

방음터널의 길이와 단부처리에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Edge Treatment and the Length of Noise Barrier Tunnel

주문기* · 김태훈** · 오양기*** · 김하근*** · 이원렬*** · 조성환****
Moon-Ki Joo, Tae-Hun Kim, Yang-Ki Oh, Ha-Gun Kim, Sung-Hwan Cho

Key Words : Noise barrier tunnel, Traffic noise, Noise barrier, Edge, Length

ABSTRACT

Numbers of people living in high rise apartments are growing due to the overcrowding in urban area. Acoustic environment in those residential buildings has been seriously deteriorated by the increase of wheeled transports. Commonly used sound barriers have a limitation in controlling noise influencing higher part of a residential building. The use of noise barrier tunnels can be an alternative to supplement the defects of conventional noise barriers. But intensive measurements on noise levels at apartments vicinity of current noise barrier tunnels show that the tunnel now has a limited advantage on reducing the noise levels from arterial roads. The present work aims at providing an useful design tool in designing noise barrier tunnels for residential areas adjacent to roads. Number of field measurements, scale model measurements, and computer simulations were performed to ensure whether the prediction from scale model and computer simulation are appropriate. Result shows that the predictions from scale models and computer simulations could be valid prediction tools for designing sound barrier tunnels.

1. 서론

인구의 증가와 도시집중 현상에 의해 도시화가 가속되고 있으며, 이에 따른 차량의 증가와 도로망의 확충은 교통소음을 중요한 환경문제로 인식하게 하고 있다. 특히 간선도로변 고층아파트의 경우 방음벽으로 인한 교통소음 저감의 효과가 저층부에 국한됨으로서 중·고층부의 주호에서는 방음벽의 설치에도

불구하고 환경기준치 이상의 소음레벨에 시달리고 있다. 고층주거에서의 이러한 교통소음 문제를 해결하기 위하여 방음터널을 설치하는 방법이 제안되고 있으며, 부분적으로는 효과적인 대안이 될 수 있음이 드러나고 있다.

그러나 현재 시공되고 있는 방음터널의 경우 그 기술적인 검토가 충분히 이루어지기 전에, 사회적인 필요성만으로 우선 시공된 사례가 많다. 충분한 성능을 얻고 있지 못한 경우가 많다. 전국에 걸쳐 시공된 여섯 곳 간선도로변 터널형 방음벽의 현황을 조사한 결과 그 인근의 고층주택에서 환경기준값을 만족한 곳이 거의 없었다는 연구의 결과¹⁾에서도 현재 방음터널의 기술적 문제점을 확인할 수 있다. 방음터널이 계획당시의 소음차단효과를 충분히 발휘하지

* 목포대학교 건축공학과 박사과정
E-mail : archipy@hanmail.net
** 단목건축사사무소
E-mail : k7103@yahoo.co.kr
*** 목포대학교 건축공학과 교수
E-mail : oh@mokpo.ac.kr
*** 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원
E-mail : hgkim1@knhc.co.kr
*** 목포대학교 전임연구원
E-mail : won1339@lycos.co.kr
**** (주) 신성산건 대표이사
E-mail : abwjungz@lycos.co.kr

1) 오양기, 김하근, 김명준, 정대업, 권성안 “간선도로방음터널의 효과와 타당성” 생태환경학회논문집 2002

못하는 가장 중요한 이유는 터널의 부적절한 위치와 길이, 그리고 단부의 처리에 있다는 사실로부터, 본 연구에서는 방음터널의 길이와 단부의 처리가 어떻게 도로교통 소음레벨에 영향을 미치는지 알아내고자 하였다. 먼저 실제로 시공된 방음터널을 모델로 하여 실시간 4채널 측정을 통해 주변 금호아파트와 무등파크 102동 고층아파트의 1, 5, 10, 15층의 네 곳에서 층별 소음레벨을 측정하였다. 이 값을 기초로 하여 1/25 축소 모형에 의한 측정값과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 예측값을 서로 비교함으로써 향후 더욱 개선된, 그리고 예측 가능한 방음터널 설계가 가능하도록 함이 이 연구의 목표이다.

2. 실시간 4채널 소음레벨 측정

축척모형 및 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 예측값의 정확성을 가장 정확히 평가하기 위하여 방음터널이 설치된 간선도로 주변의 실제 도로교통 소음레벨을 실시간으로 측정하였다.

2.1 측정 상황

- 측정일자 : 2002년 12월 8일
- 측정위치 : 광주광역시 제2순환도로 학운방음터널 인근 금호 아파트 104동 1,5,10,15층 아파트 발코니
- 측정시스템 : 4채널의 동시측정 및 분석시스템

Table1. Measurement system

측정기기	제조회사	모델명
System Analyzer	01dB	OR25(4ch Analyzer)
Microphone		ICP Mic MI17
Calibrator	B&K	Type 4230

2.2 측정 결과

- 금호아파트 104동 측정값 dB(A)
[5분간 차량통과대수: 소형 148대, 대형 19대]

Table 2. Measurements in 104 Kumho Apartment

	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
1층	39.9	40.8	39.5	39.6	41.3	41.3	43.1	45.3	47	
5층	48.9	50.9	52.1	53.2	53.6	53.2	52.5	52.1	52.2	
10층	52.6	54.5	56	57.5	58.4	58.6	58.8	58.5	58.6	
15층	52.7	54.4	56.2	57.3	58.3	58.1	57.9	57.9	58.8	
	800 Hz	1kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4 kHz	5 kHz	A
1층	47.6	47.9	47.6	46.3	43.7	40.7	38.1	37.4	35.6	56.3
5층	52.1	51.9	51.7	51	48.2	43.8	41.1	37.3	37.3	63.4
10층	57.5	57.4	56.8	55.5	51.7	46.9	42.5	34.7	34.7	68.5
15층	58.8	59	59.1	58.9	56.3	51.2	47.2	37.9	37.9	69.2

-금호아파트 103동 측정값 dB(A)

[5분간 차량통과대수: 소형 161 대, 대형24대]

Table 3. Measurements in 103 Kumho Apartment

	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
1층	42.4	42.4	41.2	43.2	45.6	47.2	49.3	48.1	49.2	
5층	42.7	42.1	44.8	45.4	47.2	50.7	50.1	51.3	52.0	
10층	43.3	43.2	44.9	46.3	51.9	52.6	52.3	54.2	60.3	
15층	44.2	44.8	47.7	49.1	51.9	56.3	55.4	57.1	58.0	
	800 Hz	1kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4kHz	5kHz	A
1층	49.9	50.4	50.2	49.6	46.9	44.3	41.7	39.4	37.8	59.5
5층	52.9	53.5	52.6	51.3	49.3	47.4	45.3	42.9	40.1	62.0
10층	59.4	55.2	54.8	53.7	51.4	48.7	47.5	43.2	39.6	65.9
15층	59.1	59.1	59.3	58.3	56.1	54.0	51.4	48.8	45.1	67.9

-무등파크아파트 102동 측정값 dB(A)

[5분간 차량통과대수: 소형 164대, 대형 16대]

Table 4. Measurements in 102 Mudeung Park

	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
1층	31.1	30.2	33.8	33.9	38.2	36.4	38.5	44.3	44.2	
5층	37.6	38.1	38.9	39.6	39.8	41.1	42.8	44.9	47.0	
10층	37.9	37.1	40.1	41.2	42.5	42.7	46	48.8	53.2	
15층	40	40.7	40.8	41.2	40.4	42.6	47.3	51.6	53	
	800 Hz	1kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4kHz	5kHz	A
1층	47.2	48.5	48.7	46.9	43.2	39.3	36.4	35.9	33.9	55.5
5층	50.1	50.3	50.2	49.8	47.1	42.3	39.6	41.8	37.9	58.1
10층	53.1	55.2	56	55.5	52.5	47.1	41.7	37.3	32.2	62.7
15층	52.2	57.8	56.1	57.4	53	48.2	43.1	38.7	34.2	63.9

3. 1/25 모형실험

3.1 측정용 모형의 제작

방음터널의 길이와 단부처리의 적절성을 예측하기 위한 모형실험은 축척이 작아지면 모형의 크기가 커져 실험의 정확성이 향상될 수 있다. 반면에 모형을 만드는데 비용이 많이 소모되며 제작 및 측정작업이 힘들게 된다. 실험 목적상 400m 이상의 방음터널 길 이와 20층 높이의 모형이 필요한데 작은 축척으로는 큰 어려움이 예상되었다. 반면에 모형의 크기가 지나치게 작아지면 즉 축척이 커지면 그 비율만큼 짧은 파장의 음원(초음파영역)을 발생시키고 측정하는데 어려움이 생기며 공기에 의한 흡음으로 측정 오차의 범위가 커지게 된다. 이러한 이유로 실험용 모형의 축척을 1/25로 하였으며 이 축척에 의해 400m 길이의 도로는 16m로 그 도로상에 설치된 160m 방음터널의 길이는 6.4m 로 줄었으며 도로 주변의 20층 아파트는 2.6m 정도가 되었다

실험용 모형은 약16m 길이의 도로와 2.6m 높이의

고충주택을 만들 수 있는 장소이어야 하며 배경소음의 영향이 매우 적어야 하므로 측정 장소는 목포대학교 공장형 실험실 옆의 반사음의 효과가 측정결과에 반영되지 않도록 충분한 거리를 두고 설치하였다.

3.2 모형측정시스템

(1) 주파수 스케일링

축소모형 실험의 경우 공간에서의 음파의 거동은 그 파장에 따라 변하게 된다. 즉 관심 주파수 대역이 $f_{10} \sim f_{n0}$ 인 경우 $1/n$ 의 축소모형인 경우 관심 주파수 대역은 $nf_{10} \sim nf_{n0}$ 가 되는 것이다. 이러한 주파수 스케일링을 할 때 고려해야 할 사항이 있으며 그 중 하나는 공기에 의한 음 에너지의 감쇠이다.

(2) 주파수 대역의 광대역화

통상 건축음향 분야에서 널리 사용되는 100~6000Hz 대역은 1/10 모델에서 1kHz~60kHz라는 매우 넓은 주파수 대역이 된다. 따라서 스케일모델에서의 음향 특성의 측정을 위해서는 이러한 넓은 대역과 원하는 지향성을 갖는 음원/수신기의 개발이 필요하게 된다. 현재 음향 분석기 측에서는 DSP 기술의 발전에 따라 100kHz 정도의 음파를 수신할 수 있는 장비가 많이 개발되어 있고 96kHz까지의 음을 분석할 수 있는 192kHz의 시스템은 이미 상용화되어 문제가 없으나 음원이 문제가 된다. 라우드스피커와 스파크 음원의 일반적인 특성 및 장단점은 Table 5와 같다.

Table 5. Sources for scale model measurements

라우드스피커	스파크
낮은 레벨의 연속적인 광대역 소음을 재생	높은 레벨의 충격음
주파수 상한 : 약 50~100kHz	주파수 상한 : 약 200kHz
SNR확보를 위해 긴시간 재생 가능	SNR확보에 불리
RMS와 Peak값의 차이가 적다	RMS와 Peak값의 차이가 크다
주파수에 따라 다른 지향성	무지향성

(3) 측정시스템

음을 받아들이는 마이크로폰의 경우 고주파음을 수음하기 위하여 주파수 응답특성이 4Hz~100kHz로 측정이 가능한 1/4인치 마이크로폰을 사용하였으며 음향 분석기의 경우 DSP 기술의 발전에 따라 96kHz까지 분석할 수 있는 시스템은 상용화되어 있다. 음원의 경우 초음파를 발생시키기 위해서는 스파크 음원이 많이 사용되나 SNR의 확보 및 다양한 음원의 사용이라는 측면에서 최근 널리 보급되기 시작한

super tweeter를 사용하여 선음원의 형태를 근사하게 하기 위하여 super tweeter 16개를 50cm 간격으로 일렬로 늘어놓는 형태를 취하였다. 이 super tweeter의 재생 주파수 영역은 2~40kHz로 제한되어 있으나 실제 측정결과 50kHz 영역까지도 10dB이내의 편차를 가지고 잘 재생하고 있음을 알 수 있었다. 엄밀히 말해 모형실험을 위해서는 super tweeter의 재생 주파수 영역이 관심 주파수대역인 3125Hz~100kHz까지 되어야 하나, 본 실험의 목적이 주로 구조물에 차이에 따른 차음성능을 보고자 하는 것이므로 큰 제약은 되지 않는다고 판단된다.

Table 6. Scale model testing devices

측정기기	제작회사	모델명
Microphone	b&k	4135
Microphone power supply	b&k	2610
Speaker	vifa	DX25TG05-04
Amp	ANAM	AA77
Computer	LG IBM	
Analyzer		CooleditPro2.0

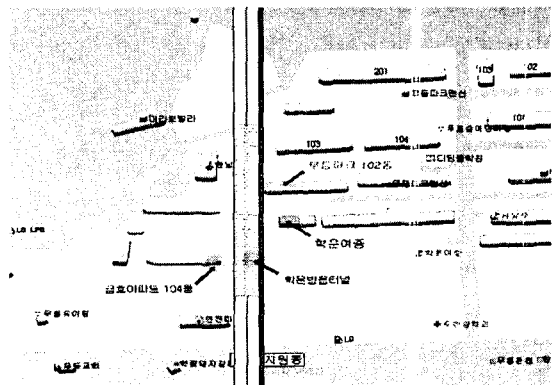


Figure 1. Layout of the model

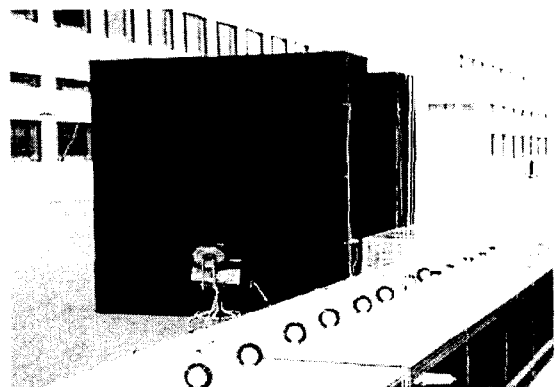


Figure 2. 1/25 Scale model

3.3 1/25 모형실험 결과

1/25 스케일 모형 실험의 결과를 Table 7부터 Table 9까지에 나타내었다.

Table 7. Measurements at 103 Kumho(Unit:dBA)

	5층	10층	15층
기본형	-79.7	-75.9	-74.0
방음벽50m증가	-80.5	-77.1	-75.2
방음벽100m증가	-79.3	-77.0	-75.3
방음터널100m증가	-79.7	-78.8	-78.1

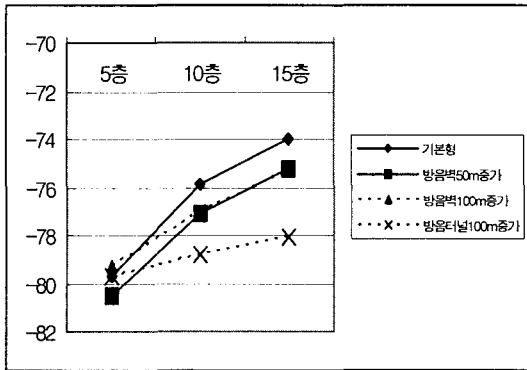


Figure 3. Measurements at 103 Kumho

Table 8. Measurements at 104 Kumho(Unit:dBA)

	5층	10층	15층
기본형	-69.6	-68.4	-68.1
방음벽50m증가	-75.6	-69.2	-68.9
방음벽100m증가	-73.8	-69.4	-69.1
방음터널100m증가	-78.5	-75.4	-74.2

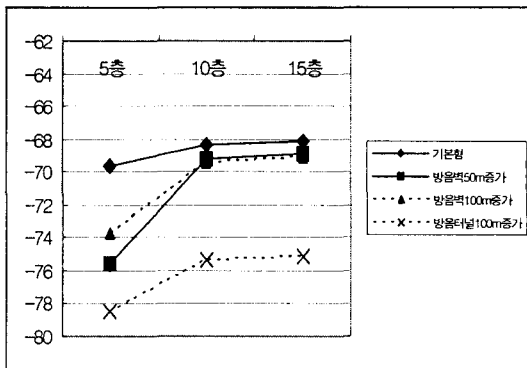


Figure 4. Measurements at 104 Kumho

Figure 9. Measurements at 103 Mudeung (Unit:dBA)

	5층	10층	15층
기본형	-78.3	-75.9	-74.3
방음벽50m증가	-79.7	-75.9	-74.0
방음벽100m증가	-79.5	-77.1	-75.1
방음터널100m증가	-79.8	-79.1	-78.6

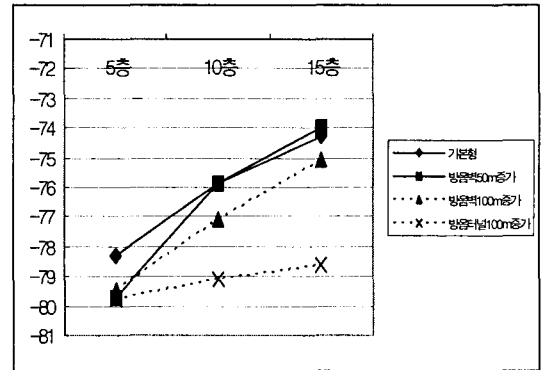


Figure 5. 1Measurements at 103 Mudeung Park

4. 컴퓨터 시뮬레이션

4.1. 시뮬레이션 소프트웨어

시뮬레이션 프로그램으로 Mithra를 사용하였으며 특징으로는 디지털이저나 지형파일에 의한 데이터 획득, 온도 및 습도 등의 기상조건 적용 가능, 철도 또는 도로 교통량의 샘플 제시 및 적용 등이 있다.

4.2. 시뮬레이션의 조건

실내공간이 아닌 외부공간에서 도로나 철도의 소음량을 예측하기 위하여 많이 사용되는 소음예측 프로그램인 Mithra를 이용한 시뮬레이션의 경우 방음터널의 형태를 만들지 못하므로 방음터널의 부분은 소음원을 30dB 낮추어 결과를 알아보고 다른 방법으로는 방음터널 부분을 방음벽 25m로 처리하여 결과를 알아보고 몇차 반사음까지의 고려는 프로그램의 사용자가 입력 가능하며 방음벽의 흡음률은 가장 보편화된 기본형을 선택하여 입력하였다. 방음터널부분을 30dB 낮추어 시뮬레이션을 한 것은 실제 측정에서 방음터널 내 외부에서 실측 한 결과 약 27dB(A)의 차이가 났으며 모형실험의 재료의 차음성능이 약 30dB 정도의 차이를 나타냈기 때문이다. 또한 다양한 변수들을 바꾸어 시뮬레이션을 하였으나 방음터널부분을 30dB 낮추어 시뮬레이션한 결과 실측값과 유사한 가장 신뢰할만한 결과를 얻었다.

4.3 시뮬레이션 결과

방음터널 부분을 30dB 낮추어 측정한 결과는 아래 표와 같다

Table 10 Simulations at 103 Kumho(Unit:dB(A))

	5층	10층	15층
기본형	60	62.7	62.9
방음벽50m증가	59.6	62.5	62.9
방음벽100m증가	59.5	62.4	62.8
방음터널100m증가	56.5	60.1	60.5

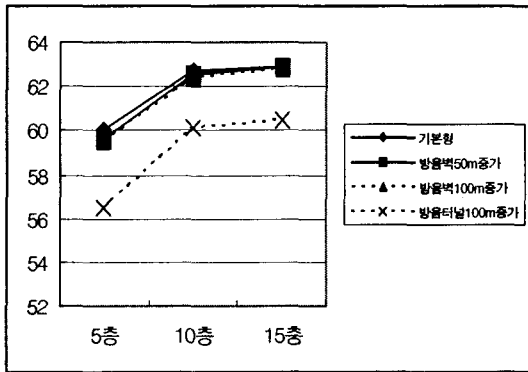


Figure 6. Simulations at 103 Kumho

Table 11. Simulations at 104 Kumho(Unit:dBA)

	5층	10층	15층
기본형	64.9	65.7	65.2
방음벽50m증가	63.3	65.3	65.2
방음벽100m증가	62.6	65.1	65.2
방음터널100m증가	56.5	59	59

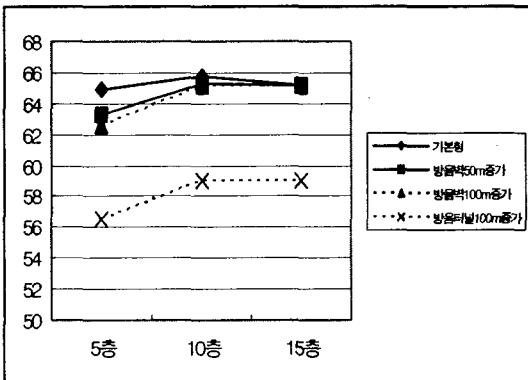


Figure 7. Simulations at 104 Kumho

Table 12 Simulations at 102 Mudeung Park(Unit:dBA)

	5층	10층	15층
기본형	59.9	62.4	62.4
방음벽50m증가	59.9	62.4	62.4
방음벽100m증가	59.8	62.4	62.4
방음터널100m증가	56	59.5	59.7

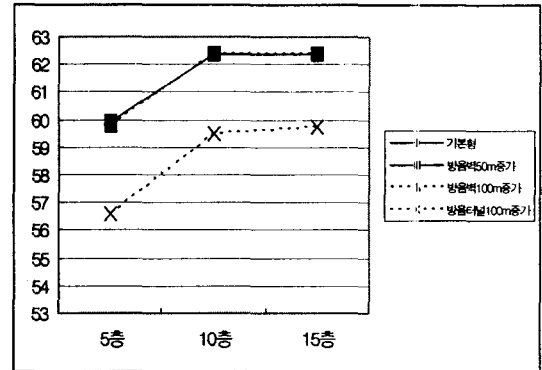


Figure 8. Simulations at 102 Mudeung Park

5. 모형실험과 시뮬레이션 결과의 분석

5.1 방음벽 길이의 증가에 따른 변화

무한한 길이의 선음원의 경우 어느 한점에서의 음압레벨은 거리가 두배가 됨에 따라 3dB씩 감소하며 유한한 길이의 선음원의 경우 어느 한점에서의 음압레벨은 수음점에서 선음원을 보는 각도에 비례하며 거리에 반비례한다.

따라서 1/25 모형실험의 경우 방음터널과의 거리가 가장 가까운 금호 104동의 경우 방음벽 길이가 증가함에 따라 방음터널과 같은 레벨의 5층에서의 소음이 6dB 이상 감소하였으며 시뮬레이션의 결과에서도 마찬가지로 5층에서 2.3dB(A)의 소음 감소의 효과가 나타났으나 10층과 15층의 경우 방음벽이 소음원의 가시선을 차단하지 못하므로 방음벽의 증가에 따른 효과는 거의 나타나지 않았다.

금호 103동의 경우 104동에 가리워져 있고 방음터널의 단부로부터의 거리가 멀기 때문에 기본형보다는 10층과 15층에서의 소음의 감소가 약 1dB 정도 나타났으나 방음벽이 50m 일 경우나 100m를 증가시킨 경우일 때 차이가 나타나지 않았으며 시뮬레이션의 경우도 마찬가지로 차이를 보이지 않고 있다. 이는 소음원 으로부터 거리가 멀고 소음원의 가시선을 104동에서 차단해 주므로 방음터널의 차음성능에 의

해 소음의 크기가 정해진다고 판단된다.

무등파크 102동의 경우 금호103동과 비슷한 위치선 상에 있으나 소음원의 가시선을 차단해주는 건물이 없으므로 5층에서의 소음이 방음벽이 50m 증가 했을 때 1.4dB의 감소가 있었으며 10층과 15층에서는 방음 벽이 100m 증가시켰을 때 1.2dB의 감소가 일어났다. 이는 소음원의 가시선이 방음벽의 증가에 따라 어느 정도 가리워진 것이라고 판단된다. 하지만 시물레이션의 경우 거리에 따른 음 감쇠 영향이 크므로 거리가 멀어짐으로 인해 방음벽의 증가에 따른 영향이 거의 나타나지 않았다. 따라서 아파트 고층부의 경우 방음벽의 증가는 도로교통 소음을 줄이는 데에 큰 영향을 주지 않을 것이라고 판단된다.

5.2 방음터널의 증가에 따른 영향

방음터널을 증가시킨 경우 소음원의 가시선을 차단 함으로서 고층에서의 소음레벨이 전반적으로 감소한 다는 것이 나타났다. 금호 103 동 의 경우 방음터널의 증가에 따라 고층부위에서 3-4dB의 음의 레벨이 감소하였고 5층에서는 음의 감소가 일어나지 않았는데 이는 측정 장소가 야외이고 겨울철이었기 때문에 바람소리나 다른 소리에 의한 측정오차일 가능성이 있다.

금호 104동의 경우 방음터널의 증가로 인해 가장 큰 소음레벨의 감소현상이 나타났으며 모형실험의 경우 저층부에서 9dB 고층부에서 6-8dB의 소음 레벨의 감소가 있었고 시물레이션의 경우도 마찬가지로 저층부에서 9dB(A) 저층부에서 6-7dB(A)의 감소가 일어났다. 무등파크 102동의 경우 방음터널의 증가시 전체적으로 2-4dB 의 소음감소가 나타났고 시물레이션의 경우 전체적으로 3dB(A)의 소음감소가 나타났다. 이는 방음터널의 증가가 방음터널의 단부에서 들려오는 소음원을 효과적으로 차단함으로써 방음벽보다 고층부위의 소음을 줄이는 데에 훨씬 더 효과적이라는 것이 증명되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 도심지의 도로변에 위치한 고층아파트의 거주지역에서 방음터널 단부의 방음벽 연장과

방음터널 길이의 연장을 실제 4ch로 동시 측정 한 값을 기초로 하여 모형실험과 시물레이션을 통해 비교 분석해 보았다.

현장에서의 실측값과 시물레이션과의 차이는 15층에서 약3-4dB(A)의 차이는 있지만 이는 음원이 실제로 방음터널 고가뿐만 아니라 고가미를 가로지르는 도로의 음원이 있는데 반하여 시물레이션에서는 Mithrad의 특성상 교차하는 밀의 도로의 음원을 나타낼 수 없었기 때문인 것으로 판단된다.

모형실험의 실측결과와 시물레이션의 예측결과와는 약 3dB정도의 편차는 있지만 방음벽의 증가에 따른 실측값과 예측값 모두 저층부에서의 효과는 있지만 소음원의 가시선을 차단하지 못한 중,고층부에서는 큰 효과를 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

그러나 방음터널의 길이를 100m 증가한 경우 가장 단부와 가까운 금호 104동의 경우 6-9dB 의 소음 감소가 나타났고 103동과 무등102동의 경우도 방음벽 증가의 경우에 비교하여 큰 소음레벨의 감소가 나타났다. 이번 연구에서 실험의 여건상 정확한 모형실험의 조건을 갖추진 못했지만 방음터널의 길이와 단부의 방음벽 증가의 실험과 시물레이션과의 비교를 통해 방음벽보다는 방음터널의 길이 변화가 소음레벨을 줄이는데 타당하다는 결론을 알 수 있었다.

따라서 본 실험을 통하여 방음터널 설계시 주위 아파트의 소음예측은 Mithra를 이용한 시물레이션을 통해 적절한 길이의 조절이 가능하리라고 판단된다.

향후 연구에서는 모형실험에 있어서 여러 가지의 변수들을 고려하고 방음터널 자체의 차음성능 과 흡음성능 개선 등 다양한 실험에 대하여 고려해봐야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) 강성훈, 음향시스템 이론 및 설계, 1999
- (2) 차일환, 음향공학개론, 1980
- (3) 오양기, 김하근, 김명준, 정대업, 권성안 “간선도로 방음터널의 효과와 타당성” 생태환경학회논문집, 2002