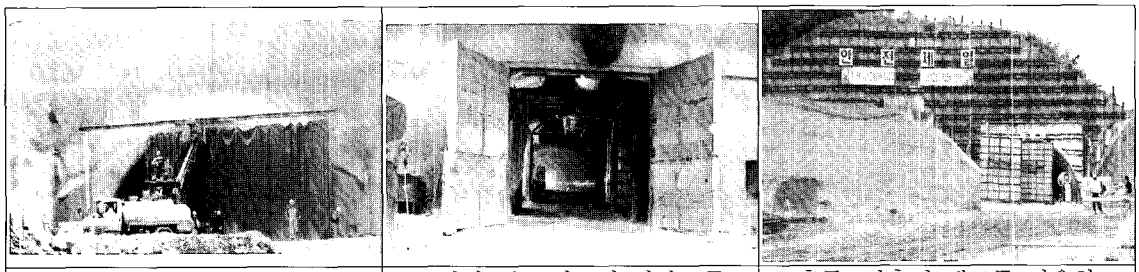
		
압축짚메트+파이프를 이용한 이동식 방음시설	타이어메트를 이용한 이동식 방음시설	타이어메트+천막을 이용한 이동식 방음시설

(5)



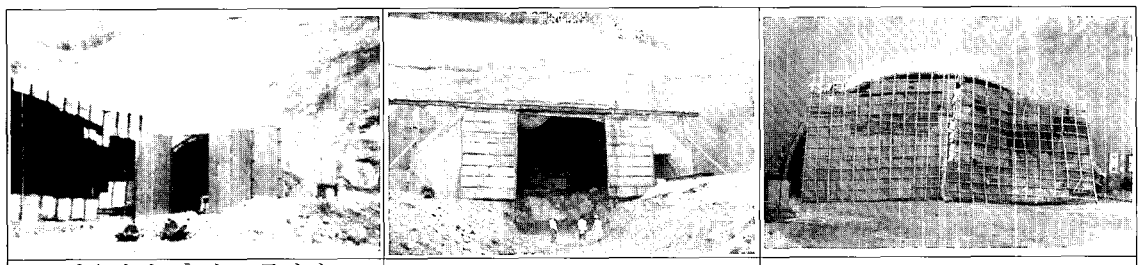
폐 타이어벨트를 이용한 이동식 방음시설	압축짚메트+천막+앵글 등을 이용한 이동식 방음시설	흙둑+방음판넬(터널전방)과 압축짚메트+부직포 등을 이용한 이동식+고정식 방음시설

(6)



천막을 이용한 고정식 방음시설	스펀지+숏크리트에 의한 4중 칸막이 구조 고정식 방음시설	흙둑+압축짚 메트를 이용한 이동식+고정식 방음시설

(7)



방음판넬+측면 토류판과 요철스펀지를 이용한 고정식 방음시설	압축짚메트+천막을 이용한 미닫이 고정식 방음시설	파이프+압축짚메트를 이용한 이동식 방음시설

(8)

그림 10. 방음시설의 종류.

4. 결 론

본 연구에서는 터널발파작업에 따른 소음저감을 위해 현장조건에 따라 설치하고 있는 방음시설의 설치시기와 설치방법 등에 대해 터널현장을 대상으로 시공사례를 고찰한 바, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 방음시설과 발파작업에 따라 가장 많이 적용

되는 굴착패턴은 TYPE-Ⅳ~Ⅵ패턴(3개 패턴)으로 암반의 강도와는 무관하게 대부분 갱구설치 구간으로 갱구부의 초기응력에 따른 터널의 자립도를 위해 비교적 낮은 보강패턴이 적용되었으며, 적용되는 갱구 지보간격은 0.8~1.0(m) 인 것으로 고찰되었다.

2) 방음시설의 설치시기는 대부분 민원발생 여부와 발파시점에 맞추어 이루어지며, 민원발생의 우려가 없는 지역에서는 방음시설이 설치되지 않았으며 갱구로부터 설치되는 이격거리는 기타터널(통신구, 전력구, 지하철 등)을 제외하면 갱구 형성과 자립도를 위해 3~5지보(2.4~5.0(m))는 브레이커에 의한 기계굴착 후, 방음시설을 설치하였다. 그러나 암반상태가 불량할 경우에는 발파굴착보다는 기계굴착이 빠르고 터널의 자립도 등의 영향을 고려하면 양호한 것으로 판단된다.

3) 방음시설의 설치방법은 발파공해(소음, 비산)에 의한 민원발생 여부와 발파에 의한 비산의 영향을 고려하여 이동식 또는 고정식으로 구분 설치하였으며, 이동식 방음벽의 설치시기는 주로 발파에 의한 비산거리(약 20~30(m)) 이내에서 설치하며 고정식 방음벽은 발파에 의한 비산거리(약 30~50(m)) 이상에서 설치하였다.

4) 방음시설의 재질은 이동식과 고정식에 따라 구분된다. 이동식 방음시설은 발파 비산석에 직접 노출되어도 파손이 적은 고무 재질 또는 압축짚 매트, 철판 등이 많이 사용되었으며, 고정식 방음시설의 재질은 스펀지, 방음판, 압축짚 매트 등이 많이 사용되었다. 이동식 방음시설은 재질과 설치에 따른 공간이 많아 소음효과는 매우 작은 것으로 판단된다.

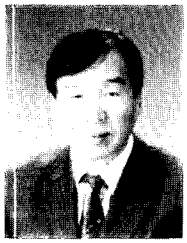
5) 방음시설의 제작은 대부분 현장 제작으로 현장 기능공에 의해 제작되었으며, 주로 고정식 방음시설과 터널 외부에 사용되는 방음시설(방음패널) 등은 외주 규격품을 구입하여 현장 제작으로 이루어 졌다.

6) 방음시설의 설계 적용은 발파작업 구간의 발파공해 영향 여부에 따라 적용되나 대부분 현장은 발파작업에 따른 방음시설의 설계사항은 없는 실정이며 다만 일반적인 시방사항으로 발파에 의한 소음을 방지하고 있으며 설치에 따른 설계내역은 없다. 그러나 부분적으로 턴키방식으로 발주된 공사에 대해서는 방음시설이 설계된 것으로 나타났다.

따라서 발파에 의한 소음저감을 위해서는 굴착조건에 따른 정량적인 설계사항이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기경철 , 김일중, 2002, 산학인을 위한 발파공학, 동화기술, pp. 253, 259.
2. 김재극, 1999, 산업화약과 발파공학, 서울대학교출판부, pp. 395.
3. 원앤비기술사사무소, 2001~2006, 시험발파결과보고서, 원앤비기술사사무소.
4. 양형식, 1995, 발파진동학, 구미서관, pp. 117.
5. 정일록, 1999, 소음 · 진동학, 신광출판사, pp. 227.
6. 한국고속철도공단, 1997, 경부고속철도 서울사업소구간 소음·진동 피해진단.
7. 한국토지개발공사, 1993, 암발파 설계기법에 관한 연구, 한국토지개발공사, pp.372.
8. 환경부, 2005, 생활소음·진동 규제법, 제29조.
9. Dowding, C.H., 1996, Construction Vibrations, pp. 220-221, 372.
10. Altas Powder Company, 1987, Explosive and Rock Blasting, Altas Powder Company.
11. Siskind, D.E., V.J. Stachura, M.S. Stagg and J.W. Kopp, 1976, Noise and Vibrations in Residential Structures from Quarry Production Blasting, U.S. Bureau of Mines, RI 8485.



원 연 호

원앤비 기술사사무소 대표

전화 : 031)478-1271
E-mail : yhwon99@yahoo.co.kr

정 재 형

한국건설기술연구원 선임연구원

전화 : 031)910-0378
E-mail : jjhcivil@kict.re.kr

손 영 복

원앤비 기술사사무소 차장

전화 : 031)478-1271
E-mail : jongsia@hanmail.net