

대학 내 사무실의 스피치 프라이버시 측정 및 평가

Measurement and evaluation of speech privacy in university office rooms

임재섭,¹ 최영지[†]

(Jae-Seop Lim¹ and Young-Ji Choi^{1†})

¹강원대학교 건축·토목·환경공학부

(Received January 11, 2019; revised May 3, 2019; accepted June 3, 2019)

초 록: 본 논문에서는 대학 내 밀폐형 사무실의 SPC(Speech Privacy Class) 값을 측정하고 평가하였다. 대학 캠퍼스 내 3곳의 건물에 위치한 5곳 대상공간에서 실간 음압레벨차이(Level Difference, LD)와 수음실의 암소음 레벨(L_b)을 각각 측정하였다. 5곳 대상공간은 모두 인접실과 복도가 인접해있다. SPC값을 도출하기 위해 필요한 LD값과 기존의 차음성능 측정방법인 투과손실(Transmission Loss, TL)을 함께 측정하여 비교하였다. 측정결과, 5곳 대상공간은 SPC 최소 기준치인 70을 만족하지 못하였다. 5곳 대상공간의 평균 L_b 값은 29.2 dB이며 SPC 최소 기준치를 만족하기 위해서는 LD값이 41 dB 이상이어야 한다. SPC 최소 기준치를 만족하기 위해서 1/3옥타브밴드 160 Hz ~ 5000 Hz 주파수대역에서 평균 TL값은 40 dB 이상이 되도록 음향설계가 이루어져야 한다. LD값에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 음원실과 수음실 간 인접벽체의 개구부 유무이다. 따라서 인접벽체에 개구부가 존재할 경우 차음성능이 높은 재료로 개구부를 대체하여 적절한 SPC값을 만족할 수 있다.

핵심용어: 밀폐형 사무실, 스피치 프라이버시 등급, 투과손실, 음압레벨차이, 암소음 레벨, 차음

ABSTRACT: The speech privacy of closed office rooms located in a university campus was measured and assessed in terms of SPC (Speech Privacy Class) values. The measurements of two quantities, the LD (Level Difference) between a source and a receiving room, and the background noise level (L_b) at the receiving room were carried out in 5 rooms located in 3 different buildings in the university campus. Each of the 5 rooms was adjacent to both offices and corridors through walls. The TL (Transmission Loss) between the source and the receiver room was also measured to compare the difference of two standard methods, ASTM E2836-10 and KS F 2809. The present results show that the speech privacy of the 5 office rooms is not met the requirement for a minimum SPC values of 70. A minimum LD value of 41 dB between the source and the receiver room should be achieved for having a SPC value of 70 when the mean measured value of L_b at the receiving room is 29.2 dB. That is, the TL(avg) value averaged over the octave bands from 160 Hz to 5000 Hz between the source and the receiver room should be or greater than 40 dB. The most important architectural factor influencing the LD value is the presence of openings, such as doors, and windows, on the adjacent walls between the source and receiving room. Therefore, if the opening of the adjacent wall is replaced by an opening with high sound insulation, the appropriate SPC value of the research and office rooms can be achieved.

Keywords: Closed office room, Speech privacy class, Transmission loss, Level difference, Background noise level, Sound insulation

PACS numbers: 43.55.Br, 43.55.Rg

[†]**Corresponding author:** Young-Ji Choi (youngjichoi@kangwon.ac.kr)
Major in Architectural Engineering, Kangwon National University,
1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon, Kangwon-do 24341, Republic
of Korea
(Tel: 82-33-250-6224, Fax: 82-33-259-5542)

I. 서 론

1.1 연구 배경

대학 내 사무실과 연구실은 주로 연구와 행정업무가 이루어지는 장소이다. 경우에 따라 기밀이 유지되어야 하는 중대한 회의가 이루어지기도 한다. 따라서 실내에서 발생하는 음성이 실외와 인접실로 전달되지 않도록 적절한 차음성능을 고려한 음향설계가 이루어져야 한다.

실의 외부나 인접실에서의 청취자가 실내로부터 투과된 음성을 듣고 이해하지 못할 경우에는 스피치 프라이버시가 보호되었다고 할 수 있다. 반대로 인접실의 청취자가 실내에서 발생되어 투과된 음성을 듣고 그 내용을 이해할 경우에는 스피치 프라이버시가 보호되지 못하거나 취약하다고 할 수 있다.^[1]

스피치 프라이버시에 관한 연구는 1962년 Cavanaugh *et al.*^[2]이 AI(Articulation Index)를 제시하면서 본격적으로 시작되었다. Young^[3]은 Cavanaugh *et al.*^[2]의 측정 결과를 바탕으로 A특성보정한 음성 및 소음레벨과 투과손실을 단일화하여 스피치 프라이버시를 계산할 수 있는 지표를 제시하였다. 그 후 여러 연구자들은 선행연구^[1,4,5]를 통해 음성명료도 지표인 AI 외에 SII(Speech Intelligibility Index), STL(Sound Transmission Loss), 그리고 SPC(Speech Privacy Class) 등을 제시하였다. 하지만 아직 국내에서는 사무실이나 회의실과 같은 스피치 프라이버시가 중요시되는 장소에 대한 음향설계 기준과 이에 관한 연구가 미미하다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 밀폐형 사무실에서의 스피치 프라이버시 측정지표인 SPC^[6]를 차용하여 국내 K대학 내에 위치한 5곳의 사무실을 선정하여 스피치 프라이버시를 측정하고 평가하였다. 또한 KS F 2809^[7]에 따라 기존의 차음성능 측정지표인 투과손실(Transmission Loss, TL)을 함께 측정하여 그 값을 비교하였다. 본 현장측정결과를 바탕으로 국내 대학 캠퍼스 내에 위치한 사무실과 연구실의 우수한 스피치 프라이버시를 조성하기 위한 음향설계방법을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

2.1 벽체의 차음성능 현장 측정 및 평가방법

사무실간 인접한 벽체의 차음성능 현장측정은 KS F 2809^[7]에 근거하며 KS F 2862^[8]에 따라 단일수치 평가량으로 산출하여 벽체의 차음성능을 평가한다. 겉보기 음향감쇠계수(음향투과손실)의 산출과정은 Eq. (1)과 같다.

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A}, dB, \quad (1)$$

여기서 R'은 겉보기 음향감쇠계수를 나타내며, D는 실간 음압레벨차이(D)를 나타낸다. S는 측정대상의 벽 또는 바닥면적(m²)을 나타내며, A는 수음실의 등가흡음력을 나타낸다.

등가흡음력은 Sabine^[9]식에 의해 산출하며 산출과정은 Eq. (2)와 같다.

$$A = 0.161 V / T, m^2, \quad (2)$$

여기서 A는 등가흡음력을 나타내며 V는 실의 체적(m³), 그리고 T는 잔향시간(s)을 나타낸다.

2.2 사무실의 스피치 프라이버시 측정 및 평가방법

스피치 프라이버시를 포함하여 음성명료도(speech intelligibility), 그리고 음성보호(speech security)는 청취자 위치에서의 암소음과 음성레벨의 영향을 받는다.^[1] 음성명료도의 측정지표는 AI와 SII가 있으며 이는 청취자 위치에서의 음성레벨과 소음으로부터 가중주파수대역별 S/N비를 계산한다. 두 음향지표, AI와 SII의 수치범위는 0~1이며 그 수치가 1에 가까울수록 음성명료도가 높다는 것을 의미한다. 하지만 AI와 SII의 값이 0일 때 음성명료도가 전혀 없다는 것을 의미하는 것은 아니다. AI와 SII의 값이 0이더라도 실제로 음성은 들리며 가끔은 그 의미를 파악할 수 있다. 이는 음성명료도 지표인 AI와 SII의 한계이며 스피치 프라이버시를 정확히 평가하는데 부적합하다.^[1]

Table 1. Categories of speech privacy and their SPC values according to ASTM E2638-10.^[6]

Categories	SPC
Minimal Speech Privacy	70
Standard Speech Privacy	75
Standard Speech Security	80
High Speech Security	85
Very High Speech Security	90

Bradley와 Gover는 선행연구^[1,4,5]를 통해 청취자 위치에서의 암소음 레벨과 음성레벨을 재현할 수 있는 새로운 스피치 프라이버시 측정지표인 SPC를 제시하였다. 청취실험과 실제 회의실 32곳의 측정결과를 토대로 음성레벨, 실의 체적, 그리고 암소음 등의 관계를 정량적으로 산출할 수 있는 식을 Eq. (3)과 같이 제시하였다.

$$SNR_{UNB2} = \frac{1}{16} \sum_{f=160}^{5000} [L_{ts}(f) - L_n(f)]_{-32}, \text{ dB}, \quad (3)$$

여기서 f 는 주파수를 의미하며, L_{ts} 는 수음실 내 청취자 위치에서의 투과된 음성레벨을 의미한다. L_n 은 수음실의 암소음레벨(background noise level)을 나타내며, 첨자 -32는 L_{ts} 와 L_n 차이가 -32 dB 이하일 경우 음성레벨이 들리지 않으므로 -32 dB로 그 값을 대신함을 의미한다.

SPC값은 ASTM E2638-10^[6]에 근거하며 산출식은 Eq. (4)와 같다. Table 1에 스피치 프라이버시의 등급과 각 등급의 SPC값을 제시하였다.

$$SPC = LD(\text{avg}) + L_b(\text{avg}), \quad (4)$$

여기서 LD(Level Difference)는 대상공간(음원실)과 인접공간(수음실) 간 음압레벨차이를 의미하며, L_b (background noise level)는 수음실의 암소음 레벨(dB)을 의미한다. Avg(average)는 1/3 옥타브밴드 160 ~ 5000 Hz의 산술평균을 나타낸다.

2.3 두 측정방법의 비교

실간 인접벽체의 TL값 측정방법^[7]은 음원실과 수음실이 확산음장임을 전제로 두 실에 인접한 벽체의

평균 투과손실을 측정한다. 따라서 두 실의 평균음압레벨 측정값을 바탕으로 하며 실 전체의 평균음압레벨을 측정하기 위해 수음실에서 수음점을 실간 벽체로부터 0.5 m 이상 이격시켜 평면적으로 균등하게 분포시킨다.

반면 스피치 프라이버시의 LD값^[6]은 음원실의 평균음압레벨과 수음실의 특정지점(spot receiver)에서의 레벨 차이를 측정한다. 수음실의 특정지점은 실간 인접 벽체로부터 0.25 m 이격시켜 음원실에서 새어나오는 소리를 가장 잘 엿들 수 있는 최상의 위치를 재현한 것이다. 이 방법은 TL측정방법과 달리 수음실이 확산음장임을 전제하지 않고 음원실과 수음실의 음압레벨 차이값을 측정하므로 수음실의 측정지점에 따른 스피치 프라이버시가 달라질 수 있다.^[5] 또한 수음실의 측정지점을 인접벽체에 근접하게 위치시킴으로써 수음실의 음향상태에 영향을 덜 받는다.^[5]

두 방법은 음원실의 평균 음압레벨에 대한 수음실의 평균 음압레벨과 특정지점에서의 음압레벨의 차이값을 측정한 것으로 근본적으로 상이하다. Bradley와 Gover^[5]는 기존 실험실 TL측정값으로 동일 벽체의 현장에서의 LD값 예측이 가능하도록 예측식을 제시하였다. 그러나, 현장에서 동일벽체의 TL과 LD값에 대해서는 아직 알려진 측정결과가 없다. 따라서, 다른 두 방법에 의한 현장에서의 두 지표, TL과 LD의 관계를 알아보고자 함께 측정하였다.

III. 측정개요

3.1 대상공간

본 연구의 대상공간은 대학 내 위치한 5곳의 사무실과 연구실이다. 5곳 대상공간 중 3곳(Table 2의 #1, #2, 그리고 #3)은 지어진 지 40년이 넘는 건물에 위치하며 교수의 연구실로 사용된다. 주변에는 강의실이 근접해 있으며 학기 중 강의실 사용에 따른 소음발생이 빈번하다. 나머지 2곳(Table 2의 #4와 #5)은 지어진 지 10년 이내인 건물에 위치하며 직원의 사무실로 사용된다. 같은 층에는 동일한 용도의 사무실이 인접하여 위치하고 있다.

5곳 대상공간의 제원은 Table 2와 같다. 대상공간

Table 2. Data for 5 office rooms.

Rooms	Volume [m ³]	Receiving room	Wall			Opening		
			Material	Area [m ²]	Thickness [mm]	Door (material/number)	Window (material/number)	Area [m ²]
#1	66.3	A	Concrete	19.5	220	Wood/1	-	1.8
		B	Concrete	10.2	250	Wood/1	Single glass/1	2.43
#2	66.3	A	Sandwich panel	19.5	80	Sandwich panel/1	-	1.8
		B	Concrete	10.2	250	Wood/1	-	1.8
#3	66.3	A	Sandwich panel	19.5	80	Sandwich panel/1	-	1.8
		B	Concrete	10.2	250	-	Single glass/1	0.63
#4	133.9	A	Gypsum board	17.9	130	-	-	-
		B	Gypsum board	22.5	130	Steel/1	-	1.8
#5	78.0	A	Glass and gypsumboard	20.5	150	Wood/1	-	1.8
		B	Gypsum board	10.3	200	Steel/1 (Blocked by furniture)	-	1.8

의 체적은 66.3 m³ ~ 133.9 m³이며 평면 형태는 모두 장방형이다. 대상공간은 모두 1개 이상의 인접실(이하 인접공간 A)과 복도(이하 인접공간 B)가 각각 인접해 있다. 대상공간과 인접공간 간 벽체는 콘크리트, 석고보드, 그리고 샌드위치 패널로 이루어져 있다. 벽체의 개구부는 문 또는 창문으로 이루어져 있으며 문은 목재와 철재로 이루어져 있고, 창문은 단일유리로 이루어져 있다. 대상공간은 모두 중복도형식이며 각 대상공간의 인접공간은 A와 B뿐만 아니라 강의실과 사무실 등 다양한 시설과 인접해 있다.

3.2 측정방법

본 연구에서는 5곳 대상공간에서 KS F 2809^[7]와 ASTM E2638-10^[6]에 근거하여 TL값과 SPC값을 각각 측정하였다. Fig. 1에 대상공간 #1에서 두 측정기준에 따른 측정지점을 도식화하였다.

TL값을 산출하기 위해 필요한 지표 중 실간 음압 레벨차이(D) 측정 시 대상공간과 인접공간에서 발생하는 소음의 영향을 최소화하기 위해 인적이 드문 저녁시간대에 측정하였다. 음원은 화이트노이즈를 이용하였다. 모든 대상공간의 음원점은 음원점을 대표할 수 있는 2곳을 설정하였으며, 수음점은 인접공간에서의 모든 수음지점을 재현하기 위해 이동식 마이크로폰을 사용하였다[Fig. 1(a) 참조].

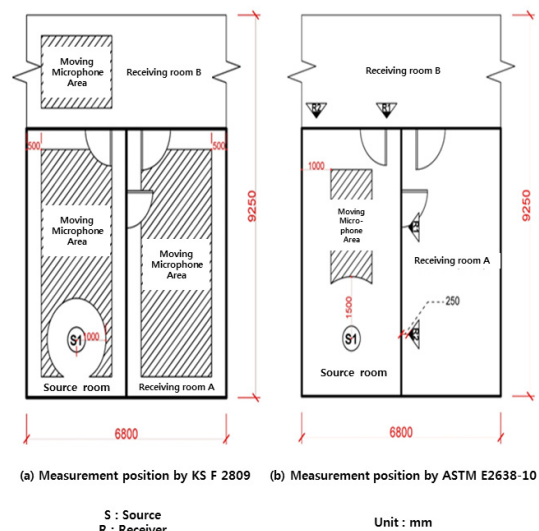


Fig. 1. Measurement positions according to two standard methods (a) KS F 2809, and (b) ASTM E2638-10 in room #1.

Eq. (2)의 수음실의 등가흡음력은 두 인접공간의 잔향시간(T₃₀)을 각각 측정하여^[9] 그 값을 도출하였다. 음원은 스위프신호를 이용하였으며, 1/2" 마이크로폰을 통해 실의 충격응답을 측정하였다. 음원은 1곳으로 인접공간의 중앙에 위치시켰다. 수음점은 음원의 직접음의 영향을 벗어난 1곳에 위치시켰다. 음원점과 수음점의 높이는 각각 1.5m와 1.2m로 위치시켜 측정결과와의 재현성을 위해 3번씩 반복 측정하였다.

SPC값 측정에서 음원실에서 투과된 음성을 도청할 수 있는 수음실에서 스피치 프라이버시가 취약한 지점(weak point)의 선정이 우선되어야 한다. 취약점 선정은 대상공간의 중앙에서 80 dB(A) 이상의 화이트노이즈를 발생시켜 인접벽체를 통해 대상공간으로부터 투과된 소리를 귀로 직접 들으며 취약점을 2곳씩 선정하였다. LD값 측정 시 음원실에서는 이동식 마이크로폰 방식을 사용하였으며, 실의 경계면으로부터 1 m, 음원으로부터 1.5 m 이격시켜 측정을 실시하였다. 수음실에서는 수음점을 인접벽체로부터 0.25 m 이격시켜 측정하였다[Fig. 1(b) 참조].

수음실의 암소음레벨(L_b)은 대학 캠퍼스의 사무실과 연구실의 주된 이용시간(09:00 ~ 18:00)을 고려하여 9시간동안 측정하였다. 각 수음실마다 2곳의 수음점에서 측정을 실시하였으며 수음점은 LD값 측정 시와 동일하다. 또한 시간을 소음레벨, L_{10} 과 L_{90} , 을 함께 측정하여 측정시간동안에 각 대상공간(음원실)과 인접공간(수음실)의 이용률에 따라 가장 빈도가 높고 낮은 레벨을 각각 비교하였다.

IV. 측정결과

4.1 두 실간 인접벽체의 TL값과 LD값의 비교

대학 내에 위치한 사무실과 연구실의 경우 학기 중에 학생들에 의해 발생하는 소음이 복도를 통해 각 실로 유입되어 대상공간으로 전달되는 신호음에 대한 차음성능을 측정하여 평가하고자 하였다. 5곳의 대상공간(음원실)은 벽체를 사이에 두고 인접실과 복도(수음실)와 각각 이웃하고 있어 수음실을 인접실과 복도(이하 인접공간 A와 B로 함)로 구분하여 측정을 실시하였다. 따라서 5곳의 대상공간에 대한 각각 2곳의 인접공간 A와 B에서 총 10곳의 TL값과 SPC값을 각각 측정하였다.

Fig. 2에 5곳 대상공간에 이웃한 두 인접공간 A와 B에서의 각 주파수대역별(160 Hz ~ 5000 Hz) 잔향시간(T_{30})과 그 평균값을 보여주고 있다. 측정한 T_{30} 값을 이용하여 5곳 대상공간에 이웃한 두 인접공간 A와 B에서의 각 주파수대역별(160 Hz ~ 5000 Hz) 흡음률을 계산하여[Eq. (2) 참조] Fig. 3에 보여주고 있다. 여기서, #1-A와 #1-B는 각각 대상공간 #1에 이웃한

인접실(A)과 복도(B)를 의미한다.

인접공간 #3-A가 평균 T_{30} 값은 1.02 s로 가장 길다. #3-A의 용도는 연구실에 이웃한 대학원 세미나실이며, 인접벽체는 샌드위치 패널과 그 외 벽체는 콘크리트로 이루어져 있다(Table 1 참조). 체적이 동일한 두 인접공간 #1-A, 그리고 #2-A와 비교하였을 때 비교적 가구가 적게 배치되어 있어 인접공간 #3-A의 T_{30} 값이 길다. 인접공간 #4-A가 평균 T_{30} 값은 0.32 s로 가장 짧다.

#4-A의 용도는 사무실이며 3개의 개인책상과 1개의 공동테이블이 배치되어 있다. 4면의 측면 벽체 중 2면은 유리로 이루어져 있으며, 나머지 2면은 석고보드로 마감되어 있다. 이 공간의 T_{30} 값이 가장 짧은 이유는 비교적 가구가 많이 배치되었으며 벽체가 흡음력이 있는 석고보드와 유리로 마감되어 있기 때문이다.

복도인 인접공간 B는 주로 콘크리트 벽체로 이루어져 있어 평균 T_{30} 값은 1.43 s이다. 인접공간 #5-B에

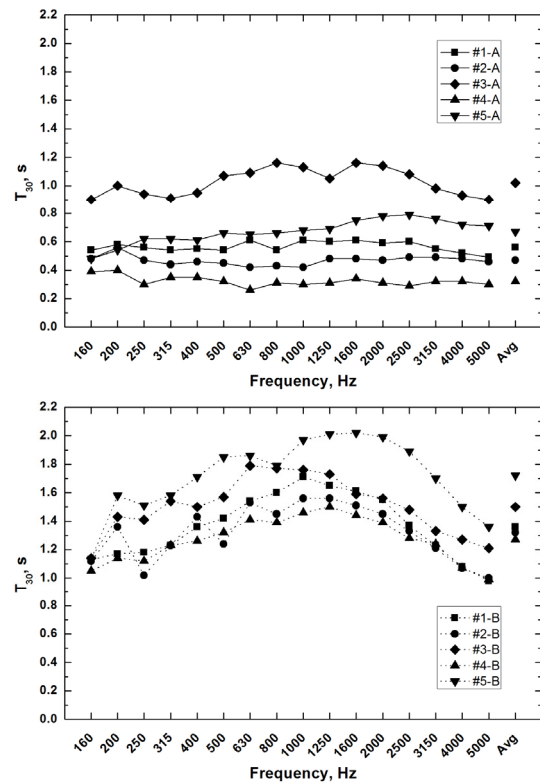


Fig. 2. Measured 1/3 octave band T_{30} values from 160 Hz to 5000 Hz and their mean values for two receiving rooms A, and B.

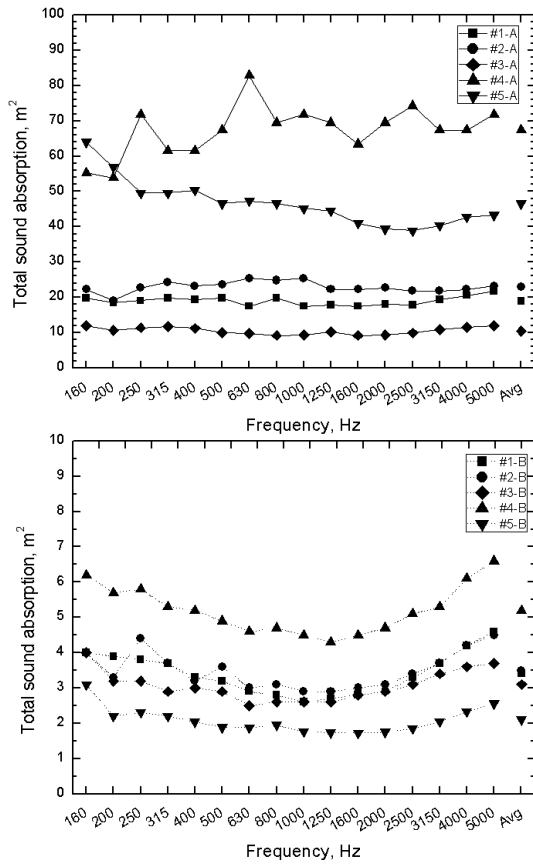


Fig. 3. Calculated 1/3 octave band total sound absorption values from 160 Hz to 5000 Hz and their mean values for two receiving rooms A, and B.

서의 T_{30} 값이 1.72 s로 가장 길며, 가장 짧은 T_{30} 값은 1.27 s로 인접공간 #4-B이다.

Fig. 4에 대상공간 5곳에 이웃하는 두 인접공간 A와 B의 두 실간 TL(avg)값과 LD(avg)값을 각각 보여 주고 있다. 여기서 TL(avg)와 LD(avg)는 주파수대역 160 Hz~5000 Hz의 평균값을 의미한다. 두 실간 벽체의 TL과 LD값의 측정방법은 벽체로부터 이격시키는 수음점의 위치가 다르며 벽체에 문이나 창문이 있을 경우 LD값 측정시 수음실로 투과되는 소리레벨에 영향을 미칠수 있다.

Fig. 4(a)에 대상공간 5곳과 인접공간 A(인접실)간 벽체의 TL(avg)값과 LD(avg)값을 함께 보여주고 있다. 인접공간별로 TL(avg)값과 LD(avg)값의 최솟값과 최댓값을 Fig. 4(a)에 각각 표시하였다. Table 2에서 알 수 있듯이 대상공간 #4-A를 제외하고 두 실간 벽체에는 이동이 가능한 문이 설치되어 있다. 이 문

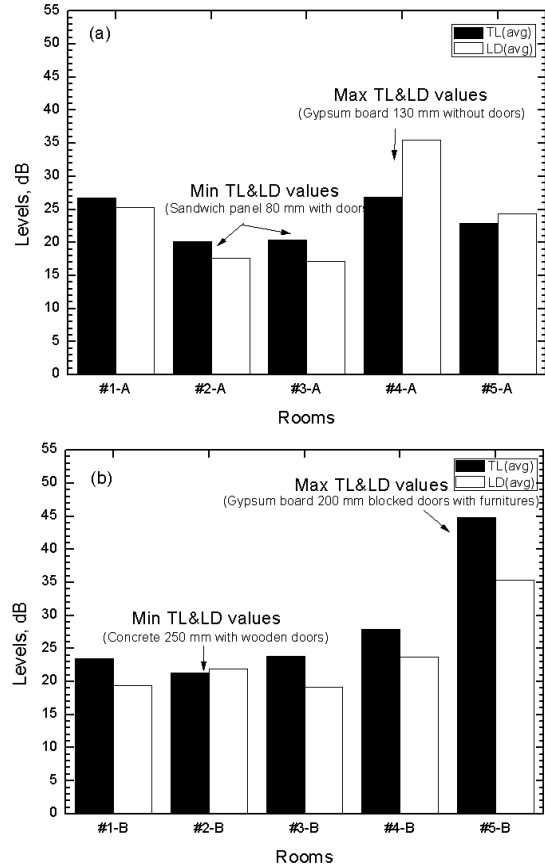


Fig. 4. Measured TL and LD values averaged from 160 Hz to 5000 Hz for 5 source rooms adjacent to each of receiving rooms (a) A and (b) B.

은 LD값 측정시 수음실의 두 수음점 중 한 지점에 해당한다[Fig. 1(b) 참조]. 동일 벽체의 두 수음점에서 개구부 부근의 수음점에 투과되는 소리레벨이 개구부가 없는 곳보다 최대 6.5 dB 컸다.

Fig. 4(a)의 결과에서 대상공간 #4와 인접공간 A(#4-A)간 130 mm 두께의 석고보드 벽체의 TL(avg)와 LD(avg)값이 26.9 dB와 35.6 dB로 가장 높다. 반면 대상공간 #2-A와 #3-A의 80 mm 두께의 샌드위치 패널에 1개의 목재문이 있는 벽체의 TL(avg)와 LD(avg)값이 각각 약 20 dB와 17 dB로 가장 낮다. 문이 없는 두께 130 mm 석고보드 벽체(#4-A)가 문이 있는 두께 220 mm 콘크리트 벽체(#1-A)와 비슷한 TL(avg)값이었다. 이 결과는 두 실간 인접벽체의 개구부의 유무가 벽체의 TL(avg)값에 중요하다.

대상공간 #4-A의 LD(avg)값이 35.6 dB로 TL(avg)값보다 약 8.7 dB 높다. 이 벽체에 문이 없어 수음실의 수

음점에서의 음압레벨이 문이 설치된 다른 벽체에 비해 상대적으로 낮을 것이며 그 결과 벽체간 음압레벨 차이값이 높을 수 있다.

Fig. 4(b)에 대상공간 5곳과 인접공간 B(복도)간 벽체의 TL(avg)값과 LD(avg)값을 함께 보여주고 있다. 대상공간 #5와 인접공간 B(#5-B) 간 200 mm 두께의 석고보드 벽체에 1개의 문이 있는 TL(avg)과 LD(avg) 값이 각각 44.8 dB와 35.3 dB로 가장 높다. 벽체에 문이 있음에도 타 벽체에 비해 TL(avg)과 LD(avg) 값이 가장 높은 이유는 문을 가구로 막아놓아 문을 통해 인접공간의 소리가 덜 유입될 수 있기 때문이다. 반면 대상공간 #2-B의 250 mm 두께의 콘크리트에 1개의 목재문이 있는 벽체의 TL(avg)와 LD(avg) 값이 각각 21.4 dB와 21.9 dB로 가장 낮다. 대상공간 #1-B와 #3-B의 콘크리트 벽체에 문 혹은 창문이 있는 벽체와 비슷한 TL(avg)와 LD(avg) 값을 보였다.

Fig. 4(a)와 (b)의 측정결과, 대상공간과 두 인접공간 A와 B간 벽체의 TL(avg)과 LD(avg) 값은 두 실간 벽체의 재료보다 벽체에 설치된 개구부의 유무에 따라 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 인접벽체에 근접해서 측정하는 LD(avg) 값의 차이가 인접공간과 벽체별로 크게 16 dB ~ 18 dB로 나타났다. 현장에서 측정한 벽체의 TL(avg) 값이 LD(avg) 값보다 대체적으로 높게 나타나지만 벽체에 문이 없는 경우 LD(avg) 값이 더 높았다. 콘크리트, 샌드위치 패널, 석고보드 3 종류로 된 10곳 벽체를 대상으로 한 측정 결과로 현장에서 측정한 다양한 벽체의 TL과 LD 값의 관계를 나타내기에는 한계가 있다. 따라서, 다양한 벽체 및 현장 상태를 반영한 측정이 향후 이루어져야 한다.

4.2 인접공간 A와 B에서의 L_b 값 비교

사무실의 스피치 프라이버시에 영향을 주는 인자는 음원실과 수음실의 두 실간 음압레벨차이(LD)와 수음실의 암소음 레벨(L_b)이다[Eq. (4) 참조]. 두 인자(LD와 L_b)의 합으로 SPC 값이 산출되므로 두 값이 높을수록 높은 SPC 값을 얻을 수 있고 스피치 프라이버시가 보호된다. 예를 들어, LD 값이 동일한 두 대상공간에서 수음실의 L_b 값이 높을수록 스피치 프라이버시 평가에 유리하다.

본 장에서는 대학 캠퍼스 내 연구실과 사무실의 주된 사용시간(09:00 ~ 18:00)을 기준으로 평균 L_b 값을 측정하여 그 결과를 제시하였다. 대학 내 사무공간의 충분한 스피치 프라이버시를 얻기 위해 실제현장조건을 반영하는 L_b 값을 이용하여 각 대상공간에 적절한 LD 값을 제시하였다.

먼저 실제현장조건을 반영하는 정확한 L_b 값을 얻기 위해 본 측정에 앞서 건물 내에 이용이 빈번할 것이라고 예상되는 날과 간헐적이라고 예상되는 날로 나누어 예비측정을 실시하였다. 그 결과 대상공간의 주된 사용시간인 09:00부터 18:00까지 9시간 동안 주파수대역(160 Hz ~ 5000 Hz)의 평균레벨 값의 차이는 5 dB 미만으로 나타났다. 이는 SPC 값의 등급(Table 1 참조)에 영향을 미치지 않아 측정일을 임의로 정하여 L_b 값을 측정하였다.

두 인접공간 A와 B에서의 L_b 값은 L_{10} , L_{90} , 그리고 평균값을 각각 도출하였다. 여기서 L_{10} 과 L_{90} 은 시간당 소음레벨을 의미하며 각각 최댓값과 최솟값을 나타낸다. L_{10} 과 L_{90} 을 평균값과 함께 도출하여 측정시간 동안 각 대상공간과 인접공간의 이용률에 따라 가장 빈도가 높은 레벨과 가장 빈도가 낮은 레벨을 비교하였다.

Fig. 5는 두 인접공간 A와 B의 L_b 값의 L_{10} , L_{90} , 그리고 평균값을 각각 보여주고 있다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 사무실 용도의 5곳 인접공간 A에서의 평균 L_{10} , L_{90} , 그리고 L_b 값은 각각 35.5 dB, 23.8 dB, 그리고 29.2 dB이다. 복도인 5곳 인접공간 B의 평균 L_{10} , L_{90} , 그리고 L_b 값은 각각 44.1 dB, 28.2 dB 그리고 36.5 dB이다. 용도가 다른 두 인접공간 A와 B에서의 L_{10} 값의 차이는 약 13 dB로 용도에 따른 실의 암소음 레벨의 차이가 현저하였다. 두 인접공간 A와 B의 평균 L_b 값의 차이는 약 7 dB로 사무공간인 인접공간 A보다 복도인 인접공간 B에서 암소음 레벨이 높았다. 화장실에 인접한 대상공간 #2와 인접한 공간 B에서의 암소음레벨이 가장 높았다.

인접공간 A와 B의 평균 L_b 값은 각각 29.2 dB와 36.5 dB이다. 따라서 SPC 값의 최소기준치 70^[6]을 만족하기 위해서는 대상공간과 인접공간 A 간 벽체의 LD 값은 약 41 dB 이상을 만족하여야 하며 대상공간과 인접공간 B 간 벽체의 LD 값은 약 34 dB 이상을 만족

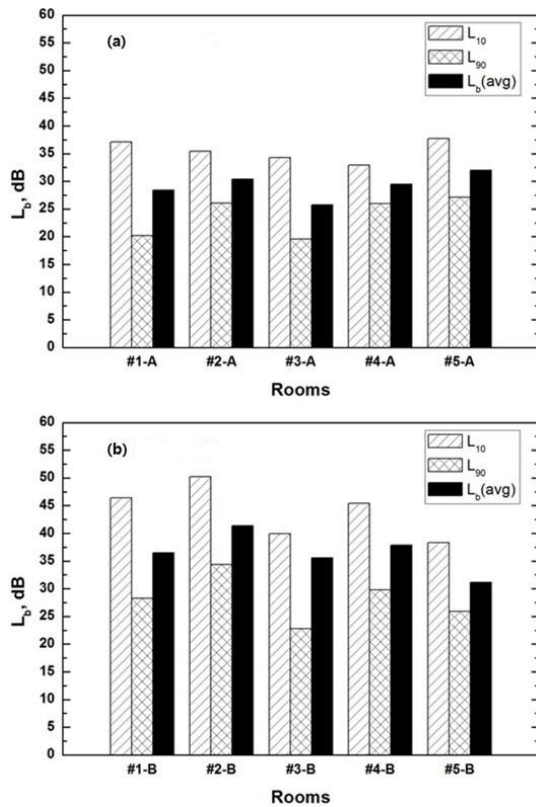


Fig. 5. Measured L_{10} , L_{90} , and L_{avg} values for 5 source rooms adjacent to each of receiving rooms (a) A and (b) B.

해야 한다. Bradley와 Gover^[5]는 실험실에서 측정된 벽체의 TL_{avg} 값이 현장에서 측정된 LD_{avg} 값보다 약 1 dB 낮다 [$TL_{avg} \approx LD_{avg} - 1$]고 밝혔다. 이를 감안하였을 때 실험실에서 측정된 벽체의 평균 TL_{avg} 값은 각각 40 dB와 33 dB 이상이 되어야 SPC 최소기준치 70을 만족할 수 있다.

4.3 사무실의 SPC값 비교

앞서 현장에서 측정된 LD 값과 L_b 값을 바탕으로 대학 내 사무공간의 SPC값을 산정하여 스피치 프라이버시를 평가하였다. SPC값 산정에는 평균 L_b 값이 이용하지만 인접공간의 이용시간대에 따른 최댓값과 최솟값에 따른 SPC값을 비교하고자 SPC값을 최대 [$SPC(L_{10})$], 최소 [$SPC(L_{90})$], 그리고 평균값 [$SPC(avg)$]으로 각각 산출하여 그 값을 비교하였다.

Fig. 6은 5곳 대상공간과 인접한 두 인접공간 A와 B의 최대, 최소, 그리고 평균 SPC값을 각각 보여주고

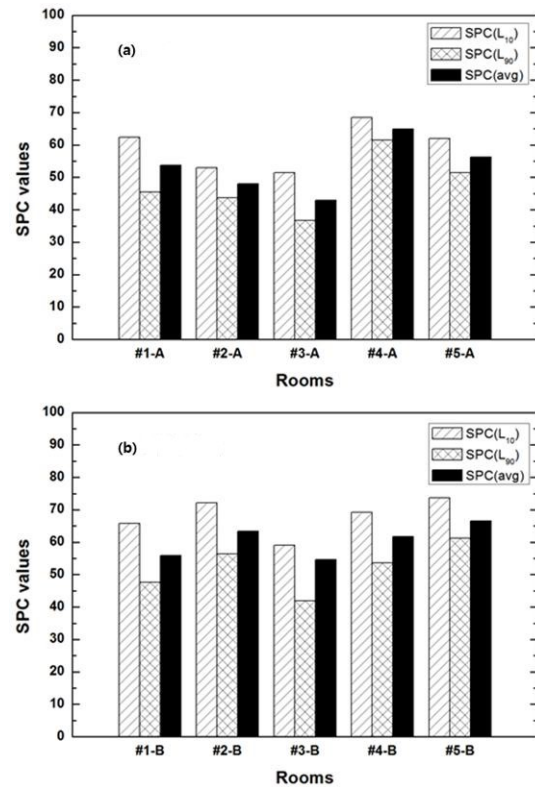


Fig. 6. Measured SPC values for 5 source rooms adjacent to each of receiving rooms (a) A and (b) B.

있다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 인접공간 A에 대한 5곳 대상공간의 평균 $SPC(L_{10})$, $SPC(L_{90})$, 그리고 $SPC(avg)$ 값은 각각 60, 48, 그리고 53이다. 대상공간에 벽체를 통해 인접하는 공간 A에 대한 SPC값은 최저기준^[6]인 70을 모두 만족하지 못하여 스피치 프라이버시가 취약하다.

복도로 사용되는 인접공간 B에 대한 5곳 대상공간의 평균 $SPC(L_{10})$, $SPC(L_{90})$, 그리고 $SPC(avg)$ 값은 각각 68, 52, 그리고 60이다. 이용자에 의한 소음의 최댓값(L_{10})을 적용할 경우 두 인접공간 #2-B와 #5-B의 $SPC(L_{10})$ 값은 각각 72와 74로 최저기준을 만족한다. 이 공간을 제외한 나머지 3곳의 SPC값은 최저기준을 만족하지 못하여 스피치 프라이버시가 취약하였다.

4.4 사무실의 스피치 프라이버시 개선방법

대상공간 5곳 사무실과 연구실은 주변에 강의실과 학생 또는 교수의 이용률이 빈번한 주변시설과 인접하여 이로 인해 소음이 발생되고 대상공간으로

Table 3. Predictions and comparisons of TL and SPC values with or without openings on the adjacent walls by applying TL values in reference^[11] for a 45 mm thick wooden doors and a 6 mm thick single glass windows installed on a 200 mm thick concrete wall.

Rooms	Area [m ²]		TL values [dB]		SPC values	
			Opening		Opening	
	Wall	Opening	with	without	with	without
#1-A	19.5	1.8	29	57	59	87
#1-B	10.2	2.43	13	57	43	87
#2-B	10.2	1.8	26	57	56	87
#3-B	10.2	0.63	38	57	68	87

유입되는 소음이 크다. 5곳 대상공간과 각각의 인접공간 A와 B 간 10개의 인접벽체는 중량구조체인 콘크리트보다 공간의 가변을 고려하여 경량구조체인 석고보드와 샌드위치패널로 이루어진 벽체가 많다 (Table 1 참조). 5곳 대상공간의 스피치 프라이버시는 취약할 것으로 예상되었으며 SPC값을 측정하여 그 기준과 비교하여 정량적으로 대상공간의 스피치 프라이버시가 취약하다는 것을 밝혔다.

두께가 200 mm인 콘크리트 벽체의 경우 인접벽체에 개구부가 위치하지 않은 단일벽체를 설치할 경우에서 실험실에서 측정된 평균 TL(avg)값은 56.6 dB^[10]로 현장에서 측정된 동일벽체의 LD(avg)값은 1 dB 높은 57.6 dB로 예측할 수 있다.^[5] 이 LD값에 5곳 인접공간 A의 평균 L_b 값 29.2 dB를 적용할 경우 SPC값은 86.8로 “High speech security” 등급에 해당한다. 본 연구에서 두께가 220 mm인 콘크리트 벽체에 인접한 공간(#1-A)에서 스피치 프라이버시가 취약한 결과는 벽체에 위치한 개구부(목재문)에 의한 것이다. 앞서 측정결과에서 알 수 있듯이 LD값에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 개구부의 유무이다. 다음으로 개구부가 존재하였을 경우 개구부의 재료이다.

국내 사무실에서의 현장 측정 LD값이 전무하여 Bradley와 Gover의 연구결과^[5]를 차용하여 실험실에서 측정된 벽체의 TL값으로 현장에서 측정된 동일벽체의 LD(avg)값의 예측이 가능하다. 대상공간의 현장조건에 실험실 측정 TL값을 적용하여 개구부 유무와 개구부 재료에 따라 SPC값이 얼마나 향상되는지 각 재료의 실험실 TL값^[10]을 적용하여 그 결과를 예측하였다.

Table 3은 대상공간 중 200 mm 두께의 콘크리트 벽

체와 45 mm 두께의 목재문과 6 mm 두께의 단일유리 창문이 위치한 4곳의 공간에 대해 실험실 TL값을 적용하여 인접벽체에 개구부 유무에 따른 SPC값과 TL값의 예시를 보여주고 있다. 전술하였듯이 두께가 200 mm인 콘크리트 벽체의 실험실 측정 TL(avg)값은 약 57 dB이다. 두께가 45 mm인 목재문과 6 mm 두께의 단일유리 창문의 실험실 측정 TL(avg)값은 각각 31 dB와 19 dB이다.^[11]

예측결과,^[10] 개구부가 존재하지 않을 때 콘크리트 벽체의 평균 TL(avg)값은 57 dB이며 면적 1.8 m²의 개구부(문)가 존재할 경우 평균 TL(avg)값은 27 dB이다. 따라서 개구부가 존재하지 않을 때의 평균 TL값(avg)과 면적 1.8 m²의 개구부가 존재할 때의 평균 TL값(avg)의 차이는 30 dB이다. 이 값은 기준 SPC값의 6 등급에 영향을 준다.

개구부가 존재한다고 가정하였을 때 기존의 45 mm 두께의 목재문을 개스킷 마감된 45 mm 두께의 철재문으로 대체하였을 때 TL값과 SPC값을 각각 예측하여 비교하였다. 그 결과, 목재문을 철재문으로 대체하였을 때 TL값이 16 dB이 증가하였다. 도출한 TL값을 통해 LD값을 예측하면 SPC 값이 16 증가하였다는 것을 알 수 있다. 이 수치는 기준 SPC값의 4등급에 영향을 준다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내 대학에 위치한 5곳 사무실의 SPC값을 측정하고 평가하였다. 측정 및 평가 결과를 바탕으로 국내 사무실이 스피치 프라이버시 보호에 필요한 적정 SPC값을 만족하기 위한 대안을 제시하

였다. 적정 SPC값을 만족하기 위해서 현장측정을 통해 인접공간의 평균 압소음 레벨(L_b)을 도출하고 각 대상공간에 적용하여 LD값을 도출하였다.

본 연구의 측정결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫 번째로, 대상공간과 인접한 10곳 중 최저 SPC기준 70을 만족하는 공간은 전무하며 이는 인접벽체에 위치한 개구부의 유무와 그 재료에 의한 것이다.

두 번째로, 대상공간에 인접한 실의 압소음 레벨 측정값(29.2 dB)을 바탕으로 스피치 프라이버시 보호를 위한 SPC 최저기준 70을 만족하기 위한 LD값은 41 dB 이상이 되어야 한다. 이 값은 실험실 측정 TL(avg)값의 40 dB 이상과 같다.

세 번째로, 현장에서 측정한 벽체의 TL(avg)값이 LD(avg)값보다 대체적으로 높게 나타나지만 벽체에 문이 없는 경우 LD(avg)값이 더 높았다. 콘크리트, 샌드위치 패널, 석고보드 3 종류로 된 10곳 벽체를 대상으로 한 측정 결과로 현장에서 측정한 다양한 벽체의 TL과 LD값의 관계를 나타내기에 한계가 있다.

마지막으로, 대상공간의 인접벽체의 문이나 창문과 같은 개구부의 재료를 변경하여 차음성능을 향상시킬 수 있으며 스피치 프라이버시를 보완할 수 있다. 예를 들어, 전술한 바와 같이 목재문을 개스킷(gasket) 마감된 철재문으로 대체하였을 경우 TL값과 SPC값은 모두 16이 증가한다. 따라서 차음성능이 강화된 개구부의 재료로 대체한다면 적정 SPC값을 얻을 수 있다.

향후 연구에서는 국내 다양한 사무공간과 벽체를 대상으로 SPC값의 측정이 필요하다. 이런 다양한 측정결과를 바탕으로 국내 사무공간의 스피치 프라이버시 보호를 위한 적정 기준을 제시하여야 한다.

감사의 글

사무실 현장에서의 음향측정을 허락해준 강원대학교 공과대학 교수진과 직원, 그리고 측정에 도움을 준 동 대학원의 안재영 군과 학생들에게 이에 깊은 감사를 표한다.

References

1. B. N. Gover and J. S. Bradley, "Measures for

assessing architectural speech security(privacy) of closed offices and meeting rooms," J. Acoust. Soc. Am. **116**, 226-233 (2004).

2. W. J. Cavanaugh, W. R. Farrel, P. W. Hirtle, and B. G. Watters, "Speech privacy in building," J. Acoust. Soc. Am. **34**, 475-492 (1962).

3. R. W. Young, "Re-vision of the speech-privacy calculation," J. Acoust. Soc. Am. **38**, 524-530 (1965).

4. J. S. Bradley and B. N. Gover, "Speech levels in meeting rooms and probability of speech privacy problems," J. Acoust. Soc. Am. **127**, 815-822 (2010).

5. J. S. Bradley and B. N. Gover, "A new system of speech privacy criteria in terms of Speech Privacy Class(SPC) values," Proc. 20th International Congress on Acoustics, 1-5 (2010).

6. ASTM E2638-10, "Standard test method for objective measurement of the speech privacy provided by a closed room," 2017.

7. KS F 2809, "Field measurements of airborne sound insulation of buildings," 2011.

8. KS F 2862, "Rating of airborne sound insulation in buildings and of building elements," 2002.

9. ISO 3382-1, "Acoustics-measurement of room acoustics parameters - Part 1 : Performance space," 2009.

10. M. Metha, J. Johnson, and J. Rocafort, *Architectural Acoustics : Principles and Design* (Prentice-Hall, New Jersey, 1999) pp.103-105, 420.

11. M. D. Egan, *Architectural Acoustics* (J.Ross, New York, 2007), pp.205.

저자 약력

▶ 임 재 섭 (Jae-Seop Lim)



2017년 2월: 강원대학교 건축공학과 학사
2019년 2월: 강원대학교 건축공학과 석사
2019년 3월 ~ 현재: 친환경계획그룹 청년주임

▶ 최 영 지 (Young-Ji Choi)



1996년 2월: 계명대 건축공학과 학사
2000년 3월: 큐슈대 건축공학과 석사
2004년 9월: 시드니대 건축공학과 박사
2014년 3월 ~ 현재: 강원대학교 공과대학 건축·토목·환경공학부 건축공학 전공 조교수