



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

성인에서 신체활동에 따른
휘발성유기화합물(VOCs) 장기 노출과
우울증의 연관성

연세대학교 대학원

보건학과

박 웅 비

성인에서 신체활동에 따른
휘발성유기화합물(VOCs) 장기 노출과
우울증의 연관성

지도교수 김 창 수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2024년 6월

연세대학교 대학원

보 건 학 과

박 응 비

박웅비의 석사 학위논문으로 인준함

심사위원 김 창 수 인

심사위원 강 대 용 인

심사위원 조 재 립 인

연세대학교 대학원

2024 년 6월

차 례

표 차례	iii
그림 차례	iv
국 문 요 약	v
1. 서 론	1
1.1. 연구 배경 및 필요성	1
1.1.1. 우울증	1
1.1.2. 휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds, VOCs)	2
1.2. 연구 목표	3
2. 재료 및 방법	4
2.1. 연구자료	4
2.2. 연구 대상	5
2.3. 노출변수	6
2.4. 결과변수	8
2.5. 효과변경(Effect modifier): 신체활동	10
2.6. 공변량	12
2.7. 분석 방법	13
2.8. 통계 분석 프로그램	26
2.9. 연구 윤리	27
3. 연구 결과	28
3.1. 연구대상자의 특성	28
3.2. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성	30
3.3. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성 에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	32

3.4. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	34
3.5. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	36
3.6. 민감도 분석	38
4. 고찰	44
5. 결론	49
참고 문헌	50
부록	54
ABSTRACT	57

표 차례

표 1. 연구대상자의 인구사회학적 특성	29
표 2. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성	31
표 3. 연구 대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성 에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	33
표 4. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사 이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	35
표 5. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사 이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경	37
표 6. 연구대상자의 인구사회학적 특성(2016-2017년 대상자)	39
표 7. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성(2016-2017년 대상자)	40
표 8. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성 에 있어서 신체활동 정도의 효과변경(2016-2017년 대상자)	41
표 9. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사 이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경(2016-2017년 대상자)	42
표 10. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경(2016-2017년 대상자)	43
부록 표 1. 설문검사 측정 데이터베이스 구축 항목	56

그림 차례

그림 1. 크리깅 모형의 평균구조와 분산구조의 구성	6
그림 2. 단축형 노인우울척도(SGDS-K) 설문 문항	9
그림 3. 효과변경으로 사용된 신체활동의 정도	11
그림 4. Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 전)	13
그림 5. Styrene 농도의 분포 (outlier 전)	14
그림 6. Toluene 농도의 분포 (outlier 전)	15
그림 7. Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 후)	16
그림 8. Styrene 농도의 분포 (outlier 후)	17
그림 9. Toluene 농도의 분포 (outlier 후)	18
그림 10. 2016-2017년 Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 전)	20
그림 11. 2016-2017년 Styrene 농도의 분포 (outlier 전)	21
그림 12. 2016-2017년 Toluene 농도의 분포 (outlier 전)	22
그림 13. 2016-2017년 Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 후)	23
그림 14. 2016-2017년 Styrene 농도의 분포 (outlier 후)	24
그림 15. 2016-2017년 Toluene 농도의 분포 (outlier 후)	25

국 문 요 약

성인에서 신체활동에 따른 휘발성유기화합물(VOCs) 장기 노출과 우울증의 연관성

목적: 장기간의 휘발성 유기화합물(VOCs) 노출이 우울증을 유발할 수 있다는 증거가 있다. 이 효과에 대한 신체활동의 영향은 불분명하다. 본 연구는 신체활동의 강도에 따른 VOCs 노출과 우울증 사이의 연관성을 조사하였다.

재료 및 방법: 본 단면 연구에는 대한민국 도시(서울, 인천, 원주, 평창)에 거주하는 총 1,909명의 연구대상자가 포함되었다. 우울증은 한국판 노인 우울증 척도 점수 8로 정의하였다. 각 참가자의 거주지 주소에서 아세트알데하이드, 스티렌, 톨루엔을 포함하는 VOCs의 장기 노출을 추정하였다. 신체활동 강도는 대사 등가물(METs)을 기준으로 inactive, minimally active, health enhancing physical activity(HEPA)로 분류하였다. 다변수 로지스틱 회귀 모델을 사용하여 METs 그룹에 의한 계층화 후 아세트알데하이드, 스티렌 및 톨루엔과 우울증의 연관성을 살펴보았다.

결과: 아세트알데하이드의 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가는 비활동 그룹(오즈비, 1.20; 95% 신뢰구간, 1.11–1.30), 최소 활동 그룹(1.19; 1.10–1.29)에서 우울증 위험 증가와 관련이 있었다. HEPA 그룹(1.22; 1.13–1.33). 노인(65세 이상)의 경우, 아세트알데하이드와 관련된 우울증 위험은 HEPA 그룹이 비활동 그룹보다 유의하게 더 높았다(p for interaction=0.007). 비활성 그룹과 최소 활동 그룹 간의 연관성 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(p for interaction=0.134).

결론: 본 연구는 신체활동 강도가 아세트알데하이드 노출과 우울증 사이의

연관성을 변경한다는 것을 발견하였다.

핵심되는 말: 휘발성 유기화합물(VOCs), 우울증, 신체활동, 대사 등가값(METs)

1. 서 론

1.1. 연구 배경 및 필요성

1.1.1. 우울증

우울증은 장기적인 문제를 일으킬 수 있는 널리 알려진 정신 장애이다. 세계 보건기구(WHO)에 따르면 우울증은 지속적인 우울함, 에너지 부족, 활동에 대한 관심이나 즐거움의 상실을 특징으로 하는 일반적인 정신 질환이다(World Health Organization 2023). 심한 우울증은 다른 질병과 자살의 위험을 증가시킬 수 있고(Touloumis et al., 2021), 전 세계적으로 약 2억 8천만 명이 우울증을 앓고 있으며, 성인의 5%가 우울증을 앓고 인구의 약 3.8%가 우울증에 시달리고 있다(Collaborators et al., 2020). 이와 같이 우울증은 전 세계적으로 전반적인 질병 부담의 주요 원인 중 하나이며, 우울증의 원인에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있고 환경적 요인과 다양한 신경학적, 내분비적 기전이 우울증의 중요한 유발인자이다(Jacobson et al., 2022).

우울증이 휘발성 유기화합물을 통해서 우울증을 완화시킬 수 있는 근거는 여전히 부족하며, 휘발성 유기화합물의 혈액과 소변 분석이 아닌 장기 노출에 초점이 맞추어진 연구로 우울증의 연관성을 본 연구는 미비한 실정이다.

1.1.2. 휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds, VOCs)

휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds, VOCs)은 산업 및 소비자 제품에서 용제, 탈지제, 세정제로 일반적으로 사용되는 다양한 화학 물질 그룹이다. VOCs 노출이 인체 중 신경계에 미치는 건강 위험의 다양한 측면에 대한 많은 연구가 있었으며, 이전 연구에서는 신경계 및 관련 질환의 경우 포름알데히드, 아세트알데히드, 1,3-부타디엔, 톨루엔, 벤젠, 아크릴로니트릴과 같은 VOCs 성분이 신경독성을 가지며 신경계에 손상을 일으킬 수 있다고 보고했다(Smith et al., 2010). 혈액 VOCs와 우울증 위험 사이의 연관성을 본 이전 연구에서는 혈액 벤젠, 혈액 디메틸푸란, 혈액 푸란이 우울증 위험과 양의 상관관계가 있음을 나타냈다(Zhu Y et al., 2023). 또한 11개의 요증 VOCs 노출과 우울증 증상 사이를 본 이전 연구에서는 아크릴로니트릴, 톨루엔, 스티렌, 아크릴아미드, 1,3-부타디엔, 자일렌이 우울증 위험과 관련된 가장 중요한 VOCs로 확인되었다(Tang L et al., 2024). 이와 같이 여러가지 VOCs의 노출에 대한 결과를 고려하였을 때, VOCs 노출과 우울증 위험 사이의 연관성에 대한 체계적인 연구는 여전히 부족하다.

따라서 본 연구는 VOCs의 농도를 통해서 대상자의 개인 수준을 모델링하여 노출 정도를 확인하고, 신체활동을 통해서 VOCs 노출과 우울증의 연관성을 확인하고자 한다.

1.2. 연구 목표

따라서 본 연구는 한국 성인을 대상으로 신체활동 수준에 따라 VOCs와 우울증 사이의 연관성이 달라지는 확인하고자 한다. 자세한 연구 목표는 다음과 같다.

1. 연구대상자들의 VOCs 및 신체활동과 우울증의 연관성을 확인한다.
2. 연구대상자들의 VOCs와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과 변경(effect modification)을 확인한다.
3. 연구대상자들의 성별, 연령별로 VOCs 농도와 우울증과의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과 변경(effect modification)을 확인한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구자료

본 횡단면 연구는 Environmental-Pollution-Induced Neurological Effects (EPINEF) 연구의 데이터를 사용하여 수행되었다. EPINEF 데이터는 고령의 한국인에서 환경 유해인자와 뇌 구조, 신경심리학적 기능, 치매 발병의 연관성을 확인하기 위해 구축된 코호트이다. EPINEF 코호트 연구는 2개의 도시(서울, 인천)와 2개의 소도시(원주, 평창)를 포함하는 대한민국의 커뮤니티 기반으로 전향적 코호트를 구축하기 위해 2014년부터 시작되었다. 2014년부터 2018년까지 기반조사 기간동안 알려진 신경계질환(치매, 뇌졸중, 파킨슨병)이 없는 50세 이상의 대상자들을 지역광고를 통해 모집했다. 설문조사는 표준화된 설문 조사 프로토콜을 사용하여 설문기반 심리 측정 테스트 설문지, MMSE, 한국형 노인우울검사(SGDS-K), 신체측정(키, 체중), 혈압, 혈액검사, 소변검사 수집을 받았다. 단식(금식, ≥ 12 시간)을 한 대상자들을 토대로 혈액샘플은 중앙 검사실(Seoul Clinical Laboratory Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 분석되었다. 모든 참가자로부터 서면 동의서를 받았으며 검사 항목은 부록에 작성하였다(부록 표 1).

2.2. 연구 대상

본 연구는 2014년부터 2018년까지의 기간동안 EPINEF 코호트에 처음으로 연구대상자가 된 4,278명 중에서 다음과 같은 조건을 가진 대상자는 제외되었다.

1. 휘발성 유기화합물(VOCs) 농도의 데이터가 없는 대상자
2. 기반조사 대상자 중 노인 우울검사(SGDS-K)의 데이터 혹은 우울증 진단
과거력이 있는 대상자
3. 각 독립변수의 무응답 혹은 결측치가 존재하는 대상자

최종적으로 1,909명(남성: 660명, 여성: 1,249명)이 분석 대상으로 선정되었다.

2.3. 노출변수

본 연구는 Volatile organic compounds(VOCs)의 세부 물질로 Acetaldehyde, Styrene, Toluene을 포함하였다. 대상자 거주지 기반의 VOCs 연평균 농도 추정을 위해 대기 중 VOCs를 측정하고, 이 자료를 기반으로 예측모형을 구축하였다. 먼저 코호트 대상지역 일부에서 2016년 가을부터 2017년 여름까지 429회 대기 측정을 하였고, acetaldehyde 407개 관측수, styrene 249개, toluene은 428개 관측수를 확보하였다. 이 실측자료를 기반으로 VOCs의 계절별(2016년 가을, 2016년 겨울, 2017년 봄, 2017년 여름) 평균 공간 예측모형 구축하였다. 공간 예측모형은 평균구조와 분산구조로 구성된 크리깅 모형을 사용하였으며(Sampson et al., 2013), 여기에서 평균 구조는 320개의 지리변수들에 대해 부분최소자승법(partial least square)을 이용해서 각 오염물질과의 관계를 잘 반영하도록 선택된 소수의 인자를 예측 인자(아래의 그림 1에서 X1, X2, X3)로 포함하였다.

$$\text{VOCs} = \text{Mean structure} + \text{Variance structure}$$

$$Y(s) = \beta_0 + \beta_1 x_1(s) + \beta_2 x_2(s) + \beta_3 x_3(s) + \varepsilon(s)$$

$$\varepsilon(s) \sim N(0, \Sigma(\phi, \sigma^2, \tau^2))$$

그림 1. 크리깅 모형의 평균구조와 분산구조의 구성

예측모형의 설명력은 부분최소자승법 결과의 교차 검증(참고: Leave-One-Out cross validation; reference) 결과를 이용하였다. 구축한 모델의 설명력은 acetaldehyde는 계절별로 봄 25%, 여름 52% 가을 68% 겨울 42%이고, styrene은 봄 68%, 여름 67%, 가을 41%, 겨울 23%, toluene은 봄 36%, 여름 26%, 가을 51%, 겨울 33%로 계절별 예측모형을 기반으로 대상자 거주지별 VOCs 연평균 농도를 추정하였다. 본 연구에서는 VOCs 농도를 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 증가하는 것으로 설정하였다.

2.4. 결과변수

그림 2는 한국어판 노인성 우울증 척도 단축형 양식(SGDS-K)을 사용하여 참가자들의 우울증상을 평가했다(Bae and Cho et al., 2004). 교육을 받은 연구간호사가 대면 형식으로 면접으로 진행했다. 입원 및 외래 환경에서 노인 우울증에 대한 선별 검사를 위한 가장 일반적인 테스트 중 하나인 SGDS-K는 노인(55세 이상)에서 우울증 증상과 가장 잘 상호작용하는 15개 항목으로 구성된다(Conradsson et al., 2013). 본 연구는 각 항목을 코드화된 총 점수 범위가 0에서 15 사이인 이진 변수(0=negative, 1=positive)로 사용했으며, 총 점수 범위는 0-15이다(Bae and Cho et al., 2004). 또한 본 연구는 SGDS-K를 그대로 평가하고 점수 기준점('8')을 사용하여 이분법 변수를 우울증상으로 변환하는 두 가지 방법으로 결과를 평가했다(i.e., no depression if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$; depression if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$)(Bae and Cho et al., 2004).

단축형 노인우울척도 (SGDS-K)

아래는 지난 1주일동안 어르신들의 기분을 알아보기 위한 질문입니다.

질문을 잘 읽으시고 그렇다면 '예', 그렇지 않다면 '아니오'에 ○표 하십시오.

대답하기 어려운 질문이라도 현재 ○○○님의 상태에 조금이라도 더 가까운 쪽을 예 또는 아니오로 답해주셔야 합니다.

아래는 지난 1주일동안 어르신들의 기분을 알아보기 위한 질문입니다. 질문을 잘 읽으시고 그렇다면 '예', 그렇지 않다면 '아니오'에 ○표 하십시오.

1. 현재의 생활에 대체적으로 만족하십니까	예	아니오
2. 요즈음 들어 활동량이나 의욕이 많이 떨어지셨습니까?	예	아니오
3. 자신이 헛되이 살고 있다고 느끼십니까?	예	아니오
4. 생활이 지루하게 느껴질 때가 많습니까?	예	아니오
5. 평소에 기분은 상쾌한 편이십니까?	예	아니오
6. 자신에게 불길한 일이 닥칠 것 같아 불안하십니까?	예	아니오
7. 대체로 마음이 즐거운 편이십니까?	예	아니오
8. 절망적이라는 느낌이 자주 드십니까?	예	아니오
9. 바깥에 나가기가 싫고 집에만 있고 싶습니까?	예	아니오
10. 비슷한 나이의 다른 노인들보다 기억력이 더 나쁘다고 느끼십니까?	예	아니오
11. 현재 살아 있다는 것이 즐겁게 생각되십니까?	예	아니오
12. 지금의 내 자신이 아무 쓸모 없는 사람이라고 느끼십니까?	예	아니오
13. 기억이 좋은 편이십니까?	예	아니오
14. 지금 자신의 처지가 아무런 희망도 없다고 느끼십니까?	예	아니오
15. 자신이 다른 사람들의 처지보다 더 못하다고 느끼십니까?	예	아니오

그림 2. 단축형 노인우울척도(SGDS-K) 설문 문항

2.5. 효과변경(Effect modifier): 신체활동

신체활동은 상응하는 대사 증가값(METs)에 의해 제시되었다(IPAQ, 2005). 첫 번째는 건강증진형 신체활동 군(Health enhancing physical activity, HEPA)은 최소 3일 이상 1,500 MET-min/week에 해당되는 격렬한 신체활동을 하는 경우 또는 최소 7일 이상 3,000 MET-min/week에 해당되는 걷기, 중강도 또는 격렬한 활동을 함께 하는 경우로 분류하였다. 두 번째는 최소한의 신체활동 군(Minimally active)은 3일 이상, 하루 20분 이상 격렬한 신체활동을 하는 경우 또는 5일 이상, 하루 30분 이상 중등도 신체활동 또는 걷기를 하는 경우 또는 최소 600 MET-min/week에 해당하는 걷기, 중강도 또는 격렬한 신체활동을 하는 경우로 분류하였다. 마지막은 최소한의 신체활동 군(Minimally active)과 건강증진형 신체활동 군(HEPA)에 포함되지 않는 대상자로, 신체활동의 가장 낮은 단계를 비활동 군(Inactive)으로 분류하였다(그림 3).

신체활동 정도	
비활동군 (Inactive)	Minimally active, HEPA에 포함되지 않는 대상으로, 신체활동의 가장 낮은 단계
최소한의 신체활동군 (Minimally active)	1) 3일 이상, 하루 20분 이상 격렬한 신체활동을 하는 경우 2) 5일 이상, 하루 30분 이상 중등도 신체활동 또는 걷기를 하는 경우 3) 최소 600 MET-min/week에 해당하는 걷기, 중강도 또는 격렬한 신체활동을 함께 하는 경우
건강증진형 신체활동군 (health enhancing physical activity, HEPA)	1) 최소 3일 이상 1,500 MET-min/week에 해당되는 격렬한 신체활동을 하는 경우 2) 최소 7일 이상 3,000 MET-min/week에 해당되는 걷기, 중강도 또는 격렬한 활동을 함께 하는 경우

그림 3. 효과변경으로 사용된 신체활동의 정도

2.6. 공변량

본 연구에서는 나이, 성별, 사회 경제적 요인(교육 수준(years)), 결혼 여부(배우자 또는 배우자와 함께 동거 생활 여부), 심혈관 위험 요인(심혈관 질환(고혈압, 당뇨병, 협심증 또는 심근 경색)), 흡연(현재 흡연자, 과거 흡연자, 또는 전혀 흡연하지 않음), 알코올 음주(현재 음주 여부), 체질량 지수(in kilometers per meter squared), 공복혈당(fasting glucose), 총콜레스테롤(total cholesterol) 수치가 공변량으로 포함되었다.

2.7. 분석 방법

VOCs 농도의 분포가 치우쳐져 있어(그림 4, 5, 6) 농도의 1%, 99% outlier를 제외하고(그림 7, 8, 9), 1,909명 대상자가 분석에 포함되었다.

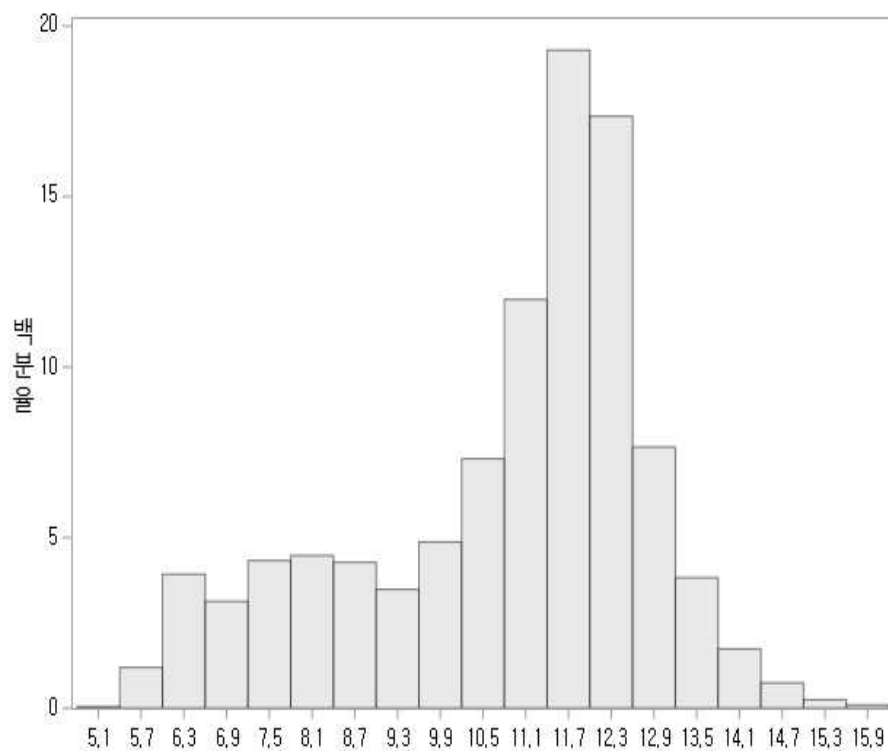


그림 4. Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 전)

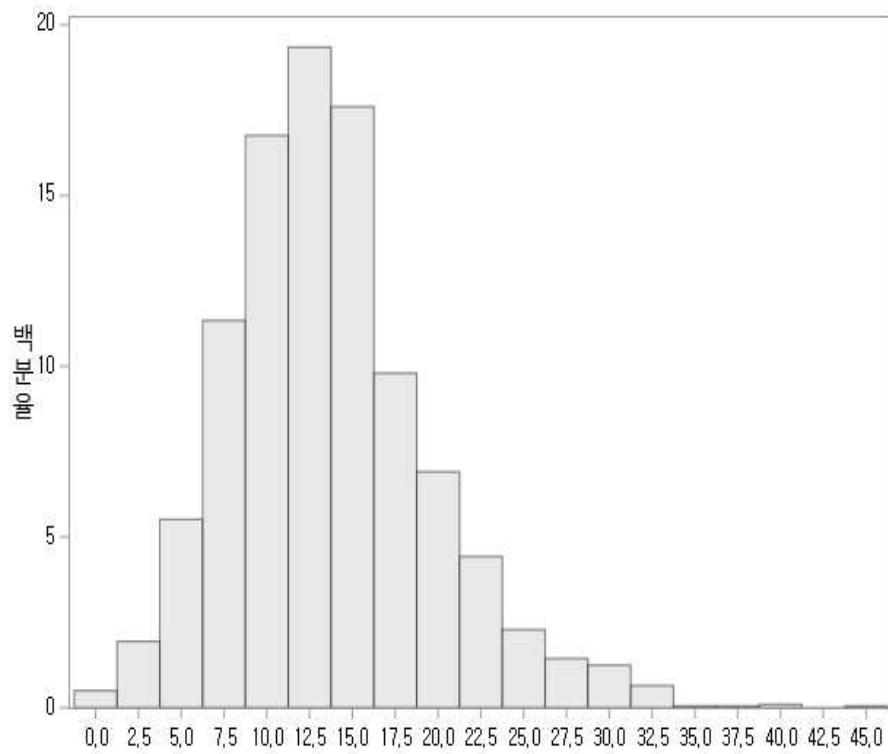


그림 5. Styrene 농도의 분포 (outlier 전)

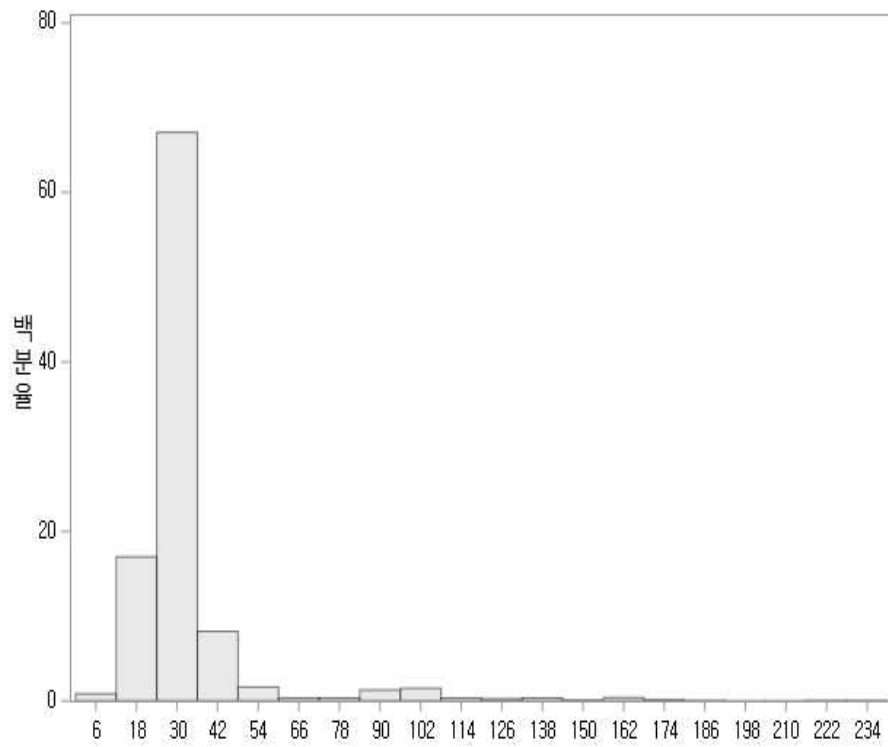


그림 6. Toluene 농도의 분포 (outlier 전)

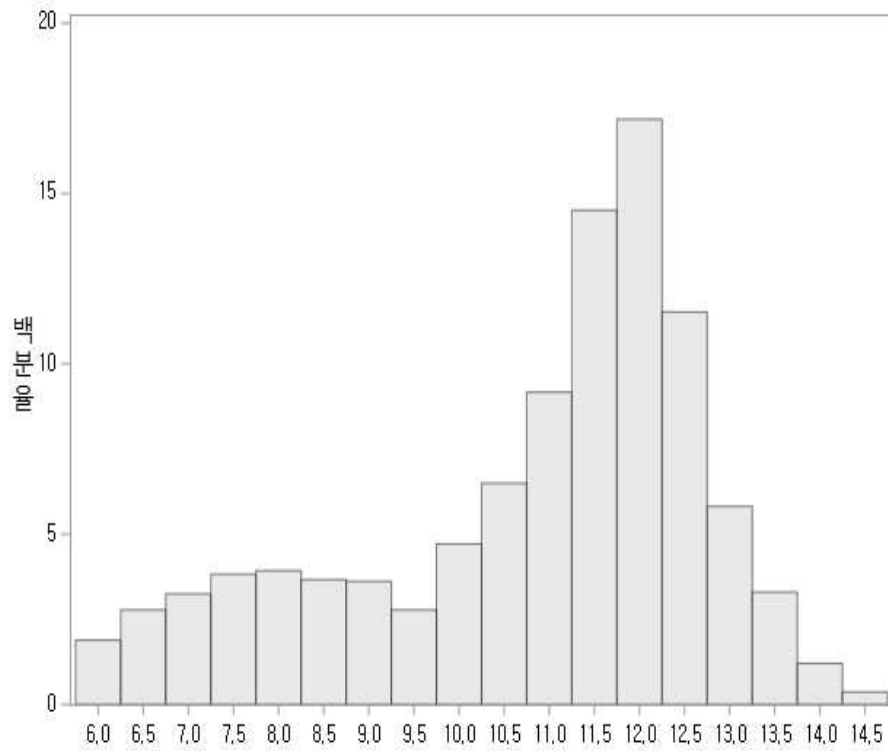


그림 7. Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 후)

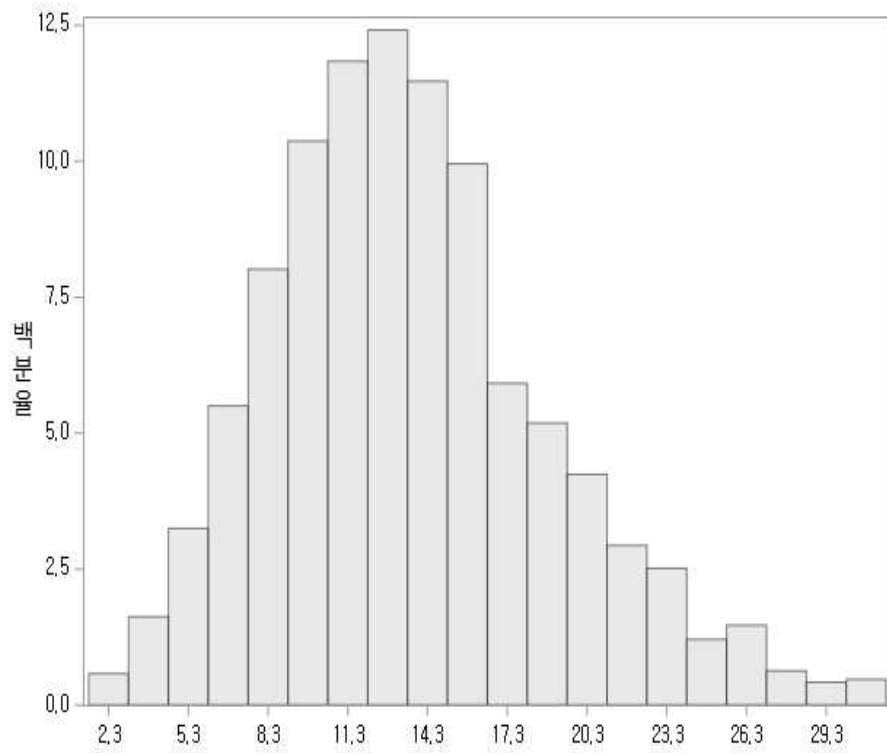


그림 8. Styrene 농도의 분포 (outlier 후)

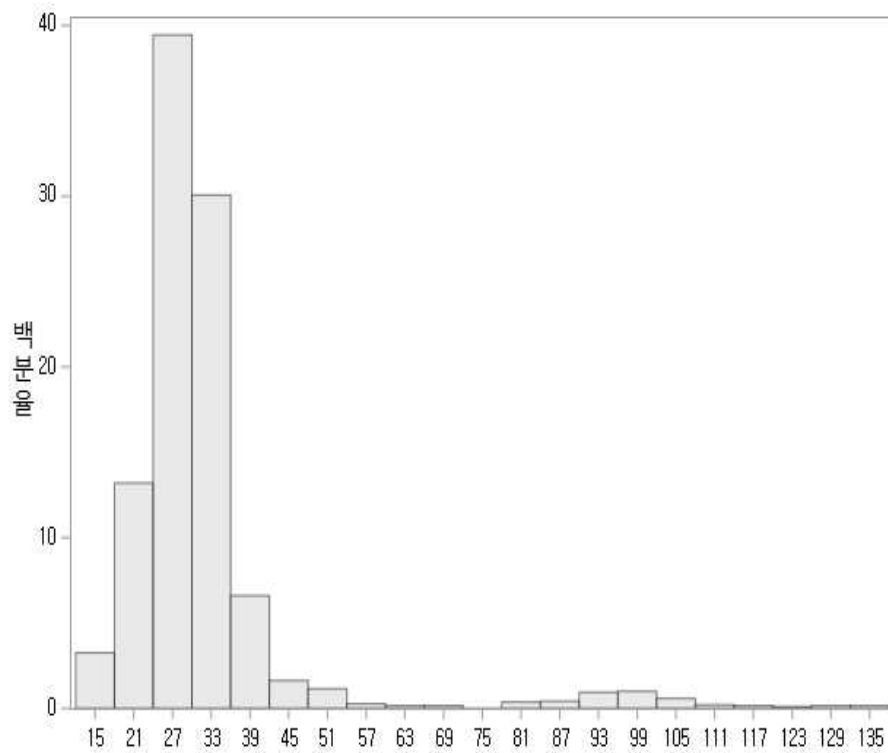


그림 9. Toluene 농도의 분포 (outlier 후)

범주형 변수는 숫자(백분율)로 표시되고 연속형 변수는 정규 분포의 평균(SD)으로 표시된다. 우울 증상이 있는 대상자와 그렇지 않은 개인 간의 특성 차이의 유의성을 범주형 변수의 경우 카이제곱 검정(Chi-square test) 및 연속형 변수의 경우 t-검정(T-test)을 사용하여 테스트했다. VOCs 농도 또는 신체활동 정도와 우울 증상과의 연관성(Association of VOCs or physical activity with depressive symptoms [depression])을 알아보기 위해 로지스틱 회귀 모델을 사용하여, 각 물질의 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 오즈비(Odds ratio, OR) 및 95% CI를 산출하였다. 보정하지 않는 모델은(unadjusted) 모델 1, 연령, 성별 및 교육 수준을 보정한 모델 2, 그리고 연령, 성별, 동거, 고혈압, 당뇨병, 협심증 또는 심근경색, 흡연, 음주, 공복혈당, 총콜레스테롤, BMI를 보정한 모델 3를 구축하였다. 다음으로 VOCs 농도와 우울 증상과의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과 변경(effect modification)을 확인하기 위해, 신체활동 정도(inactive, minimally active, and HEPA)를 층화하여 로지스틱 회귀 분석(표 3)을 수행하였다. 신체활동 층 간의 연관성 강도 차이를 검정하기 위하여 Altman과 Bland(2003) 방법을 사용하였고, p for interaction으로 표현되었다. 추가적으로 성별과 연령별로 VOCs 농도와 우울 증상과의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과 변경을 확인하였다.

또한 노출변수의 2016년과 2017년의 VOCs 농도 값을 활용하여 해당년도의 연평균 농도를 활용하여, 민감도 분석을 수행하였다(Robustness of results). 포함된 해당 대상자를 통해서 같은 분석 방법을 적용하여 민감도 분석을 수행하였으며, 본 분석에서도 VOCs 농도의 분포가 치우쳐져 있어(그림 10, 11, 12) 농도의 1%, 99% outlier를 제외하고(그림 13, 14, 15), 1,356명의 대상자가 분석에 포함되었다.

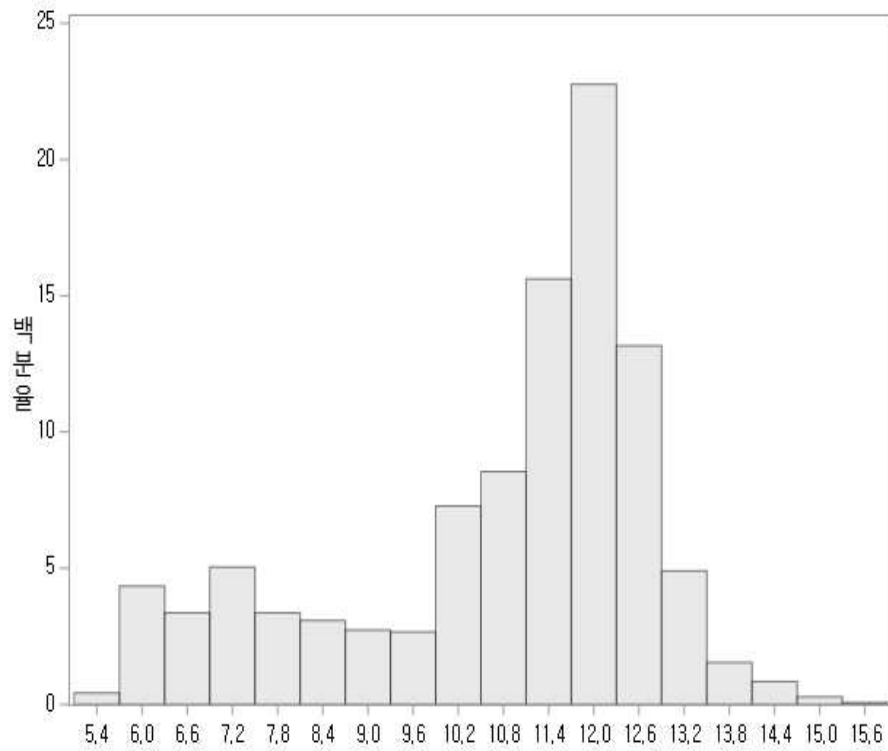


그림 10. 2016-2017년 Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 전)

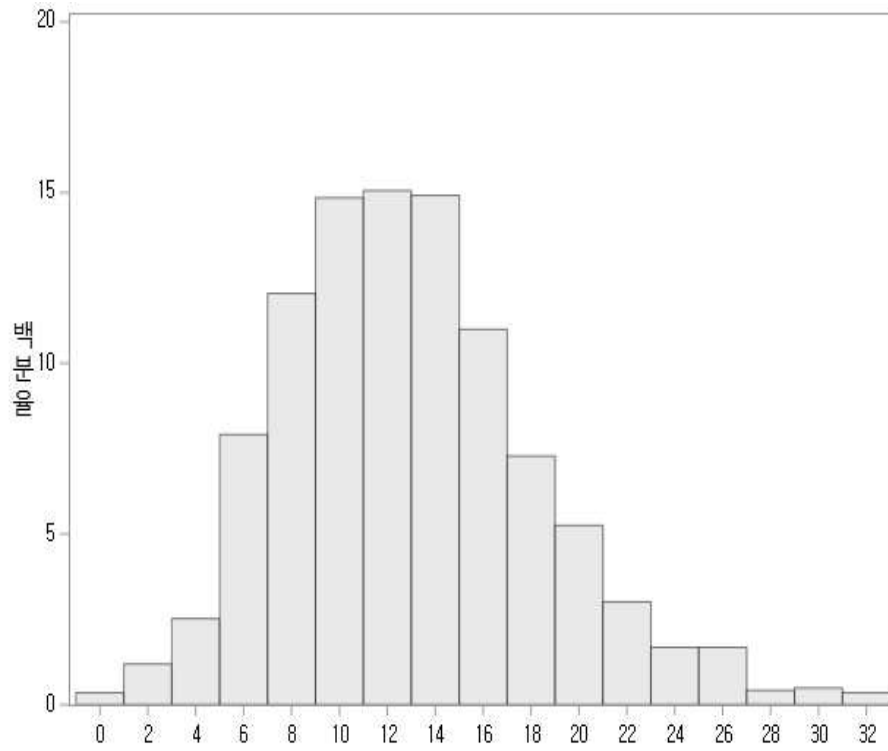


그림 11. 2016-2017년 Styrene 농도의 분포 (outlier 전)

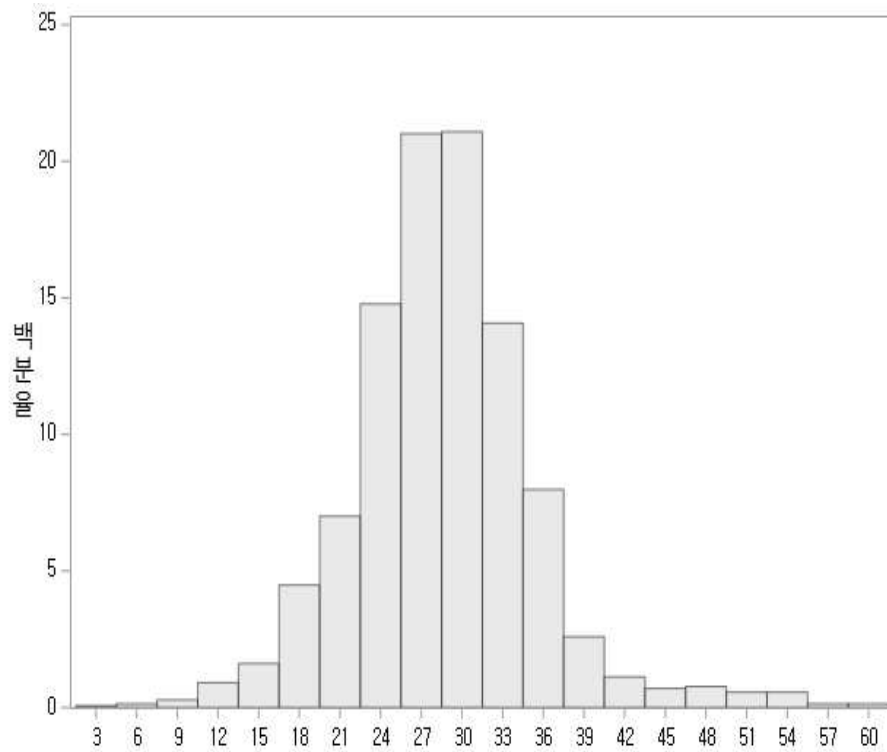


그림 12. 2016-2017년 Toluene 농도의 분포 (outlier 전)

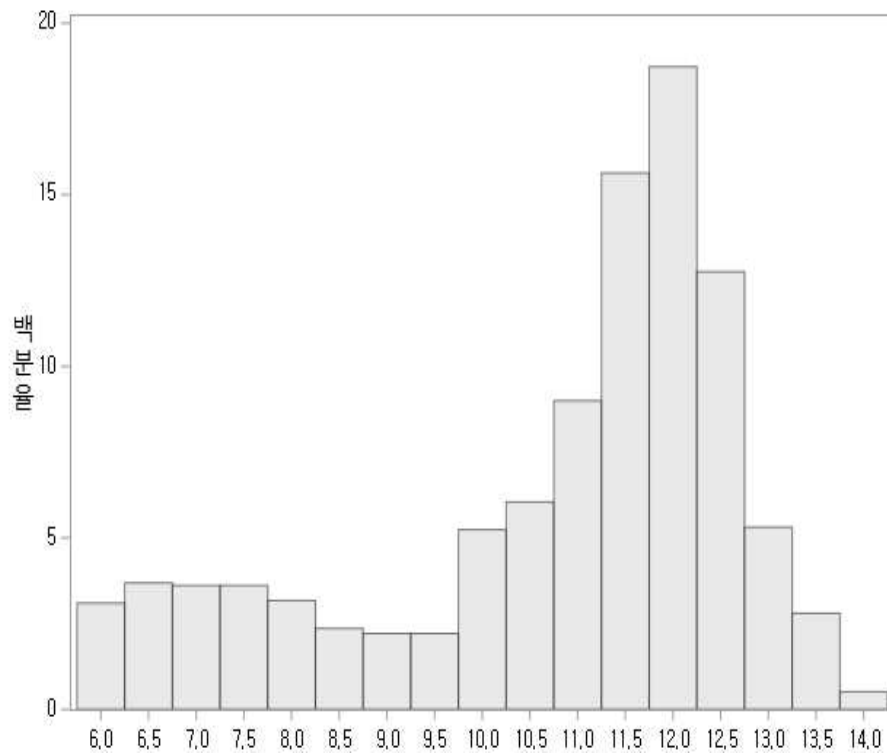


그림 13. 2016-2017년 Acetaldehyde 농도의 분포 (outlier 후)

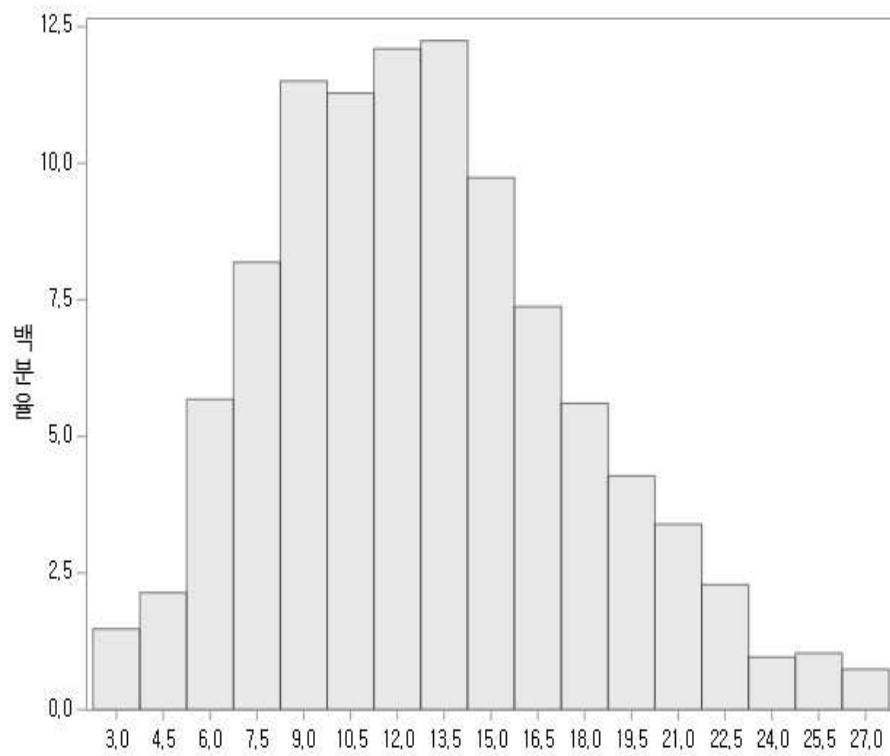


그림 14. 2016-2017년 Styrene 농도의 분포 (outlier 후)

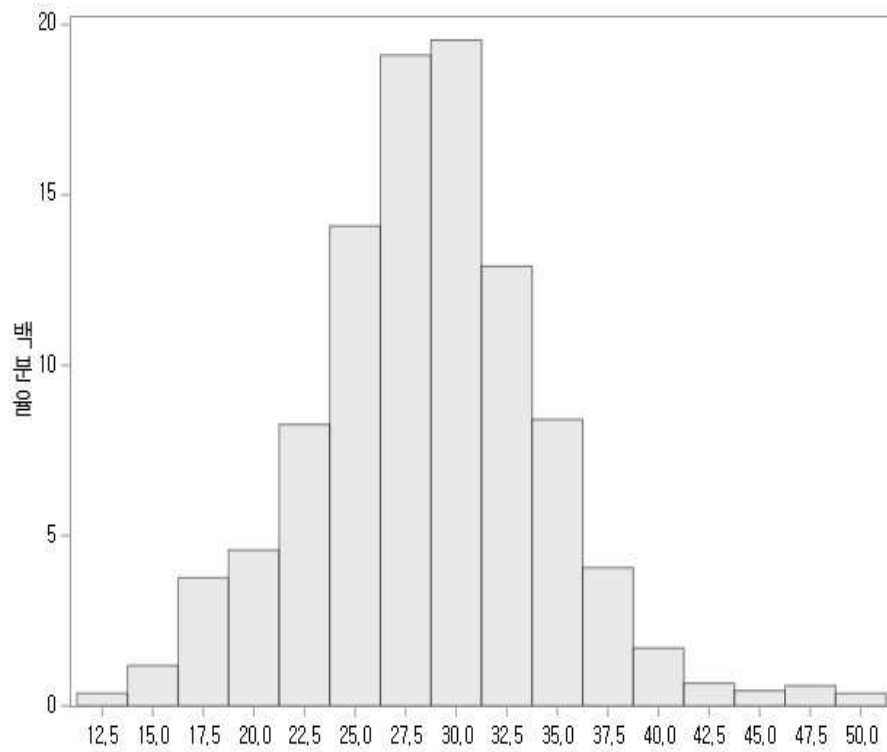


그림 15. 2016-2017년 Toluene 농도의 분포 (outlier 후)

2.8. 통계 분석 프로그램

모든 통계 분석은 SAS version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하였고, 각 모델의 유의확률(p-value)이 0.05 미만인 경우, 유의한 연관성을 보이는 것으로 평가하였다.

2.9. 연구 윤리

본 연구는 연세의료원 연구심의 위원회(Institutional Review Board, IRB) 심의에서 IRB 면제심의 승인을 받았다(IRB number: 4-2024-0193). 본 연구에서 사용한 EPINEF 테이터는 사전에 모든 대상자에게 설문 및 검사 관련 동의서를 받았으며, 조사에 사용된 도구와 과정은 연세의료원 연구심의 위원회 IRB 심의와 승인을 받았다(IRB number: 4-2014-0359).

3. 연구 결과

3.1. 연구대상자의 특성

본 연구의 노인 남성과 여성의 평균(표준편차, SD) 연령은 68.2 (4.3)세 이었다(표 1). 그 중 우울증상이 있는 환자의 연령은 71.2 (6.7)세, 우울증상이 없는 대상자의 연령은 67.8 (6.6)세 이었다. 우울증상이 있는 남성의 경우 비정상 84 (31.9)명, 정상 576 (35.0)명 여성의 경우 비정상 1,070 (65.0)명, 정상 179 (68.1)명 이었다. 우울증상이 있는 현재 흡연자와 과거 흡연자의 비율은 각각 6.8% (n=18), 20.5% (n=54)이었으며, 우울증상이 없는 대상자는 대부분 담배를 피우지 않았다 (72.6%, n=191). Acetaldehyde, Styrene, Toluene의 노출의 평균(표준편차, SD)은 각각 10.8 (2.0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13.6 (5.3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 및 32.2 (15.7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 우울증상이 있는 신체활동은 Inactive, Minimally active, HEPA는 각각 114 (43.4)명, 120 (45.6)명, 29 (11.0)명이고 우울증이 없는 신체활동은 각각 Inactive, Minimally active, HEPA는 각각 674 (41.0)명, 778 (47.3)명, 및 194 (11.8)명이었다.

표 1. 연구대상자의 인구사회학적 특성

	Total (N=1,909)	Depression		p
		Yes (N=263)	No (N=1,646)	
Gender, N (%)				0.370
Men	660 (34.6)	84 (31.9)	576 (35.0)	
Women	1,249 (65.4)	179 (68.1)	1,070 (65.0)	
Age (years), mean (SD)	68.2 (6.7)	71.2 (6.7)	67.8 (6.6)	<.0001
Education level (years), mean (SD)	68.2 (4.3)	9.0 (4.4)	10.4 (4.2)	<.0001
Marital status (living with a spouse or partner), N (%)	1,526 (79.9)	188 (71.5)	1,338 (81.3)	0.0003
Smoking status, N (%)				0.342
Current smokers	96 (5.0)	18 (6.8)	78 (4.7)	
Former smokers	409 (21.4)	54 (20.5)	355 (21.6)	
Never smokers	1,404 (73.6)	191 (72.6)	1,213 (73.7)	
Alcohol drinking, N (%)	744 (39.0)	97 (36.9)	647 (39.3)	0.496
History of disease				
Angina or myocardial infraction, N (%)	152 (8.0)	24 (9.1)	128 (7.8)	0.530
Hypertension, N (%)	690 (36.1)	80 (30.4)	610 (37.1)	0.044
Diabetes, N (%)	315 (16.5)	40 (15.2)	275 (16.7)	0.604
BMI (kg/m²), mean (SD)	24.6 (3.0)	24.4 (3.2)	24.6 (3.0)	0.393
Fasting blood glucose (mg/dL), mean (SD)	97.8 (21.0)	99.2 (20.6)	97.6 (21.1)	0.260
Total Cholesterol (mg/dL), mean (SD)	186.3 (37.2)	178.6 (34.3)	187.5 (37.6)	0.0003
Acetaldehyde (μg/m³), mean (SD)	10.8 (2.0)	11.3 (1.7)	10.7 (2.0)	<.0001
Styrene (μg/m³), mean (SD)	13.6 (5.3)	12.7 (5.6)	13.8 (5.2)	0.0028
Toluene (μg/m³), mean (SD)	32.2 (15.7)	29.5 (12.7)	32.6 (16.1)	0.0006
Physical activity (MET-min/week), N (%)				0.757
Inactive	788 (41.3)	114 (43.4)	674 (41.0)	
Minimally active	898 (47.0)	120 (45.6)	778 (47.3)	
HEPA	223 (11.7)	29 (11.0)	194 (11.8)	

Abbreviations. BMI, body mass index; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnotes. P-value was the significance of difference in characteristics between individuals with and without depression, calculated from Chi-squared test (for categorical variables) and t-test (for continuous variables). Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$). Physical activity was divided into three categories. The 'minimally active' was a) 3 or more days of vigorous activity of at least 20 minutes per day; b) 5 or more days of moderate-intensity activity or walking of at least 30 minutes per day; or c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 600 MET-min/week. The HEPA category was a) vigorous-intensity activity on at least 3 days achieving a minimum of at least 1,500 MET-minutes/week or b) 7 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 3,000 MET-minutes/week. Individuals who did not meet the above criteria were treated as the 'inactive' category.

3.2. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성

VOCs 노출과 우울증 검사의 연관성인 표 2에서 우울증 정상에 비해서 우울증 비정상이 단위당 acetaldehyde 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 당 보정하지 않은 model 1과 나이, 성별, 교육 연수를 보정한 model 2와 모든 보정 변수를 넣은 model 3에서는 각각 1.20 (OR=1.20, 95% CI=1.11–1.30), 1.19 (OR=1.19, 95% CI=1.10–1.29), 1.22 (OR=1.22, 95% CI=1.13–1.33) 정도 높고 통계학적으로 유의했다. 신체활동과 우울증의 연관성은 통계적으로 유의하지 않았다.

표 2. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성

	Model 1	Model 2	Model 3
	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Volatile organic compounds (per 1 µg/m³ increase)			
Acetaldehyde (µg/m³)	1.20 (1.11–1.30)	1.19 (1.10–1.29)	1.22 (1.13–1.33)
Styrene (µg/m³)	0.96 (0.94–0.99)	0.98 (0.95–1.00)	0.98 (0.95–1.00)
Toluene (µg/m³)	0.98 (0.97–0.99)	0.99 (0.98–1.00)	0.99 (0.98–1.00)
Physical activity			
Inactive	Reference	Reference	Reference
Minimally active	0.91 (0.69–1.20)	0.92 (0.69–1.22)	0.90 (0.68–1.20)
HEPA	0.88 (0.57–1.37)	1.06 (0.67–1.67)	1.00 (0.63–1.59)

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA: health-enhancing physical activity.

Footnotes. Model 1 was unadjusted, Model 2 was adjusted for age, gender, and education level; Model 3 was adjusted for age, gender, hypertension, BMI, alcohol, smoking, education level, diabetes, fasting blood glucose, marital status, total cholesterol, and angina or myocardial infarction; Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$). Physical activity was divided into three categories. The 'minimally active' was a) 3 or more days of vigorous activity of at least 20 minutes per day; b) 5 or more days of moderate-intensity activity or walking of at least 30 minutes per day; or c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 600 MET-min/week. The HEPA category was a) vigorous-intensity activity on at least 3 days achieving a minimum of at least 1,500 MET-minutes/week or b) 7 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 3,000 MET-minutes/week. Individuals who did not meet the above criteria were treated as the 'inactive' category.

3.3. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

표 3은 신체활동이 VOCs와 우울증 간의 연관성에 어떻게 영향을 미치는지 보여주는 표이다. inactive 군에서 acetaldehyde가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 우울증 위험이 1.15 (OR=1.15, 95% CI=1.04–1.29)배로 증가하였고 통계적으로 유의했다 (P for trend=0.001). minimally active 군과 HEPA 군에서는 1.33 (OR=1.33, 95% CI=1.15–1.54)배, 1.34 (OR=1.34, 95% CI=1.05–1.70)배로 증가 하였으며 통계적으로 유의했다 (P for trend=minimally active:0.0001, HEPA:0.018). VOCs의 styrene과 toluene에서는 신체활동의 정도에 따라 우울증의 연관성을 확인하지 못했다.

표 3. 연구 대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for trend	OR (95% CI)	P for trend	OR (95% CI)	P for trend
Physical activity						
Inactive	1.15 (1.04–1.29)	0.001	1.01 (0.97–1.05)	0.762	1.00 (0.99–1.01)	0.879
Minimally active	1.33 (1.15–1.54)	0.0001	0.96 (0.92–1.00)	0.046	0.98 (0.95–1.00)	0.031
HEPA	1.34 (1.05–1.70)	0.018	0.90 (0.81–1.00)	0.044	0.99 (0.93–1.04)	0.637

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnote. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$).

3.4. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

표 4는 남성과 여성의 대상자에서 신체활동이 우울증에 대한 VOCs 영향을 보여주었다. 남성에서 inactive 군에서 acetaldehyde가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 우울증 위험이 1.11 (OR=1.11, 95% CI=0.90–1.38)배로 증가하였고, minimally active 군과 HEPA 군에서는 각각 1.37 (OR=1.37, 95% CI=1.07–1.76)배, 1.56 (OR=1.56, 95% CI=1.07–2.27)배로 증가하였다. 이렇게 minimally active 군에서 증가한 1.37배의 위험은 inactive 군에 1.11배 위험은 차이가 있지만 통계적으로 유의하지 않았다(Inactive vs Minimally active p for interaction=0.207, p=0.207). 또한, inactive 그룹에 1.11배의 위험과 HEPA 그룹에 1.56배에 위험은 차이가 있지만 통계적으로 유의하지 않았다(상호작용에 대한 p=0.126).

여성의 경우 inactive 군에서 acetaldehyde가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 우울증 위험이 1.19 (OR=1.19, 95% CI=1.04–1.36)배로 증가하였고, minimally active 군과 HEPA 군에서는 각각 1.32 (OR=1.32, 95% CI=1.09–1.60)배, 1.17 (OR=1.17, 95% CI=0.81–1.69)배로 증가하였다. 이렇게 minimally active 군에서 증가한 1.37배의 위험은 inactive 군에 1.19배 위험은 차이가 있지만 통계적으로 유의하지 않았다(Inactive vs Minimally active p for interaction=0.364, p=0.364).

표 4. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction
Men (n=660)						
Physical activity						
Inactive	1.11 (0.90–1.38)	Reference	0.99 (0.91–1.08)	Reference	0.97 (0.91–1.03)	Reference
Minimally active	1.37 (1.07–1.76)	0.207	0.92 (0.84–1.00)	0.212	0.99 (0.95–1.02)	0.590
HEPA	1.56 (1.07–2.27)	0.126	0.91 (0.79–1.05)	0.321	0.83 (0.72–0.95)	0.047
Women (n=1,249)						
Physical activity						
Inactive	1.19 (1.04–1.36)	Reference	1.01 (0.97–1.06)	Reference	1.01 (0.99–1.02)	Reference
Minimally active	1.32 (1.09–1.60)	0.364	0.98 (0.93–1.02)	0.294	0.97 (0.94–1.00)	0.034
HEPA	1.17 (0.81–1.69)	0.927	0.88 (0.73–1.06)	0.161	1.04 (0.99–1.09)	0.153

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnote. P for interaction was the significance of difference in the association between volatile organic compounds (VOCs) and depression. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$)

3.5. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

다음으로 65세 기준으로 나눈 대상자에서 신체활동이 우울증상에 대한 대기오염물질의 영향을 보여주었다 (표 5). 65세 이상에서 inactive 군에서 acetaldehyde가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 우울증 위험이 1.18 (OR=1.18, 95% CI=1.04–1.34)배로 증가하였고, minimally active 군과 HEPA 군에서는 각각 1.39 (OR=1.39, 95% CI=1.17–1.64)배, 2.08 (OR=2.08, 95% CI=1.40–3.07)배로 증가하였다. 이렇게 minimally active 군에서 증가한 1.39배의 위험은 inactive 군에 1.18배 위험과 차이가 있지만 통계적으로 유의하지 않았다(Inactive vs Minimally active p for interaction=0.134, p=0.134). 그러나 inactive 그룹에 증가한 1.18배의 위험과 HEPA 그룹에 증가한 2.08배의 위험은 차이가 있었으며 통계적으로 유의하게 컸다 (Inactive vs HEPA p for interaction=0.007, p=0.007).

표 5. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction
Age <65 years (n=597)						
Physical activity						
Inactive	1.09 (0.88–1.36)	Reference	0.98 (0.89–1.08)	Reference	1.02 (1.00–1.04)	Reference
Minimally active	1.11 (0.81–1.51)	0.954	1.10 (0.99–1.22)	0.103	1.00 (0.97–1.03)	0.379
HEPA	N/E	N/E	0.96 (0.69–1.33)	0.891	0.90 (0.57–1.44)	0.618
Age $\geq$65 years (n=1,312)						
Physical activity						
Inactive	1.18 (1.04–1.34)	Reference	1.00 (0.96–1.04)	Reference	0.98 (0.95–1.00)	Reference
Minimally active	1.39 (1.17–1.64)	0.134	0.93 (0.89–0.97)	0.022	0.96 (0.93–0.99)	0.337
HEPA	2.08 (1.40–3.07)	0.007	0.84 (0.74–0.95)	0.009	0.97 (0.90–1.03)	0.755

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity, N/E: non-estimable.

Footnote. P for interaction was the significance of difference in the association between volatile organic compounds (VOCs) and depression. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$).

3.6. 민감도 분석

민감도 분석은 2016년과 2017년의 노출 변수와 검진 대상자를 이용하여 분석을 진행하였다. 민감도 분석에서도 앞의 분석 결과와 같이 acetaldehyde의 노출 및 신체활동과 우울증의 연관성에서 유의미한 연관성을 보여주었다(표 6, 7, 8, 9, 10).

표 6. 연구대상자의 인구사회학적 특성(2016-2017년 대상자)

	Total (N=1,356)	Depression		p
		Yes (N=203)	No (N=1,153)	
Gender, N (%)				0.773
Men	386 (28.5)	60 (29.6)	326 (28.3)	
Women	970 (71.5)	143 (70.4)	827 (71.7)	
Age (years), mean (SD)	68.9 (6.7)	71.8 (6.6)	68.4 (6.6)	<.0001
Education level (years), mean (SD)	10.3 (4.3)	9.3 (4.3)	10.4 (4.3)	0.0006
Marital status (living with a spouse or partner), N (%)	1,055 (77.8)	144 (70.9)	911 (79.0)	0.014
Smoking status, N (%)				0.395
Current smokers	64 (4.7)	12 (5.9)	52 (4.5)	
Former smokers	229 (16.9)	39 (19.2)	190 (16.5)	
Never smokers	1,063 (78.4)	152 (74.9)	911 (79.0)	
Alcohol drinking, N (%)	504 (37.2)	83 (40.9)	421 (36.5)	0.267
History of disease				
Angina or myocardial infraction, N (%)	109 (8.0)	19 (9.4)	90 (7.8)	0.541
Hypertension, N (%)	527 (38.9)	58 (28.6)	469 (40.7)	0.001
Diabetes, N (%)	228 (16.8)	30 (14.8)	198 (17.2)	0.460
BMI (kg/m²), mean (SD)	24.6 (3.1)	24.4 (3.3)	24.6 (3.0)	0.444
Fasting blood glucose (mg/dL), mean (SD)	96.3 (21.2)	98.6 (20.8)	95.9 (21.3)	0.096
Total Cholesterol (mg/dL), mean (SD)	185.2 (37.2)	176.7 (32.6)	186.7 (37.8)	0.0001
Acetaldehyde (μg/m³), mean (SD)	10.7 (2.0)	11.3 (1.7)	10.7 (2.1)	<.0001
Styrene (μg/m³), mean (SD)	12.9 (4.9)	11.9 (4.9)	13.1 (4.8)	0.0017
Toluene (μg/m³), mean (SD)	28.6 (5.8)	26.5 (6.7)	29.0 (5.5)	<.0001
Physical activity (MET-min/week), N (%)				0.894
Inactive	534 (39.4)	82 (40.4)	452 (39.2)	
Minimally active	656 (48.4)	98 (48.3)	558 (48.4)	
HEPA	166 (12.2)	23 (11.3)	143 (12.4)	

Abbreviations. BMI, body mass index; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnotes. P-value was the significance of difference in characteristics between individuals with and without depression, calculated from Chi-squared test (for categorical variables) and t-test (for continuous variables). Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$). Physical activity was divided into three categories. The 'minimally active' was a) 3 or more days of vigorous activity of at least 20 minutes per day; b) 5 or more days of moderate-intensity activity or walking of at least 30 minutes per day; or c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 600 MET-min/week. The HEPA category was a) vigorous-intensity activity on at least 3 days achieving a minimum of at least 1,500 MET-minutes/week or b) 7 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 3,000 MET-minutes/week. Individuals who did not meet the above criteria were treated as the 'inactive' category.

표 7. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene) 및 신체활동과 우울증의 연관성(2016-2017년 대상자)

	Model 1	Model 2	Model 3
	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Volatile organic compounds (per 1 µg/m³ increase)			
Acetaldehyde (µg/m³)	1.19 (1.09–1.30)	1.16 (1.07–1.27)	1.20 (1.10–1.32)
Styrene (µg/m³)	0.95 (0.92–0.98)	0.97 (0.93–1.00)	0.97 (0.94–1.01)
Toluene (µg/m³)	0.92 (0.90–0.95)	0.94 (0.91–0.96)	0.95 (0.92–0.97)
Physical activity			
Inactive	Reference	Reference	Reference
Minimally active	0.97 (0.70–1.33)	0.97 (0.70–1.34)	0.94 (0.67–1.31)
HEPA	0.89 (0.54–1.46)	1.01 (0.60–1.71)	0.90 (0.53–1.54)

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA: health-enhancing physical activity.

Footnotes. Model 1 was unadjusted, Model 2 was adjusted for age, gender, and education level; Model 3 was adjusted for age, gender, hypertension, BMI, alcohol, smoking, education level, diabetes, fasting blood glucose, marital status, total cholesterol, and angina or myocardial infarction; Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$). Physical activity was divided into three categories. The 'minimally active' was a) 3 or more days of vigorous activity of at least 20 minutes per day; b) 5 or more days of moderate-intensity activity or walking of at least 30 minutes per day; or c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 600 MET-min/week. The HEPA category was a) vigorous-intensity activity on at least 3 days achieving a minimum of at least 1,500 MET-minutes/week or b) 7 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous intensity activities achieving a minimum of at least 3,000 MET-minutes/week. Individuals who did not meet the above criteria were treated as the 'inactive' category.

표 8. 연구대상자의 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경(2016-2017년 대상자)

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for trend	OR (95% CI)	P for trend	OR (95% CI)	P for trend
Physical activity						
Inactive	1.17 (1.03–1.33)	0.015	1.01 (0.96–1.07)	0.597	0.99 (0.95–1.04)	0.815
Minimally active	1.29 (1.08–1.53)	0.005	0.95 (0.90–0.99)	0.024	0.93 (0.89–0.97)	0.0002
HEPA	1.32 (0.98–1.77)	0.068	0.92 (0.80–1.05)	0.198	0.81 (0.71–0.93)	0.003

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnote. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$).

표 9. 연구대상자의 성별에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경 (2016-2017년 대상자)

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction
Men (n=386)						
Physical activity						
Inactive	1.17 (0.91-1.52)	Reference	1.06 (0.95-1.19)	Reference	1.01 (0.90-1.12)	Reference
Minimally active	1.33 (0.94-1.87)	0.571	0.89 (0.79-1.00)	0.032	0.86 (0.77-0.95)	0.037
HEPA	1.33 (0.82-2.16)	0.654	0.90 (0.74-1.10)	0.169	0.77 (0.59-1.00)	0.064
Women (n=970)						
Physical activity						
Inactive	1.18 (1.01-1.38)	Reference	1.01 (0.95-1.07)	Reference	0.99 (0.94-1.05)	Reference
Minimally active	1.30 (1.05-1.60)	0.482	0.96 (0.90-1.01)	0.230	0.94 (0.90-0.98)	0.133
HEPA	1.28 (0.70-2.33)	0.801	1.03 (0.79-1.35)	0.838	0.81 (0.59-1.10)	0.196

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity.

Footnote. P for interaction was the significance of difference in the association between volatile organic compounds (VOCs) and depression. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$)

표 10. 연구대상자의 나이에 따른 VOCs(Acetaldehyde, Styrene, Toluene)와 우울증 사이의 연관성에 있어서 신체활동 정도의 효과변경 (2016-2017년 대상자)

	Acetaldehyde (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Styrene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)		Toluene (per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase)	
	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction	OR (95% CI)	P for interaction
Age <65 years (n=369)						
Physical activity						
Inactive	1.21 (0.90-1.64)	Reference	1.02 (0.88-1.18)	Reference	1.10 (0.97-1.25)	Reference
Minimally active	1.16 (0.79-1.71)	0.861	1.06 (0.93-1.20)	0.690	1.07 (0.96-1.20)	0.379
HEPA	N/E	N/E	2.27 (0.33-15.76)	0.421	1.17 (0.49-2.79)	0.895
Age $\geq$65 years (n=987)						
Physical activity						
Inactive	1.19 (1.03-1.39)	Reference	1.01 (0.95-1.07)	Reference	0.97 (0.92-1.02)	Reference
Minimally active	1.36 (1.11-1.66)	0.315	0.91 (0.86-0.96)	0.013	0.90 (0.86-0.94)	0.024
HEPA	2.70 (1.32-5.51)	0.029	0.84 (0.71-0.98)	0.032	0.73 (0.60-0.89)	0.006

Abbreviations. OR, odds ratio; CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity, N/E: non-estimable.

Footnote. P for interaction was the significance of difference in the association between volatile organic compounds (VOCs) and depression. Presence of depression was defined based on the Korean version of the Short Geriatric Depression Scale (SGDS-K) (i.e., Yes if $8 \leq \text{SGDS-K} \leq 15$; No if $0 \leq \text{SGDS-K} < 8$).

4. 고찰

본 연구는 지역사회에 거주하는 중년 및 노년 인구 집단의 단면 자료를 활용하여, 신체활동 정도에 따라 VOCs 노출에 따른 우울증 위험이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 본 연구는 acetaldehyde 장기 노출에 따른 우울증 위험이 신체활동이 높은 대상자에서 신체활동이 낮은 대상자보다 높은 것을 발견하였다. 특히 이러한 효과 수정(effect modification)은 65세 이상 노인에서 두드러졌다. 반면 남성과 여성으로 층화한 결과에서는 차이가 없었다. 또한 toluene 노출에 따른 우울증 위험은 신체활동 정도에 따라 차이가 없었다.

본 연구는 VOCs 중에서 신체활동의 정도에 따라 우울증의 연관성이 많은 물질은 acetaldehyde였다. Acetaldehyde 노출과 우울증의 연관성에서 보정을 하지 않은 모델과 나이, 성별, 교육 연수를 보정한 모델과 모든 보정 변수(나이, 성별, 교육 수준(years), 결혼 여부, 심혈관 위험 요인, 흡연 여부, 음주 여부, 체질량지수(in kilograms per meter squared), 공복혈당, 총 콜레스테롤)를 넣은 모델에서 우울증이 없는 대상자에 비해서 우울증이 있는 대상자가 단위당 acetaldehyde $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 오즈비가 각각 1.20 (OR=1.20, 95% CI=1.11–1.30), 1.19 (OR=1.19, 95% CI=1.10–1.29), 1.22 (OR=1.22, 95% CI=1.13–1.33)이었으며 통계적으로 유의했다. Styrene과 toluene 노출과 우울증의 연관성에서는 보정을 하지 않은 모델과 나이, 성별, 교육 연수를 보정한 모델과 모든 보정 변수를 넣은 모델에서 모두 우울증과의 연관성이 없음을 확인했으며 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 신체활동 정도와 우울증의 연관성에서도 보정을 하지 않은 모델과 나이, 성별, 교육 연수를 보정한 모델과 모든 보정 변수를 넣은 모델에서 우울증과의 연관성이 없음을 확인하였으며 통계적으로 유의하지 않았다.

다음으로 신체활동의 그룹에 따라 acetaldehyde 노출과 우울증의 연관성에서는 신체활동 inactive 군, minimally active 군, HEPA 군에서 우울증이 없는 대상자에

비해서 우울증이 있는 대상자가 단위당 acetaldehyde 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 오즈비가 각각 1.15 (OR=1.15, 95% CI=1.04–1.29), 1.33 (OR=1.33, 95% CI=1.15–1.54), 1.34 (OR=1.34, 95% CI=1.05–1.70) 이었으며 통계적으로 유의했다(inactive P for trend=0.001, minimally active P for trend=0.0001, HEPA P for trend=0.018). 그러나 신체활동의 그룹에 따라 styrene과 toluene 노출과 우울증의 연관성에서는 신체활동 inactive 군, minimally active 군, HEPA 군에서 우울증과의 연관성이 없음을 확인하였으며 통계적으로 유의하지 않았다.

성별을 층화하여 신체활동 그룹에 따라 acetaldehyde 노출과 우울증의 연관성에서는 통계적으로 유의하지 않았지만, 나이를 65세 기준으로 층화하여 신체활동 그룹에 따라 acetaldehyde 노출과 우울증의 연관성에서는 65세 이상에서 신체활동의 inactive, minimally active, HEPA 군에서 우울증이 없는 대상자에 비해서 우울증이 있는 대상자가 단위당 acetaldehyde 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 오즈비가 각각 1.18 (OR=1.18, 95% CI=1.04–1.34), 1.39 (OR=1.39, 95% CI=1.17–1.64), 2.08 (OR=2.08, 95% CI=1.40–3.07) 이었다. 신체활동 inactive 군에서 증가한 위험과 신체활동 minimally active 군의 위험과는 차이가 있지만 통계적으로 유의하지 않았지만(p for interaction=0.134), 신체활동 inactive 군의 위험과 신체활동 HEPA 군의 위험은 차이가 있었으며 통계적으로 유의했다(p for interaction=0.007).

이전의 선행 연구에서는 VOCs의 발생 특성, 건강인자 상관관계, 건강에 미치는 영향을 확인하였다(박옥현 등, 2016). 작업환경 측정방법, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준에 의해 화학물질이 2종 이상인 경우 물질 간에 유해성이 인체의 서로 다른 부위에 작용한다는 증거가 없는 한 유해 작용은 가중되는 것으로 하여 노출기준을 산출하였을 때 결과가 1을 초과하지 않아야 하는데 선행 연구에서는 1을 초과하지 않아 화학적 노출의 영향이 적은 것으로 나타났다(박옥현 등, 2016). 또한 건강의 연관성을 보고한 선행 연구에서는 몸 안에서 알코올 대사로 발생한 acetaldehyde의 연구가 대부분이었다(Guo et al., 2010). 또한 대기 중의 acetaldehyde 연구에서 역학적 연구보다는 건강 위해성평가를 기반으로 한 연구가 많았다(Lovreglio et al., 2009). 본 연구는 대기 중의 acetaldehyde 노출값을 사용하여 역학적인 연구 디자인을

사용하였다. 따라서 본 연구는 acetaldehyde가 신체활동 정도에 따라 우울증을 발생한다는 점에서 의의가 있다.

신체활동이 VOCs 노출에 따른 우울증의 위험에 어떤 영향을 미치는지 살펴본 연구는 매우 적다. 미국 NHANES 자료를 통한 격렬한 신체활동 또는 중간 정도의 신체활동을 공변량을 넣어 혈액 VOCs와 우울증의 연관성을 본 이전연구에서는 혈액 VOCs 중 혈액 벤젠, 혈액 2,5-디메틸푸란, 혈액 푸란이 남성, 노인, 정상 체중이 낮은 성인에 비해 여성, 청년 및 중년, 과체중 비만 성인에서 우울증과 관련이 있었다(Zhu Y et al., 2023). 그러나 본 연구에서는 신체활동이 높은 그룹에서 VOCs 중 acetaldehyde에 우울증 위험이 높았다. 이러한 연구 결과의 차이는 인구 집단, 방법론, 지역적 차이일 것이다. Zhu의 연구는 lifetime experience of depression, items on help-seeking for mental health, and items from the Patient Health Questionnaire를 사용했지만, 본 연구는 우울 증상 평가를 위해 노인용 우울 스케일을 사용하였다. 또한 노출 평가로 Zhu의 연구가 혈액 VOCs를 사용했지만, 본 연구는 크리깅 모델을 통해 VOCs 농도 예측모형을 고려하였으며 VOCs 농도의 지역적 차이에도 영향을 미쳤을 것이다. Zhu 연구에서는 acetaldehyde와 styrene의 영향을 확인하지 않았으므로 명확한 비교는 어렵지만 본 연구에서 관찰한 신체활동의 효과변경은 VOCs 노출 수준이 높은 지역에서 관찰될 가능성이 있음을 시사한다.

다음으로 VOCs와 우울증 사이의 관계를 설명할 수 있는 몇 가지 메카니즘이 있다. VOCs 중에서 acetaldehyde 노출과 우울증의 연관성은 VOCs 규제 대상 물질 37종 중 휘발유, 원유 등과 같은 혼합물질과 단일물질로 인체에 유해한 발암물질인 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등이 포함되어 있다(박옥현 등, 2016; Jo and Kim, 2001). 이 중 일부는 피부접촉을 통해 50% 정도는 호흡을 통해 인체에 흡수되며, 장기노출시 조혈기능 장애, 피부 및 안점막 자극, 호흡기 장애 등 인체에 유해한 결과를 초래하고, 백혈병, 임파암과 혈액암 등의 발생률을 증가시키며, 신장염·요독증·급성신경장애·소화기장애 등의 원인이 되는 것으로 알려져

있다(Kim et al., 1996; Cho et al., 2003). 그러나 VOCs가 인간에서 염증을 유발하는 실제 메커니즘은 명확하게 밝혀지지 않았다. 동물 실험과 세포 실험을 활용한 여러 시험관 연구에서는 상당한 양의 VOCs에 노출되면 산화 스트레스가 촉진되고 인간의 폐 상피 세포에서 염증 매개체 생성이 자극이 된다고 선행 연구에서 입증되었다(Bönisch et al., 2012). 또한 VOCs 독성의 실제 메커니즘은 산화 스트레스 유도이다. 이는 담배 연기로 인한 폐 손상, 만성 폐쇄성 폐질환의 급성 악화 및 기타 대기 오염 물질이 호흡기 상피에 미치는 기타 많은 해로운 영향의 주요 메커니즘으로 보여진다(Yoon et al., 2010). 이와 같이 VOCs는 IL-1 β , IL-6, TNF- α , IFN- γ 와 같은 중추 신경계에서 염증성 사이토카인의 발현을 유도할 수 있으며, 이는 신경염증을 생성할 수 있다(Jayaraj et al., 2017). 따라서 VOCs와 우울증 위험 사이의 중요한 연관성의 메커니즘은 산화 스트레스가 촉진 및 유발하고, 중추 신경계를 통한 신경 염증을 유발하는 것으로 설명할 수 있다.

본 연구는 몇 가지 제한 사항이 있다. 첫째, 본 연구는 단면 분석으로 VOCs 노출과 우울증 사이의 temporality를 확보하기 어려웠다. 본 연구는 2년 장기 노출을 보았고, 대상 참가자는 응답을 하지 않은 대상자를 제외하고 현재 주소지 거주 기간 동안에는 평균 21.5년, 현재 주소지 단위지역 거주 기간으로는 평균 44.5년 동안 해당 주소에 살았다. 둘째, 본 연구는 우울증을 정의하는 데 있어서 우울증의 스크리닝 도구인 GDS 검사를 활용하여 우울증을 가지고 있는 대상자의 숫자가 과대평가 되었을 가능성이 있다. 그러나 이 검사는 높은 performance(8점 기준 0.94의 민감도와 0.73의 특이도)를 가지고 있어(Bae and Cho et al., 2004), 선행 연구에서 많이 사용되어 왔다(Lim et al., 2012). 본 연구에서는 1,909명 중에서 GDS 점수가 15점 중에서 0점은 472 (24.7%)명, 1점은 328 (17.2%)명, 2점은 260 (13.6%)명, 3점은 177 (9.27%)명, 4점은 144 (7.5%)명, 5점은 108 (5.7%)명, 6점은 91 (4.8%)명, 7점은 66 (3.5%)명, 8점은 51 (2.7%)명, 9점은 66 (3.5%)명, 10점은 67 (3.5%)명, 11점은 25 (1.3%)명, 12점은 19 (1.0%)명, 13점은 20 (1.1%)명, 14점은 12 (0.6%)명, 15점은 3 (0.2%)명의 결과를 확인하였다. 이러한 결과를 기반으로 선행 연구의 기준을 반영하여

과거 질병력 중 우울증 진단 과거력이 있는 대상자를 제외하고 8점에서 15점을 받은 대상자는 263 (13.8%)명으로 확인되었으며 우울증 대상자로 분류하였다. 셋째, 본 연구에서 보정한 혼란변수뿐만 아니라 측정되지 않은(unmeasured) 혼란변수에 의한 잔류교란의 가능성이 있다. 넷째, 사용된 VOCs의 노출 데이터는 일부 연구대상자의 거주지에서 측정된 데이터를 기반으로 크리깅 모델과 계절농도 예측모델을 사용하여 추정된 값으로 모든 연구 대상자의 정확한 노출된 농도를 알 수 없다. 이에 노출변수를 VOCs 데이터 중 2016년과 2017년의 연평균 농도를 활용하여 해당 년도의 연구 대상자로 정의를 내어 민감도 분석을 추가적으로 수행하여 결과를 확인하였다. 또한 본 연구는 2016년과 2017년의 측정된 농도를 통해서 계절별 노출 모형을 구성하고, 예측모델을 추정한 값이지만 acetaldehyde는 여름(68%)에 대해서 높은 설명력을 보여주었고, styrene은 봄(67%), 겨울(68%)에 대해서 높은 설명력을 보여주었고, toluene은 여름(51%)에 대해서 높은 설명력을 보여주었다. 따라서 본 연구를 통해서 향후 장기 모니터링 데이터의 업데이트를 통해 예측력을 높일 필요가 있다.

5. 결론

Acetaldehyde 장기 노출에 따른 우울증 위험은 신체활동이 낮은 대상자보다 신체활동이 높은 대상자에서 높았다. 특히 이러한 effect modification은 65세 이상 노인에서 두드러졌다. 이러한 결과는 VOCs(Acetaldehyde)가 높을 때 실외에서 행하는 vigorous한 신체활동이 뇌 신경계에 영향을 줄 수 있으며 우울증 위험의 증가로 이어질 수 있음을 시사한다. 따라서 실외 VOCs가 높을 때 호흡률을 높일 수 있는 신체활동을 피하는 것이 성인에서의 우울증 예방에 도움이 될 것이다.

참고 문헌

World Health Organization (2023) Depression. Health topics-depression. https://www.who.int/health-topics/depression#tab=tab_1. Accessed 10 Apr 2023

Touloumis C (2021) The burden and the challenge of treatment-resistant depression. *Psychiatriki* 32:11 - 14. <https://doi.org/10.22365/jpsych.2021.046>

Collaborators GDaI (2020) Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990 - 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 396:1204 - 1222. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30925-9)

Jacobson MH, Ghassabian A, Gore AC, Trasande L (2022) Exposure to environmental chemicals and perinatal psychopathology. *Biochem Pharmacol* 195:114835. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2021.114835>

Smith M. T. (2010). Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annual review of public health*, 31, 133 - following148. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103646>

Zhu, Y., Ju, Y., Wang, M., Yang, Y., & Wu, R. (2023). Association of volatile organic compounds exposure with the risk of depression in U.S. adults: a cross sectional study from NHANES 2013-2016. *International archives of occupational and environmental health*, 96(8), 1101 - 1111. <https://doi.org/10.1007/s00420-023-01993-6>

Tang, L., Liu, M., & Tian, J. (2024). Volatile organic compounds exposure associated with depression among U.S. adults: Results from NHANES 2011–2020. *Chemosphere*, 349, 140690. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140690>

Sampson, P. D., Richards, M., Szpiro, A. A., Bergen, S., Sheppard, L., Larson, T. V., & Kaufman, J. D. (2013). A regionalized national universal kriging model using Partial Least Squares regression for estimating annual PM2.5 concentrations in epidemiology. *Atmospheric environment (Oxford, England : 1994)*, 75, 383 - 392. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.015>

Bae, J. N., & Cho, M. J. (2004). Development of the Korean version of the Geriatric Depression Scale and its short form among elderly psychiatric patients. *Journal of psychosomatic research*, 57(3), 297 - 305. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2004.01.004>

Conradsson, M., Rosendahl, E., Littbrand, H., Gustafson, Y., Olofsson, B., & Lövhelm, H. (2013). Usefulness of the Geriatric Depression Scale 15-item version among very old people with and without cognitive impairment. *Aging & mental health*, 17(5), 638 - 645. <https://doi.org/10.1080/13607863.2012.758231>

IPAQ Research Committee. Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)–short and long forms. Berlin: ResearchGate; 2005.

Altman, D. G., & Bland, J. M. (2003). Interaction revisited: the difference between two estimates. *BMJ (Clinical research ed.)*, 326(7382), 219. <https://doi.org/10.1136/bmj.326.7382.219>

Lim, Y. H., Kim, H., Kim, J. H., Bae, S., Park, H. Y., & Hong, Y. C. (2012). Air pollution and symptoms of depression in elderly adults. *Environmental health perspectives*, 120(7), 1023 - 1028. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104100>

Guo, R., & Ren, J. (2010). Alcohol and acetaldehyde in public health: from marvel to menace. *International journal of environmental research and public health*, 7(4), 1285 - 1301. <https://doi.org/10.3390/ijerph7041285>

Lovreglio, P., Carrus, A., Iavicoli, S., Drago, I., Persechino, B., & Soleo, L. (2009). Indoor formaldehyde and acetaldehyde levels in the province of Bari, South Italy, and estimated health risk. *Journal of environmental monitoring : JEM*, 11(5), 955 - 961. <https://doi.org/10.1039/b819843h>

Bönisch, U., Böhme, A., Kohajda, T., Mögel, I., Schütze, N., von Bergen, M., Simon, J. C., Lehmann, I., & Polte, T. (2012). Volatile organic compounds enhance allergic airway inflammation in an experimental mouse model. *PloS one*, 7(7), e39817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039817>

Yoon, H. I., Hong, Y. C., Cho, S. H., Kim, H., Kim, Y. H., Sohn, J. R., Kwon, M., Park, S. H., Cho, M. H., & Cheong, H. K. (2010). Exposure to volatile organic compounds and loss of pulmonary function in the elderly. *The European respiratory journal*, 36(6), 1270 - 1276. <https://doi.org/10.1183/09031936.00153509>

Jayaraj, R. L., Rodriguez, E. A., Wang, Y., & Block, M. L. (2017). Outdoor Ambient Air Pollution and Neurodegenerative Diseases: the Neuroinflammation Hypothesis. *Current environmental health reports*, 4(2), 166 - 179.

<https://doi.org/10.1007/s40572-017-0142-3>

박옥현, 이경석, 민경우, 조광운, 윤관주, 정원삼, 조영관, 김은선 and 양진석. (2016). 소규모 세탁소의 휘발성유기화합물 발생 특성과 종사자의 건강에 미치는 영향. 한국산업보건학회지, 26(2), 159-169.

Jo WH, Kim SH. Workers exposure to aromatic volatile organic compounds in dry cleaning stores. Am Ind Hyg AssocJ 2001;62:466-471

Kim SY, Kim JY, Lee YK, Lee YS. Study on the exposure levels of organic solvents and subjective symptoms of dry-cleaning workers. Research Information Center for Health(www.richis.org) press.; 1996. p. 1-22

Cho KS, Gu JW, Kim KA, Kim HW, Kim HA et al. The occupational environmental health, 3rd edition. Insititute of Industrial Medicine Catholic Industrial Medical Center.; 2003. p. 277-292

부록

VOCs 데이터를 확보하기 위한 수집방법

1. 알데히드류

환경분야 공정시험기준을 준용하여 시료채취는 오존의 간섭을 제거하기 위하여 오존 스크러버(O₃ Scrubber)를 DNPH-silica cartridge(Waters Corp., USA)를 흡인펌프(Sibata MP-Σ100H)에 장착하여 시료 채취하였다. 전처리는 소용량 공기포집기(Model 4.1 Airmetrics Co., USA)를 사용하여 0.5L/min의 용량으로 30분 연속 채취를 원칙으로 하였다. 분석은 UPLC WATERS(Separation module 2690)/(Dual wavelength detector 2487)(Waters Corp, USA)로 분석하였으며 컬럼온도는 32°C였다. 시료 주입용량은 20μl이며 유량은 1.2ml/min이었다. 이동상은 water/acetonitrile/tetrahydrofuran=60:30:10(V/V)이었다. 검출한계는 0.001μmol/mol이며 정량한계는 0.02μmol/mol이었다.

2. 휘발성유기화합물류

시료채취 전 전처리를 진행하기 위하여 흡착관 Conditioning 미국 Markes사의 TC-20 장치를 이용하여 320°C에서 6시간 열탈착 시킨다. Conditioning이 끝난 흡착관 중 임의로 2개를 선정하여 오염도 여부(blank test)를 확인한다. 고체흡착관(Tenax-TA, Supelco Inc., USA)과 흡인 펌프(Air sampling pump: Sibata MP-Σ100H)를 사용하여 시료를 채취하였으며 고체흡착 열탈착을 GC/MSD로 분석을 진행하였다. GC column은 capillary column을 사용하였으며 detector는 MS를 사용하였다. Carrier gas는 He(99.999%), 1.2ml/min으로 흘려주었다. Absorbance는 360nm인 지점에서 detection하였으며, VOCs 내부 정도관리 및 분석에 사용된 표준가스는 미국 Testek사의 TO-15/17 Calibration mixture gas 1 ppm 을 이용하여

MFC와 유량계를 단계별로 회석하여 사용하였다. 스티렌, 톨루엔의 검출한계는 각각 0.64ppb, 0.6ppb였으며, 정량한계는 각각 2.03ppb, 2.09ppb였다.

부록 표 1. 설문검사 측정 데이터베이스 구축 항목

구분	조사 내용	항목 수
기본정보	코호트연차, 대상자 ID, 대상자 코호트 구분	3
신체계측	신장, 체중, 허리둘레 악력검사, 소변검사 MRI검사, 심전도검사 등	13
KMMSE	인지기능검사	1
SGDS	단축형 노인우울척도 검사	1
일반사항	교육수준, 혼인상태, 동거인 수, 수입, 거주연도, 현 거주기간, 직업수준 등	18
농약노출	살포 유무, 살포기간, 종류 등	39
흡연	흡연유무, 기간 등 14개 항목	14
생활습관	종교, 레저, 자선, 관계활동, 운동일수, 운동시간 등	7
음주	음주 유무 등	8
질병력(과거)	질병진단엽, 병명코드, 질병종류 등	3
낙상 및 외상	다친부위, 횟수 등	10
가족력	병명코드, 인원수, 뇌졸중, 파킨슨, 치매, 협심증, 당뇨, 고혈압, 정신질환, 암	10
삶의 질	건강상태코드, 삶 만족도 등	7
여성력	초경시기, 임신유무 등	18
수면력	2018년 이전, 이후의 수면의 질	44
개인 및 거주지 주변 환경 특성	환기, 청소, 주변 차량통행 및 거리 특성	48
혈액 및 소변	Albumin 등	65
환경유해인자	미세먼지(PM ₁₀ , PM _{2.5}), 미세먼지 중 중금속 19종, TVOC(개별 VOC 17종 포함), PAHs(8종), 농약류(7종), 카르보닐화합물(10종), 바닥먼지 중 중금속 및 농약류 등	‘공기 중 7분류 바닥먼지 중 2분류

ABSTRACT

Physical Activity-Induced Modification of the Association of Long-Term Volatile organic compounds(VOCs) Exposure with the Risk of Depression in Older Adults

Woongbi Park

Department of Public Health

The Graduate School Yonsei University

(Directed by Professor Changsoo Kim)

Purpose: Evidence suggests that long-term Volatile organic compounds(VOCs) exposures may induce depression. however, the influence of physical activity on this effect is unclear. We investigated modification of the associations between VOCs exposures and depression by the intensity of physical activity.

Materials and Methods: This cross-sectional study included a total of 1,909 individual dwelling in for cities (Seoul, Incheon, Wonju and Pyeongchang) in the Republic of Korea. Depression was defined as the Korean version of the Geriatric Depression Scale score ≥ 8 . Long-term concentrations of VOCs with Acetaldehyde, Styrene, and Toluene at each participant's residential address were estimated. Physical activity intensity was categorized as inactive, minimally active, and health enhancing physical activity (HEPA) based on metabolic equivalents (METs). Using a multivariable logistic regression model, we estimated the associations of Acetaldehyde, Styrene, and Toluene with depression after stratification by the METs group.

Results: A $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in acetaldehyde was associated with an increased risk of

depression in the inactive group (odds ratio, 1.20; 95% confidence interval, 1.11–1.30), the minimally active group (1.19; 1.10–1.29), and the HEPA group (1.22; 1.13–1.33). In older adults (≥ 65 years), the risk of depression associated with acetaldehyde was significantly higher in the HEPA group than in the inactive group (p for interaction=0.007). Difference in the association between the inactive and minimally groups was not statistically significant (p for interaction=0.134).

Conclusion: We found that physical activity intensity modified the association between acetaldehyde exposure and depression.

Keywords: volatile organic compounds(VOCs), depression, physical activity, metabolic equivalents(METs)