

# 영구임대주택단지 단위주거의 실내공기질 측정평가 : 그린리모델링 여부 및 거주자 생활특성에 따른 비교

## Measurement and Evaluation on Indoor Air Quality of Household Units in a Permanent Rental Housing Complex : Comparison by Green Remodeling Status and Residents' Characteristics

박웅<sup>1)</sup> · 박정서<sup>1)</sup> · 최윤정<sup>2)\*</sup>

충북대학교 주거환경학과 학사과정<sup>1)</sup> · 충북대학교 주거환경학과 교수<sup>2)\*</sup>

Park, Woong<sup>1)</sup> · Park, Jeongseo<sup>1)</sup> · Yoon Jung Choi<sup>2)\*</sup>

Department of Housing and Interior Design, Chungbuk National University<sup>1),2)</sup>

### Abstract

This study aimed to assess indoor air quality in permanent rental housing units and to suggest improvements. Field surveys were conducted in three existing units and three units completed green remodeling (GR) within a complex where GR was in progress. The selection of these households was made in collaboration with the My Home Center and the on-site remodeling project manager. Measurements of indoor air pollutants were taken, alongside resident interviews and observations. The surveys took place from November 23, 2024, to January 1, 2025. The measurement results were compared against Standards of the Indoor Air Quality Management Act, and the influence of GR status and resident characteristics on indoor air quality was analyzed. The findings revealed that the average CO<sub>2</sub> concentration per household ranged from 805 to 1,893 ppm, with four households not meeting the standards. The average TVOC concentration per household varied from 240 to 2,024 µg/m<sup>3</sup>, with three households failing to meet the standards. The average PM<sub>10</sub> concentration ranged from 20 to 92 µg/m<sup>3</sup>, with one household not meeting the standards. Analysis of concentration differences among the surveyed households indicated that CO<sub>2</sub> levels were influenced by ventilation and improved airtightness resulting from GR. TVOC concentrations were associated with GR implementation and the use of incense products. PM<sub>10</sub> levels were linked to the usage time of gas cooktops and cooking methods. Therefore, for future construction and GR design of permanent rental housing, it is essential to install heat recovery ventilation systems and automatic control devices for range hoods, as well as to select low-emission materials.

**Keywords:** Measurement and evaluation, Indoor air quality, Permanent rental housing complex, Green remodeling, Residents' characteristics

## I. 연구의 배경 및 목적

한국토지주택공사의 공공임대주택 거주 실태조사 보고

에 따르면, 영구임대주택은 건축연한 25년 이상 경과된 호수가 87%로 노후되었고, 호당 공급면적은 평균 28㎡로, 유사 소득대인 저소득층의 민간 전월세 평균 공급면적인

이 논문은 (사)한국생활과학회 2025하계학술대회 발표내용을 수정보완한 것임.

\* Corresponding author: Yoon Jung Choi

Tel: +82-43-261-2714, Fax: +82-43-276-7166

E-mail: ychoi@cbnu.ac.kr

© 2025, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

50.2m<sup>2</sup>에 비해 현저히 작은 체적의 공간에 거주하고 있는 것으로 나타났다. 또한 영구임대주택에 거주하는 독거노인의 비중은 79.4%로 타 임대주택에 비해 높았고, 가구주의 평균 연령은 65.2세로 고령화 양상이 뚜렷하였다(진미윤 외, 2023). 작은 체적 거주공간은 실내공기질의 문제가 있을 수 있는데, 권명희 외(2009)가 아파트의 실내공기질을 측정하고, 25평 미만인 세대에서 부유세균 및 PM2.5, PM10 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 또한, 고령화는 유병률 증가로 이어지는데, 조경숙(2021)에 따르면, 우리나라에서 2019년의 만성폐쇄성폐질환의 유병률은 11.8%이며, 연령이 증가할수록 유병률이 증가하였다.

한편, 정부는 2020년 7월, 한국판 그린뉴딜 종합계획 중 2025년까지 15년 이상된 노후 공공임대주택 225,000호의 그린리모델링을 추진할 계획이라고 발표하였다. 국토교통부(2020)에 따르면 ‘노후 공공임대주택 그린리모델링 사업’은 에너지의 사용을 줄이는 리모델링으로 노후 건축물의 에너지성능을 강화하고 거주자의 주거환경을 개선하기 위해 국토교통부와 LH에서 추진하는 정책사업이다. 박진표(2024)에 따르면, 광주도시공사는 2021년부터 노후 공공임대주택 그린리모델링 사업에 참여하여 2023년까지 1930세대의 그린리모델링을 완료하였고, 2025년까지 380세대의 그린리모델링이 예정되어 있다. 그 외 대부분의 지자체에서 공공임대주택 그린리모델링 사업을 실시하고 있거나 예정하고 있는 것으로 파악된다.

그런데, 최윤정 외(2007)는 아파트 4곳에서 개조 전과 개조 1~2일 후에 실내공기요소를 측정하고, 아파트 개조 후에 TVOC, HCHO 농도가 모두 증가하였다. 심현숙, 최윤정(2008)의 연구에서도 리모델링 후 3개월 이내의 아파트 단위주거 20곳에서 거주자가 생활하고 있는 상태의 실내공기질을 측정하고, 단위주거별 CO<sub>2</sub>, TVOC, HCHO 평균농도의 절반 이상이 평가기준을 초과하는 것으로 나타나, 리모델링 후 실내공기질이 악화될 가능성을 배제할 수 없다고 하였다. 또한, 오염물질농도의 시간변동 분석결과 가스레인지 사용, 추가 리모델링 행위, 화학물질 함유용품 사용시 농도상승, 환기시에 농도감소되어, 거주자 생활특성이 실내공기질 관련요인으로 나타났다.

따라서, 영구임대주택은 체적이 작고 고령자가 거주하고 있어 실내공기질 관리가 중요한데, 실내공기질의 악화 가능성이 있는 그린리모델링 사업이 시행되고 있으므로, 그린리모델링된 영구임대주택의 실내공기질 실태 파악이 필요한 상황이다. 그러나 영구임대주택의 실내공기질에

대한 연구는 김배일(2016)의 신축 공동주택의 베이크아웃 방안을 제안한 연구뿐으로, 그린리모델링한 영구임대주택의 거주중 실내공기질 실태는 전혀 파악되어 있지 않다.

이에 본 연구는 영구임대주택단지에서 그린리모델링이 시행된 세대와 기존세대를 대상으로 실내공기요소의 현장 측정과 거주자면접 및 관찰을 병행하는 현장조사를 통하여, 실내공기질 실태를 파악하고 그린리모델링 여부와 거주자의 생활특성이 실내공기질에 미치는 영향을 분석하여, 영구임대주택의 실내공기질 관리를 위해 고려할 사항을 제안하는 것을 목적으로 하였다.

## II. 문헌고찰

### 1. 선행연구

본 연구의 선행연구고찰을 위해 한국교육학술정보원(<http://riss.or.kr/>)에서 ‘영구임대주택 실내공기질’, ‘그린리모델링 실내공기질’, ‘리모델링 실내공기질’, ‘아파트 실내공기질’ 등의 키워드로 2025년 3월까지 검색한 결과, 영구임대주택의 실내공기질 관련 연구는 김배일(2016) 뿐이었다. 이 연구는 한국토지주택공사에서 2011년~2014년에 신축한 공공임대주택 2,471세대에서 입주 15일~30일 전에 포름알데히드와 휘발성유기화합물을 측정하고, 내부자료를 분석하여, 효과적인 베이크아웃 방안으로, 시행 기준온도를 상향조정, 중층부와 큰 주택평형의 베이크아웃 시행시간 증대, 여름철 입주세대의 환기량 최대한 확보를 제안하였다. 따라서 영구임대주택의 거주중 실내공기질 실태나 그린리모델링한 주거공간의 실내공기질에 대한 연구는 전무하였다. 이에, 본 연구의 선행연구로, 리모델링 후의 실내공기질을 측정하고, 거주자 생활특성에 의한 영향을 분석한 연구를 고찰하였다.

#### 1) 리모델링 후의 실내공기질 관련 연구

‘그린리모델링 실내공기질’ 또는 ‘리모델링 실내공기질’ 관련 연구는 의료시설, 보육시설, 교육시설, 도서관의 리모델링 후 실내공기질에 대한 연구가 다수 있었으나 주거공간에 대한 연구는 매우 소수였다.

최윤정 외(2007)는 개조계획이 있는 아파트 단위주거 4곳을 대상으로, 비거주 상태에서 개조 전과 개조 1~2일 후의 TVOC와 HCHO 농도를 측정하고 영향요인을 분석하

였다. 측정결과, TVOC농도는 개조 전 0.00~0.12 ppm, 개조 후 0.35~5.08 ppm으로 상승하였으며, HCHO농도는 개조 전 0.00~0.17 ppm, 개조 후 0.13~0.43 ppm으로 상승하였다. 아파트 개조시 TVOC, HCHO 농도변화는 전면개조인지 부분개조인지, 사용한 마감재 및 접착제의 종류와 양, 설치 및 구입 기구의 제작방법에 따라 농도 상승에 차이가 나타났다.

심현숙, 최윤정(2008)은 리모델링 후 3개월 이내의 아파트 단위주거 20곳에서 거주자가 생활하고 있는 상태에서 실내공기요소를 현장측정하며 거주자면접 및 관찰을 병행하는 현장조사를 하였다. 「다중이용시설등의 실내공기질관리법」(2005.5 개정)의 보육시설등의 시설군 기준을 적용하여 분석한 결과, 주택별 평균 CO<sub>2</sub>농도는 683~2,309 ppm으로 20개 중 14개 주택이 유지기준을 초과하였고, TVOC는 주택별 평균 0~3.0 ppm으로 11개 주택이 기준초과, HCHO농도는 주택별 평균 0~0.1 ppm으로 12개 주택이 기준초과, PM<sub>10</sub>과 CO의 주택별 평균농도는 각각 0.8~74.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0.2~6.1 ppm으로 모든 주택이 유지기준보다 낮았다. 실내공기질의 영향요인 분석결과로는 리모델링 양과 환기특성이 유의적이었으며, 측정일의 생활요인은 실내배경요소(실내온도, 상대습도), 환기시간, 생활행위 등이 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

황계규(2014)는 2,000가구의 주거환경내의 폼알데하이드를 측정하여 환경성질환과의 연관성을 분석하였는데, 리모델링 후 521가구에서의 평균농도는 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 리모델링을 하지 않은 1,479가구의 평균농도 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높아 리모델링시 사용된 접착제, 목재, 새가구가 폼알데하이드농도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 환경성질환을 경험한 833가구의 평균농도는 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비경험한 1,167가구의 평균농도 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높았으며, t-검정 결과 폼알데하이드농도와 환경성질환 사이에 유의미한 상관관계가 있는 것으로 나타나, 가정내 폼알데하이드 농도를 줄여 환경성질환을 예방할 필요가 있다고 하였다.

## 2) 거주자 생활특성에 따른 실내공기질 관련 연구

아파트 실내공기질을 주제로 한 연구는 다수 있어, 본 연구와 관련된 거주자 생활특성에 따른 분석이 포함된 연구를 고찰하였다. 이승민 외(1996)는 준공 3년 미만의 아파트 A세대와 1년 미만의 아파트 B세대를 대상으로 공간별 실내공기요소와 부유미생물수, 환기량을 측정하였고 거주자 생활실태를 관찰하였다. 측정결과, CO농도는 A

아파트 7~9 ppm, B아파트 7~15 ppm으로, 가스레인지 사용이 농도증가의 공통된 원인으로 분석되었다. CO<sub>2</sub>농도는 창호를 모두 닫은채 취침하여 A세대는 1명이 취침한 작은방에서 2,000 ppm, B세대는 2명이 취침한 안방에서 2,800 ppm까지 꾸준히 증가한 것으로 나타났다. 또한, 환기횟수가 0.4 회/h로 가장 적었던 B세대의 경우 Rn농도가 1.23 pCi/l로 ASHRAE의 연평균 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 환기가 중요하며 에너지 절약 및 쾌적한 공기환경을 유지하기 위해 전열교환기가 부착된 환기장치 설치를 제안하였다.

황진아 외(2010)는 4인가족이 거주하는 아파트 단위주거 3곳을 대상으로, 실내공기요소를 측정하고, 영향요인을 관찰 및 기록, 면접조사를 진행하였다. 측정결과, CO<sub>2</sub>농도는 A아파트 1,854 ppm, B아파트 1,502 ppm, C아파트 1,170 ppm으로 모두 평가기준(1,000 ppm 이하)을 초과하였다. 영향요인으로 채실자 수 증가, 가스레인지 사용시 증가하였으며, 주방후드 작동시, 개구부개방 환기시 감소하였다. HCHO농도는 A아파트 0.15 ppm, B아파트 0.10 ppm으로 2개 아파트가 평가기준(0.08 ppm 이하)을 초과하였으며 영향요인으로 가스레인지 사용시 증가하였다. 이에, 가스레인지 사용시 자동으로 작동되는 주방후드설치를 제안하였다.

이상의 선행연구고찰 결과, 리모델링한 아파트의 실내공기질을 측정한 연구에서 리모델링 후 TVOC, HCHO의 농도가 증가한 것으로 나타났다. 거주자 생활특성에 따른 실내공기질 분석에서는 거주자 수, 가스레인지 사용, 환기 등의 생활특성이 CO, CO<sub>2</sub> 등의 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 그린리모델링한 영구임대주택에서 거주자의 생활을 수용한 실내공기질 실태에 대한 연구는 의미가 있다고 판단된다.

## 2. 평가기준

본 연구의 측정요소에 대한 평가기준을 고찰하였으나, 거주중인 주거공간에 대해서는 실내공기요소의 유지기준을 규정하고 있는 현행법령이 없었다. 「실내공기질 관리법」에서는 다중이용시설을 가~다 시설군으로 구분하여 유지, 권고 기준을 정하고 있다. 본 조사대상은 노약자가 거의 24시간 채실하는 특성이 있으므로, 노인요양시설을 포함한 ‘나 시설군’ 기준을 평가기준으로 준용하였다<표 1>.

### III. 연구방법

#### 1. 연구방법의 개요

본 연구는 그린리모델링(이하 GR)이 진행중인 충북 청주시 소재 영구임대주택단지에서 마이홈센터와 리모델링 현장소장으로부터 단지특성과 세대특성, GR특성에 대해 면접과 자료를 제공받아 현장조사를 계획하였다.

현장조사는 단위주거에서 실내공기요소의 현장측정과 거주자면접 및 관찰을 병행하였다. 조사대상은, 영구임대주택단지에서 GR여부와 거주자의 생활특성에 따른 실내공기질 실태파악을 위해, 대상주택단지 마이홈센터의 소개로 GR여부와 취사여부만을 고려하고 협조의사가 있는 6개 세대를 대상으로 하였다<표 2>.

#### 2. 조사내용 및 방법

##### 1) 현장측정

현장측정은 거주자의 생활을 수용한 상태에서, 배경요소인 실내온도, 상대습도와 분석요소인 CO<sub>2</sub>, CO, TVOC, PM10, HCHO, Rn 농도를 측정하였다.

측정시간은, 마이홈센터와의 면접시, 대부분의 세대가 식사를 단지내 급식소를 이용하는 세대와 직접 취사하는 세대로 구분된다는 내용을 바탕으로, 취사 전후 활동의 영향이 반영되는 시간대(11:00~17:00)로 하였다. 측정위치는, 세대평면이 방1(거실겸용)과 수납공간으로 이용하는 작은방으로 구성되어 있고, 주로 좌식생활 기거양식을 고려하여, 방1(거실)의 중앙부에서 바닥 위 30~35 cm 높이로 하였다<표 3>.

<표 1> 실내공기질 유지 및 권고기준

항목	유지기준				권고기준	
	CO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Rn (pCi/l)*
다중이용시설						
나. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집, 실내 어린이놀이시설	1000이하	10이하	80이하	75이하	400이하	4이하

「실내공기질 관리법 시행규칙」(2025.3.11., 타법개정) [별표2]와 [별표3] 일부 발췌

\*Rn(라돈)의 권고기준은 148 Bq/m<sup>3</sup> 이하이지만, 측정기기의 표기단위에 따라 pCi/l 환산치를 사용함.

<표 2> 현장조사의 개요

	현장측정	면접 및 관찰
조사대상	•GR이 진행중인 영구임대주택단지에서 기존, GR시행 각 3개 세대 •조사대상단지 마이홈센터의 소개로, GR여부와 취사여부만을 고려하고 협조의사가 있는 세대를 선정함	
조사내용	•배경요소: 실내온도, 상대습도 •분석요소: CO <sub>2</sub> , CO, TVOC, PM10, HCHO, Rn	•거주자면접: 거주자특성, 평소 실내공기관련 생활특성 •관찰: 공기질 관련 외부환경요인, 측정일의 실내공기 관련요인
조사방법	•세대당 1일 6시간 동안 거주자의 생활을 수용한 상태에서 측정	•측정일에 면접, 관찰 및 사진촬영
조사기간	2024년 11월 23일 ~ 2025년 1월 2일 (기간중 4일)	

<표 3> 측정내용 및 방법

측정항목	측정기기	준비 및 측정 시간	측정위치
배경 요소	실내온도	•10시 도착, 1시간 기기안정 후 측정시작 •취사 전후 활동의 영향이 반영되는 11~17시에 15분 간격으로 측정기록*	방1(거실)의 중앙부에서 바닥 위 30~35 cm 높이 (좌식생활기준)
	상대습도		
분석 요소	CO <sub>2</sub>		
	CO		
	TVOC		
	PM10		
HCHO	Formaldehyde Multimode Monitor FM-801		
Rn	Radon EyE ALPHA Model RD201		

\*HCHO측정기의 측정간격이 30분 단위이므로 HCHO는 30분 간격으로 측정기록

2) 면접 및 관찰

거주자특성 및 평소 실내공기관련 생활특성에 대해서는 측정중 거주자면접 및 관찰하였다<표 4>.

3. 분석방법

현장측정자료와 면접 및 관찰 자료를 포함한 현장조사 자료는 크게 두 가지 방법으로 작성하고 분석하였다. 현장 조사자료는 6개 조사대상세대의 비교표로 요약 작성하여, 측정치를 평가기준과 비교하고 GR여부에 따른 세대간 차이를 파악하였다. 시간변동 그래프는 측정요소별로 6개 세대의 측정치 및 관련 요인에 대해 표기하여, 세대별 변동특성 및 영향요인에 대해 분석하였다.

IV. 조사결과 및 해석

1. 조사대상의 특성

1) 조사대상단지의 개요

본 조사대상단지는 1991년 사용승인된 LH 영구임대주택단지로서, 지하1층 지상15층의 철근콘크리트조 건물로, 모든 세대가 남향, 전용면적 26㎡, 중앙난방방식의 바닥난방, 냉방설비는 벽걸이 에어컨 1대, 환기설비는 주방후드, 욕실 배기팬, 자연환기설비가 부착된 외기직접창이 설치되어 있었으며, 공간은 방1(거실겸용), 방2, 주방, 욕실로 구성되어 있었다<표 5>.

<표 4> 면접 및 관찰의 내용

항목	내용
조사대상세대 및 거주자특성	성별, 연령, 거주층수, 거주기간, 보유가구의 종류 및 교체 여부, 재실자수, 공기관련 질환여부, 흡연여부
평소 생활특성	가스레인지 사용, 레인지후드 가동, 환기량, 환기방식, 화학물질 함유용품 사용, 재실시간, 기거양식, 공기청정기 유무
측정일의 실내공기 관련 요인	냉난방설비 및 환기시스템 가동상황, 창호 및 문 개폐횟수 및 시간, 공기질에 영향을 미칠 수 있는 기기사용(연소기기, 가습기, 보조난방기기, 공기청정기 등), 화학물질 함유용품 사용, 흡연냄새 유입여부, 재실자 수 및 행위

<표 5> 조사대상단지 개요

항목	내용	
단지 특성	사용승인일	1991년 5월 20일
	건물구조	철근콘크리트조
	건물층수	지하1층, 지상15층
	방위	모든 세대 남향
	주차장	옥외주차장
세대 특성	전용면적	26㎡
	공간구성	방1(거실겸용), 방2, 주방, 욕실
	난방설비	중앙난방방식의 바닥난방
	냉방설비	벽걸이 에어컨 1대
	환기설비	주방후드, 욕실 배기팬, 자연환기설비가 부착된 외기직접창
사회적 특성	입주자격	「공공주택 특별법 시행규칙」 [별표3](2024.12.5., 일부개정)에 의거 •생계급여 또는 의료급여 수급자 •월평균소득이 전년도 도시근로자 가구원수별 가구당 월평균소득의 70% 이하인 국가유공자, 한부모가족, 북한이탈주민, 장애인, 아동복지시설퇴소자, 65세 이상 고령자
	입주방법	입주희망자는 관련 서류를 갖추어 LH 홈페이지나 LH지역본부 혹은 관할지자체에 신청 후 심사를 거쳐 선정됨. 당첨자는 계약체결 및 사전점검을 거쳐 입주하며, 입주 후에도 자격유지여부에 따라 거주지속여부가 결정됨.

## 2) 그린리모델링의 특성

LH의 노후 공공임대주택 GR사업 추진계획에 따른 GR 요소는 [그림 1]과 같고, 리모델링 현장소장과 마이홈센터에서 제공받은 내용은 <표 6>과 같다. 조사대상단지는 1991년 준공된 이후 2011년, 2017년에 각각 외기직접창과 실내마감재를 교체한 이력이 있으며, GR내용은 기존세대에서 경질폴리우레탄 단열재를 사용한 벽체 내단열보강, 거실과 방의 외기간접창, 단열방화문, LED조명, 마감재, 주방가구, 가스레인지 등을 교체하였다.

조사대상단지의 GR은 주민설명회 및 간담회를 거쳐, 공실을 GR시공하고, 전문코디네이터의 상세한 설명으로 이주를 신청한 기존입주자에게 GR시공된 주택을 무작위로 배정하는 방식으로 진행되었다.

## 3) 조사대상세대의 특성

조사대상세대는 <표 7>과 같이 GR 미시행과 시행 각 3세대로서, GR시행세대 D,E,F는 이주 후 각 1개월, 1.5개월, 1년이 경과되었다. 모든 세대는 55~88세의 1인세대이며, 하루중 재실시간이 20시간 이상의 비흡연자이다. 세대 B는 일주일에 두세번 가족이나 이웃이 방문하여 1시간 내외로 머무른다고 하였다. 공기청정기는 세대F만 보유하고 있으나 잘 사용하지 않는다고 하였다. 2011년에 교체된 자

연환기설비가 부착된 외기직접창에 대해서는 모든 세대에게서 알지 못하여 단혀 있었고, 발코니창(외기직접)에만 설치되어 있어 거실창(외기간접)이 단혀 있으면 유효하지 않은 상황이었다.

평소 생활특성 중 세대 B,E는 가스레인지를 사용하여 취사하는 세대였고, 나머지 세대는 단지내 급식소를 이용한다고 하였으며, 모든 세대가 레인지후드는 전혀 사용하지 않는다고 하였다. 평소에 환기는, 세대E는 하루 6시간 이상을, 세대B는 5~10분 정도를 외기직접창과 외기간접창을 개방하여 환기한다고 하였으며, 세대C는 외출하는 동안 현관문을 5 cm 정도 개방하여 환기한다고 하였으나, 세대 A,D,F는 거의 안 하는 것으로 조사되었다.

## 2. 측정요소별 분석결과

현장측정결과 및 측정시 생활요인을 <표 8>에 요약하였다. 외부요소는 측정시간의 기상청(2024)과 에어코리아(2024) 자료를 이용한 것으로, CO농도는 세대간 차이가 거의 없었고, PM10은 세대C의 측정일이 다소 높았으나, 세대C의 실내 PM10농도가 조사대상세대 중 가장 낮게 나타나, 외부농도의 영향은 고려하지 않고 분석이 가능하다고 판단된다.



[그림 1] 노후 공공임대주택의 그린리모델링 추진내용  
출처: 염지은(2021)

〈표 6〉 조사대상단지의 그린리모델링 항목

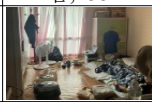
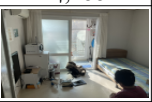




항목	구분	기존세대	GR세대	
공사시기		1991년 준공, 2011년 외기직접창 교체*, 2017년 마감재 교체*	2020년부터 현재 진행중	
평면구성				
벽체구조		철근콘크리트, T50 단열재, 석고보드 위 도배마감	철근콘크리트, T50 기존단열재, 경질폴리우레탄 단열재**, 석고보드 위 도배마감	
창의 유형	외기직접	외기간접	외기직접	외기간접
	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연환기설비가 있는 단창</li> <li>PVC 프레임</li> <li>일반복층유리 (KSL 2003 A종 II류)<sup>1)</sup></li> </ul>	방1(거실겸용) : 싱글글래스 목재프레임 단창 <sup>2)</sup> 방2: 싱글글래스 PVC프레임 이중창 <sup>3)</sup>	교체하지 않음	<ul style="list-style-type: none"> <li>이중창</li> <li>PVC 프레임</li> <li>일반복층유리 (KSL 2003 A종(U1) II류</li> </ul>
				
현관문	일반 현관문		단열 방화문	
조명	형광등		LED 사각등	
마감재 종류***	합지벽지, PVC장판			
	육실: 자기질바닥타일, 세라믹타일		육실: 폴리싱타일, 포세린타일	
가구, 기기	싱크대, 가스레인지, 후드, 육실설비		신발장, 주방가구, 냉장고, 가스레인지, 후드, 육실설비	

\*장기수선계획에 따라 사업주체(LH)가 세대별로 공사를 진행함

\*\*벽체에 보강된 단열재 두께는 T105(양 끝 세대), T95(엘리베이터 측벽 세대), T75(세대간벽)이고, 천장과 바닥은 단열보강이 시행되지 않음

\*\*\*LH에서 KS인증제품을 선정함

〈표 7〉 면접 및 관찰조사 결과

특성	조사대상	GR미시행			GR시행		
		세대A	세대B*	세대C	세대D	세대E	세대F
성별, 연령		남, 55	여, 88	남, 72	여, 60	여, 78	남, 71
측정공간 특성	측정공간						
	거주층수	2층	8층	6층	8층	4층	6층
	현재주택 거주기간	10년	30년	7년	1개월	1.5개월	1년
평소 생활 특성		공사완료 즉시 이주					
	가스레인지 사용	거의 안 함	많음	거의 안 함	거의 안 함	많음	적음
	레인지후드 가동	가동 안 함	거의 안 함	가동 안 함	가동 안 함	거의 안 함	거의 안 함
	환기량	거의 안 함	적음	보통	거의 안 함	많음	거의 안 함
	화학물질 함유용품 사용	살충용 스프레이, 바디워시, 샴푸	염색약, 바디워시, 샴푸	비누, 바디워시, 샴푸	청소세제, 살충용 스프레이, 바디워시, 샴푸	바디워시, 샴푸	방향제, 탈취제, 손소독제, 살충용 스프레이, 바디워시, 샴푸
	재실시간	20~21시간	24시간	20~21시간	22시간	24시간	23시간
기거양식	좌식	입식	병행	좌식	병행	병행	

\*세대B만 2022년에 교체한 개인소유가구(침대1, 소파1)가 있었음

〈표 8〉 현장측정결과 요약

■ : 평가기준 부적합

항목	세대	GR미시행						GR시행							
		세대A		세대B		세대C		세대D		세대E		세대F			
		측정일		2024.12.1		2024.11.23		2025.1.2		2024.11.23. (GR 후 1개월)		2024.12.1. (GR 후 1.5개월)		2024.12.26. (GR 후 1년)	
		구분	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
평가기준	평균		평균		평균		평균		평균		평균				
외부요소 1)	온도 (°C)	-	1.5	11.5	1.5	12.6	-2.3	5.4	1.5	12.6	1.5	11.5	-1.9	7.5	
			6.5		6.3		1.9		6.3		6.5		2.5		
	습도 (%)	-	65	79	34	52	41	59	34	52	65	79	18	43	
			69		39		47		39		69		27		
PM10 (µg/m³)	-	17	48	23	54	51	96	23	54	17	48	16	64		
		35		35		74		35		35		41			
CO (ppm)	-	0.67	0.83	0.36	0.58	0.30	0.69	0.36	0.58	0.67	0.83	0.35	0.74		
		0.73		0.42		0.39		0.42		0.73		0.47			
배경요소	실내온도 (°C)	-	21.3	24.2	20.3	25.5	22.5	27.0	20.6	24.5	18.9	22.1	25.2	27.6	
			22		23.2		24.5		22.9		23.4		27.0		
상대습도 (%)	-	32.6	40.8	39.3	54.8	19.7	26.1	38.1	47.3	34.7	48.5	19.9	37.0		
		37.7		48.5		22.2		41.3		39.1		29.0			
분석요소	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000 이하	925	1,266	860	2,427	806	979	1,767	2,175	610	1,004	1,153	2,804	
			1,091		1,461		885		1,893		805		1,855		
	CO (ppm)	10 이하	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	
			0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		
	TVOC (µg/m³)	400 이하	60	350	380	710	240	420	1,030	1,180	160	480	1,050	2,680	
			240		566		340		1,098		253		2,024		
	PM10 (µg/m³)	75 이하	10	30	10	100	10	40	10	30	20	690	10	60	
			21		34		20		22		92		32		
	HCHO (µg/m³)	80 이하	12	27	12	30	12	12	12	22	12	17	12	43	
			17		20		12		18		13		22		
Rn (pCi/l)	4 이하	0.30	1.05	0.32	1.24	0.32	0.73	0.27	0.86	0.16	1.57	0.58	1.32		
		0.62		0.63		0.52		0.61		0.64		0.98			
측정일의	측정 전 환기량	거의 안 함		적음		적음		거의 안함		많음		거의 안함			
	재실자 수 <sup>2)</sup>	1~2명		2~3명		1~2명		2명		1~2명		1~2명			
	가스레인지 사용시간 <sup>3)</sup>	없음		1시간2분		없음		없음		1시간4분		12분			
생활요인	화학물질 사용	-		•가구 교체 (2022년)		•세수비누 (육실)		-		•주방세제		•방향제 •주방세제			
	환기중 창호개방면적 (환기시간)	•현관문출입 2회		•현관문출입 3회 •현관문 약 50 cm 개방 3회 (총10분이내)		•현관문 약 1 cm 개방 2회 (총3시간35분)		•현관문 약 50 cm 개방 1회(10분)		•외기직접창 약 10 cm, 외기간접창 약 4 cm 개방(6시간)		•현관문출입 2회 •외기직접창 약 20 cm, 외기간접창 완전개방(5분) •방2 복도에 면한 창 약 5cm개방(2시간1분)			

<sup>1)</sup>외부요소는 기상청(2024)과 에어코리아(2024)의 자료를 이용함

<sup>2)</sup>재실자 수는 호흡인원을 의미하므로 측정자 수를 포함함

<sup>3)</sup>가스레인지 사용시 모든세대에서 레인지후드를 가동하지 않음

1) CO<sub>2</sub>농도

① 평가기준 및 세대간 비교

CO<sub>2</sub>농도 측정결과, <표 8>에서 보는 바와 같이, 세대A 925~1,266(평균 1,091) ppm, 세대B 860~2,427(평균 1,461) ppm, 세대C 806~979(평균 885) ppm, 세대D

1,767~2,175(평균 1,893) ppm, 세대E 610~1,004(평균 805) ppm, 세대F 1,153~2,804(평균 1,855) ppm으로 나타났다. 평가기준(1000 ppm 이하)과 비교하면, 세대별 평균이 4개(A,B,D,F) 세대가 부적합하였는데, 세대A는 5번의 측정치만 평가기준 적합, 세대B,D,F는 거의 모든 측정

치가 평가기준에 부적합하였다. 세대C와 E는 거의 모든 측정치가 평가기준에 적합한 상태였다.

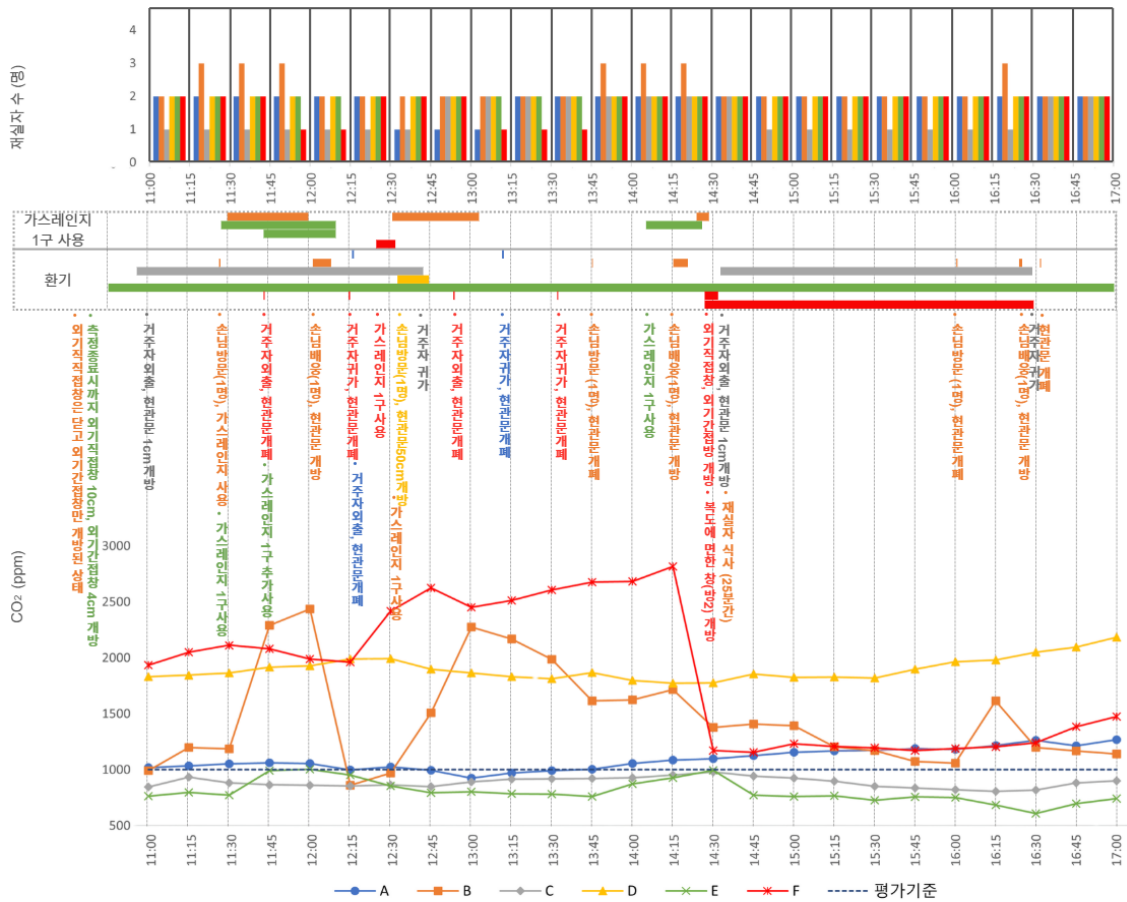
조사대상세대 CO<sub>2</sub>농도의 평가기준 적합여부는 환기량과 관련이 있는 것으로 보인다. 겨울철이므로 대체로 환기량이 적어 부적합세대 중 A,B,D는 측정일에 현관문만 총 10분 이내 개방하였으나, 적합세대 C,E는 현관문 또는 외기직접창을 적은 면적이지만 3시간35분, 6시간 개방하였다. 부적합세대 중 F는 창(방2)을 2시간 개방하였는데도 높은 농도로 나타났는데, 평소에는 환기하지 않는다고 하였고, 측정일에도 측정 전에 환기하지 않아 측정시작시 약 2,000 ppm에서 계속 상승하여 6세대 중 가장 높은 농도로 유지되다가 측정시작 후 3시간30분에 환기하면서 농도가 감소했지만 계속 평가기준에 부적합한 상태였다. 개방한 창은 사시가 닫힌 복도에 면한 창이고 약 5 cm만 개방하였다.

GR여부에 따라 비교하면, GR시행세대(D,E,F)는 610~2,804(평균 1,518) ppm으로 기존세대(A,B,C) 806~2,427

(평균 1,146) ppm 보다 높았다. 측정일의 환기시간은 GR시행세대는 총 약 8시간, 기존세대는 총 약 3시간50분으로 GR시행세대의 총환기시간이 더 길었으며, 가스레인지 사용시간은 그룹별 총합이 약 1시간 정도로 차이가 거의 없었으므로, GR에 의해 기밀성이 향상된 것으로 판단된다.

② 시간변동 분석결과

[그림 2]에서 세대별 CO<sub>2</sub>농도의 시간변동을 살펴보면, 세대A는 측정시작시(11:00) 1,018 ppm으로 평가기준 정도로 나타났는데, 평소 환기를 하지 않는 1인 세대의 실태로 판단된다. 12:00에 1,055 ppm으로 1시간 동안 37 ppm 상승하였는데, 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 13:00에 925 ppm으로 1시간 동안 130 ppm 감소하였는데, 거주자 1인의 외출 및 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 측정종료시(17:00)에 1,266 ppm으로 4시간 동안 341 ppm 상승하였는데, 13:12에 거주자 귀가 이후 환기하지 않은 상태에서 재실자



[그림 2] CO<sub>2</sub>농도 측정결과

2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다.

세대B는 측정시작시 990 ppm으로 평가기준에 근접하였는데, 이는 세대A와 마찬가지로 평소 환기를 거의 하지 않는 1인 세대의 실태로 판단된다. 11:30에 1,184 ppm으로 30분 동안 194 ppm 상승하였는데, 35분간 손님 방문으로 재실자 3인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 12:00에 2,427 ppm으로 30분 동안 1,243 ppm 상승하였는데, 28분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 12:15에 860 ppm으로 15분 동안 1,567 ppm 감소하였는데, 손님배웅으로 5분간 현관문 개방, 재실자 1인 감소가 영향요인으로 생각된다. 13:00에 2,265 ppm으로 45분 동안 1,405 ppm 상승하였는데, 31분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 13:45에 1,611 ppm으로 45분 동안 654 ppm 감소하였는데, 가스레인지 사용이 중지된 후 자연감소로 생각된다. 14:15에 1,710 ppm으로 30분 동안 99 ppm 상승하였는데, 30분간 손님 1인의 방문이 영향요인으로 생각된다. 14:30에 1,374 ppm으로 15분 동안 336 ppm 감소하였는데, 3분간 현관문 개방, 재실자 1인 감소가 영향요인으로 생각된다. 16:00에 1,058 ppm으로 1시간30분 동안 316 ppm 감소하였는데, 2인 재실중 외기간접창을 완전개방하고 있었기 때문으로 생각된다. 16:15에 1,611 ppm으로 15분간 553 ppm 상승하였는데, 22분간 손님 1인의 방문이 영향요인으로 생각된다. 16:30에 1,196 ppm으로 15분 동안 415 ppm 감소하였는데, 1분간 현관문 개방과 재실자 1인 감소가 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에 1,138 ppm으로 30분 동안 58 ppm 감소하였는데, 2인 재실중 외기간접창을 완전개방하고 있었기 때문으로 생각된다.

세대C는 측정시작시 846 ppm으로 평가기준을 만족하였고, 12:45에 848 ppm으로 1시간45분 동안 일정하게 유지되었는데, 이는 거주자가 현관문을 1 cm 정도 개방한 상태로 외출하여, 1시간41분간 환기 및 재실자가 1인이었기 때문으로 판단된다. 14:30에 979 ppm으로 1시간45분 동안 131 ppm 상승하였는데, 거주자가 귀가하면서 현관문을 닫아, 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 16:15에 806 ppm으로 1시간45분 동안 173 ppm 감소하였는데, 현관문을 1 cm 정도 개방한 상태로 1시간54분간 거주자 외출이 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에 900 ppm으로 45분 동안 94 ppm 상승하였는데, 거주자 귀가 후 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다.

세대D는 측정시작시 1,825 ppm으로 평가기준을 크게

초과하였는데, 이는 평소 환기를 하지 않는 것이 영향요인이며, 세대A~C와의 차이는 그린리모델링에 의한 기밀성 향상으로 짐작된다. 12:30에 1,985 ppm으로 1시간30분 동안 160 ppm 상승하였는데, 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 12:45에 1,890 ppm으로 15분 동안 95 ppm 감소하였는데, 방문자에 의해 10분간 현관문을 약 50 cm 개방한 것이 영향요인으로 생각된다. 이후 측정종료시에 2,175 ppm으로 4시간15분 동안 285 ppm 상승하였는데, 이는 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다.

세대E는 측정시작시 763 ppm으로 평가기준을 만족하였는데, 이는 평소 수면시간을 제외한 거의 모든시간에 외기직접창 약 10 cm, 외기간접창 약 4 cm을 개방한 상태로 생활하는 것이 영향요인으로 판단된다. 재실자가 2인이 되었는데도 11:30까지 거의 일정하다가 12:00에 1,004 ppm으로 30분 동안 231 ppm 상승하였는데, 18분간 가스레인지 1구, 26분간 가스레인지 2구 사용이 영향요인으로 생각된다. 13:45에 760 ppm으로 1시간45분 동안 244 ppm 감소하였는데, 가스레인지 사용중지 및 지속적인 환기가 영향요인으로 생각된다. 14:30에 994 ppm으로 45분 동안 234 ppm 상승하였는데, 20분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 16:30에 610 ppm으로 2시간 동안 384 ppm 감소하였는데, 가스레인지 사용중지 및 창을 약간 더 개방한 것이 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에 744 ppm으로 30분 동안 134 ppm 상승하였는데, 창을 다시 약간 닫고 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다.

세대F는 측정시작시 1,928 ppm으로 평가기준을 크게 초과하였는데, 이는 평소 환기를 하지 않는 것이 영향요인으로 짐작된다. 11:30에 2,104 ppm으로 30분 동안 176 ppm 상승하였는데, 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 12:15에 1,953 ppm으로 45분 동안 151 ppm 감소하였는데, 거주자 외출 및 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 12:45에 2,614 ppm으로 30분 동안 661 ppm 상승하였는데, 이는 12:15에 거주자 귀가 후 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡, 12분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 13:00에 2,441 ppm으로 15분 동안 173 ppm 감소하였는데, 거주자 외출 및 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 13:30에 2,594 ppm으로 30분 동안 153 ppm 상승하였는데, 이는 환기하지 않은 상태에서 재실자 1인의 호흡이 영향요인으로 생각되는데, GR미시행세대에서 환기하지 않은 상태에서 1인 재실시 CO<sub>2</sub>농도가 기준치 정도로 유지되는 것과

차이가 있어, GR에 의한 기밀성 향상으로 판단된다. 14:15에 2,804 ppm으로 45분 동안 210 ppm 상승하였는데, 거주자 귀가 후 환기하지 않은 상태에서 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다. 14:45에 1,153 ppm으로 30분 동안 1,651 ppm이 감소하였는데, 이는 거주자가 공기질 측정임을 의식해서인지 평소와 달리 14:27에 외기직접창과 외기간접창은 완전개방, 복도에 면한 창(방2)은 5 cm 개방한 것이 영향요인으로 생각된다. 16:30에 1,238 ppm으로 1시간45분 동안 농도가 유지되었는데, 이는 외기직접창, 외기간접창은 5분간 개방 후 닫았지만 복도에 면한 창(방2)은 2시간 동안 계속 개방한 것이 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에 1,470 ppm으로 30분 동안 232 ppm 상승하였는데, 16:30쯤 모든 창을 닫은 후 재실자 2인의 호흡이 영향요인으로 생각된다.

이상에서, CO<sub>2</sub>농도의 시간변동 분석결과, GR을 하지 않은 기존세대의 경우, 겨울철, 평소 환기를 거의 하지 않아도 1인 거주시 CO<sub>2</sub>농도가 기준치 정도로 유지되지만, 방문자에 의해 2인 또는 3인 재실시에는 다른 발생원이 없어도 환기하지 않으면 농도가 지속적으로 상승하여 평가기준을 초과하는 것으로 분석된다(세대A,B). 재실자의 호흡 이외에 CO<sub>2</sub>발생원인은 가스레인지 사용으로, 레인지후드를 가동하지 않고 가스레인지를 사용하면 1구를 약 30분 사용시 1시간 전보다 1,200 ppm 이상의 급격한 상승이 나타났다(세대B). 세대C는 외출시(총3시간35분) 현관문을 1 cm 정도 개방하는 환기습관에 의해 1인 거주 및 2인 재실시에도 기준치 미만으로 유지되는 것으로 나타났다.

GR세대의 경우, 환기를 하지 않은 상태에서는 재실자 2인의 호흡만으로 CO<sub>2</sub>농도가 평가기준을 크게 초과하며, 1인 호흡시에도 상승되는 것으로 나타나, GR에 의해 기밀성이 향상된 것으로 판단된다(세대D,F). 세대F에서 환기량이 거의 없는 상태에서 가스레인지 1구를 약 12분 사용시 30분 전보다 약 700 ppm 이상의 급격한 상승이 나타나, 세대B와 비교할 때 기밀성 향상에 의해 상승폭이 더 큰 것으로 판단된다. 그러나, 세대E는 CO<sub>2</sub>농도가 최고치를 제외한 모든 측정치가 평가기준을 만족하였고 평균이 조사대상세대 중 가장 낮게 나타났는데, 측정시간 중 계속 2인이 재실하고 있었고, 조사대상세대중 가스레인지 사용시간이 가장 길었는데도, 측정당일 지속적으로 외기직접창, 외기간접창을 개방한 환기가 영향요인으로, 가스레인지 1구를 약 30분 사용시 45분 전보다 300 ppm 정도만 상승했다. CO<sub>2</sub>는 무색 무취의 기체로, 사람의 호흡, 연료의 연소시 발생하며 호흡중의 CO<sub>2</sub>농도가 4%가 되면 폐포 내의 CO<sub>2</sub>가

증가하기 시작하고 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다(손종렬, 이정주, 2008). 따라서, 기밀성이 향상되는 GR시행시에 기준치 이하로 유지하지 위해서는 환기장치 설치가 필수적인 것으로 생각된다.

## 2) CO농도

CO농도 측정결과, <표 8>에서 보는 바와 같이, 세대A는 0.1~0.2(평균 0.1) ppm, 세대F는 0.1~0.5(평균 0.1) ppm, 나머지세대(B,C,D,E)는 모든 측정값이 0.1 ppm으로 나타났다. 평가기준(10 ppm 이하)과 비교하면, GR여부에 관계없이 모든 측정치가 평가기준에 적합한 상태였다. 조사대상세대는 거주자가 모두 비흡연자이고, 2층 이상으로 자동차 배기가스 유입의 가능성이 낮으며, 불완전연소에 의한 발생도 거의 없었던 것으로 판단된다.

## 3) TVOC농도

### ① 평가기준 및 세대간 비교

TVOC농도 측정결과, 세대A 60~350(평균 240)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대B 380~710(평균 566)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대C 240~420(평균 340)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대D 1,030~1,180(평균 1,098)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대E 160~480(평균 253)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대F 1,050~2,680(평균 2,024)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 평가기준(400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하)과 비교하면, 세대별 평균은 3개(B,D,F) 세대가 부적합하였는데, 이들 3개 세대는 거의 모든 측정치가 평가기준에 부적합하였다. 평균이 평가기준에 적합한 3개 세대 중 세대C와 E는 평가기준을 초과하는 측정치가 나타났으나 세대A는 모든 측정치가 평가기준에 적합한 상태였다.

평가기준 적합여부는 방향제 사용 등의 발생원, GR시행 여부, 환기량이 영향요인으로 보인다. 부적합세대 B,D,F 중 B는 GR미시행세대이나 2022년에 가구 교체가 있었다. GR시행세대(D,E,F)는 160~2,680(평균 1,125)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기존세대(A,B,C) 60~710(평균 382)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 높았다. 세대D와 E는 GR시행 이외에 VOC의 발생원이 될 만한 관찰기록이 없었으나, 세대F는 측정대상중 유일하게 방향제를 사용하고 있었다. GR공사완료 후 측정일까지의 경과기간은 세대D는 1개월, E는 1.5개월, F는 1년이었고, GR시행세대 중 E는 평소와 측정일에도 외기직접창과 외기간접창을 6시간 동안 개방하였다. 세대F는 측정일에 2시간 이상의 환기가 이루어졌으나, 평소에 환기하지 않아 측정시작시 약 2,400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 계속 상승하여 6세대 중 가장 높은 농도가 유지되다가 측정시작 3시간30분에 환기하

면서 농도가 낮아졌으나 창을 닫은 후 다시 꾸준히 상승하였다. 따라서 세대F는 방향제가 발생원으로 판단되고, 다른 발생원이 없고 환기량이 거의 없는 세대D는 GR시공재료로부터 휘발성유기화합물이 방출되는 상태로 판단된다.

<표 8>에서 배경요소 중 실내온도는 세대A~E는 세대간 거의 차이가 없었고, 세대F가 평균 27℃로 가장 높았는데, TVOC, HCHO 농도가 조사대상세대 중 가장 높아, 높은 실내온도가 이 세대에서 사용하고 있는 방향제의 휘발작용에 영향요인일 수 있다고 생각된다. 상대습도는 세대A, B, D, E는 세대간 큰 차이가 없었고 세대C와 F의 상대습도가 낮았는데, TVOC, HCHO 농도를 보면, 일관성 있는 상대습도의 영향이 보이지는 않는다.

② 시간변동 분석결과

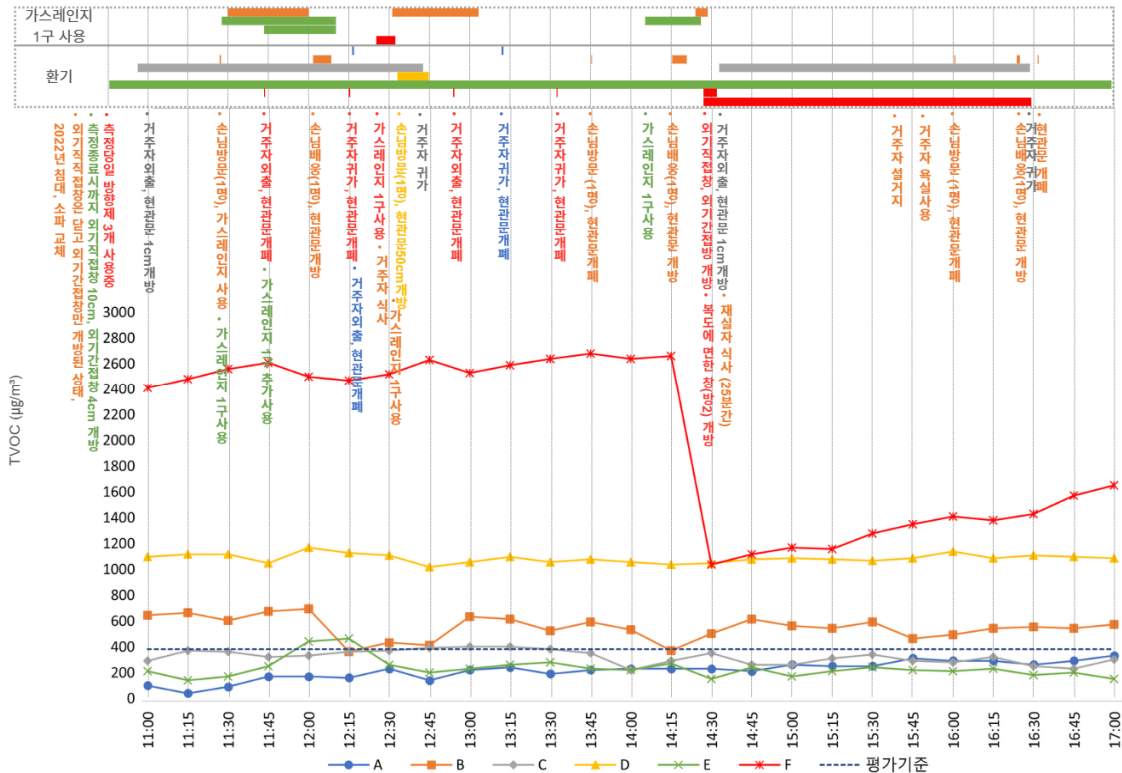
[그림 3]에서 세대별 TVOC농도의 시간변동을 살펴보면, 세대A는 측정시작시(11:00) 120 µg/m³로 평가기준을 만족하였고, 이후 측정종료시(17:00)까지 큰 변동없이 일정하게 유지되었다.

세대B는 측정시작시 660 µg/m³로 평가기준을 초과하였는데, 평소와 측정일에도 환기가 거의 되지 않은 상태였다. GR미시행 세대이므로 시공재료가 아닌 발생원이 있을 것

으로 짐작되나, 2022년에 교체된 침대와 소파 또는 생활상의 원인으로 판단된다. 12:00에 710 µg/m³로 1시간 동안 50 µg/m³ 상승하였는데, 28분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 12:15에 380 µg/m³로 15분간 330 µg/m³ 감소하였는데, 가스레인지 사용이 중지된 후 자연감소, 손님배우므로 5분간 현관문 개방이 영향요인으로 생각된다. 13:00에 650 µg/m³로 45분 동안 270 µg/m³ 상승하였는데, 31분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 14:15에 390 µg/m³로 1시간15분 동안 260 µg/m³ 감소하였는데, 가스레인지 사용중지 후 자연감소된 것으로 생각된다. 14:30에 520 µg/m³로 15분 동안 130 µg/m³ 상승하였는데, 3분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에 590 µg/m³로 2시간30분 동안 일정하게 유지된 것은 발생원이 없었기 때문으로 생각된다.

세대C는 측정시작시 310 µg/m³로 평가기준을 만족하였고, 이후 측정종료시까지 비슷한 수준으로 유지되었는데, 거주자가 현관문을 1cm 정도 개방한 상태로 외출한 총3시간35분간 환기가 이루어진 것이 영향요인으로 보인다.

세대D는 측정시작시 1,110 µg/m³로 평가기준을 크게 초과하였고, 이후 측정종료시까지 유사한 농도로 유지되



[그림 3] TVOC농도 측정결과

었는데, 12:00에  $1180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고농도를 나타냈으며, 12:45에  $1,030 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다소 감소하였을 때는 방문자에 의해 10분간 현관문을 개방한 것이 영향요인으로 보인다. 즉, GR시행세대에서 입주 후 전혀 환기하지 않는 경우, GR완료 한달 후에도 TVOC농도가 일평균  $1,098 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 평가기준을 크게 초과하는 것으로 판단된다.

세대E는 측정시작시  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하였는데, GR완료 한달 반 경과한 시점이지만, 평소 수면시간을 제외한 거의 모든시간에 외기직접창 10 cm와 외기간접창 4 cm를 개방한 상태로 생활하였고, 측정당일에도 유사한 정도의 환기가 이루어진 것이 낮은 농도의 영향요인으로 판단된다. 12:15에  $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간15분 동안  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 가스레인지를 18분간 1구, 26분간 2구 사용이 영향요인으로 생각된다. 12:45에  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 가스레인지 사용중지 후 자연감소인 것으로 생각되며, 측정종료시까지 일정하게 유지되었다. 즉, GR시행세대에서도 입주 후 지속적으로 환기하면 GR완료 한달 반 시점에 TVOC농도가 평가기준 미만으로 유지되는 것으로 판단된다.

세대F는 측정시작시  $2,410 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 크게 초과하였고, 11:45에  $2,610 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 45분 동안  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 이 세대는 GR완료 후 입주한지 1년 지난 세대로, 평소 환기를 전혀 하지 않으므로, GR에 의한 발생도 잔재 가능하며, 3개실에서 방향제를 사용하는 것이 명확한 영향요인으로 짐작된다. 12:15에  $2,470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 현관문 개폐가 영향요인으로 보인다. 12:45에  $2,630 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분간  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 12분간 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 13:00에  $2,530 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 15분 동안  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 14:15에  $2,660 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간15분 동안  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 환기하지 않는 상태에서 방향제가 발생원인으로 보인다. 14:30에  $1,050 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 15분 동안  $1,610 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 이는 거주자가 공기질 측정임을 의식해서인지 평소와 달리 14:27에 외기직접창과 외기간접창을 5분간 완전 개방, 복도에 면한 창(방2)은 5 cm 개방한 것이 영향요인으로 생각된다. 측정종료시에  $1,660 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2시간30분 동안  $610 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 복도에 면한 창(방2)만 16:28까지 개방한 상태로 각 실에 비치된 3개의 방향제가 발생원인으로 생각된다.

이상에서, TVOC농도의 시간변동 분석결과, GR을 하지 않은 기존세대는 환기여부와 상관없이 특별한 VOC 발

생원이 없는 경우 평가기준을 만족하는 것으로 나타났다(세대A,C). 반면 세대B는 평가기준을 다소 초과하였는데, 평소나 측정일에 거의 환기하지 않은 상태에서 2년 전 가구 교체, 가스레인지 사용 등 생활상의 요인에 의한 것으로 판단된다. GR세대에서 입주 후 전혀 환기하지 않으면 GR완료 한달 후에 일평균  $1,098 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 크게 초과하는 것으로 나타났으나(세대D), GR시행된 세대E는 가스레인지도 사용했는데도, 평소 수면시간을 제외한 거의 모든시간에 환기하는 생활습관으로, GR완료 한달 반 후에 일평균  $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하는 것으로 나타나, GR 후 환기의 중요성을 보여주고 있다.

평소 환기를 전혀 하지 않는 세대F의 경우 GR완료 후 입주한지 1년 정도 경과한 시점에서 3개실에서 방향제까지 사용하는 경우 TVOC농도가 약  $2,700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하고 일평균은  $2,024 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 휘발성유기화합물은 현재 건축자재, 세탁용제, 페인트, 살충제 등 생활 속에서 다양하게 사용되고 있으며, 주로 호흡 및 피부를 통해 인체에 흡수되며 급성중독일 경우 호흡곤란, 무기력, 두통, 구토 등을 초래하며 만성중독일 경우 혈액장애, 빈혈 등을 일으킬 수 있다.  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하에서도 재실자가 불쾌감을 느끼고,  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서는 20%의 재실자가 자극을 느끼고 가벼운 두통 등의 증상,  $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서는 두통, 메스꺼움, 어지러움, 구토증세, 기침 등을 유발한다(윤정숙, 최윤정, 2014). 따라서, 측정결과는 GR자재선택의 중요성, GR 후 환기의 필요성, 화학물질합용품 사용의 유해성을 시사한다.

#### 4) PM10농도

##### ① 평가기준 및 세대간 비교

PM10농도 측정결과, 세대A 10~30(평균 21)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대B 10~100(평균 34)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대C 10~40(평균 20)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대D 10~30(평균 22)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대E 20~690(평균 92)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대F 10~60(평균 32)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 평가기준( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하)과 비교하면, 평균은 세대E만 부적합하였는데, 세대E는 4회, 세대B는 2회의 측정치가 부적합하였다. 나머지세대(A,C,D,F)는 모든 측정치가 평가기준에 적합한 상태였다.

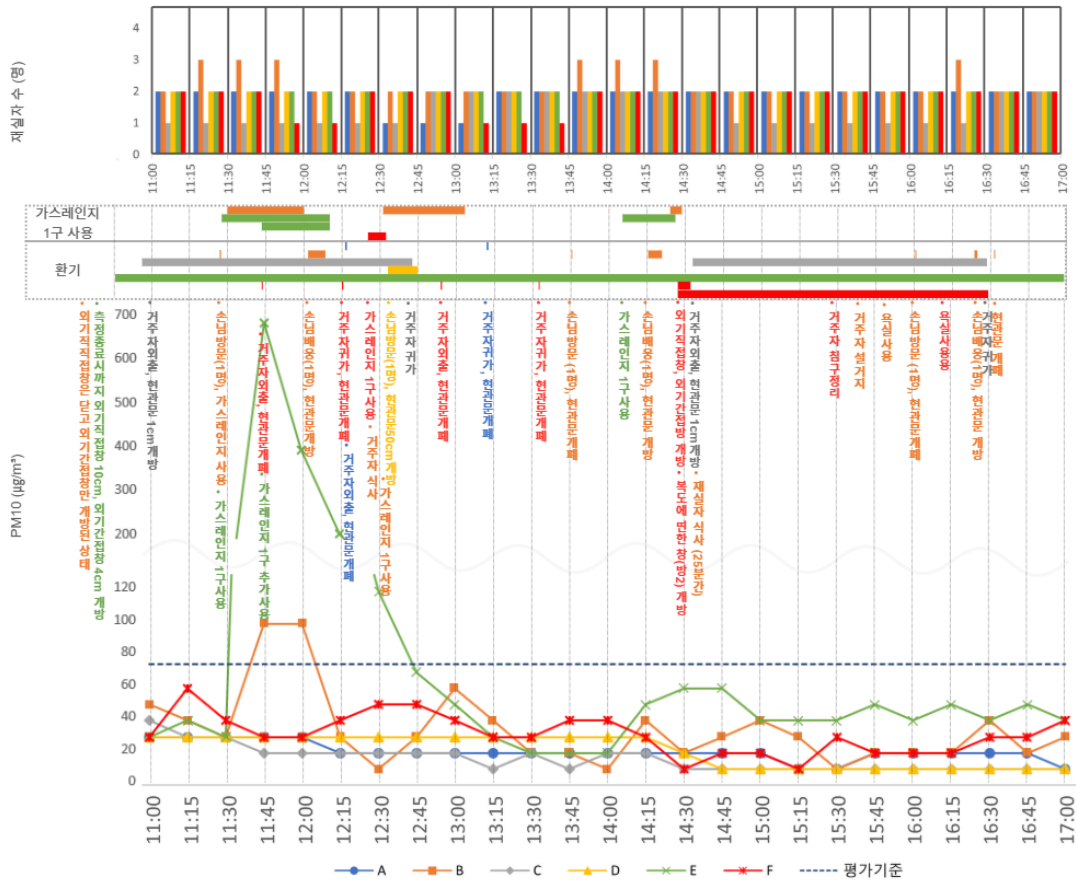
조사대상세대는 모두 고령의 재실자 1인이 거주하고 있어 미세먼지가 증가할만한 활동을 거의 하지 않는 것으로 관찰되어, 미세먼지농도의 평가기준 적합여부는 가스레인지 사용시간 및 조리방식과 관련이 있는 것으로 보인다. 가스레인지를 사용한 세대B,E,F 모두 레인지후드는 전혀 사

용하지 않았으며, 세대E는 지속적인 창개방 상태였고, 세대B,F는 가스레인지 사용중에 환기하지 않았는데, 세대B,E는 가스레인지 사용시 PM10농도가 평가기준을 초과하였다. 세대B는 약 30분간 단호박 삶기로 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하였고, 세대E의 경우 약 30분간 튀김방식의 계란후라이 조리시 690  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 평가기준을 크게 초과하였다. 세대F는 가스레인지를 12분 사용하였으나 물끓이기로 모든 측정치가 평가기준에 적합한 상태였다. 에어코리아(2024)의 자료에서 확인한 모든 측정일의 외부PM10 평균농도는 35~74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 대기정보 기준 보통수준이었다. 측정 당일 환기한 세대 모두 환기 후 실내PM10농도가 감소하여 외부PM10 유입에 의한 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 김정민, 장영주(2016)는 밀폐된 실험주택의 주방에서 조리시 초미세먼지농도를 측정된 결과, 계란후라이 조리(1,130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )는 고등어(2,290  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 삼겹살(1,360  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 이어 세 번째로 높게 측정되었다고 하였다. 즉, 유증기가 발생하는 재료와 조리방식이 미세먼지가 급격히 상승하는 영향요인으로 나타났다.

GR여부에 따라 비교하면, GR시행세대(D,E,F)는 10~690(평균 49)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기존세대(A,B,C) 10~100(평균 25)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 높았으나, 앞서 유증기 발생 조리방식에 의해 PM10농도가 급격히 상승한 세대E를 제외하면, GR시행세대와 기존세대에서 가스레인지 사용세대는 각 1개 세대씩인데, GR시행세대(D,F)는 10~60(평균 27)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 기존세대(A,B,C)는 10~100(평균 25)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 평균이 유사하게 나타나, PM10농도는 GR여부에 의한 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.

② 시간변동 분석결과

[그림 4]에서 세대별 PM10농도의 시간변동을 살펴보면, 모든 세대가 시작시에는 20~50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하여, 밤사이 취침과 오전 11시까지는 미세먼지가 증가할만한 원인이 없는 것으로 보인다. 세대A,C,D는 측정종료시까지 시간경과에 따른 뚜렷한 변화없이 비교적 일정하게 10~40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위에서 유지되었는데, 이 3개 세대는 가스레인지를 사용하지 않았다.



[그림 4] PM10농도 측정결과

세대B는 측정시작시  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하였는데, 환기가 거의 되지 않은 상태였다. 12:00에  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간 동안  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 35분간 손님 1인의 방문, 28분간 단호박을 삶기 위한 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 12:30에  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 가스레인지 사용중지와 5분간 현관문 개방이 영향요인으로 생각된다. 13:00에  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 31분간 물을 끓이기 위한 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 14:00에  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간 동안  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 가스레인지 사용중지와 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 이후 측정종료시까지 거의 일정하게 유지되었다.

세대E는 측정시작시  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하였는데, 환기를 하고 있었다. 11:45에  $690 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 45분 동안  $660 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 이는 밥짓기 및 계란후라이 조리를 위해 18분간 가스레인지 1구, 26분간 가스레인지 2구 사용이 영향요인으로 생각된다. 14:00에  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2시간 15분 동안  $670 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 지속적인 환기와 가스레인지 사용중지에 의한 자연감소로 생각된다. 14:30에  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하고 15분간 유지되었는데, 고구마를 삶기 위해 20분간 가스레인지 1구를 사용한 것이 영향요인으로 생각된다. 15:00에  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 환기와 가스레인지 사용중지에 의한 것으로 생각된다. 이후 측정종료시까지 2시간 15분 동안 거의 일정하게 유지되었다. 세대E 분석결과, 측정시간 동안 외기직접창과 외기간접창을 개방하고 있어 PM10 농도가 다소 낮은 상태로 유지되었으나, 가스레인지를 사용하여 유증기가 발생하는 조리방식으로  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 급격하게 상승하는 것으로 나타났다.

세대F는 측정시작시  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하였는데, 환기가 되지 않고 있었다. 11:15에  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 15분간  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가하였는데, 이는 거주자 면접시 평소 바로 옆집에서 실내흡연으로 냄새가 난다고 하였고 11:08에 욕실문을 열었을 때 담배냄새 관찰기록이 확인되어, 이웃의 흡연이 영향요인으로 판단된다. 12:00에  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 45분간  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 담배연기의 자연감소 및 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 12:45에  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 45분간  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가하였는데, 12분간 물을 끓이기 위한 가스레인지 1구 사용이 영향요인으로 생각된다. 13:15에  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분간  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하여 14:15까지 일정하게 유지되었는데, 가스레인지 사용중지와 현관문 개폐가 영향요인으로 생각된다. 14:30에  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 15분 동안

$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였는데, 창개방이 영향요인으로 생각된다. 15:30에  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간 동안  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 거주자가 이불을 정리한 것이 영향요인으로 보인다. 이후 16:15까지  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유지되었다가, 측정종료시  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 45분 동안  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가하였는데, 이는 16:13에 거주자가 욕실을 사용하면서 욕실에 잔류되어 있던 이웃집 담배연기가 거실로 확산된 것으로 짐작된다.

이상에서, PM10농도의 시간변동분석 결과, 세대B는 환기하지 않은 상태로 단호박삶기, 물끓이기로 가스레인지 약 30분씩 사용시 각각 약  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하는 것으로 나타났다. 세대E는 환기하고 있는 상태에서 밥짓기와 계란후라이 동시조리로 가스레인지 약 50분 사용시  $660 \mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하여 평가기준을 크게 초과하였다. 이는 튀김방식의 계란후라이 조리가 영향요인으로 판단된다. PM10은 지름이  $10 \mu\text{m}$  보다 작은 미세먼지로, 보일러나 발전시설 등에서 화석연료연소시의 매연, 자동차 배기가스, 가정에서 가스레인지 등을 사용하는 조리를 할 때도 발생한다. 특히 기름을 사용하는 볶음요리나 튀김요리는 재료를 삶는 요리보다 미세먼지를 많이 발생시키며, 평소 미세먼지농도보다 최소 2배에서 최대 60배까지 높게 상승된다. 미세먼지는 대기 중에 머물러 있다 호흡기를 거쳐 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 2013년에 세계보건기구(WHO) 산하의 국제암연구소(IARC)에서 미세먼지를 1군 발암물질로 지정하였다(환경부, 2016). 따라서, 측정결과는 조리방식의 변화와 가스레인지 사용시 레인지후드 가동의 필요성을 시사한다.

## 5) HCHO농도

### ① 평가기준 및 세대간 비교

HCHO농도 측정결과, 세대A 12~27(평균 17)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대B 12~30(평균 20)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대C 12~12(평균 12)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대D 12~22(평균 18)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대E 12~17(평균 13)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 세대F 12~43(평균 22)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 평가기준( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하)과 비교하면, 모든 세대가 평가기준에 적합한 상태였다.

GR여부에 따라 비교하면, GR시행세대(D,E,F)는 12~43(평균 18)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 기존세대(A,B,C)는 12~30(평균 16)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, GR여부에 따른 차이가 확인되지 않는다.

### ② 시간변동 분석결과

[그림 5]에서 세대별 HCHO농도의 시간변동을 살펴보면, 세대C,D,E는 측정종료시까지 시간경과에 따른 뚜렷한

변화없이 비교적 일정하게 12~22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위에서 유지되었는데, 이 중 세대C,E는 측정일의 총 환기시간이 각 3시간 35분, 6시간이었으며, 세대D는 환기량은 적었으나 뚜렷한 오염원이 없었다.

세대A는 측정시작시부터 15:00까지는 모든 측정값이 12~21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대체로 일정하게 유지되었고, 15:30에 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  만큼 상승하였는데, 관찰기록 상에는 15:27에 거주자가 커피믹스로 뜨거운 커피를 만든 것 뿐이므로, 매우 소량이지만 발생 가능성 배제할 수 없다. 세대B는 측정시작시 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사대상세대 중 가장 높았는데, 이는 2022년에 교체한 침대와 소파가 영향요인으로 짐작된다. 세대F는 측정시작시 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평가기준을 만족하였다. 11:30에 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30분 동안 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  상승하였는데, 욕실문 개방에 의해 욕실 방향제로부터 방출된 물질이 확산된 것으로 보인다. 이 세대는 GR완료 1년 정도 경과된 세대로, GR로 기밀성이 향상된 상태에서 환기를 거의 하지 않고 방향제와 같은 화학물질함유용품 사용할 경우 HCHO농도가 상승할 수 있음을 알 수 있다.

6) Rn농도

Rn농도 측정결과, 세대A 0.30~1.05(평균 0.62) pCi/l, 세대B 0.32~1.24(평균 0.63) pCi/l, 세대C 0.32~0.73(평

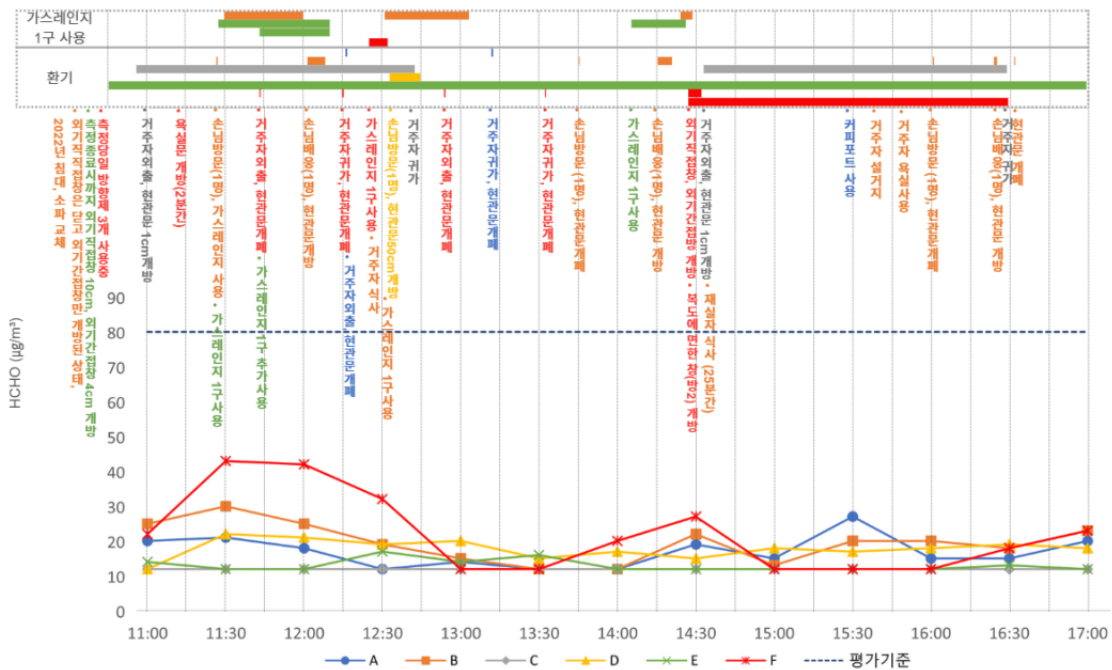
균 0.52) pCi/l, 세대D 0.27~0.86(평균 0.61) pCi/l, 세대E 0.16~1.57(평균 0.64) pCi/l, 세대F 0.58~1.32(평균 0.98) pCi/l로 나타났다. 평가기준(148 Bq/m<sup>3</sup>; 환산치 4 pCi/l 이하)과 비교하면 모든 세대가 평가기준에 적합한 상태였다.

GR여부에 따라 비교하면, GR시행세대(D,E,F)는 0.16~1.57(평균 0.74) pCi/l로 기존세대(A,B,C) 0.30~1.24(평균 0.59) pCi/l와 큰 차이가 없어 GR시공재료로부터 방출되는 Rn가스는 없는 것으로 짐작되나, GR세대의 Rn농도가 약간 높아, GR에 의한 기밀성 향상이 짐작된다.

V. 결론 및 제언

1. 요약 및 결론

본 연구는 영구임대주택단지에서 그린리모델링(GR)이 시행된 세대와 기존세대를 대상으로 실내공기질 실태를 파악하고, GR여부와 거주자의 생활특성이 실내공기질에 미치는 영향을 분석하여, 영구임대주택의 실내공기질 관리를 위해 고려할 사항을 제안하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여, GR이 진행중인 영구임대주택단지의 마이홈센터와 리모델링 현장소장의 협조를 받아 기존 3개 세대, GR시행 3개 세대를 대상으로 세대당 1일 배정



[그림 5] HCHO농도 측정결과

요소(실내온도, 상대습도)와 분석요소(CO<sub>2</sub>, CO, TVOC, PM10, HCHO, Rn)를 측정하고 거주자면접 및 관찰을 병행하는 현장조사를 2024년 11월 23일부터 2025년 1월 1일까지 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 조사대상단지는 1991년 사용승인된 LH영구임대주택단지로서, 단위세대는 전용면적 26 m<sup>2</sup>, 환기설비는 주방 후드, 욕실 배기팬, 자연환기설비가 부착된 외기직접창이 설치되어 있었으며, 공간은 방1(거실겸용), 방2, 주방, 욕실로 구성되어 있었다. GR시행세대의 GR항목은 벽체내 단열보강 외에 외기간접창, 현관문, 가구 및 기기, 마감재 교체였다. 조사대상세대는 55~88세의 1인세대이며, 재실 시간이 일 20시간 이상의 비흡연자이다.

2) 실내공기질 측정결과, 6개 조사대상세대의 일평균이 CO<sub>2</sub>농도는 4개 세대가 평가기준(1,000 ppm 이하; 실내공기질 관리법 나 시설군 기준)에 부적합하였다. TVOC농도는 3개 세대가 평가기준(400 µg/m<sup>3</sup> 이하)에 부적합하였고, PM10농도는 1개 세대가 평가기준(75 µg/m<sup>3</sup> 이하)에 부적합하였다. 그 외 CO, HCHO, Rn 농도는 모든 세대의 모든 측정치가 평가기준에 적합하였다.

3) 조사대상간 농도차이를 분석한 결과, CO<sub>2</sub>농도는 환기량과 관련이 있는 것으로 보인다. 조사대상세대 모두 자연환기설비나 레인지후드는 전혀 사용하지 않았다. 평가기준 부적합세대는 환기량이 매우 적거나, 측정종료시점 가까이 환기하여 평균농도 저하에 영향을 주지 못했으나, 적합세대는 환기량이 많았다. TVOC농도는 방향제 사용 등의 발생원, GR시행여부, 환기량이 영향요인으로 보인다. 부적합세대는 GR미시행세대이나 2022년에 가구 교체가 있었고, GR공사완료 후 1개월 경과된 세대로서 평소 환기를 거의 하지 않으며 특별한 발생원이 관찰되지 않았고, GR공사완료 후 1년 경과된 세대로서 평소 환기를 거의 하지 않는 상태에서 3개의 방향제를 사용중인 세대였다. GR시행 후 1개월 반 경과되었으나 환기량이 많은 세대는 평가기준에 적합하였다. PM10농도는 가스레인지 사용 및 조리방식과 관련이 있는 것으로 보인다. 부적합 1개 세대는 약 30분 정도 유증기가 발생하는 조리를 하였으나, 가스레인지를 사용한 세대 중 적합세대는 2세대 모두 기름을 사용하지 않았다. CO, HCHO, Rn 농도는 조사대상세대간 뚜렷한 차이가 없는 것으로 판단된다.

4) GR여부에 따른 분석결과, CO<sub>2</sub>농도는 GR시행세대(D,E,F)가 610~2,804(평균 1,518) ppm으로 기존세대(A,B,C) 806~2,427(평균 1,146) ppm 보다 높았다. 측정

일의 환기시간은 GR시행세대는 총 약 8시간, 기존세대는 총 약 3시간50분으로 GR시행세대의 총환기시간이 더 길었으며, 가스레인지 사용시간은 두그룹의 총합이 각각 약 1시간 정도로 차이가 없었으므로, GR에 의해 기밀성이 향상된 것으로 판단된다. TVOC농도는 GR시행세대(D,E,F)가 160~2,680(평균 1,125) µg/m<sup>3</sup>으로 기존세대(A,B,C) 60~710(평균 382) µg/m<sup>3</sup> 보다 높았다. GR시행세대 중에서 방향제를 사용하지 않고 환기를 거의 하지 않는 GR완료 1.5개월된 1개 세대의 측정결과로 볼 때 GR시공재료로부터 휘발성유기화합물이 방출되는 상태로 판단된다. CO, PM10, HCHO, Rn 농도는 GR여부에 의한 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.

5) 세대별 시간변동 분석결과, CO<sub>2</sub>농도는 기존세대의 경우 겨울철이고 평소 환기를 거의 하지 않아도 1인 거주시 기준치 정도로 유지되지만, 방문자에 의해 2인 이상 재실시에는 다른 발생원이 없어도 환기하지 않으면 평가기준을 초과하는 것으로 나타났다. 반면, 창개방 면적이 작아도 지속적으로 환기하는 경우 2인 재실중에도 기준치 미만으로 유지되는 것으로 나타났다. GR시행세대의 경우, 환기를 전혀 하지 않은 상태에서는 재실자 2인의 호흡만으로 CO<sub>2</sub>농도가 평가기준을 크게 초과하는 것으로 나타났다. 가스레인지 사용시 급격한 상승이 나타났다. TVOC농도는, 방향제를 사용하는 1개 세대를 제외한 모든 세대에서 시간에 따른 큰 변동없이 대체로 일정하였으나, 가스레인지 사용시 상승하고 환기시 하강하는 것으로 나타났다. 방향제 사용으로 농도가 매우 높은 세대의 경우에도 환기량이 많을 때 급격한 농도저하가 나타났다. PM10농도는 가스레인지 사용시 상승하는데, 특히 유증기 발생 조리방식으로 가스레인지를 사용한 1개 세대는 환기중이었으나 급격히 상승하여 기준치를 크게 초과하는 것으로 나타났다. HCHO농도는 지속적으로 환기하거나 뚜렷한 오염원이 없는 세대는 일정하게 유지되었으나, 환기하지 않는 세대로서 2022년에 가구를 교체한 세대와 방향제를 사용하는 세대에서 농도가 상승했다가 하강하는 변동이 있었다. CO, Rn 농도는 시간경과에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

## 2. 제언

이상의 분석결과에 따라, 영구임대주택단지 단위세대의 실내공기질 관리를 위한 고려사항에 대해, 신축 및 GR 설계측면, 관리자 측면, 제도적 측면에서 다음과 같이 제

안한다.

1) 영구임대주택의 신축 및 GR 설계시 중앙관제형 열회수형환기장치와 레인지후드 자동제어장치의 설치, 오염물질저방출자재의 선택이 요구된다. 본 연구결과, GR시행세대의 CO<sub>2</sub>농도와 TVOC농도가 기존세대보다 높게 나타나 기밀성이 향상된 것으로 판단되나, 거주자들이 재실시간이 긴데도 환기를 잘 하지 않는 것으로 나타났고, 외기직접창에 설치된 자연환기설비는 외기간접창을 닫으면 의미가 없는 상황이었다. 따라서 열회수형환기장치의 설치가 매우 요구된다. 하지만, 영구임대주택의 거주자 특성상 환기의 중요성을 인식하지 못하는 경우가 많아 열회수형환기장치를 설치해도 가동하지 않을 우려가 있다. 따라서 환기장치의 가동과 필터 교체를 관리자가 통합적, 효과적으로 관리할 수 있도록 중앙관제형 열회수형환기장치 설치를 제안한다. 더 나아가, 환기장치 작동으로 실내공기질이 양호하게 유지되고 있음을 거주자가 인지할 수 있도록 세대별 실내공기질 모니터링 패드의 설치가 필요하다. 또한, 가스레인지 사용시 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM10 농도가 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 가스레인지 대신 인덕션을 설치하고, 조리시 발생하는 오염물질의 배출을 위한 후드 작동이 요구되는데, 레인지후드를 거의 사용하지 않는 거주자특성을 반영하여 레인지후드 자동제어장치의 적용이 필요하다. 마지막으로, GR시공재료로부터 오염물질이 방출되는 것으로 분석되었으므로, 신축 및 GR시행시 오염물질저방출자재의 선택이 요구된다.

2) 영구임대주택단지의 관리자 측면으로, 본 연구결과, 실내공기오염물질이 환기에 의해 감소하나 거주자가 잘 환기하지 않으므로, 복지센터와 관리소 근무자가 모든 세대를 방문하여 현재 외기직접창에 설치되어 있는 자연환기설비의 개방을 진행할 것을 제안한다. 또한, 세대방문시 창을 개방하면서 거주자에게 환기의 중요성에 대해 자세히 설명할 필요가 있다. 또한 신축 및 GR시행 후 입주자가 입주하기 전에 베이크아웃을 실시하여 새집증후군 관련 오염물질의 농도가 저감될 수 있도록 할 필요가 있다. 따라서 영구임대주택의 관리기관인 주택관리공단이나 LH에서 관리소와 복지센터 근무자를 대상으로 신축 및 GR시행시 실내공기질 관리를 위한 베이크아웃 및 환기 시행의 원리와 방법, 실내공기오염물질의 종류와 유해성, 환기장치의 원리와 주기적 필터 교체의 필요성 등에 대한 교육을 의무화할 것을 제안한다.

3) 제도적 측면으로, 현행 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」(2024.8.7. 일부개정)에서 30세대 이상의 공동주

택을 신축 또는 리모델링 하는 경우 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치할 것을 규정하고 있으나, 본 조사대상단지과 같이 세대별 GR을 시행하는 경우 이 규정의 적용을 받지 않는 것으로 해석된다. 그러나 연구결과 환기장치설치가 요구되므로, GR시행시에도 설치를 의무화할 것을 제안한다. 또한, 「실내공기질 관리법」(2023.9.14. 일부개정)에서 신축되는 공동주택은 시공자가 입주 전 오염물질(VOC와 라돈) 농도를 측정하여 그 결과를 지자체장에게 제출하고 입주인이 잘 볼 수 있는 장소에 공고하도록 규정하고 오염물질농도의 권고기준이 마련되어 있으나, GR시행의 경우는 이러한 규정을 적용받지 않으므로, GR의 경우도 적용대상에 포함할 필요가 있다. 그리고, 「실내공기질 관리법」(2023.9.14. 일부개정)에 다중이용시설의 실내공기질 유지 및 관리기준은 제정되어 있어 환기설비의 환기량 설정의 근거로 활용하고 있으나, 현행법규 중 거주중인 주택의 실내공기질 유지 또는 권고기준은 정해진 바 없으므로, 이를 마련하여 거주중 주택의 환기설비 환기량 기준으로 활용할 필요가 있다.

주제어: 측정평가, 실내공기질, 영구임대아파트, 그린 리모델링, 거주자 특성

## REFERENCES

- 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」(2024.8.7, 일부개정)  
 「공공주택 특별법 시행규칙」(2024.12.5, 일부개정) 별표3.  
 국토교통부(2020). 노후공공임대주택 그린리모델링 금년 10,300호 완료, 내년 8,300호 진행, <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156426767>에서 인출.  
 권명희, 장성기, 류정민, 서수연, ... 임종호(2009). *주거 공간별 실내공기질 관리 방안 연구 (I): 아파트의 실내 오염물질 평가와 건강영향 연구*. 인천: 국립환경과학원.  
 기상청(2024). 지역별 상세관측, <https://www.weather.go.kr/w/index.do>에서 인출.  
 김정민, 장영주(2016). *식품 조리로 인한 실내공기오염 현황과 과제*. 서울: 국회입법조사처.  
 김배일(2016). 신축 공동주택의 실내공기질 분석을 통한 베이크아웃 방안 연구. 성균관대학교 석사학위논문.

- 박진표(2024). ‘츄츄한 주거돌봄’ 광주도시공사, 공기업 위상 높다. 광주일보. <http://www.kwangju.co.kr/article.php?aid=1727954100774427004>에서 인출.
- 「실내공기질 관리법」(2023.9.14, 일부개정).
- 「실내공기질 관리법 시행규칙」(2025.3.11, 타법개정) 별표2, 별표3.
- 손종렬, 이정주(2008). *실내환경과 건강*. 파주: 신광문화사.
- 심현숙, 최윤정(2008). 리모델링후 거주중인 아파트 단위주거의 실내공기질 평가. *대한건축학회논문집*, 24(12), 303-312.
- 에어코리아(2024). 시도별 대기정보, <https://www.airkorea.or.kr/web/>에서 인출.
- 염지은(2021). LH, 내년까지 노후공공임대 4만5천호 그린 리모델링.. 1.2조원 규모. 포츠저널. [https://www.4th.kr/news/articleView.html?idxno=1473960#google\\_vignette](https://www.4th.kr/news/articleView.html?idxno=1473960#google_vignette)에서 인출.
- 윤정숙, 최윤정(2014). *주거실내환경학*. 파주: 교문사.
- 이승민, 손장열, 강순주, 강대식, 김성신(1996). 겨울철 아파트의 실내공기환경 평가에 관한 연구. *대한건축학회학술발표대회논문집*(p.277-279), 익산, 한국.
- 조경숙(2021). 우리나라 만성폐쇄성폐질환의 유병 및 관리 현황. *주간 건강과 질병*, 14(16), 943-951.
- 진미윤, 정기성, 김경미(2023). *공공임대주택 거주 실태조사: 거주자의 삶의 질과 주거복지 체감도*. 대전:한국토지주택공사.
- 최윤정, 심현숙, 신해철(2007). 아파트 개조 전후의 휘발성 유기화합물 농도변화 실태. *한국주거학회논문집*, 18(4), 59-67.
- 황제규(2014). 주거환경내의 HCHO(폼알데하이드) 노출 수준과 환경성 질환 관련성. 광운대학교 석사학위논문.
- 환경부(2016). 바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까요?, <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=10181&boardMasterId=54&boardCategoryId=&boardId=627350>에서 인출.
- 황진아, 오예슬, 최윤정(2010). 아파트 겨울철 저녁시간대 실내공기질 사례분석. *생활과학연구논총*, 14(1), 81-93.

Received 10 October 2025;

Accepted 27 October 2025