

단일 경량콘크리트판넬의 차음성능 예측

Prediction of Sound Transmission through Single Lightweight Concrete Panel

양홍석†·안지형*·김명준**

Hong-seok Yang, Ji-hyeong An, Myung-jun Kim

Key Words : Prediction(예측), Transmission Loss(투과손실), Single Lightweight Concrete Panel(단일 경량콘크리트 판넬)

ABSTRACT

Nowadays shear wall structural system is gradually changing to framed structure. For this reason, lightweight panel is increasingly being used as separating walls. One of design methods to obtain high transmission loss is double panel. To predict the acoustic performance of double panel, prediction of transmission loss of single panel must be performed, previously. In this study, the predicted values for four single panels were compared with the measured values. The result shows the arithmetical average deviations(100Hz to 3150Hz) between the predicted and measured transmission loss were in range between 1.1dB and 3.9dB. The predicted values were generally lower than measured values above critical frequency. The single-number quantities, R_w+C , were predicted in range between 36dB to 38dB, and the differences of single-number quantities between the predicted and measured value were within 1dB.

1. 서 론

현재 국내에서 건설되고 있는 대다수 아파트 건물의 세대간 경계벽은 철근콘크리트로 이루어진 벽식구조로 구성되어 있다. 이 때 벽체의 두께는 180~200mm 전후의 철근콘크리트로 구성되어 비교적 높은 차음성능을 지니고 있다. 그러나 최근 리모델링시 해체·조립의 용이성 및 가변성이 우수하다는 장점으로 인해 아파트 구조가 라멘구조로 점차 바뀌는 추세이며, 이에 따라 건식공법의 경량벽체 사용이 증가하고 있는 추세이다. 특히 세대간 경계벽의 경우 기존 철근콘크리트 벽식구조와 유사한 차음성능을 가지면서 상대적으로 하중이 적은 경량벽체의 개발이 필요하게 되었다.

경량벽체를 철근콘크리트 구조와 동일두께의 단일벽체로 구성할 경우 비중이 낮기 때문에 차음성능이 낮아지게 된다. 이에 따라 경량벽체 구성시 중공층 및 흡음재를 벽체 사이에 설치하여 차음성능을 높일 수 있는 이중벽체가 사용되고 있다.

이중벽체를 현장에 적용시 각 현장조건에 적합한 차음성능을 갖춘 벽체구조를 설계하여 설치하기 위해서는 이중벽체

의 차음성능에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 예측하는 것이 중요하다. 이중벽체의 차음성능 예측을 위해서는 우선적으로 이중벽체를 구성하는 단일벽체의 차음성능 예측이 신뢰성을 가져야 한다.

본 연구에서는 저회를 이용한 경량콘크리트판넬을 기본 구성재로 적용하여 '주택성능등급인정 및 관리기준'(건설교통부 고시, 2006.)에서 제시하고 있는 차음성능 1등급($R_w+C \geq 58dB$)을 만족시키는 설계안 개발의 기초연구로서, 기존 차음성능 이론식을 토대로 경량콘크리트 단일판넬의 면밀도 변화에 따른 차음성능을 예측한 후, 실측데이터⁽¹⁾와 비교·분석하고자 한다.

2. 이론고찰

단일벽체의 표면형상이 평탄한 경우, 투과손실은 단일판넬의 강성에 의해 조절되는 공진주파수 이하영역까지 감소하는 경향을 나타내며, 공진주파수 이상의 주파수 영역에서는 질량법칙(Mass Law)에 의해 옥타브당 약 6dB씩 증가하는 경향을 나타낸다. 입사음의 파장이 단일판넬의 굴곡진동과 일치하는 임계주파수(Critical Frequency)이상의 영역에서는 옥타브당 약 9dB씩 증가하는 경향을 나타낸다. 그림 1은 단일판넬의 일반적인 주파수별 투과손실 특성을 보여준다.

단일판넬의 차음성능은 임계주파수의 약 1/2 이하의 주파수 영역까지 적용되는 질량법칙영역과 임계주파수의 약 1/2 이상부터 임계주파수까지의 주파수 영역, 임계주파수 이상의 세 영역으로 구분하여 예측할 수 있다.

† 책임저자 : 서울시립대학교 대학원 건축공학과
E-mail : yhs7158@naver.com
Tel : (02)2210-5326

* 서울시립대학교 대학원 건축공학과

** 서울시립대학교 건축학부

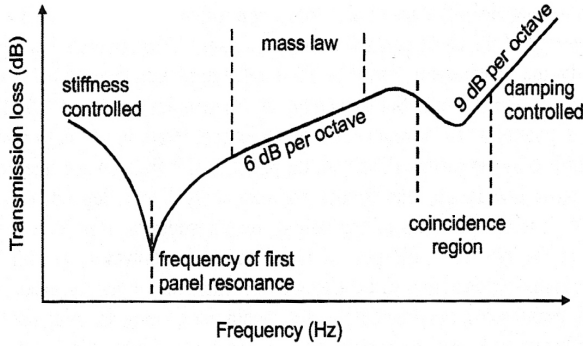


그림 1. 단일판넬의 투과손실 특성(David A.Bies, 2003)⁽²⁾

2.1 질량법칙 영역 차음성능 예측

단일판넬의 가로길이가 a (m), 세로길이가 b (m), 굽힘탄성(Bending Stiffness)이 B 인 경우, 공진주파수는 식(1)⁽³⁾에 의해 계산되어진다.

$$f_{i,n} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m} \left[\frac{i^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]} \text{ Hz ; } i, n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

가장 낮은 차수의 공진주파수는 $i=n=1$ 일 때를 나타내며, 단일판넬 차음성능 예측시 공진주파수는 단일수치평가 최저 주파수인 100Hz보다 낮은 영역에서 발생하므로 예측에서 제외되는 경우가 많다.

질량법칙이 적용되는 공진주파수 이상의 주파수영역에서부터 임계주파수 이하의 주파수영역까지 입사음의 각도별 투과계수는 식(2)⁽⁴⁾에 의해 계산되어진다.

$$\tau_{\theta} = \left[1 + \left(\frac{\omega m_s \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right]^{-1} \quad (2)$$

여기서, τ_{θ} : 입사각도별 투과계수
 ω : 각주파수(rad/s)
 m_s : 면밀도(kg/m²)
 ρ_0 : 공기밀도(1.18kg/m³)
 c_0 : 음속(344m/s)

위 식을 투과손실 계산식에 대입하면 입사음의 각도별 투과손실은 식(3)과 같다.

$$TL_{\theta} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega m_s \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right] \text{ dB} \quad (3)$$

단일판넬의 차음성능을 확산음장에서 측정할 경우, 단일판넬에 입사되는 음의 세기는 모든 방향에서 동일하다. 확산음장에서 평균투과계수는 음의 입사각 0°에서 입사제

한각(θ_{im})까지의 투과계수를 적분하여 식(4)⁽⁵⁾에 의해 구할 수 있다.

$$\tau = \frac{\int_0^{\theta_{im}} \tau_{\theta} \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\theta_{im}} \cos \theta \sin \theta d\theta} \quad (4)$$

확산음장에서 입사제한각은 이론상 90°가 된다. 그러나, 입사제한각을 90°로 적용할 경우, 잔향실에서 측정된 실험값에 비해 투과손실이 약 3dB 낮게 나타나는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그 원인은 잔향실의 확산성 부족 및 두 개의 잔향실 사이에 시험체를 설치할 경우 시험체가 잔향실 벽면보다 안쪽에 설치되어 입사제한각이 90°보다 낮아지기 때문이다. Sharp⁽⁶⁾는 실험실에서 측정한 실험값과 이론값을 비교·분석한 결과 확산음장에서 입사제한각이 78°~85° 범위의 때 유사한 결과가 나타나는 것으로 제안하였다. 이 경우, 투과손실을 1/3 옥타브밴드로 예측하면 식(5)⁽⁴⁾와 같이 나타낼 수 있다.

$$TL = 20 \log \left(\frac{\omega m_s}{2\rho_0 c_0} \right) - 10 \log \left[1.5 + \log_e \left(\frac{2f}{\Delta f} \right) \right] \text{ dB} \quad (5)$$

여기서, Δf : 대역폭

$$f/\Delta f : 0.236$$

위 식을 정리하면,

$$TL = 20 \log \left(\frac{\omega m_s}{3.8\rho_0 c_0} \right) \text{ dB} \quad (6)$$

혹은

$$TL = 20 \log (f m_s) - 48 \text{ dB} \quad f < 0.5f_c \quad (7)$$

여기서, f_c : 임계주파수

으로 나타낼 수 있다. 이 때, 질량법칙은 약 0.5 f_c 이하의 주파수영역까지 적용⁽⁶⁾되며, 0.5 f_c 에서 f_c 사이의 주파수별 투과손실은 $\log_{10}(f)$ 에 대한 선형보간법⁽²⁾에 의해 계산되어진다.

2.2 임계주파수 이상 영역 차음성능 예측

단일판넬은 측정대상 판넬의 다양한 물리적 특성에 의해 특정 주파수 이상의 영역에서 일치효과(Coincidence Effect)가 발생하여 투과손실이 저하되는 현상이 나타난다. 이 때, 입사음의 파장이 단일판넬의 굴곡진동과 일치하는 임계주파수에서 낮은 투과손실이 발생하여 차음성능 평가시 단일수치가 저하된다. 임계주파수는 식(8)⁽⁵⁾과 같다.

$$f_c = \left(\frac{c_0^2}{2\pi} \right) \left(\frac{m_s}{B} \right)^{1/2} \quad (8)$$

여기서, B : 굽힘탄성(Bending Stiffness)

$$B = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} N \cdot m$$

h : 판넬두께(m)
 ν : 프와송비

약 0.5f_c에서 발생하는 일치효과의 영향도는 단일판넬의 내부 손실계수에 의해 결정되며, 임계주파수 이상에서 투과손실은 옥타브당 약 9dB씩 증가한다. 임계주파수 이상에서 투과손실 계산식은 식(9)⁽⁴⁾와 같다.

$$TL = 20 \log \left(\frac{\pi f m_s}{\rho_0 c_0} \right) + 10 \log \left(\frac{2\eta f}{\pi f_c} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

여기서, η : 손실계수

3. 측정 및 예측개요

3.1 예측대상

면밀도 변화에 따른 경량콘크리트 단일판넬의 차음성능 특성을 알아보기 위해 이중벽체 설치시를 고려하여 단일판넬 두께는 75mm로 설정하였다. 이는 현실성을 고려하여 세대간 경계벽의 총 두께를 200mm 이내로 구성하는데 필요한 단일판넬의 적정두께로 가정한 것이다. 비중변화의 범위는 강도 및 시공성, 작업성, 기존 제품의 비중 등을 고려하여 0.7~1.1 ton/m³으로 설정하였다. 표 1은 실험에 사용된 4가지 시험체의 구성을 나타낸다.

표1. 시험체 구성

시험체 No.	시험체 구성
1	두께 75mm (비중0.7 ton/m ³)
2	두께 75mm (비중0.8 ton/m ³)
3	두께 75mm (비중0.9 ton/m ³)
4	두께 75mm (비중1.1 ton/m ³)

3.2 측정 및 평가방법

단일 경량콘크리트판넬의 차음성능은 D사의 음향실험실(잔향실) 사이에 설치된 폭 3.5m, 높이 3m의 카세트 내부에 폭 0.6m, 높이 3m 크기의 단위제품 6매를 사용하여 설치한 후 연결부위는 밀설치하여 측정하였다.

차음성능 측정방법은 『KS F 2808(2001): 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법』⁽⁷⁾에 준하여 실시하였고, 평가는 『KS F 2862(2002): 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법』⁽⁸⁾의 R_w 단일수치 평가량에 의해 실시되었다.

4. 예측결과 및 분석

단일판넬의 차음성능 예측을 위해서는 측정대상 판넬의 물성치를 예측식에 정확히 입력해야한다. 물성치 입력조건으로는 탄성계수, 판넬두께, 프와송비, 비중 등이 있다. 본 연구에서는 비중 0.8ton/m³의 경량콘크리트판넬 시료에 대한 탄성계수 및 프와송비를 측정⁽⁹⁾하여 표 2와 같은 물성치를 차음성능 예측식에 입력하였다. 시험체 1, 3, 4의 탄성계수는 동일재료를 사용하여 제작한 판넬의 경우 임계주파수와 면밀도의 곱은 항상 일정⁽⁵⁾하다는 이론에 근거하여 산정하였다. 사진 1은 탄성계수 측정사진이다.

표2. 물성치 입력조건

시험체 No.	비중 (ton/m ³)	판넬 두께 (m)	면밀도 (kg/m ³)	프와송 비	탄성 계수 (GPa)	손실 계수 ⁽⁵⁾	f _c ×m _s (Hz·kg/m)
1	0.7	0.075	52.5	0.23	2.1	0.02	29957
2	0.8	0.075	60	0.23	2.3	0.02	29957
3	0.9	0.075	67.5	0.23	3.3	0.02	29957
4	1.1	0.075	82.5	0.23	6.0	0.02	29957



사진1. 경량콘크리트판넬 시료 탄성계수 측정장면

표 2의 물성치를 토대로 각 시험체의 임계주파수 산정결과는 표 3과 같다.

표3. 각 시험체의 임계주파수

시험체 No.	1	2	3	4
임계주파수 (Hz)	570.6	499.3	443.8	399.4

예측결과, 단일판넬의 면밀도가 높아질수록 임계주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다.

4가지 시험체의 면밀도 변화에 따른 잔향실에서 측정된 주파수별 투과손실은 그림 2와 같다.

시험체 1을 대상으로 실험값과 예측값의 주파수별 투과손실을 비교해보면, 그림 3과 같이 실험값과 예측값의 임계주

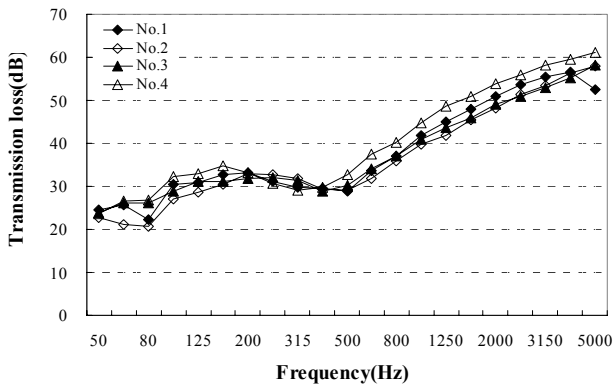


그림2. 면밀도변화에 따른 차음성능⁽¹⁾(실험값)

파수가 유사함을 알 수 있으며, 임계주파수 이상의 주파수 영역에서 실험값이 예측값보다 높은 투과손실을 나타냈다. 차음성능 평가 주파수대역인 100~3150Hz에서의 실험값과 예측값의 주파수별 절대값 편차는 0.3~6.3dB로 상대적으로 높게 나타났으며, 산술평균편차는 3.9dB로 나타났다. 편차가 다소 높은 원인은, 일차적으로 탄성계수 산정에서의 오차로 추정되나, 실험상 또는 시험체 제작과정에서의 오차발생 가능성도 원인일 수 있을 것으로 사료된다.

시험체 2의 경우, 그림 4에 나타난 그래프와 같이 임계주파수는 실험값과 예측값에서 약 500Hz영역에서 나타났으며, 임계주파수에서 투과손실 편차가 0.5dB로 매우 유사함을 알 수 있다. 또한, 임계주파수 이상의 영역에서 투과손실 경향이 매우 유사하며, 100~3150Hz 범위에서의 주파수별 편차는 0.3~2.7dB, 산술평균편차는 1.3dB로 편차가 적음을 알 수 있다.

두께 75mm, 비중 0.9ton/m³인 시험체 3의 투과손실 예측값과 실험값을 비교·분석해 보면, 그림 5와 같이 전체적인 주파수별 투과손실 경향은 매우 유사하며, 임계주파수는 약 400Hz영역에서 나타나는 것을 알 수 있다. 차음성능 평가 주파수대역에서의 실험값과 예측값의 최대편차는 200Hz영역에서 약 2.7dB로 아주 낮게 나타났으며, 산술평균편차는 1.1dB로 나타났다.

시험체 4에 대한 실험값과 예측값은 그림 6과 같이 임계주파수가 약 400Hz영역에서 발생하였으며, 투과손실 경향이 매우 유사함을 알 수 있다. 100~3150Hz에서의 최대편차는 1250Hz대역에서 약 3.9dB로 나타났으며, 산술평균편차는 1.7dB로 낮게 나타났다.

4가지 시험체에 대한 실험값과 예측값을 비교·분석한 결과, 시험체 1의 평균오차는 3.9dB로 상대적으로 높았으며, 나머지 시험체에서는 매우 유사함을 알 수 있었다. 또한, 임계주파수 이상의 영역에서 예측값이 실험값보다 투과손실이 전반적으로 낮은 경향을 보였다. 표 4는 각 시험체별 차음성능 평가주파수대역에서의 주파수별 최소·최대편차 및 산술평균편차를 나타낸다.

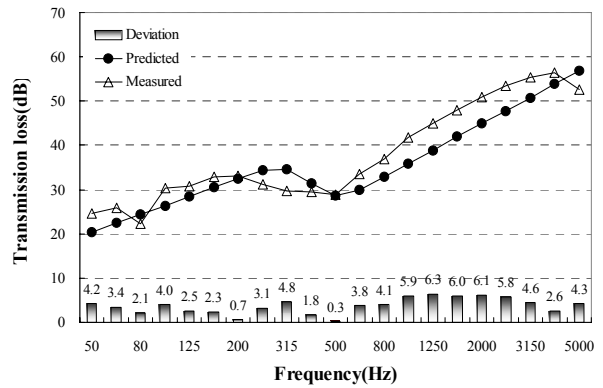


그림3. 예측 및 측정 투과손실(시험체 1)

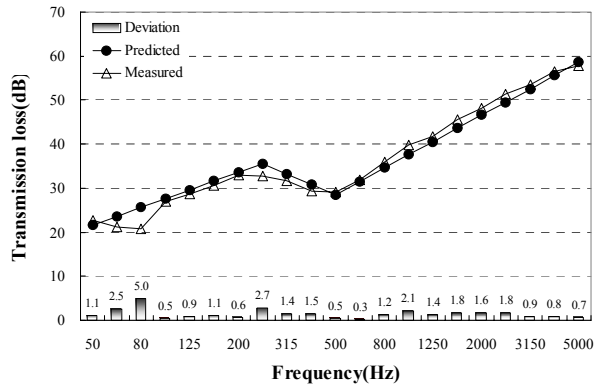


그림4. 예측 및 측정 투과손실(시험체 2)

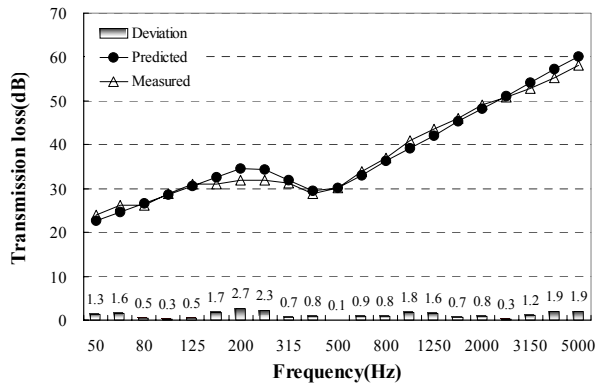


그림5. 예측 및 측정 투과손실(시험체 3)

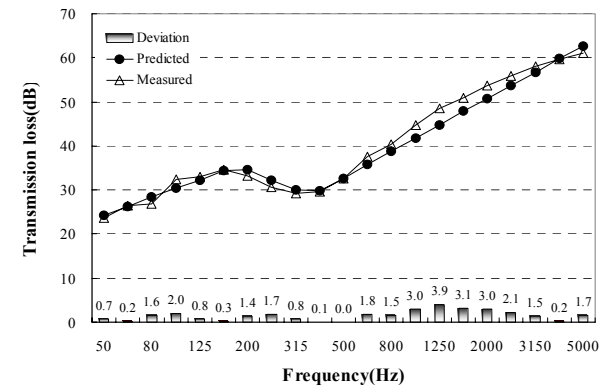


그림6. 예측 및 측정 투과손실(시험체 4)

표4. 시험체별 실측치와의 편차 [단위 : dB]

No.	최소편차	최대편차	산술평균편차 (100~3150Hz)
1	0.3	6.3	3.9
2	0.3	2.7	1.3
3	0.1	2.7	1.1
4	0.0	3.9	1.7

투과손실을 스펙트럼 조정항을 보정한 단일수치($R_w + C$)로 평가하여 예측값과 비교한 결과는 표 5와 같다.

표5. 면밀도변화에 따른 단일수치($R_w + C$) [단위 : dB]

No.	실험값	예측값	오차 (실험값-예측값)
1	37	36	1
2	37	36	1
3	37	37	0
4	39	38	1

스펙트럼 조정항을 보정한 단일수치를 예측값과 비교한 결과, 단일 경량콘크리트판넬의 차음성능 단일수치평가량 예측치는 36dB~38dB로 면밀도에 비례하여 증가하는 경향을 확인할 수 있었으며, 실험에 의해 얻어진 단일수치평가량 37dB~39dB과 비교하면 1dB 이내의 오차로 비교적 잘 일치하는 것으로 분석되었다. 또한 전반적으로 예측치가 실측치에 비해 다소 낮게 평가되는 경향이 있는 것으로 파악되었다.

5. 결론

단일 경량콘크리트판넬의 면밀도 변화에 따른 차음성능을 실험값과 예측값을 비교·분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 4가지 종류의 시험체에 대한 실험값과 예측값을 비교·분석한 결과, 주파수별 투과손실 경향은 실험값과 유사한 경향을 보였으며, 차음성능평가 주파수영역인 100~3150Hz 사이에서의 산술평균편차는 최소 1.1dB(시험체 3)에서 최대 3.9dB(시험체 1)로 낮은 편차를 보였다.

2) 각 시험체의 주파수별 투과손실 분석결과, 임계주파수 이상의 주파수 영역에서 실험값보다 예측값이 전반적으로 낮게 예측되는 경향을 보였다.

3) 스펙트럼 조정항을 보정한 단일수치($R_w + C$)를 비교한 결과, 4종의 시험체에 대한 실험값과 예측값의 단일수치평가

량 편차는 1dB 이내로 낮았으며, 실험값에 비해 예측값이 낮게 예측되는 경향을 나타냈다.

연구결과, 예측식을 이용한 단일 경량콘크리트판넬의 차음성능 예측시 실험값과 유사한 결과를 보여, 이중벽체의 요소별 변화에 따른 차음성능 예측시 유용한 기초데이터로 사용될 것으로 사료된다.

향후 본 연구에서 검토한 경량콘크리트판넬을 이용하여 이중벽체를 구성할 경우 중공층의 두께, 흡음재 충전조건 등의 주요 영향요인에 따른 차음성능 해석을 수행하여 신뢰성을 분석·고찰하고자 한다.

후 기

본 연구는 환경부의 2006년 차세대 핵심기술개발사업에 의한 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 정갑철, 정진연, 2007, "저회를 이용한 경량판넬의 특성 연구, 한국소음진동공학회는문집 제17권 제2호, pp. 149~154
- (2) David A.Bies and Colin H.Hansen, 2003, Engineering Noise Control, Spon Press
- (3) B.H.Sharp, 1973, "A Study of Techniques to Increase the Sound Insulation of Building Elements", US Department of Housing and Urban Development, NTIS PB 222 829/4
- (4) L.Cremer, 1942, "Theorie der Schälldämmung dünner Wände bei Schrägen einfall", Akustische Zeitung 7,pp 81
- (5) Istvan L.Ver and Leo L.Beranek, 2006, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc.
- (6) B.H.Sharp, 1978, "Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements", Noise Control Engineering, pp. 53~63
- (7) KS F 2808(2001) : 건물부재의 공기전달음 차단성능 실험실 측정방법(ISO 140-4 : 1998)
- (8) KS F 2862(2002) : 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법(ISO 717-1 : 1996)
- (9) KS F 2438(2002) : 콘크리트 원주 공시체의 정탄성 계수 및 포아송비 시험방법