

복합판넬의 차음특성 비교 : 잔향실과 실선

°강현주*, 김재승*, 김현실*, 김상렬*

Sound Transmission Performance of Composite panels: Reverberation chamber vs. Cabins in Ship

Hyun-Ju Kang, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim and Sang-Ryul Kim

ABSTRACT

This paper deals experimently with the difference between the cabins in ship-board and the reverberation chamber in sound transmission loss. Experimental results from the cabins show that there are various flanking transmission losses which deteriorate significantly the performance of the sound transmission loss. They also show that as a representative of the flanking transmission losses, sound leakages between a ceiling and a wall, the joints of the partitions, and the luminant devices play an important role. From the various measurements, it can be is concluded that unless one do not take any treatments on the flanking transmission loss, the field sound transmission loss will be considerably decreased by more than 10 dB, comparable to the sound transmission loss.

1. 서 언

선박이나 건축물 등에서 구획격벽의 차음성능은 내부 격실의 소음기준이나 실의 특성에 따라서 결정되므로 설계자는 이러한 요구조건에 부응하는 구획격벽을 선택하게된다. 한편 차음성능의 만족여부는 완공 후 현장 측정에 의해서 판단된다. 여기서 설계자가 겪는 기술적 난점은 현장 시공에서 필연적으로 발생하게 되는 다양한 측로손실(flanking transmission loss)을 “어떻게 평가하며, 이에 따른 설계마진을 얼마나 두어야 하는가” 등이다.

측로손실은 현장 시공조건별로 다르므로 정량화 하기 힘들고, 더욱이 일반적인 해석수단은 없다. 측로손실 중에서 가장 대표적인 것이 틈새손실(sound leakage)이다. 틈새는 벽과 천장의 이음새 부분, 혹은 벽과 도어의 접합부분 등에서 발견될

수 있다. 틈새손실에 대한 실험적 평가로서 가장 보편적인 방법은 틈새가 예상되는 부위에 테이핑 처리 전/후에 각각의 차음성능을 측정하여 비교하는 것이다.

틈새에 대한 정성적인 차음성능 예측으로서 틈새가 음파의 파장과 필적하는 경우에는 틈새의 투과계수를 1로 놓고 틈새의 면적을 고려하면 전체 판에 대한 틈새손실의 영향을 평가할 수 있다. 한편 틈새가 음파의 파장보다 매우 작은 경우에는 모세관 모델 등을 이용한 해석모델^(1,2)이 있지만 대부분 정성적인 영향을 예측하는 수준이다.

이런 이유들 때문에 측로손실에 대한 영향은 실험적인 방법을 통해서 평가할 수밖에 없다. 그러나 본 연구를 통해서 조사된 바에 의하면 측로손실에 대한 연구논문은 매우 적은 편이며, 더욱이 발표된 논문^(3,4) 들은 대부분 건축물을 대상으로 하고 있으며 선박에 관한 것은 거의 없다.

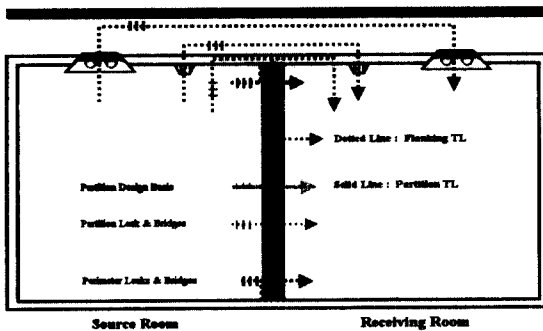
본 연구는 선실의 측로손실에 대한 실험연구이다. 선실 구획격벽으로 사용된 패널을 대상으로 잔향실의 차음성능과 선실의 차음성능 비교를 통하여 측로손실을 정량적으로 평가하고 있다.

* 한국기계연구원 음향연구그룹

2. 측로손실

2.1 측로손실

잔향실이 이상적인 실험조건이라면 실제 설치 현장에서는 다양한 측로손실이 필연적으로 존재한다. Fig. 1은 실제 설치 현장에서 차음성능을 측정할 때 발생 가능한 측로 손실의 경로를 보이고 있다. 이러한 측로손실의 영향 때문에 현장의 TL(이하 FSTL=Field Sound Transmission Loss)은 대부분 실험실에서의 격벽의 TL(이하 STL)보다 작게 된다. 건축물에서 측로손실의 영향⁽³⁾을 보여주는 예가 Fig. 2에서 보이고 있다. 그림에서 보면 측로손실 때문에 STC(Sound Transmission Class)값이 4 dB 감소하는 것을 알 수 있으며, 특히 주목할만한 것은 측로손실이 FSTL의 상한선이 되고 있는 사실이다. 즉 측로손실이 존재한다면 격벽의 STL이 대단히 클지라도 FSTL의 증가는 한계가 있다. 일반적인 지침으로서 참고문헌⁽⁴⁾에 따르면 건축물에서 STC와 FSTC 사이의 차이는 보통 10 dB 정도인 것으로 보고하고 있다.



Field TL = Flanking TL + Partition TL

Fig. 1. 측로손실 및 FSTL (Field Sound Transmission Loss).

2.2 틈새의 차음손실

일종의 측로손실으로서 원형 혹은 사각형 형상의 틈새가 존재할 때 공기 누설로 인한 차음손실이 발생한다. 이것을 틈새의 차음손실^(1,2)이라 부르며 차음발생 현상은 머물러 등 Duct acoustic의 원리와 유사하다.

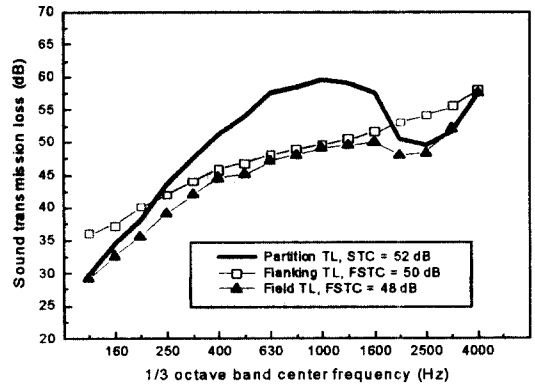


Fig. 2. 측로손실의 영향에 대한 계측 예[3].

Gomperts^(1,2) 등이 제안한 틈새의 해석 모델은 duct 모델에 기반을 둔 것으로서 작은 틈새나 실린더형 구멍에서의 음파의 거동을 설명하고 있다. Gomperts 모델에 의하면 작은 틈새나 실린더형 구멍이 존재할 때의 투과계수는 다음식⁽²⁾과 같이 유도된다.

$$\tau(\omega) = \frac{mK}{2n^2 \sin^2(K(L+2e)) + 2K^2} \quad (1)$$

여기서, $K = kd$, $L = l/d$, $e = \beta/d$ 는 무차원 수를 나타낸다. 한편 k = 파수(wave number), β 는 end correction 효과를 의미하며, m , n 은 틈새의 위치 및 입사음파의 방향에 따른 상수이다.

한편 차음손실이 최소가 되는 주파수(일종의 resonance frequency)는 (1)식으로부터 다음식으로 표현될 수 있다.

$$l + 2\beta = s\lambda/2, \Rightarrow f_{res} \approx \frac{c}{2l} \quad (2)$$

여기서 $s = 1, 2, 3 \dots$ 으로서 하모닉을 나타내는 정수이며, c 는 음속(340m/sec), λ 는 공기의 파장(= c/f)을 나타낸다. (1)식을 이용하면 틈새의 차음성능을 정성적인 예측은 가능하다. Fig. 3에는 (1)식에 대한 계산 예로서 틈새의 칫수와 판의 두께에 따른 공진주파수의 변화를 볼 수 있다.

3. 실선 및 잔향실의 차음성능

3.1 FSTL 실험 대상 격벽 및 선실

Fig. 4에 본 연구에 사용된 격벽을 보이고 있으며, 잔향실에서 측정된 차음성능은 STC 44를 나타내고 있다.

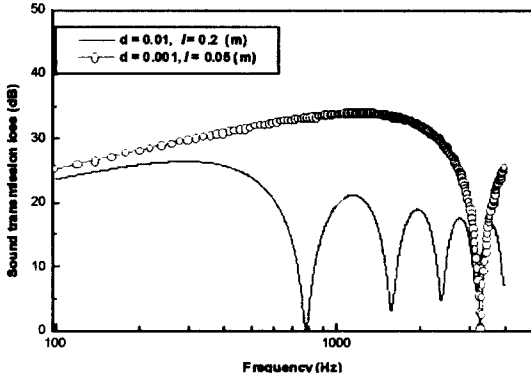


Fig. 3. 틸새의 차음손실 계산 예.

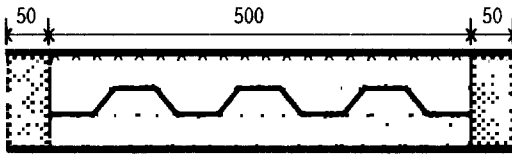
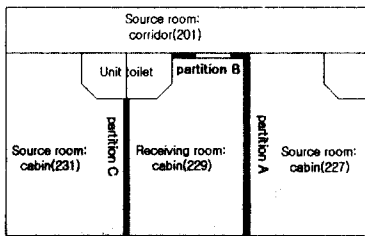
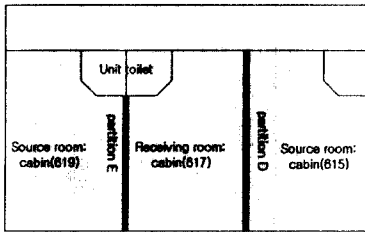


Fig. 4. 대상 패널의 profile

한편 계측 대상이 되는 선실은 Fig. 5에 보이는 것으로서 2nd 및 6th deck에 위치한 동일 제원의 격실이다. 각 구획격벽의 면적과 수음실의 체적은 Table. 1에 정리되어 있다.



(a) 2nd deck.



(b) 6th deck.

Fig. 5. 대상 격실의 평면도.

Table 1. 대상 격실 및 격벽의 제원.

Partition		Source Room		Receiving Room	
Name	Area (m ²)	Room no.	Vol. (m ³)	Room no.	Vol. (m ³)
A	11.8	227	23	229	23
B	5.2	201	-	229	23
C	8.5	231	23	229	23
D	11.8	615	23	617	23
E	8.5	619	23	617	23

3.2 FSTL 계측결과

(1) partition A: 수음실 229 vs 소음원실 227

partition A에 대한 차음성능이 Fig. 6에 보이고 있으며, 계측 결과를 보면 STC와 FSTC의 차이는 13 dB이상의 큰 차이를 보이고 있다. 또한 음원실의 벽면과 천장의 이음새 부분을 테이프 밀봉한 경우에는 FSTC 31 dB이며, 한편 테이핑이 안된 경우는 FSTC 29 dB로서 2 dB 차이가 있다. 즉 벽면과 천장의 이음새 부분의 틸새에서 공기누설로 인한 측로손실이 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히 STL(잔향실 측정)과 FSTL(선실 측정)을 비교해보면 STL과는 다르게 FSTL에서는 두 경우 모두 2 kHz 이상의 고주파수 영역에서 차음성능이 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있다. Fig. 6에서 보이는 골(dip)의 주파수는 3.15 kHz로서 (2)식의 공진주파수, $f_{res} \approx \frac{c}{2l} = 3400 \text{ Hz}$ (Fig. 4 참조)와 일치하고 있다.

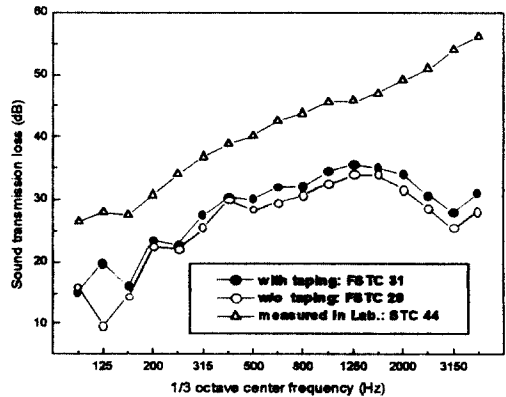


Fig. 6. Partition A의 FSTL.

이 결과로부터 벽면과 천장의 이음새 부분은 물론 다른 부분에서도 심각한 측로손실이 있음을 예상할 수 있다.

(2) partition B: 수음실:229 vs 소음원실: 201

앞에서 언급한 것 이외의 측로손실 존재 여부를 살펴보기 위하여 Fig. 5의 partition B에 대한 차음성능을 계측하였다. partition B가 선택된 이유는 문과 격벽으로 구성된 복합판이므로 이론적으로는 partition A보다 차음성능이 감소해야한다. 왜냐하면 문의 STC는 약 35 dB로서 wall partition (STC 44) 보다는 상당히 낮기 때문이다. 다음식을 이용하면 복합판의 투과계수 및 차음손실을 추정할 수 있다.

$$\tau(\omega) = \frac{\tau_1 * S_1 + \tau_2 * S_2 + \tau_3 * S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (3)$$

추정결과로서 선실간의 구획격벽(partition A) 보다 복도와 선실간의 복합판(partition B) 차음성능이 측로손실이 없다면 이론적으로는 약 4 dB 정도 작아야 한다.

Fig. 7은 partition B의 계측결과이다. 이론적 예상과는 다르게 FSTC 33으로서 partition A 보다 높은 차음성능을 보이고 있다. 이러한 결과는 격실 간의 천장구조에 기인하고 있다. Fig. 8에 보인 격실과 격실 사이 및 복도와 격실 사이의 천장 구조는 차음성능 관점에서는 대단히 다른 구조를 갖고 있다. 즉, Fig. 8에서 볼 수 있듯이 복도와 격실 사이에 설치된 curtain plate가 천장구조를 통한 음의 전달을 막고 있다. 천장구조를 통한 측로손실의 영향은 계측 결과에서도 확인할 수 있다. Fig. 6과 7을 비교해보면 고주파수 대역(2 - 4 kHz)에서 partition A의 경우는 차음성능이 급격히 감소하는 dip이 나타나는 반면에 partition B에서는 그러한 경향은 볼 수 없다. 결론적으로 천장구조를 통한 측로손실이 존재함을 확인할 수 있다.

(3) partition C: 수음실:229 vs 소음원실: 231

격실 사이의 천장구조를 통한 측로손실의 영향을 비교하기 위한 측정으로서 Fig. 5의 partition C에 대한 차음성능을 계측하였다. partition C는 unit toilet과 격벽으로 구성된 복합판이다. unit toilet의 경우는 일체형 구조이며 내부공간과 다중

격벽으로 구성되어 있으므로 그 차음성능은 STC 60 이상으로 추정할 수 있다. 즉 wall partition 보다 차음성능이 10 dB 이상 높으므로 unit toilet을 통한 음의 전달은 무시할 수 있다.

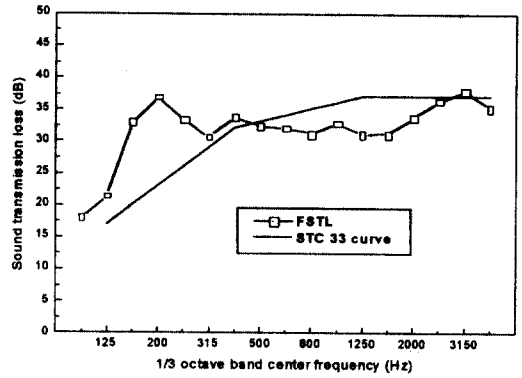


Fig. 7. Partition B의 FSTL.

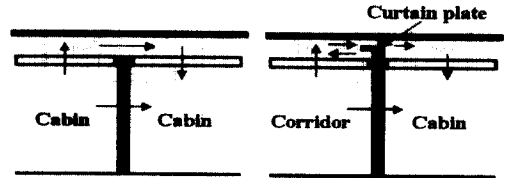


Fig. 8. 격실간 및 복도와 격실간 천장 구조.

한편 천장의 내부구조를 육안으로 조사해본 결과 Fig. 1에 도시된 것처럼 형광등, 화재 경보기 등이 직접적인 음파의 전달 경로가 되고 있었다. 이 영향을 배제하기 위해서 수음실(229) 및 소음원실(231)에 Fig. 9에 보이는 것과 같이 테이핑, 처리를 하였다.

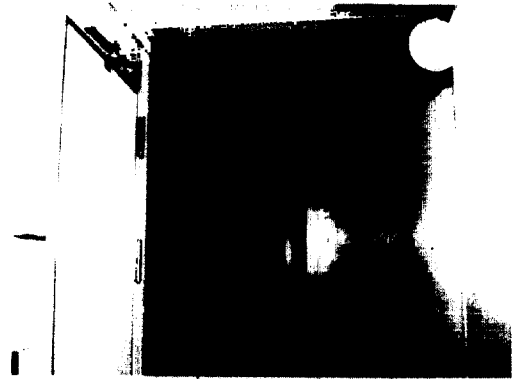


Fig. 9. 수음실(229) 내부의 형광등, 화재경보기 등의 테이핑 장면.

Fig. 10은 partition C의 계측 결과를 partition A 및 잔향실 결과와 비교하고 있다. partition A와 비교해보면 partition C는 10 dB 이상 높은 차음 성능을 보이고 있다. 이것은 천장 부착물의 틈새를 통한 직접적인 음의 전달, 즉 측로 손실을 상징적으로 나타내고 있다. 한편 STL과 FSTL의 비교로서 partition C와 잔향실 결과는 저주파수 대역(100 - 200 Hz)을 제외하고는 거의 비슷한 값을 보이고 있다. 비교결과로부터 partition C의 차음 성능과 잔향실의 차음 성능은 유사한 특성을 보이고 있다.

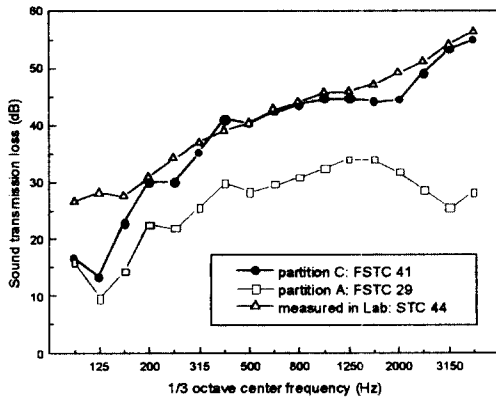


Fig. 10. Partition C의 FSTL.

(4) partition D: 수음실:617 vs 소음원실: 615

Fig. 5에서 보는 것처럼 partition A와 D는 동일한 구조의 격벽이다. 그러므로 partition A에 대한 비교 목적으로 partition D에 대한 차음 성능 계측을 수행하였다. partition D에서는 벽면과 천장의 이음새 부분은 물론, partition C에서와 마찬가지로 형광등, 화재 경보기 등도 테이프로 밀봉하였다.

Fig. 11은 계측결과이며 partition A 중 테이핑 처리되지 않은 경우를 동시에 보이고 있다. partition D는 A에 비해서 FSTC가 약 6 dB 개선되고 있다. 특히 3.15 kHz에서 발생하는 골(dip)이 partition D에서는 거의 보이지 않고 있다. partition A와 partition D를 동시에 비교하면 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다. 벽면과 천장의 이음새 부분을 통한 측로손실(Fig. 6 참조)은 FSTC 값으로 약 2 dB 정도이며 형광등, 화재 경보기 등으로 인한 측로 손실은 FSTC 값으로 약 4 dB 정도로 추정된다.

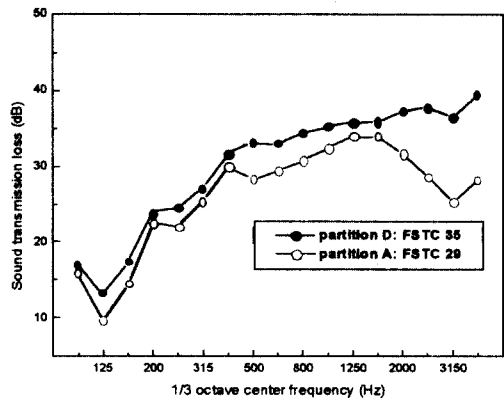


Fig. 11. Partition D의 FSTL.

(5) partition E: 수음실:617 vs 소음원실: 618

Fig. 5에서 보는 것처럼 partition C와 E는 동일한 구조이다. partition E에서는 패널과 패널 연결부분의 테이핑 처리에 대한 효과를 조사하였다. 즉 기본적으로 벽면과 천장의 이음새 부분 및 형광등, 화재 경보기 등에 테이핑 처리한 후에 패널과 패널 연결부분의 테이핑 처리 여부에 따른 영향을 살펴보았다.

Fig. 12에 비교결과가 도시되어 있다. 패널 연결부의 밀봉효과는 STC 값으로 약 3 dB 정도이며 고주파수로 갈수록 그 영향이 증가하고 있으며 약 2.5 kHz에서 골(dip)이 발생하고 있다. 이 주파수는 (2)식으로부터 추정할 수 있다.

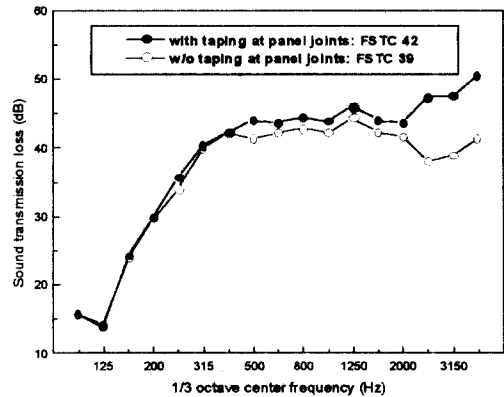


Fig. 12. 패널 연결부의 밀봉효과.

3.3 FSTL과 STL의 비교

실험실과 선실에서 차음성능의 차이를 비교하기 위하여 측로손실의 영향이 가장 적은 partition C 및 E에 대한 평균값과 실험실의 STL이 Fig. 13에서 도시하였다. 잔향실과 선실의 차음성능 차이로서 STC와 FSTC는 약 3 dB를 나타내고 있다. 고주파수 대역(1.25 kHz 이상)에서는 틈새의 영향으로 추정되는 측로손실 때문에 FSTL은 STL에 비해서 약 3 dB 정도 차음성능이 감소하고 있다.

FSTL과 STL의 가장 두드러진 차이는 저주파수 대역(100 - 160 Hz)에서 발생하고 있다. 이러한 차이가 발생하는 주요 원인은 선실의 고유모드 및 이에 따른 측정의 정확도가 될 수 있다. 선실과 같이 실용적(vol. = 23 m³)이 작으면 실 고유모드 밀도 역시 작게 되고, 또한 실내 경계면들이 서로 평행인 직육면체 형상의 방에서는 선실 고유모드(standing wave)의 영향이 커지게 된다. 따라서 저주파수 대역의 음압은 측정위치에 따라서 매우 큰 편차를 보인다.

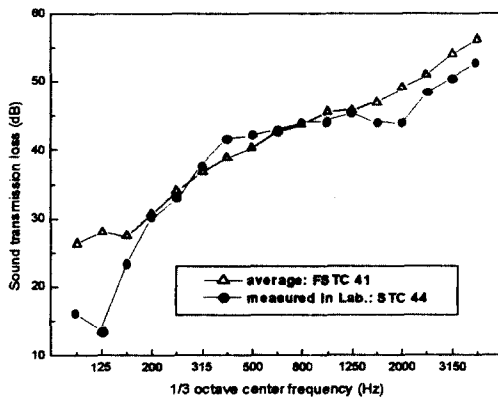


Fig. 13. STL과 FSTL의 비교.

4. 결 언

잔향실에서 STC 44 dB를 나타내는 구획 격벽이 선실에서 차음성능으로서 FSTC는 3 장 및 Table 2에 요약된 여러 경로의 측로손실 영향 때문에 측정조건에 따라서 10 dB 이상의 차이가 발생하고 있다. 결론으로서 측로손실의 영향을 제외

(partition C 및 E의 경우)한다면 FSTC와 STC의 차이는 약 2 - 3 dB가 되고 있다. 더욱이 오차가 심한 저주파수 대역의 값을 제외한다면 FSTC는 STC와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 선실간의 차음성능을 높이기 위해서는 조선소와 패널 제조업체 사이의 공동 노력이 절실하다.

Table. 2 측정조건별 FSTL 측정 결과.

격벽	측정조건	STC
A	천장과 벽면의 이음새 부분을 테이핑 처리	31
	천장과 벽면의 이음새 부분 테이프 제거	29
B	천장 사이에 curtain plate 존재	33
C	unit toilet의 존재, 형광등, 벽면 모서리, 화재경보기 테이핑 처리	41
D	천장과 벽면의 이음새 부분, 형광등, 화재경보기 테이핑 처리	34
E	partition C와 동일, 단 패널의 연결부 테이핑 처리	42
	partition E와 동일, 단 패널의 연결부 테이프 제거	39

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(기계설비요소기술개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] M. C. Gomperts and T. Kihlman, "The sound insulation of circular and slit-shaped apertures in walls," ACUSTICA 18, 144-150 (1967).
- [2] M. C. Gomperts and T. Kihlman, "The sound insulation of circular and slit-shaped apertures," ACUSTICA 14, 1-16 (1964).
- [3] R. E. Jones, "Field sound insulation of load-bearing sandwich panels for housing," NOISE CONTROL ENGINEERING 16, 90-105 (1981).
- [4] J. T. Weissenburger, "The significance of laboratory vs. field sound transmission loss," SOUND AND VIBRATION October, 12-14 (1994).