

# 공동주택단지의 교통소음 저감을 위한 축척 음향모형 실험

## A Study on the Reduction of the Transportation Noise in Apartment Housing by the Scale Model Experiment.

◎주진수(Joo Jin-Soo)\*, 최석주(Choi Seok-Joo)\*\*

(한일장신대)

(세이빈엔지니어링)

### 1. 연구개요

국내 대도시의 한정된 주거공간을 효율적으로 이용한다는 측면에서 공동주택은 점점 더 고층화되고, 용적율이 커지며, 철도나 고속도로, 간선도로 등에 인접하여 계획되는 경우가 많아 심각한 환경문제가 발생하고 있다. 이들 환경문제중에서도 철도, 도로, 항공기 등으로 인한 교통소음은 특히 심각한 사회적 공해문제로 대두되고 있다. 따라서, 새로운 주택단지를 개발하는 경우에는 개발초기(계획·설계) 단계에서 교통소음에 대한 전파성상, 저감대책 등을 충분히 고려하여 피해를 최소화하는 것이 바람직하다.

한편, 교통소음의 전파성상 등을 모델화하여 정량적으로 파악할 수 있는 방법에는 이론계산, 현장측정, 컴퓨터 시뮬레이션, 모형실험 등이 있다. 하지만, 대부분의 주택단지는 그 규모가 크고 주변조건이 복잡하기 때문에 이론계산이나 컴퓨터 시뮬레이션 등의 방법으로 소음의 전파성상을 정확하게 예측하기란 어려운 것이 현실이다. 이 같은 문제를 해결할 수 있는 효율적인 방법의 하나로 축척모형실험이 있다.

따라서, 본 연구에서는 설계단계에 있는 철로변과 고속도로변 신축예정 아파트 단지의 교통소음 전파특성 예측에 가장 적합하다고 판단되는 축척음향모형실험을 통하여, 1) 아파트 동배치에 따른 소음레벨의 거리감쇠 변화 특성, 2) 층별 음압레벨 변화 특성, 3) 방음벽 설치 높이 위치에 따른 소음 저감효과, 4) 아파트 단지내에 형성되는 중정 부분의 음향장해에 대한 검

토, 5) 신축예정 부지에서 철도소음과 도로교통소음의 측정, 6) 소음측정결과와 모형실험결과를 종합하여 아파트 동별, 부위별 차음설계 등에 대하여 검토하였다.

### 2. 신축예정 부지의 교통소음 측정

#### 2.1 소음측정개요

아파트 신축 예정단지내의 철도소음과 도로교통소음을 측정하여 모형실험결과에 적용, 아파트 준공후의 각 동별 도달 소음레벨을 미리 예측하고, 결과는 단지내 동 위치나 층 높이에 관계없이 실내(거실, 침실) 소음레벨을 동일 수준으로 유지 할 수 있는 창호 등의 설계에 반영하였다.

그림 1은 경부선 철도가 인접하여 통과하고 있는 아파트 단지주변에서의 철도소음 측정위치(선로 중앙에서 거리 10m, 75m, 100m)를 나타낸다. 철도소음측정은 각각의 위치에서 차종(새마을호, 무궁화호, 화물열차, 지하철)과 주행방향(상행, 하행) 등을 구분하여 열차 진입직전에서 열차 통과 직후 측 피크치에서 10 dB 정도 낮은 범위내 음압레벨의 에너지 평균치로 측정하였다.

그림 2는 왕복 6차선 영동고속도로가 인접하여 통과하고 있는 단지에서의 도로교통소음의 측정위치(도로변, 도로변에서 거리 20m, 80m)를 나타낸다. 소음레벨측정은 20분 간격 5분간의 등가소음레벨로 측정하였다.

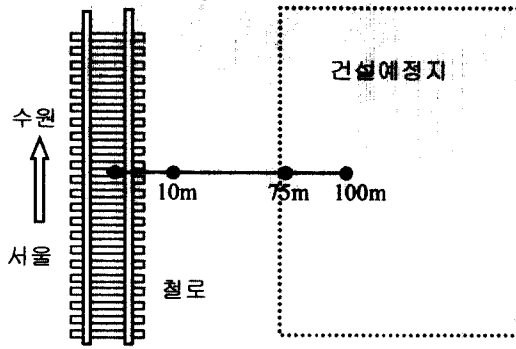


그림 1 철로소음의 측정위치

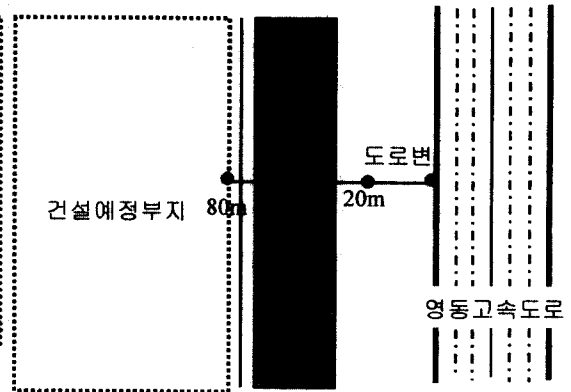


그림 2 도로소음의 측정위치

## 2.2 소음측정 결과 및 분석

철도소음의 거리감쇠 특성의 측정결과, 열차 종류에 따른 소음레벨은 화물열차, 무궁화호(화물차와 거의 비슷), 새마을호, 전철순으로 크게 나타났으며, 소음레벨은 작지만 전철의 소음레벨의 거리감쇠가 큰 것으로 나타났다. 또한 선로 중앙에서 10m 떨어진 위치에서 열차종류별 소음의 주파수특성은 차종에 관계없이 1kHz 대역의 소음레벨이 최대치를 나타냈다.

자동차 소음레벨의 측정결과 도로변 가드레일 위에서의 소음레벨은 약 87dB(A) 정도로 나타났다. 그러나 20m 지점과 80m 지점의 측정결과에서는 거리가 먼 80m 지점의 소음레벨이 20m 지점의 소음레벨과 비교하여 비슷하거나 높게 나타났다. 이는 아파트 신축예정부지와 하천사이 8m 기존도로가 레미콘차를 비롯한 각종 공사트럭의 통과 영향으로 판단되었다. 그러나 이 도로는 부지공사를 위한 공사용 도로이므로 아파트 준공 후에는 그 영향을 무시할 수 있다.

## 3. 축적모형실험

### 3.1 스파크 방전 음원

아파트단지 모형의 축적은 모형 완성시의 크기, 측정 가능한 주파수 범위, 주파수를 실물 스케일로 환산할 때의 복잡성 등을 고려하여 1/100로 설정하였다.

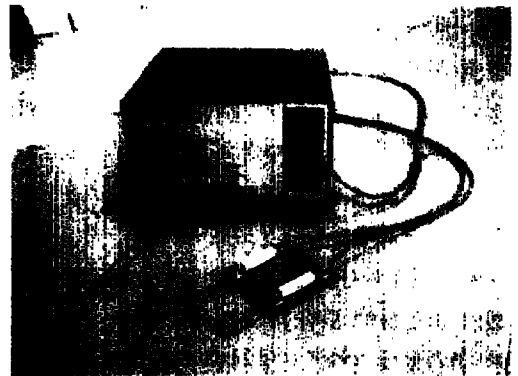


사진 1 스파크 발생 전극 및 발생장치

모형실험에 사용하는 음원은 철도·도로 소음 주파수 범위를 고려하면 수백 kHz 까지의 음향방사 능력을 필요로 하며 보통 고음용 스피커, 압축공기에 의한 고속기류(제트노이즈) 발생기, 고전압 스파크 방전 전극 등이 사용되지만 현실적으로 100 kHz 이상의 음을 일정하게 발생시키는 것은 어렵다. 따라서, 본 모형실험에서는 음원의 지향성, 발생 주파수 범위, 음원 크기와 형상 및 재현성 등을 고려하여 고전압 스파크 발생 음원(이하 스파크음원이라 함)을 사용하였다<sup>1)</sup>. 사진 1은 모형실험에 사용한 스파크 발생 전극과 스파크 발생장치를 나타낸다.

### 3.2 아파트 단지 모형

사진 2, 3은 아파트 단지의 모형을 나타낸다. 모형실험에는 파장이 짧은 고주파(최대 100 kHz) 음을 사용하기 때문에 각재와 합판을 사용하여 바닥면을 최대한 수평이 유지 되도록 제작 설치하였다. 또한 모형의 건물 벽체나 바닥 마감재는 실제 아파트 단지의 벽체나 바닥이 콘크리트나 아스팔트 포장(Flow resistivity : 20000 cgs/unit)의 음향적으로 매우 반사성이 강한 특성의 마감에 가까우므로 상사법칙을 고려하여 목재를 합판 위에 합성수지 제품인 Color Foamex(두께 5 mm)를 사용하였다.



사진 2 철도소음 예측 아파트단지의 축척모형

### 3.3 모형실험 및 분석방법

모형실험의 측정계통도를 그림 3에 나타낸다. 실험에 사용한 스파크음원은 점음원이라 할 수 있으나 철도나 도로교통 소음원은 여러 개의 음원이 연속적으로 주행하므로 선음원으로 가정할 수 있다. 따라서 그림 4, 6과 같이 철도선로와 고속도로를 등간격으로 나누어 각 구간 중앙에 실물환산 높이 1m(철도), 0.5m(자동차) 지점에 소음원이 있다고 가정하였다.



사진 3 도로소음 예측 아파트단지의 모형

각 측정점에 대한 음압레벨 측정방법은 측정구간의 음원점에 차례로 스파크음원을 이동시키며 하나의 수음점에서 각각의 음압레벨을 측정하였다. 즉, 음원통과시 하나의 수음점에서의 음압레벨은 각각의 음원점에 대하여 측정한 음압레벨을 합성하여 구하였다. 수음점  $Q_R$ 에서의 음압레벨  $P_R$ 은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$P_R = 10 \log_{10} \left( \sum_{R=1}^n 10^{P_{Rr}/10} \right) \quad (1)$$

$n$ : 음원수

또한 소음전파경로에 소음저감을 위하여 많이 사용되는 방음벽을 도로단과 선로단 등에 설치하여 방음벽 설치 유무에 따른 효과에 대하여 검토하였다.

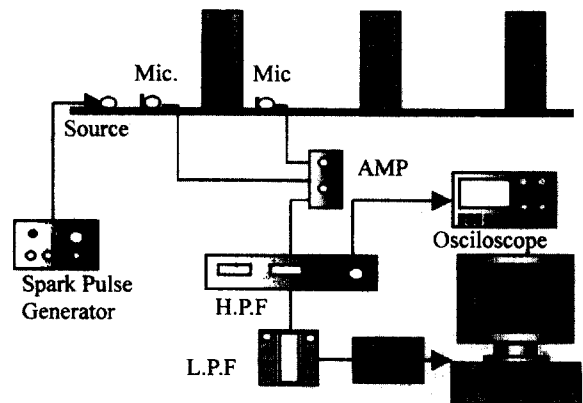


그림 3 모형실험 계통도

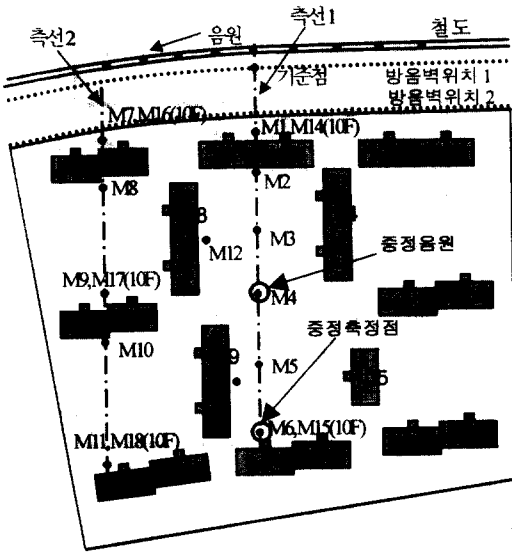


그림 4 철도소음 예측 아파트 (배치형태 A)

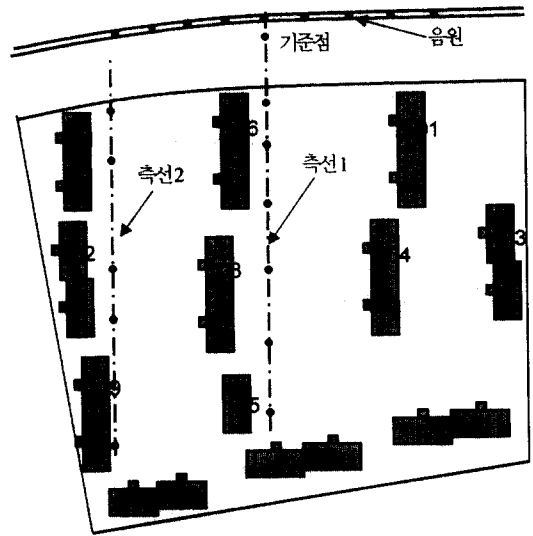


그림 5 철도소음 예측 아파트 (배치형태 B)

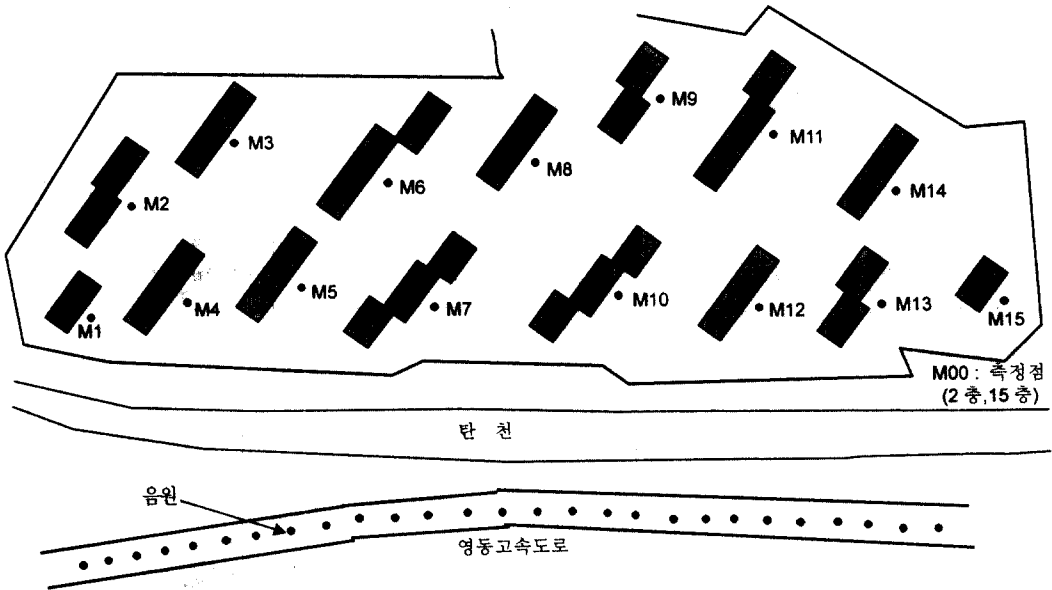


그림 6 고속도로소음 예측 아파트의 단지배치 및 음원점·측정점

측정은 1 옥타브밴드 중심주파수 6.3kHz ~ 100kHz (실물환산 63Hz ~ 1kHz)의 주파수범위에서 실시하였으며, 각 수음점에서의 측정값과 기준점(철도소음:근접선로 중심에서 거리 10m, 고속도로소음:도로단 가드레일 위)에서의 측정값과의 차를 계산하여 기준점으로부터의 1 옥타브밴드별 감쇠량을 산출하였다.

#### 4. 모형실험결과

##### 4.1 배치형태별 소음레벨 거리감쇠 특성

그림 4와 그림 5의 아파트 배치형태에 따른 A 특성 소음레벨의 거리감쇠 측정결과를 그림 7에 나타낸다. 이 결과를 보면 철도쪽 아파트가 선로와 평행한 배치형태 A인 경우가 선로에 수직인 배치형태 B에 비하여 소음 감쇠량이 크게

나타나 선로에 평행한 동배치가 단지내의 철도 소음 저감에 효과적인 것이 확인되었다. 특히 배치형태 A의 M2점 부분에서 그 효과가 가장 크게 나타났으며, 측선 2(M7~M11)의 결과와 같이 전달경로 중간에 수평으로 배치된 동이 있는 경우에는 그 배후의 소음 감쇠량이 더욱 커지는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 층별 음압레벨 변화

그림 4에서 철도측 건물 106동의 철도측 벽면 앞에서 층별 음압분포를 측정하였다. 측정은 2층 간격으로 실시하였으며 그 결과를 그림 8에 나타낸다. 이 결과를 보면 주파수에 따라 간섭위치가 다르기 때문에 일률적으로는 평가할 수 없으나, Over All(O.A)의 소음레벨 변화는 2층에 비하여 4층에서 10층 정도까지 소음레벨이 높게 나타났으며, 전체적으로는 층이 높아져도 10dB 이상의 감쇠는 나타나지 않았다.

또한 그림 5의 아파트 단지의 측정결과에서도 거의 비슷한 결과를 나타냈다.

#### 4.3 방음벽 설치에 따른 소음저감 효과

방음벽 설치 효과 및 설치 위치에 따른 소음저감 효과에 대하여 검토하였다. 그림 9는 그림 4의 아파트 단지에서 방음벽이 없는 경우의 음압레벨과 선로단(방음벽 위치 1) 또는 도로단(방음벽 위치 2)에 방음벽을 설치한 경우의 음압레벨 측정결과를 나타낸다. 측정점은 상기 4.2항과 동일하다.

검토결과 그림 4의 철로변에 방음벽(높이 : 실물환산 6m)을 설치한 경우 소음 감쇠량은 2층~6층에서 16 dB, 8층~10층에서 12dB~15dB, 12층~14층에서는 3 dB~8 dB로 나타났다. 반면 도로단에 방음벽을 설치한 경우는 아파트 2층 부분을 제외하면 방음벽을 설치하기 전의 결과와 비슷하게 나타났다.

이것은 철도소음을 효과적으로 차단하기 위해서는 방음벽의 위치를 가능한 한 철로쪽 가까이 설치하는 것이 효과적이라는 것을 의미한다.

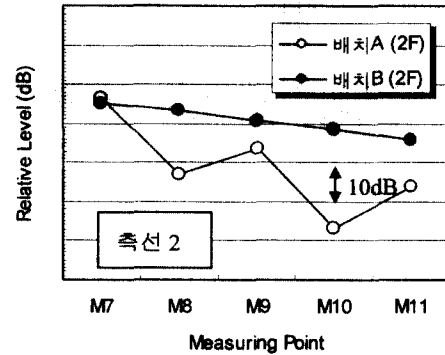
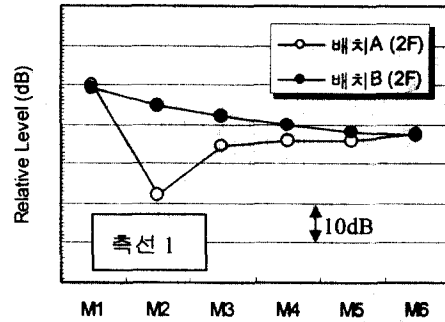


그림 7 소음레벨의 거리감쇠 특성

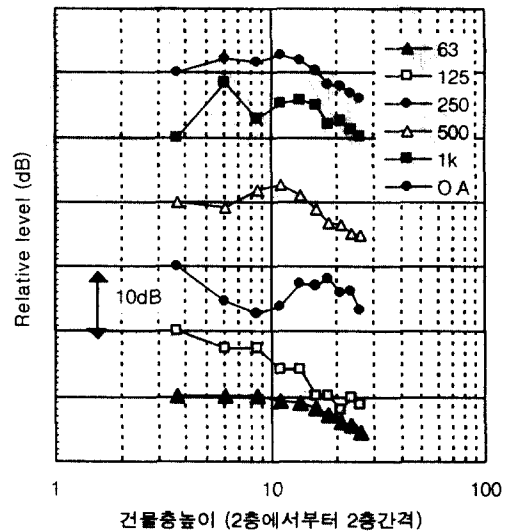


그림 8 층별 음압레벨 분포

또한 그림 5에서 고속도로에 면하고 있는 아파트의 측정점 M10(2층)에 대하여 방음벽(높이 : 실물환산 6m) 설치전후에 따른 자동차 소음

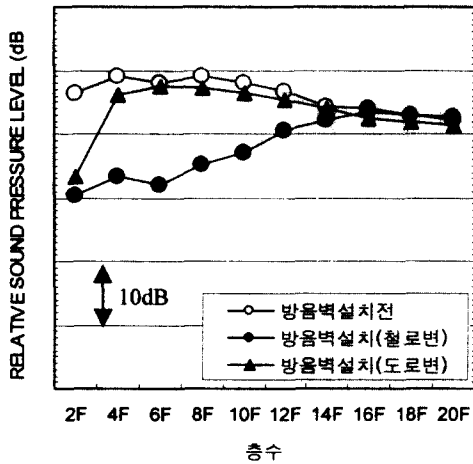


그림 9 방음벽 설치에 따른 감소량

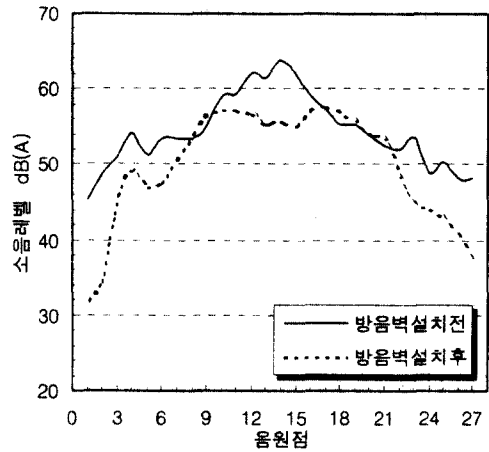


그림 10 도로소음의 유니트 패턴

레벨의 유니트 패턴을 비교하여 그림 10에 나타낸다. 방음벽 설치 후 유니트 패턴의 피크 부분이 없어지며 전체적으로 소음레벨이 낮아지는 결과를 나타내었으며 이동음원에 대한 방음벽의 효과를 시뮬레이션 할 수 있었다. 이 아파트단지의 각 동에서의 방음벽에 의한 감소량은 2층에서 12~23dB, 15층에서 12~20dB 정도로 나타났다.

#### 4.4 중정의 음향장애 검토

그림 4의 배치형태 A의 경우, 104동~109동에 의하여 단지 중앙에 중정 부분이 형성되게 된다. 이러한 경우에는 단지 내외부에서 발생한 음이 중정의 벽면과 바닥에서 다중 반사되어 공명현상을 일으키거나 음이 장시간 남게 되어 각 동의 음향환경을 악화시킬 수 있다.

이러한 음향문제를 효과적으로 검토하기 위하여 중정에 면한 벽체와 중정바닥에 대하여 흡음재 설치위치 및 설치면적을 변화시켜 중정 내의 음향특성을 조사하였다. 측정은 그림 4의 중정부분에 표시한 음원과 측정점에 대하여 실시하였다.

검토결과중 그림 11에 중정 내부의 아파트 벽면이나 바닥에 흡음처리를 전혀 하지 않은 경우와 중정바닥 전체를 흡음처리한 경우의 임펄스 응답 신호를 비교하여 나타낸 결과이다. 그림중의 원번호 ①~⑥은 반사음의 위치를

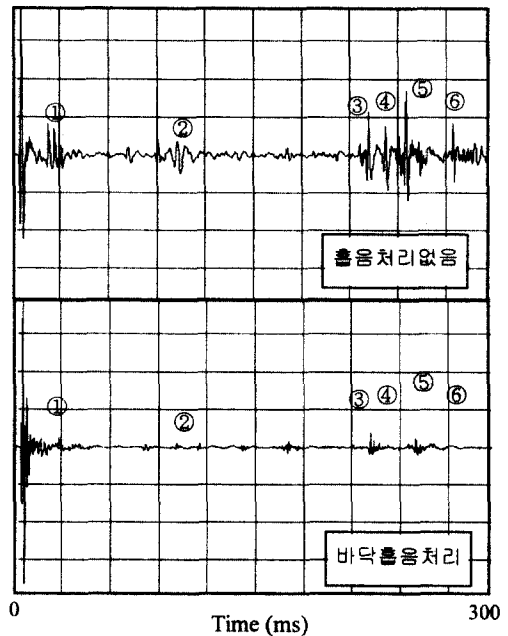


그림 11 흡음에 의한 중정 임펄스응답의 변화

나타내며, 바닥면을 흡음처리한 경우 반사음이 현저하게 작아지는 것을 알 수 있다.

모형실험을 통하여 중정 지상 부분에 대한 흡음처리 효과를 사전에 예측하여 잔디밭과 같은 정원면적을 제시함으로써 반사음에 의한 영향을 최소화 할 수 있음을 알았다.

#### 4.5 외벽 창호의 차음계획

철도 및 자동차의 소음측정결과(표 1)와 축적 모형 실험에서 얻은 각 동 위치별 감쇠량을 적용, 각 동 위치별 도달 소음레벨을 산출하여 창호의 차음설계에 대하여 검토하였다.

이 때에 실내(거실 혹은 침실)의 목표소음레벨은 기본적으로 NC 치를 적용, 동이나 위치에 관계없이 NC-35(표 2)를 목표로 하여 도달 소음레벨과의 차를 각 동 위치별 필요 차음량으로 하였다. 또한 창호는 두께 16mm의 복층유리를 사용하는 것으로 가정하고 해당 창호의 투과손실 데이터<sup>4)</sup>와 필요차음량과 비교하여 창호의 성능에 대하여 평가하였다.

검토대상 아파트 단지의 철도소음과 고속도로 소음의 도달 예측 소음레벨과 필요차음량, 창호의 성능평가에 대하여 표 3과 표 4에 나타낸다. 결과를 보면 동의 위치에 따라 사용 창호만으로는 목표소음레벨을 달성하지 못하는 것으로 나타났으며, 이러한 주호에 대해서는 창호 선택이나 창호설계 또는 실배치, 또는 방음벽 등의 적절한 계획·설계가 이루어져야 함을 알 수 있었다.

#### 5. 맺음말

이상의 결과는 철로변과 고속도로변의 특정 아파트단지의 소음저감을 위한 설계단계에서의 모형실험기술의 적용 가능성을 검토한 것으로서, 향후에는 결과의 타당성을 검증하기 위하여 아파트단지 완성 후 현장측정을 통하여 모형실험결과와 비교 검토 할 예정이다.

#### [참고문헌]

- 1) 주진수, 한국소음진동공학회지, 1999. 제 9 권 제 3 호
- 2) 최석주, 건축물의 소음·진동 현상 및 저감 대책 세미나, 1999. 한국소음진동공학회
- 3) 신영무 외, 소음진동학술대회, 2000.6
- 4) 판유리의 차음성능, 판유리 협회, 1988
- 5) 건물의 차음설계 자료, 일본건축학회 편, 1989.

표 1 설계에 적용할 소음레벨

구 분	주 과 수			
	125	250	500	1k
철도소음레벨	86.0	82.0	81.4	80.8
도로소음레벨	80.5	81.7	82.1	84.4

표 2 목표소음레벨 및 창호의 투과손실

구 분	주 과 수			
	125	250	500	1k
① 목표소음레벨 NC-35	52.0	45.0	40.	37.0
② 창호투과손실량 (FL4+A6+FL6)	23	23	25	37

FL: 판유리, A: 공기층

표 3 철도 도달소음레벨 및 차음계획 (그림 4)

구 분			주 과 수			
			125	250	500	1k
106 동	M1 2층	③도달 소음레벨	82.4	74.5	73.6	69.8
		③-① 필요차음량	30.4	29.5	33.6	32.8
		창호설계안	(FL4+A6+FL6) 성능미달			
108 동	M12 2층	④도달 소음레벨	64.6	58.6	55.4	47.9
		④-① 필요차음량	12.6	13.6	15.4	10.9
		창호설계안	(FL4+A6+FL6) 성능만족			

표 4 고속도로 도달소음레벨 및 차음계획

구 분			주 과 수			
			125	250	500	1k
10 동	M10 15층	⑤도달 소음레벨	71.3	71.7	68.5	72.2
		⑤-① 필요차음량	19.3	26.7	28.5	35.2
		창호설계안	(FL4+A6+FL6) 성능미달			
11 동	M11 2층	⑥도달 소음레벨	62.5	62.4	61.5	63.8
		⑥-① 필요차음량	10.5	17.4	21.5	26.8
		창호설계안	(FL4+A6+FL6) 성능만족			

본 모형실험은 삼설물산(주) 주택개발부문의 의뢰에 의하여 실시된 것으로 관계자 여러분께 감사 드립니다.