

세대내 플러시 도어의 하부틈새 조건에 따른 차음성능 평가

Evaluation of sound insulation performance according to aperture conditions under the flush door

안지형†·김명준*·이민주**

An Ji-hyeong, Kim Myung-jun and Lee Min-joo

Key Words : Aperture(틈새), Sound Insulation(차음성능), Gomperts theory(Gomperts 이론)

ABSTRACT

Sound insulation performance of the flush door in the apartment unit was recently decreased due to the door for the purpose of barrier free. To evaluate sound insulation, the test for 13 kinds of flush doors was performed as aperture conditions under the flush door. and the measured value was compared with the predicted values of theoretical sound transmission.

The results were summarized follow; First, in case of doors with aperture by barrier free, the single number quantities (D_{pw}) were evaluated 21~23dB. Whereas, in case of existing door with frame, D_{pw} was evaluated 28~31dB. And in case of sealed doors, D_{pw} was evaluated 31~34dB. Second, the measured D_{pw} was good agreement with the predicted D_{pw} in condition of small aperture.

1. 서론

최근 공동주택 거주자들의 의식수준이 향상됨에 따라 주택환경에 대한 요구성능이 갈수록 증가하고 있으며, 점차 개인주의사회로 변화해 감에 따라 세대 내에서도 가족 간의 프라이버시(privacy)가 중요시 되고 있다.

세대내 차음성능 저하 요인으로 크게 플러시 도어(flush door)의 틈새와 발코니(balcony) 내부를 통한 창호 등의 우회전달 경로가 있다. 창호의 경우 발코니 확장을 통하여 거실과 침실간의 경계가 구분되는 반면에, 세대내 도어는 주거복지의 향상과 더불어 고령화시대에 대응하기 위해 노인이 거주하는 주택에 대한 종합적인 베리어 프리(barrier free)정책이 추진되면서 하부 문틀이 없는 설계사례가 늘어남에 따라 하부틈새폭에 의한 차음성능 저하가 예상되고 있다.

본 논문에서는 세대내 차음성능의 저하요인으로 크게 작용하고 있는 베리어 프리화 플러시 도어의 slit형태의 하부틈새에 대한 영향을 파악하기 위해 현장에서 차음성능을 측

정하고, 틈새조건이 차음성능에 미치는 영향을 분석하였다. 아울러 현장에서의 차음성능 측정결과와 slit형 틈새가 차음성능에 미치는 영향을 연구한 Gomperts 이론을 비교 분석하여 현장에서의 적용성을 검토하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 베리어 프리(barrier free)

베리어 프리(barrier free)는 1974년 국제연합 장애인생활환경전문가회의에서 'barrier free design'에 관한 보고서가 나오면서 건축학 분야에서 사용되기 시작하였다. 이후 일본·스웨덴·미국 등 선진국을 중심으로 휠체어를 탄 고령자나 장애인들도 일반인과 다름없이 편하게 살 수 있도록 주택이나 공공시설을 지을 때 하부문틀을 시공하지 않는 운동을 전개하면서 세계 곳곳으로 확산되었다. 우리나라의 경우 주택종합계획(2003~2012)에서 노인이 거주하거나 노인용 주택에 대한 종합적인 베리어 프리(barrier free)정책을 추진하고 있다.

2.2 틈새의 차음성능

1964년 Gomperts는 slit형태나 circular형태의 틈새를 갖는 부재의 차음성능에 대하여 연구하였다.¹⁾ 그림 1에서 처럼 slit형태의 틈새를 갖는 벽체에서 투과하는 음의 평균

† 교신저자, 서울시립대학교 대학원 석사과정
E-mail : enhast@hanmail.net
Tel : (02) 2210-5326, Fax : (02) 2248-0382

* 서울시립대학교 건축학부

** 서울시립대학교 대학원 박사과정

투과율은 식(1)과 같이 제안하였다.

일반적인 총합투과율 이론을 사용할 경우 개구부에 대한 투과율을 1로 산정하여 부재의 면적에 비례해서 총합투과율을 산정하지만, 식(1)은 음이 투과하는 부분의 깊이(t) 영향까지 고려하여 틈새의 투과율을 산정할 수 있다.

$$\tau_{slit} = \frac{mK \cos^2 Ke}{2n^2 \left\{ \frac{\sin^2 K(L+2e)}{\cos^2 Ke} + \frac{K^2}{2n^2} [1 + \cos K(L+2e) \cos KL] \right\}} \quad (1)$$

여기서,

K : kd (k는 wave number, d는 틈새폭, m)

L : t/d (t는 틈새깊이, m)

e : 단보정계수, β/d ($\beta = \frac{d}{\pi} (\ln \frac{8}{K} - 0.57722\dots)$)

m : 8(확산음장일 때), 4(수직입사일 때)

n : 1(벽체에 slit이 있을 때), 0.5(벽체와 천장의 접합부 모서리에 slit이 있을 때)

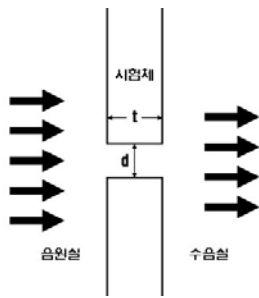


그림 1. 시험체의 slit을 통한 음의 투과(단면도)

3. 실태조사

3.1 공동주택 세대내 플러시 도어의 틈새폭

표 1은 4개 단지 총 13세대 43개 도어(D 아파트 2세대 6개, H 아파트 2세대 7개, T 아파트 6세대 21개, K아파트 3세대 9개)를 대상으로 하여 현재 시공되고 있는 세대내 도어의 틈새폭 및 개공율을 조사하여 정리한 것이다. 이들 중 H 아파트 세대 C의 침실 3, 4와 세대 D의 5종은 문틀이 있는 도어이고, 나머지 38종은 하부문틀이 없는 구조이다.

도어의 틈새폭은 5개 지점에서 실측한 평균치로서 하부문틀이 없는 도어의 경우 틈새폭은 최소 3.2mm, 최대 12.8mm, 평균 6.4mm인 것으로 조사되었고, 개공율은 하부문틀이 없는 경우 평균 0.27%이며, 대부분 0.5%를 넘지 않는 것으로 조사되었다. D 아파트와 H 아파트의 경우 베리어 프리 도어의 틈새폭이 건설교통부 건축표준상세도집의 상호표준설계도에서 정하고 있는 7+1.0mm, 7-0.5mm의 규정을 0.1~3.9mm 초과하였고, 문틀이 있는 경우 3+1.0mm, 3-0.5mm의 규정을 대부분 만족하는 것으로 조사되었다.

3.2 측정개요

2개 단지를 대상으로 D 아파트 2세대 6개와 H 아파트 2세대 7개, 총 13개 도어의 차음성능을 KS F 2809(2001) 공기 전달음 차단 성능 현장 측정방법 (ISO 140-4 : 1998) 중 부속서 2(규정) 특정 장소간 음압 레벨차의 측정 방법에 의하여 실험을 진행하였다. 측정장비는 다채널 신호

표 1. 아파트 세대내 도어의 틈새폭 및 개공률

아파트	세대	침실1		침실2		침실3		침실4	
		틈새폭(mm)	개공율(%)	틈새폭(mm)	개공율(%)	틈새폭(mm)	개공율(%)	틈새폭(mm)	개공율(%)
D 아파트	A	11.4	0.50	9.4	0.42	9.1	0.40	•	•
	B	9.8	0.43	8.8	0.39	8.1	0.36	•	•
H 아파트	C	11.9	0.57	7.4	0.36	1.9	0.09	2.4	0.12
	D	1.4	0.07	2.7	0.13	2.8	0.14	•	•
T 아파트	E	8.1	0.39	10.7	0.52	5.2	0.25	8.6	0.42
	F	5.7	0.28	4.8	0.23	3.7	0.18	5.1	0.25
	G	5.4	0.26	5.4	0.26	6.1	0.3	12.8	0.62
	H	5.8	0.28	4.2	0.2	5.7	0.28	•	•
	I	6.7	0.33	5.6	0.27	5.3	0.26	•	•
	J	6.6	0.32	5.1	0.25	5.2	0.25	•	•
K 아파트	K	4.3	0.21	4.6	0.22	4.9	0.24	•	•
	L	3.5	0.17	3.2	0.16	3.5	0.17	•	•
	M	3.8	0.18	3.8	0.18	3.9	0.19	•	•

※개공율 : 개공면적(m²)/[도어면적(m²)+ 개공면적(m²)]×100

분석기인 Harmonie(01dB社)를 사용하여 1/3 octave로 3회 측정 후 평균한 값을 사용하였으며, 음원은 무지향성스피커(Cesva)를 사용하였다.



그림 2. 도어의 구성

그림 2는 도어의 전체적인 구성을 나타내었으며, (a),(b)는 문틀이 없는 베리어 프리 도어와 문틀이 있는 도어를 나타낸 그림이다. (c)는 하부 틈새를 막을 때 사용한 고무 개스킷이다. (d)는 도어의 차음성능에 가장 큰 영향을 미치는 하부 틈새만의 효과를 파악하기 위해 고무 개스킷을 사용하여 도어의 하부 틈을 밀폐하였고, 하부 틈을 제외한 도어와 문틀이 접하는 부분들은 모두 테이프로 기밀처리하였다.

4. 측정결과

4.1 도어의 차음성능 단일수치 평가량(D_{pw})

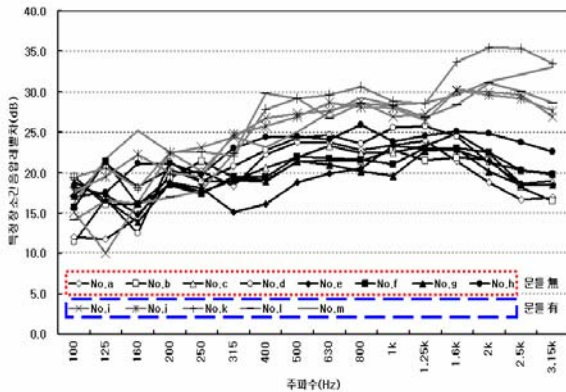


그림 3. 세대내 도어의 특정 장소 간 음압레벨 차(D_p)

그림 3은 각 세대내 플러시 도어의 특정 장소 간 음압레벨 차(D_p)를 나타내고 있다. 하부문틀이 있는 도어와 비교하

여 하부문틀이 없는 베리어 프리 도어는 500Hz이상의 주파수 대역에서 D_p가 감소하고 있으며 500Hz~1kHz에서는 0.6~2.2dB, 1.25kHz에서 0.7dB, 1.6kHz~3.15kHz에서는 3.2~5.4dB의 차이를 나타내고 있다.

표 2. 세대내 도어의 단일수치평가량(D_{pw})

	No.	측정대상		D _{pw} (dB)	
문틀 無 (barrier free)	a	D사 아파트	세대 A	침실 1	21
	b			침실 2	21
	c		침실 3	22	
	d		침실 1	23	
	e	세대 B	침실 2	20	
	f		침실 3	22	
	g		세대 C	침실 1	21
	h			침실 2	25
문틀 有	i	H사 아파트	세대 C	침실 3	28
	j			침실 4	28
	k		세대 D	침실 1	31
	l			침실 2	28
	m	침실 3		29	

표 2는 하부틈새를 막지 않은 상태에서 세대내 플러시 도어의 단일수치평가량(D_{pw})을 나타내고 있다. 베리어 프리한 No.a~No.g는 단일수치평가량(D_{pw}) 21~23dB, 창호표준설계도 기준을 만족하는 No.h(틈새폭 7.4mm)는 25dB, 문틀이 있을 경우 단일수치평가량(D_{pw})은 28~31dB로 평가되었다.

표 3. 세대내 도어의 단일수치평가량(D_{pw}) : 하부틈새 기밀처리

	No.	측정대상		D _{pw} (dB)	
문틀 無 (barrier free)	a	D사 아파트	세대 A	침실 1	33
	b			침실 2	32
	c		침실 3	33	
	d		침실 1	34	
	e	세대 B	침실 2	31	
	f		침실 3	33	
	g		세대 C	침실 1	32
	h			침실 2	32
문틀 有	i	H사 아파트	세대 C	침실 3	31
	j			침실 4	32
	k		세대 D	침실 1	33
	l			침실 2	32
	m	침실 3		32	

표 3은 하부 틈새를 고무 개스킷으로 기밀처리한 상태에서 세대내 도어의 단일수치평가량(D_{pw})을 나타내고 있다. 문틀의 유무와 관계없이 D사의 경우 31~34dB, H사의 경우 31~33dB으로 유사한 수준의 차음성능을 나타내고 있다. 하부틈새를 막지 않은 경우와 비교하였을 때, No.a~No.g는 단일수치평가량(D_{pw})이 11~12dB로 크게 증가하였으며, 문틀이 있을 경우 단일수치평가량(D_{pw})은 2~4dB로 차음성능이 증가하는 것으로 평가되었다.

4.2 실측치와 이론해석 결과의 비교

예측치를 계산하기 위한 예측조건으로 문의 TL값은 하부 틈새를 기밀처리한 현장 측정치를 적용하였고, 총합투과손실 계산 시 개구부에 대한 투과율을 1이 아닌 Gomperts의 이론식으로 계산한 주파수 대역별 투과율(τ_{slit})을 사용하여 예측치를 산정하였다.

그림 4는 문틀이 없는 베리어 프리상태일 때 측정된 실측치와 Gomperts 이론으로 계산한 예측치를 비교한 그래프이다. 예측치의 편차는 0.2~8.6dB까지 나타나고 있으며, 250Hz ~ 1.6kHz의 주파수 대역에서 일정하게 오차가 발생했다. 단일수치평가량(D_{pw})은 실측치가 20~25dB, 예측치가 24~26dB로 1~5dB 높게 평가되었다.

표 4. 차음성능 실측치와 예측치의 편차 및 결정계수(R^2)

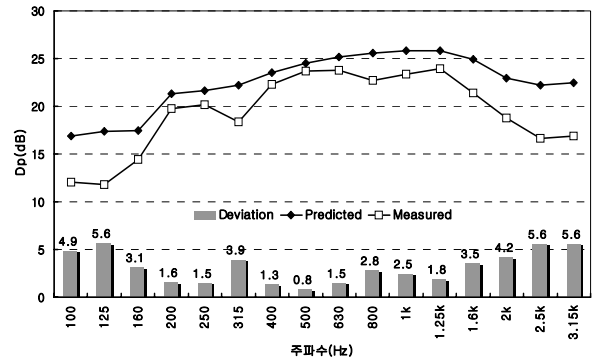
	No.	최소편차(dB)	최대편차(dB)	평균편차(dB)	R^2
문틀 無 (barrier free)	a	0.8	5.6	3.1	0.8579
	b	1.2	6.5	4.0	0.7741
	c	1.2	4.6	3.3	0.7875
	d	0.5	4.2	2.3	0.9684
	e	1.0	8.6	4.5	0.6095
	f	0.7	6.5	4.0	0.7350
	g	0.2	5.0	2.6	0.6753
	h	0.0	2.9	1.5	0.8776
문틀 有	i	0.2	6.4	2.4	0.9488
	j	0.1	5.1	1.9	0.9514
	k	0.1	3.1	1.4	0.9736
	l	0.0	3.4	2.1	0.9871
	m	0.0	4.5	1.7	0.9361

그림 5는 문틀이 있을 때의 틈새에 대한 실측치와 예측치를 비교한 그래프이다. 예측치의 편차는 0~6.4dB까지 나타나고 있으며, No.i~No.k는 1.6kHz이상의 주파수 대역에서 오차가 크게 발생하였다. 단일수치평가량(D_{pw})은 실측치가 28~31dB, 예측치가 30~32dB로 1~2dB로 높게 평가되었다.

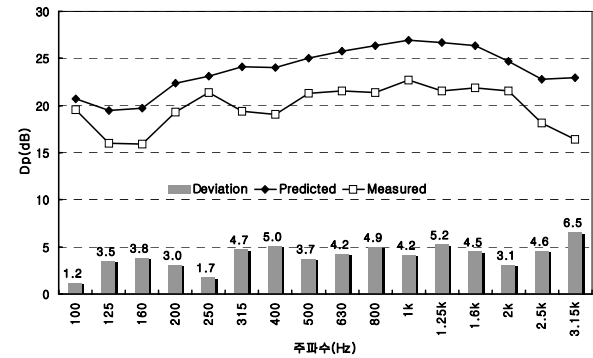
표 4는 차음성능 실측치와 예측치의 편차 및 결정계수(R^2)를 비교하였다. 문틀이 없는 베리어 프리상태일 때 주파수 대역별 최소편차는 0~1.2dB, 최대편차는 2.9~8.6dB, 평균편차가 1.5~4.5dB로 예측치가 높게 나타났다.

문틀이 있는 경우 최소편차는 0~0.2dB, 최대편차는 3.1~6.4dB, 평균편차가 1.4~2.4dB로 계산되어 예측치가 높게 평가 되었다.

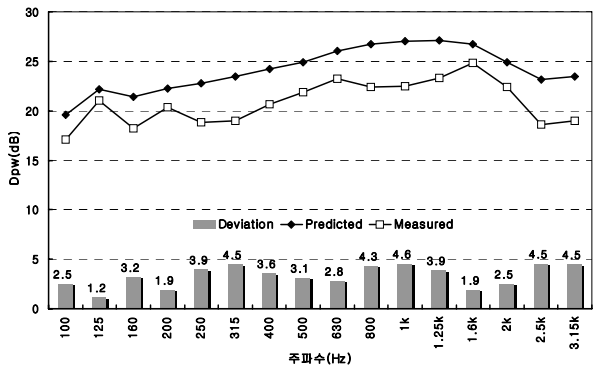
결정계수(R^2)는 문틀이 없는 경우 0.6095~0.9684이며, 대부분 각 주파수대역에서의 경향성과 일치하는 것으로 평가되었다. 문틀이 있는 경우 0.9361이상으로 차음성능과 경향성 모두 실측치와 큰 차이가 없는 것으로 평가되었다.



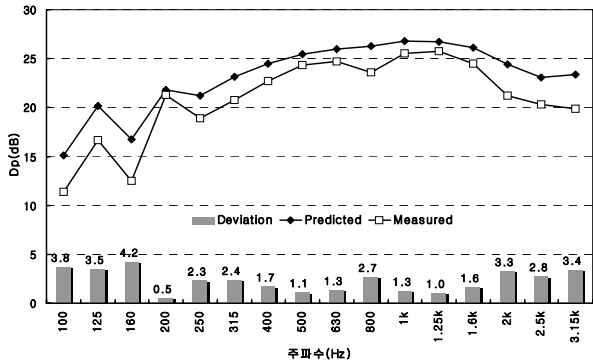
(a) No. a



(b) No. b

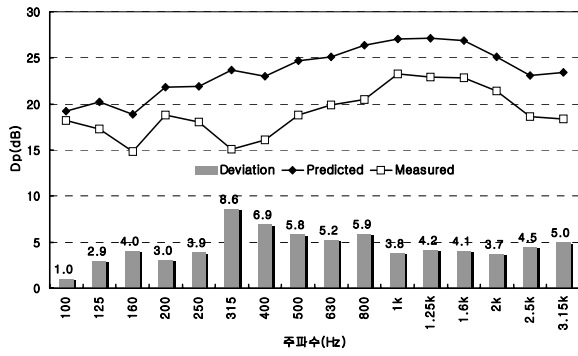


(c) No. c

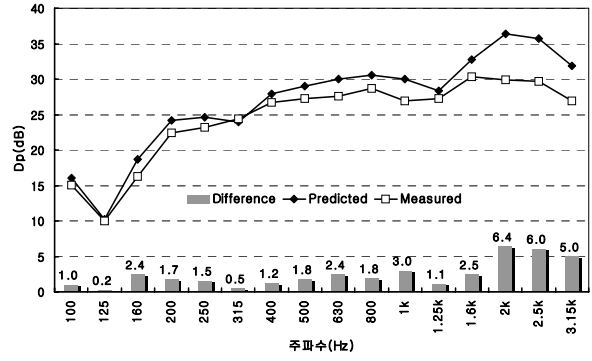


(d) No. d

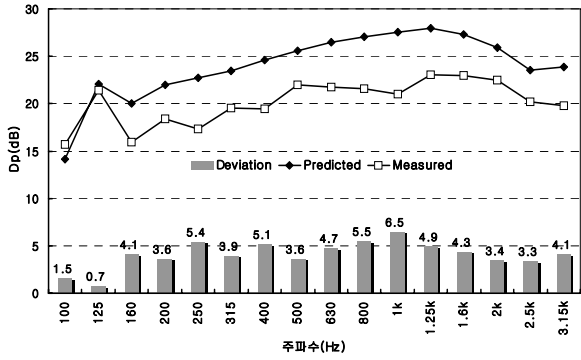
그림 4. 문틀이 없을 때(barrier free) 틈새에 대한 실측치와 예측치 비교 (계속)



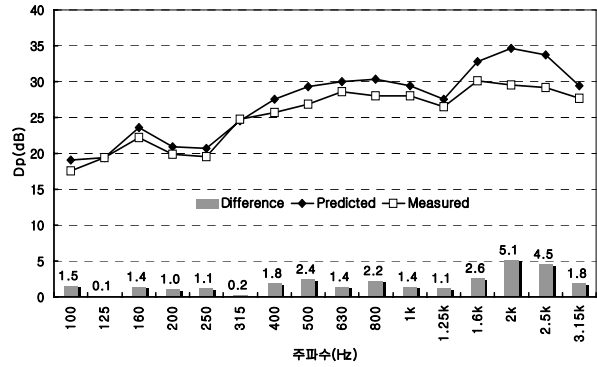
(e) No. e



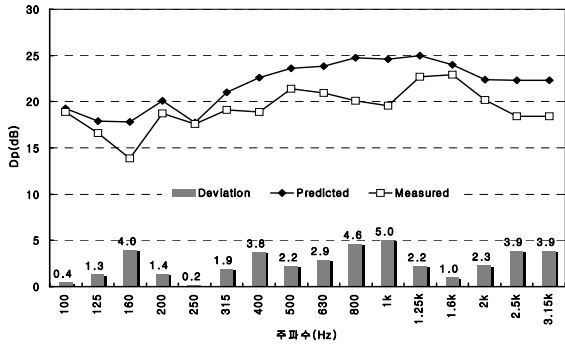
(a) No. i



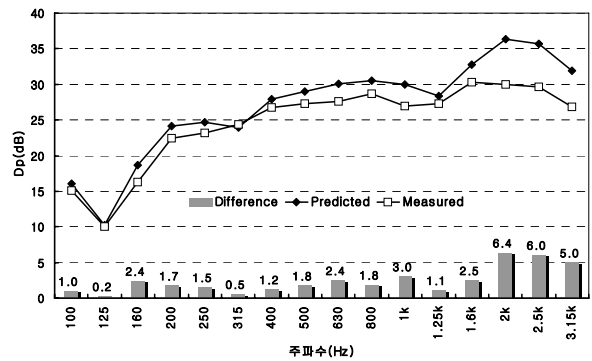
(f) No. f



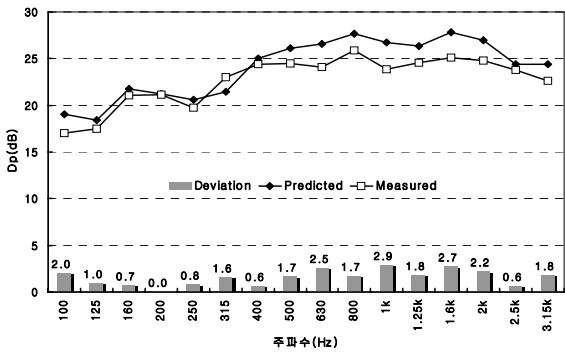
(b) No. j



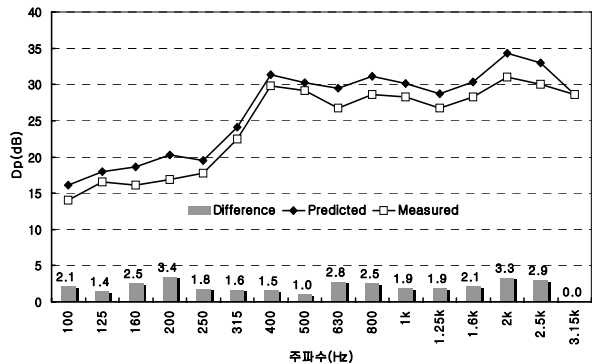
(g) No. g



(c) No. k



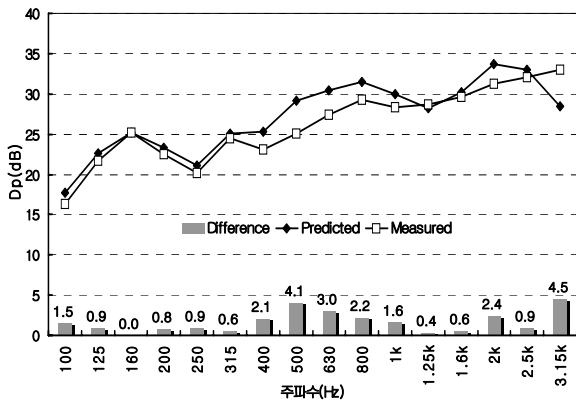
(h) No. h



(d) No. l

그림 4. 문틀이 없을 때(barrier free) 틈새에 대한 실측치와 예측치 비교

그림 5. 문틀이 있을 때 틈새에 대한 실측치와 예측치 비교 (계속)



(e) No. m

그림 5. 문틀이 있을 때 틈새에 대한 실측치와 예측치 비교

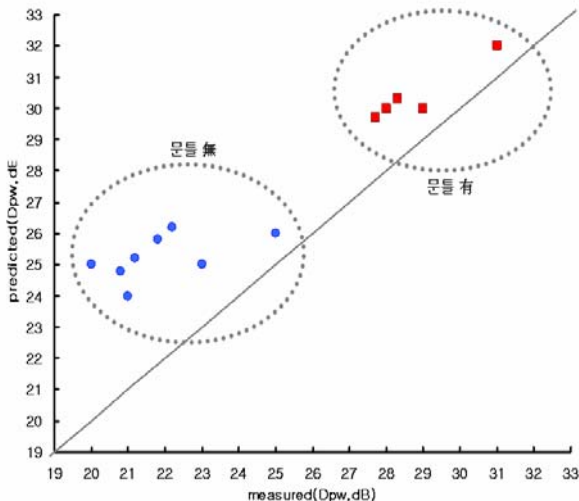


그림 6. 문틀 유무에 따른 예측치의 단일수치평가량(Dpw)

그림 6은 문틀 유무에 따른 실측치와 예측치의 단일수치평가량(Dpw)을 비교한 것이다. 기준선은 실측치와 예측치가 동일한 지점으로 이를 기준으로 하여 단일수치평가량(Dpw)의 차이는 문틀이 없는 경우 1~5dB차이로 예측치가 과대 평가 되고 있어 틈새에 대한 영향을 정확히 파악할 수 없었으며, 문틀이 있는 경우 1~2dB로 근소한 차이를 보이고 있다. 상대적으로 틈새가 작은 문틀이 있는 구조에서 실측치와 예측치가 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다.

5. 결론

현재 시공되고 있는 아파트의 세대내 하부틈새 실태와 그에 따른 차음성능의 영향을 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 세대내 도어 43개를 대상으로 하여 틈새폭 및 개공률을 정리한 결과 하부문틀이 없는 도어의 경우 틈새의 폭은 최소 3.2mm, 최대 12.8mm, 평균 6.4mm인 것으로 조사되었고, 개공율은 하부문틀이 없는 경우 평균 0.27%로 조사되었다.

2) 세대내 플러시 도어의 특정 장소 간 음압레벨 차(Dp)는 하부 틈새를 기밀처리 했을 때의 단일수치평가량(Dpw)이 31~34dB로 평가되었고, 하부틈새가 있는 상태인 베리어 프리한 No.a~No.g는 단일수치평가량(Dpw) 21~23dB로 크게 차음성능이 감소하였다. 또한 문틀이 있는 경우 단일수치평가량(Dpw)은 28~31dB로 파악되어, 전반적으로 베리어 프리에 의해 도어의 차음이 저하되는 양상을 확인할 수 있었다.

3) 도어의 차음성능 실측치와 예측치를 단일수치평가량(Dpw)으로 비교한 결과, 문틀이 없는 경우 1~5dB로 높게 평가 되었으며, 문틀이 있는 경우는 1~2dB 높은 것으로 평가 되었다. 상대적으로 틈새폭이 작을수록 예측치와 실측치는 잘 일치하는 경향이 있는 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

- (1) M. C. Gomperts, 1964, The "SOUND INSULATION" of circular and slit-shaped apertures, ACUSTICA, Vol.14 Np.1
- (2) V. Hongisto, 2000, Sound insulation of doors-part 1 : prediction models for structural and leak transmission, Journal of Sound and Vibration, 230(1). 149-170
- (3) V. Hongisto, 2000, Sound insulation of doors-part 2 : comparison between measurement results and predictions, Journal of Sound and Vibration, 230(1). 149-170
- (4) Hyun-Ju Kang, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim and Sang-Ryul Kim, 2001, Influence of sound leaks on in situ sound insulation performance, Noise Control Eng, J. 49 (3)
- (5) 양관섭, 강재식, 이윤규, 이승연, 1999, 문의 기밀, 단열, 차음성능 향상을 위한 하부구조 개선 및 성능평가에 관한연구, 대한건축학회논문집, 15권 2호(통권 124호)
- (6) KS F 2809, 2001, 공기 전달을 차단 성능 현장 측정 방법 (ISO 140-4 : 1998)
- (7) KS F 2862, 2002, 건물 및 건물부재의 공기전달을 차단성능 평가방법 (ISO 717-1 : 1996)