

## 창호의 차음성능에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on Transmission Loss of Window

°이 성 호\*, 정 갑 철\*\*

°H. S. LEE, G. C. Jeong

#### ABSTRACT

This study considered the transmission loss and frequency characteristics of window, and examined the transmission loss for each type of windows to design an optimized window for blocking external noise. Moreover this has detect the transmission loss which depending on the thickness and the types(single and fair glass) of window as several major factors of transmission loss design. With this result, this study suggests a window design guide for much silent condition which is below the level of noise standard recommended.

#### 1. 서 론

근래에 도시의 성장과 도시의 산업화에 따라 국토의 개발과 고밀도화가 가속화되면서 생활환경은 각종 공해에 직접적으로 노출되기 시작하였다. 그러한 공해 중에서 쾌적한 생활환경에 결정적인 영향을 미치는 것 중의 하나가 바로 소음이다.

소음의 발생원으로는 공장에서 발생하는 소음, 건설작업현장에서 발생하는 소음, 자동차, 항공기, 기차, 지하철 등의 교통소음, 선전이나 전화벨, 악기, 시장 등에서 발생하는 생활소음으로 나눌 수 있다. 특히 외부 교통소음이 높은 곳에서는 외벽의 차음성능을 향상시키는 물론이고 창호의 차음성능 향상 및 새로운 환기설비까지 별도로 설치하여 쾌적한 실내환경을 이루게 하고 있다.

본 논문에서는 외부소음 차단을 위한 최적의 창호를 설계하기 위해 각종 창호의 차음성능과 주파수특성을 고려하고, 창호별 차음성능을 평가하였다. 또한 창호에서 차음설계에 중요한 요소인 유리창의 두께, 유리창의 종류(단층유리, 복층유리)의 변화에 따른 차음성능을 확인하였으며 이를 바탕으로 외부소음을 적절하게 차단하여 실내를 기준치 이하의 정온한 환경으로 만들 수 있는 창호의 설계방향을 제시하려 한다.

#### 2. 창호의 차음설계 기준치

대한주택공사의 1992년 연구에 의하면 서울시내의 평균 외부소음도는 표 1과 같다. 일부 지역마다 다소 차이는 있겠지만 평균적으로 75~80 dB(A)정도의 소음이 발생하는 것을 알 수 있다.

표 2는 일본의 실내소음에 관한 건물, 용도별 적용 등급을 나타낸 것이다.

\* (주)대우건설 기술연구소 주임연구원

\*\* (주)대우건설 기술연구소 책임연구원

**Table 1** 서울시내의 외부소음도

위 치	소음도(dB(A))
일반도로변	75이상
간선도로변	80이상
철도소음	75~85

**Table 2** 실내소음의 적용등급

건축물	소음등급			소음레벨[dB(A)]		
	특 급	1 급	2 급	특 급	1 급	2 급
공동주택 (거실)	N-25	N-30	N-35	30	35	40
사무소 (사무실)	N-35	N-40	N-45	40	45	50
단독주택 (침실)	N-25	N-30	N-35	30	35	40

창호의 설계기준은 상기의 표에 따라 실내 소음도를 40dB(A) 미만이 되도록 하여야 하기 때문에 차단되어야 하는 소음량은 “외부소음레벨 - 실내소음레벨”로 계산하면 표 3과 같이 될 것이다.

**Table 3** 창호의 차음설계 목표치

구 분	외부소음 (dB(A))	설계목표치 (dB(A))	비 고
도로 소음	80	40	6차선이상의 아주 시끄러운 지역
	75	35	
	70	30	
철도 소음	85	45	철도의 운행횟수가 많은 지역
	80	40	약 50m 떨어진 지역
	75	35	방음효과가 있는 저층부

**3. 창호의 차음성능 특성**

창호의 차음 성능에 영향을 미치는 요인에는 창호 자체의 일치 효과 및 공진 현상, 기밀성(틈), 면적, 주변 조건 등이 있다. 창문의 차음 성능에 영향을 미치는 주 요인으로서는 다음을 들 수 있다.

(1) 일치 효과 (coincidence effect)

질량 법칙은 창유리가 피스톤 운동을 한다는 가정하에 성립하는 법칙이지만 실제의 유리는 굴곡 진동하기 때문에 유리 자체의 내부 감쇠가 적어져 음향 투과 손실은 질량 법칙에 의한 값보다 저하된다. 즉 유리의 차음 성능은 이론적으로 질량 법칙에 의해 구할 수 있으나 실제로는 질량 뿐만 아니라 강성 및 내부 저항을 고려하지 않으면 안 된다. 창유리에 파장 λ의 평면파가 입사각 θ로 입사하면 창유리면에는 음압의 강약에 의해 강제 굴곡 진동이 발생하고 그 파장은 λ/sinθ가 된다. 한편 창유리가 자유 굴곡 진동을 하는 경우에 굴곡파의 파장을 λ'로 하면, λ < λ'인 주파수 대역에서는 어떤 입사각 θ<sub>0</sub>로 창 유리에 입사된 입사 음파의 파장(강제 굴곡진동의 파장) λ/sinθ<sub>0</sub>가 λ'와 같게 된다. 이 때 이 주파수에서는 창유리가 쉽게 진동하여 음향 투과손실이 현저하게 저하된다. 이와 같은 현상을 일치효과(coincidence effect)라고 하며, 이는 다음 식과 같이 되는 주파수 또는 입사각에서 발생한다.

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sin \theta} \quad , \quad c' = \frac{c}{\sin \theta}$$

- 여기서, λ : 입사파의 파장 [m]
- λ' : 창유리의 굴곡파 파장 [m]
- c' : 창유리의 굴곡파 속도 [m/s]
- c : 공기 중의 음속 [m/s]
- θ : 평면음파의 입사각

일치효과가 발생하는 주파수를 일치주파수 또는 코인시던스(coincidence) 주파수라고 하고, 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$f = \frac{c^2}{2\pi \cdot d \cdot \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\sigma^2)}{E}}$$

- 여기서, f : 일치 주파수 [(Hz)]
- d : 유리의 두께 [m]
- ρ : 유리의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]
- c : 공기 중의 음속 [m/s]
- σ : 포아손 비
- E : 영율 [kg/m<sup>2</sup>]

$\theta=90^\circ$  인 경우 최저 주파수가 되며, 이 때의 주파수  $f_c$ 를 코인시던스 한계 주파수라고 하고, 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi \cdot d} \sqrt{\frac{12\rho}{E}} \approx \frac{c^2}{1.8 \cdot d \cdot c_L}$$

여기서,  $c_L$  : 유리내의 음속 [m/s]

## (2) 공진 현상(resonance)

창은 유한한 면적과 지지 조건 등 여러 가지 경계 조건을 갖고 있으므로 저주파수 대역인 기본 공진 주파수에서 판 진동을 일으켜 투과 손실이 저하한다. 주변을 지지하는 장방형 단창의 기본 공진 주파수는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$f_r = 0.45 \times v_1 \times b \left\{ \left( \frac{1}{\ell} \right)^2 + \left( \frac{1}{h} \right)^2 \right\}$$

여기서,  $b$  : 창 의 두께 [m]

$\ell$  : 창 의 길이 [m]

$h$  : 창 의 높이 [m]

$v_1$  : 유리내 종파의 속도 [m/s]

## 4. 창호의 차음성능 측정 및 결과

### 4.1 차음성능 평가방법

창호의 차음성능을 평가하기 위한 방법으로 2001년에 개정된 한국산업규격 “건물 및 건물부재의 공기전달음 차음성능 평가방법”에 따라 평가하였다. 이 규격은 1996년에 발행된 ISO 717-1 : 1996, Acoustics- Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1 : Airborne sound insulation을 기초로 하여 작성한 한국산업규격이다. 이 규격안을 간단히 언급하면 다음과 같다.

#### (1) 적용범위

a) 벽, 바닥, 문, 창호와 같은 건물 부재와 건물에서의 공기 전달음의 차단성능에 관한 단일수치 평가량(single-number quantities)을 정의하고,

b) 건물내부의 소음이나 실외 교통소음과 같은 각종 소음원의 스펙트럼의 차이를 고려하여 단일수치 평가량에 부가할 조정항을 정의하며,

c) KS F 2808, KS F 2809, KS F 2235, ISO 140-9, ISO 140-10에 따라 옥타브밴드 또는 1/3옥타브밴드로 측정된 결과로부터 상기의 평가량 및 조정항의 값을 결정하는 방법에 대하여 규정한다.

이 규격에서 정한 단일수치 평가량은 건물 및 건물부재의 공기음 차단성능을 단일수치로 나타낼 수 있으며, 각종 건축관련 법규정에서의 음향적 요건규정을 단순화 할 수 있다. 단일수치 평가량의 규정치는 각각의 목적에 따라 필요한 수준으로 규정한다.

이 규격에서 정한 단일수치 평가량은 1/3옥타브밴드나 옥타브밴드의 측정 결과로부터 구한다. 단, KS F 2808, ISO 140-9, ISO 140-10에 따른 실험실 측정에 대해서는 단일수치 평가량을 1/3옥타브밴드 측정결과로부터 구한다.

#### (2) 단일수치 평가량 산출방법

KS F 2808, KS F 2809, KS F 2235, ISO140-9 및 ISO140-10에 따라 측정된 결과를 평가하는 방법은 다음에 따른다.

a) 1/3 옥타브밴드(100~3150 Hz) 측정의 경우에는 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 대응하는 기준곡선을 1 dB 단위로 상하 이동시켜, 16개의 1/3옥타브밴드에 대해 기준곡선의 값을 하회하는 값의 총합이 32.0 dB를 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준곡선을 위로 이동시킨다.

b) 1/1옥타브밴드(125~2000 Hz) 측정의 경우에는 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 대응하는 기준곡선을 1 dB 단위로 상하 이동시켜, 5개의 1/1옥타브밴드에 대해 기준곡선의 값을 하회하는 값의 총합이 10.0 dB를 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준곡선을 위로 이동시킨다.

c) 이상의 순서로 수직이동 시킨 결과에서 기준곡선 중 500 Hz에서의 dB값을 단일수치 평가량의 값으로 한다.

### 4.2 창호의 차음성능 측정

창호의 차음성능 측정은 KS F 2808 “실험실에서 음향투과손실 측정방법”에 준하여 두 개의 잔향실 사이에 해당 시료를 설치한 상태에서 각 실의 평균음압레벨 및 수음실의 흡음률을 측정하

고, 이를 토대로 시료의 음향투과손실을 산출하였다.

(1) 측정환경

음원실로 사용된 제 2잔향실의 용적은 249m<sup>3</sup>이며, 수음실로 사용된 제 1잔향실의 용적은 325m<sup>3</sup>이다. 시료는 두 실사이의 개구부에 1500 x 1800 mm의 크기로 설치되었으며, 백색잡음(white noise)이 음원으로 사용되었다. 표 4는 대우건설기술연구소 잔향실의 제원을 나타내며, 그림 1은 측정장치의 구성도를 나타낸다.

Table 4 잔향실의 제원

	제 1잔향실	제 2잔향실
체적	325 m <sup>3</sup>	249 m <sup>3</sup>
바닥면적	64.2 m <sup>2</sup>	43.7 m <sup>2</sup>
차단주파수	80 Hz	100 Hz
암소음	20 dB(A) 이하	20 dB(A) 이하
표준편차	±1.5dB/100 Hz	±1.5dB/100 Hz

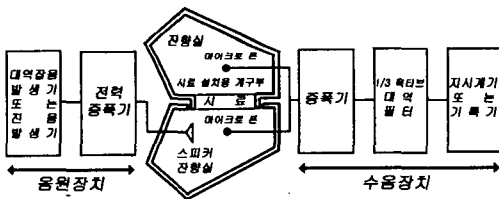


그림 1. 측정장치의 구성도

(2) 측정방법 및 내용

시험체틀(유효개구부 가로 1.8m X 세로 1.5m, 2.7 m<sup>2</sup>)에 창호를 종방향으로 설치한 후 시험체와 시험체틀간 틈새는 실리콘으로 밀실 처리하였다. 측정주파수는 125 ~ 4000 Hz 까지 1/3 옥타브밴드 중심주파수로 음원실과 수음실 각각 5개 지점에서 평균음압레벨을 측정하고 측정회수는 3회씩 측정하였다.



그림 2. 창호의 설치모습

4.2 측정결과

창호의 차음성능에 중요한 요소인 유리창의 두께, 유리창의 종류(단층유리, 복층유리)의 변화에 따른 차음 성능을 확인하였다. 측정대상 창호의 종류는 다음과 같다.

- 단층유리 : 3, 5, 8, 10 mm
- 일반 복층유리 :  
16mm(5+6A+5), 24mm(6+12A+6)
- 이형 복층유리 :  
14mm(3+6A+5), 17mm(3+6A+8)

(1) 단층유리의 차음성능 비교

유리두께별 차음성능은 표 5와 같으며 유리의 두께가 두꺼울수록 차음성능이 높아지는 것으로 나타났다.

Table 5 단층유리의 차음성능 비교

창의 종류	창호의 구성		차음 성능 (dB)
	창틀의 재질	유리의 종류	
단층유리	알루미늄	3 mm	29
	알루미늄	5 mm	29
	알루미늄	8 mm	30
	알루미늄	10 mm	31

그림 3은 단층유리의 두께별 투과손실을 기준곡선에 그려 넣은 것이다. 그림에서 보는바와 같이 단층 유리에서의 투과손실값의 변화구간을 들로

나눌 수 있다. 첫 번째 구간은 125~800(Hz) 주파수 대역으로 기울기가 완만한 증가형의 그래프를 나타내고 있다. 이 구간에서 TL값이 떨어지는 이유는 공진 효과(Resonance)로 인한 것이고, 본 실험 data 상으로 3mm와 5mm 단층 유리의 공진주파수가 125~250(Hz)부근인 것으로 나타났다.

두 번째로 3mm에서의 TL값을 보면, 계속 증가하다가 4000(Hz) 주파수 대역에서 급격하게 떨어지고 있으며, 5mm에서는 1250~4000(Hz)의 주파수 대역에서 그 현상이 나타나는데, 이것은 일치 효과(coincidence effect)로 인한 것이라 할 수 있다. 대체적으로 두께별 그래프들의 개형을 일치하였다.

공진과 일치주파수를 제외한 250~1250(Hz) 사이는 5mm 유리의 차음성능이 4dB 정도 우수하여 질량의 법칙이 잘 맞고 있음을 알 수 있다.

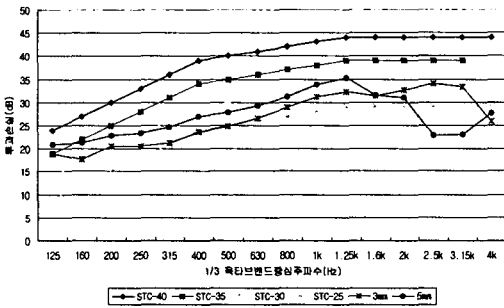


그림 3. 단층유리의 투과손실

(2) 복층유리의 차음성능 비교

일반 복층유리와 이형 복층유리와의 차음성능을 비교하기 위한 측정결과는 표 6과 같다.

Table 6 복층유리의 차음성능 비교

구분		창호의 구성		차음성능 (dB)
창의 종류		창틀의 재질	유리의 종류	
복층유리	이형	알루미늄	3+6A+5mm	31
			3+6A+8mm	33
	일반	알루미늄	5+6A+5mm	30
			6+12A+6mm	31

그림 4는 복층유리의 형태별, 두께별 투과손실을 기준곡선에 그려 넣은 것이다. 그림에서 보는바와

같이 일반(14mm, 17mm)과 이형(16mm, 24mm) 모두 125~250(Hz)부근에서 공진 현상으로 인해 TL값의 감소가 약하게 나타나고 있으며, 이형복층에서는 125~160(Hz)에서의 TL값은 거의 변화가 없으나 160~200(Hz), 800~1250(Hz) 부근의 주파수 대역에서 급격한 증가의 개형을 하고 있음을 볼 수 있다. 일치 효과가 발생하는 대역은 일치하지 않으나 대체적으로 1250~4000(Hz)의 대역에서 나타나며 급격한 성능 저하는 보이고 있지 않다. 반면 일반복층형은 상당히 다른 양상을 보이고 있는데 125~160(Hz)의 대역에서의 형태는 같으나 TL값의 증가형태가 200~1000(Hz)의 대역에서 완만한 S자형을 그리고 있으며, 일치 효과는 1250~4000(Hz)에서 급격한 성능저하가 일어나고 있다.

일반형 창호의 두께는 이형보다 두꺼우나 더 낮은 TL값을 나타내는 것으로 보아 복창에서의 TL값은 두께가 다른 이형유리가 차음성능을 높일 수 있다고 판단된다.

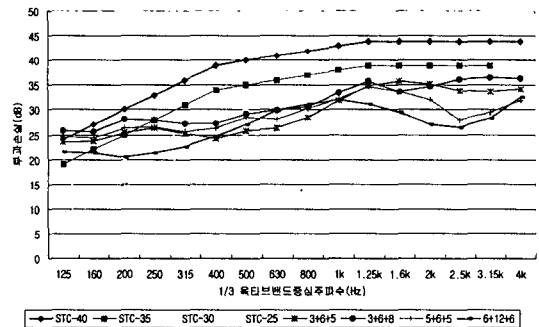


그림 4. 복층유리의 투과손실

(3) 단층유리와 복층유리와의 차음성능 비교

5mm 유리를 각각 1장과 2장을 사용한 5mm단층과 16mm 복층의 투과손실을 비교하였다.

질량의 법칙이 적용되는 315~1250 Hz 에서는 차음성능의 차이가 없으나 저주파대역에서는 복층유리가 차음성능이 5dB 정도 높으며 일치효과에 의한 급격한 성능저하도 단층유리에 비해 발생하지 않는다.

그림 5는 단층유리와 복층유리의 투과손실을 기준 곡선에 그려 넣은 것이다.

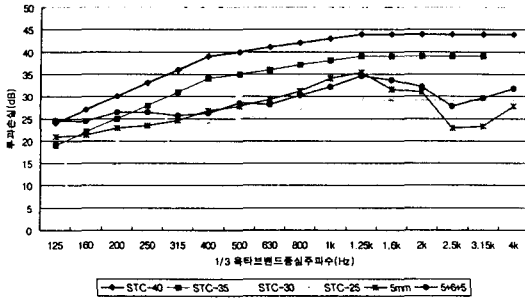


그림 5. 단층유리와 복층유리와의 비교

## 5. 결론

유리창의 차음성능에 중요한 요소인 유리의 두께, 종류를 대상으로 연구한 결과는 다음과 같다.

가. 단층 유리의 경우 유리의 두께가 커지면서 차음성능은 약간씩 증가하는 것으로 나타났다. 저음역에서의 성능은 질량의 법칙에 따라 차음성능이 증가하나 고음역에서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

나. 단층 유리와 동일 두께의 유리를 2중으로 사용한 일반 복층 유리에서 공진효과와 일치효과에 따른 투과손실 값의 감소가 나타난다. 그러나 두께

가 다른 유리를 사용한 이형 복층유리에서는 일치 효과에 의한 급격한 감소는 일어나지 않았다.

다. 5mm 유리를 각각 1장과 2장 사용한 5mm 단층과 16mm 복층의 차음성능은 유사하게 나타나고 있으며, 저주파대역에서는 복층유리가 차음성능이 5dB 정도 높으며 일치효과에 의한 급격한 성능저하도 단층유리에 비해 발생하지 않는다.

라. 창호의 차음성능을 확보하기 위해서는 기밀성의 확보가 필수적이다. 따라서 잠금장치 등과 같은 기밀성의 확보를 위한 장치의 개발도 병행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 소음진동공학회, 소음진동편람, 1995
2. 일본건축학회, 실무적 소음대책지침 응용편, 1987
3. 대한주택공사, 외부창호의 차음설계에 관한 연구, 1992
4. 한국산업규격안, "건물 및 건물부재의 공기전달음 차음성능 평가방법", 2001