

주거 공간내 공조기 소음의 전달 경로에 관한 연구

⁰최진권*, 손진희*, 장서일**, 이진교***, 김진섭***

A Study on the Sound Paths of Air-conditioner in House

Jin-kwen Choi, Jin-Hee Son, Seo Il Chang, Jin-kyo Lee, Jin-Sup Kim

ABSTRACT

This study was conducted to determine the sound paths and transmitted sound level in house. An air-conditioner system was selected a typical sound source. The measured transmission loss data shows that the apertures have an significant effect on the transmitted noise and comparable with the existing theoretical data. Therefore the complex aperture was substitute to quantitative apertures approximately. An effective simulation method, ray tracing and mirror image source method, was employed in the prediction of transmitted sound level. The measured results were reflected on the simulated results.

1. 서 론

주거공간 내 소음문제는 소음원이 주거공간 외부에 있는 문제와 소음원이 주거공간 내부에 있는 문제로 크게 나누어 질 수 있다. 본 연구는 주거공간 내부에 소음원이 있는 경우에 중점을 두어 살펴 보고자 하며 이와 관련된 기존의 연구자들로는 Sharp¹⁾, Gomperts^{2,3)}, Kilman³⁾, Hongisto^{4,5)} 등이 있다. Sharp는 주로 벽이나 창등의 투과손실에 관한 연구를 수행하였으며 Gomperts와 Kilman은 틈새의 영향, 그리고 Hongisto는 주로 문에서의 소음 전달 현상에 대하여 연구하였다. 본 연구는 이러한

연구자료를 바탕으로 하여 국내 실정에 맞는 주거공간 내부소음의 전파경로를 파악하고, 또한 전달되는 소음도를 예측하는 방법을 제시함으로서 향후 소음 대책에 필요한 기초 자료를 제공하는데 목적을 두고 있다. 이러한 연구 과정을 거치기 위해서는 먼저 주거공간 내의 소음원에 대하여 고찰할 필요가 있다. 주거공간 내에는 실제 다양한 소음원이 존재하지만 본 연구에서는 대표적인 소음원으로서 에어컨을 선택하였다. 실측을 통하여 명확한 소음원의 파워를 규명하고, 규명된 소음원은 이후 실내에 전달되는 소음도를 예측하는데 사용될 것이다.

한편, 소음이 전달되는 경로를 파악하기 위해서 실제 주거공간에서 소음전달 현상을 실측하여 분석한다. 소음 차단성능은 투과손실(Transmission

* 서울시립대 대학원 환경공학과

** 서울시립대 환경공학부

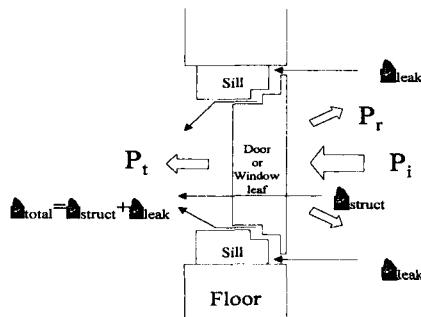
*** 삼성전자 시스템 가전 사업부

Loss, TL)을 사용할 것이며, 틈새의 영향을 중점으로 연구를 수행하였다. 소음도를 예측하는 방법으로는 음선 추적법(Ray Tracing Method, RTM)과 거울 형상 음원법(Mirror Image Source Method, MISIM)을 근간으로하는 상용프로그램인 Raynoise를 사용한다.

2. 이론적 배경

2.1 일반적인 소음전달 현상

<Figure 2.1>에서 보는 것처럼 소음전달 경로는 문(또는 창) 자체를 통과하는 τ_{struct} 와 틈새를 통과하는 τ_{leak} 으로 나누어 질수 있다.³⁾



<Figure 2.1> Typical sound paths

그러므로 문(또는 창)의 총 투과 계수 τ_{total} 은 τ_{struct} 와 τ_{leak} 를 합한 값이 되며 결국 TL_{total} 은 식 (2.1)과 같다.³⁾

$$TL_{total} = 10 \log\left(\frac{1}{\tau_{total}}\right) = 10 \log\left(\frac{1}{\tau_{struct} + \tau_{leak}}\right) \quad (2.1)$$

식 (2.1)에서 보듯이 일반적인 투과 손실은 두 가지 경로에 의해서 결정되어지고 실험실에서 측정시 테이프 혹은 고무찰흙 등의 재료로서 틈새를 막고

TL_{struct} 를 측정하게 된다. TL_{struct} 에 관한 일반적인 이론식은 수직으로 음이 입사하고 단일벽의 경우, 식 (2.2)와 같이 Mass law⁶⁾를 따르게 된다.

$$TL_{struct,0} = 20 \log(f \cdot m) - 43(dB) \quad (2.2)$$

여기에서 $TL_{struct,0}$ 는 수직 입사음에 대한 TL_{struct}

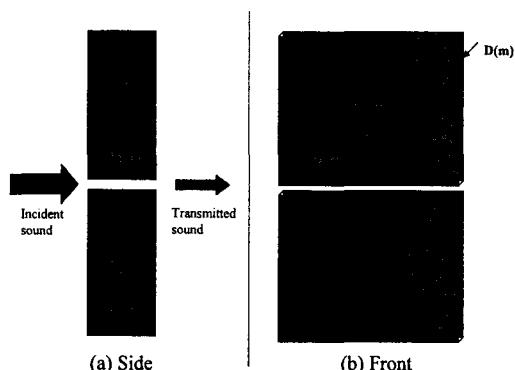
를 나타내며 f 는 주파수(Hz), m 은 면밀도(Kg/m^2)이다. 소리는 일반적으로 random하게 입사하므로 이를 고려하면 식 (2.3)과 같다.⁶⁾

$$TL_{struct,r} = TL_{struct,0} - 10 \log(0.23 TL_{struct,0}) \quad (2.3)$$

또한, 현장에서 측정한 TL_{field} 는 $TL_{struct,0}$ 보다 5dB 정도 낮다고 한다.⁶⁾ 그 이외에도 재료의 투과 손실 측정에서 중요시 되는 문제로는 코인시던스 문제, 다중벽의 TL문제 등이 있으나 본 연구에서는 슬릿의 영향에 보다 중점을 두고자 하여 더 이상의 TL에 관한 이론검토는 생략한다.

2.2 틈새에 의한 소음 전달에 관한 이론

틈새에 관한 이론은 M. C. Gomperts^{2,3)}에 의해 제안된 이론이 가장 많이 사용되어진다. Gomperts의 이론은 D. J. Oldham과 X. Zhao⁷⁾에 의해서 실험적으로 검증되어 졌으며, 이후 V. Hongisto^{4,5)}등의 연구에 응용되어졌다. 본 연구 또한 Gomperts의 이론을 바탕으로 검토할 것이다. Gomperts는 연구에서 틈새의 모양을 일자형(Slit-shaped) 또는 원형(Circular)의 형태로 정의하였다.²⁾ 각각의 경우에 있어서 투과손실을 계산하였는데 이론식에 의한 결과의 형태가 비슷하여 본 연구는 일자형 형태의 틈새에 관하여 살펴본다. 일자형 틈새의 모습은 <Figure 2.2>와 같다.



<Figure 2.2> Slit-shaped aperture

Gomperts의 연구에 의하면 일자형 형태의 틈새에 의한 투과계수 τ_s 는 식 (2.4)와 같다.²⁾

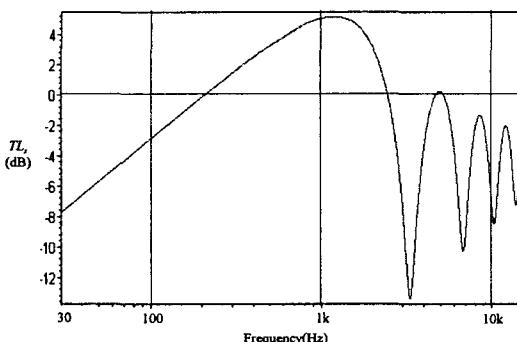
$$\tau_s = \frac{mK\cos^2(KE)}{2n^2[(\sin^2(K(L+2E)))/(\cos^2(KE)) + (K^2/2n^2)(1+\cos(K(L+2E)\cos KL)]} \quad (2.4)$$

식 (2.4)에서 m, n 은 입사음의 성질과 틈새의 위치에 의해 결정되는 상수이며, $K = kW$ 인데 k 는 공기의 wave number이다. <Figure 2.2>에 나타나 있는 것처럼 $W(m)$ 는 일자형 틈새에서 폭을 나타내며, $L = D/W$ 인데 여기서 $D(m)$ 는 일자형 틈새의 깊이 즉 두께를 나타낸다. 또한 E 는 식 (2.5) 처럼 표현 되어진다.

$$E = \frac{1}{\pi} (\ln \frac{8}{K} - \gamma') \quad (2.5)$$

여기에서 $\gamma' = 0.57722...$ 로서 Euler 상수이다. 앞에서 언급한 상수 m, n 은 Gomperts에 의해 제안되어진²⁾ 8, 1을 각각 사용하였다. 여기서 8은 음원측이 확산음장일 때 사용하며, 1은 슬릿이 시료의 가장자리에 위치했을 때 사용한다. 이러한 상수값에 일자형 틈새의 D 와 W 를 정하여 TL_s 를 구하

면 <Figure 2.3>과 같다.



<Figure 2.3> The sound transmission loss(dB) by equation (2.4)

일자형 틈새에 의한 투과 손실은 <Figure 2.3>에서 보는 것처럼 주파수가 증가할수록 그 값이 증

가하다가 공진주파수를 가지는 대역에서 그 값이 크게 떨어진다. 공진주파수 f_s 는 식 (2.6)에 의해 계산되어질 수 있다.²⁾

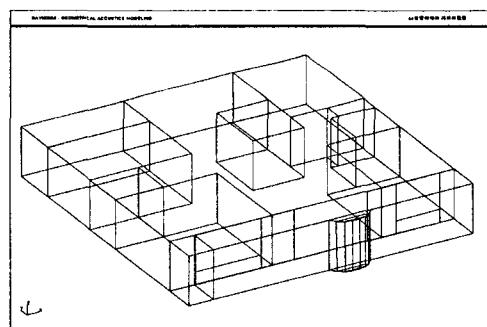
$$f_s = N \frac{c_0}{2(D+E)} \quad (N=1, 2, 3, \dots) \quad (2.6)$$

일자형 틈새의 이러한 공진 특성과 투과 손실값은 앞에서 언급한데로 D. J. Oldham과 X. Zhao⁷⁾에 의해서 실험적으로 검증되어졌다. 본 연구에서는 이러한 이론이 실제적인 틈새에 어떠한 방법으로 적용 가능한지를 판단하였다.

3. 현장 측정

3.1 현장 측정 대상의 선정 및 형태

현장측정대상은 에어컨 시스템이 주거공간에 영향을 크게 미칠수 있는 아파트로 선정하였다. 일반 단독주택일 경우 에어컨 실외기가 비교적 멀리 위치하지만 아파트의 경우 실외기의 위치가 침실과 인접한 발코니에 위치하게 되므로 에어컨에 의한 소음이 심각할 것으로 판단되기 때문이다. 선정된 아파트의 모습은 <Figure 3.1>과 같다.

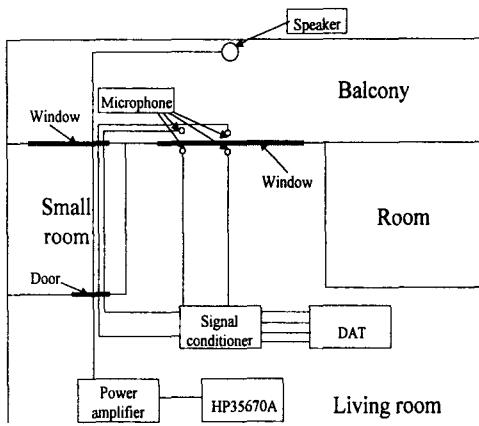


<Figure 3.1> The shape of selected apartment

3.2 현장 설측 항목 및 방법

창 또는 문 등의 투과손실을 측정하기 위해서는 기본적으로 소음원측(발코니)과 수음측(거실 혹은 방)의 소음도(Sound Pressure Level, SPL, dBA)를 측정하여야 한다. 양측의 소음감쇠치(Noise

Reduction, NR)와 수음측의 잔향시간 (Reverberation time, RT)을 알면 창 또는 문 등의 투과손실을 계산할 수 있다.⁶⁾ 그러므로 본 실측에서는 소음원 측의 소음도, 수음원 측의 소음도, 수음원 측의 잔향시간을 측정한다. 현장에서의 실측은 녹음을 중심으로 현장에서의 간이확인이 병행되었다. 현장에서 실측한 기기 및 방법은 <Figure 3.2>와 같다.

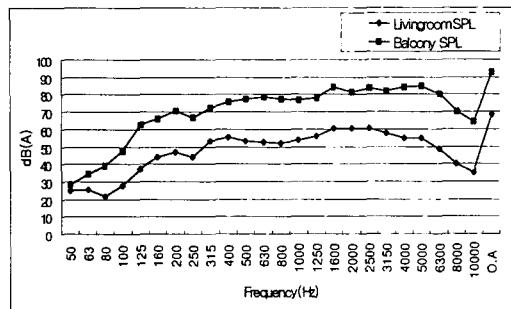


<Figure 3.2> Measurement instruments and position

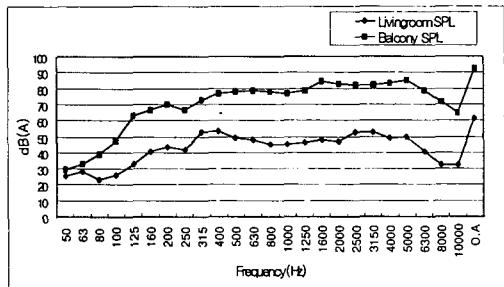
<Figure 3.2>에서 보는 것처럼 소리는 소음원 측에서 스피커에 의하여 발생되어지고 소음원측과 수음측에서 마이크로폰을 통하여 DAT에 녹음되었다.

3.3 현장 실측 결과

소음원을 발코니에서 발생시키고 거실과 발코니 사이 창을 닫은 경우 발코니에서의 SPL(dBA)과 거실에서의 SPL(dBA)의 차이를 두가지 경우로 측정하였다. 틈새를 막지않고 측정한 결과는 <Figure 3.3>과 같고 틈새를 고무찰흙으로 막고 측정한 결과는 <Figure 3.4>와 같다. 거실과 발코니 사이의 NR 측정 결과를 1/1 octave-band로 나타낸 값은 <Table 3.1>과 같다.



<Figure 3.3> Measured SPL of livingroom and balcony (Without sealing)



<Figure 3.4> Measured SPL of livingroom and balcony (With sealing)

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	O.A
NR1(dB)	11.8	22.9	20.8	23.6	23.2	22.4	27.7	31.5	24.4
NR2(dB)	9.3	26.9	22.0	27.4	32.5	33.2	32.9	38.0	31.4

<Table 3.1> Measured NR between livingroom and blacony

여기서 NR1은 거실과 발코니 사이의 창을 닫고 측정한 경우의 소음감소치를 나타내며, NR2는 거실과 발코니 사이의 문을 닫은 후에 문틈을 sealing한 후 측정한 소음감소치를 나타낸 값이다. TL을 구하기 위해서는 수음측의 잔향시간이 필요하므로 폭죽을 이용하여 거실에서 측정하였으며 측정된 잔향시간 및 계산된 평균흡음률은 <Table 3.2>와 같다.

Frequency (Hz)	RT of livingroom (sec)	Average absorption coefficient ($\bar{\alpha}$)
63	1.79	0.0513
125	1.77	0.0519
250	1.79	0.0513
500	1.78	0.0516
1K	1.75	0.0525
2K	1.74	0.0528
4K	1.73	0.0531
8K	1.74	0.0528

<Table 3.2> Measured RT and Average absorption coefficient ($\bar{\alpha}$) of livingroom 측정된 잔향시간과 NR을 식(2.7)⁶⁾에 적용하여 창에 의한 TL을 계산하였다.

$$TL = L_{\text{pl}} - L_{\text{p2}} + 10 \log \left(\frac{1}{4} + \frac{S_w}{R_2} \right) \quad (2.7)$$

여기서, S_w = 시료의 면적(m^2)을 나타내고 R_2 수음원측의 실정수(m^2)를 나타낸다. 또한 TL'_{leak} 은 식(2.8)⁴⁾과 실측자료을 이용하여 계산하였다.

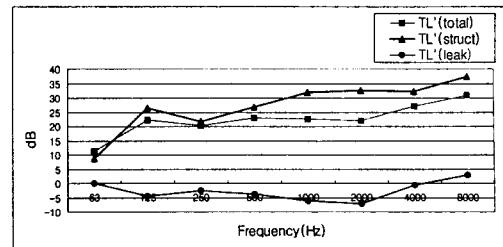
$$TL'_{\text{total}} = 10 \log \left(\frac{S_{\text{total}}}{S_{\text{struct}} 10^{-TL'_{\text{struct}}/10} + S_{\text{leak}} 10^{-TL'_{\text{leak}}/10}} \right) \quad (2.8)$$

식 (2.8)에서 S_I 는 I의 면적을 나타낸다.

주파수 (Hz)	TL' total (dB)	τ total	TL' struct (dB)	τ struct	TL' leak (dB)	τ leak
63	11.3	0.0736	8.8	0.1306	-	-
125	22.3	0.0058	26.4	0.0023	-4.7	2.9253
250	20.3	0.0093	21.5	0.0071	-2.7	1.8734
500	23.1	0.0050	26.9	0.0021	-3.8	2.4105
1K	22.7	0.0054	32.0	0.0006	-6.0	3.9692
2K	21.9	0.0065	32.7	0.0005	-7.0	4.9774
4K	27.1	0.0019	32.3	0.0006	-0.5	1.1303
8K	30.9	0.0008	37.4	0.0002	2.8	0.5228

<Table 3.3> Measured TL of window
(Between livingroom and balcony)

측정된 결과는 <Table 3.3>과 같고 그 모습을 나타낸 그래프는 <Figure 3.5>와 같다. TL'는 현장에서 측정한 결과라는 것을 의미한다. 같은 방법으로 방과 발코니 사이에 있는 이중창에 대하여 실험을 하였으며 최종적인 TL'은 <Table 3.4>와 같다.



<Figure 3.5> Measured TL of window
(between livingroom and balcony)

주파수 (Hz)	TL' total (dB)	τ total	TL' struct (dB)	τ struct	TL' leak (dB)	τ leak
63	13.0	0.0501	15.5	0.0280	-15.9	38.9019
125	30.7	0.0009	36.0	0.0003	-0.2	1.0561
250	25.4	0.0029	29.3	0.0012	-4.7	2.9806
500	26.3	0.0023	30.6	0.0009	-4.1	2.5774
1000	24.4	0.0036	33.1	0.0005	-7.4	5.5327
2000	23.7	0.0043	33.3	0.0005	-8.2	6.6657
4000	27.7	0.0017	34.7	0.0003	-3.8	2.4157
8000	33.8	0.0004	37.1	0.0002	4.0	0.3947

a) One window closed

주파수 (Hz)	TL' total (dB)	τ total	TL' struct (dB)	τ struct	TL' leak (dB)	τ leak
63	13.2	0.0479	14.6	0.0345	-16.7	47.1999
125	31.4	0.0007	36.9	0.0002	-2.6	1.8140
250	28.9	0.0013	36.7	0.0002	-5.8	3.8134
500	33.1	0.0005	39.9	0.0001	-1.4	1.3687
1000	35.9	0.0003	41.7	0.0001	1.7	0.6747
2000	31.6	0.0007	42.1	0.0001	-3.5	2.2149
4000	33.1	0.0005	41.5	0.0001	-1.7	1.4936
8000	35.6	0.0003	36.4	0.0002	7.9	0.1629

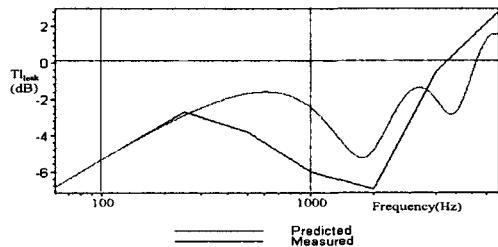
b) Two windows closed

<Table 3.4> Measured TL of double window
(between bedroom and balcony)

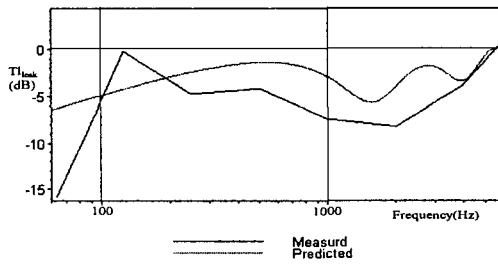
4. 이론식의 결과와 실측결과의 비교 및 고찰

단일벽의 TL_{struct} 에 관한 식 Mass law는 여러 연구에서 검증이 이루어졌고 많은 논문에 인용되므로 본 논문에서는 이에 관한 비교 및 고찰은 생략한다. 한편 틈새에 의하여 발생하는 TL_{leak} 에 관하

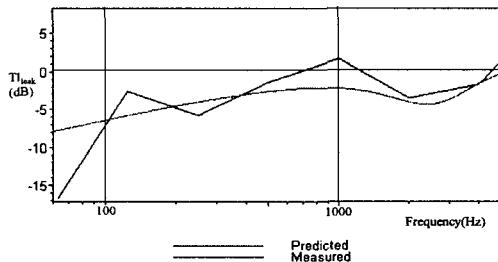
여는 본 논문에서 중점을 두고 있으므로 앞에서 살펴본 이론과 실측값을 비교해 보았다. 앞에서 구한 세가지 TL'_{leak} 을 Gomperts 이론식 결과와 비교하여 그린 그림들이 <Figure 4.1>, <Figure 4.2>, <Figure 4.3>이다.



<Figure 4.1> Comparison of predicted and measured TL'_{leak} - between livingroom and balcony



<Figure 4.2> Comparison of predicted and measured TL'_{leak} - between bedroom and balcony (one window closed)

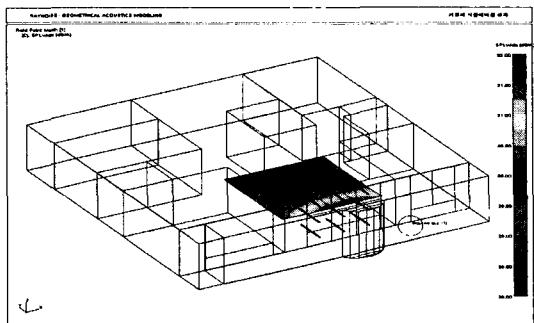


<Figure 4.3> Comparison of predicted and measured TL'_{leak} - between bedroom and balcony (Two window closed)

위의 세가지 그림에서 보듯이 정량적인 일자형 형태의 틈새와 비교할만한 수준을 나타내므로 복잡한 형태의 틈새 모양을 정량적인 틈새 모양으로 나타낼수 있다. <Figure 4.1>의 경우, 즉 거실에 설치된 창문의 경우, 앞의 틈새에 이론식에서 $W=4$ cm, $D=5$ cm인 정량적인 틈새와 비교할만하다. <Figure 4.2>의 경우, 즉 방과 발코니 사이에 설치된 2중창 중 하나의 창만 닫았을 경우, $W=4$ cm, $D=6$ cm인 정량적인 틈새와 비교할만하다. 마지막으로 <Figure 4.3>의 경우, 즉 방과 발코니 사이에 설치된 2중창 둘다 닫았을 경우, $W=4$ cm, $D=3$ cm인 정량적인 틈새 비교할만하다.

5. 시뮬레이션의 통한 전달소음도 예측

실측한 에어컨 실외기의 파워레벨을 사용하여 발코니에서 거실로 전달되는 소음을 예측해 보았다. 시뮬레이션 수행은 두가지 TL 결과 즉 틈새가 있을 경우와 틈새가 없을 경우로 나누어서 수행하였다. 모델은 앞에서 실측했던 장소를 사용하였으며 시뮬레이션 결과의 모습 중 하나의 예는 <Figure 5.1>과 같다.



<Figure 5.1> Effect of transmitted sound (Between livingroom and balcony)

두가지 전달 소음도의 결과를 나타낸 <Table 5.1>에서 보는 것처럼 시뮬레이션 결과는 실측결과를 그대로 반영하여 나타내었다. 즉, 이것이 시

뮬레이션 결과에 대한 검증이기도 하며 틈새를 고려한 소음도 예측이 가능함을 나타낸다.

Frequency (Hz)	SPL(dB) Simulat-ed results (Used TL' total)	Simulat-ed results (Used TL' struct)	Simulat-ed results (NR1 -NR2)	Measur-ed results (NR1 -NR2)
63	54.2	56.6	2.4	2.5
125	31.4	27.4	-4.0	-4.1
250	31.5	30.2	-1.3	-1.2
500	22.6	18.8	-3.8	-3.8
1000	21.9	12.4	-9.5	-9.3
2000	16.7	5.9	-10.8	-10.8
4000	9.5	4.2	-5.3	-5.2
8000	0	0	0	-6.5

<Table 5.1> Comparison of simulated and measured data

(Between livingroom and balcony)

6. 결론

현장실측 결과 주거공간에서 틈새의 영향은 상당히 커졌다. 저주파 대역에서 틈새가 전달 소음도에 미치는 영향은 작았으나 1000Hz ~ 2000Hz 부근의 소음을 틈새의 영향으로 10dB정도 크게 전달되는 경향을 보였다. 수음측에서 Overall 값은 틈새가 있는 경우가 틈새가 없는 경우보다 7dBA정도 크게 소음이 전달 되었다.

한편 실측을 통하여 얻어낸 TL'_{leak} 을 이론식과 비교하여 검토해 보았다. 복잡한 구조를 가지는 현장의 틈새는 정량적인 형태의 일자형 틈새와 비교할 만한 결과를 나타내었다. 주목할만한 점은 현장의 복잡한 형태의 틈새를 정량적인 틈새의 형태로 나타냈을 때 크기가 어느정도라는 것을 판가름 할 수 있다는 것이다.

시뮬레이션 수행시에도 틈새의 영향을 고려하기

위해서는 실측이 병행되어야 한다. 앞의 결과를 보듯이 틈새는 소음전달도에서 큰 영향을 미치므로 이러한 점을 간과하여서는 안된다. 본 연구에서의 시뮬레이션은 실측된 틈새의 영향을 고려하였고 결과는 실측값을 잘 반영하였다.

참고문헌

1. Ben H. Sharp, "Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements", Noise Control Engineering, Vol.11, No.2, pp53~63, 1978
2. M. C. Gomperts, "The Sound Insulation of Circular and Slit-shaped Apertures", Acustica, Vol. 14, No.1, pp1~16, 1964
3. M. C. Gomperts & T. Kilman, "The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-shaped Apertures in Walls", Acustica, Vol. 18, pp144~150, 1967
4. V. Hongisto, "Sound Insulation of Doors-Part1 : Prediction Models for Structural and Leak Transmission", Journal of Sound and Vibration, 230(1), pp133~148, 2000
5. V. Hongisto, "Sound Insulation of Doors-Part2 : Comparison Between Measurement Results and Predictions", Journal of Sound and Vibration, 230(1), pp149~170, 2000
6. Z. Maekawa and P. Lord, Environmental and Architectural Acoustics, E & FN SPON, 1994
7. D. J. Oldham & X. Zhao, "Measurement of The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-shaped Apertures in Rigid Walls of Finite Thickness by Intensimetry", Journal of Sound and Vibration, 161(1), pp119~135, 1993