

공동주택의 실내소음 기준 및 측정

정재군 건재환경팀 책임연구원
공학박사 정정호 건재환경팀 연구원

1. 소음과 민원

2006년 환경부의 소음·진동 민원에 대한 통계 자료에 의하면 2001년 이후 소음·진동과 관련된 민원이 170% 이상 증가된 것으로 나타났다. 민원이 제기되는 주요 소음원으로는 도로교통소음, 철도소음, 항공기 소음, 건설소음, 동물울음소리를 포함하는 생활소음과 함께 실내에 발생하는 바닥충격음, 급배수 소음 등이 있다. 공동주택 등의 실내에서 발생하는 바닥충격음은 “건설교통부고시 제2006-435호「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준」에 따라 성능 규제 및 등급제도가 시행되고 있다. 가장 광범위한 소음피해를 유발하는 소음원으로는 도로교통과 철도이다. 도로 및 철도소음에 대한 규제는 소음진동규제법에 각각의 기준이 규정되어 있다. <표 1>의 도로교통소음에 대한 규제기준에 의하면 주거지역에서는 주간 68 dB(A), 야간 58dB(A)로 규제하고 있으나 서울 및 수도권권의 도심지역에서는 아래 규제기준을 만족시

키기 위하여 방음벽, 방음림 등의 방음시설물을 설치하고 있다. 최근 건설되는 공동주택은 30층 이상인 경우가 많아 이와 같은 경우 방음시설물을 설치하여도 모든 세대에서 도로교통소음 기준을 만족시키지 못하는 경우가 발생한다. 이와 같이 방음시설물 설치를 통해서도 도로교통소음 규제 기준을 만족하지 못하는 경우 최소한의 정온한 실내 생활을 영위할 수 있도록 하기 위한 대책이 요구된다.

<표 2>는 철도소음 규제 기준으로 주거지역의 경우 주간은 70 dB(A), 야간은 65 dB(A) 이상이 되지 않도록 규제하고 있으며, 2010년부터는 야간 기준이 강화되어 5 dB 낮은 60 dB(A)로 강화된다. 철도 소음의 경우와 같이 외부에서 발생하는 각종 소음에 대한 민원이 증가하고 정온한 환경에 대한 요구가 증가함에 따라 각종 환경 및 생활소음에 대한 규제 기준은 지속적으로 강화될 것으로 판단된다. 그러나 건축물의 초고층화에 따라 환경 및 생활소음 규제 기준을 만족하지 못시키지 못하는 경

<표 1> 도로교통소음 규제 기준

대상지역	구분	한도	
		주간(06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연호나경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지 경계선으로부터 50미터 이내 지역	소음 (L_{eq} , dB(A))	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 생산관리지역 및 관리지역 중 산업·유통개발진흥지구, 미고시지역	소음 (L_{eq} , dB(A))	73	63

〈표 2〉 철도소음 규제 기준

대상지역	구분	한도			
		2000년 1월 1일~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일부터	
		주간 (06:00~ 22:00)	야간 (22:00~ 06:00)	주간 (06:00~ 22:00)	야간 (22:00~ 06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의부지 경계선으로부터 50미터 이내 지역	소음 (L_{eq} , dB(A))	70	65	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 생산관리지역 및 관리지역 중 산업·유통개발진흥지구, 미고시지역	소음 (L_{eq} , dB(A))	75	70	75	65

우가 발생하고 있어 건축물 실내에서 정온한 환경을 조성하기 위한 방안이 요구되고 있다.

이를 위해 국토해양부에서는 2008년 1월 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제9조 제2항의 규정에 의한 공동주택 건설지점의 실외소음도와 실내소음도 측정기준을 마련하여 외부소음 규제기준을 만족시키기 위한 방안을 적극적으로 강구하도록 요구하고 있다. 또한 외부 소음 규제 기준을 실제 만족시키지 못하는 경우 실내로 전달되는 소음을 적정한 수준 이하로 유지하기 위한 기준 및 측정 방법을 마련하였다. 본 고에서는 2008년 1월부터 시행된 “공동주택의 소음 측정기준”에 대한 내용을 검토하고 이를 만족시키기 위해 필요한 창호의 차음성능 데이터를 정리하였다.

2. 공동주택 소음측정기준 개요

공동주택 소음 측정 기준의 주요 목표 및 내용은 도로에 인접한 공동주택이라도 창을 닫고 생활이 가능하도록 적정한 환기시설 및 온도조절장치가

설치된 경우에 1 ~ 5층은 도로교통소음 규제 기준인 65 dB(A)를 만족하도록 하고, 6층 이상의 세대에 대해서는 창호를 닫은 경우에서 실내소음도 기준 45 dB(A)를 만족하도록 하는 것이다. 이를 시행하기 위한 내용으로는 설계단계에서의 기준 만족 여부를 판단하기 위한 방법, 준공 단계에서 실내소음도 및 외부소음도를 측정, 평가하는 방법 등에 규정되어 있다.

공동주택 소음측정기준이 적용되는 범위는 도로, 철도 및 기타 소음발생시설에서 발생하는 소음을 대상으로 하며, 단지내 도로에서 발생하는 소음은 대상으로 하지 않는다. 〈표 3〉은 관련용어의 정의이다.

소음측정에 사용되는 소음계는 KS C 1502에 규정된 보통소음계 이상의 성능을 갖는 것으로 등가소음도 및 옥타브 밴드별 주파수 분석이 가능한 것을 사용한다. 일반적으로 환경부의 형식승인을 받은 정밀소음계를 사용하여야 하며 측정 전후 교정을 실시하며, 교정을 위한 표준음발생기에 대한 검교정도 주기적으로 실시하여야 한다.

소음 측정을 위해 소음계의 청감보정회로는 A특성으로 하여야 하며, 동특성은 Fast로 측정 한다.

〈표 3〉 소음측정 관련 용어 정의

용 어	정 의
등가소음도	임의의 측정시간동안 발생한 변동소음의 총 에너지를 같은 시간내의 정상소음의 에너지로 등가하여 얻어진 소음도
측정소음도	기준에서 정한 방법으로 측정하거나 예측한 등가소음도
외벽면	외기에 면해 창 또는 문이 배치되어 있는 벽면
청감보정회로 A특성	인체의 청감각을 주파수 보정특성에 따라 A회로를 통과해 계측하는 것
지시치	소음계나 기록지상에서 판독된 소음도(실효치)
배경소음	측정하고자 하는 소음 이외의 소음

〈표 4〉 소음 측정 시간 및횟수

구분	도로소음	철도소음
낮시간대 (06:00 ~ 22:00)	출근(07:00 ~ 09:00) 및 퇴근(17:00 ~ 20:00)를 포함하여 2시간 이상 간격으로 1회 5분간 4회 이상 등가소음도의 산술 평균	2시간 간격으로 1시간씩 2회 측정하여 산술평균
밤시간대 (22:00 ~ 06:00)	22:00 ~ 24:00의 시간대를 포함하여 2시간 이상 간격으로 1회 5분간 2회 이상 등가소음도의 산술평균	1회 1시간 동안 측정

측정당시 측정자에 의한 영향을 최소화하도록 삼각대에 소음계를 설치하여 측정하며 부득이하게 손으로 잡고 측정할 경우 측정자의 몸에서 0.5 m 이상 이격하여야 한다. 실외소음 측정시 풍속이 2 % 이상일 경우 방풍망을 사용하여야 하며, 5 % 이상의 풍속에서는 측정하지 않도록 한다. 또한 진동이 많은 장소나 전자장의 영향을 받는 장소에서는 방진 및 전자장 차폐 등 적절한 대책을 강구하여 측정하도록 규정되어 있다.

3. 소음도 예측

소음도 예측은 실외 및 실내소음도 예측으로 나누어 실시한다. 실외소음도 예측은 공동주택을 건설하는 지점의 도로 및 철도소음을 대상으로 한다. 또한 예측결과와 함께 실외소음도 측정결과를 함

께 관련기관에 제출하여야 한다. 개발예정지구, 도시계획예정도로 등 도로, 철도가 건설되지 않아 실측이 불가능한 경우는 예외로 한다. 예측단계에서의 소음 측정은 도로, 철도에 면하여 배치된 동의 외벽면에서 1 m 떨어지고 지면에서 1.2 ~ 1.5 m 높이를 기준으로 측정한다. 측정시간 및 횟수는 〈표 4〉와 같은 기준으로 하여야 한다. 또한 일주일중 소음 측정은 일일 교통량이 가장 많은 요일에 실시하며, 도로와 철도에서 동시에 소음의 영향을 받는 경우 도로소음을 기준으로 하여 측정한다.

소음 예측은 도로 또는 철도에 면하여 배치된 동의 외벽면에서 1 m 떨어진 지점에서의 실외소음도를 대상으로 하며, 바닥면으로부터 1.2 m 높이에서 전층에 대하여 예측한다. 실외소음도를 예측할 경우 교통량, 주행속도, 대형차 혼입율을 입력량으로 입력한다. 각각의 입력량은 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법시행령에서 규정에서

정하는 주거시설의 경우 시행령 제5조의 규정에 따라 분석된 데이터를 기준으로 한다. 교통영향평가를 실시하지 않은 경우는 교통관련 전문가 또는 신뢰성 있는 기관의 자문을 구하여 입력하여야 한다. 외부소음예측을 위한 모델링의 경우 도로, 철도의 경사도, 도로폭, 차선수, 노면상태 등 도로 또는 철도의 상태를 실제조건으로 입력하여야 한다. 도로 및 철도의 입력 길이는 도로변 또는 철도변에 면한 해당 공동주택 건설지점의 양쪽 끝 부분에서 도로 중심선 또는 철도 중심선과 공동주택 건설지점까지의 수평이격거리의 4배 이상으로 한다. 소음예측을 위한 건물과 지형 모델링은 도로 및 철도를 중심으로 공동주택 건설지점내의 건물과 주변 건물의 실제적인 배치상태(높이, 길이 등) 및 지형상태를 그대로 반영하여야 한다. 이때 공동주택 건설지점 내의 건물은 모두 입력하고, 수평 이격거리 4배 이상에 포함되는 주변 건물은 최소 2열 이상까지 입력하도록 규정하고 있다.

이와 같은 과정을 통해 예측된 외부소음도는 5층 이하의 경우 해당 동의 1층과 5층의 실외예측소음도가 법적기준이 65 dB(A)를 만족하는지를 평가한다. 그리고 6층 이상의 경우 예측위치별로 각각의 실외소음도로 법적 기준에 만족하는지 여부를 판단한다. 이와 같은 외부소음예측을 위한 프로그램에는 여러 가지 프로그램이 상용되고 있다. 대표적인 외부소음 예측 프로그램으로는 ENPro, Soundplan, Lima, Mithra, Cadna 등이 있다. [그림 1]은 각각의 예측 프로그램에 대한 예측 결과 예를 나타낸 것이다.

실외소음도 예측결과를 바탕으로 실내소음도를 예측한다. 세대내 실내소음 예측은 도로, 철도에 면하여 배치된 모든 실을 대상으로 한다. 또한 실내소음은 발코니로서 외부에 면하는 창호를 포함

하여 예측한다. 실내소음도 예측은 다음순서로 예측한다.

- ① 실외소음도 결정
- ② 창호의 음향감쇠계수 값 보정
- ③ 실외소음도와 창호의 음향감쇠계수 값과의 차이 산출
- ④ 실내흡음력을 보정
- ⑤ 각 옥타브 밴드별 소음도를 합성하여 실내소음도 산출

실내소음 예측을 위한 실외소음도의 적용은 1/1 옥타브밴드별 소음도를 적용한다. 1/1 옥타브밴드별 소음도를 적용하지 않고 외부소음도 대표값을 적용하는 경우는 층별 실외소음도 중에서 가장 높은 소음도의 옥타브밴드별 소음도를 적용한다. 실내소음도 예측에서 중요한 부분인 창호의 음향감쇠계수는 KS F 2808에 따라 실험실에서 측정된 값에 현장 적용시 차음성능 저하정도를 고려하여 보정된 음향 감쇠계수를 적용한다. 향후 창호의 음향감쇠계수 적용시 어느 정도의 보정치를 입력하는 것이 적절한지에 대한 고찰 및 참고자료가 수립되어야 할 것이다.

실내소음도를 예측할 경우 거실 및 방의 음장상태에 따라 음압레벨이 다소 차이가 발생된다. 이를 합리적으로 보정하기 위한 방법으로 실내의 흡음력을 보정하며 보정방법으로는 실내의 흡음력(A)과 창호를 포함한 외벽의 면적(S)에서 아래 식을 사용하여 흡음력을 산출하여 <표 5>의 표준잔향시간

<표 5> 흡음력 보정항 계산을위한 표준잔향시간

주파수[Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
잔향시간[s]	1.1	1.1	1.3	1.3	1.0	0.8

간을 고려하여 보정한다.

$$3-10\log\left(\frac{A}{B}\right) \quad (\text{식 } - 1)$$

여기서, A : 흡음력 [m²] (A=0.16($\frac{V}{T}$))

V : 공간의 체적 [m³]

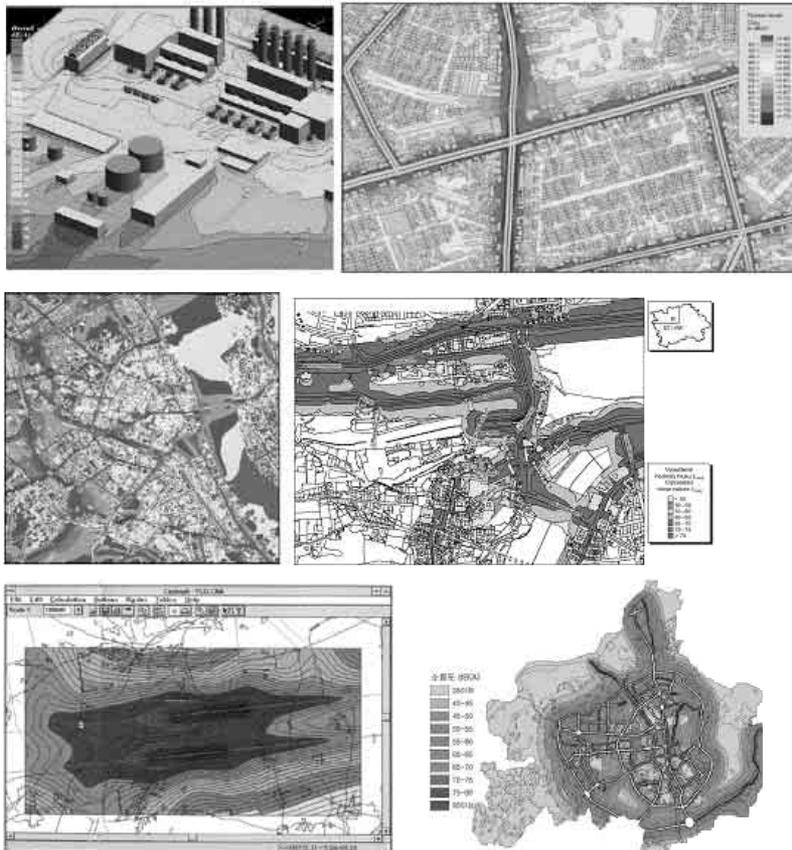
T : 잔향시간 [s]

S : 창호를 포함한 외벽의 면적 [m²]

실내흡음력을 보정하여 각 옥타브 밴드별 소음도를 합성하여 합성실내소음도를 산출하는데 이는 <표 6>과 같이 한다.

<표 6> 실내소음도 계산 예

순서	검토항목	주파수[Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
①	실외소음도 결정	52	55	58	60	63	50
②	창호의 음향 감쇠계수	20	23	25	27	30	33
③	①-②	32	32	33	33	33	17
④	실내흡음력 보정	5	5	6	6	5	4
⑤	실내소음도	37	37	39	39	38	31
합성 실내소음도		45 dB(A)					



<그림 1> 외부소음예측 프로그램의 결과물 예

이와 같은 과정을 통해 최종 산출된 도로 및 철도에 면하여 배치된 실의 각각에 대한 합성실내소음도로 법적 기준 적합 여부를 판단한다.

4. 소음도 측정

소음도의 측정도 소음도 예측의 경우와 같이 실외소음도 및 실내소음도로 나누어 측정한다. 실외소음도 측정은 도로 또는 철도에 가장 근접하여 배치된 동의 외벽면에서 1 m 떨어진 지점에서 측정한다. 다수의 동의 도로나 철도에서 동일한 거리에 배치된 경우는 중앙에 배치된 동에서 측정한다. 공동주택의 층수에 따라 측정개소가 다른데, 5층 이하의 층에 대해서는 1층(필로티 포함)과 5층의 바닥에서 1.2 ~ 1.5 m 높이에서 동시에 측정한다. 6층 이상의 층의 경우 실외소음도를 예측한 층 가운데서 소음도가 가장 높게 예측된 층을 포함하여 상하 격층으로 1개 층씩 총 3개 층의 바닥면에서 1.2 ~ 1.5 m 높이에서 동시에 측정하여야 한다. [그림 2]는 위의 설명에 따른 측정지점을 나타낸 것이다.



[그림 2] 실외소음도 측정 개요도

도로 및 철도소음 측정 시간 및 횟수도 소음예측을 위한 측정의 경우에서와 같이 <표 2>와 같은 동일한 기준을 적용하여 측정한다. 철도소음은 샘플 주기를 1초 내외로 설정하고, 1시간 동안 연속 측정하여 자동 연산·기록한 등가소음도를 측정소음도로 한다. 배경소음과 측정 최고 소음의 차이가 10 dB 이하인 경우와 배경소음이 상당히 크다고 판단되는 경우 열차 통과시의 최고 소음도를 측정하여 열차 종류에 따라 아래 식으로 계산하여 추정한다.

▷경부, 호남선 등 복선구간

$$L_{eq} = \overline{L_{max}} + 10 \log \left(\frac{2.4n}{T} \right) - 10.3 \log r_a \text{ [dB(A)]}$$

▷경부선 복복선구간(서울 ~ 구로)

$$L_{eq} = \overline{L_{max}} + 10 \log \left(\frac{5n}{T} \right) - 10.3 \log r_a \text{ [dB(A)]}$$

▷중앙, 태백, 영동선 등 단선구간

$$L_{eq} = \overline{L_{max}} + 10 \log \left(\frac{8n}{T} \right) - 10.3 \log r_a \text{ [dB(A)]}$$

▷전철

$$L_{eq} = \overline{L_{max}} + 10 \log \left(\frac{6n}{T} \right) - 10.3 \log r_a \text{ [dB(A)]}$$

▷고속철도

$$L_{eq} = \overline{L_{max}} + 10 \log \left[n \frac{(1.5d + \ell)}{v} \right] - 30 \text{ [dB(A)]}$$

여기서, $\overline{L_{max}}$: 열차 개별 통과시의 파워 평균치

n: T시간 동안의 열차 통과대수 [대]

T: 관심대상 시간 [s]

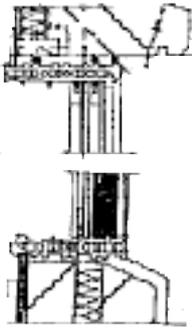
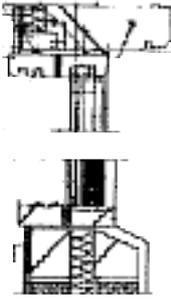
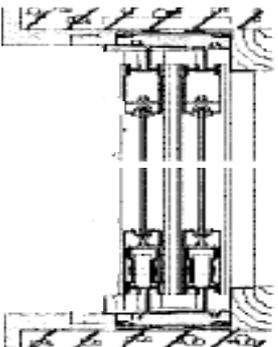
d: 선로 중앙으로부터의 거리 [m]

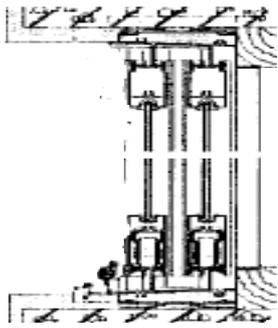
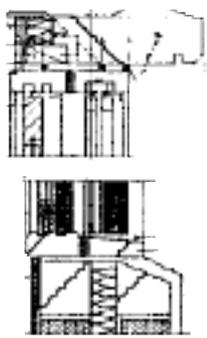
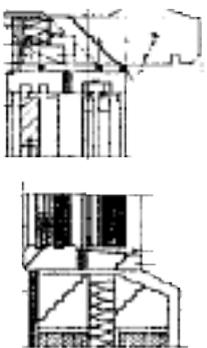
ℓ: 평균 열차 길이 [m]

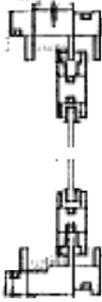
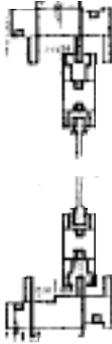
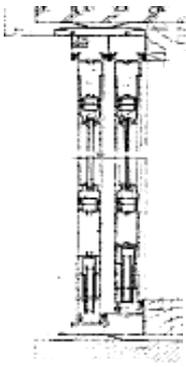
v: 열차 통과 속도 [km/h]

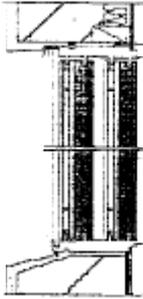
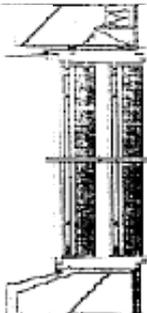
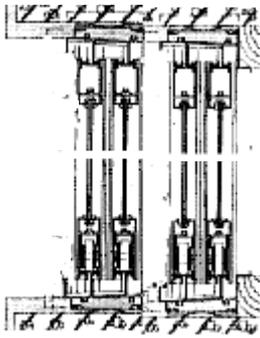
r_a : 가장 가까운 레일의 중앙에서 측정지점까지의 거리에 대한 가장 가까운 레일의 중앙에서 예측지점까지의 거리비

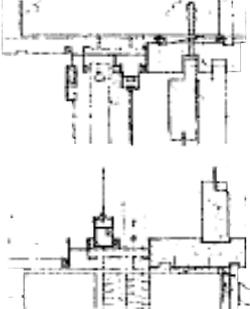
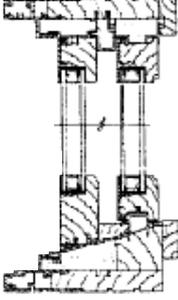
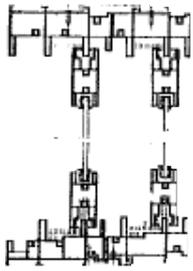
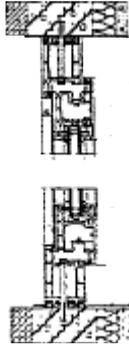
〈표 7〉 창호별 차음성능

차음량	창호구조형태	차음구조형태	유리두께
18-19 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 합성수지 창틀 : 세라멘트, 콘크리트	3 mm
17 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알루미늄 창틀 : 세라멘트, 콘크리트	3 mm
17 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 목재 창틀 : 세라멘트, 콘크리트	3 mm
23dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알루미늄 창틀 : 알루미늄	5 mm

차음량	창호구조형태	차음구조형태	유리두께
24 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알루미늄 창틀 : 알루미늄	(5+A6+5) mm
25 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알루미늄 창틀 : 알루미늄	(3+A6+3) mm
24 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 합성수지+목재 창틀 : 세라멘트, 콘크리트	3+3 mm
22dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 알루미늄+목재 창틀 : 세라멘트, 콘크리트	3+3 mm

차음량	창호구조형태	차음구조형태	유리두께
25 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 합성수지 창틀 : 합성수지	3 mm
27 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 합성수지 창틀 : 합성수지	5 mm 또는 8 mm
28 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 합성수지 창틀 : 합성수지	(5+A6+5) mm 또는 (5+A6+8) mm
28.6 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알미늄 창틀 : 알미늄	5 mm

차음량	창호구조형태	차음구조형태	유리두께
29.4 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 알미늄 창틀 : 알미늄	(5+A6+5) mm
28 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 합성수지+합성수지 창틀 : 합성수지	3+3 mm
30 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 합성수지+합성수지 창틀 : 합성수지	(3+A6+3) mm
31 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 알미늄+알미늄 창틀 : 알미늄	(5+A6+5)+5 mm

차음량	창호구조형태	차음구조형태	유리두께
32 dB		창호종류 : 이중창 창짝 : 알루미늄+목재 창틀 : 알루미늄+목재	$(3+A6+3)+3$ mm
33 dB		창호종류 : 단창 창짝 : 목재 창틀 : 목재	$(3+A12+3)$ mm
	창호종류 : 이중창 창짝 : 합성수지+합성수지 창틀 : 합성수지	차음량 : 37dB / 유리두께 : 3+3 mm	
		차음량 : 38dB / 유리두께 : 5+3 mm	
		차음량 : 39dB / 유리두께 : 5+5 mm	
		차음량 : 39dB / 유리두께 : 8+8 mm	
		차음량 : 40dB / 유리두께 : $(5+A6+5)+(5+A6+8)$ mm	
		차음량 : 40dB / 유리두께 : $(5+A6+5)+(5+A6+8)$ mm	
	창호종류 : 단창 창짝 : 합성수지 창틀 : 합성수지	차음량 : 37dB / 유리두께 : $(6+A6+6)$ mm	
		차음량 : 38dB / 유리두께 : $(5+A12+5)$ mm	
		차음량 : 39dB / 유리두께 : $(8+A12+8)$ mm	

측정결과 5층 이하의 층에 대해서는 낮시간대, 밤시간대 각각 해당 동의 1층과 5층의 실외소음도 측정값을 산술평균하여 법적 기준 만족여부를 판단한다. 6층 이상 층의 실외소음도가 법적 기준을 상회하는 경우 실내소음도 기준을 만족시켜야 하며 사용검사 단계에서 이에 대한 측정을 수행하여야 한다.

실내소음도 측정은 도로 또는 철도에 면하여 배치된 동에 대한 실내소음도 예측결과 가장 높은 값을 갖는 층을 포함하여 상하 격층으로 1개층씩 총 3개층에 대하여 동시에 실내소음도를 측정한다. 다수의 세대가 도로 또는 철도로부터 동일한 거리로 떨어져 있는 경우 중간부위에 배치되어 있는 세대에서 측정한다. 실내소음도 측정시 실내에서의 측정점을 선정할 때 거실의 도로 또는 철도에 면한 창호 등의 개구부에서 1 m 떨어진 3개 이상의 측정점에서 동시에 측정한다. 마이크론의 높이는 1.2 ~ 1.5 m로 하고 마이크론 간의 거리는 균등하게 분포시킨다. 도로 또는 철도에 면한 실이 침실일 경우 실내에 고르게 분포하는 4개 이상의 측정점을 선정하여 동시에 측정하되 벽 등으로부터 0.5 m, 마이크론 사이는 0.7 m 이상 이격한다. 또한 도로 및 철도에 면한 실이 다수일 경우 창호 면적이 가장 큰 실을 대상으로 한다. 실내소음도 측정에 대한 측정시간 및 횟수도 <표 4>의 기준에 따라 실시한다.

5. 고찰

2008년부터 공동주택 소음측정기준이 시행됨에 따라 공동주택에서의 정온한 환경 구현에 도움이 될 것으로 판단된다. 과거의 경우 고층부 세대의

경우 방음시설물 설치에 의한 소음감소 효과에 의한 수혜가 미미하였으나, 실내소음 규제 기준이 만들어짐에 따라 실내에서 최소한의 정온한 환경 구현이 가능하게 되었다. 또한 합리적인 소음 예측 및 측정, 평가가 활성화되어 관련 민원 및 분쟁이 합리적으로 해결될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 고층부 세대의 실내소음 법적 기준을 만족시키기 위해서는 고차음 창호를 적용하는 등의 방안이 필요하다. 따라서 창호의 선정을 위해서는 창호에 대한 음향감쇠계수 성능과 함께 실험실 측정결과와 현장에서의 성능 차이에 대한 적절한 보정치를 어떻게 고려하여야 하는지가 중요한 부분이다. 각종 창호의 음향감쇠계수에 대한 자료가 충분하지 않으며 특히 실험실과 현장에서의 성능차이에 대한 확인 및 연구가 필요하다. <표 7>은 과거 대한주택공사의 연구결과(실험실 측정)에서 정리한 각종 창호의 차음성능 결과를 정리한 것이다.

FILK

6. 참고문헌

- 1) 건설교통부고시 제2006-435호「공동주택 바닥 충격음 차단구조인정 및 관리기준」
- 2) 한국공항공단, “주택 방음시설 설치효과 측정 분석”, 1996.
- 3) 대한주택공사, “외부 창호의 차음설계에 관한 연구”, 1992.
- 4) 오진우, 장서일, 이기정, 2004, “국내의 소음지도 제작과 활용에 관한 연구”, Journal of the Institute of Industrial Technology, Vol. 12, pp.127~135.