



## PMV와 음환경의 복합 작용이 실내 환경 지각에 미치는 영향

### *Combined Effects of PMV and Acoustics on Indoor Environmental Perception*

양원영\*

Yang, Wonyoung

\* Dept. of Architectural Engineering, Dankook Univ., South Korea (wyang@dankook.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purposes of this paper are to investigate effects of indoor thermal environment on acoustical perception and effects of acoustics on indoor thermal perception, and to understand basic human perception on indoor environment. **Method:** Subjective assessment was performed in an indoor environmental chamber with 24 university students. Thermal conditions with PMV -1.53, 0.03, 1.53, 1.83 were simulated with a VRF system, a humidifier, a dehumidifier, and a ventilation system. Six noise sources - Cafe, Fan, Traffic, Birds, Music, Water- with sound levels of 45, 50, 55, 60 dBA were played for 2 minutes in random order. Temperature sensation, temperature preference, humidity sensation, humidity preference, noisiness, loudness, annoyance, and acoustic preference were assessed using bipolar visual analogue scales. The ANOVA and Turkey's post hoc test were used for data analysis. **Result:** Thermal environmental perceptions were not altered through 2 minutes noise exposure. Acoustical perceptions were altered by thermal conditions. The results were consistent with previous papers, however, the noise exposure time should be carefully considered for further development.

#### KEYWORD

실내환경인지  
예상온열감  
노이즈니스  
라우드니스  
어노이언스

Indoor Environmental Perception  
PMV  
Noisiness  
Loudness  
Annoyance

#### ACCEPTANCE INFO

Received Nov 11, 2016  
Final revision received Nov 25, 2016  
Accepted Nov 30, 2016

© 2016 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

실내 환경은 인간의 오감 중에서 미각을 제외한 촉각, 후각, 시각, 청각에 해당하는 감각기관의 지각과 인지를 공간의 목적과 용도에 맞게 충족시키기 위한 건축적인 해결책을 연구하고 있다. 온열환경, 공기환경, 빛환경, 음환경은 각 분야별 이슈와 그에 따르는 방법론을 개발하면서 각각 발전해 오고 있다. 그러나, 감각은 상호 의존적이며, 뇌는 이들을 결합하여 정보를 해석한다. 이러한 현상을 복합감각 또는 다중감각의 상호작용이라고 한다. 지각은 감각기관들의 상호작용으로 실행된다고 주장한 메를로-퐁티의 '지각의 현상학[1]' 이후 다중감각의 상호작용은 심리학 뿐만 아니라 의학, 교육학, 디자인 등의 다양한 분야에 접목되어 연구되고 있다.

건축 환경 분야에서는 실내 환경 성능 평가를 위하여 온열환경, 공기환경, 빛환경, 음환경을 모두 측정하고 개별 환경 분야에 대한 재실자의 주관적 만족도를 조사하는 종합적 연구가 진행되어 왔으나 이는 각각의 분야를 한데 묶어 놓았을 뿐, 서로의 상호작용에 대한 분석은 활발히 이루어지지 못하고 있다. 현재는 두 가지 서로 다른 감각을 접목해 보는 시도, 온열환경과 공기환경,

빛환경과 음환경, 온열환경과 빛환경의 상호작용 등의 연구가 보고된 바 있다. 이 중 온열환경과 공기환경의 상호작용은 냉난방과 환기를 종합하는 공기조화냉동설비로 발전하였으나, 그 밖의 연구는 아직 시작 단계이다.

본 연구는 온열환경과 음환경의 상호작용에 대한 기초연구로서 온열환경 변화에 따른 소음 인지 변화 및 음환경 변화에 따른 온열감 인지 변화를 규명하여 온열환경과 음환경의 상호작용이 실내 환경 인지에 미치는 영향에 대해서 밝히고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

온열환경과 음환경은 상충관계의 양상을 보여 왔다. 실내 온습도 제어에 대한 요구가 높아질수록 냉난방기와 환기시설의 가동률이 높아지고 이에 따라 소음레벨이 증가된다. 최근 들어 대형 공조기를 설치한 업무용 건축물 뿐 만 아니라 소형 빌딩과 주거용 건축물에서도 개별 에어컨을 설치하고 가습기나 제습기 등을 사용하여 실내 온습도를 제어하는 추세가 일반화 되면서 에어컨의 실외기 소음 및 실내 습도 조절을 위한 제습기, 가습기 등의 소음이 새로운 사회적 이슈로 떠오르고 있다. 소음과 실내 온습도의 개별적인 제어로는 재실자를 만족시킬 수 있는 최적 제어점을 찾는 데 한계가 있다. 이를 위해 국내 20대 대학생을 대상으로 대표적인 실내 온습도 환경 및 실내 환경 소음의 복합적인 제어가 가능한 실내 환경 체임버에서 실내 쾌적성과 소음 인지에 관

한 주관평가를 실시하였다.

## 2. 온열환경과 음향의 복합작용

온열환경은 네 가지 환경 분야 중에서 재실자의 실내 환경 쾌적성에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 [2-7]. 온열환경 제어를 위한 냉난방기는 기계적 원리에 의해 소음이 발생되는데, 실내 개별 냉난방기가 보편화되면서 소음과 실내 온도의 상호작용에 대한 이해가 필요해지고 있다. 그러나, 실내 온도와 소음이 각각 실내 쾌적성에 미치는 영향은 많이 알려져 있는 반면 이 둘의 상호작용은 명확히 밝혀지지 않았다.

음향 자극에 대한 생리적 반응 연구에 의하면 소음 레벨이 높아지면 혈관이 축소되어서 근육이 경직되고 신진대사율이 낮아진다 [8]고 알려져 있다. 이는 소음과 온도의 상호 작용이 재실자의 작업 능률이나 주관적인 실내 쾌적성에 영향을 미칠 것이라는 가설의 근거가 되었다. 초기 연구에 의하면 소음과 온도는 실내 환경 쾌적성에 독립적으로 작용한다고 보고되었다 [9, 10].

Clausen et al. [11]은 소음, 실내 온도, 공기질의 실내 쾌적도에 미치는 영향을 연구하였다. 이 연구에 따르면 작용 온도 (Operative Temperature)가 1° C 변화할 때 공기질은 2.4 decipol, 소음은 3.9 dB 변화하는 것과 같은 쾌적도 변화를 나타낸다고 보고하였다. 그러나, 열적중립온도 이상(23~29° C)의 범위에서만 실험이 진행되었기 때문에 열적중립온도 이하에서 이 관계식을 적용하는 데는 한계가 있다.

Pellerin and Candas [12]는 소음과 실내온도의 실내 쾌적성에 대한 상충관계를 연구하였다. 이들은 108명의 피험자를 대상으로 하여 겨울철 조건(실내온도 14° C~24° C 1° C 간격, 19° C~24° C 0.5° C 간격)과 여름철 조건(24° C~34° C 1° C 간격, 24° C~29° C 0.5° C 간격)에서, 각각 팬소음을 35dBA에서 85dBA까지 5dBA의 레벨 차로 조합한 44가지 조건에서 실내 쾌적성 평가를 실시하였다. 실험은 열적중립온도 (24° C)의 시끄러운 환경(85dBA)에서 시작하거나 음향중립지점(35dBA)의 춥거나(14° C 또는 19° C) 더운(34° C 또는 29° C) 환경에서 시작하도록 계획되었다. 초기 실험 조건의 소음 레벨이 높은 경우 소음이 쾌적성에 큰 영향을 주었으며, 초기 실험 조건의 실내 온도가 열적중립온도 낮거나 높은 환경에서 시작한 경우에는 실내온도가 쾌적성에 영향을 주는 주요 요인이 되었다. 소음과 실내온도의 상호작용은 생리적인 데이터에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었으나, 소음은 여름철 조건(열적중립온도 이상)에서 열적 쾌적성에 부정적 영향을 주는 것으로 나타났다.

Pellerin and Candas [13]는 다음 해 다른 실험 조건에서 18명의 피험자를 대상으로 소음과 실내온도의 상호작용에 대한 실험을 실시하였다. 세 가지 실내온도 18, 24, 30° C (기류 속도 = 0.1 m/s, 이슬점 온도 12° C의 습도)에서 팬 노이즈를 세 가지 소음레벨, 35(실내 배경소음), 60(대화소음), 75(작업소음)dBA로 유지하였을 때 조합 가능한 아홉 가지 상황에서 피험자의 열

환경과 음향에 대한 인지도, 선호도, 쾌적도를 분석하였다. 주관적인 평가 결과는 실내 온도가 열적중립온도에서 멀어질수록 소음 인지의 민감도가 감소하는 결과를 얻었다. 이는 같은 연구팀의 이전 연구 결과(열적중립온도보다 높은 온도에서만 통계적으로 유의미한 소음과 온도의 상관성을 보임)와는 다른 결과라 할 수 있다. 즉, 열적중립온도인 24° C에서 소음에 대한 민감도가 제일 높은 것으로 나타났다. 피부 온도를 측정된 생리적 결과는 소음과 실내온도의 복합적인 영향은 발견되지 않았으나, 실내 온도와 상관없이 소음이 증가하면 열적 쾌적성이 저하하는 양상을 나타냈다. 또한, 실내 온도에 단기 노출되었을 때 실내 온도 1° C 변화는 소음 2.6dBA, 실내 온도에 장기 노출되어 안정 상태에 이르면 실내 온도 1° C 변화는 소음 2.9dBA 변화와 동일하게 인지하는 것으로 보고되었다.

Witterseh et al. [14]은 환경체임버가 아닌 실제 사무실에서 소음과 실내 온도의 관계를 연구하였다(Indoor Air 2004). 실내 온도 22, 26, 30° C의 환경에서 조용한 상황(35dBA)과 오픈 플랜 오피스 소음이 발생한(55dBA) 6가지 조건에서 30명의 피험자는 3시간 동안 가상의 업무를 수행하였다. 기존 연구 결과와 같이 소음과 실내 온도 증가는 각각 사무실 업무에 부정적인 영향을 미치고 있었으나 이 연구에서는 한 단계 더 나아가 소음과 실내 온도 증가의 상호작용에 대한 분석을 진행하였다. 재실자의 주관적 실내 환경 인지에 있어 소음과 실내 온도와의 상호작용이 명확히 나타나지 않았지만, 실험이 진행되었던 제한된 시간 동안, 온도 증가에 따른 업무 오류가 조용한 조건보다 소음에 노출된 조건에서 줄어드는 것으로 보고(P<0.01)되었다.

Nagano and Horikoshi [15]는 추위와 소음의 상호작용을 나타내는 쾌적지표를 개발하였다. 22명의 남학생을 대상으로 4가지 작용온도(19° C RH 47%, 22° C RH 46%, 25° C RH 41%, 28° C RH 36%, 기류속도 < 0.15 m/s)와 5가지 소음레벨 (46.6dBA, 58.5dBA, 72.9dBA, 79.9dBA, 95.5dBA: 도로 소음)의 20가지 조합을 실험한 결과 소음은 온열감에 크게 영향을 미치며 온열감 또한 소음 지각에 영향을 미치는 것으로 결론 지었다.

Tiller et al. [16]은 보다 세밀한 온도 변화와 소음 레벨로 실험을 진행하였다. 열쾌적 지표인 PMV(Predicted Mean Vote)를 기준으로 PMV +1 (약간 따뜻함, 26.4° C), PMV +0.5 (24.3° C), PMV 0 (중립, 22.3° C), PMV -0.5 (20.2° C), PMV -1 (18.1° C)의 다섯 가지 온도와 세 가지 RC 소음레벨 (RC30, RC40, RC50), 두 가지 소음 종류(중립, 저주파수 럼블링)로 실험 조건을 구성하여 30명의 피험자를 대상으로 주관평가를 실시하였다. 실내 소음에 대한 평가결과는 주변 온도의 영향을 받지 않았지만, 실내 온도의 쾌적성은 RC 소음 레벨에 영향을 받는 것으로 보고되었다.

국내에서는 소음에 대한 재실자의 주관적 반응은 실내 환경 조건에 의해 영향을 받으며, 실내 열환경 조건이 실내 공기 오염 조건보다 더 밀접한 관계가 있다는 연구 결과가 보고된 바 있다 [17]. 두 개의 환경 체임버 실내 조건을 제어하며 16명의 피험자를 대상으로 선호 실을 선택하는 실험에서 약 60 Leq dB(A) 정도

의 소음레벨이 60%의 불만족비율로 다른 실을 선택하게 하는 수준이라는 결과를 얻었다. 소음레벨이 높은 실보다는 높은 열환경 조건이나 열악한 실내 오염 조건을 가진 실을 선호한다는 뜻으로 해석할 수 있다. 이 결과에 의하면 냉방 중인 에어컨이 60 Leq dB(A)의 소음을 발생시킨다면 재실자의 60%는 소음 발생을 막기 위해 가동을 중단할 수 있다는 의미이다. 그러나, 이 연구는 덴마크 피험자를 대상으로 한국과는 다른 기후대인 덴마크에서 이루어진 연구로, 한국인의 실내 온열 환경 인지와 음환경 인지 특성을 제대로 반영한 결과라고 보기는 어렵다. 이 한 편의 연구 논문을 제외하고는 국내에서 소음과 온열환경의 상호작용에 대한 연구논문은 찾아보기 힘든 상황이다.

온열환경과 음환경의 복합작용에 대한 연구를 살펴본 결과 각 실험 디자인에 따른 단편적인 관계는 규명되고 있으나 소음원의 종류와 노출 시간 및 온열 환경의 조건을 포괄하는 연구 결과는 아직 정립되지 못한 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 소음원의 종류별로 단시간 노출에 따른 영향을 중심으로 보다 현실적인 온습도 환경을 구현하는 실험 조건을 구성하고자 한다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1. 실험 참여자

주관 평가에 참여한 피험자는 평균 연령 22.0세 (SD 2.2)의 24명 (여성 12명과 남성 12명)이 자발적으로 참여하였다. 실험 참여자는 전형적인 간절기 의복으로서 바지, 긴팔 플란넬 셔츠, 양말, 속옷, 티셔츠, 슬리퍼의 구성을 준수하였으며, 착의량은 0.73 clo로 계산되었다 [18]. 온열 적응 시간 동안 의자에 앉은 자세로 가능한 단순 업무가 허용되었고 그 때의 대사량은 1.0 met로 환산하였다. 청력에 대한 검사는 특별히 하지 않았고, 이상 청력 진단 기록에 대한 구두 확인 후 실험 참여 여부를 판단하였다.

#### 3.2. 실험 조건

온열 환경 조건은 냉난방 가동 시 일반적으로 발견되는 온습도 조합을 구성하였다. 실험에 사용한 4가지 온열 환경 조건은 다음과 같다: 온도 20° C, 상대습도 45% (약난방/과냉방), 온도 25° C, 상대습도 45% (중립), 온도 30° C, 상대습도 35% (과난방), 온도 30° C, 상대습도 62% (약냉방/제습).

소음원으로는 카페소음 (Cafe), 팬소음 (Fan), 새소리 (Bird), 물소리 (Water), 음악소리 (Music), 교통소음 (Traffic) 6가지가 4가지 음압레벨 (45dBA, 50dBA, 55dBA, 60dBA)로 임의의 순서로 각각 2분씩 재생되었다. 음원은 녹음 후 목표 소음레벨에 따라 재생하였으며, 음악소리 (Music)는 암스테르담 신포니에타 (Amsterdam Sinfonietta)가 2014년 콘서트헤보 (Concertgebouw)에서 연주한 비발디 4계중 1악장 '봄'의 첫 2분을 음원으로 사용하였다.

4가지 온열환경 조건과 6가지 소음원의 4가지 소음레벨의 조합으로 총 96가지 조건이 설정되었으며, 피험자 24명에 의한 데이터는 각 파라미터별로 2304개를 확보하였다.

Table 1. Indoor environmental chamber configurations

Description			
Room	Size	4.0 m (w) x 5.0 m (l) x 2.4 m (h) (face-of-finish to face-of-finish)	
	Materials	Laminate floor on concrete and urethane layers Urethane panel with gypsum lapping Double glazed window with 5 mm glass panes and 5 mm air cavity	
Control System	VRF System	Rated Total Cooling Capacity	2.3kW
		Rated Total Heating Capacity	2.6kW
	Humidity Control	Humidifier	Max 3000cc/hr
		Dehumidifier	Max 30 l/day
Ventilation	Supply Air Flow Rate	0.03 m³/s	
	Exhaust Air Flow Rate	0.03 m³/s	

Table 2. Thermal conditions and variations(measured by THD-W)

Target Temp, RH, PMV	Measured Temperature °C Mean (S.D)	Measured RH % Mean (S.D)
20°C, 45%, -1.53	20.1 (0.8)	47.1 (4.8)
25°C, 45%, 0.03	25.3 (0.4)	45.0 (1.7)
30°C, 35%, 1.53	30.0 (0.4)	34.8 (4.2)
30°C, 62%, 1.83	29.8 (0.4)	62.5 (3.4)

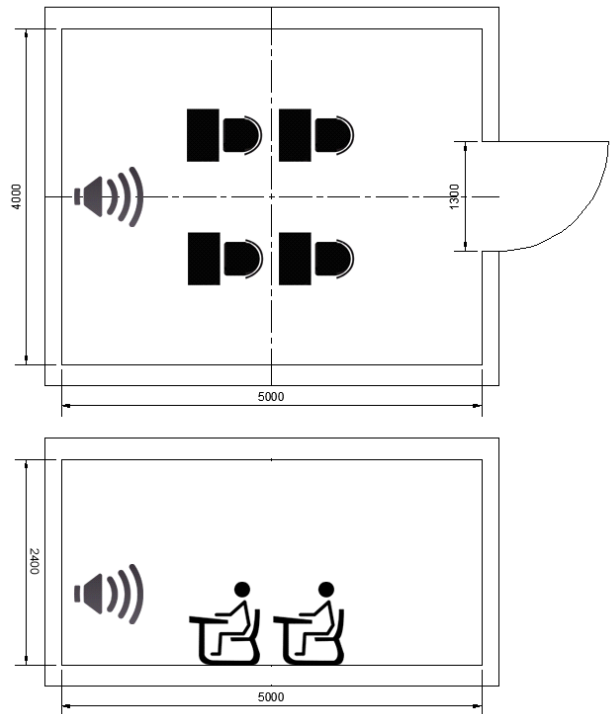


Fig. 1. Indoor environmental chamber layout

#### 3.3. 실내 환경 체임버

단국대학교 종합실험동에 위치한 실내 환경 체임버에서 주관 평가 실험을 실시하였다. 실내 환경 체임버의 건축 및 설비 구성은 Table 1과 같다. 온열환경 조건은 실내 환경 체임버 내외에 설치되어 있는 VRF (Variable Refrigerant Flow) 시스템과 가습기 및 제습기를 사용하여 목표 온습도를 유지하였으며, 실험 시 측

정된 온도 및 습도는 Table 2와 같다. 온습도는 실내 환경 체임버의 실내 벽체 중앙에 위치한 디지털 온습도기 (Autonics THD-W)로 1분마다 측정된 데이터의 평균값이다.

소음원은 실내 환경 체임버 내에 위치한 라우드스피커 (Turbosound Milan M10)를 통해 재생되었다. 실험 참여자 및 라우드스피커의 위치는 Fig. 1과 같으며 실험실 내 4개의 책상 위치에서 측정된 사운드레벨은  $\pm 0.5$  dB 이내로 확인되었다.

실내 환경 체임버 내 기류는 0.1 m/s 이하로 유지하였으며, 실험 시간 동안 실내 이산화탄소는 국내 환경 기준인 1000 ppm 이하로 유지하기 위해 이산화탄소 모니터링을 실시하고 환기 시스템과 연동하여 제어하였다. 실험 참여자의 책상면 조도는 평균 880 lux였으며, 실내 잔향 시간은 500 Hz 1/3 옥타브 밴드에서 0.325 초, 50 Hz 1/3 옥타브 밴드에서 1.22 초로 측정되었다.

### 3.4. 실험 방법

실험 시간은 총 1.5시간으로 30분의 온열 적응 기간 후 1시간에 걸쳐 진행되었으며, 4가지의 온열 조건별로 실시되었다. 1회 실험에는 4명의 피험자가 동시에 참여하였으며 24명의 실험을 위해 동일한 온열 조건으로 6회의 실험이 반복되었다. 실험 참여자는 2분간 소음원을 듣고 30초 동안 설문지에 응답하는 방식으로 온열 조건마다 24종의 소음원을 듣고 온열감과 소음에 대하여 평가하였다. 설문에 사용된 주관평가 파라미터는 온도감 (Temperature sensation), 온도선호도 (Temperature preference), 습도감 (Humidity sensation), 습도선호도 (Humidity preference), 노이즈니스 (Noisiness), 라우드니스 (Loudness), 어노이언스 (Annoyance), 음향선호도 (Acoustic preference) 로 양극평정척도 (bipolar rating scale) 를 사용하였다. 설문지는 응답 척도와 0점이 없는 아날로그 시각 척도 [19] (Visual Analog Scale)을 사용하였다. 아날로그 시각 척도는 평가자가 느끼는 자극 변화를 자유롭게 표현할 수 있어 각 조건에 따른 변화량의 주관적 차이를 파악하는데 활용되고 있다. 설문지는 Fig.2와 같다.

분석 단계에서 주관 평가 응답에는 - 5 ~ + 5의 값을 부여하여 ANOVA와 회귀분석을 실시하였으며, 통계 분석에는 Minitab® 17.3.1 소프트웨어가 사용되었다. 다중 비교를 위한 사후 검정 (Post-Hoc test)에는 Tukey test가 적용되었다. 유의수준은  $\alpha = 0.05$ 를 사용하였다.

## 4. 결과

### 4.1. 온열감 및 소음 평가

평균 예상 온열감 (Predicted Mean Vote) 변화에 따른 온도감 및 습도감과 사운드 레벨에 따른 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스, 음향선호도는 Fig. 3과 같다. 잘 알려진 바와 같이 PMV 값의 증가에 따라 온도감이 증가하였고 온도선호도는 감소하였으며 네 가지 PMV 값에 따른 온도감과 온도선호도의 차이는 모

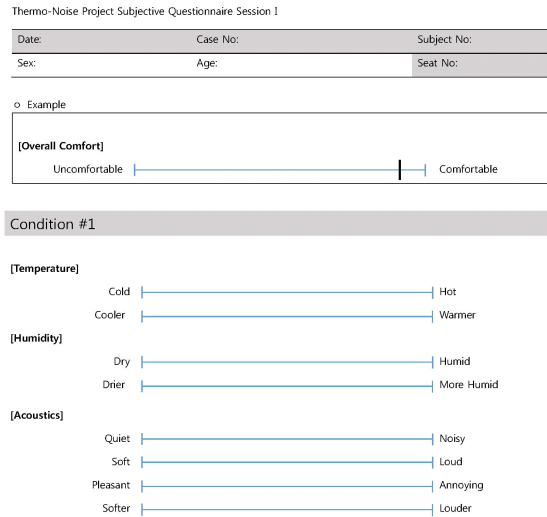


Fig. 2. Subjective questionnaire sheet

두 통계적으로 유의미하였다. 온도감과 온도선호도의 주관평가에 따른 중립점은 Fig. 3(a)와 같이 양 (+)의 PMV 값을 갖는 것으로 나타났다. 습도의 경우 온도에 비해 PMV 변화에 따른 평가값의 폭이 상대적으로 좁게 나타났으나 온도와 마찬가지로 통계적으로는 유의미한 차이를 보였다. 그러나, PMV 1.83에서는 습도감과 습도선호도 모두 온도 평가의 절대값보다 큰 절대값으로 평가되었다. 습도 평가의 중립점 또한 온도 평가와 같이 양 (+)의 PMV 값에서 나타났다.

소음에 대한 주관 평가 결과 또한 예상한 바와 같이 사운드 레벨의 증가에 따라 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스가 증가하였으며, 음향선호도는 감소하는 경향을 보였다. 노이즈니스와 라우드니스는 사운드 레벨의 증가에 따른 평가값이 통계적으로 모두 달랐으며 유사한 양상을 보였다. 어노이언스와 음향선호도는 45 dBA, 50 dBA, 55 dBA에서는 통계적 차이를 나타내지 않고 60 dBA에서만 유의미한 차이를 나타냈다. 음향선호도는 피험자가 듣는 소음원의 소리를 더 크게 듣고 싶은지 작게 듣고 싶은지에 대한 질문으로 평가 되었는데, 본 실험의 결과에 따르면 소리의 크기에 대한 파라미터인 라우드니스보다 어노이언스와 상관성을 나타냈다.

소음원별 사운드 레벨에 따른 평가 결과는 Fig. 4와 같다. 노이즈니스와 라우드니스는 사운드 레벨 증가에 따라 소음원의 종류에 상관 없이 유사한 패턴으로 증가하였으나, 어노이언스와 음향선호도는 사운드 레벨에 따른 값의 차이가 노이즈니스나 라우드니스와 비교하여 상대적으로 완만하게 변화하였으며 값이 높은 그룹과 낮은 그룹으로 소음원이 양분되었다. Cafe, Fan, Traffic은 양 (+)의 어노이언스 값을 나타냈으며, Birds, Music, Water는 음 (-)의 어노이언스값을 나타냈다. 모든 경우에서 사운드 레벨의 차이에 따른 주관 평가값은 통계적으로 유의미한 차이를 보였다.

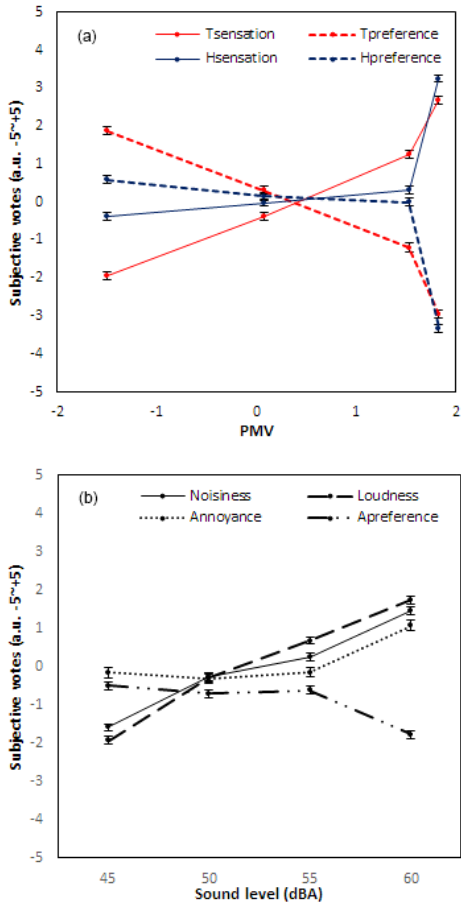


Fig. 3. Thermal and acoustic assessment (a) Thermal votes vs PMV (b) Acoustic votes vs sound level (a.u.: arbitrary unit -5~+5)

#### 4.2. 온열환경 변화에 따른 소음 평가

온열환경의 변화에 따른 소음 지각의 변화를 살펴보기 위해 Fig. 5와 같이 PMV 변화에 따른 주관적 음향 파라미터를 분석하였다. 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스, 음향선호도 모두 PMV 변화에 따른 평가값의 통계적 차이가 유의미했으며, 온열중립점에서 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스값이 가장 낮았다. 음향선호도는 PMV 1.83에서만 유의미한 차이를 보였다. 노이즈니스와 라우드니스는 상대적으로 PMV 변화에 민감하지 않았으며, 어노이언스와 음향선호도는 PMV 변화에 따른 차이가 강하게 나타났다 (Table 3 참조).

소음원별 PMV 변화에 따른 소음 평가 결과는 Fig. 6 및 Table 4와 같다. 소음원별 특징으로는 Fan이 노이즈니스와 어노이언스 값이 가장 높았다. Cafe와 Traffic은 Fan과 유사한 경향을 띄었다. Bird는 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스 모두 가장 낮은 값을 나타냈으며, Water 및 Music과 함께 음(-)의 어노이언스 값을 기록하였다.

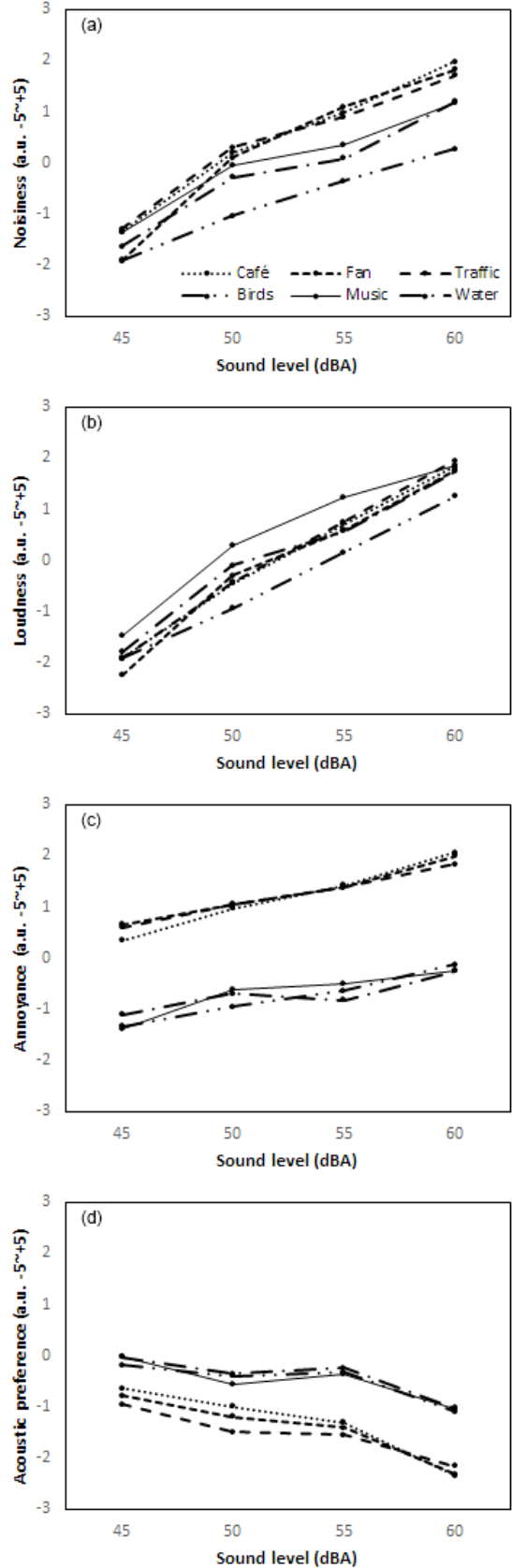


Fig. 4. Acoustic assessment by sound sources (a)Noisiness (b)Loudness (c)Annoyance (d)Acoustic preference (a.u.: arbitrary unit -5~+5)

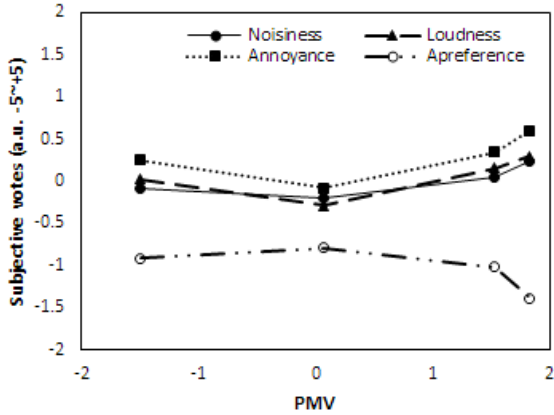


Fig. 5. Acoustic assessment vs PMV (a.u.: arbitrary unit -5~+5)

여섯 가지 소음원에 대한 어노이언스 평가 결과는 두 그룹으로 나뉘었다. Cafe, Fan, Traffic은 양 (+) 의 어노이언스 값을 나타냈고 Birds, Music, Water은 음 (-) 의 어노이언스 값을 보였다. Cafe와 Traffic은 PMV 변화에 따른 어노이언스의 차가 유의미하지 않은 반면, Birds, Music, Water는 온열 중립일 때와 PMV 1.83의 차이가 확실히 나타났다. 이러한 경향은 음향선호도 평가에서도 나타났으나 노이즈니스와 라우드니스에서는 뚜렷하지 않았다.

#### 4.3. 음향 변화에 따른 온열감 평가

사운드레벨에 따른 온열감 변화는 Fig. 7(a)와 같다. 온도선호도 및 습도선호도는 60 dBA에서 평균값의 차이가 온도감과 습도감보다 높았으나 통계적으로는 유의미하지 않았다. 소음원의 종류에 따른 온열감 변화는 Fig. 7(b)와 같으며, 소음원의 종류 변화에 따른 온열감의 변화는 통계적으로 나타나지 않았다.

### 5. 고찰

#### 5.1. 온열환경이 소음 인지에 미치는 영향

소음 인지는 온열환경의 영향을 받는다는 본 연구의 결과는 Nagano and Horikoshi [15], Pellerin and Candas [13]의 연구와 일치한다. 그러나, 구체적인 결과는 서로 다른 측면이 발견되었다. Nagano and Horikoshi [15]의 연구에서는 25 °C에서 소음이 가장 긍정적으로 평가되고, 19 °C 및 28 °C에서 가장 부정적으로 평가되어 본 연구의 결과와 일치하였으나, Pellerin and Candas [13]의 연구에서는 24 °C에서 소음이 가장 부정적으로 평가되고 18 °C 및 30 °C에서 긍정적으로 평가되어 본 연구의 결과와는 상반되는 결과를 보였다. 본 연구의 경우 실험 참여자가 각 소음원을 듣는 시간은 2분이었으며, Nagano and Horikoshi [15]의 실험에서도 소음원 재생 시간은 2분이었다. 그러나, Pellerin and Candas [13]의 결과는 30분 및 2시간 소음 노출의 결과였다. 소음과 온열환경의 복합작용에 있어 소음 노출 시간 또한 소음 인지에 변화를 주는 요인일 것으로 보인다.

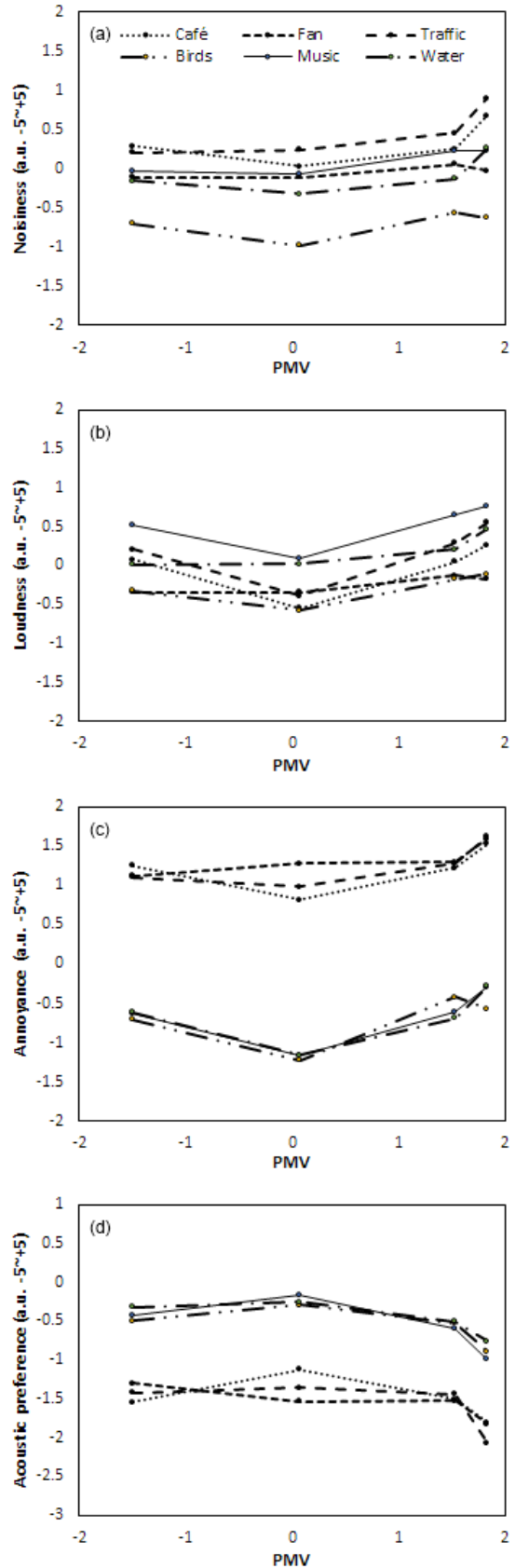


Fig. 6. Acoustic assessment vs PMV by sound sources (a)Noisiness (b)Loudness (c)Annoyance (d)Acoustic preference (a.u.: arbitrary unit -5~+5)

### 5.2. 음환경이 온열감 인지에 미치는 영향

온열감은 음환경의 변화와 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 Fanger et al. [9], Witterseh et al. [14], Pellerin and Candas [13]의 결과와 일치한다. 이 중 Pellerin and Candas [13]의 결과는 소음 노출 시간에 따라 달라졌는데, 30분 노출되었을 경우에는 온열감 평가에 있어 소음의 영향이 없었으나, 2시간 노출되었을 경우에는 소음의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Table 3. Results of ANOVA and Turkey's post-hoc test among PMVs on acoustic assessment vs PMV (Grouping information means that do not share a letter are significantly different.)

Acoustic assessment	ANOVA		Turkey's HSD Grouping				Degree of Freedom	
	F	P	PMV -1.53	PMV 0.03	PMV 1.53	PMV 1.83		
Noisiness	Total	4.79	0.002	B	B	AB	A	3, 2300
	Café	1.34	0.262	A	A	A	A	3, 380
	Fan	0.11	0.952	A	A	A	A	3, 380
	Traffic	2.53	0.057	A	A	A	A	3, 380
	Birds	0.88	0.450	A	A	A	A	3, 380
	Music	0.75	0.521	A	A	A	A	3, 380
	Water	1.85	0.138	A	A	A	A	3, 380
Loudness	Total	7.53	0.000	AB	B	A	A	3, 2300
	Café	2.04	0.108	A	A	A	A	3, 380
	Fan	0.2	0.896	A	A	A	A	3, 380
	Traffic	3.42	0.017	AB	B	AB	A	3, 380
	Birds	0.98	0.404	A	A	A	A	3, 380
	Music	2.22	0.086	A	A	A	A	3, 380
	Water	1.12	0.342	A	A	A	A	3, 380
Annoyance	Total	10.55	0.000	B	C	AB	A	3, 2300
	Café	1.52	0.209	A	A	A	A	3, 380
	Fan	3.08	0.027	AB	B	AB	A	3, 380
	Traffic	2.52	0.058	A	A	A	A	3, 380
	Birds	2.76	0.042	AB	B	AB	A	3, 380
	Music	2.92	0.034	AB	B	AB	A	3, 380
	Water	3.55	0.015	AB	B	AB	A	3, 380
Acoustic preference	Total	16.03	0.000	A	A	A	B	3, 2300
	Café	2.95	0.033	AB	A	AB	B	3, 380
	Fan	1.77	0.152	A	A	A	A	3, 380
	Traffic	5.09	0.002	A	A	A	B	3, 380
	Birds	3.31	0.020	AB	A	AB	B	3, 380
	Music	5.36	0.001	A	A	AB	B	3, 380
	Water	2.83	0.038	A	A	A	A	3, 380

Table 4. Results of ANOVA and Turkey's post-hoc test among noise sources on acoustic assessment vs PMV (Grouping information means that do not share a letter are significantly different.)

Acoustic assessment	ANOVA		Turkey's HSD Grouping						Degree of Freedom	
	F	P	Café	Fan	Traffic	Birds	Music	Water		
Noisiness	Total	15.6	0.000	AB	A	A	C	AB	B	5, 2298
	PMV -1.53	2.81	0.016	A	AB	A	B	AB	AB	5, 570
	PMV 0.03	5.88	0.000	A	A	A	B	A	AB	5, 570
	PMV 1.53	3.45	0.004	A	AB	A	B	AB	AB	5, 570
	PMV 1.83	4.88	0.000	A	AB	A	B	AB	AB	5, 570
Loudness	Total	7.43	0.000	B	BC	AB	C	A	AB	5, 2298
	PMV -1.53	2.09	0.065	A	A	A	A	A	A	5, 570
	PMV 0.03	2.4	0.036	A	A	A	A	A	A	5, 570
	PMV 1.53	2.13	0.060	A	A	A	A	A	A	5, 570
	PMV 1.83	2.12	0.062	A	A	A	A	A	A	5, 570
Annoyance	Total	130.24	0.000	A	A	A	B	B	B	5, 2298
	PMV -1.53	29.06	0.000	A	A	A	B	B	B	5, 570
	PMV 0.03	43.72	0.000	A	A	A	B	B	B	5, 570
	PMV 1.53	31.67	0.000	A	A	A	B	B	B	5, 570
	PMV 1.83	29.98	0.000	A	A	A	B	B	B	5, 570
Acoustic preference	Total	55.24	0.000	B	B	B	A	A	A	5, 2298
	PMV -1.53	15.14	0.000	B	B	B	A	A	A	5, 570
	PMV 0.03	17.79	0.000	B	B	B	A	A	A	5, 570
	PMV 1.53	13.62	0.000	B	B	B	A	A	A	5, 570
	PMV 1.83	12.13	0.000	B	B	B	A	A	A	5, 570

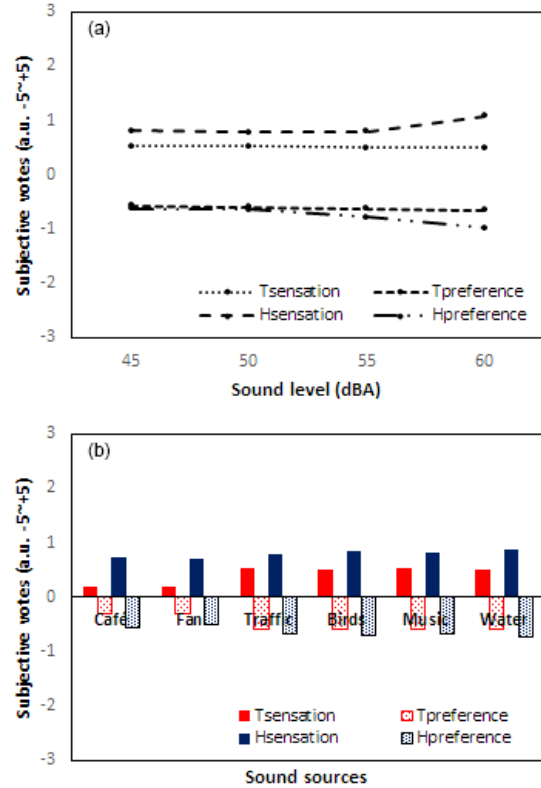


Fig. 7. Thermal assessment vs acoustics (a)Thermal assessment vs Sound level (b)Thermal assessment vs Sound sources (a.u.: arbitrary unit -5~+5)

Fanger et al. [9]은 소음 노출 시간이 2시간, Witterseh et al. [14]는 3시간으로 장시간 소음을 사용한 연구에서는 음환경 변화와 관계없이 온열감이 평가되고 있었다. 그러나, 본 연구와 동일하게 2분간 소음을 재생한 Nagano and Horikoshi [15]는 소음이 온열감에 영향을 미친다고 밝혔다.

소음 노출 시간 뿐만 아니라, 소음 레벨 또한 이러한 불일치의 원인 중 하나로 추정된다. 본 연구에서는 일반적인 주거 환경과 사무 환경에서 나타나는 45 ~ 60 dBA 범위의 소음 레벨을 사용하였으나, Nagano and Horikoshi [15], Pellerin and Candas [12], Tiller et al. [16]은 60 dBA를 초과하여 95.5 dBA에 이르는 소음레벨을 사용하였다. 즉, 본 연구에서 사용한 실내 소음의 범위는 온열 환경 인지에 영향을 주지 않는 정도의 소음 레벨이라고 해석할 수 있겠다.

### 5.3. 소음원의 종류에 따른 소음 인지 변화

본 연구에서는 Birds, Music, Water가 긍정적인 소리로 인지되고 있었으며, Cafe, Fan, Traffic은 부정적으로 인지되었다. 이러한 그루핑은 특히 어노이언스와 음향선호도에서 확인한 차이를 보였다. 본 연구에서 사용한 Music은 한 가지 음악 중 도입부의 2분만을 음원으로 사용하였으며, 음악은 장르별로 주관적인 선호도가 크게 달라지고 음악의 흐름에 따른 멜로디가 주관적인 선호도에 영향을 미치기 때문에 일반화하여 언급하기에는 적합

하지 않다. 따라서, Birds와 Water에 대해서만 고찰하도록 한다.

물소리는 도시의 사운드스케이프를 향상하는데 가장 좋은 소리인 것으로 알려져 있다 [20-24]. 특히, 교통소음을 매스킹하는데 효과적인 것으로 밝혀지고 있다 [20-23]. Water는 동일한 소음레벨의 소음원 중에서 노이즈니스, 라우드니스, 어노이언스가 가장 낮았으며, 온열증립에서 최소값을 갖는 특징이 다른 소음원보다 뚜렷한 경향을 보였다. 또한, 어노이언스 평가에서는 평균값이 음(-)의 값을 나타내어 오히려 듣기 좋은 소리로 인지되고 있었다. 새소리는 물소리와 더불어 흔히 접할 수 있는 자연의 소리로서 도시인들에게 편안함을 주는 것으로 알려져 있다 [25]. Hao et al. [26]은 서른명의 성인을 대상으로 한 실험에서 30초의 새소리를 2 ~ 6번 반복 재생했을 때, 교통 소음의 유쾌성(Pleasantness)이 2.7 ~ 6.7 배 높아졌다고 밝혔다. Birds는 정상 소음과 유사한 물소리와는 다르게 시간에 따른 변화가 큰 음원으로서, 노이즈니스와 라우드니스는 Water보다 높았으나 어노이언스와 음향선호도는 Water와 비슷한 값을 나타냈다.

그러나, 물소리와 새소리의 실내 온열환경과의 복합작용에 대해서는 아직 밝혀진 바가 많지 않다. 물소리 및 새소리가 실외 사운드스케이프 뿐만 아니라 실내에서도 긍정적으로 도입 될 수 있도록 물소리 및 새소리의 정량적, 정성적 연구가 필요하다.

## 6. 결론

본 연구는 실내 환경 인지에 대한 기초 연구로서, 평균연령 22세의 남녀 24명을 대상으로 예상온열감, PMV -1.53, 0.03, 1.53, 1.83의 네 가지 온열환경에서 소음과 온열환경의 복합작용에 대한 주관평가를 실시하였다. 소음 인지는 온열환경 변화에 따른 영향을 받는 것으로 분석되었다. 소음은 온열 증립에서 가장 긍정적으로 인지되었으며, 온열환경이 열악해짐에 따라 소음에 대한 평가도 부정적으로 변화되었다. 그러나, 본 연구에서 사용한 실내 소음 레벨 (45 ~ 60 dBA) 및 소음 종류에 따른 온열감 인지의 변화는 발견되지 않았다.

본 연구에 사용된 소음은 중간 세기로 구분되는 레벨의 소음을 2분간 재생하였기 때문에 실내 소음 레벨이 60 dBA를 초과하는 소음이나, 장시간 소음에 노출되는 음환경에 대하여는 향후 연구에서 고려되어야 할 것이다. 또한, 온열감과 소음자체의 평가 이외에 쾌적감에 대한 인지 변화도 향후 연구에서는 고려되어야 할 평가 인자이다.

## Acknowledgements

This research was supported through the Basic Science Research Program by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A1A01057041).

## Reference

[1] 메를로 폰티, 지각의 현상학. 류익근 옮김. 문학과 지성사, 2002.  
[2] Nimlyat, P.S. and M.Z. Kandar, Appraisal of indoor environmental quality (IEQ) in healthcare facilities: A literature review. Sustainable

Cities and Society, 2015. 17: p. 61-68.  
[3] Astolfi, A. and F. Pellerer, Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. The Journal of the Acoustical Society of America, 2008. 123(1): p. 163-173.  
[4] Humphreys, M.A., Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable? Building Research & Information, 2005. 33(4): p. 317-325.  
[5] Chiang, C.-M. and C.-M. Lai, A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. Building and Environment, 2002. 37(4): p. 387-392.  
[6] Huang, L., et al., A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. Building and Environment, 2012. 49: p. 304-309.  
[7] Heinzerling, D., et al., Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. Building and environment, 2013. 70: p. 210-222.  
[8] Andren, L., et al., Circulatory effects of noise. Acta Medica Scandinavica, 1983. 213(1): p. 31-35.  
[9] Fanger, P., N. Breum, and E. Jerking, Can colour and noise influence man's thermal comfort? Ergonomics, 1977. 20(1): p. 11-18.  
[10] Hancock, P. and J. Pierce, Combined effects of heat and noise on human performance: A review. The American Industrial Hygiene Association Journal, 1985. 46(10): p. 555-566.  
[11] Clausen, G., et al., A Comparative Study Of Discomfort Caused By Indoor Air Pollution, Thermal Load And Noise. Indoor Air, 1993. 3(4): p. 255-262.  
[12] Pellerin, N. and V. Candas, Combined effects of temperature and noise on human discomfort. Physiology & Behavior, 2003. 78(1): p. 99-106.  
[13] Pellerin, N. and V. Candas, Effects of steady-state noise and temperature conditions on environmental perception and acceptability. Indoor air, 2004. 14(2): p. 129-136.  
[14] Witterseh, T., D.P. Wyon, and G. Clausen, The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. Indoor Air, 2004. 14: p. 30-40.  
[15] Nagano, K. and T. Horikoshi, New comfort index during combined conditions of moderate low ambient temperature and traffic noise. Energy and Buildings, 2005. 37(3): p. 287-294.  
[16] Tiller, D.K., et al. Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance. in 2010 ASHRAE Annual Conference. 2010.  
[17] 김선우, 실내 환경조건이 소음평가에 미치는 영향에 관한 실험적 연구 (An Experimental Study on the Effects of Thermal Conditions and Indoor Air Qualities for the Human Responses to Noise). 대한건축학회 논문집, 1994. 10(2): p. 113-119.  
[18] ASHRAE., Thermal environmental conditions for human occupancy, in ASHRAE Standard 55: 2013. 2013, ASHRAE: Atlanta, GA. US.  
[19] Reips, U.-D. and F. Funke, Interval-level measurement with visual analogue scales in Internet-based research: VAS Generator. Behavior Research Methods, 2008. 40(3): p. 699-704.  
[20] Jeon, J.Y., et al., Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds. The Journal of the Acoustical Society of America, 2010. 127(3): p. 1357-1366.  
[21] De Coensel, B., S. Vanwetswinkel, and D. Botteldooren, Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 2011. 129(4): p. EL148-EL153.  
[22] Jeon, J.Y., et al., Acoustical characteristics of water sounds for soundscape enhancement in urban open spaces. The Journal of the Acoustical Society of America, 2012. 131(3): p. 2101-2109.  
[23] Galbrun, L. and T.T. Ali, Acoustical and perceptual assessment of water sounds and their use over road traffic noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 2013. 133(1): p. 227-237.  
[24] Ekman, M.R., P. Lundén, and M.E. Nilsson, Similarity and pleasantness assessments of water-fountain sounds recorded in urban public spaces. The Journal of the Acoustical Society of America, 2015. 138(5): p. 3043-3052.  
[25] Gidlöf-Gunnarsson, A. and E. Öhrström, Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas. Landscape and Urban Planning, 2007. 83(2): p. 115-126.  
[26] Hao, Y., J. Kang, and H. Wörtche, Assessment of the masking effects of birdsong on the road traffic noise environment. The Journal of the Acoustical Society of America, 2016. 140(2): p. 978-987.