

임펄스응답적분법을 이용한 잔향시간의 측정방법이 규준화 바닥충격음레벨에 미치는 영향

Effect of the Measuring Method of Reverberation Time Using Impulse Response Method on the Normalized Impact Sound Pressure Level

이 주 원* · 권 영 필*

J. W. Lee and Y. P. Kwon

(2005년 7월 28일 접수 : 2005년 12월 15일 심사완료)

Key Words : Reverberation Time(잔향시간), Normalized Impact Sound Pressure Level(규준화 바닥충격음레벨), Time Constant(시정수), Room Natural Mode(실내고유모드)

ABSTRACT

For the evaluation of the normalized impact sound pressure level, the reverberation time of the receiving room should be measured. This paper deals with the effect of the time constant of FFT analyzer and the measuring points on reverberation time. It is found that the time constant should be in the range between 10 ms and 35 ms. While the effect of measuring points on the reverberation time is significant when the bandwidth is narrow, it is negligible in the evaluation of the normalized impact sound pressure level.

1. 서 론

건물 실내공간의 흡음력은 소리의 전달과정이나 음성의 명료성 측면에서 중요한 요소로 작용한다. 실내 마감재의 흡음력 차이에 따라 소음레벨의 증감은 거주자가 잔향감을 통해서 충분히 인지할 정도이며, 실내의 소음 평가 시 흡음력의 고려와 보정은 중요한 검토사항이 된다.

공동주택에서의 상하층간 바닥충격음 평가에도 경량충격음의 경우 수음세대의 흡음력을 음압레벨에 보정하도록 규정하고 있는데, 이 때 실내의 흡음력을 평가하기 위해 일반적으로 사용하는 방법이 잔향시간의 측정이다.

최근의 계측장비는 장비에 내장된 프로그램에 의해 잔향시간의 측정이 음원 발생, 수음, 계산, 값 출력 과정이 자동으로 이루어지게끔 되어있어 잔향시간 측정에 관련된 오차를 간과하기 쉽다.

바닥충격음 평가 시 경량충격음레벨에 흡음력 보정 값을 취해주면 경우에 따라 5 dB까지도 결과값이 변동될 수 있는데, 이 값은 바닥구조에 소음 저감층을 적용했을 때의 저감효과와 같을 정도이기 때문에 보다 정확한 계측 및 평가가 필요하다.

KS F 2864⁽¹⁾에는 잔향시간 측정방법에 대해서 여러 측정 조건들(음원 장치, 측정 위치, 횟수, 불확실성 등)에 대해서 명시하고 있으며, 이 외에도 수음공간의 체적산출, 운송도 조건, 잔향시간 감쇠구간의 설정, 배경소음의 레벨 등도 잔향시간의 편차를 유발할 수 있는 요인들이 된다.

이 논문에서는 KS F 2810⁽²⁾에 의거하여 규준화 바닥충격음레벨 평가 시 수행하여야 하는 잔향시간에 대한 측정방법 중 계측기의 시정수 설정에 대한 부분과 음원점 및 수음점 위치, 개소에 대한 선정이 규준

† 책임저자 : 정희원, 숭실대학교 대학원 기계공학과
서울산업대학교 소음진동연구센터
E-mail : jwlee@jwl.pe.kr

Tel : (02) 979-7331, Fax : (02) 979-7331

* 정희원, 숭실대학교 기계공학과

화 바닥충격음레벨에 어떠한 영향을 끼치는가를 실측을 통하여 밝히고자 한다.

2. 표준화 바닥충격음레벨

2.1 표준화 바닥충격음레벨

공동주택 바닥충격음 평가 중 경량충격음은 표준화 바닥충격음레벨이라 하여 다음 식 (1)과 같이 측정한다. 음압레벨 L_n 에 실내 흡음력 A 를 보정하도록 규정되어 있다.

$$L'_n = L_n + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

여기에서 A_0 는 일반적인 거실의 잔향시간 0.5초로 보고 실제적이거나 주파수에 관계없이 흡음력의 기준값으로 10 m^2 을 사용하도록 한국산업규격에 규정되어 있다.

2.2 잔향시간과 흡음력

실내의 흡음력은 일반적으로 세이빈(Sabine)의 잔향공식을 이용하여 계산한다.

$$A = \frac{0.161 V}{T} \quad (2)$$

V 는 실의 체적(m^3)을 T 는 잔향시간(sec)을 나타낸다. 세이빈의 잔향공식은 실내를 확산음장으로 가정하고 있기 때문에 흡음재료를 실내 어느 위치에 놓아도 그 결과에는 변함이 없어야 한다. 즉, 음원과 수음 위치가 어디에 있거나 잔향시간은 변하지 않아야 한다. 그러나 실체는 벽, 바닥, 천장 등에 흡음성 마감재가 산재되어 있어서 확산 음장이 아니기 때문에 음원점과 수음점 위치에 따라서 그 값이 변할 수 있다. 또한 확산음장이 형성된다 하더라도 실내의 고유모드 분포에 의해서 위치에 따라 잔향시간이 변하게 된다.

따라서 잔향시간의 측정에는 측정편차가 발생하게 되며 표준화 바닥충격음레벨의 평가 값에 영향을 미칠 수가 있다.

3. 잔향시간의 측정 방법

여러 조건에서의 잔향시간 계측을 위해 Table 1과 같이 아파트의 침실과 거실들을 대상으로 실험을 하였다. 실험대상 아파트 세대는 창문 및 도어가 모두

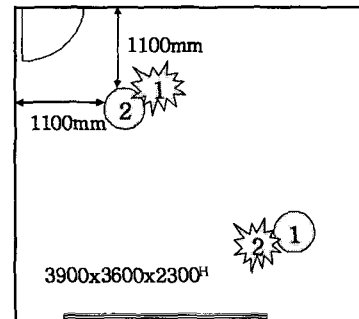
설치되어있고 실내 마감까지 완료되어있는 상태이다. 그 외 가구나 커튼 등은 전혀 없는 공실(空室) 조건이다.

음원으로는 일반적인 잔향시간 측정 기구인 권총(pistol)을 이용하여 임펄스 응답적분법(integrated impulse response method)에 의해 측정하였다. 또한 무지향성 스피커를 이용한 음원단속법(interrupted noise method)으로도 같은 조건에서 계측을 하여 4.3절에 논하였다. 수음장비로는 1/3옥타브밴드 실시간 주파수 분석기를 사용하였으며 레벨레코더도 필요 시 병행하여 측정하였다.

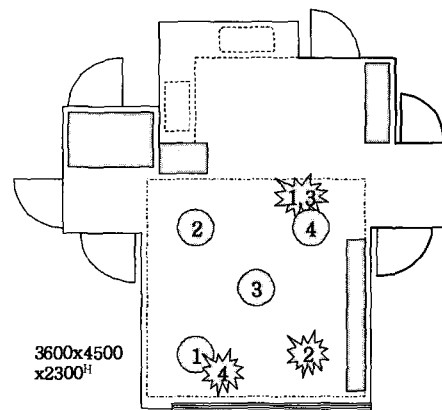
Table 1 Apartment list for the experiment

Summary	Points
Namyangju H apt. 33, 24py	living 1, bed 1
Yongin T apt. 32py	living 2
Paju D apt. 32py	living 2, bed 1
Yongin K apt. 34py	Bed 1

* living : living room, bed : bed room



(a) Plane layer of the bedroom



(b) Plane layer of the living room

Fig. 1 Apartment details for the experiment (☆: sound source point, ○: receive point)

침실의 경우 장방형 형상을 이루고 있기 때문에 2 점의 위치에서 각각 음원과 수음을 교대로 측정하였고, 거실의 경우는 불균일한 평면 형상임을 고려하여 각각 4개의 위치에서 측정 분석하였다. 각각의 위치에서 세 차례 반복 측정하였으며, 측정 평면도는 Fig. 1에 도시하였다. 도시된 평면도와 실 치수는 Table 1에 나열된 아파트 중 한 곳이며 이 세대를 중심으로 하여 측정결과를 정리하였다.

음원점과 수음점의 위치는 실내 고유모드 분포를 고려하여 모든 벽면에서 1.1m 이격된 위치로 선정하였으며, 마이크로폰은 바닥에서 1.3m 높이로 하였다.

4. 측정결과 및 검토

4.1 계측기의 시정수 영향

침실을 대상으로 4단계 시정수 조건에 따른 잔향시간의 측정결과를 Table 2에 나타내었다. 표에서 잔향시간은 1/3옥타브밴드 필터로 측정된 3개의 값을 산술 평균하여 옥타브밴드 대역의 값으로 표기하였다.

시정수 125ms의 경우 전 주파수 대역에서 시정수 1ms, 10ms, 35ms에서 측정된 잔향시간보다 최소 0.5s 이상 길게 계속되었다. 이 차이는 식 (1)을 이용하여 계산한 기준화 바닥충격음레벨로 Table 3에 나타난 것처럼 2dB 내외의 편차를 유발시켰으며, 역 A 곡선에 의한 경량충격음 평가($L'_{n,AW}$)에서도 54로 빠른 시정수 조건에서의 56보다 낮게 평가되었다.

시정수 1ms에서 500 Hz 이하 주파수 대역에서는

Table 2 Reverberation times (sec)

f_c (Hz) \ τ (ms)	125	250	500	1000	2000	4000
1	1.35	1.14	1.36	1.19	0.97	0.71
10	1.22	1.10	1.35	1.24	0.99	0.70
35	1.18	1.10	1.36	1.21	0.98	0.73
125	1.84	1.79	1.84	1.81	1.75	1.73

*sound source : pistol

Table 3 Normalized impact sound pressure levels (dB)

f_c (Hz) \ τ (ms)	125	250	500	1000	2000	$L'_{n,AW}$
1	69.8	64.6	57.1	54.9	50.8	56
10	70.2	64.7	57.2	54.7	50.7	56
35	70.3	64.7	57.1	54.8	50.7	56
125	68.4	62.6	55.8	53.1	48.2	54

시정수가 주기에 비하여 짧으므로 음압의 주기적인 변화가 계속됨으로써 잔향곡선에 많은 요철이 발생하여 잔향시간 평가가 어렵게 된다(Fig. 3). 그 결과로 Table 2에서 125 Hz 대역의 잔향시간이 10ms, 35ms에 비해 편차가 큰 것을 볼 수 있다. 주파수가 높아질수록 저주파수에서 나타나는 주기적인 변화가 소멸되며 실내에 존재하는 고유주파수의 개수는 급속도로 증가하여 모드밀도가 높아짐으로 근접하는 고유주파수들이 서로 간섭을 일으키면서 잔향곡선이 직선에 가까운 기울기를 나타내고 측정의 재현성이 보장된다.

측정결과를 종합하여 보면 잔향시간 측정 시 계측기의 시정수 125ms는 너무 긴 것을 알 수 있고, 1ms는 너무 짧다는 것을 알 수 있다. 따라서 계측기마다 시정수 조건에 약간씩 변동이 있으나, 일반적으로 10ms 또는 35ms를 시정수로 설정하는 것이 가장 적절하다고 본다.

시정수에 따른 잔향시간의 차이는 계측할 실 8개소 모두에서 같은 경향을 보였으며 Table 4에 정리한

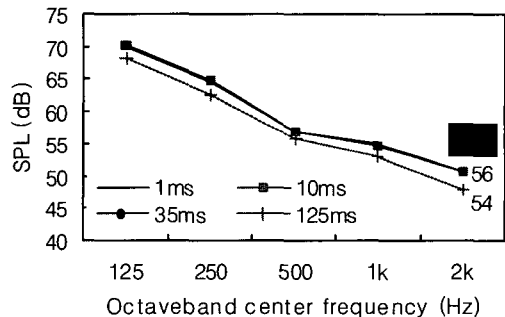


Fig. 2 Normalized impact sound pressure level for various time constants

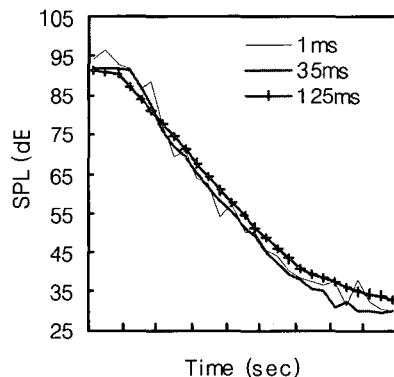


Fig. 3 Variation of SPL with time for different time constants at octaveband center frequency of 125 Hz

것처럼 표준화 바닥충격음레벨로 2~3 dB의 차이를 나타내었다.

4.2 음원점과 수음점 위치의 영향

KS F 2864에는 잔향시간 측정 시 측정점의 개소에 대해 다음과 같이 언급하고 있다. “마이크로폰 위치의 수는 측정 범위의 포괄성에 의해 결정된다” 즉 측정의 상황에 따라 측정자가 결정하여야 하는데, 일반적으로 바닥충격음 측정 시에는 2~3곳 정도의 위치에서 측정하고 있다. 또한 음원은 일정하게 놓고 측정하는 것이 보통이다. 그리고 측정의 횟수에 대해서는 “적어도 각 위치에서 세 차례 이상의 측정을 평균하여야 한다”라고 명시가 되어있다.

Table 4 Normalized impact sound pressure levels (dB) for various time constants in many rooms

τ (ms)	Bed room		Living room				
1	55	61	54	59	52	55	54
10	55	61	54	59	52	55	54
35	55	61	54	59	52	55	54
125	53	58	51	56	49	53	52

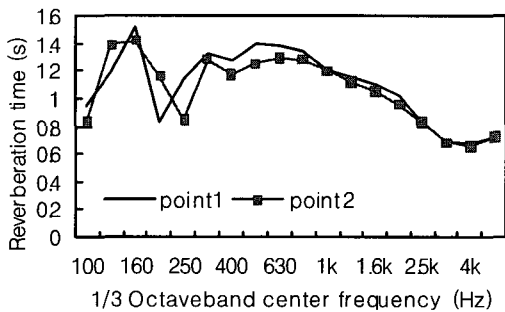


Fig. 4 Reverberation time of the bedroom at time constant 10 ms

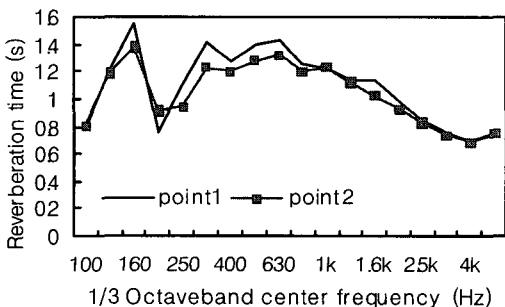


Fig. 5 Reverberation time of the bedroom at time constant 35 ms

침실의 경우는 Fig. 1에서 보듯이 장방형이고 실 치수가 여러 위치를 확보할 만큼 크지 않아 2개소를 정해놓고 음원과 수음을 교대로 하였다. Fig. 4와 5에 2개소에서의 시정수 조건에 따른 1/3옥타브밴드 중심주파수 100 Hz에서 5 kHz까지의 잔향시간을 도시하였다.

시정수 10 ms와 35 ms의 경우 630~800 Hz 이하의 주파수 대역에서는 위치별로 잔향시간의 차이가 0.2 s까지 차이가 발생하였다.

거실의 경우는 침실보다 편차가 크게 발생하였으며 역시 800 Hz이하 저주파수 대역에서 크게 나타났다. Fig. 6, 7에 나타난 위치별 잔향시간 중 point4에서 가장 큰 편차를 보이고 있는데, 이 위치는 Fig. 1(b)에서 보듯이 거실과 주방의 중간부위로 음선이 복잡하게 형성되는 구역이다.

Fig. 8에는 다른 세대 거실에서의 잔향시간을 나타낸 것이며 역시 1/3옥타브밴드 중심주파수 800 Hz 이하에서 위치별로 편차가 큼을 알 수 있다.

실측 결과를 볼 때 위치에 따른 잔향시간의 편차는 1/3옥타브밴드 중심주파수 800 Hz 이하에서 실내의 고유모드 분포에 의해 잔향시간에 약간의 편차가 나타날 수 있다. 장방형인 침실에 비해 거실과 같이 형

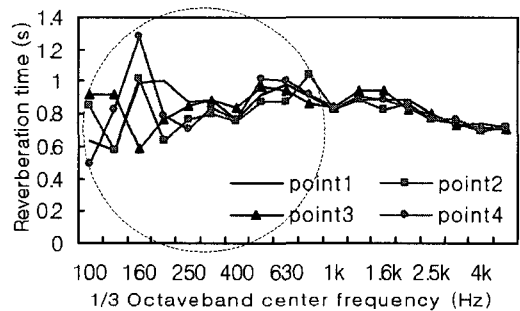


Fig. 6 Reverberation time of the living room at time constant 10 ms

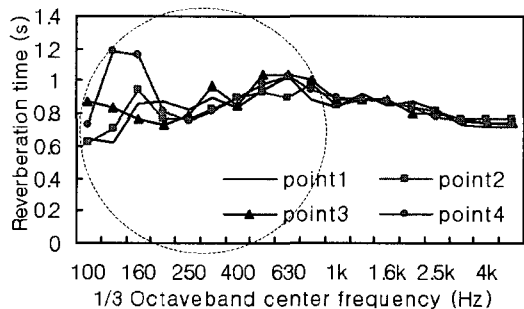


Fig. 7 Reverberation time of the living room at time constant 35 ms

상이 복잡한 경우에 그 편차는 더욱 커진다.

규준화 바닥충격음레벨은 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 총 5개의 중심주파수의 옥타브대역에 대하여 평가하므로 1/3옥타브밴드 필터를 이용하여 측정된 3개의 값을 산술평균하여 옥타브밴드 대역의 값을 구하였다. Fig. 9, 10은 측정 지점 수 증가에 따른 규준화 바닥충격음레벨의 영향을 보고자 point1('p1'으로 표기)에서의 잔향시간, 편차가 가장 심했던 point4('p4'로 표기)에서의 잔향시간, 그리고 point1과 point2에서의 잔향시간을 산술 평균한 값('p1, p2'로 표기), 4지점 모두를 산술 평균한 값('p1, p2, p3, p4'

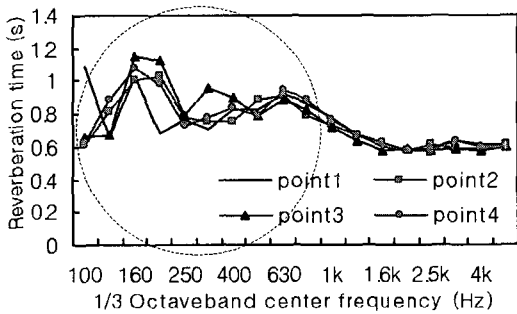


Fig. 8 Reverberation time of the living room at time constant 35

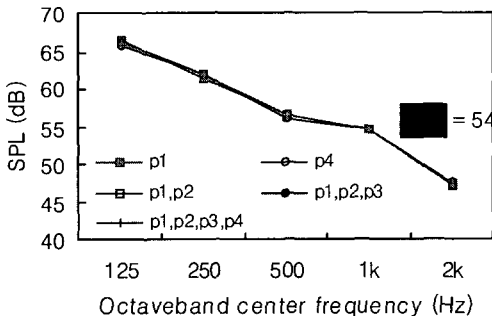


Fig. 9 Normalized impact sound pressure level at time constant 10 ms

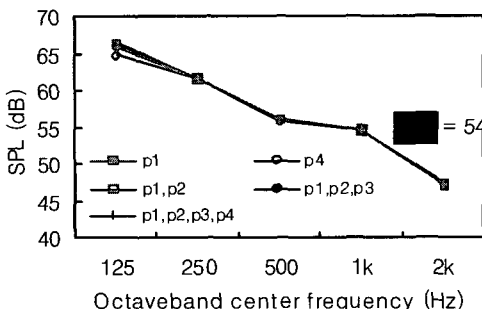


Fig. 10 Normalized impact sound pressure level at time constant 35 ms

로 표기) 등으로 나누어서 평가하였다.

1개 지점에서의 결과와 2, 3개 지점 또는 4개의 지점 모두를 고려한 결과 규준화 바닥충격음레벨은 동일함을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 11에 나타난 것처럼 다른 측정 세대에서도 같았다. Table 5에 침실, 거실 총 7세대에 대한 측정 지점 수 증가에 따른 규준화 바닥충격음레벨 결과를 정리하였다.

이러한 결과가 나타나는 이유는 1/3 옥타브밴드 필터로 측정된 잔향시간은 편차가 심하게 발생하지만 옥타브밴드 중심주파수로 평가할 때는 이러한 편차가 상쇄되기 때문이다. 즉, Fig. 12에서 보듯이 잔향시간을 1/3 옥타브밴드 필터가 아닌 옥타브밴드 필터를 사용해서 할 경우 실내 고유모드의 영향은 줄어들어

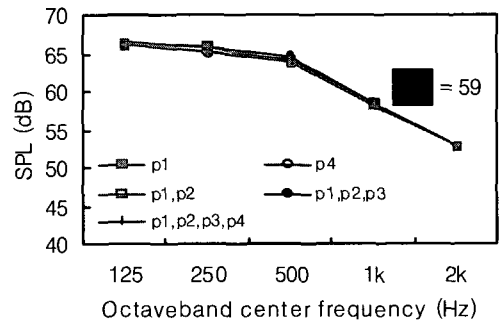


Fig. 11 Normalized impact sound pressure level at time constant 35 ms

Table 5 Normalized impact sound pressure levels(dB) for the point number in many rooms

Point number	Bed room		Living room				
	61	55	54	55	59	57	53
1	61	55	54	55	59	57	53
2	61	55	54	55	59	57	53
3	61	55	54	55	59	57	53
4	-	-	54	55	59	57	53

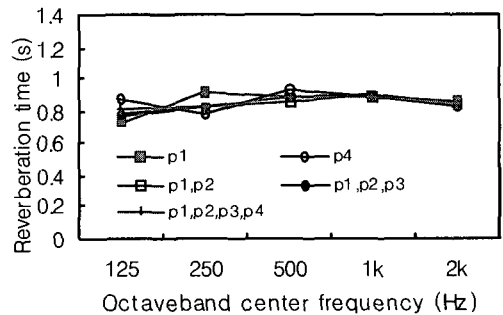


Fig. 12 Reverberation time at time constant 10 ms

위치별 잔향시간의 편차가 작아지게 된다.

그리고 Fig. 12에서 중심주파수 125 Hz 및 250 Hz에서의 미소한 잔향시간 편차는 표준화 바닥충격음레벨에 크게 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 표준화 바닥충격음레벨 평가는 중심주파수 125~2 kHz의 옥타브밴드 대역 측정 결과를 연결한 곡선에 대해서 기준곡선을 상하 1 dB 간격으로 이동시키고, 5개의 옥타브밴드의 측정값에 대해 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 10.0 dB를 넘지 않는 범위에서 가능한 한 기준 곡선이 낮게 위치하는 곳까지 이동시켜 그 때의 기준곡선을 평가값으로 판정하므로 잔향시간의 미소한 편차는 최종 결과값, 즉 표준화 바닥충격음레벨에 영향을 끼치지 않게 된다.

4.3 음원 단속법에 의한 잔향시간 측정

음원 단속법에 의한 잔향시간 측정에서도 계측기의 시정수에 따른 특성변화를 검토하였다. 시정수에 따른 잔향시간의 계측결과를 Table 6에 정리하였다. 표에서 보듯이 시정수 125 ms일 때는 잔향시간이 현저히 길게 계측된 것을 알 수 있다. Fig. 13은 음원단속법으로 평가한 표준화 바닥충격음레벨을 도시한 것이며 시정수 125 ms에서 시정수가 보다 빠른 경우에 비하여 표준화 바닥충격음레벨이 낮게 평가된 것을

알 수 있다. 이러한 특성은 임펄스 응답법에서와 동일한 결과이다.

5. 결 론

공동주택의 표준화 바닥충격음레벨 평가 시 잔향시간 측정방법 중 시정수와 측정 위치에 대해서 검토한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 계측기의 시정수가 짧을수록 음압레벨의 감소곡선에 요철이 심하여 잔향시간의 평가가 어렵고 시정수가 길면 실제 음압변화를 추종하지 못하여 오차가 커지게 되며 일반적으로 10 ms 또는 35 ms에 시정수를 설정하는 것이 적절하다.

(2) 음원점과 수음점의 위치 및 지점수에 따라 1/3옥타브밴드 중심주파수 800 Hz 이하의 저주파수 대역에서 잔향시간의 편차가 다소 발생하나 KS F 2863에 의거한 표준화 바닥충격음레벨 평가에는 영향을 미치지 않는다.

후 기

이 논문은 숭실대학교 학술연구비의 지원에 의한 것이며 이에 감사를 포함한다.

참 고 문 헌

- (1) KS F 2864: 2002 Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to the Other Acoustical Parameters.
- (2) KS F 2810-1: 2000 Acoustics-Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors Part 1: Method Using Standard Light Impact Source.
- (3) KS F 2863-1: 2002 Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and of Buildings Elements Part 1: Floor Impact Sound Insulation Against Standard Light Impact Source.
- (4) Shin, S. H., Ih, J. G. and Kang, H. J., 2001, "Effect of the Measurement Error of Reverberation Time on the STL" Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference, pp.1099~1103.
- (5) Seo, S. H. and Jeon, J. Y., 2005, "2-Dimensional Floor Impact Vibration Analysis in Bare Reinforced Concrete Slab Using Finite Element Method" Transactions of the KSNVE, Vol. 15, No. 5, pp.604~611.

Table 6 Reverberation times (sec)

f_c (Hz) \ τ (ms)	125	250	500	1000	2000	4000
1	1.01	0.90	0.82	0.72	0.56	0.52
10	1.12	0.78	0.84	0.77	0.51	0.48
35	0.92	0.89	0.83	0.78	0.58	0.57
125	1.84	1.74	1.74	1.73	1.73	1.73

* Sound source : omni-directional speaker

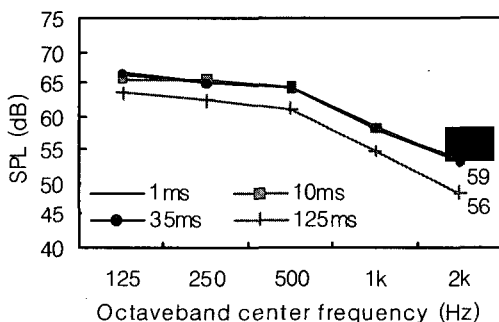


Fig. 13 Normalized impact sound pressure level for various time constants