



## ORIGINAL ARTICLE

# Relationship between Household Air Quality and Hearing Loss in Korean Adults: Analysis of Data from The Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2020~2021

Sang Shin PYO

Department of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, Uijeongbu, Korea

## 우리나라 성인에서 가정 실내공기질과 난청 사이의 관계: 국민건강영양조사 2020~2021

표상신

신한대학교 임상병리학과

## ARTICLE INFO

Received June 25, 2024  
Revised 1<sup>st</sup> July 6, 2024  
Revised 2<sup>nd</sup> July 23, 2024  
Accepted July 26, 2024

## Key words

Air pollution  
Formaldehyde  
Hearing loss  
Toluene  
Volatile organic compounds

## ABSTRACT

The purpose of this study was to identify the household air pollutants most significantly impacting hearing loss, using data from the 8th Korea National Health and Nutrition Examination Survey. Of the 1,980 participants, those with missing data were excluded from the study population, resulting in the final inclusion of 298 participants. Mild hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average (PTA) of 26~40 dB, and moderate hearing loss is defined as a unilateral or bilateral PTA of 41 dB or higher. The mean of the PTAs for both ears is defined as the sum of the PTAs of the left and the right ears divided by 2. Complex samples multiple logistic regression analysis revealed that formaldehyde exposure independently significantly increased the risk of moderate hearing loss (odds ratio=1.050,  $P<0.001$ ). Additionally, in the complex samples general linear model, toluene exposure ( $B=0.026$ ,  $P<0.001$ ) was found to be independently significantly associated with an increase in the mean of PTAs for both ears, where a higher mean of the PTAs for both ears indicates a decrease in hearing ability. These results suggest a strong association between hearing loss and the presence of toluene or formaldehyde in indoor air.

Copyright © 2024 The Korean Society for Clinical Laboratory Science.

## 서론

난청(hearing loss)은 청각 체계에 문제가 생겨 주변 소리를 듣는 데 어려움을 겪는 상태를 말한다[1]. 나이와 관련된 퇴행성

노화, 소음 노출, 유전적 돌연변이 등이 주요 원인으로 알려졌지만, 추가로 감염, 귀독성 치료 약물에 대한 노출, 흡연, 비만, 만성 질환, 자가면역 장애 등이 관련되기도 한다[2, 3]. 최근에는 정신 건강이 난청의 위험을 높인다는 연구 보고도 있다[4]. 또한, 난청은 치매의 위험 요소로 간주되고 있다[5]. 우리나라의 난청 유병률은 청소년과 젊은 성인에서 증가하고 있으며, 특히 노인의 경우 급격히 증가하고 있다[6]. 난청의 사회적 비용과 경제적 비용은 전 세계적으로 연간 미화 7,500억 달러 이상으로 부담이

Corresponding author: Sang Shin PYO

Department of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu 11644, Korea

E-mail: pyoss@shinhan.ac.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3043-0178>

크게 늘어나고 있다[7]. 순음청력검사(pure-tone audiometry)는 청력 손실의 정도를 정량적으로 평가하고, 난청의 유형과 양상을 파악하는 데 유용하다[8]. 순음청력검사는 500 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz, 4,000 Hz, 8,000 Hz 중 장비에서 나오는 하나의 특정 주파수인 순음을 이용해 주파수별 청력 역치(hearing threshold level)를 측정한다[9]. 청력 역치는 들을 수 있는 최소한의 소리 크기를 말하며, 청력 역치가 낮을수록 작은 소리를 잘 알아들을 수 있다는 의미이다.

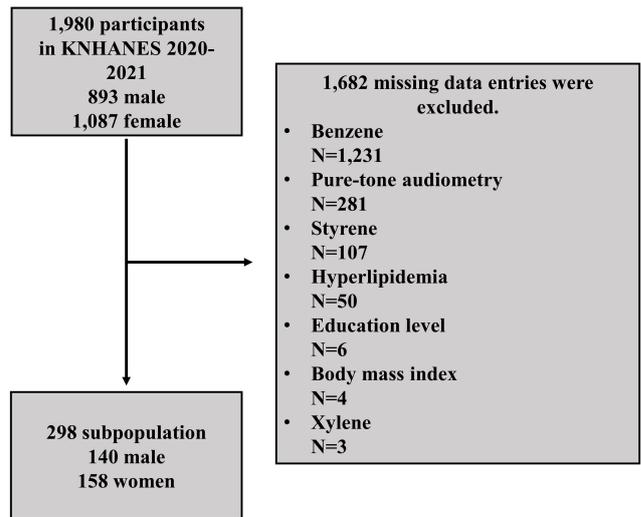
가정 내 공기질(household air quality)은 가정 내의 공기가 얼마나 깨끗하고 건강한지를 나타내는 중요한 지표를 말한다. 주요 실내 공기 오염물질로 알려진 휘발성 유기 화합물(volatile organic compound)과 미세먼지(particulate matter)는 주로 호흡기 질환과 심혈관 질환에 대한 연구로 다뤄져 왔다[10]. PM<sub>10</sub>은 지름이 10 µm 이하인 미세먼지이고, PM<sub>2.5</sub>는 지름이 2.5 µm 이하인 초미세먼지를 말한다. 이러한 미세먼지는 인체의 폐에 깊숙이 침투할 수 있고, 혈액에까지 영향을 미쳐 악영향을 끼친다[11]. 건축 및 가구 자재는 휘발성 유기화합물의 주요 발생원이며, 실외 공기보다 실내 공기에 더 많이 함유되어 있다[12]. 이러한 휘발성 유기화합물은 호흡기 및 피부 질환, 그리고 암 위험을 높이고 있다[13].

대기 오염에 장기간 노출된 사람은 난청의 위험이 증가할 수 있다는 연구 결과가 있다[14, 15]. 최근 연구에 따르면, 지금까지 초점의 대부분은 실외 공기에 맞춰져 있었지만, 산업화와 도시화가 진행됨에 따라 실내에서 보내는 시간이 증가하면서 실내 환경이 건강에 미치는 영향에 관한 관심이 높아지고 있다[16]. 그렇지만 가정 내 공기 오염물질의 어떤 성분이 난청에 주로 영향을 미칠 수 있는지는 아직 연구되어 있지 않다. 본 저자가 아는 한, 이 논문은 가정 내 공기 오염물질과 난청의 연관성을 조사한 최초의 연구이다. 본 연구의 목적은 제8기 국민건강영양조사에서 공개된 자료를 이용해서 가정 내 공기 오염물질 중 난청에 가장 영향을 미치는 물질을 찾고자 하였다.

## 자료 및 방법

### 1. 연구대상

질병관리청은 국민의 가정 내 공기질 수준을 파악하기 위해 2020년 7월부터 2021년 8월까지 제8기 국민건강영양조사에 참여한 1,980명을 대상으로 조사를 진행하였다. 이 중 분석에 사용된 변수에 결측치가 있는 대상자는 부모집단에서 제외하였다(Figure 1). 구체적으로, 벤젠(benzene) 데이터가 없는 1,231명, 순음청력검사 데이터가 없는 281명, 스티렌(styrene) 데이



**Figure 1.** Flow diagram of the present study. KNHANES, Korea National Health and Nutrition Examination Survey.

터가 없는 107명, 고지혈증(hyperlipidemia) 데이터가 없는 50명, 교육 수준(education level) 데이터가 없는 6명, 체질량 지수(body mass index, BMI) 데이터가 없는 4명, 자일렌(xylene) 데이터가 없는 3명을 제외하여 총 1,682명이 부모집단에서 제외되었다. 이에 따라 본 연구의 부모집단은 남자 140명(45.1%)과 여자 158명(54.9%)으로 구성된 총 298명이었다. 통합가중치를 적용했을 때, 이는 남자 2,689,951명(47.6%)과 여자 2,966,492명(52.4%)으로 추정되며, 총 5,656,444명을 대표한다. 국민건강영양조사의 순음청력검사는 만 40세 이상에서만 검사되었기 때문에 본 연구의 부모집단의 나이는 40세 이상이였다.

제8기 국민건강영양조사는 질병관리청 연구윤리심의위원회(institutional review board, IRB)에서 2019년부터 2021년까지 매년 심의를 받았다. 이와 별도로 본 연구는 신한대학교 연구윤리심의위원회의 심의면제 승인을 받은 후 수행되었다(IRB approval number: SHIRB-202407-HR-235-02).

### 2. 순음역치평균

순음역치평균(pure-tone threshold average)은 순음청력 검사에서 측정되는 주파수별 청력 역치의 평균값을 말한다[8]. 순음역치평균이 클수록 큰 소리를 들려줘야 겨우 들을 수 있다는 뜻이므로 순음역치평균이 크면 청력이 좋지 않다는 뜻이다. 순음역치평균의 계산 방법에는 3분법, 4분법, 6분법이 있다. 4분법은 소음성 또는 노인성 난청에서 청력 손실을 계산할 때 많이 사용되고, 6분법은 보건복지부에서 청각 장애 진단을 위한 산업재해 보상법에 적용될 때 주로 사용된다. 본 연구는 4분법

을 이용하였는데, 그 이유는 8,000 Hz 부분의 순음역치평균에 결측치가 많았고, 국민건강영양조사에서 난청 유병 여부를 4분법을 기준으로 계산하였기 때문이다. 4분법 순음역치평균은 500 Hz, 1,000 Hz의 역치와 2,000 Hz의 역치와 4,000 Hz의 역치의 평균값으로 계산된다.

4분법 순음역치평균 =

$$\frac{500 \text{ Hz 역치} + 1,000 \text{ Hz 역치} + 2,000 \text{ Hz 역치} + 4,000 \text{ Hz 역치}}{4}$$

본 연구에서 양측 순음역치평균의 평균(mean of the pure-tone threshold averages for both ears)은 왼쪽 귀의 순음역치평균과 오른쪽 귀의 순음역치평균을 합한 후 2로 나눈 값으로 정의하였다[8].

양측 순음역치평균의 평균 =

$$\frac{\text{왼쪽 귀의 순음역치평균} + \text{오른쪽 귀의 순음역치평균}}{2}$$

### 3. 경도 난청과 중등도 난청

ISO-1964에 따르면 한쪽 귀의 순음역치평균에 따라 경도 난청(25~40 dB), 중도 난청(41~70 dB), 고도 난청(71~90 dB), 심도 난청(91 dB 이상)으로 보통 구분된다. 사람이 내는 목소리는 50~60 dB 정도이고, 피아노에서 나는 소리는 약 80 dB 정도이다. 본 연구에서 경도 난청(mild hearing loss)은 한쪽 귀 또는 양쪽 귀의 순음역치평균이 26 dB 이상 41 dB 미만인 경우로 정의하였고, 중등도 난청(moderate hearing loss)은 한쪽 귀 또는 양쪽 귀의 순음역치평균이 41 dB 이상인 경우로 정의하였다[17].

### 4. 가정 내 공기질 조사

가정 내 공기질 조사는 제8기 국민건강영양조사 2차년도(2020년 7월)부터 제8기 3차년도(2021년 8월)까지 수행되었다. 가정 내 공기질 조사는 가정 내 PM<sub>2.5</sub>, 대기 중 PM<sub>2.5</sub>, 이산화탄소(carbon dioxide), 폼알데하이드(formaldehyde), 총 휘발성 유기화합물, 벤젠, 톨루엔(toluene), 에틸벤젠(ethylbenzene), 자일렌(xylene), 스티렌(styrene)의 농도로 구성된다[18]. 가정 내 공기질 조사는 환경부 실내 공기질 공정시험기준인 국립환경과학원 고시(ES 02130.d)에 따라 측정되었다. 시료 채취는 온도, 습도, 창문 개폐, 가전제품 사용 등의 통제 없이 실제 가정의 생활환경에서 실시되었다. PM<sub>2.5</sub> 농도는 휴대용 미

세먼지 샘플러 KMS-4100 (KEMIK)을 사용하여 중량법(gravimetry)으로 24시간 동안 측정되었다. 이산화탄소 농도는 비분산적외선법(non-dispersive infrared spectrometry)을 이용해 IQ-610Xtra (GrayWolf Sensing Solutions)로 1시간 동안 측정되었다. 폼알데하이드 농도는 2,4-DNPH 카트리지와 액체 크로마토그래피(liquid chromatography) 방법을 사용하여 HPLC/LC2030-Plus (Shimadzu)로 30분 간격으로 두 차례 연속 측정되었다. 총 휘발성 유기화합물 농도는 고체 흡착관과 기체 크로마토그래피/질량분석(gas chromatography/mass spectrometry) 방법을 활용하여 TD-20/GC/MS-QP2020 (Shimadzu)로 30분씩 두 차례 연속 측정되었다.

### 5. 공변량

가정 내 공기 오염물질의 노출시간을 반영하기 위해 주중 가정에 머문 시간(time spent at home during the week)을 보정 변수로 추가하였다. 흡연 상태(smoking status)는 전혀 피운 적이 없는 경우를 비흡연(never), 과거에는 피웠으나 현재 피우지 않는 경우를 과거 흡연(former), 매일 피우는 경우를 현재 흡연(current)으로 분류하였다. 음주 상태(drinking status)는 음주 안 함(non-drinking), 월 1회 미만(<1 times/month), 월 1회 이상(≥1 times/month)으로 분류하였다. 교육 수준은 초졸 이하(elementary school or lower), 중졸(middle school), 고졸(high school), 대졸 이상(college or higher)으로 분류하였다. 가정 소득(household income)은 낮음(low), 중하(middle-low), 중상(middle-high), 높음(high)으로 분류하였다. 직업적 소음 노출(occupational noise exposure)은 기계음이나 발전기와 같은 소음이 큰 장소에서 3년 이상 근무한 적이 있으면 '예', 그렇지 않으면 '아니오'로 분류하였다. 여기서 소음이 크다는 것은 작업장 내의 소음이 대화가 불가능할 정도의 소리 크기를 의미한다. 난청에 영향을 줄 수 있는 대표적인 질병에 있어 당뇨병 상태(diabetes status), 고혈압 상태(hypertension status), 고지혈증, 고콜레스테롤(hypercholesterolemia)을 보정 변수로 설정하였다. 당뇨병 상태는 당뇨병(diabetes), 당뇨병 전 단계(pre-diabetes), 당뇨병 아님(non-diabetic)으로 분류하였다. 당뇨병은 공복 혈당이 126 mg/dL 이상일 경우 또는 당뇨병약 복용할 경우 또는 인슐린주사 투여할 경우 또는 의사의 당뇨 진단이 있을 경우 또는 당화혈색소가 6.5% 이상일 경우로 정의하였다. 당뇨병 전 단계는 공복 혈당이 100 mg/dL 이상에서 125 mg/dL 이하일 경우 또는 당화혈색소가 5.7% 이상에서 6.4% 이하일 경우로 정의하였다. 정상은 공복 혈당이 100 mg/dL 미만일 경우 또는 당화혈색소가

5.7% 이하일 경우로 정의하였다. 고혈압 상태는 고혈압(hypertension), 고혈압 전 단계(pre-hypertension), 고혈압 아님(non-hypertensive)으로 분류하였다. 고혈압은 수축기 혈압이 140 mmHg 이상일 경우 또는 이완기 혈압이 90 mmHg 이상일 경우 또는 고혈압약 복용할 경우로 정의하였다. 고혈압 전 단계는 수축기 혈압이 120 mmHg 이상에서 140 mmHg 미만일 경우 또는 이완기 혈압이 80 mmHg 이상에서 90 mmHg 미만일 경우로 정의하였다. 정상은 수축기 혈압이 120 mmHg 미만이고, 이완기 혈압이 80 mmHg 미만일 경우로 정의하였다. 고지혈증은 공복 중성지방이 200 mg/dL 이상일 경우로 정의하였고, 고콜레스테롤혈증은 공복 총콜레스테롤이 240 mg/dL 이상이거나 콜레스테롤 약물을 복용하는 경우로 정의하였다.

## 6. 자료 분석

국민건강영양조사는 2단계 층화집락표본설계(two-stage stratified cluster sampling)로 수행되므로, 추정치의 표준오차(standard error)에 편향이 없도록 복합표본에 따른 가중치를 고려하여 분석하였다. 계층 변수, 군집 변수, 통합 가중치를 적용하여 우리나라 국민을 대표할 수 있도록 하였다. 범주형 변수의 경우 복합표본 교차분석(complex samples chi-square) 또는 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석(complex samples multiple logistic regression)을 시행하였고, 연속형 변수의 경우 복합표본 일반선형모델(complex samples general linear model)을 시행하였다. 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석에서는 위험 인자에 노출된 집단과 노출되지 않은 집단 간의 질병 발생 확률을 비교하기 위해 오즈비(odds ratio, OR)와 95% 신뢰구간(confidence interval, CI)을 사용하였다. 복합표본 일반선형분석에서 독립 변수와 종속 변수 간의 관계를 정량적으로 설명하기 위해 회귀계수 B와 표준오차를 사용하였다. 복합표본 교차분석과 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석 그리고 복합표본 일반선형분석을 시행하여 분석할 때, 복합표본 자료 특성상 분산 추정치의 편향이 발생할 수 있으므로 모든 분석에서 결측 자료는 유효한 값으로 처리하였다. 효과 평가 기준은 양측 검정으로  $P$ -value는 0.05 미만으로 설정하였다. 본 연구의 분석에는 IBM Statistics SPSS 24.0 (IBM Co.)을 활용하였다.

## 결 과

### 1. 연구대상자의 일반적인 특성

정상 그룹, 경도 난청 그룹, 그리고 중등도 난청 그룹에 대해 나이( $P<0.001$ ), 주중 가정에 머문 시간( $P=0.012$ ), 성별( $P=$

$0.010$ ), 음주 상태( $P=0.013$ ), 교육 수준( $P<0.001$ ), 당뇨병 상태( $P<0.001$ ), 그리고 고혈압 상태( $P<0.001$ )는 통계적으로 유의하였다(Table 1). 그러나 BMI, 흡연 상태, 가계 소득, 직업적 소음 노출, 고지혈증, 그리고 고콜레스테롤혈증은 통계적으로 유의하지 않았다( $P>0.05$ ).

### 2. 가정 내 공기질에 관련된 오염물질 농도

가정 내 공기질을 위해 측정된 가정 내 PM<sub>2.5</sub> 농도, 대기 중 PM<sub>2.5</sub> 농도, 가정 내 이산화탄소 농도, 가정 내 폼알데하이드 농도, 가정 내 총휘발성 유기화합물 농도, 가정 내 벤젠 농도, 가정 내 톨루엔 농도, 가정 내 에틸벤젠 농도, 가정 내 자일렌 농도, 가정 내 스티렌 농도는 난청에 있어 통계적으로 유의하지 않았다( $P>0.05$ ; Table 2).

통계적으로 유의하지는 않았지만, 중등도 난청 그룹의 폼알데하이드 농도( $46.5 \pm 4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 톨루엔 농도( $74.2 \pm 22.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )는 정상 그룹의 폼알데하이드 농도( $39.2 \pm 2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 톨루엔 농도( $41.4 \pm 5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 다소 높은 평균값을 보였다.

### 3. 난청에 대한 가정 내 공기질의 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석

나이와 성별을 보정한 Model 1과 나이, 성별, BMI, 주중 가정에 머문 시간, 흡연 상태, 음주 상태, 교육 수준, 가계 소득, 직업적 소음 노출, 당뇨병 상태, 고혈압 상태, 고지혈증, 그리고 고콜레스테롤혈증을 보정한 Model 2로 나눠 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석을 시행하였다(Table 3).

경도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석 Model 1에서는 통계적으로 유의한 가정 내 공기 오염물질이 없었다. 반면, 경도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석 Model 2에서는 에틸벤젠의 OR이 0.900 (95% CI, 0.838~0.967;  $P=0.004$ )이었고, 자일렌의 OR이 1.023 (95% CI, 1.008~1.039;  $P=0.003$ )으로 통계적으로 유의하였다.

중등도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석 Model 1에서는 폼알데하이드(OR=1.030,  $P=0.002$ )와 톨루엔(OR=1.006,  $P=0.029$ ) 그리고 에틸벤젠(OR=0.890,  $P=0.026$ )은 통계적으로 유의하였다. 중등도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석 Model 2에서 이산화탄소(OR=0.998,  $P=0.008$ )와 폼알데하이드(OR=1.050,  $P<0.001$ )가 통계적으로 유의하였다.

특히 폼알데하이드는 난청의 위험도 증가와 관련이 있었으며, 경도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석

**Table 1.** General characteristics of participants

Variable	Normal (n=183)	Mild hearing loss <sup>a)</sup> (n=69)	Moderate hearing loss <sup>b)</sup> (n=46)	P-value
Age (yr)	52.6±1.15	63.5±1.13	70.4±1.86	<0.001**
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	24.5±0.33	23.8±0.44	24.9±0.56	0.162
Time spent at home during the week (hr/wk)	16.4±0.42	18.3±0.64	18.05±0.90	0.012*
Sex				0.010*
Male	77 (42.9)	33 (49.6)	30 (66.5)	
Female	106 (57.1)	36 (50.4)	16 (33.5)	
Smoking status				0.361
Never	114 (59.7)	43 (61.6)	22 (43.9)	
Former	41 (24.1)	14 (20.1)	15 (33.7)	
Current	28 (16.2)	12 (18.3)	9 (22.4)	
Drinking status				0.013*
Non-drinking	11 (5.8)	9 (10.1)	10 (16.4)	
<1 times/mo	73 (36.5)	27 (40.9)	22 (46.0)	
1 times/mo	99 (57.7)	33 (49.0)	14 (37.6)	
Education level				<0.001**
Elementary school or lower	10 (4.5)	20 (26.8)	12 (18.9)	
Middle school	13 (6.2)	13 (19.6)	10 (21.3)	
High school	58 (33.9)	17 (24.3)	16 (38.0)	
College or higher	102 (55.4)	19 (29.3)	8 (21.9)	
Household income				0.803
Low	35 (21.0)	17 (21.9)	11 (22.1)	
Middle-low	48 (26.9)	19 (34.6)	12 (26.4)	
Middle-high	43 (24.2)	17 (18.2)	11 (29.2)	
High	57 (27.9)	16 (25.3)	12 (22.3)	
Occupational noise exposure				0.466
Yes	25 (12.0)	8 (11.9)	8 (18.6)	
No	158 (88.0)	61 (88.1)	38 (81.4)	
Diabetes status				<0.001**
Diabetes	18 (10.7)	18 (24.8)	18 (36.1)	
Pre-diabetes	103 (54.1)	33 (46.3)	21 (47.6)	
Non-diabetic	62 (35.2)	18 (28.9)	7 (16.3)	
Hypertension status				<0.001**
Hypertension	47 (25.4)	34 (48.0)	27 (65.7)	
Pre-hypertension	41 (23.8)	14 (24.0)	11 (17.5)	
Non-hypertensive	95 (50.8)	21 (28.0)	8 (16.8)	
Hyperlipidemia				0.392
Yes	22 (11.0)	4 (5.7)	3 (7.2)	
No	161 (89.0)	65 (94.3)	43 (92.8)	
Hypercholesterolemia				0.420
Yes	57 (29.7)	28 (37.4)	16 (31.9)	
No	126 (70.3)	41 (62.6)	30 (68.1)	

Continuous variables were expressed as weighted means±weighted standard errors, and categorical variables were expressed as unweighted frequencies and weighted percentages.

The sizes of the subgroups, with the weights reflected, were as follows: 3,662,832 people in the normal group; 1,233,589 people in the mild hearing loss group; and 760,024 people in the moderate hearing loss group.

<sup>a)</sup>Mild hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 26 dB or more, but less than 41 dB. <sup>b)</sup>Moderate hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 41 dB or higher.

\* $P<0.05$ , \*\* $P<0.001$ .

Model 1에서 OR이 1.015 ( $P=0.200$ )였고, Model 2에서 OR이 1.021 ( $P=0.151$ )로 증가하였다. 이어서 중등도 난청 그룹에 대한 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석에서는 Model 1에서 OR이 1.030 ( $P=0.002$ )이었고, Model 2에서 OR이 1.050 ( $P<$

0.001)으로 증가하였다. 즉 복합표본 범주형 분석에서, 가정 내 폼알데하이드의 노출은 난청 단계가 높아질수록 그 영향력이 독립적으로 증가하는 경향을 보였다.

**Table 2.** Concentrations of substances related to household air quality according to hearing loss

Variable	Normal (n=183)	Mild hearing loss <sup>a)</sup> (n=69)	Moderate hearing loss <sup>b)</sup> (n=46)	P-value
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	18.8±2.2	23.5±5.2	24.1±8.5	0.495
Atmospheric PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	20.9±1.6	20.9±2.4	19.4±2.3	0.808
Carbon dioxide (ppm)	955.2±36.2	1,011.5±66.7	932.2±54.4	0.519
Formaldehyde (μg/m <sup>3</sup> )	39.2±2.9	42.1±3.7	46.5±4.5	0.378
Total volatile compounds (μg/m <sup>3</sup> )	418.7±51.4	385.9±45.7	858.3±311.5	0.321
Benzene (μg/m <sup>3</sup> )	5.3±1.1	4.6±0.8	16.1±11.7	0.539
Toluene (μg/m <sup>3</sup> )	41.4±5.4	36.1±7.4	74.2±22.0	0.203
Ethylbenzene (μg/m <sup>3</sup> )	6.8±0.8	6.1±1.4	9.8±3.8	0.637
Xylene (μg/m <sup>3</sup> )	11.8±1.3	17.4±7.6	33.1±16.9	0.378
Styrene (μg/m <sup>3</sup> )	3.8±0.4	3.3±0.5	5.5±1.3	0.248

Values are presented as weighted mean±weighted standard error.

<sup>a)</sup>Mild hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 26 dB or more, but less than 41 dB. <sup>b)</sup>Moderate hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 41 dB or higher. Abbreviation: PM<sub>2.5</sub>, particulate matter 2.5.

**Table 3.** The odds ratio for the association between hearing loss and household air quality in complex samples multiple logistic regression

Variable	Mild hearing loss <sup>a)</sup> (n=69)				Moderate hearing loss <sup>b)</sup> (n=46)			
	Model 1		Model 2		Model 1		Model 2	
	OR (95% CI)	P-value	OR (95% CI)	P-value	OR (95% CI)	P-value	OR (95% CI)	P-value
PM <sub>2.5</sub>	1.000 (0.992~1.009)	0.953	1.003 (0.995~1.011)	0.487	1.007 (0.981~1.034)	0.600	1.010 (0.993~1.028)	0.239
Atmospheric PM <sub>2.5</sub>	1.003 (0.964~1.044)	0.880	1.013 (0.997~1.050)	0.487	0.962 (0.918~1.008)	0.107	0.964 (0.919~1.011)	0.126
Carbon dioxide	1.000 (0.999~1.001)	0.869	1.000 (0.998~1.001)	0.453	0.999 (0.998~1.000)	0.053	0.998 (0.997~0.999)	0.008*
Formaldehyde	1.015 (0.992~1.040)	0.200	1.021 (0.992~1.050)	0.151	1.030 (1.011~1.049)	0.002*	1.050 (1.025~1.076)	<0.001**
Total volatile compounds	1.000 (0.999~1.001)	0.972	1.000 (0.999~1.001)	0.831	1.000 (0.999~1.001)	0.777	1.000 (0.999~1.001)	0.907
Benzene	1.002 (0.926~1.084)	0.969	1.003 (0.922~1.092)	0.937	0.987 (0.945~1.031)	0.553	1.012 (0.914~1.120)	0.819
Toluene	1.001 (0.994~1.008)	0.786	1.003 (0.994~1.011)	0.534	1.006 (1.001~1.011)	0.029*	1.006 (0.996~1.016)	0.215
Ethylbenzene	0.926 (0.848~1.011)	0.085	0.900 (0.838~0.967)	0.004*	0.890 (0.803~0.986)	0.026*	0.847 (0.669~1.072)	0.164
Xylene	1.024 (0.988~1.061)	0.190	1.023 (1.008~1.039)	0.003*	1.035 (0.997~1.074)	0.073	1.032 (0.960~1.109)	0.386
Styrene	0.979 (0.886~1.082)	0.672	0.989 (0.867~1.128)	0.865	1.052 (0.945~1.170)	0.351	1.051 (0.894~1.236)	0.543

<sup>a)</sup>Mild hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 26 dB or more, but less than 41 dB. <sup>b)</sup>Moderate hearing loss is defined as a unilateral or bilateral pure-tone threshold average of 41 dB or higher.

Model 1: adjusting for age, sex. Model 2: adjusting for age, sex, body mass index, time spent at home during the week, smoking status, drinking status, education level, household income, occupational noise exposure, diabetes, hypertension, hyperlipidemia, and hypercholesterolemia.

\*P<0.05. \*\*P<0.001.

Abbreviations: CI, confidence interval; OR, odds ratio; PM<sub>2.5</sub>, particulate matter 2.5.

#### 4. 양측 순음역치평균의 평균에 대한 가정 내 공기질의

##### 복합표본 일반선형모델

복합표본 다중 로지스틱 회귀분석과 마찬가지로, 나이와 성별을 보정한 Model 1과 나이, 성별, BMI, 주중 가정에 머문 시간, 흡연 상태, 음주 상태, 교육 수준, 가계 소득, 직업적 소음 노출, 당뇨병 상태, 고혈압 상태, 고지혈증, 그리고 고콜레스테롤혈증을 보정한 Model 2로 나눠 복합표본 일반선형모델 분석을 실행하였다(Table 4). 이때 종속변수는 연속변수인 양측 순음역치평균의 평균으로 하였다.

양측 순음역치평균의 평균에 대한 복합표본 일반선형모델

Model 1에서는 톨루엔(B=0.027, P<0.001)과 에틸벤젠(B=-0.080, P=0.035)이 통계적으로 유의하였다. 복합표본 일반선형모델 Model 2에서는 이산화탄소(B=-0.002, P=0.049), 폼알데하이드(B=0.057, P=0.028), 톨루엔(B=0.026, P<0.001), 에틸벤젠(B=-0.075, P=0.049)이 통계적으로 유의하였다.

특히 톨루엔은 복합표본 일반선형모델 Model 1 (B=0.027, P<0.001)과 복합표본 일반선형모델 Model 2 (B=0.026, P<0.001) 모두 통계적으로 유의하였다. 즉 복합표본 연속형 분석에서 가정 내 톨루엔의 노출은 양측 순음역치평균의 평균을 높이는 데 독립적으로 유의하였다.

**Table 4.** Complex samples general linear model regression analyses for the association between the mean of bilateral pure-tone threshold average and household air quality

Variable	Model 1		Model 2	
	B (SE)	P-value	B (SE)	P-value
PM <sub>2.5</sub>	0.003 (0.023)	0.883	0.007 (0.013)	0.621
Atmospheric PM <sub>2.5</sub>	-0.011 (0.044)	0.802	-0.008 (0.040)	0.839
Carbon dioxide	-0.002 (0.001)	0.278	-0.002 (0.001)	0.049*
Formaldehyde	0.040 (0.030)	0.189	0.057 (0.025)	0.028*
Total volatile compounds	0.001 (0.001)	0.875	0.001 (0.001)	0.954
Benzene	-0.015 (0.021)	0.465	-0.003 (0.020)	0.865
Toluene	0.027 (0.007)	<0.001**	0.026 (0.007)	<0.001**
Ethylbenzene	-0.080 (0.037)	0.035*	-0.075 (0.037)	0.049*
Xylene	0.022 (0.014)	0.135	0.017 (0.013)	0.171
Styrene	0.172 (0.136)	0.211	0.111 (0.137)	0.419

Model 1: adjusting for age, sex. Model 2: adjusting for age, sex, body mass index, time spent at home during the week, smoking status, drinking status, education level, household income, occupational noise exposure, diabetes, hypertension, hyperlipidemia, and hypercholesterolemia.

\* $P < 0.05$ . \*\* $P < 0.001$ .

Abbreviations: PM<sub>2.5</sub>, particulate matter 2.5; SE, standard error.

## 고찰

본 연구의 목적은 제8기 국민건강영양조사에서 공개된 자료를 이용하여 가정 내 공기 오염물질 중 난청에 가장 영향력이 있는 물질을 찾고자 하였다. 복합표본 범주형 분석 결과, 가정 내 폼알데하이드 노출(OR=1.050,  $P < 0.001$ )은 중등도 난청의 위험도를 높이는 데 독립적으로 유의하였다. 난청 단계가 높아질수록 가정 내 폼알데하이드의 영향력이 증가하는 경향을 보였다. 복합표본 연속형 분석 결과, 가정 내 톨루엔의 노출(B=0.026,  $P < 0.001$ )은 양측 순음역치평균의 평균을 높이는 데 독립적으로 유의하였다. 이는 양측 순음역치평균의 평균이 높으면 청력의 감소를 의미하므로 가정 내 톨루엔의 노출은 난청을 유발할 수 있음을 암시한다. 이러한 결과는 난청과 폼알데하이드 및 톨루엔의 존재 사이에 독립적인 연관성이 있음을 시사한다.

톨루엔은 차량 배기가스, 페인트, 마감재, 접착제, 담배 연기 등에서 나와 집으로 유입될 수 있다. 장기간 집중적으로 톨루엔에 노출되면 치매, 운동실조, 신경 면역 장애, 백질 뇌병증 등의 위험이 있다[19, 20]. 공장 내에서 톨루엔은 청력 손실과 관련이 있으며, 소음과 함께 노출될 경우 더 심각한 청력 손상이 발생할 수 있다[21]. 그러나 본 연구에서는 직업적 소음 노출과 톨루엔의 상호작용이 통계적으로 유의하지 않았다. Staudt 등[22]의 연구에 따르면, 1999년부터 2004년까지 미국 성인 1,085~2,471명을 대상으로 연령, 성별, 인종, 당뇨병, 비직업적 소음 노출, 흡연 및 소득을 보정하여 다변량 로지스틱 회귀분석을 한

결과, 벤젠(OR, 1.430; 95% CI, 1.150~1.780), 에틸벤젠(OR, 1.240; 95% CI, 1.020~1.500), 톨루엔(OR, 1.270; 95% CI, 1.060~1.520)에 노출될 경우 고주파 난청의 위험도가 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 저주파 난청에 관한 분석에서는 벤젠(OR, 1.120; 95% CI, 0.890~1.390), 에틸벤젠(OR, 1.080; 95% CI, 0.890~1.310), 톨루엔(OR, 1.030; 95% CI, 0.870~1.230) 노출이 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 본 연구에서 벤젠은 통계적으로 유의하지 않았고, 에틸벤젠은 경도 난청에 대해 Model 1에서 통계적으로 유의하지 않았으나 Model 2에서는 유의하였다. 반면, 중등도 난청에 대해 Model 1에서 통계적으로 유의하였으나 Model 2에서는 유의하지 않았다. 이렇듯 에틸벤젠은 보정 변수에 따라 유의성이 달라지므로 벤젠 및 톨루엔과 함께 추가 연구가 필요하다. 또한 벤젠과 에틸벤젠이 저주파 난청보다 고주파 난청에 더 관련이 있는지는 추가 연구가 필요하다. 총 86개의 역학 연구를 다룬 연구에서 납(75%), 스티렌(74%), 톨루엔(77%) 노출은 청력 상실 위험을 상당히 증가시키는 것으로 나타났다[23]. 그러나 본 연구의 제8기 국민건강영양조사 데이터에는 납에 대한 변수가 없기 때문에 분석할 수 없었다. 본 연구에서 스티렌은 다른 가정 내 공기 오염물질을 제외하고 분석하면 통계적으로 유의했으나(Table에 표시하지 않음), 톨루엔이나 폼알데하이드로 보정하면 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 톨루엔이나 폼알데하이드가 스티렌보다 난청에 더 강력한 영향을 미칠 수 있음을 암시한다.

폼알데하이드는 방부제, 의약품, 화장품 등 가정용품에 널리 사용되는 중요한 화학물질이다. 실내 환기가 충분하지 않으면

폼알데하이드가 실내에 정제되어 거주자의 건강에 악영향을 미칠 수 있다[24]. 특히 사람의 눈, 코, 목, 폐를 자극하거나 천식을 유발할 수 있으며, 장기간 노출 시 암을 발생시킬 수 있다. 이러한 폼알데하이드의 역치 이상의 노출은 신경독성 효과를 갖는 것으로 보인다[25]. Kim 등[26]의 연구에 따르면 폼알데하이드는 인간 중이 상피 세포(human middle ear epithelial cell)에 세포 독성, 염증 및 세포 사멸을 유도할 수 있다. 이는 환경적 폼알데하이드 노출과 중이염 발생 사이의 연관성을 암시한다. 또한, 소음과 폼알데하이드에 대한 동시 노출될 경우 쥐의 혈액과 간 조직에서 산화 스트레스가 추가로 증가한다[27]. 이러한 결과들은 본 연구를 뒷받침하며, 폼알데하이드 농도가 높은 실내 환경에서 청력 감소가 발생할 가능성이 높음을 시사한다.

실내 환경에서 톨루엔과 폼알데하이드의 농도가 높다는 보고가 많다[28, 29]. 이러한 실내 화학 물질은 인체 허용 한계를 초과하여 노출되면 인체 대사에 방해가 되고 축적될 수 있다. 결국 이는 인체에 질환을 유발할 수 있다. 가정 내 공기 오염물질에서 축적될 수 있는 물질의 노출을 최소화하고, 가정 내 공기질을 지속적으로 모니터링하는 체계적인 접근이 필요하다. 난청을 조기에 발견하고 적절한 치료를 제공하는 프로그램이 난청과 관련된 장애를 줄이는 데 필수적이다[7]. 특히, 난청은 유전적 요인에 의해 발생할 수도 있으므로, 이러한 유전적 요인을 파악하고 조기에 개입하는 것이 중요하다. 비증후군성 난청(nonsyndromic hearing loss) 관련 유전자는 153개로 알려져 있으며, 최근 임상에서 표적 next generation sequencing 방법을 통한 유전자 치료는 난청 치료의 가능성을 열어주는 중요한 연구 분야로 주목받고 있다[30].

종합적으로, 본 연구는 톨루엔과 폼알데하이드와 같은 가정 내 공기 오염물질이 난청 발생에 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 확인하였다. 이전 연구들은 주로 산업 현장이나 특정 직업군에서의 공기 오염물질 노출[21]과 청각 건강 간의 관계 또는 대기 오염에 장기간 노출된 사람과 난청 간의 관계를 다루었으나[14, 15], 본 연구는 가정 내 공기 오염물질을 평가하여 특정 오염물질이 청각 건강에 미치는 영향을 보다 명확히 규명하였다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 국민건강영양조사를 바탕으로 한 단면적 조사연구이기 때문에 인과 관계를 설명하기 어렵다. 둘째, 가정 내 공기질 조사는 일회성 단면조사로, 일상생활에서의 지속적 노출 수준을 반영하는 데 제한점이 있다. 셋째, 난청과 가정 내 공기 오염물질의 관련성에 대한 분자적 요인을 고려하지 못하였다. 넷째, 난청과 가정 내 공기 오염물질에 대한 유전적 돌연변이, 후성유전적 변화, 다양한 생활 습관 요인에 대한 데이터는 국민건강영양조사에 포함되지 않았으므로,

앞으로 전향적 코호트 연구에서 분석되어 확인되어야 한다.

## 요약

이 연구의 목적은 제8기 국민건강영양조사 자료를 사용하여 가정 내 공기 오염물질 중 난청에 가장 영향을 미치는 물질을 찾는 것이었다. 총 1,980명의 참가자 중, 결측치가 있는 참가자들은 연구 대상에서 제외되었으며, 최종적으로 298명의 참가자가 분석에 포함되었다. 경도 난청은 한쪽 귀 또는 양쪽 귀의 순음역치 평균이 26 dB 이상 41 dB 미만인 경우로 정의하였고, 중등도 난청은 한쪽 귀 또는 양쪽 귀의 순음역치 평균이 41 dB 이상인 경우로 정의하였다. 양측 순음역치 평균의 평균은 왼쪽 귀와 오른쪽 귀의 순음역치 평균을 합한 후 2로 나눈 값으로 정의하였다. 복합표본 다중 로지스틱 회귀분석의 결과, 폼알데하이드 노출은 중등도 난청의 위험도를 높이는 데 독립적으로 유의하였다 (OR=1.050,  $P<0.001$ ). 또한, 복합표본 일반선형모델 분석에서 톨루엔( $B=0.026$ ,  $P<0.001$ )의 노출은 양측 순음역치 평균의 평균을 높이는 데 독립적으로 유의한 연관이 있었으며, 이는 양측 순음역치 평균의 평균이 높을수록 청력의 감소를 의미한다. 이러한 결과는 난청과 실내 공기 중 톨루엔 및 폼알데하이드의 존재 사이에 강한 관련성이 있음을 암시한다.

**Funding:** None

**Acknowledgements:** None

**Conflict of interest:** None

**Author's information (Position):** Pyo SS, Professor.

**Author Contributions:** The article is prepared by a single author.

**Ethics approval**

All procedures were performed in accordance with approved by Shinhan University IRB (approval numbers: SHIRB-202407-HR-235-02).

**ORCID**

Sang Shin PYO <https://orcid.org/0000-0003-3043-0178>

## REFERENCES

- Goman AM, Lin FR. Hearing loss in older adults - from epidemiological insights to national initiatives. *Hear Res.* 2018;369:29-32. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.03.031>
- Cunningham LL, Tucci DL. Hearing loss in adults. *N Engl J Med.* 2017;377:2465-2473. <https://doi.org/10.1056/nejmra1616601>

3. Baiduc RR, Sun JW, Berry CM, Anderson M, Vance EA. Relationship of cardiovascular disease risk and hearing loss in a clinical population. *Sci Rep.* 2023;13:1642. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28599-9>
4. Choi Y, Go J, Chung JW. Association between hearing level and mental health and quality of life in adults aged >40 years. *J Audiol Otol.* 2024;28:52-58. <https://doi.org/10.7874/jao.2023.00213>
5. Thomson RS, Auduong P, Miller AT, Gurgel RK. Hearing loss as a risk factor for dementia: a systematic review. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2017;2:69-79. <https://doi.org/10.1002/lio2.65>
6. Kim S, Park JM, Han JS, Seo JH, Han KD, Joo YH, et al. Age-related hearing loss in the Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *PLoS One.* 2020;15:e0243001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243001>
7. Brown CS, Emmett SD, Robler SK, Tucci DL. Global hearing loss prevention. *Otolaryngol Clin North Am.* 2018;51:575-592. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2018.01.006>
8. Walker JJ, Cleveland LM, Davis JL, Seales JS. Audiometry screening and interpretation. *Am Fam Physician.* 2013;87:41-47.
9. Musiek FE, Shinn J, Chermak GD, Bamiou DE. Perspectives on the pure-tone audiogram. *J Am Acad Audiol.* 2017;28:655-671. <https://doi.org/10.3766/jaaa.16061>
10. Maung TZ, Bishop JE, Holt E, Turner AM, Pfrang C. Indoor air pollution and the health of vulnerable groups: a systematic review focused on particulate matter (PM), volatile organic compounds (VOCs) and their effects on children and people with pre-existing lung disease. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19:8752. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148752>
11. Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect.* 2014;122:906-911. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408092>
12. Janfaza S, Khorsand B, Nikkhah M, Zahiri J. Digging deeper into volatile organic compounds associated with cancer. *Biol Methods Protoc.* 2019;4:bpz014. <https://doi.org/10.1093/biomethods/bpz014>
13. Mai JL, Yang WW, Zeng Y, Guan YF, Chen SJ. Volatile organic compounds (VOCs) in residential indoor air during interior finish period: Sources, variations, and health risks. *Hyg Environ Health Adv.* 2024;9:100087. <https://doi.org/10.1016/j.heha.2023.100087>
14. Tsai SC, Hsu YC, Lai JN, Chou RH, Fan HC, Lin FC, et al. Long-term exposure to air pollution and the risk of developing sudden sensorineural hearing loss. *J Transl Med.* 2021;19:424. <https://doi.org/10.1186/s12967-021-03095-8>
15. Ju MJ, Park SK, Kim SY, Choi YH. Long-term exposure to ambient air pollutants and hearing loss in Korean adults. *Sci Total Environ.* 2022;820:153124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153124>
16. Śmiełowska M, Marć M, Zabiegała B. Indoor air quality in public utility environments—a review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017;24:11166-11176. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8567-7>
17. Johnson CE, Danhauer JL, Ellis BB, Jilla AM. hearing aid benefit in patients with mild sensorineural hearing loss: a systematic review. *J Am Acad Audiol.* 2016;27:293-310. <https://doi.org/10.3766/jaaa.14076>
18. Oh K, Kim Y, Kweon S, Kim S, Yun S, Park S, et al. Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 20th anniversary: accomplishments and future directions. *Epidemiol Health.* 2021;43:e2021025. <https://doi.org/10.4178/epih.e2021025>
19. Filley CM, Halliday W, Kleinschmidt-DeMasters BK. The effects of toluene on the central nervous system. *J Neuropathol Exp Neurol.* 2004;63:1-12. <https://doi.org/10.1093/jnen/63.1.1>
20. Win-Shwe TT, Fujimaki H. Neurotoxicity of toluene. *Toxicol Lett.* 2010;198:93-99. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.06.022>
21. Zhang Y, Liu Y, Li Z, Liu X, Chen Q, Qin J, et al. Effects of coexposure to noise and mixture of toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene (TEXS) on hearing loss in petrochemical workers of southern China. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023;30:31620-31630. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24414-6>
22. Staudt AM, Whitworth KW, Chien LC, Whitehead LW, Gimeno Ruiz de Porras D. Association of organic solvents and occupational noise on hearing loss and tinnitus among adults in the U.S., 1999-2004. *Int Arch Occup Environ Health.* 2019;92:403-413. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01419-2>
23. Hemmativaghef E. Exposure to lead, mercury, styrene, and toluene and hearing impairment: evaluation of dose-response relationships, regulations, and controls. *J Occup Environ Hyg.* 2020;17:574-597. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1842428>
24. Sakamoto T, Miyake M. [Health effects of formaldehyde, as an indoor air pollutant]. *Kaibogaku Zasshi.* 2010;85:35-41. Japanese.
25. Tulpule K, Dringen R. Formaldehyde in brain: an overlooked player in neurodegeneration? *J Neurochem.* 2013;127:7-21. <https://doi.org/10.1111/jnc.12356>
26. Kim SH, Choi JW, Suh MW, Lee JH, Oh SH, Song JJ, et al. Effect of formaldehyde on human middle ear epithelial cells. *Biomed Res Int.* 2018;2018:6387983. <https://doi.org/10.1155/2018/6387983>
27. Jafari MJ, Dehghani A, Khavanin A, Azari-Reza-Zade M, Dadashpourahangar A. The impact of noise and formaldehyde exposure on oxidative stress indices in blood and liver tissue of rat. *Int J Occup Hyg.* 2015;6:61-67.
28. Kim J, Shim IK, Won SR, Hwang ES, Lee Y, Park S, et al. Indoor air quality and its determinants in underground shopping malls in Korea. *Environ Int.* 2024;183:108395. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108395>
29. Pegas PN, Alves CA, Evtugina MG, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, et al. Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring. *Environ Geochem Health.* 2011;33:455-468. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9345-3>
30. Yun Y, Lee SY. Updates on genetic hearing loss: from diagnosis to targeted therapies. *J Audiol Otol.* 2024;28:88-92. <https://doi.org/10.7874/jao.2024.00157>