



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

공학석사 학위논문

울산지역 건강민감계층 이용시설
실내공기질 특성 및 건강위해성평가 연구

A Study on Characteristics of the
Indoor Air Quality and Health Risk
Assessment in the Facilities used for
Health Sensitive Groups in Ulsan

울산대학교 산업대학원

환경공학전공

김 원 미

울산지역 건강민감계층 이용시설
실내공기질 특성 및 건강위해성평가 연구

지도교수 이 병 규

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2019년 1월

울산대학교 산업대학원

환경공학전공

김 원 미

김원미의 공학석사학위 논문을 인준함

심사위원 오 석 영 (인)

심사위원 박 흥 석 (인)

심사위원 이 병 규 (인)

울산대학교 산업대학원

2019년 1월

국문요약

현대인들은 하루 중 70~90%에 이르는 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있다. 때문에 실내 환경이 건강에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 일반 성인들에 비해 호흡기 계통이 취약하고, 면역 기능이 상대적으로 약한 건강민감계층의 경우 성인에 비해 실내에서 활동하는 시간이 길다. 만약 이들이 오염된 실내공기에서 오래 활동한다면 만성질환에 노출될 가능성이 월등히 높다. 그럼에도 불구하고 건강민감계층 이용시설에 대한 실내공기질 오염도 파악 및 그에 따른 건강위해성평가에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 울산광역시 관내 건강민감계층 이용시설 중 의료기관, 어린이집, 노인요양시설을 대상으로 실내 공기오염물질 PM10, 폼알데하이드, 이산화탄소, 총부유세균, PM2.5, 부유곰팡이, VOC(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌) 등 11개 항목을 측정하여 실내공기의 오염도 특성을 분석하였고, 이러한 오염물질 분석을 통해 건강위해성평가도 진행하여 건강민감계층 이용시설의 실내공기질에 관한 기초자료를 제시하였다.

건강민감계층 이용시설(의료기관, 어린이집, 노인요양시설)의 실내 평균온도와 습도는 계절별로 봄(3.21~6.21) 23.3±2.6℃, 48.5±10.9%, 여름(6.22~9.23) 25.5±1.2℃ 60.4±10.1%, 가을(9.23~12.21) 21.2±1.9℃ 51.9±5.6%로 조사되었다.

연구대상시설의 각 지점별 실내공기오염물질 평균값으로 기준 초과 여부를 조사한 결과, 32개소 64개 지점 중 PM10은 1개 지점(1.6%)에서, 폼알데하이드는 2개 지점(3.1%)에서, 총부유세균은 7개 지점(10.9%)에서, 부유곰팡이는 14개 지점(21.9%)에서 기준을 초과하였다. 또한 연구대상시설별로 의료기관 20개 지점 중 2개 지점(10%)이, 어린이집 36개 지점 중 13개 지점(36.1%)이, 노인요양시설 8개 지점 중 3개 지점(37.5%)이 기준을 초과하였으며, 총 64개 지점 중 18개 지점인 28.1%의 기준 초과율을 나타내었다.

실내공기에서 폼알데하이드는 온도가 높은 환경에서 방출량이 지속되며($p < 0.01$), 습도의존성은 온도의존성보다는 명확하지 않다. ($p < 0.01$) 부유곰팡이는 온도나 습도의 주효과가 유의하지 않았는데, 이러한 결과는 부유곰팡이가 환경인자보다 구조 등 내부인자에 따른 영향을 더 받은 것으로 판단된다. 또한 오래된 건물일수록 PM10, 총부유세균이 높았는데($p < 0.05$), 이는 건물이 노후화됨에 따라 먼지가 증가하여 PM10, 총부유세균에 영향을 준 것으로 판단된다.

발암 위험도 평가 시 허용 위험도를 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 로 설정하였다. 비발암성 물질의 경우 단위 유해지수를 산출하여 이용자의 경우 0.1, 근로자의 경우 1의 허용 위험도를 적용하였다. 발암 및 비발암 정보의 확인이 어려운 일반규제물질에 대하여서는 질

병사망위해도(이용자 : 0.01, 근로자 : 0.1) 및 Safety Factor(기준 : 1)로 계산하였다. 본 연구대상시설의 건강위해성평가 결과, 발암물질(폼알데하이드, 벤젠) 평생 초과발암위해도는 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 안전한 수준이나, 의료기관, 어린이집의 근무 최빈자 및 어린이집을 이용하는 영아의 경우는 최대 허용기준(10^{-4})을 초과하여 근무환경개선 및 환기시설 개선 등의 위해도 관리 조치가 필요할 것으로 판단된다.

비발암물질의 건강위해성평가 결과 또한 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 각 물질들에 대한 유해 영향 유발 확률이 낮으나, 자일렌과 스타이렌 물질을 95% 농도로 흡입할 경우 근로자와 이용자에게 위대한 작용을 일으킬 수 있으므로, 이 물질에 대한 예방차원에서의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

질병사망위해도로 계산한 PM10의 건강 위해성평가 결과, 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 대부분 위해도가 낮은 것으로 조사되었고, PM10을 95% 농도로 흡입하고, 그 시설에 가장 오래 있다고 가정할 경우 기준이 초과되는 것으로 나타났다.

일반규제물질(이산화탄소, 총부유세균, PM2.5, 부유곰팡이)의 건강 위해성평가 결과 또한 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 대부분 기준이내로 조사되었고, 실내공기질 오염도 검사시 기준 초과율이 높았던 총부유세균과 부유곰팡이에 대해서는 95% 농도값을 대입했을때 기준이 초과 되는 경우가 나타났다.

위해성평가는 수용체의 현재 건강상태를 반영할 수 없으며, 건강위해성평가 결과 안전한 수준일지라도 시설의 특성상 건강민감계층이 이용하는 시설이니 만큼 모든 실내공기 오염물질로부터 적극적인 실내공기질 관리가 필요할 것으로 판단된다.

목 차

국문요약	i
목차	iii
List of Tables	v
List of Figures	vii
I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
2.1 국내외 실내공기질 관리현황 및 기준	3
2.2 건강민감계층 이용시설 관리현황 및 기준	9
2.3 실내공기질 오염물질별 특성	9
2.4 실내공기질 건강위해성평가	19
III. 연구내용 및 방법	24
3.1 연구대상시설의 현황	24
3.2 시료채취 방법	25
3.3 오염물질 분석방법	28
3.4 내부정도관리	33
3.5 실내공기질 영향요인 상관성 분석	34
3.6 실내공기질 건강위해성평가	35

IV. 결과 및 고찰	39
4.1 연구대상시설 현황 및 특징	39
4.2 물리적 환경	40
4.3 오염물질별 실내공기질 오염도 특성	41
4.4 대상 시설별 오염도 특성	44
4.5 영향 요인 상관성 분석	45
4.6 실내공기질 건강위해성평가	47
V. 결론	65
참고문헌	67
Abstract	68

List of Tables

<Table 1> IAQ Management policy history	5
<Table 2> Standards of IAQ according to the Governor's Departments	6
<Table 3> Standards for maintenance of IAQ in domestic	7
<Table 4> Standards for recommendation of IAQ in domestic	7
<Table 5> Foreign management guidelines of IAQ	8
<Table 6> Number of IAQ Management facilities in Ulsan	9
<Table 7> Indoor Air Pollutants	10
<Table 8> Allowable and hazardous concentration of CO ₂	13
<Table 9> Health Efficiency to HCHO concentration	14
<Table 10> The important VOCs material which occurs from the interior of the building and that generator	16
<Table 11> VOCs material and the generator which occur from the interior ..	17
<Table 12> The TVOCs consistency and healthy effect	17
<Table 13> Sampling site and number of facilities	24
<Table 14> The minimum number of sampling points decision in multi-use facilities ·	26
<Table 15> For the sampling location of facilities used for Health sensitive groups ..	27
<Table 16> Sampling time and Sampling method	28
<Table 17> Analytical Conditions of UPLC	30
<Table 18> Operation condition for automatic thermal desorption(TD) and GC/MSD analysis	32

<Table 19> Survey item on general status	35
<Table 20> Facilities User Classification	35
<Table 21> Exposure Scenario Summary Table	37
<Table 22> Dose-Response assessment on carcinogen or non-carcinogen	38
<Table 23> Characteristics of the facilities used for health sensitive groups in ulsan	39
<Table 24> Weather condition in sampling	40
<Table 25> IAQ of the facilities used for health sensitive groups in ulsan	42
<Table 26> Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates of facility worker	50
<Table 27> Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates of facility user	51
<Table 28> Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates of facility worker	57
<Table 29> Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates of facility user	58
<Table 30> Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates of facility worker	61
<Table 31> Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates of facility user	61
<Table 32> Fixed-point(CTE, RME) safety factor of facility worker and user	63

List of Figures

[Fig 1] Number of IAQ Management facilities in Ulsan	9
[Fig 2] Comparison of Particulate matter size	12
[Fig 3] Particulate matter composition	12
[Fig 4] Diseases caused by Particulate matter	12
[Fig 5] Process of risk assessment and management	19
[Fig 6] Sampling Site	24
[Fig 7] Investigation point by facilities and by gu, gun	25
[Fig 8] Sampling equipment for PM10, PM2.5	29
[Fig 9] Sampling equipment for Carbon Dioxide	29
[Fig 10] Sampling equipment for HCHO	30
[Fig 11] Sampling equipment for Airborne Bacteria	31
[Fig 12] Sampling equipment for VOC	32
[Fig 13] Sampling equipment for Airborne Mold	33
[Fig 14] Multi-use facilities guidance and check list	34
[Fig 15] IAQ graph of the facilities used for Health sensitive groups in ulsan	43
[Fig 16] Pearson' correlation coefficients of facilities used for Health sensitive groups in ulsan	46
[Fig 17] Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates graph of facility worker ..	50
[Fig 18] Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates graph of facility user	52

[Fig 19] Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates graph of facility worker 57

[Fig 20] Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates graph of facility user · 59

[Fig 21] Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates graph of facility worker · 61

[Fig 22] Fixed-point(CTE, RME) safety factor graph of facility worker and user ····· 64

1. 서론

현대인들은 하루 중 70~90%에 이르는 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있다. 때문에 실내 환경이 건강에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 게다가 각종 산업분야에서 에너지 절감 및 효율을 높이기 위하여 건물이 더욱 밀폐화되고 있고, 복합화학물질로 구성된 재료들을 주로 사용하는 건축자재와 생활용품들의 사용이 증가함에 따라 'SBS(Sick Building Syndroms, 빌딩증후군)', 'BRI(Building Related Illness)', 'MCS(Multiple Chemical Sensitivity, 화학물질 과민증)'과 같은 환경성 질환이 국제적으로 새로운 환경문제로 대두되고 있다.

실내공기 중에는 물리적, 화학적 및 생물학적으로 다양한 오염물질이 존재할 가능성이 있으며, 실내공기오염은 당장 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아니라고 하더라도 장기적으로 볼 때는 거주자들의 건강에 나쁜 영향을 미치고 있음에는 틀림없다.

쾌적한 실내공기에 대한 국민들의 욕구가 증가하고, 국민건강에 미치는 영향이 큰 실내공기질 관리가 중요한 문제로 대두되면서 국가적으로 실내공기질 관리를 위한 기본체계를 구축하기 위해, 환경부는 2003년 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」을 제정하였고, 2016년에는 「실내공기질 관리법」을 제정하여 실내공기질을 통합하여 관리하고 있다. 최근 2018년 10월 18일 개정된 실내공기질 관리법 시행규칙은 민간계층이용시설 오염물질 기준을 한층 강화하여 제시하였다.

이렇듯 실내공기질 관리에 대한 제도적 관리가 강화되고 있으나, 실내공기 오염의 가해자이면서 피해자인 건강민감계층 이용시설 관리자 및 이용자는 실내공기 오염의 심각성 및 관리에 무관심한 측면이 있다.

일반 성인들에 비해 호흡기 계통이 취약하고, 면역기능이 상대적으로 약한 건강민감계층의 경우 성인에 비해 실내(의료기관, 어린이집, 노인요양시설)에서 활동하는 시간이 길다. 만약 이들이 오염된 실내공기에서 오래 활동한다면 만성질환에 노출될 가능성이 월등히 높다는 것은 주지의 사실이다.

그럼에도 불구하고 건강민감계층 이용시설에 대한 실내공기질 오염도 파악 및 그에 따른 건강위해성평가에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 울산광역시 관내 건강민감계층 이용시설 중 의료기관, 어린이집, 노인요양시설을 대상으로 「실내공기질 관리법」 유지기준인 미세먼지(PM10), 폼알데하이드(HCHO), 이산화탄소(CO_2), 총부유세균과 권고기준인 미세먼지(PM2.5), 부유곰팡이, 휘발성유

기화합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌) 등 11항목을 측정하여 실내공기의 오염도 및 시설군별 오염도 특성을 분석하고, 나아가 오염물질에 따른 건강 위해성평가도 진행하여 건강민감계층 이용시설의 실내공기질에 관한 기초자료를 제시하였다.

II. 이론적 고찰

2.1 국내·외실내공기질 관리 현황 및 기준

2.1.1 국내 실내공기질 관리 현황

현행 실내공기질 관리는 환경부, 교육부, 고용노동부 등 3개 부처에서 관리하고 있으며, 2016년 12월에 개정된 환경부 「실내공기질 관리법」에 의해 보건복지부에서 관리하던 공중이용시설(4개시설군)은 환경부에서 관리하고 있다. 자세한 환경부 실내공기질 관리정책 연혁은 Table 1과 같다.

환경부는 「실내공기질 관리법」에 의해 다중이용시설(25개시설군)을 비롯한 신축 공동주택 및 대중교통차량의 실내공기질을 관리하고 있다.

기타 교육부, 고용노동부 등은 개별법에 따라 개별법에 따라 학교, 사무실 등의 실내공기질을 관리하고 있다. 실내공기질 관리현황은 Table 2와 같다.

2.1.2 국내 실내공기질 관리 기준

「실내공기질 관리법」에서 유지기준이라 함은 실내공기 오염물질 농도를 항상 일정한 수준이상으로 유지하여야 하며, 불시점검 등에서 기준을 초과하였을시, 과태료 부과 등 행정적인 불이익을 시설에 부과하는 것을 의미한다. 실내공기질 유지기준은 Table 3과 같다.

권고기준이라 함은 실내공기 오염물질 농도를 일정한 수준의 유지를 강제적으로 지켜야 하지는 않으며, 외부의 오염원이 있거나 위험도가 유지기준물질보다 상대적으로 낮은 오염물질을 의미한다. 실내공기질 권고기준은 Table 4와 같다.

2.1.3 국외 실내공기질 관리 현황 및 기준

선진국의 실내공기환경 기준은 유럽국가들을 비롯해 미국을 중심으로 잘 정비되어 있다. 현재 국제적으로 단일화된 기준은 없으며 각 나라별로 기준이 다소 차이는 있으나 오염물질별간의 큰 차이는 없다. 공기질 기준은 일반적으로 대기, 일반 실내 환경, 작업환경으로 구분하여 설정하는 경향이 있는데 그 이유는 각각의 환경적 특징에 따라 오염물질의 발생특성과 재실자에 미치는 영향정도가 다르고 측정분석 방법의 차이가 있기 때문이다. 실내공기 환경기준은 독일, 미국, 캐나다, WHO의 경우로 나누어 살펴볼 수 있다.

1)독일

- 유럽국가들은 70년대 에너지 파동 이후 에너지 절감과 환경이 인간에게 미치는 영향에 대해 관심을 가지고 많은 연구를 수행해 오고 있다. 특히 기후적 특성상 실내에서 거주하는 시간이 긴 유럽 국가들은 실내공기 환경의 중요성을 인식하고 실내공기질 관리 규정 및 제도를 도입하고 현재까지 모범적으로 수행하고 있다.
- 독일의 실내공기질 관리에는 환경부 외 여러 부처들이 관련되어 있으며, 부처간에 working group이 결성되어 있다.

2)미국(EPA)

- 실내공기질에 대한 규제는 없으나 학교, 대규모 건축물과 일반 가정집 등의 실내 공기질 유지 및 개선 가이드라인을 제시하고 있다.
- 미국 냉난방공조협회(ASHRAE)와 함께 건물의 설계, 시공, 진단하는 단계에서 공기질을 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.
- 강제성이 없으며 각 주에서 참조하여 활용하고 있다.

3)캐나다

- 캐나다 환경부는 실내오염관리에 대해 작업장 및 주거지의 실내공기질 관리지침을 두고 이에 따라 관리하도록 하고 있다. 관리오염물질은 크게 비발암물질과 발암물질로 나누어 관리하고 있고, 그밖에 생물학적인 오염원과 먼지, 담배연기 등을 포함한 권고기준을 두고 있다. 특히 역학조사와 임상실험 동물실험 결과에 대한 연구와 평가에 기초하여 기준치를 설정하여 관리하고 있기 때문에 각 항목의 설정 근거가 매우 구체적이라는 특징이 있다.

Table 1. IAQ Management policy history

구분	주요내용	비고
지하 생활공간 공기질 관리법 제정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하역사, 지하도상가를 규제대상으로 함 ○ PM10, CO, CO2, HCHO, NO2, SO2, Pb 등 7개오염물질 기준 설정 	제정:1996.12.30 시행:1997.12.31
다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 제정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관리대상시설 확대:2개→17개 ○ 다중이용시설에 대한 유지기준(5종)과 권고기준(5종) 설정 ○ 신축공동주택 측정공고의무 반영 등 	제정:2003.5.29 시행:2004.5.30
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신축공동주택 공기질 권고기준 설정(HCHO등 6종) ○ 대상시설 범위 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 다중이용시설의 범위에 독립된 지하도 상가 외에 지상건물에 딸린 지하도상가, 기숙사(공동주택)를 법적용 대상에 포함 ○ 기존 다중이용시설에 대한 공기정화설비 및 환기설비 설치의무 면제 	개정:2005.5.31 시행:2006.1.1
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상시설 범위 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 영유아보육법에 따라 국립 어린이집(1,000㎡이상)외 법인·직장·민간 어린이집 포함 - 적용규모 대폭 확대 : 1,000㎡ 이상→430㎡ 이상 	개정:2006.9.27 시행:2008.1.1
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상시설 확대 : 영화관, 학원, 전시장, PC방 등 4개 시설군 추가 	개정:2011.12.19 시행:2012.1.1
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상시설 확대 : -대중교통차량(철도, 도시철도, 시외버스) -국공립 노인요양시설 외 민간 노인요양시설 포함 등 	개정:2013.3.22 시행:2014.3.23
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공중이용시설(실내체육관, 실내공연장, 업무시설, 복합용도건축물) 추가 	제정:2016.12.22 시행:2016.12.23
실내공기질 관리법 제정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오염물질 대상 추가 <ul style="list-style-type: none"> -미세먼지(PM2.5), 부유곰팡이 등 7종 	제정:2016.12.22 시행:2018.1.1

Table 2. Standards of IAQ according to the Governor's Departments

구분	환경부	고용노동부	교육부	
관리대상	다중이용시설 (25개 시설군) 신축공동주택 대중교통차량	사무실 (사업장)	학교	
근거법령	실내공기질 관리법	산업안전보건법 (사무실 공기관리 지침)	학교보건법	
측정항목	10개	9개	13개	
유지 기준	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100/150/200	150	100
	CO ₂ (ppm)	1,000	1,000	1,000
	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	120	100
	총부유세균 (CFU/ m^3)	800	800	800
	CO (ppm)	10/25	10	10
권고 기준	NO ₂ (ppm)	0.05/0.3	0.05	0.05
	Rn (Bq/ m^3)	148	-	148
	VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	400/500/1,000	500	400
	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70	-	35
	부유곰팡이 (CFU/ m^3)	500	-	-
기타	석면 (개/cc)	-	0.01	0.01
	오존 (ppm)	-	0.06	0.06
	진드기 (마리/ m^3)	-	-	100
	낙하세균 (CFU/실)	-	-	10

Table 3. Standards for maintenance of IAQ in domestic

오염물질 항목	미세먼지 (PM10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)
다중이용시설					
가. 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 항만시설 중 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 도서관·박물관 및 미술관, 대규모 점포, 장례식장, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업의 영업시설, 목욕장업의 영업시설	150 이하	1,000 이하	100 이하	-	10 이하
나. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집	100 이하			800 이하	
다. 실내주차장	200 이하			-	25 이하
라. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물	200 이하	-	-	-	-

Table 4. Standards for recommendation of IAQ in domestic

오염물질 항목	이산화질소 (ppm)	라돈 (Bq/ m^3)	총휘발성 유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	미세먼지 (PM-2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	부유곰팡이 (CFU/ m^3)
다중이용시설					
가. 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 항만시설 중 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 도서관·박물관 및 미술관, 대규모 점포, 장례식장, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업의 영업시설, 목욕장업의 영업시설	0.05 이하	148 이하	500 이하	-	-
나. 의료기관, 어린이집, 노인요양시설, 산후조리원			400 이하	70 이하	500 이하
다. 실내주차장	0.30 이하		1,000 이하	-	-

Table 5. Foreign management guidelines of IAQ

구분	한국 (환경부)	독일 (Umweltbundesamt)	미국		캐나다	WHO	
			EPA	ASHR AE	Health Canada		
미세 먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10}	100~200 (6hr)	-	150 (24hr)	50 (1yr)	-	20(1yr) 50(24hr)
	$PM_{2.5}$	70(6hr)	25(24hr)	-	-	100(1hr) ¹⁾	10(1yr) 25(24hr)
이산화탄소 (ppm)	1,000 (1hr)	1,000미만(harmless)	-	-	-	-	-
		1,000~2,000(elevated)					
		2,000초과 (unacceptable)					
폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100 (30min)	-	-	120 (30min)	123(1hr) 50(8hr)	100 (30min)	
총부유세균 (CFU/ m^3)	800	-	-	-	-	-	
일산화탄소 (ppm)	10~25	60(30min) 15(8hr)	-	9(8hr)	25(1hr) 10(24hr)	31(1hr)	
이산화질소 (ppm)	-	0.35(30min) 0.06(7days)	0.1(1hr) 0.05(1yr)	0.05	0.25(1hr) 0.05(24hr)	0.10(1hr) 0.02(1yr)	
라돈(Bq/ m^3)	148	-	148	148	-	-흡연자 67(1/100명) 6.7(1/1,000명) -비흡연자 1,670(1/100명) 167(1/1,000명)	
휘발성 유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	400~ 1,000 (30min)	-TVOC 1,000미만(인체에 무해) 1,000~3,000(12개 월 이상 유지되지 않도록 주의) 10,000이상(하루에 한시간 이상 체류 자제)	-	300	-벤젠 가능한 낮은 수준 -톨루엔 15,000(8 hr) 2,300(24 hr)	-에틸벤젠 22,000(1yr) -스티렌 260(7days) -톨루엔 260(7days)	
오존(ppm)	-	0.075 (8hr)	0.075 (8hr)	0.05 (8hr)	0.02 (8hr)	0.05 (8hr)	
부유곰팡이 (CFU/ m^3)	500	-	-	-	500 ²⁾	(-) ³⁾	

1) 요리시 환풍기 사용·실내 금연 등 미세먼지 수치($PM_{2.5}$)를 가능한 낮게 유지하도록 권고

2) 곰팡이 성장을 막기 위해 습도 관리, 물 피해부분 수리, 곰팡이 청소 등을 권고

3) 곰팡이 관리를 권고하고 있으나, 구체적 권고치는 미설정

[출처 : 실내공기질 관리 기본계획(2015~2019), 환경부]

2.2 건강민감계층 이용시설 관리현황 및 기준

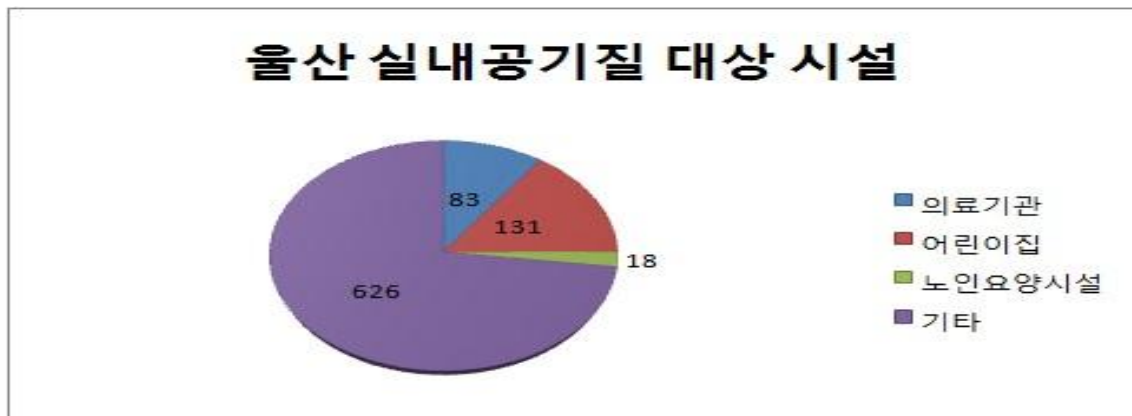
2.2.1 건강민감계층 이용시설 현황

환경부 「실내공기질 관리법」 시행령 2조에 의한 울산광역시 실내공기질 관리 대상 시설 수는 Table 6과 같다.

Table 6. Number of IAQ Management facilities in Ulsan

		울산 전체 대상 시설 수	백분율
다중이용시설+공중이용시설		858	
건강민감계층 이용시설	의료기관	83	9.67 %
	어린이집	131	15.27 %
	노인요양시설	18	2.10 %

Fig 1. Number of IAQ Management facilities in Ulsan



2.3 실내공기질 오염물질별 특성

실내공기질은 실내 환경(Indoor Environment)에서의 건축자재, 생활용품, 거주자활동 등의 여러 가지 조건에 따라 오염물질이 방출될 뿐만 아니라, 외부 공기(Outdoor Air)에서 유입되는 대기오염물질에 의해 크게 영향을 받으며 그 심각성이 가중될 수도 있다.¹⁾

실내공기 오염물질은 크게 가스상 물질과 입자상 물질 및 복합 오염물질로 구분된다. 입자상 물질로는 부유분진, 미생물, 석면 등이 있으며 가스상 물질로는 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물, 폼알데하이드, 오존 등이 있으며, 복합 오염물질로는 담배연기, 개방형 연소기구로부터의 배기가스, 냄새 등이 있다.²⁾

건물의 단열성능과 기밀성능이 향상됨에 따라 복합오염물질에 의한 실내공기질 관리의 중요성이 부각되고 있다.³⁾ Table 7에 실내공기오염에 영향을 미치는 발생원을 구분하여, 발생원별로 배출되는 주요 실내공기오염물질을 요약하였다.

Table 7. Indoor Air Pollutants

구분	발생원	발생오염물질
인간 활동	대화, 재채기, 기침	세균 및 바이러스
	피부	암모니아, 악취
	의류	먼지, 세균, 곰팡이, 폼알데하이드
	화장품	각종 미량물질, 휘발성 유기화합물(VOC_s)
	흡연	먼지, 타르, 니코틴, 각종 발암물질, 휘발성 유기화합물(VOC_s)
	가스	이산화탄소, 일산화탄소, 암모니아, 질소산화물, 탄화수소류
	보행등의 동작	먼지, 세균, 곰팡이
	연소기구	이산화탄소, 일산화탄소, 암모니아, 질소산화물, 휘발성 유기화합물(VOC_s)
	사무기기	암모니아, 오존, 용제류, 휘발성 유기화합물(VOC_s)
건축자재	합판류, 내화재, 단열재, 시공, 발생물	폼알데하이드, 유리섬유, 석면, 접착제, 라돈 및 자핵종, 곰팡이, 진드기
외기	자동차 배기가스	이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물, 탄화수소류, 휘발성 유기화합물(VOC_s), 중금속류
	연료의 연소	먼지, 질소산화물, 황산화물
생활용품	작업 재료	먼지, 곰팡이, 세균
	직접	적사제(불화탄화수소), 살충제, 소독제, 방충제
	재비산	살충제, 살균제, 살소제, 방비제, 방충제

2.3.1 미세먼지(PM10, PM2.5)⁴⁾

먼지란 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 말하는데, 석탄·석유 등의 화석연료를 태울 때나 공장·자동차 등의 배출가스에서 많이 발생한다.

먼지는 입자의 크기에 따라 $50\mu\text{m}$ 이하인 총먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분한다. 미세먼지는 다시 지름이 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 미세먼지(PM10)와 지름이 $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 미세먼지(PM2.5)로 나뉜다. PM10이 사람의 머리카락 지름($50\sim 70\mu\text{m}$)보다 약 1/5~1/7 정도로 작은 크기라면, PM2.5는 머리카락의 약 1/20~1/30에 불과할 정도로 매우 작다.

이처럼 미세먼지는 눈에 보이지 않을 만큼 매우 작기 때문에 대기 중에 머물러 있다. 호흡기를 거쳐 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 들어감으로써 건강에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다.

세계보건기구(WHO)는 미세먼지(PM10, PM2.5)에 대한 대기질 가이드라인을 1987년부터 제시해 왔고, 2013년에는 세계보건기구 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 미세먼지를 사람에게 발암이 확인된 1군 발암물질(Group 1)로 지정하였다.

미세먼지를 이루는 성분은 그 미세먼지가 발생한 지역이나 계절, 기상조건 등에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로는 대기오염물질이 공기 중에서 반응하여 형성된 덩어리(황산염, 질산염 등)와 석탄·석유 등 화석연료를 태우는 과정에서 발생하는 탄소류와 검댕, 지표면 흙먼지 등에서 생기는 광물 등으로 구성된다.

먼지 대부분은 코털이나 기관지 점막에서 걸러져 배출된다. 반면 미세먼지 (PM10)는 입자의 지름이 사람 머리카락 굵기의 1/5~1/7 정도인 10 μ m이하로 매우 작아 코, 구강, 기관지에서 걸러지지 않고 우리 몸속까지 스며든다.

만약 미세먼지의 농도와 성분이 동일하다면 입자크기가 더 작을수록 건강에 해롭다. 같은 농도인 경우 PM2.5는 PM10보다 더 넓은 표면적을 갖기 때문에 다른 유해물질들이 더 많이 흡착될 수 있다. 또한 입자크기가 더 작으므로 기관지에서 다른 인체기관으로 이동할 가능성도 높다.

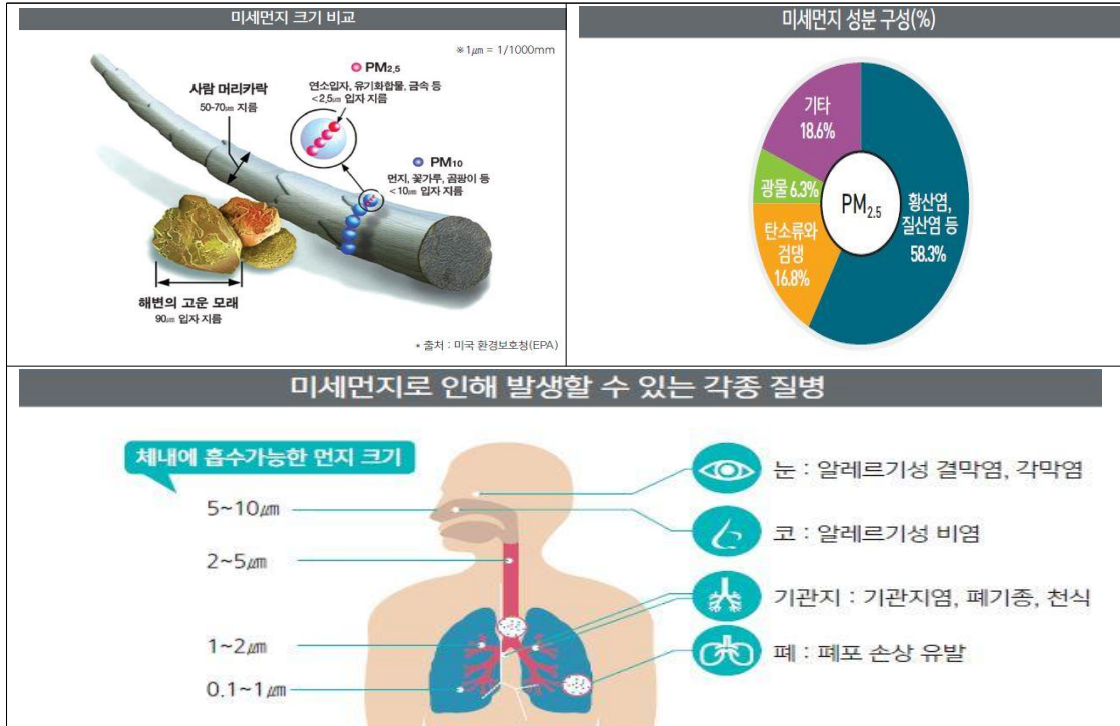
일단 미세먼지가 우리 몸속으로 들어오면 면역을 담당하는 세포가 먼지를 제거하여 우리 몸을 지키도록 작용하게 되는데, 이 때 부작용인 염증반응이 나타난다. 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등 우리 몸의 각 기관에서 이러한 염증반응이 발생하면 천식, 호흡기, 심혈관계 질환 등이 유발될 수 있다.

노인, 유아, 임산부나 심장 질환, 순환기 질환자들은 미세먼지로 인한 영향을 일반인보다 더 많이 받을 수 있으므로 각별히 주의하여야 한다.

Fig 2. Comparison of Particulate matter size

Fig 3. Particulate matter composition

Fig 4. Diseases caused by Particulate matter



2.3.2 이산화탄소³⁾

이산화탄소는 무색, 무미, 무취의 기체로 일반적으로 대기 중에 0.03% 정도 포함되어 있으며, 최근 지구 온난화 가스로 주목받고 있으나 대기오염물질로 분류되지는 않고 있다.

이산화탄소는 주로 실내공기질 또는 환기상태의 척도로 사용되고 있으며, 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 일산화탄소와 함께 중요한 실내 오염물질 중의 하나로 취급되고 있다.

호흡중의 이산화탄소가 3%가 되면 호흡이 커지며 4%가 되면 폐포내의 이산화탄소가 증가하기 시작하고 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다. 단시간이면 5%까지 인내가 가능하나 그 이상이면 호흡곤란이 초래된다. Table 8은 이산화탄소(CO₂)의 허용 농도와 유해농도를 나타내었다.

Table 8. Allowable and hazardous concentration of CO2

농도(%)	의의
0.07	다수가 계속 재실하는 경우의 허용농도
0.10	일반적인 경우의 허용농도, 환기계산에 사용되는 허용농도
0.2~0.5	상당히 불량한 상태
0.5이상	가장 불량한 상태
4~5	호흡중추를 자극하여 호흡의 깊이, 횟수를 증가시키며, 호흡시간이 길면 위험하고 O2의 결핍을 수반하면 장애가 두르러지게 되는 상태
8전후	10분간 호흡하면 강한 호흡곤란, 안면홍조, 두통 등을 일으킨다. O2의 결핍을 수반하면 장애가 빨리 도달하는 상태
18이상	치명적인 상태

2.3.3 폼알데하이드²⁾

폼알데하이드는 상온에서 자극적인 냄새가 나는 무색의 환원성이 강한 기체로 건설재료와 건축물에 널리 사용되는 중요한 화학물질이며, 연소과정에서의 부산물, 흡연, 접착제 등과 기타 자연현상에 의해 발생된다.

일반적으로 폼알데하이드는 신 건축물에서 높게 나타나며 조리, 난로, 기타 연료연소제품의 운전시에도 방출된다. 실내에서 폼알데하이드는 목재제품이나 건축자재, 요소수지, 식물, 접착제 등으로부터 배출되며 농도는 온도, 습도, 건축물의 수명, 실내환기율에 따라 크게 좌우된다.

따라서 폼알데하이드로부터 노출을 줄이기 위해서는 단기적으로 환기시설 확보와 설비를 정기적으로 점검함으로써 운용을 철저히 하여야 하며 장기적으로는 환기설비 용량의 적정성 및 운용 상태를 수시로 점검하여야 한다.

폼알데하이드가 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고 이중 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타난다. 주로 눈, 코 및 목에 대한 자극 작용으로 불쾌감, 재치기, 기침, 구토, 호흡곤란 등 호흡기성 질환과 알레르기성 질환, 폐수종 및 폐간질염, 여성의 생리 불안정 등의 증상을 일으킨다.

실내 및 지하 공간에서 폼알데하이드에 의한 오염을 막기 위해서는 환기 시설을 충분히 가동하여 재실자의 건강상 유해를 방지하여야 한다. 폼알데하이드가 인체에 미치는 영향은 Table 9와 같다.

Table 9. Health Efficiency to HCHO concentration

농도(ppm)	인체에 미치는 영향
0.1~5	눈의 자극, 최루성, 상기도의 자극, 눈, 코, 목의 자극 기관지 천식이 있는 사람에게서 심한 천식 발작
10~20	기침, 폐의 압박, 머리가 무거움, 심장 박동이 빨라짐
50~100	폐의 염증, 구토, 설사, 현기증, 경련, 의식불명

2.3.4 총부유세균⁵⁾

실내공기오염물질은 호흡기질환, 폐질환, 기관지질환, 폐암을 비롯한 각종 질병을 유발시킬 수 있으며 이중 미생물성 물질은 빌딩증후군의 주요 요인으로 취급되고 있다.

총부유세균(TAB)은 ‘Total Airborne Bacteria’의 약자로 실내환경에 존재하고 있는 미생물들은 다습하고 환기가 불충분하며 공기질이 나쁠 경우 잘 증식하게 되는데 전염성질환, 알레르기 질환을 유발시키기도 한다. 이러한 미생물성 물질의 발생은 인간의 활동 및 일반가정에서 사용되는 각종 살포제, 공기정화기, 냉장고, 가습기, 애완동물 등으로부터 기인하며 건물의 닥트 내에 쌓인 먼지는 실내먼지 및 미생물성 물질의 또 다른 발생원이 될 수 있다.

공기 중에 부유하고 있는 먼지나 수증기에는 많은 미생물들이 부착하여 생존하고 있는데 세균수가 먼지의 농도에 비례한다는 사실로 미루어 보아 공기청정도와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

2.3.5 총휘발성유기화합물⁶⁾

유기용제로 통칭되는 휘발성 유기화합물이란, 어떤 물질을 녹일 수 있는 액체상태의 유기화합물을 총칭한 것으로 기름 및 지방을 잘 녹이고 휘발성이 강한 것이 특징이다. 특히 유기용제는 유기물을 녹이고 스며드는 성질이 있어서 피부를 통해 흡수되기 쉽고, 용제의 종류에 따라 침범되는 장기도 달라진다. 휘발성 유기화합물은 현재 건축자재, 세탁용제, 페인트, 살충제 등 실내 생활 속에서 다양하게 사용되고 있다.

이러한 휘발성 유기화합물은 실내의 밀폐화로 인해 실외보다 실내공기 중에서 더 높은 농도를 나타내고 있으며, 환기량이 부족해지는 겨울철에 그 농도가 증가한다. 수백여 종의 휘발성 유기화합물질 중에 주된 물질은 BTX(벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene), 자일렌(Xylene))이며, 이중 독성이 가장 강한 것은 톨루엔이다.

톨루엔은 페인트, 락카, 코팅, 염료, 페인트 제거제, 살충제, 약품 등의 제조공정에서 용제로 쓰이며, 화학물질의 합성, 인조고무, 직물, 그라비아 사진 잉크, 셀룰로오스-에스테르 락카 등의 원료로 쓰이는 등 실내 생활 속에서 다양하게 사용된다.

주요 발생원은 건축자재와 마감재료, 페인트, 접착제, 건물의 유지관리용품(청소용, 각종 세척제 등), 소모성 재료(복사기와 토너), 연소과정의 물질, 방향제, 가구, 화장품, 외부공기 등으로 구분할 수 있다.

한편 미국 환경청에서 50여 종의 건축재료를 선정하여 조사한 결과에 의하면 합판류, 목재의 접착제, 페인트, 비닐이나 고무형 몰딩 등에서 다량의 VOCs 물질이 방출되는 것으로 나타났다. 또한 카펫과 카펫용 접착제도 주요 발생원이며 공기조화설비에서 냉매 가스나 네오프렌 덕트를 사용하는 경우, 요리, 흡연 등 실내에서 일어나는 인위적인 활동들에서도 방출된다. 이러한 배출원들에서 방출되는 VOCs는 생활양식에 따라 실내에서 사용하는 용품들과 활동들이 매우 다르므로 실내 공기 중 VOCs의 종류 및 농도 수준도 각국의 문화와 생활환경에 따라 많은 차이를 나타내고 있다.

Table 10은 건물의 실내에서 발생하는 주요 VOCs 물질과 발생원을 나타낸 것이다. 이들 물질에 대한 실내환경 문제는 건물 준공 후 6개월 이내에 대부분 발생하는 것으로 조사되었으며, 실내공기와 외부공기에 대한 VOCs 물질 농도의 비율은 평균적으로 3:1 정도로 나타나고 있다. 실내에서 발생하는 VOCs 물질과 발생원은 Table 11과 같다.

Table 10. The important VOCs material which occurs from the interior of the building and that generator

주요발생원	대표적 VOCs 물질
[가정용품과 업무용품] 클리너, 왁스, 식품용세제, 방향제	지방족 탄화수소(n-데칸, 알칸), 방향족 탄화수소(톨루엔, 키시린), 할로겐화 탄화수소(염화메틸, 트리클로로에탄, 디클로로벤젠), 알코올, 알데히드, 스텔, 에텔(글리콜에칠), 테르펜
[도료와 관련제품] 도료(오일, 우레탄, 아크릴), 니스, 세라믹 착색제, 도료용 신나	방향족 탄화수소(톨루엔), 지방족탄화수소(n-헥산, n-헵탄), 할로겐화탄화수소(메칠클로라이드), 알코올, 에스텔, 에텔
[접착제] 고무용접, 플라스틱 모형용, 바닥 타일 용접, 세라믹, 카페트용, 다목적용	헥산, 헵탄, 지방족 탄화수소, 할로겐화 탄화수소, 알코올, 유기질소화합물(아민), 아세톤, 에스테르, 에텔
[건축재] 합판, 석고보드, 건축용 접착제, 단열재, 플라스틱 배관, 비닐/플라스틱 마감재	지방족 탄화수소(n-데칸, n-도데칸), 방향족 탄화수소(톨루엔, 스틸렌, 에틸벤젠), 할로겐화탄화수소(비닐클로라이드), 알데히드, 케톤(아세톤, 부타논), 에스텔(우레탄), 에텔
[공조용 시스템] 굴뚝(탄소연료), 가습기 저수조	지방족 탄화수소
[사람과 생물] 담배연기, 실내식물(포자, 화분) 대사에 의한 배출물	3800종을 넘는 화학물질을 포함한 유기질소 화합물(니코틴) 알데히드(포름알데히드, 아세트알데히드, 아크로레인), 케톤(아세톤), 지방탄화수소(메탄), 방향족 탄화수소(톨루엔), 알코올, 농약
[가구와 의류] 카펫, 포장한 가구, 플라스틱제구, 양복, 모포, 매트리스	방향족 탄화수소(스티렌), 할로겐화탄화수소(비닐 클로라이드), 알데히드(포름알데히드), 에텔, 텔
[화장품과 일용품] 향수, 비누, 스프레이, 탈취제	알코올(프로피렌그리콜, 에틸알코올, 이소프로필알코올), 케톤(아세톤), 알데히드(포름알데히드), 에스텔, 에텔
[옥외에서 침입] 공장 배출물, 오염된 지하수	지방족탄화수소, 방향족탄화수소, 할로겐화탄화수소, 알데히드, 케톤, 알코올, 에스텔, 에텔

Table 11. VOCs material and the generator which occur from the interior

VOCs 물질	주요발생원
벤젠	연기, 세척 및 청소용품, 페인트 제거제, 접착제, 파티클 보드
디클로로벤젠	방향제, 쯤약
펜타클로로벤젠	목재보존제, 곰팡이제거제, 제충제
부틸아세테이트	락커
톨루엔, 자일렌	페인트, 바닥용 왁스, 니스, 염료착제, 등유용 난방기구, 벽지, 코킹 및 실런트제품
스티렌	담배연기, 코킹제, 발포형 단열재, 섬유형보오드

대부분의 유기용제는 마취작용을 하고 있으며 일시에 다량으로 흡입할 경우에는 마취작용을 나타내지만 소량을 오랫동안 반복하여 흡입하면 만성중독을 일으키게 된다. 유기용제들은 졸음이 오거나, 의식을 잃게 되거나, 계속적으로 흡입할 경우 사망에까지 이를 수 있는 중추신경 장애를 유발하기도 하며 위장에 영향을 미쳐 소화기 장애를 일으키기도 하고, 코의 점막에 염증을 일으켜 호흡기장애를 유발시키기도 한다. 또한 신장과 간장의 장애를 유발하기도 하며 조혈장기인 골수에 직접 작용하여 조혈기능의 장애를 일으키기도 한다. TVOCs 농도와 건강의 영향에 대해 Table 12에 나타내었다.

Table 12. The TVOCs consistency and healthy effect

분류	농도(총 VOCs) [mg/m ³]
영향 없음	< 0.3
건강영향 발생 가능	0.3 ~ 3.0
건강영향 발생	3.0 ~ 25
독성 범위	> 25

VOCs에 의한 인체영향은 오염물질의 종류와 노출농도, 기간, 다른 오염물질과의 복합 노출 여부, 개인의 감수성 등에 따라 다르게 나타난다. 벤젠과 1-3부타디엔, 포름알데히드, PAHs는 각각 백혈병, 비암, 폐암을 유발할 수 있는 잠재력을 지니고 있으며, PCBs, PTCs, 다이옥신, 퓨란은 인체 유전독성 유발물질로 알려져 있다. 급성장해로는 가장 보편적인 것이 중추신경계를 억제하는 마취작용이며, 만성장해로는 중추신경계 장애와 말초신경 장애를 들 수 있다.

실내의 총 VOCs 농도가 400 μ g/m³ 정도에서 재실자는 불쾌감을 호소하기 시작하고, 600 μ g/m³의 농도에서 20% 정도의 재실자가 자극을 느끼며, 가벼운 두통 등의 증상을 호소하게 된다. 1000 μ g/m³ 정도의 농도에서는 인간의 지각(냄새 등)으로 오염물질을 감지할 수 있는 정도가 된다. VOCs 중 벤젠은 급성중독일 경우 마취증상을 강하게 나타내어 호흡곤란, 불규칙한 맥박 등을 초래한다. 만성중독일 경우 혈액장

에, 간장장애, 재생불량성 빈혈, 백혈병을 일으키기도 한다. 툴루엔은 피부, 눈, 목안 등을 자극하며 피부와 접촉하면 탈지작용을 일으키기도 한다. 또한 두통, 현기증, 피로 등을 일으키며 고농도에 노출될 경우 마비상태에 빠지고 의식을 상실하며 때로는 사망에 이르기도 한다. 자일렌에 의해서는 성장장애, 태아 독성영향, 임신독성 등의 영향을 받는다. 조혈기능의 장애를 일으키기도 한다.

2.3.6 부유곰팡이⁷⁾

곰팡이란 미생물의 한 종류이며, 어둡고 축축한 환경에서 균사라고 불리는 다세포의 미세한 실(filamentous) 형태로 자라는 균류다.

곰팡이는 높은 습도, 수분, 따뜻한 온도, 약간의 영양분만 있다면 벽이나 바닥 표면, 실내 식물, 음식 등에 언제라도 자랄 수 있다. 따라서 습도 및 온도 관리가 잘 되지 않거나 청결하지 못한 환경 등은 곰팡이를 번식 시킬 수 있는 원인으로 작용한다.

실외에서 곰팡이는 낙엽과 죽은 나무와 같은 죽은 유기물을 분해하는 역할을 담당하며 주로 토양이나 나무 등에서 번식하는 자연 환경의 일부이다. 곰팡이 균의 포자는 육안으로는 잘 보이지 않지만 항상 공기 중에 떠다니고 있다.

하지만 실내에서의 곰팡이 성장은 피해야 한다. 곰팡이 포자가 실내의 벽이나 천장 등 습기가 있는 표면에 내려앉을 경우, 실내에서 곰팡이가 번식을 시작할 수 있다. 건물 내에서 곰팡이가 자랄 경우, 실내 공기질에 악영향을 미칠 수 있다. 곰팡이는 건강에 해를 끼칠 수 있는 화학 물질 및 포자를 방출하기 때문이다. 이로 인해 천식이나 알레르기 비염과 같은 알레르기 질환 및 폐 또는 호흡기 감염을 포함한 기타 증상 등을 유발 할 수 있다.

WHO 및 미국 의학연구원 등에 따르면 곰팡이는 천식, 아토피피부염, 만성 호흡기 질환 등 알레르기 질환을 일으키는 물질로 규정 되어져 있다.

곰팡이에 민감한 사람은 일시적으로 코 막힘, 눈 가려움, 호흡곤란, 숨 막힘, 피부 자극 같은 증상이 나타날 수 있으며, 특히 만성폐질환을 갖고 있거나 어린이, 노인, 임산부, 환자 등 면역체계가 약한 사람들과 건물 내에서 많은 시간을 보내는 사람들의 경우 곰팡이에 더욱 취약 할 수 있다.

면역력이 약한 사람들에게서 대표적으로 아스퍼질러스 감염증(Aspergillosis)이 일어날 수 있다. 이 병은 아스퍼질러스(aspergillus)라는 곰팡이의 포자가 공기중에 떠

다니다가 호흡을 통해 신체 내로 들어와 호흡기가 감염되는 질병이다. 대다수의 건강한 사람들은 이 곰팡이에 노출되어도 감염증이 일어나지 않지만, 면역 기능에 문제가 있는 사람들은 이 질병이 생길 수 있다. 따라서 이 질병은 공기를 매개로 전염되기 때문에 비강(부비동)이나 기관지, 허파와 같은 호흡기 계통의 감염이 일차적으로 일어난다. 드물지만 전신으로 퍼져 다른 장기에 감염이 발생할 수도 있다.

2.4 실내공기질 건강위해성평가

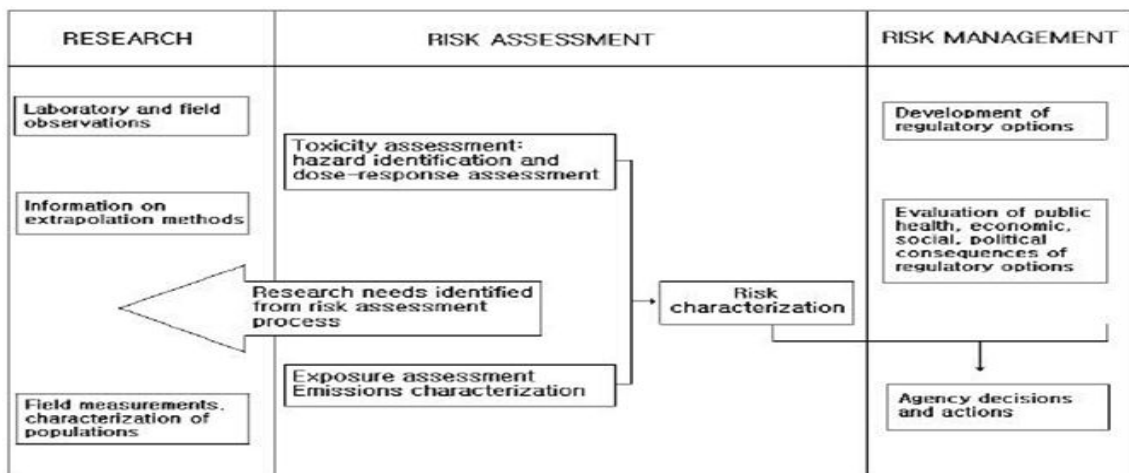
건강위해성평가는 어떤 독성물질이나 위험상황에 노출되어 나타날 수 있는 개인 혹은 집단의 건강피해확률을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과학적인 과정이라 정의할 수 있다.⁸⁾ 인체에 노출되는 화학물질의 위해성의 크기는 '그 화학물질이 사람에게 노출되었을 때 부작용의 강약(유해성)'과 '어느 정도 양에 노출되어 있는가(노출량)'에 의해서 결정된다.⁹⁾ 따라서 위해성과 유해성의 관계를 도식화하면 다음과 같다.

$$\text{위해성(Risk)} = \text{유해성(Hazard)} \times \text{노출(Exposure)}$$

위해성평가는 오염물질의 노출 특성을 반영하되, 실내공기를 매개로 한 오염물질이 평가대상이기 때문에 호흡으로 인한 단일노출 경로만을 가정하여 수행한다.

위해성 평가방법이 가장 보편적인 절차는 미국국가연구위원회(National Research Council ; NRC)에 의해 고안된 유해성 확인(Hazard Identification), 용량-반응 평가(Dose-response Assessment), 노출평가(Exposure Assessment) 및 위해도 결정(Risk Characterization)의 4단계이다.¹⁰⁾

Fig 5. Process of risk assessment and management



[출처 : US NRC (2012) A Proposed Risk Management Regulation Framework]

2.4.1 유해성 확인

유해성 확인은 위해성 평가를 하기 위한 기초 단계로 관심 화합물이 인체에 유해한 영향을 유발시키는가를 결정하기 위해 이용할 수 있는 모든 적절한 자료를 수집하는 데서부터 출발한다. 위험성 확인단계에서 수집한 자료를 과학적이고 통계학적인 질(Quality)을 바탕으로 평가한다.¹¹⁾

즉, 위험성 확인에 필요한 자료로는 역학자료(Epidemiological study), 독성자료(Toxicological study), 인체를 대상으로 한 인위적 실험자료(Controlled human experiments), 물리화학적 성질에 관한 자료 등이 있다.¹²⁾

역학연구 결과 등 타당한 인체자료가 있을 경우 동물 실험 자료보다 우선적으로 검토하며, 동물 및 시험관내(in vitro) 독성시험연구 자료는 인체 연구 결과의 불충분한 증거를 보완할 수 있는 자료로 이용할 수 있다. 이 자료들은 발암, 비발암 물질에 대한 위험성 확인의 기본 자료로 이용된다.

이러한 자료는 일반적으로 환경부 화학물질정보시스템(National Chemicals Information System; NCIS), EPA의 IRIS (Integrated Risk Information System), OECD의 SIDS (Screening Information Data Set), EU의 ECA (European Chemicals Agency)에서 제시한 데이터를 이용한다. 오염물질의 유해성을 확인하기 위한 자료를 관계된 데이터베이스를 활용하여 검색한다면 많은 시간과 비용을 절약할 수 있다.

2.4.2 용량-반응 평가

용량-반응 평가는 유해한 영향이 어느 정도의 노출량으로 발생하는지를 조사하는 과정이며 일반적으로 역치(threshold) 존재의 유·무에 기본 가정을 두고 발암물질과 비발암물질로 구분하여 가능한 정량적인 방법으로 수행한다. 역치는 그 이하의 노출수준에서 건강 영향이 없는 지점을 의미한다.¹³⁾

발암성 물질은 인체에 노출 되었을 때 건강에 안전한 농도(역치)가 존재하지 않으며, 적은 용량에 노출되어도 암 발생 가능성이 증가한다. 발암성 물질의 독성정보는 Unit risk 혹은 CSF를 이용한다. Unit risk의 경우 일일 호흡률이 고려된 정보로 $\mu\text{g/L}$ 또는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 발생하는 위해도로 나타내고, CSF의 경우 체중 1 kg당 1 mg 용량의 오염물질에 노출될 경우 증가하는 발암 확률을 의미하며 $(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})^{-1}$ 로 표현된다.¹⁴⁾

비발암물질은 역치용량 이상에 노출되어야 유해영향이 관찰된다는 가정을 전제로 하고 있다. 비발암물질은 동물실험에서 얻은 무영향관찰용량(No Observable Adverse Effect Level ; NOAEL)을 사용하여 불확실성(Uncertainty Factor, UF)을 보정한다. 그러나 이 수준을 결정하기란 쉽지 않으므로 영향이 관찰되는 최소영향관찰용량(Lowest Observable Adverse Effect Level ; LOAEL)을 찾기도 한다. 이러한 관찰수준을 근거로 독성참고치(Reference concentration ; RfC) 또는 기준노출량(Reference dose ; RfD)을 결정한다.¹⁵⁾

2.4.3 노출 평가¹⁴⁾

노출 평가는 다양한 노출 경로를 고려하여 예상되는 오염물질의 노출량을 결정하는 단계이다. 먼저 매체, 경로 및 노출 대상을 고려하여 노출 시나리오를 설정하고, 해당 매체에서 오염물질의 농도를 직접 측정하거나 기존 문헌의 측정 자료를 수집하여 평균, 중간값, 표준편차 등 오염농도에 대한 다양한 정보를 확보해야 한다.

오염농도 자료의 확보 방법은 용도에 따라 결정론적 방법과 확률론적 방법으로 나뉜다. 결정론적 방법으로 위해성평가를 수행 시, 오염농도 실측값에서 CTE(Central Tendency Exposure)값과 RME(Reasonable Maximum Exposure)값을 확보한다. CTE값은 변수들의 평균 혹은 중앙값 등의 대푯값으로 나타내고, RME값은 일반적으로 95 분위수로 나타낸다.

노출 평가를 위한 노출량을 산정할 때 대상 시설의 노출 시나리오별 인체 노출량은 노출 시기별 노출 조건을 고려할 수 있도록 수식을 일부 변형하여 적용하였다.

$$LADD = \frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times LT}$$

여기서, LADD : Life Average Daily Dose(mg/kg/day)

C : Contaminant concentration(mg/m³)

IR : Inhalation rate(m³/(day/24))

ET : Exposure time for exposure scenario(hr/day)

EF : Exposure frequency(day/yr)

ED : Exposure duration(yr)

BW : Body weight(kg)

LT : Lifetime(day)

LADD를 산정하기 위해서는 다양한 노출 계수가 필요하다. 문헌 연구 혹은 설문 조사로 필요한 계수를 확보해야 한다.

2.4.4 위해도 결정

위해도 결정은 용량-반응 평가와 노출 평가를 통해 수집 및 산출한 정보를 종합하여 그것을 바탕으로 대상 인구집단이 오염물질에 노출되어 건강위해가 발생할 확률을 결정하는 단계이다.

발암성 물질의 경우, 용량-반응 평가에서 수집한 CSF와 노출 평가를 통해 산출한 LADD를 곱하여 초과 발암 위해도(Excess Carcinogenic Risk, ECR)을 산정하여 발암 위해도를 정량화한다. 산정된 ECR은 허용 위해도(Risk criteria)와 비교하여 이를 초과하지 않으면 허용 가능한 수준으로 간주한다. US EPA에서는 인체를 보호하기 위해 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 의 허용 위해도를 제시하고 있다.

$$ECR = CSF \times LADD$$

비발암성 물질의 경우, 용량-반응 평가에서 수집한 RfD 혹은 RfC와 노출 평가를 통해 산정한 LADD를 비교하여 유해지수(Hazard Quotient, HQ)를 산출하고 비발암 위해도를 정량화한다. 호흡 노출을 경로로 하는 RfC를 이용하여 HQ를 산출 할 때는, LADD의 단위와 일치하도록 체중과 호흡률로 보정한 값을 사용하도록 한다. HQ는 0.1~1 초과 여부를 고려하여 위해 수준을 평가하였다.

$$HQ = \frac{LADD}{RfC \times BW \times IR}$$

현재 일반 규제물질(PM10, CO2, 총부유세균, PM2.5, 곰팡이)에 대한 발암력이나 단위 위해도의 자료는 없는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 대상물질에 대한 위해 평가를 위하여 유럽위원회(EC)에서 사용하는 ExternE. 연구의 사망 위해성 평가방법(EC, 1997)을 적용하였으며 ExternE. 연구에서는 다양한 대기오염과 각종 배출원에 대한 규제를 위해 대기오염물질에 대한 역학연구자료와 지역별 배출량, 오염농도, 거주자 수에 대한 자료를 활용하여 예측 사망율을 추정하였다.

일반 규제 물질은 중 PM10은 노출 평가를 통하여 산정한 LADD와 단위 사망 위해도를 곱하여 질병 사망 위해도(Disease-death Risk)를 산출할 수 있다.

$$Disease\ death\ risk = LADD \times Deathrate$$

본 연구에서는 실내공기 중 오염물질 중 독성 정보가 아직 충분하지 않은 CO2, 총부유세균, PM2.5, 곰팡이에 의한 건강영향의 가능성을 파악하기 위하여 safety factor의 개념에서 기준 초과비를 산출하였다.

safety factor는 아래의 식을 이용하여 산출하였으며, “1”을 기준으로 “1”을 초과하면 건강상의 유해영향이 발생될 가능성이 높으며, “1” 미만일 경우에는 건강상의 유해영향이 존재하지 않을 가능성이 높음을 의미하는 지표이다.

$$S = \frac{C}{TRV}$$

여기서 C는 오염물질의 농도, TRV(Toxicological reference value)는 오염물질의 독성을 기초로 한 국내외 기준치 또는 권고치를 적용하여 산출하였다.¹⁶⁾

본 연구에서는 실내 오염물질 중 CO₂, 총부유세균, PM_{2.5}, 곰팡이의 건강위해성 평가를 위하여, 환경부 「실내공기질 관리법」에서 제시하는 유지기준, 권고기준을 건강유해영향이 고려된 기준이라는 가정 하에 TRV로 적용하여 safety factor를 산출하였다.

III. 연구내용 및 방법

3.1 연구대상시설의 현황

본 연구는 2018년 4월~11월까지 울산지역에 위치한 총 858개소(2018년 기준) 다중이용시설 중에서 건강민감계층 이용시설(의료기관, 어린이집, 노인요양시설) 총32개소를 대상으로 실내공기질 유지기준인 미세먼지(PM10), 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균 4항목과 2018년 1월 1일 추가된 권고기준인 미세먼지(PM2.5), 부유곰팡이 2항목 외 휘발성유기화합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 스타이렌, 자일렌) 5항목까지 총 11항목에 대하여 분석하였다.

Fig 6. Sampling Site

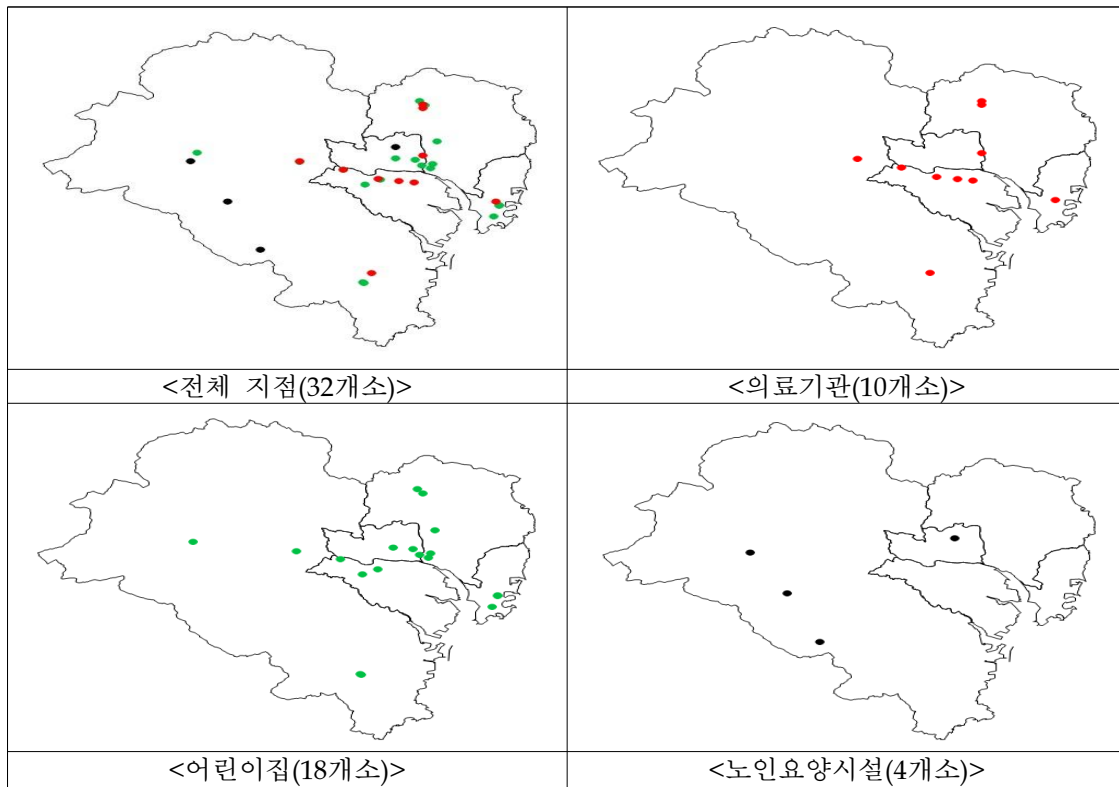
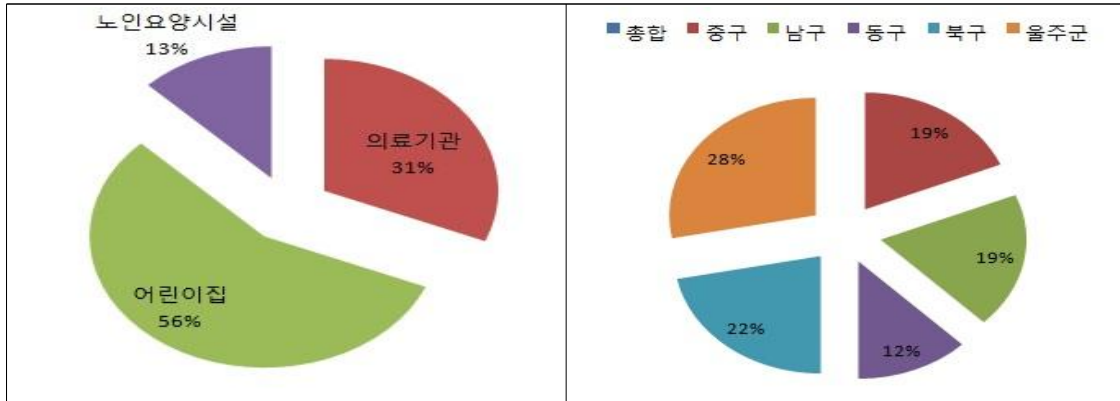


Table 13. Sampling site and number of facilities

시설명	총합	중구	남구	동구	북구	울주군
전체	32	6	6	4	7	9
의료기관	10	2	3	1	2	2
어린이집	18	3	3	3	5	4
노인요양시설	4	1	-	-	-	3

Fig 7. Investigation point by facilities and by gu, gun



3.2 시료채취방법(출처 : 실내공기질 공정시험기준, 2017)

환경부 실내공기질 지도·점검 지침에 따라 지도·점검 계획을 수립하여 시료채취를 실시하였다.

3.2.1 시료채취지점 선정

시료채취장소 및 지점 수는 측정하려는 대상 시설의 구조와 용도, 예상되는 오염 물질 발생원의 분포 및 발생강도, 환기설비의 설치위치와 운용패턴, 시설의 이용 빈도 및 특성 등을 사전에 충분히 고려하여 다음과 같이 결정한다.

가) 대상 시설이 여러 개의 동과 층으로 구성되어 있는 경우, 시설의 용도 및 사용 목적을 대표할 수 있는 기준 동과 층을 위주로 하여 측정지점을 선정한다. 건물의 용도와 사용목적의 중요도에 따라 여러 개의 동과 층에서 측정지점을 선정할 수 있다.

나) 대상 시설의 동일 층 내에서도 시설의 구조특성과 용도가 달라서 실내공기질이 명확히 다를 것으로 예상되는 경우에는 공간을 구분하여 측정지점을 별도로 선정할 수 있다.

다) 대상 시설의 최소측정지점 수는 건물의 규모와 용도에 따라 결정한다.

Table 14. The minimum number of sampling points decision in multi-use facilities

다중이용시설의 연면적(m ²)	최소 시료채취지점 수
10,000 이하	2
10,000 초과 ~ 20,000이하	3
20,000이상	4

※ 실내외 공기는 침기와 환기 절차에 의해 상시 교환이 일어나기 때문에 실외공기를 동시에 측정 해서 실내공기측정값 검토 시 활용할 수 있다. 따라서 필요시에는 대상시설 건축물로부터 최소 1 m 이상 떨어져서 실외공기시료를 채취해야하며, 시료채취 당시의 온도, 습도, 풍속 등 물리적 환경 인자에 관한 정보를 기록한다.

3.2.2 시료채취위치

시료채취 위치는 환기시설의 위치, 시설 이용자의 다수여부, 오염물질 발생원의 분포, 실내기류 분포, 공기질의 대표성 등을 고려하여 다음과 같이 선정한다.

가) 시료채취 위치는 주변시설 등에 의한 영향과 부착물 등으로 인한 측정 장애가 없고, 대상 시설의 오염도를 대표할 수 있다고 판단되며, 시설을 이용하는 사람이 많은 곳으로 선정한다.

나) 시료채취는 인접지역에 직접적인 오염물질 발생원이 없고, 시료채취지점의 중앙점에서 바닥면으로부터 1.2 ~ 1.5 m 높이에서 수행한다. 만약 이것이 불가능하다면 시료채취지점의 모든 벽으로부터 1 m 이상 떨어지고, 바닥면에서 1.2 ~ 1.5 m 높이에서 시료를 채취한다.

다) 측정지점에 자연환기구나 기계환기설비의 급배기구가 설치되어 있는 경우에는 급배기구에서 가능한 멀리 떨어진 곳(최소한 1 m 이상)에서 채취하며, 다수의 환기 및 급배기구가 존재할 경우는 인접한 환기구 설치지점의 중간지점을 채취지점으로 한다.

라) 다중이용시설별 시료채취위치의 예는 Table 15에 나타내었다.

Table 15. For the sampling location of a facilities used for Health sensitive groups

대상시설	시료채취위치의 예	비고
의료기관	로비, 대기공간 등	
보육시설	보육실, 놀이공간, 식당, 로비 등	
노인복지시설	침실, 휴식공간, 식당, 강당, 로비 등	
산후조리원	로비, 대기공간 등	

3.2.3 시료채취조건

다중이용시설에서 시료채취는 오전 8시부터 오후 8시 사이인 주간시간대에 해당 시설이 실제 운영하고 있는 조건과 동일한 환경상태(온도, 습도 등)에서 실시한다. 자연환기구가 설치되어 있거나 기계환기설비가 가동되는 대상 시설의 경우, 채취지점이 이러한 공기유동경로 및 기류 발생원 주변에 위치하지 않도록 최대한 주의한다. 단, 지하역사 승강장 등 불가피하게 기류가 발생하는 곳에 한해서는 실제조건하에서 시료채취를 수행한다.

※ 황사경보와 황사주의보 발령 시 다중이용시설 실내 공기 시료 채취는 실시하지 않는다.

3.2.4 오염물질별 시료채취시간 및 횟수

실내공기 오염물질의 특성, 잠재적인 건강영향, 발생원의 방출특성, 분석방법의 정량한계, 측정목적에 따라 시료채취시간 및 횟수는 결정된다. 다중이용시설에서 실내공기를 채취할 경우, 대상 시설의 오염도를 대표할 수 있으며 시설의 이용객이 많은 시간대에 실시하도록 한다.

실내공기 오염물질별 시료채취시간 및 방법은 Table 16과 같다. 시료채취여건 상 불가피할 경우(파과, 정량한계 미만 등)에 한하여 시료채취유량 및 채취시간을 조절하여 시료채취량을 조정할 수 있다.

Table 16. Sampling time and Sampling method

실내공기오염물질	시료채취시간	분석방법	분석 장비
휘발성유기화합물	주간시간대 (오전9시~오후18시) 0.1L/min으로 30분간 연속 2회 측정	고체흡착관과 기체크로마토그래프- MS/FID법	Agilent 7890B/977A MSD
폼알데하이드	주간시간대 (오전9시~오후18시) 0.5L/min으로 30분간 연속 2회 측정	2,4 DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프 법	UPLC, Waters
미세먼지(PM10)	주간시간대 (오전9시~오후18시) 5L/min으로 6시간 측정	중량법	Mini-volume Air Sampler, TAS, Airmetrics
이산화탄소	1시간	비분산적외선법	G-150, Geotech
총부유세균	오전9시~오전12시 100L/min으로 2분간 측정	충돌법	Bio Air Sampler, MAS-100, Merck
미세먼지(PM2.5)	주간시간대 (오전9시~오후18시) 5L/min으로 6시간 측정	중량법	Mini-volume Air Sampler, TAS, Airmetrics
부유곰팡이	오전9시~오전12시 100L/min으로 2분간 측정	충돌법	Bio Air Sampler, MAS-100, Merck

3.3 오염물질 분석방법

3.3.1 미세먼지(PM10), 미세먼지(PM2.5)

미세먼지(PM10 및 PM2.5)는 여과지에 공기를 채취하여 채취전후의 여과지 중량의 차이를 이용하여 농도를 측정하는 방법인 중량법을 사용하였다. 시료채취는 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이에서 Mini-volume Air Sampler를 이용하여 5.0L/min의 유량으로 6시간동안 포집하였으며, 포집필터로는 2 μ m Pore Size Filter(MTL)을 사용하였다. 여과지는 흡인공기가 함유하고 있는 공기 중의 수분에 의한 영향을 줄이고, 측정을 전후해서 항온항습상태를 일정하게 유지시킬 수 있도록 데시게이터에서 온도 범위 온도 (20 \pm 2) $^{\circ}$ C, 상대습도 (35 \pm 5) %, 일정온습도 범위로 유지되는 조건에서

24시간 이상 보관하여 항량시켰다가 0.0001mg 이상의 감도를 갖는 분석용 저울 (XP2U, Mettler Toledo)로 중량을 측정하였다.

Fig 8. Sampling equipment for PM10, PM2.5



3.3.2 이산화탄소

이산화탄소는 특정 파장의 적외선을 흡수하는 특성을 이용한 비분산 적외선법을 이용한 측정기(G-150)을 사용하여 측정하였으며, 2~3분마다 연속 측정된 값을 1시간 평균하여 사용하였다.

Fig 9. Sampling equipment for Carbon Dioxide



3.3.3 폼알데하이드

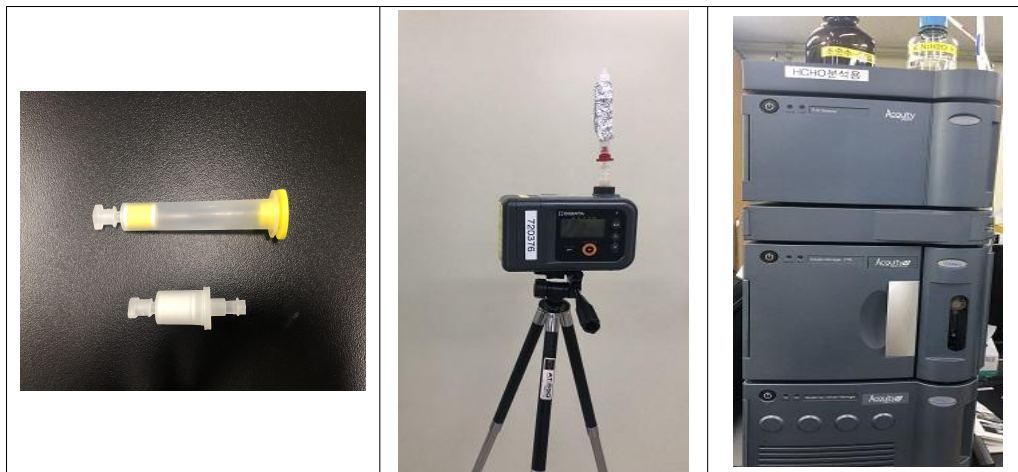
폼알데하이드는 2,4-DNPH로 코팅된 카트리지를 이용하여 공기로부터 채취하고 자외선 흡수법에 의한 고성능 액체크로마토그래프에 의해 분석하여 실내공기에서 방출되는 폼알데하이드의 농도를 측정하는 방법을 사용하였다.

시료채취는 2,4-DNPH 카트리지(LpDNPH S10, Supelco)에 오존스크리버(Supelco)를 연결하고, 0.5L/min 유량으로 흡인펌프(MP-Σ100H, Sibata)를 사용하여 30분간 2회에 걸쳐 포집하였다. 시료 채취시 현장이중시료 분석 및 카트리지 파과용량 평가도 병행하여 시료채취 및 운반·보관기간동안 발생될 수 있는 교차 오염을 확인하였다. 포집이 완료된 시료는 알루미늄호일과 PE bag으로 밀봉하여 실험실로 운반하였으며, 전처리 전까지는 4℃ 이하에서 냉장 보관하였다. 폼알데하이드의 분석조건은 Table 17과 같다.

Table 17. Analytical Conditions of UPLC

Parameters	Conditions
System	Waters Acquity H class
Column	Waters BEH C18, 1.7mm
Mobile phase	acetonitrile:H2O =40:60
Injection volume	2 μ l
Flow rate	0.5ml/min
Detector	UV-VIS absorbancedetector(at360nm)

Fig 10. Sampling equipment for HCHO

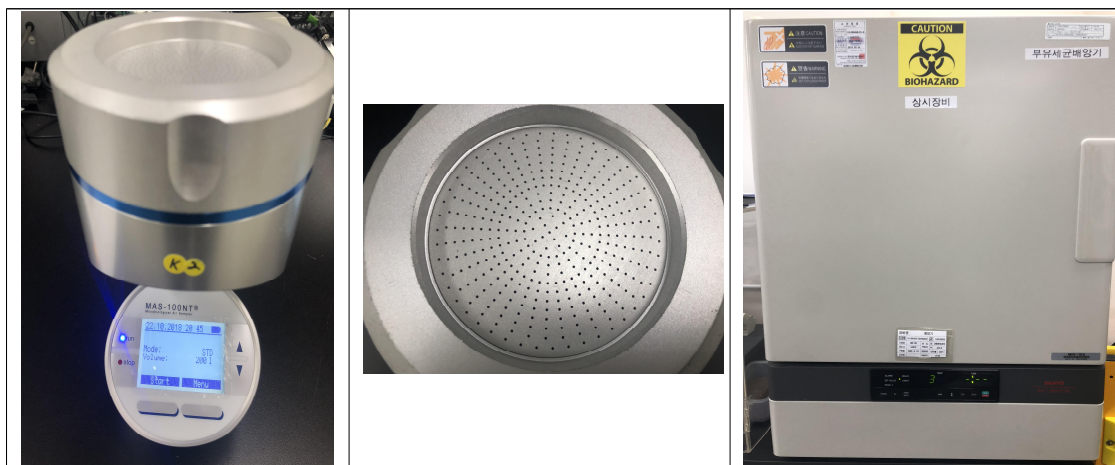


3.3.4 총부유세균

총부유세균은 세균배양용 배지가 장착된 채취기를 이용하여 공기 중 미생물이 배지에 충돌하는 원리를 이용하여 농도를 측정하는 방법을 사용하였으며, Bio Air Sampler, (MAS-100, Merck)를 이용하여 실내공기를 100L/min으로 2분간 3회에 걸쳐 채취하였다. 완성 배지(Tryptic soy agar, Merck)에 실내공기를 포집하였다.

포집기의 리드부분은 시료채취 전 70% 에탄올로 소독하여 105℃에서 건조하여 사용하였으며, 매 배지를 측정하기 전 알코올 솜으로 한 번 더 소독하여 수분을 제거한 후 포집을 진행하였다. 포집이 완료된 시료는 파라필름으로 밀봉한 후, 직사광선을 피해 실온에서 보관하여 실험실로 운반하였으며, 배양기(Mir-162, Sanyo)에서 35℃ ±1℃로 배양하였고 배양 증식되는 세균의 확산으로 인해 계수가 곤란할 경우를 대비하여 24시간 단위로 증식상태를 관찰하였으며, 48시간 배양종료 후 배지의 세균 집락수를 colony counter를 이용하여 측정하고 세균집락수를 포집공기량으로 나누어 단위체적당 집락 수(CFU/m³)를 산출하였다.

Fig 11. Sampling equipment for Airborne Bacteria



3.3.5 총휘발성유기화합물

총휘발성유기화합물은 고체흡착관을 이용하여 시료를 채취하고 열 탈착 전 처리한 후 기체크로마토그래프-MS/FID로 분석하여 농도를 측정하는 방법을 사용하였다.

시료채취는 흡착관(Tenax tube, Markes)을 연결한 흡인펌프(MP-Σ30, Sibata)를 사용하여 0.1L/min의 유량으로 30분간 2회 연속 채취하였다. 포집된 시료의 분석은 열탈착장치(UNITY/ULTRA TD Auto Sampler, Markes, UK)와 가스크로마토그래프/질량분석계(GC/MSD 7890, Agilent)를 이용하여 분석하였다.

기기의 분석조건은 Table18에서 나타내었다.

Table 18. Operation condition for automatic thermal desorption(TD) and GC/MSD analysis

분석기기	Parameters	Condition
TD (Markes)	Desorption temperature	280℃
	Desorption time	5min
	Cold trap	(Carbopack B+Carboxen 1000+Carbosieve SIII)
	Carrier gas	20psi
	Cold trap low temperature	-30℃
	Cold trap high temperature	300℃
	Cold trap Desorption flow	10ml/min(Column flow 1ml+Split flow 9ml)
GC/MS (Agilent 7890B/59 77A MSD)	Split ratio	10:1
	Column	DB1-MS(60m×0.25mm×0.25um)
	Oven temp.	60℃(2min)→5℃/min℃→150℃→50℃/min→ 320℃(0min)
	MS source temperature	230℃
	Electron energy	75EV
	Scan mass range	20~300amu

Fig 12. Sampling equipment for VOC



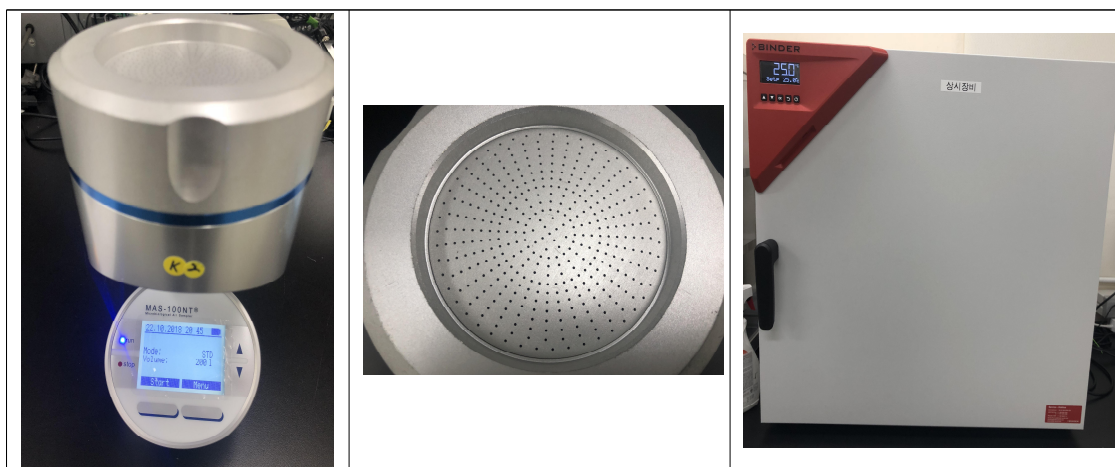
3.3.6 부유곰팡이

부유곰팡이는 곰팡이배양용 배지가 장착된 채취기를 이용하여 공기 중 부유곰팡이가 배지에 충돌하는 원리를 이용하여 농도를 측정하는 방법을 사용하였으며, Bio Air Sampler,(MAS-100, Merck)를 이용하여 실내공기를 100L/min으로 2분간 3회에 걸쳐 채취하였다.

완성 배지(Ready Media Malt Extract Agar, KisanBio)에 실내공기를 포집하였다. 포집기의 리드부분은 시료채취 전 70% 에탄올로 소독하여 105℃에서 건조하여 사

용하였으며, 매 배지를 측정하기전 알코올 솜으로 한 번 더 소독하여 수분을 제거한 후 포집을 진행하였다. 포집이 완료된 시료는 파라필름으로 밀봉한 후, 직사광선을 피해 실온에서 보관하여 실험실로 운반하였으며, 배양기(Bd115,Binder)에서 $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 배양하였고 배양 증식되는 세균의 확산으로 인해 계수가 곤란할 경우를 대비하여 24시간 단위로 증식상태를 관찰하였으며 5일 뒤 배양종료 후 배지의 세균집락수를 colony counter를 이용하여 측정하고 세균집락수를 포집 공기량으로 나누어 단위체적당 집락 수(CFU/ m^3)를 산출하였다.

Fig 13. Sampling equipment for Airborne Mold



3.4 내부정도관리

분석시료의 신뢰도 제고를 위하여 내부정도관리를 실시하였다. 환경부 실내공기질 공정시험기준(국립환경과학원 고시 제2017-58호)에 준하여 기기를 사용하여 분석하는 폼알데하이드, VOCs에 대하여 수행하였다. 방법검출한계(Method Detection Limit : MDL), 머무름 시간(Retention Time : RT) 및 분석농도의 정밀도(Relative Standard Deviation : RSD), 정확도, 검정곡선 작성 및 검증 등을 측정하였다.

방법검출한계는 검출한계에 이를 것으로 예상되는 대상물질의 농도를 7회 반복 측정 후, 이 농도 값을 바탕으로 하여 얻은 표준편차에 3.14(7회 반복분석에 대한 99% 신뢰구간에서의 자유도 값)를 곱하여 산정한다. 검출한계를 추정한 결과, VOCs는 물질별로 0.39~1.23 ppb, 폼알데하이드는 $0.0011 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

정밀도, 정확도 및 재현성은 calibration curve의 농도범위 안에 있는 대상물질을 4회 반복 분석하여 측정하였다. VOCs 및 폼알데하이드 모두 분석의 정확도는 20% 범위, 재현성은 머무름 시간에 대하여 1% 미만, 면적에 대하여 5%미만을 만족하였다. 또한 검량선 작성 결과, 결정계수 r^2 값은 0.99이상이었다.

3.5 실내공기질 영향요인 상관성 분석

실내공기질에 주로 영향을 주는 요인을 확인하기 위하여 실내공기질 영향요인 상관성 분석을 수행하였다. 각 시설의 실내공기질 측정 시 작성된 다중이용시설 지도·점검표 및 설문조사를 참고로 시설별 일반 현황에 대한 내용을 확보하였고, 조사 내용과 실내공기질 실태조사의 결과를 바탕으로 상관분석을 실시하였다.

다중이용시설 지도·점검표 및 설문조사 결과는 실내공기질 영향요인 상관성 분석 및 위해성평가를 위한 기초자료로 활용되었으며, 연구를 위해 사용된 다중이용시설 지도·점검표는 Fig 14와 같다.

Fig 14. Multi-use facilities guidance and check list

다중이용시설 지도·점검표				
1. 다중이용시설 현황				
1. 일반 현황				
시설명				전좌번호
소재지	읍/면/동	구	거주자수 (상근자 포함)	명
연면적 (의류기원은 포함수)				평
평균입 (전북허가번호)				명/일
소유(점유)자				담당자
2. 환기 및 공기조절설비 현황				
가. 시설현황				
내용	구분	위치	규격	세부내역
환기설비 설치내역	개별식			중용기용량 (ft³)
	중앙관리식			공기량 (cm³/min)
				메기량 (cm³/min)
				가동시간
나. 공기정조설비 등 설치내역				
내용	세부내역			
- 공기정조시설 설치내역 o 정권(계전)시설(시설별 용량 및 대수) o 서정달(시설별 용량 및 대수) o 기타시설(시설별 용량 및 대수)				
- 공기흡입구	지상높이 : m(방향 : 도로측, 보도측) 면거유입 가능성 : (있음, 없음)			
- 공기배기구	지상높이 : m(방향 : 도로측, 보도측) 면거유입 가능성 : (있음, 없음)			

II. 점검사항 및 결과			
구분	점검사항	주요 확인사항	점검결과
1. 시설 관리	적정환기 여부	o 환기설비 적정 운용 및 관리 상태	
2. 측정 관리	측정의무 이행여부	o 측정주기의 적정 여부 o 측정항목의 적정 여부	
	자체 측정시	o 측정장비 확보여부 o 공경시험방법에 의한 측정 여부 o 측정장비의 공기기관 성능검사 실시여부 등 o 측정기록부 보관여부	
	외부위탁 측정시	o 측정대행기관의 적정 여부 o 위탁측정계약서 등 근거서류 구비 여부 o 측정대행기록부 등 관련서류 보관여부	
	측정결과 활용	o 오염도 기준초과 등에 따른 환기 등 시설 개선	
3. 교육	소유자등의 교육 이수	o 교육 수료 완료 여부 o 수료 시기 및 이수 적정여부 - 법정 수료 만료일(수료일)	
4. 기타	행정처분 이행상태	o 개선명령 등 행정처분 이행상태 o 각종 지시사항 이행여부	

현황 조사항목은 Table 18과 같이 실내공기질에 직접 혹은 간접적으로 영향을 줄 수 있는 인자를 선정하여 기본 시설 현황, 시설 건축년도, 환기 설비 현황, 재실자 수 등으로 나타내었다.

Table 19. Survey item on general status

Part	Survey item
Facilities status	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Building year ◦ Number of residence people(user, worker) ◦ Residence time ◦ Surrounding environment(road, industrial complex. etc)
Sources	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Present of bedding, carpets and curtain ◦ Present of heater, humidifier and cooking equipment ◦ Present of fresheners and pesticides
Ventilation equipment status	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Type of ventilation(central control, individual control, natural ventilation) ◦ Ventilation time ◦ Present of air cleaning ◦ Operating time
IAQ Concern degree	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Health effects ◦ Level of knowledge of facility manager on IAQ

3.6 실내공기질 건강위해성평가

3.6.1 건강위해성평가

본 연구에서는 환경부의 「실내공기 중 오염물질의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침」을 따라 위해성평가를 수행하였다. 위해성평가는 오염물질의 노출 특성을 반영하되, 실내공기를 매개로한 오염물질이 평가대상이기 때문에 호흡으로 인한 단일노출 경로만을 가정하여 수행하였다.¹⁷⁾

대상 시설별 위해성평가를 실시하기 위해 Table 20과 같이 시설 이용자를 구분하였다.

Table 20. Facilities User Classification

구분	User	Worker
어린이집	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 0.5~2세 영유아 ◦ 3~6세 영유아 	◦ 성인
의료기관	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 어린이 ◦ 성인 ◦ 노인 	◦ 성인
노인요양시설	◦ 노인	◦ 성인

위해성평가는 유해성 확인, 용량·반응 평가, 노출평가 및 위해도 결정의 절차에 따라 수행하였으며, 단일 평가치 분석(Point estimate analysis)으로 진행하였다.

단일 평가치 분석은 각 노출변수에 대해 단일 값을 사용하여 대표적인 위해도를 분석하는 간단한 방법이지만, 노출 변수의 불확실성(uncertainty)과 가변성(variability)을 반영할 수 없다. 다만 가변성을 표현하기 위해 CTE(Central Tendency Exposure), RME(Reasonable Maximum Exposure) 위해도를 계산한다.¹⁸⁾

EPA(1992)는 입력 자료의 초기 값으로 RME 위해도 평가시 체중은 평균값, 호흡량과 노출기간, 노출시간에 대해서는 high-end 값을 사용하고, CTE 위해도 평가시에는 체중은 평균값, 호흡량과 노출기간에는 중앙값을 사용하도록 권장하고 있다.⁹⁾

유해성 확인을 위하여 과거 문헌 및 EPA 발암증거의 가중(weighting of evidence)에 따라 연구대상을 발암물질과 비발암물질로 분류하고, 이에 해당되지 않는 물질은 일반규제물질로 분류하였다. 용량·반응 평가 단계에서는 발암성 및 비발암성 독성 물질의 정량적 독성 정보를 가능한 어린이 노출에 의한 독성 연구 자료를 일차적으로 선정하였으나, 부재 시에는 성인 자료를 활용하였다. 어린이 민감 영향물질은 반드시 어린 노출에 의한 독성 연구 자료만을 이용하여 용량·반응 평가를 실시하였고, 발암성 물질은 발암잠재력 결정과정과 성인 자료 이용 시 ADAF(Age Dependent Adjust Factor) 적용도 동시에 고려하여 평생초과발암위해도(ECR)을 산출하였다.

3.6.2 노출시나리오

의료기관, 어린이집 및 노인요양시설의 이용자 및 시설운영자의 위해성 평가를 위한 시나리오는 Table 21과 같다. 어린이, 성인, 노인의 호흡률, 체중은 「실내공기 중 오염물질의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침」 자료를 활용하였다. 노출시간의 경우 의료기관의 경우는 이용자가 짧게는 1시간에서 24시간 이용할 수 있다고 판단되어 1시간, 4시간, 24시간 이용자의 경우로 나누어 조사하였다.

어린이집의 경우는 대부분의 어린이집 프로그램시간인 오전 10시~오후4시까지 총 6시간을 기준으로 하였다. 노인요양시설 노인의 경우는 시설에서 거주하는 분이 대부분이므로 24시간을 기준으로 하였다. 의료기관, 어린이집, 노인요양시설의 종사자의 경우 8시간 근로기준으로 설정하였다. 의료기관 이용자의 노출일은 국민건강보험공단의 자료를 이용하여 연간 의료기관 방문 횟수로 선정하여 20.82일 산정하였고, 어린이집 이용자는 주5일 이용시간을 고려하여 250일, 노인요양시설 이용자인 노인의 경우 시설에 거주 하시는 분이 대부분이었으므로 365일로 산출하였다.

의료기관과 노인요양시설의 종사자의 노출일은 연간기본근로시간인 300일을 기준으로 산정하였고, 어린이집의 경우는 주말을 제외한 일수인 250일을 기준으로 산정하였다.

Table 21. Exposure Scenario Summary Table

구분	의료기관				어린이집		노인요양시설
	어린이 (0.5~2세)	어린이 (3~6세)	성인	노인	어린이 (0.5~2세)	어린이 (3~6세)	노인
IR (m ³ /day)	worker	14.26					
	user	9.49	10.37	14.26	14.25	9.49	10.37
ET (hr/day)	worker	8					
	user <min>	1			4		24
	user <ave>	4			6		24
	user <max>	24			8		24
EF (day/yr)	worker	300			250		300
	user	20.82			250		365
ED(yr)	worker	40					
	user	1.5	4	40	17.4	1.5	4
BW(kg)	worker	64.2					
	user	8.7	19.1	64.2	63.3	8.7	19.1
LT(yr)	worker	70					
	user						

* IR(m³/day) : 출처(실내공기 중 오염물질의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침, 남·여 장기간 노출 호흡률 평균)

* ET(hr/day) : 성인 근로자(일일 근로 시간=8hr), 이용자(의료기관 최소(1hr), 중간(4hr), 최대(24hr) 가정 반영/ 어린이집 6hr 반영/ 노인요양시설 24hr 반영)

* EF(day/yr) : 근로자(의료기관, 노인요양시설=300day, 연간기본근로시간/ 어린이집 =250day, 주5일 근무 근로시간 반영), 이용자(의료기관=20.82day, 연간 의료기관 방문횟수 (국민건강보험공단)/ 어린이집=250day, 주5일/ 노인요양시설=365day, 상시 거주 반영)

* ED(yr) : 근로자(평균 근로년수=40yr), 이용자(0.5세~2세=1.5yr/ 3세~6세=4yr/ 성인=40yr/ 노인=17.4yr, 한국인 평균 수명(82.4세) - 노인요양시설 입소가능나이(65세))

* BW(kg) : 출처(실내공기 중 오염물질의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침, 남·여 몸무게 평균)

Table 22. Dose-Response assessment on carcinogen or non-carcinogen

기준		CSF ($mg/kg/day$) ⁻¹	RfC (mg/m^3)	Death rate(%)	TRV	비고
발암물질	폼알데하이드	0.046				Kerns et al(1983)의 연구
	벤젠	0.036				
비발암물질	톨루엔		5			EPA IRIS
	에틸벤젠		1			
	스타이렌		0.1			
	자일렌		1			
일반규제 물질	PM10			0.046		유럽위원회 (EC)
	이산화탄소				1000	실내공기질 유지기준
	총부유세균				800	
	PM2.5				70	실내공기질 권고기준
	곰팡이				500	

VI. 결과 및 고찰

4.1 연구대상시설 현황 및 특징

울산시 연구대상 32개소 건강민감계층 이용시설의 일반적 특성에 대한 결과는 Table 23과 같다. 의료기관의 평균 이용객 수는 208명이었으며 최소 30명, 최대 400명의 사람들이 이용하였다. 평균 건물 수명은 14년으로 최소 6년에서 최대 24년 된 건물까지 존재하였다.

어린이집의 평균 이용객 수는 96명이었으며 최소 36명, 최대 200명의 사람들이 이용하였다. 1인당 건물 이용 면적은 평균 7m²으로 최소 2.7m²에서 최대 15.9m²로 조사되었다. 평균 건물 수명은 13년으로 최소 2년에서 최대 24년 된 건물까지 존재하였다.

노인요양시설의 평균 이용객 수는 55명이었으며 최소 10명, 최대 85명의 사람들이 이용하였다. 1인당 건물 이용 면적은 평균 77.1m²으로 최소 24.8m²에서 최대 210.4m²로 조사되었다. 평균 건물 수명은 14년으로 최소 4년에서 최대 24년 된 건물까지 존재하였다.

Table 23. Characteristics of the facilities used for Health sensitive groups in ulsan

구분	의료기관			어린이집			노인요양시설		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
이용객 수	208	30	400	96	36	200	55	10	85
건축면적	4506	1242	8466	641	439	1505	2196	1734	2473
1인당 이용면적	32	11.3	132.2	7	2.7	15.9	77.1	24.8	210.4
건축년수	14	6	24	13	2	24	14	4	24

4.2 물리적 환경

본 연구에서 시료채취일 중 기상상황(기상청 자료)은 평균기온 17.6 °C, 강우일수는 32일 중 14일이었으며, 실내에서 실제로 측정된 기상상황은 평균기온 23.2 °C, 평균 습도 52.5 %이었다.

Table 24. Weather condition in sampling

시료 채취일	구분	울산전체(기상청 자료)		실내(실제 측정)	
		기온(°C)	날씨	온도(°C)	습도(%)
4.3	의료기관1	19.8	맑음	25.9	42.8
4.4	의료기관2	9.9	비, 박무	21.6	48.8
4.17	의료기관3	13.3	맑음	19.6	41.6
4.18	의료기관4	15.0	맑음	22.0	44.0
4.24	노인요양1	11.1	비, 박무	22.7	49.3
4.25	노인요양2	12.6	맑음	19.2	36.4
5.3	의료기관5	14.8	맑음	24.0	29.4
5.8	의료기관6	13.3	비	22.5	49.0
5.9	의료기관7	11.7	맑음	20.7	44.0
5.29	의료기관8	21.0	박무	26.4	60.9
5.30	의료기관9	20.7	비, 소나기, 우박, 박무, 연무	24.7	47.6
6.4	의료기관10	22.0	박무	24.7	58.8
6.18	어린이집1	22.5	박무	28.4	52.9
6.19	어린이집2	22.0	비, 박무	23.8	73.9
봄(3.21~6.21)		16.4±4.7	-	23.3±2.6	48.5±10.9
6.28	어린이집3	21.7	비, 박무	25.6	75.4
9.5	노인요양3	23.9	맑음	27.3	48.6
9.6	어린이집4	23.3	비	24.6	55.7
9.10	어린이집5	21.0	비	24.6	50.5
9.11	어린이집6	20.8	맑음	24.1	53.6
9.12	어린이집7	21.3	비	25.6	65.7
9.13	어린이집8	21.2	비, 박무	25.2	72.8
9.17	어린이집9	22.8	비, 박무	27.3	60.5
여름(6.22~9.23)		22.0±1.2	-	25.5±1.2	60.4±10.1
9.27	어린이집10	18.6	맑음	23.7	51.2
9.28	어린이집11	18.0	비	22.2	60.0
10.1	어린이집12	17.2	맑음	23.0	47.2
10.2	어린이집13	16.5	맑음	22.5	48.3
10.12	노인요양4	12.2	맑음	20.7	41.3
10.15	어린이집14	15.6	맑음	20.8	49.2
10.17	어린이집15	14.9	박무	22.5	57.1
10.18	어린이집16	13.7	비	18.3	53.4
10.19	어린이집17	14.0	비	18.2	53.8
10.22	어린이집18	15.4	맑음	19.9	57.5
가을(9.23~12.21)		15.6±2.0	-	21.2±1.9	51.9±5.6

4.3 오염물질별 실내공기질 오염도 특성

총 32개소의 건강민감계층 이용시설에 대하여 ‘실내공기질 관리법’ 상의 실내공기질 조사 결과 평균값, 최소값, 최대값을 Table25에 나타내었다.

다중이용시설 내 실내공기질은 각 측정 점에서 실내공기 중 오염물질 농도로 측정값을 표시하고 평균값으로 대상시설을 평가하지만, 본 연구에서는 각 지점 특성과 관련된 오염물질 측정값을 파악하고자 각 지점별 측정값을 개별적으로 실내공기질 유지 및 권고기준에 적용하였다.

연구대상시설 32개소 64개 지점 중 실내공기오염물질 미세먼지(PM10)는 1개 지점(1.6%)에서, 폼알데하이드는 2개 지점(3.1%)에서, 총부유세균은 7개 지점(10.9%)에서, 곰팡이는 14개 지점(21.9%)에서 기준을 초과하였다.

Table 25. IAQ of the facilities used for Health sensitive groups in ulsan

구분		의료기관	어린이집	노인요양시설
PM10	Mean	44.9	22.3	31.6
	Min	25.3	3.8	11.6
	Max	67.1	80.1	140.5
이산화탄소	Mean	552	440	489
	Min	326	270	291
	Max	804	848	838
폼알데하이드	Mean	31.9	29.4	10.6
	Min	6.8	5.1	2.6
	Max	78.6	107.9	18.8
총부유세균	Mean	363	454.3	241
	Min	75	36	101
	Max	921	2017	540
PM2.5	Mean	32.6	11.3	11.3
	Min	11.4	2.7	4
	Max	38.9	34.3	20.6
부유곰팡이	Mean	257	562	457
	Min	18	71	190
	Max	486	3660	1233
벤젠	Mean	1.9	1.9	1.2
	Min	0.6	0.3	0.9
	Max	8	8.4	1.9
톨루엔	Mean	9.5	32.3	30.0
	Min	2.4	2.5	5.9
	Max	24	145.6	74.3
에틸벤젠	Mean	4.4	4.2	3.0
	Min	1	0.4	1.4
	Max	13.3	12.7	9.4
스타이렌	Mean	4.7	2.8	4.6
	Min	1	0	0
	Max	12.8	11.4	27
자일렌	Mean	10.8	10.4	3.8
	Min	1.3	1.1	1.6
	Max	51.6	54.1	6.7

Fig 15. IAQ graph of the facilities used for Health sensitive groups in ulsan



4.4 대상 시설별 오염도 특성

연구대상시설별로 실내공기질 유지 및 권고기준을 적용하면 의료기관 10개소 20개 지점 중 의료기관 2개 지점(10%)이, 어린이집 18개소 36개 지점 중 13개 지점(36.1%)이, 노인요양시설 4개소 8개 지점 중 3개 지점(37.5%)이 기준치를 초과하였으며, 총 32개소 64개 지점 중 18개 지점(28.1%)의 기준 초과 율을 나타내었다.

조사결과 의료기관 대부분의 오염물질은 기준을 만족하였으며, 총부유세균이 2개 지점에서 기준 50% 미만으로 초과하였다. 대부분의 의료기관의 경우 지점 선정이 로비 또는 복도로 선정하여 환기가 잘되었고, 통행량이 다른 곳 보다 많았던 지점에서 총부유세균의 농도가 높게 조사되었다.

어린이집에서는 폼알데하이드 2개 지점, 총부유세균 5개 지점, 부유곰팡이 12개 지점에서 기준을 초과하였다. 폼알데하이드는 기준 50% 미만으로 초과하였는데 실내 건축자재와 장식, 교육용품 등에서 배출된 것으로 사료된다. 총부유세균은 환기가 불충분하거나 청결상태가 좋지 않을 때 농도가 높게 나타나는데 기준이 초과된 5개 지점은 환기가 구조적으로 적게 되는 구조였고, 청결상태도 타 어린이집에 비하여 좋지 않아 총부유세균의 농도가 높게 조사되었다. 부유곰팡이는 자연환기 방법으로 환기를 시키는 건물에서 주로 기준이 초과되었다.

노인요양시설에서는 미세먼지(PM10) 1개 지점, 부유곰팡이 2개 지점에서 기준을 초과하였다. 미세먼지(PM10)가 초과된 곳은 재활 프로그램실로 다른 병실, 로비에 비해 활동이 많아 농도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 부유곰팡이는 빛이 잘 들어 오지 않는 건물 2개 지점에서 측정하여 기준이 초과된 것으로 사료된다.

4.5 영향 요인 상관성 분석

건강민감계층 이용시설의 오염물질 및 물리적 환경간의 상관관계를 Fig.16에 나타내었다.

온도는 유의수준 0.01에서 톨루엔(0.425), 폼알데하이드(0.397), 스타이렌(0.327) 순으로 각 물질과 유의한 양의 상관관계를 나타내었으며, 유의수준 0.05에서 벤젠(0.307), 자일렌(0.303), 에틸벤젠(0.292), 총부유세균(0.284) 순으로 각 물질과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다.

습도는 유의수준 0.01에서 자일렌(0.410), 에틸벤젠(0.353) 순으로 각 물질과 유의한 양의 상관관계를 나타내었으며, 유의수준 0.05에서 폼알데하이드(0.254), 총부유세균(0.246) 순으로 각 물질과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다.

건축년도는 유의수준 0.05에서 PM10(0.295), 총부유세균(0.274) 순으로 각 물질과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다.

실내공기 온도 및 습도가 폼알데하이드에 미치는 영향을 나타내자면, 온도가 높은 환경에서는 폼알데하이드의 방출량이 오랫동안 지속되는 것으로 알 수 있으며, 경력이 오래되어 자연발생이 많아지면 함유량이 적어져 온도의존성이 약화되기 때문이며, 또한 습도의존성은 온도의존성보다는 명확하지 않다. 이러한 결과는 유복희(2010)²⁰⁾의 보고와 일치한다.

실내공기 온도 및 습도가 총부유세균과 부유곰팡이에 미치는 영향을 나타내자면, 총부유세균에 있어 온도에 의한 주효과는 유의수준 0.05로 유의하게 나타났으나 습도에 의한 주효과는 유의하지 않았다. 부유곰팡이에 있어서는 온도나 습도의 주효과가 유의하지 않았는데 이러한 결과는 김중순(2014)²¹⁾의 보고와 일치하며, 부유곰팡이가 온습도와 상관성이 없는 것은 오염물질이 환경인자보다 구조 등 내부인자에 따른 영향으로 판단된다.

오래된 건물일수록 실내공기 중 미세먼지(PM10)와 총부유세균이 높았는데, 이러한 결과는 박순권(2011)¹⁾, 동상효(2013)²²⁾의 보고와 일치하며, 이는 건물이 노후화됨에 따라 건축자재 등에서 먼지가 발생되어 실내공기중의 먼지 및 총부유세균이 증가된 것으로 판단된다.

Fig 16. Pearson' correlation coefficients of facilities used for Health sensitive groups in ulsan

		상관계수														
		PM10	이산화탄소	폼알데하이드	총부유세균	PM2.5	곰팡이	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	스타이렌	자일렌	온도	습도	인당건축면적	건축년도
PM10	Pearson 상관계수	1														
	유의확률 (양측)	.318*	.011	.188	.508	.495**	.098	.064	-.114	.075	.097	.171	.031	-.159	-.105	.295*
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
이산화탄소	Pearson 상관계수		1													
	유의확률 (양측)	.011		.473**	.343**	.431**	-.095	.235	.007	.172	.248*	.223	.230	.034	-.164	.205
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
폼알데하이드	Pearson 상관계수			1												
	유의확률 (양측)	.188	.473**		.345**	.457**	.115	.446**	.057	.312*	.253*	.334**	.397**	.254*	-.194	.153
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
총부유세균	Pearson 상관계수				1											
	유의확률 (양측)	.084	.343**	.345**		.169	.102	-.125	.170	-.032	-.059	.068	.284*	.246*	-.135	.274*
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
PM2.5	Pearson 상관계수					1										
	유의확률 (양측)	.495**	.431**	.457**	.169		-.025	.350**	-.155	.388**	.306**	.424**	.236	-.081	-.102	.153
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
곰팡이	Pearson 상관계수						1									
	유의확률 (양측)	.098	-.095	.115	.102	-.025		.046	.055	.035	-.035	.105	.064	.195	.035	.013
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
벤젠	Pearson 상관계수							1								
	유의확률 (양측)	.064	.235	.446**	-.125	.350**	.046		.151	.647**	.466**	.526**	.307*	.194	-.118	.062
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
톨루엔	Pearson 상관계수								1							
	유의확률 (양측)	-.114	.007	.057	.170	-.155	.055	.151		.340**	.043	.304*	.425**	.219	.139	-.073
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
에틸벤젠	Pearson 상관계수									1						
	유의확률 (양측)	.075	.172	.312*	-.032	.388**	.035	.647**	.340**		.422**	.915**	.292*	.353**	-.142	.060
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
스타이렌	Pearson 상관계수										1					
	유의확률 (양측)	.097	.248*	.253*	-.059	.306**	-.035	.466**	.043	.422**		.145	.327**	.111	-.172	.039
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
자일렌	Pearson 상관계수											1				
	유의확률 (양측)	.171	.223	.334**	.068	.424**	.105	.526**	.304*	.915**	.145		.303*	.410**	-.129	.055
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
온도	Pearson 상관계수												1			
	유의확률 (양측)	.031	.230	.397**	.284*	.236	.064	.307*	.425**	.292*	.327**	.303*		.289*	.008	-.040
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
습도	Pearson 상관계수													1		
	유의확률 (양측)	-.159	.034	.254*	.246*	-.081	.195	.194	.219	.353**	.111	.410**	.289*		-.224	-.139
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
인당건축면적	Pearson 상관계수														1	
	유의확률 (양측)	-.105	-.164	-.194	-.135	-.102	.035	-.118	.139	-.142	-.172	-.129	.008	-.224		-.072
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
건축년도	Pearson 상관계수															1
	유의확률 (양측)	.295*	.205	.153	.274*	.153	.013	.062	-.073	.060	.039	.055	-.040	-.139	-.072	
	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64

*. 상관계수는 0.05 수준(양측)에서 유의합니다.

**. 상관계수는 0.01 수준(양측)에서 유의합니다.

4.6 위해성 평가 분석

건강민감계층 이용시설(의료기관, 어린이집, 노인요양시설)을 대상 시설로 한 위해성평가는 호흡 노출을 경로로 하고 이용형태별(근로자, 이용자)로 구분하여 발암 위험도, 비발암 위험도 및 질병 사망 위험도 평가, Safety Factor로 수행되었다. 위험도 추정을 위하여 결정론적 방법인 단일 평가치 분석을 수행하였다.

단일 평가치 분석을 수행할 때, 오염도 평균값을 이용한 중심경향노출(CTE)위험도와 오염도의 95분위수를 이용한 최대노출(RME)위험도로 결과를 산출하였다.

4.6.1 발암성 물질의 위해성평가

유해성 확인 절차를 통하여 발암성 물질로 평가된 HCHO와 Benzene을 대상으로 실내공기질 발암 위험도 평가를 진행하였다. 일반적으로 발암물질의 허용 위험도는 10^{-6} (백만 명 당 1명)이며 최대 허용 기준은 10^{-4} (만명 당 1명)정도의 범위로 제안하고 있다.

10^{-6} (백만 명 당 1명)의 위험도는 'de minimis risk'로서 1980년대 수준에서의 자연발생적 사망률에 상응하는 매우 낮은 위해확률이다. 이에 1990년대 후반부터는 환경오염으로 인한 허용위험도는 10^{-5} 수준이 적합하며, 10^{-4} (만명 당 1명)의 위험일 경우, 적극적인 저감 활동이 필요한 정도로 제안하고 있다.¹⁹⁾

1) HCHO 흡입 노출 발암 위험도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 3.63×10^{-5} 으로, RME상태에서는 1.24×10^{-4} 으로 CTE값은 최대 허용 기준 미만이었으나, RME상태에서는 기준 초과로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 2.34×10^{-5} 으로, RME상태에서는 1.35×10^{-4} 으로 CTE상태에는 최대 허용 기준 미만이었으나, RME상태에서는 기준 초과로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 1.77×10^{-5} 으로, RME상태에서는 2.99×10^{-5} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인으로 구분하여 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 영아, 유아, 성인, 노인 순서대로 1시간(간단한 진료) 이용하면, 5.91×10^{-7} , 2.31×10^{-7} , 3.15×10^{-7} , 1.39×10^{-7} 으로 모두 허용 위해도 미만으로 평가되었다. 4시간(각종 검사 및 진료 병행)을 이용하는 경우, 순서대로 2.36×10^{-6} , 9.26×10^{-7} , 1.26×10^{-6} , 5.56×10^{-7} 으로 영아, 성인은 최대 허용기준 미만, 유아, 노인은 허용 위해도 미만으로 평가되었다. 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우, 순서대로 1.42×10^{-5} , 5.55×10^{-6} , 7.56×10^{-6} , 3.33×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

의료시설 RME 상태에서는 영아, 유아, 성인, 노인 순서대로 1시간(간단한 진료) 이용하면, 2.02×10^{-6} , 7.92×10^{-7} , 1.08×10^{-6} , 4.75×10^{-7} 으로 영아는 최대허용기준 미만, 나머지는 허용 위해도 미만으로 평가되었다. 4시간(각종 검사 및 진료 병행)을 이용하는 경우, 순서대로 8.08×10^{-6} , 3.17×10^{-6} , 4.31×10^{-6} , 1.90×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다. 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우, 순서대로 4.85×10^{-5} , 1.90×10^{-5} , 2.58×10^{-5} , 1.14×10^{-5} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 영아, 유아 순서대로 3.96×10^{-5} , 1.55×10^{-5} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다. RME 상태에서는 순서대로 2.28×10^{-4} , 8.93×10^{-5} 으로 영아의 경우는 최대 허용 기준을 초과하였으며, 유아는 최대 허용 기준을 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 HCHO 흡입에 의한 근로자의 발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 2.81×10^{-5} , RME 상태에서 4.74×10^{-5} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

2) 벤젠 흡입 노출 발암 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 근로자의 발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 1.74×10^{-6} , RME상태에서는 9.80×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만이었다.

어린이집에서는 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 근로자의 발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 1.55×10^{-6} , RME상태에서는 6.41×10^{-6} 으로 모두 최대 허용

기준 미만이었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 근로자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 1.49×10^{-6} , RME 상태에서 1.71×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만이었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 이용자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 영아, 유아, 성인, 노인 순서대로 1시간(간단한 진료) 이용하면, 2.83×10^{-8} , 1.11×10^{-8} , 1.51×10^{-8} , 6.66×10^{-9} 으로 모두 허용 위험도 미만으로 평가되었다. 4시간(각종 검사 및 진료 병행)을 이용하는 경우, 순서대로 2.83×10^{-8} , 4.43×10^{-8} , 6.04×10^{-8} , 2.66×10^{-8} 으로 모두 허용 위험도 미만으로 평가되었다. 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우, 순서대로 6.80×10^{-7} , 2.66×10^{-7} , 3.62×10^{-7} , 1.60×10^{-7} 으로 모두 허용 위험도 미만으로 평가되었다.

의료시설 RME 상태에서는 영아, 유아, 성인, 노인 순서대로 1시간(간단한 진료) 이용하면, 1.60×10^{-7} , 6.25×10^{-8} , 8.50×10^{-8} , 3.75×10^{-8} 으로 모두 허용 위험도 미만으로 평가되었다. 4시간(각종 검사 및 진료 병행)을 이용하는 경우, 순서대로 6.38×10^{-7} , 2.50×10^{-7} , 3.40×10^{-7} , 1.50×10^{-7} 으로 모두 허용 위험도 미만으로 평가되었다. 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우, 순서대로 3.83×10^{-6} , 1.50×10^{-6} , 2.04×10^{-6} , 9.00×10^{-7} 으로 노인은 허용 위험도 미만, 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 이용자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 영아, 유아 순서대로 2.19×10^{-6} , 8.56×10^{-7} 으로 영아는 최대 허용 기준 미만, 유아는 허용 위험도 미만으로 평가되었다. RME 상태에서는 순서대로 9.02×10^{-6} , 3.53×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 벤젠 흡입에 의한 이용자의 발암 위험도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 2.40×10^{-6} , RME 상태에서 2.75×10^{-6} 으로 모두 최대 허용 기준 미만으로 평가되었다.

Table 26. Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates of facility worker

구분		CTE		RME	
의료기관	HCHO	3.63×10^{-5}	허용 위해도 초과	1.24×10^{-4}	최대 허용 기준 초과
	벤젠	1.74×10^{-6}	허용 위해도 초과	9.80×10^{-6}	허용 위해도 초과
어린이집	HCHO	2.34×10^{-5}	허용 위해도 초과	1.35×10^{-4}	최대 허용 기준 초과
	벤젠	1.55×10^{-6}	허용 위해도 초과	6.41×10^{-6}	허용 위해도 초과
노인요양시설	HCHO	1.77×10^{-5}	허용 위해도 초과	2.99×10^{-5}	허용 위해도 초과
	벤젠	1.49×10^{-6}	허용 위해도 초과	1.71×10^{-6}	허용 위해도 초과

Fig 17. Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates graph of facility worker

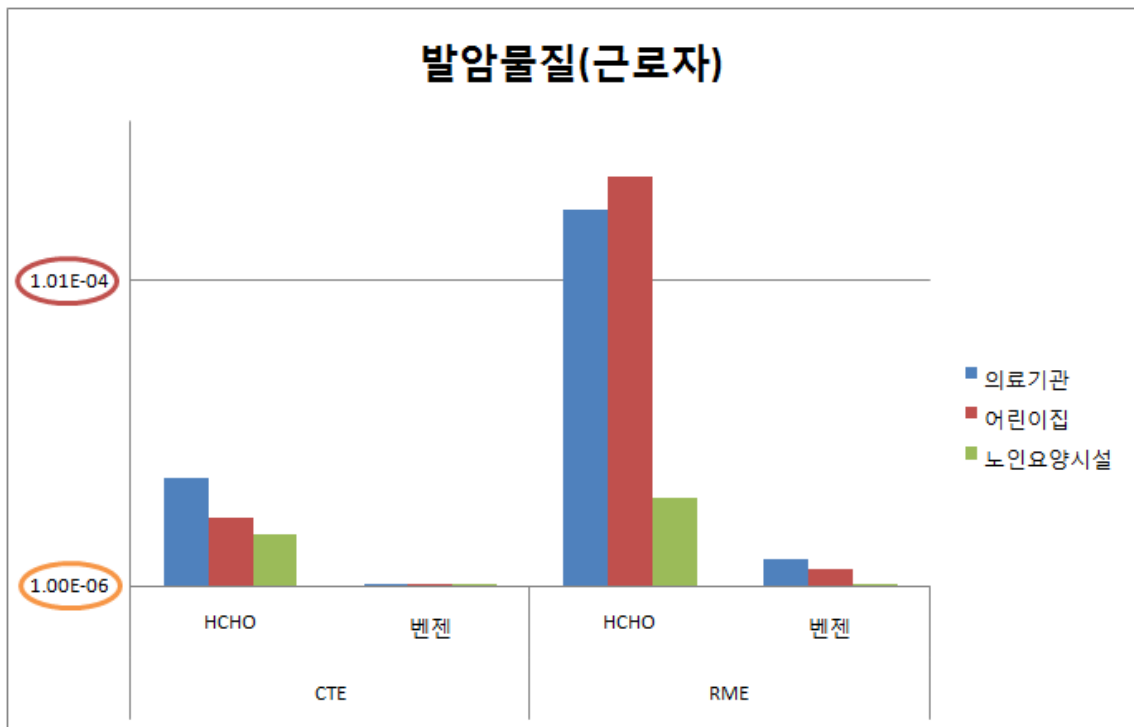
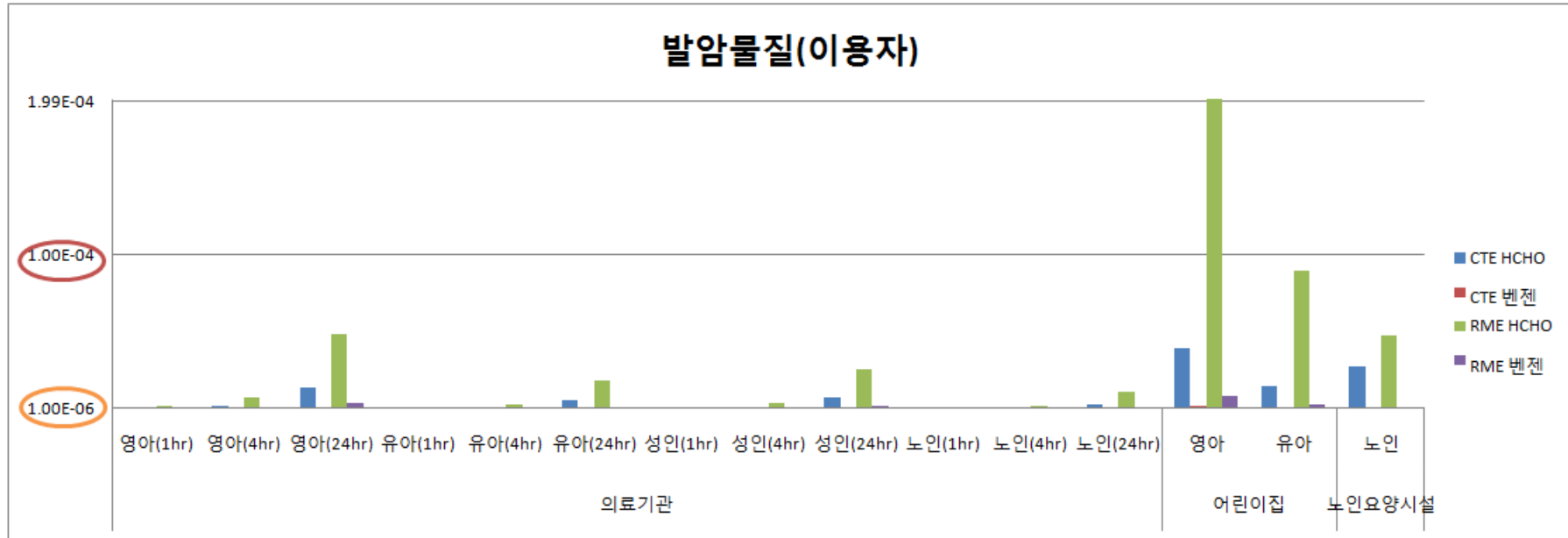


Table 27. Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates of facility user

구분			CTE		RME		
의료 기관	영아	1hr	5.91×10^{-7}	허용 위해도 미만	2.02×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		4hr	2.36×10^{-6}	허용 위해도 초과	8.08×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		24hr	1.42×10^{-5}	허용 위해도 초과	4.85×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	유아	1hr	2.31×10^{-7}	허용 위해도 미만	7.92×10^{-7}	허용 위해도 미만	
		4hr	9.26×10^{-7}	허용 위해도 미만	3.17×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		24hr	5.55×10^{-6}	허용 위해도 초과	1.90×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	성인	1hr	3.15×10^{-7}	허용 위해도 미만	1.08×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		4hr	1.26×10^{-6}	허용 위해도 초과	4.31×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		24hr	7.56×10^{-6}	허용 위해도 초과	2.58×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	노인	1hr	1.39×10^{-7}	허용 위해도 미만	4.75×10^{-7}	허용 위해도 미만	
		4hr	1.26×10^{-6}	허용 위해도 초과	1.90×10^{-6}	허용 위해도 초과	
		24hr	3.33×10^{-6}	허용 위해도 초과	1.14×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	영아	1hr	벤젠	2.83×10^{-8}	허용 위해도 미만	1.60×10^{-7}	허용 위해도 미만
				2.83×10^{-8}	허용 위해도 미만	6.38×10^{-7}	허용 위해도 미만
				6.80×10^{-7}	허용 위해도 미만	3.83×10^{-6}	허용 위해도 초과
		4hr		1.11×10^{-8}	허용 위해도 미만	6.25×10^{-8}	허용 위해도 미만
				4.43×10^{-8}	허용 위해도 미만	2.50×10^{-7}	허용 위해도 미만
				2.66×10^{-7}	허용 위해도 미만	1.50×10^{-6}	허용 위해도 초과
24hr		1.51×10^{-8}		허용 위해도 미만	8.50×10^{-8}	허용 위해도 미만	
		6.04×10^{-8}		허용 위해도 미만	3.40×10^{-7}	허용 위해도 미만	
		3.62×10^{-7}		허용 위해도 미만	2.04×10^{-6}	허용 위해도 초과	
유아	1hr	6.66×10^{-9}	허용 위해도 미만	3.75×10^{-8}	허용 위해도 미만		
		2.66×10^{-8}	허용 위해도 미만	1.50×10^{-7}	허용 위해도 미만		
		1.60×10^{-7}	허용 위해도 미만	9.00×10^{-7}	허용 위해도 미만		
어린 이집	영아	HCHO	3.96×10^{-5}	허용 위해도 초과	2.28×10^{-4}	최대 허용 기준 초과	
	유아		1.55×10^{-5}	허용 위해도 초과	8.93×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	영아	벤젠	2.19×10^{-6}	허용 위해도 초과	9.02×10^{-6}	허용 위해도 초과	
	유아		8.56×10^{-7}	허용 위해도 미만	3.53×10^{-6}	허용 위해도 초과	
노인 요양 시설	노인	HCHO	2.81×10^{-5}	허용 위해도 초과	4.74×10^{-5}	허용 위해도 초과	
	노인	벤젠	1.49×10^{-6}	허용 위해도 초과	1.71×10^{-6}	허용 위해도 초과	

Fig 18. Fixed-point(CTE, RME) carcinogenic risk estimates graph of facility user



4.6.2 비발암성 물질의 위해성평가

유해성 확인 절차를 통하여 비발암성 물질로 평가된 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 및 스타이렌을 대상으로 다중이용시설의 실내공기질 비발암 위해도 평가를 수행하였다. 건강민감계층 이용시설 실내 환경에서 톨루엔, 에틸벤젠, 스타이렌 및 자일렌 노출에 따른 이용형태별 비발암 위해도의 단일 평가치 분석 결과를 나타내었다.

비발암 위해도 판정을 위하여 US EPA의 권고를 따라 이용자의 경우 단위 유해지수 0.1, 근로자의 경우 단위 유해지수 1을 허용 위해도로 적용하였다.

산출된 HQ가 1을 초과하면 현재 노출 수준이 독성을 고려한 참고 수준을 초과하는 것이므로 유해 영향이 유발될 가능성이 있음을 의미하며, HQ가 1보다 매우 작게 산출될수록 유해 영향 유발 확률이 낮아지는 것이다. 그러나 HQ를 산출하는데 이용된 다양한 자료들에 대한 불확실성이 항상 존재하므로 '위해도가 없다' 또는 '안전하다'와 같이 단정적 표현은 삼가야 한다. 특히 예방차원에서의 유해물질관리를 위한 목적이라면 기타 추가적 노출에 대한 위해라는 것을 고려한다면 HQ가 1~0.1 이내로 유지관리 되어야 할 필요가 있다.¹⁹⁾

1) Toluene 흡입 노출 비발암 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.007, RME상태에서는 0.018으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.012으로 , RME상태에서는 0.060으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.017으로 , RME상태에서는 0.056으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE, RME 상태에서 1시간(간단한 진료), 4시간(각종 검사 및 진료 병행), 24시간(입원 진료)를 이용하는 경우 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE ,RME 상태에서 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서 실내공기 중 Toluene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE , RME 상태에서 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

2) Ethylbenzene 흡입 노출 비발암 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.013, RME상태에서는 0.050으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.010으로 , RME상태에서는 0.037으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.008으로 , RME상태에서는 0.035으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE, RME 상태에서 1시간(간단한 진료), 4시간(각종 검사 및 진료 병행), 24시간(입원 진료)를 이용하는 경우 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE ,RME 상태에서 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서 실내공기 중 Ethylbenzene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE , RME 상태에서 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

3) Xylene 흡입 노출 비발암 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치

결과, CTE 상태에서 0.175으로 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었지만, RME상태에서는 1.936으로 단위 유해지수 1 을 초과하였다.

어린이집에서는 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.218으로 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었지만, RME상태에서는 1.249로 단위 유해지수 1 을 초과하였다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.132으로 , RME상태에서는 0.252으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE상태에서는 1시간(간단한 진료), 4시간(각종 검사 및 진료 병행), 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우는 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었지만, RME상태에서는 24시간(입원 진료)을 이용하는 성인과 노인의 경우에는 0.403, 0.175로 단위 유해지수 0.1을 초과하였다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었고, RME상태에서는 6시간~8시간 이용하는 유아의 경우 0.112, 0.150으로 단위 유해지수 0.1을 초과하였다.

노인요양시설에서 실내공기 중 Xylene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서는 0.206, RME 상태에서는 0.394으로 이용자 단위 유해지수 0.1 을 초과하였다.

4) Styrene 흡입 노출 비발암 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.013, RME상태에서는 0.039으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.006으로 , RME상태에서는 0.034으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 근로자의 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.006으로 , RME상태에서는 0.101으로 모두 단위 유해지수 1 미만으로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE, RME 상태에서 1시간(간단한 진료), 4시간(각종 검사 및 진료 병행), 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE ,RME 상태에서 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서 실내공기 중 Styrene 흡입에 의한 비발암 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서는 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었고, RME 상태에서는 0.159로 이용자 단위 유해지수 0.1을 초과하였다.

Table 28. Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates of facility worker

구분		CTE		RME	
의료기관	Toluene	0.007	유해지수 미만	0.018	유해지수 미만
	Ethylbenzene	0.013	유해지수 미만	0.050	유해지수 미만
	Xylene	0.175	유해지수 미만	1.936	유해지수(1) 초과
	Styrene	0.013	유해지수 미만	0.039	유해지수 미만
어린이집	Toluene	0.012	유해지수 미만	0.060	유해지수 미만
	Ethylbenzene	0.010	유해지수 미만	0.037	유해지수 미만
	Xylene	0.218	유해지수 미만	1.249	유해지수(1) 초과
	Styrene	0.006	유해지수 미만	0.034	유해지수 미만
노인요양시설	Toluene	0.017	유해지수 미만	0.056	유해지수 미만
	Ethylbenzene	0.008	유해지수 미만	0.035	유해지수 미만
	Xylene	0.132	유해지수 미만	0.252	유해지수 미만
	Styrene	0.006	유해지수 미만	0.101	유해지수 미만

Fig 19. Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates graph of facility worker

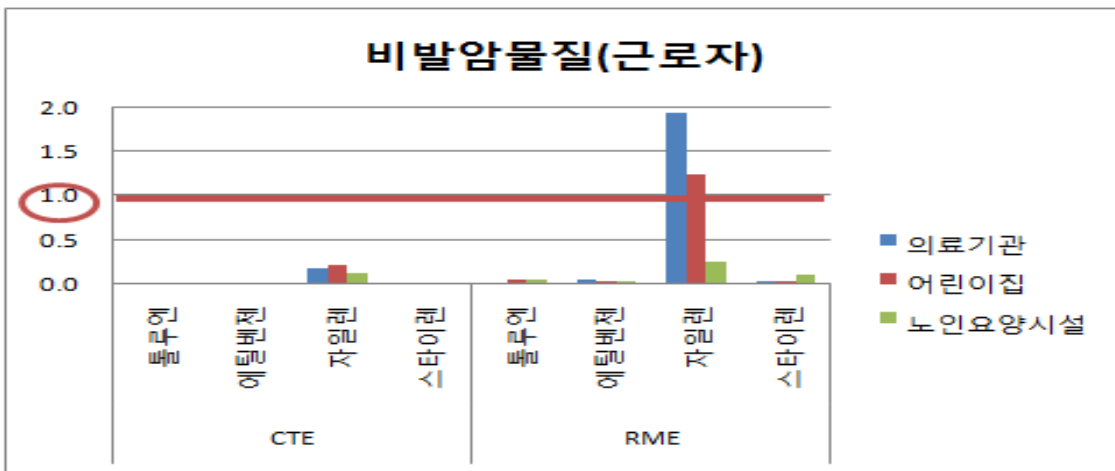
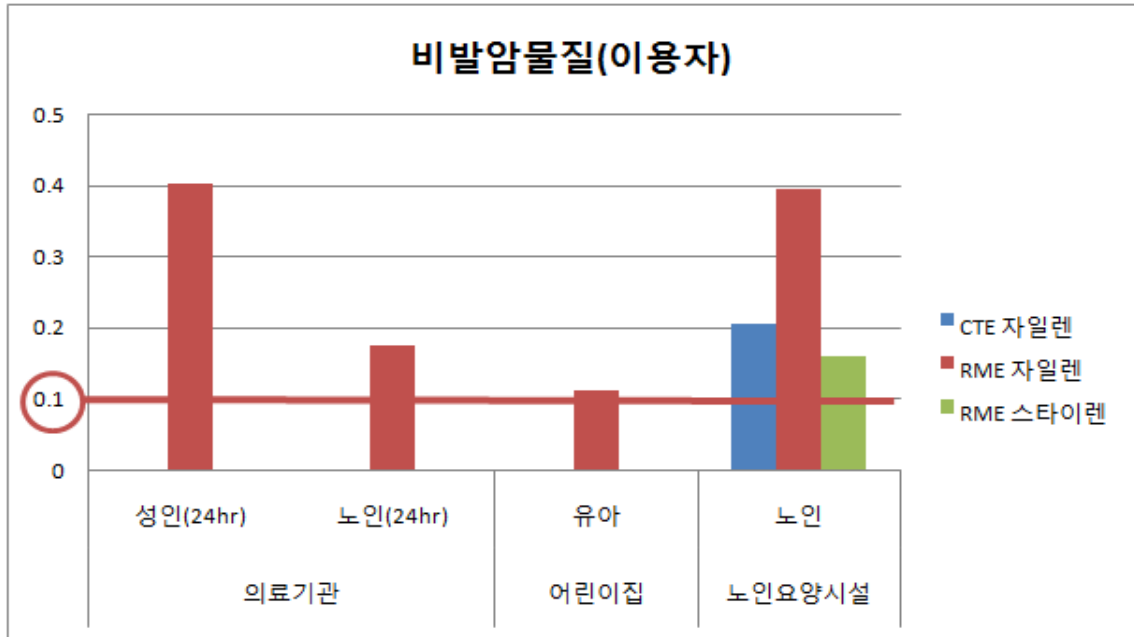


Table 29. Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates of facility user

구분		CTE	RME	
의료기관	영아	Toluene	유해지수 미만	
		Ethylbenzene		
		Xylene		
		Styrene		
	유아	Toluene		
		Ethylbenzene		
		Xylene		
		Styrene		
	성인	Toluene		유해지수 미만
		Ethylbenzene		유해지수 미만
		Xylene		24시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.403
		Styrene		유해지수 미만
노인	Toluene	유해지수 미만		
	Ethylbenzene	유해지수 미만		
	Xylene	24시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.175		
	Styrene	유해지수 미만		
어린이집	영아	Toluen	유해지수 미만	
		Ethylbenzene		
		Xylene		
		Styrene		
	유아	Toluen		
		Ethylbenzene		
		Xylene		6~8시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.112~0.150
		Styrene		유해지수 미만
노인요양 시설	노인	Toluen	유해지수 미만	
		Ethylbenzene	유해지수 미만	
		Xylene	24시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.206	
		Styrene	유해지수 미만	
			24시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.394	
			24시간 이용 시 유해지수(0.1) 초과 : 0.159	

Fig 20. Fixed-point(CTE, RME) non-carcinogenic risk estimates graph of facility user



4.6.3 일반규제물질의 위해성평가

유해성 확인 단계에서 발암성 혹은 비발암성 물질로 분류되지 않은 입자상 물질과 가스상 물질에 대한 위해성을 정량적으로 판정하기 위해 질병 사망 위해도 평가 및, Safety Factor를 산출하였다.

입자상 물질인 PM10은 이용형태별로 구분하여 질병 사망 위해도 평가를 수행하였고, 독성 정보가 충분하지 않은 CO2, 총부유세균, PM2.5, 곰팡이 등 4항목은 Safety Factor를 산출하였다.

질병 사망 위해도 평가 판정은 근무자는 0.1, 이용자는 0.01을 기준으로 판단하였으나, safety factor는 근무자, 이용자 모두 1을 기준으로 판단하였다.

1) PM10 흡입 질병 사망 위해도

① 근로자

의료시설 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 근로자의 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.065, RME상태에서는 0.107으로 CTE상태에는 유해지수 0.1 미만이었으나, RME상태에서는 유해지수 0.1 초과로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 근로자의 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.022으로 , RME상태에서는 0.089으로 모두 단위 유해지수 0.1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 근로자의 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.027으로 , RME상태에서는 0.223으로 CTE상태에는 유해지수 0.1 미만이었으나, RME상태에서는 유해지수 0.1 초과로 평가되었다.

② 이용자

영아, 유아, 성인, 노인을 대상으로 위해성평가를 수행한 의료시설에서는 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, 1시간(간단한 진료), 4시간(각종 검사 및 진료 병행), 24시간(입원 진료) 중 성인이 24시간(입원 진료)을 이용하는 경우에만 CTE 상태에서 0.014, RME 상태에서 0.022로 유해지수 0.01을 초과하며, 나머지의 경우에는 모두 유해지수 0.01 미만으로 평가되었다.

영아, 유아를 대상으로 한 어린이집 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서는 모두 유해지수 0.01 미만으로 평가되었고, RME 상태에서는 모두 유해지수 0.01 초과로 평가되었다.

노인요양시설에서 실내공기 중 PM10 흡입에 의한 질병 사망 위해도의 단일 분석치 결과, CTE 상태에서 0.043, RME 상태에서 0.354로 모두 유해지수 0.01 초과로 평가되었다.

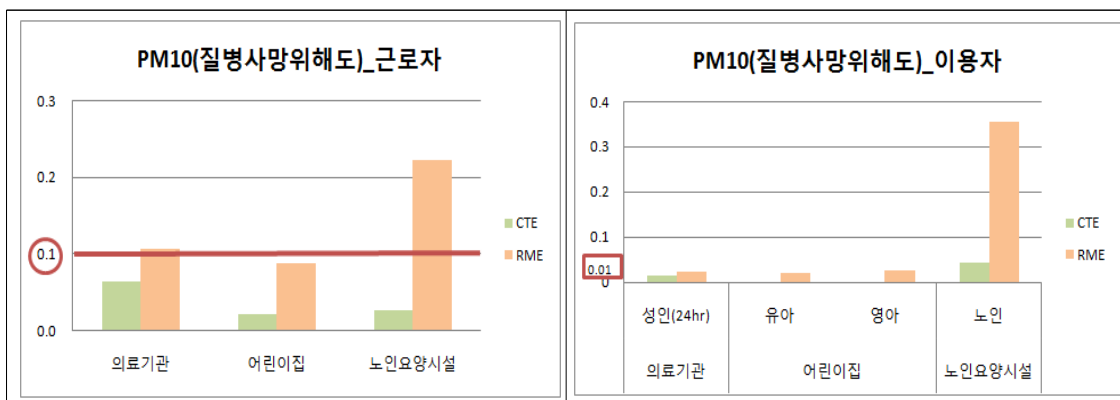
Table 30. Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates of facility worker

구분		CTE		RME	
의료기관	PM10	0.065	유해지수(0.1)미만	0.107	유해지수(0.1)초과
어린이집		0.022	유해지수(0.1)미만	0.089	유해지수(0.1)미만
노인요양시설		0.027	유해지수(0.1)미만	0.223	유해지수(0.1)미만

Table 31. Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates of facility user

구분			CTE	RME
의료기관	영아	PM10	유해지수(0.01)미만	유해지수(0.01)미만
	유아		유해지수(0.01)미만	유해지수(0.01)미만
	성인		24시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.014	24시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.022
	노인		유해지수(0.01)미만	유해지수(0.01)미만
어린이집	영아	유해지수(0.01)미만	6~8시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.015~0.020	
	유아	유해지수(0.01)미만	4~8시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.013~0.026	
노인요양시설	노인	24시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.043	24시간 이용 시 유해지수(0.01)초과 : 0.354	

Fig 21. Fixed-point(CTE, RME) Disease death risk estimates graph of facility worker



2) 이산화탄소 흡입 Safety Factor

의료시설 실내공기 중 이산화탄소 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.539, RME상태에서는 0.798으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 이산화탄소 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.421으로 , RME상태에서는 0.736으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 이산화탄소 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.456으로 , RME상태에서는 0.838으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

3) 총부유세균 흡입 Safety Factor

의료시설 실내공기 중 총부유세균 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.293, RME상태에서는 1.145으로 RME 상태에서는 기준 1을 초과하였다.

어린이집에서는 실내공기 중 총부유세균 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.403으로 , RME상태에서는 1.962으로 RME 상태에서는 기준 1을 초과하였다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 총부유세균 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.268으로 , RME상태에서는 0.675으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

4) PM2.5 흡입 Safety Factor

의료시설 실내공기 중 PM2.5 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.367, RME상태에서는 0.553으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

어린이집에서는 실내공기 중 PM2.5 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.131으로 , RME상태에서는 0.471으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 PM2.5 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.169으로 , RME상태에서는 0.294으로 모두 1

미만으로 평가되었다.

5) 부유곰팡이 흡입 Safety Factor

의료시설 실내공기 중 부유곰팡이 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.513, RME상태에서는 0.963으로 모두 1 미만으로 평가되었다.

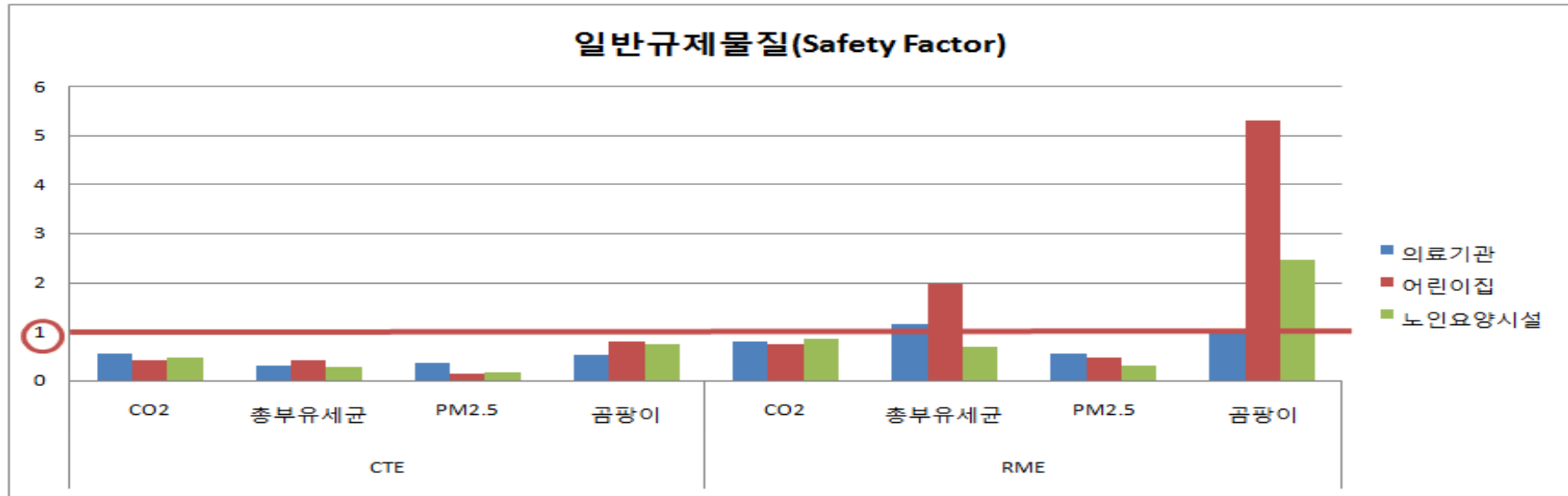
어린이집에서는 실내공기 중 부유곰팡이 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.778으로 , RME상태에서는 5.299으로 RME 상태에서는 기준 1을 초과하였다.

노인요양시설에서는 실내공기 중 부유곰팡이 흡입에 의한 Safety Factor의 분석치 결과, 근로자, 이용자 모두 CTE 상태에서 0.739으로 , RME상태에서는 2.466으로 RME 상태에서는 기준 1을 초과하였다.

Table 32. Fixed-point(CTE, RME) safety factor of facility worker and user

구분		CTE		RME	
의료기관	이산화탄소	0.539	기준(1) 미만	0.798	기준(1) 미만
어린이집		0.421		0.736	
노인요양시설		0.456		0.838	
의료기관	총부유세균	0.293		1.145	기준(1) 초과
어린이집		0.403		1.962	기준(1) 초과
노인요양시설		0.268		0.675	기준(1) 미만
의료기관	PM2.5	0.367		0.556	기준(1) 미만
어린이집		0.131		0.471	
노인요양시설		0.169		0.294	
의료기관	부유곰팡이	0.513		0.963	기준(1) 미만
어린이집		0.778		5.299	기준(1) 초과
노인요양시설		0.739		2.466	기준(1) 초과

Fig 22. Fixed-point(CTE, RME) safety factor graph of facility worker and user



V. 결론

본 연구는 울산지역에 위치한 다중이용시설 중 건강민감계층 이용시설(의료기관, 어린이집, 노인요양시설) 32개소 64개 지점을 대상으로 실내 공기 중 PM10, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균, PM2.5, 부유곰팡이, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 스타이렌, 자일렌 등 11개 항목의 실측자료를 이용하여 각 물질의 농도특성과 환경인자(온도, 습도, 인당 건축면적, 건축년도)에 따른 오염도 특성을 파악하였다. 또한, 산출된 실내공기오염물질 실측농도와 호흡률, 노출시간, 체중, 수명 등을 이용하여 노출 시나리오를 작성하고, 시설별 근로자와 이용자가 다중이용시설에서 실내공기오염물질의 흡인으로 인한 건강위해성평가를 실시하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 건강민감계층 이용시설(의료기관, 어린이집, 노인요양시설)의 실내 평균온도와 습도는 계절별로 봄(3.21~6.21) $23.3 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$, $48.5 \pm 10.9\%$, 여름(6.22~9.23) $25.5 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$, $60.4 \pm 10.1\%$, 가을(9.23~12.21) $21.2 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$, $51.9 \pm 5.6\%$ 로 조사되었다.

2. 연구대상시설의 각 지점별 실내공기오염물질 평균값으로 기준 초과 여부를 조사한 결과, 32개소 64개 지점 중 PM10은 1개 지점(1.6%)에서, 폼알데하이드는 2개 지점(3.1%)에서, 총부유세균은 7개 지점(10.9%)에서, 부유곰팡이는 14개 지점(21.9%)에서 기준을 초과하였다. 또한 연구대상시설별로 의료기관 20개 지점 중 2개 지점(10%)이, 어린이집 36개 지점 중 13개 지점(36.1%)이, 노인요양시설 8개 지점 중 3개 지점(37.5%)이 기준을 초과하였으며, 총 64개 지점 중 18개 지점인 28.1%의 기준 초과율을 나타내었다.

3. 실내공기에서 폼알데하이드는 온도가 높은 환경에서 방출량이 지속되며($p < 0.01$), 습도의존성은 온도의존성보다는 명확하지 않다. ($p < 0.01$) 부유곰팡이는 온도나 습도의 주효과가 유의하지 않았는데 이러한 결과는 부유곰팡이가 환경인자보다 구조 등 내부인자에 따른 영향을 더 받은 것으로 사료된다. 또한 오래된 건물일수록 PM10, 총부유세균이 높았는데($p < 0.05$), 이는 건물이 노후화됨에 따라 먼지가 증가하여 PM10, 총부유세균에 영향을 준 것으로 사료된다.

4. 본 연구대상시설의 건강위해성평가 결과, 발암물질(폼알데하이드, 벤젠) 평생 초과발암위해도는 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 안전한 수준이나, 해당 물질을 농도 95% 농도로 흡입할 경우, 의료기관, 어린이집의 근로자 및 어린이집을 이용하는 영아의 경우는 최대 허용기준(10^{-4})을 초과하여 근무환경개선 및 환기시설 개선 등의 위해도 관리 조치가 필요할 것으로 판단된다.

5. 비발암물질의 건강위해성평가 결과 또한 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 각 물질들에 대한 유해 영향 유발 확률이 낮으나, 자일렌과 스타이렌 물질을 95% 농도로 흡입할 경우 근로자와 이용자에게 위해한 작용을 일으킬 수 있으므로, 이 물질에 대한 예방차원에서의 관리가 필요할 것으로 판단된다.
6. 질병사망위해도로 계산한 PM10의 건강위해성평가 결과, 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 대부분 위해도가 낮은 것으로 조사되었고, PM10을 95% 농도로 흡입하고, 그 시설에 가장 오래 있는 다고 가정할 경우 기준이 초과되는 것으로 나타났다.
7. 일반규제물질(이산화탄소, 총부유세균, PM2.5, 부유곰팡이)의 건강위해성평가 결과 또한 근로자와 이용자 모두 중간 농도 값으로 계산하면 대부분 기준이내로 조사되었고, 실내공기질 오염도 검사시 기준 초과율이 높았던 총부유세균과 부유곰팡이에 대해서는 95% 농도 값을 대입했을 때 기준이 초과 되는 경우가 나타났다.
8. 위해성평가는 수용체의 현재 건강상태를 반영할 수 없으며, 건강위해성평가 결과 안전한 수준일지라도 시설의 특성상 건강민감계층이 이용하는 시설이니 만큼 모든 실내공기 오염물질로부터 적극적인 실내공기질 관리가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박순권 : 울산지역 다중이용시설의 실내공기질 특성연구(2011)
2. 진창엽 : 실내공간 용도별 공기오염 특성분석(2011)
3. 손종렬·이정주 : 「실내환경과 건강」 (경기: 신광문화사, 2008)
4. 환경부 : “바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까요?”(소책자, 2016)
5. 최인석 : 서울지역 미적용 다중이용시설의 실내공기질에 관한 연구(2011)
6. 김태성 : 김해시 유치원 실내공기오염 특성에 관한 연구(2010)
7. 환경부 : “다중이용시설 실내공기질 관리 매뉴얼”(2018)
8. 국립환경과학원 : 국립환경과학원 고시 제 2006-30호 「유해화학물질관리법」 제 18조 및 동법 시행규칙 제 14조 2항에 따른 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 세부사항 제정·고시
9. 이원영 : 서울시 어린이집 휘발성 유기화합물 농도 및 건강 위해성평가에 관한 조사연구(2014)
10. US EPA : “Guidelines for exposure assessment”(1992)
11. US EPA : U.S.EnvironmentalProtectionAgency (1997) ,Guidingprinciples for montecarloanalysis
12. 정용 : 「환경오염물질에 대한 건강위해성 평가 및 관리」 p81-90
13. 양원호: 「실내공기오염물질의 노출 및 위해성평가 주택도시」 (2003) p102-117
14. 신혜진 : 소규모 다중이용시설의 실내공기질 건강위해성평가 (2016)
15. 류인철 : 다중이용시설 실내공기질 특성 및 건강위해성평가에 대한 연구 (2010)
16. 최일우 등 : 의료시설 실내공기질 특성 및 건강위해성평가(2013)
17. 국립환경과학원 : “실내공기 중 오염물질의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침”(2018)
18. US EPA : “Guidelines for the health risk assessments of other chemical mixtures” (1986)
19. 신혜수 : 보육시설의 실내공기 중 휘발성유기화합물 분포 특성 및 건강위해성 평가(2012)
20. 유복희 : 실내 건축 재료에서의 포름알데히드 방출에 대한 온도 및 습도의 영향 (2010)
21. 김중순 : 일부 음식점 주방의 부유세균 및 부유진균 조사연구
22. 동상호 : 서울시 일부 보육시설의 실내공기오염물질과 환경관리요인의 관련성 (2013)

Abstract

Modern people spend most of their time indoors, from 70 to 90 percent of the day. Therefore, indoor environment has a great influence on health. Health sensitive groups that Respiratory system and immune function are weaker than general adults spend a longer time to work indoors than adults. If they are active in contaminated indoor air for a long time, they are easily exposed to chronic diseases.

Nevertheless, there is still a lack of research on the indoor air quality and the health risk assessment about the facilities used for the health sensitive groups.

In this study, In order to analysis the characteristics of the indoor air pollution level, this study was conducted to measure indoor air pollutants such as PM10, formaldehyde, carbon dioxide, total airborne bacteria, PM2.5, airborne mold, VOCs(benzene, toluene, ethyl benzene, xylene, and styrene) on the facilities(Medical Institutions, Day care Center, Nursing Homes) used for the health sensitive groups in Ulsan. And through analysis of the indoor air pollutants and health risk assessment, This study presents the basic data on the indoor air quality of the facilities used for health sensitive groups.

The results of the investigation on whether the average value of the indoor air pollutants in the facilities exceeds the standard are as follows. Of 64 spot(32 locations), PM10 exceeded at 1 spot(1.6%), formaldehyde exceeded at 2 spots(3.1%), the total number of total airborne bacteria exceeded at 7 spots(10.9%), and the airborne mold exceeded at 14 spots. In addition, 2 spots of 20 medical centers (10%), 13 spots of 36 day care centers (36.1%), and 3 spots of 8 Nursing Homes (37.5%) exceeded the standard. Overall, it showed 28.1%(18 spots of the total 64 points) excess rate.

In indoor air, formaldehyde emission is sustained in high temperature environments ($p < 0.01$), and humidity dependence is less clear than temperature dependence($p < 0.01$). The main effect of airborne mold on temperature and humidity was not significant. These results suggest that airborne mold is affected by internal factors such as structure rather than environmental factors. Also, it was found that PM10 and total airborne bacteria were higher in old buildings ($p < 0.05$). This result is considered that PM10 and total airborne bacteria were affected by the increase of dust as the building was aged.

The risk tolerance for cancer risk assessment was set $10^{-6} \sim 10^{-4}$. In the case of non-cancerous substances, the Unit Hazard Index was calculated to be 0.1 for users, 1 for workers. For General Regulatory Substances that are difficult to identify carcinogenic and non-carcinogenic information, they were calculated as disease death risk (user: 0.01, worker: 0.1) and safety factor (standard: 1).

As a result of the health risk assessment of the facilities in this study, the risk of carcinogenic substance(formaldehyde, benzene) lifetime cancer risk is safe in case of worker and user. When carcinogenic substance(formaldehyde, benzene) health risk assessments are calculated as 95% concentration, the criterion is exceeded the Maximum acceptable standard(10^{-4}), it need management measure such as improving working conditions and improving ventilation facilities.

In addition, as a result of the assessment of the health risk of non-carcinogens, the probability of causing adverse effects on each substance is low,

In case of the health risk assessment that calculated as a median value, Workers and users are less likely to have adverse effects. When xylene and styrene's health risk assessments are calculated as 95% concentration, Preventive management of these substances is necessary, because it can It can cause harm to workers and users.

As a result of the health risk assessment of the PM10 calculated for the death of the disease, it was found that both the workers and the users were found to have the lowest risk by calculating the median concentration value. And When PM10 was applied at 95% concentration and the stay time in the facility was sent to be the longest, the standard was exceeded.

In the case of the results of the health risk assessment of general regulated substances (carbon dioxide, total airborne bacteria, PM2.5, airborne mold), Both workers and users were surveyed within the standard range when calculating the median concentration value.

For the total airborne bacteria and airborne mold, which exceeded the standard excess rate in the examination of indoor air pollution level, when the result is calculated as 95% concentration it appeared standard value excess.

The health risk assessment can not reflect the present health status. And although the result of the health risk assessment is safe, Because the facilities are used for health sensitive groups, it is necessary to aggressively manage the indoor air quality from all the indoor air pollutants.