

농촌지역 노후주택의 실내공기환경 실태분석 연구

An Analysis on the Actual Condition of Indoor Air Quality in Rural House

박 로 운*
Park, Roun

조 속 영**
Cho, Sukyeong

김 상 범***
Kim, Sangbum

Abstract

The ratio of the deterioration housing in rural area was 29.6%, but it was 18.3% in urban area based on a 2018 survey. In consideration of the point, this study aims to analyze the actual condition of indoor air quality in rural houses to provide basic data for improving the indoor air environment. It was investigated 15 housings of Hongseong-gun, Chungcheongnam-do. To investigate the correlation between indoor air quality and housing type, both the field survey of housing type and precision diagnosis of concentration of indoor air pollutants such as HCHO, TVOC, Fine dust(PM-10, PM-2.5), CO₂, Radon. The results of this study are as follows. First, according to the average value of each element of rural old housing, the construction year was distributed in 1939~2004, and 12 households(80%) living in houses older than 30 years have passed for about 46 years. As for the housing area, more than 12 houses(80%) of 60m² or more and 3 houses (20%) of less than 60m² were often living in relatively small-scale housing. Second, as a result of measuring indoor air pollutants in rural houses, substances exceeding the standard values were found in HCHO, TVOC, CO₂. Third, in the case of Fine dust and Radon, none of such factors were exceeded the standard. Fourth, there was no significant difference in indoor air quality depending on housing type in rural houses. This paper is expected to contribute to the regional development projects and effective implementation of rural policies.

주요어 : 농촌 노후주택, 실내공기환경, 정밀진단

Keywords : Rural House, Indoor Air Quality, Precision Diagnosis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 농촌은 급속도로 진행되고 있는 고령화와 귀농·귀촌인의 증가 등으로 인해 농촌주민의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 안전한 주거환경 조성에 대한 필요성이 제기되고 있다. 2018년을 기준으로 농촌지역 노후주택의 비율이 29.6%, 도시지역이 18.3%로 농촌지역의 비율이 약 1.5배 높은 것으로 나타났고(통계청, 2018)¹⁾, 2015년 농업총조사에 의하면 농·어가 108만호 중 1989년 이전에 지어진 주택에 거주하는 가구는 42만호에 달하며 노후화된 시설로 인한 농촌의 주거환경은 굉장히 열악한 실정이다(박미정 외 7인, 2019)²⁾. 특히 주거환경 중에서도 우리의 생활과 밀접한 관계를 가진 실내공기환경은 단열강화로 인한 환기부족과 각종 건축마감재들의 무분별한 사용에 의한 오염물질의 실내축적으로 재실자들의 건강을 위협하고 있다(박진철,

2003)³⁾. 또한 외부 공기의 실내침투 및 실내의 활동 등에 의해 집먼지에 직간접적으로 노출되고 있어 인체에 미치는 영향이 클 뿐만 아니라 미세먼지, 라돈 등의 오염물질이 사회적인 이슈로 급부상하면서 실내공기환경에 대한 중요성도 함께 대두되고 있으나(이병희 외 2인, 2019)⁴⁾ 주택건설업체에서는 이에 대한 충분한 대책 없이 주택 및 건축물을 공급하고 있다(이윤규 외 1인, 2003)⁵⁾. 이에 환경부는 2004년부터 매 5년마다 ‘실내공기질 관리 기본계획’이 수립되어 관리체계 및 정책이 추진되고 있으며 2012년 ‘친환경 건축물 인증제도’ 및 ‘주택성능인정제도’ 등의 시행과 2016년 ‘실내공기질 관리법’으로의 개정을 통해 실내공기질 기준을 엄격하게 수립하여 관리하고 있음에도 불구하고 실내환경의 오염으로 인한 재실자들의 불안감은 계속적으로 나타나고 있는 실정이다. 또한, 지금까지의 실내공기환경 관련 연구는 주로 도시지역을 대상으로 한 연구가 대부분으로 농촌의 생활환경과 주거 특성에 의한 농촌 노후주택의 취약성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 이는 실제 농촌 생활에서의 실내오염물질이 미치는 영향을 판단하는데는 많은 제약과 방법론적인 어려움이 따르기 때문이나 이에 대한 연구를 통해 건강한 주거환경을 조성하는 것은 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 따라서 본 연구는 농촌마을 노후주택의 실내공기환경을 개선을 위

* 농촌진흥청 국립농업과학원, 석사후연구원(주저자)

** 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구사(교신저자)

(Corresponding author : National Institute of Agricultural Science, RDA, cho0910@korea.kr)

*** 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구관

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01320302)의 지원에 의해 이루어진 것임

1) 통계청, 2018 인구주택 총조사, 보도자료, 2019.

2) 박미정 외 7인, 농촌 노후주택 정비를 위한 건물에너지 분석, 한국농촌건축학회논문집, 3(74), 2019, pp.9-16.

3) 박진철, 주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19(6), 2003, pp.129-137.

4) 이병희, 김선동, 전주영, 공동주택 실내공기 오염물질 유형 및 평가방안, 한국건축환경설비학회, 13(2), 2019, pp.16-23.

5) 이윤규, 한길원, 공동주택의 폼알데하이드 농도특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19(10), 2003, pp.153-160.

한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 농촌지역의 노후주택을 대상으로 주택 유형에 대한 현장조사를 실시하고 실내공기환경의 각종 오염물질에 대한 정밀진단을 실시하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1 농촌 노후주택 환경개선

노후주택은 오래되고 낡아 건물이 본래의 기능을 수행하지 못하는 주택이라는 사전적 의미를 가지고 있으며(최석환, 2014)⁶⁾ 도시 및 주거환경정비법에 따르면 노후주택이란 건축물이 훼손되거나 일부가 멸실되어 붕괴 등으로 인한 안전사고의 우려가 있는 건축물 혹은 도시미관의 저해, 건축물의 기능적 결함, 부실시공 또는 노후화로 인한 구조적 결함 등으로 인해 철거가 불가피한 건축물을 의미한다(국토교통부, 2016)⁷⁾.

노후주택 환경의 개선을 위한 선행연구는 주로 노후주택의 주거 실태조사를 실시하여 주거정비 방향을 제시한 것으로 나타났다. 박미정 외 7인(2019)⁸⁾은 농촌주택의 일반적인 유형을 고려하여 대상 주택 4호에 대한 기본적인 에너지성능 진단과 개보수사업으로 인한 에너지 절감 효과 분석을 실시하였다. 한국농촌경제연구원(2018)⁹⁾은 농촌의 주거 여건을 개선하기 위해 농촌지역의 주거 실상을 구체적으로 파악하여 주거기준을 제정하고 이를 체계적으로 분석하기 위한 노후주택 실태조사 방안 및 주거 정책의 향후 방향을 제시하였다. 김도연(2013)¹⁰⁾은

노인가구의 주택환경 개선을 통해 거주지 이전의 최소화로 주거의 영속성을 유지하여 농촌마을의 황폐화를 최소화할 수 있다는 관점에서 농촌지역 노인가구의 노후된 주거환경 개선 방안을 제시하였다. 국토연구원(2012)¹¹⁾은 농촌지역의 주거수준을 향상시키기 위해 주택측면의 문제점, 주택정책을 점검하고 이에 대한 정책적 해결방안을 제시하였다<Table 1>.

2.2 농촌 노후주택 실내공기환경 개선

농촌 노후주택 실내공기환경 개선 관련 선행연구를 살펴보면, 주택내 실내공기 오염물질의 특성을 조사하고 현장을 측정하여 개선방안을 제시한 연구가 대부분이었다. 유우석 외 4인(2015)¹²⁾은 환경부의 전국 주택 라돈 조사 결과를 참고하여 충남지역 농촌주택을 중심으로 실내라돈 농도분포와 환경영향요인을 조사하여 라돈의 저감 필요성과 개선방법을 제시하였다. 임선(2012)¹³⁾은 울산지역의 도시 및 농촌 지역간의 주택먼지 포집에 따른 정밀분석을 통해 특성을 비교·분석하여 쾌적한 실내 주거환경을 위한 기초자료로 제시하였다. 이현수 외 4인(2010)¹⁴⁾은 산업단지와 농촌지역의 주택 실내·외의 공기 중 오염물질(VOCs, NO₂)을 측정하여 조사지역과 비교지역에서의 오염물질에 대해 영향을 미치는 요인을 분석하고자 하였다. 최윤정 외 2인(2010)¹⁵⁾은 농촌지역 독거노인의 거주주택 4개를 대상으로 겨울철 실내환경(온열환경, 공기환경)을 파악하고 이에 영향을

Table 1. A study on rural old house and indoor air environment

구분	저자	내용	조사방법
농촌 노후주택 환경개선	박미정 외 7인 (2019)	농촌주택의 일반적인 유형을 고려하여 대상 주택 4호에 대한 기본적인 에너지성능진단과 개보수사업으로 인한 에너지 절감 효과 분석을 실시함	노후주택 현황조사
	한국농촌경제연구원 (2018)	농촌의 주거 여건을 개선하기 위해 농촌지역의 주거 실상을 구체적으로 파악하여 주거기준을 제정하고 이를 체계적으로 분석하기 위한 노후주택 실태조사 방안 및 주거 정책의 향후 방향을 제시함	노후주택 실태조사
	김도연(2013)	노인가구의 주택환경 개선을 통해 거주지 이전의 최소화로 주거의 영속성을 유지하여 농촌마을의 황폐화를 최소화할 수 있다는 관점에서 농촌지역 노인가구의 노후된 주거환경 개선 방안을 제시함	노인가구 주택환경 특성 조사
	국토연구원 (2012)	농촌지역의 주거수준을 향상시키기 위해 주택측면의 문제점, 주택정책을 점검하고 이에 대한 정책적 해결방안을 제시함	농촌지역 주택실태조사
농촌 노후주택 실내공기환경개선	유우석 외 4인 (2015)	환경부의 전국 주택 라돈 조사 결과를 참고하여 충남지역 농촌주택을 중심으로 실내라돈 농도분포와 환경영향요인을 조사하여 라돈의 저감 필요성과 개선방법을 제시함	농촌주택 라돈 농도 분석
	임선(2012)	울산지역의 도시 및 농촌 지역간의 주택먼지 포집에 따른 정밀분석을 통해 특성을 비교·분석하여 쾌적한 실내 주거환경을 위한 기초자료로 제시함	주택먼지 특성 정밀분석
	이현수 외 4인 (2010)	산업단지와 농촌지역의 주택 실내·외의 공기 중 오염물질(VOCs, NO ₂)을 측정하여 조사지역과 비교지역에서의 오염물질에 대해 영향을 미치는 요인을 분석하고자 함	주택 실내·외 공기오염물질 측정
	최윤정 외 2인 (2010)	농촌지역 독거노인의 거주주택 4개를 대상으로 겨울철 실내환경(온열환경, 공기환경)을 파악하고 이에 영향을 미치는 요인을 분석함	실내온열환경 및 공기환경 조사

6) 최석환, 노후주택 관리 및 정비 지원을 통한 도시재생방안 연구 최종보고서, 수원시정연구원, 2014.
 7) 국토교통부, 도시 및 주거환경정비법 제2조 제3호, 2016.
 8) 박미정 외 7인, 농촌 노후주택 정비를 위한 건물에너지 분석, 한국농촌건축학회 논문집, 3(74), 2019, pp.9-16.
 9) 한국농촌경제연구원, 농촌형 주거기준 제정 및 주거실태조사 추진방안, 2018.
 10) 김도연, 농촌 노후 주거를 위한 주거환경 개선 방안에 관한 연구: 요양보험에 의한 주거이동과의 관계를 중심으로, 전북대학교 박사학위논문, 2013.

11) 국토연구원, 농촌지역 주거품질 향상을 위한 농촌 주택정책 방안 연구, 2012.
 12) 유우석 외 4인, 농촌주택 실내라돈 오염도 조사, 충청남도보건환경연구원보, 25, 2015, pp.115-125.
 13) 임선, 울산의 농촌과 도시 지역에서 집먼지 성분 특성 연구, 울산대학교 석사학위논문, 2012.
 14) 이현수 외 4인, 산업단지와 농촌지역의 주택실내·외 휘발성유기화합물과 이산화질소 농도 평가, 한국실내환경학회지, 7(4), 2010, pp.205-215.
 15) 최윤정, 김윤희, 김관희, 농촌지역 독거노인주택의 겨울철 실내환경 실태, 한국주거학회논문집, 21(3), 2010, pp.1-9.

미치는 요인을 분석하였다<Table 1>.

현재까지 주택의 환경개선에 관한 연구는 주로 도시지역을 중심으로 연구되어 왔다. 또한, 농촌 노후주택 환경개선에 관한 연구는 소수로서, 특히 실내공기환경에 대한 연구는 미비한 편임을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 농촌지역 노후주택의 실내 공기환경에 이룬 고찰과 주택유형 및 실내공기환경 실태조사를 실시하였다.

2.3 실내공기환경 오염물질 특성

실내공기 오염물질이란 다양한 실내공간(주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원 등)에서 공기가 오염된 상태를 말하며 이는 실내 거주자들의 생명을 위협하는 수준은 아니더라도 건강에 영향을 미치고 있다(최은실, 2004)¹⁶⁾. 실내공기 오염물질은 건물 구성재와 마감재료, 빌딩 시스템, 가전제품, 거주자 활동, 외부 환경에 기인하며 이로 인해 발생하는 질병으로는 권태, 피로, 천식, 피부염, 알러지, 폐질환, 암 등이 있다(남기철 외 2인, 2017)¹⁷⁾. 실내공기 오염물질은 크게 기체상 오염물질과 입자상 오염물질로 구분할 수 있으며 대표적인 기체상 오염물질은 이산화탄소, 일산화탄소, 라돈, 휘발성 유기화합물, 폼알데하이드, 오존, 질소산화물, 황산화물 등이 있으며 입자상 오염물질로는 미세먼지, 석면, 미생물성 물질 등이 있다(이병희 외 2인, 2019)¹⁸⁾. 이 중 HCHO는 자극성냄새의 가연성 무색기체로 살균방부제로 이용되며 실내의 경우 건축 자재, 우레아수지품 단열재, 접착제, 생활용품, 화학섬유, 가스 연소에서 주로 발생한다. TVOC는 비등점 50°C~260°C 유기화합물의 총칭으로 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등으로 구성되어 있으며 건축 자재, 마감재 및 접착제, 청소용품, 실내 연소로 인해 발생한다. CO₂는 호흡 및 화석연료 시에 발생하며 실내공기질 관리 측면에서는 환기상태의 적절성 판단 지표로 사용되고 있으며 실내 공간에서 농도가 증가하면 호흡 시 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 일산화탄소와 함께 실내오염물질로 취급하고 있다(환경부·국립환경과학원, 2012)¹⁹⁾. 라돈은 실내 환경의 환기 정도를 가늠할 수 있는 중요한 요소로(남기철 외 1인, 2016)²⁰⁾ 암석, 토양, 우라늄이나 라듐을 함유한 건축자재에서 발생하며 암반 주변에 흐르는 지하수에 포함되어 있고 다양한 경로로 실내로 들어올 수 있으나 그 양은 주로 계절이나 건물 형태 및 구조, 노후도 등의 영향을 받는다(환경부, 2016)²¹⁾. 미세먼지 역시 실내공기의 주요 오염물질로서 주요 성분으로 질산염, 황산염 등이온 성분 및 탄소화합물, 금속화합물 등의 유해성분으로 인한 재질자 건강 위해도에 영향을 미치고 있으며(이병희 외 2인,

2019)²²⁾ 오염물질 기준 초과 시 인체에 미치는 영향은 아래 <Table 2>와 같다.

Table 2. Indoor-air pollutant and health effect

오염물질 항목	기준	인체에 미치는 영향
미세먼지 (μg/m ³)	100	작은 먼지입자로, 호흡기관을 통해 폐의 기능과 면역을 약하게 함
이산화탄소 (PPM)	1,000 (기계 환기 1,500)	무독성이나 높은 농도에 노출될 시 생명에 위험을 초래함
폼알데하이드 (μg/m ³)	100	자극성 냄새와 무색 투명한 기체로 살충제 등의 원료로 사용되며 발암우려 물질로 분류됨
부유세균 (CFU/m ³)	800	먼지, 수증기 등에 미생물들이 부착되어 존재하며 주로 호흡기관에 영향을 주며 병원성 감염을 초래함
일산화탄소 (ppm)	10	산소에 비해 헤모글로빈과 연관성이 높아 산소결합에 따른 각종 질환을 유발함
이산화질소 (ppm)	0.05	혈액의 헤모글로빈의 산소 운반능력을 약하게 해 호흡곤란을 일으킴
라돈 (Bq/m ³)	148	기관지에 악영향을 미칠 수 있는 방사성 입자를 방출하는 발암성 물질임
휘발성 유기화합물 (μg/m ³)	400	실생활에서 흔하게 사용되며 건축재료, 페인트 등에서 발생되고 피부를 통해 흡수되며 빈혈 등을 유발함
석면(개/cc)	0.01	섬유성 물질로 암을 유발하는 유해물질임
오존(ppm)	0.06	표백 살균등에 이용되나 농도가 증가하면 인체에 위험한 물질임

자료 : 대전세종연구원, 2018²³⁾

2.4 실내공기환경 측정기준

실내공기환경 측정기준과 관련한 연구를 살펴보면 안태경 (2003)²⁴⁾은 건강주택을 위한 공기환경 수준을 설정하기 위해 국내 공기환경 현황과약을 위한 환기성능을 실측하였고, 실측된 자료에 의한 국내의 환기수준을 파악하였다. 또한 거주자의 행태에 따른 공기환경을 검토하고 국내 아파트의 건강환기 수준을 평가하여 공기환경의 수준을 제시하였다. 남기철 외 1인 (2016)²⁵⁾은 기존 주택의 실내 공기 중 오염물질 농도 측정값의 특성을 밝히고 그 발생원인을 분석하였으며 정부에서 제시하는 주택 실내 공기질관리 기준에 따라 실내공기질을 평가하였다. 이병희 외 2인(2019)²⁶⁾은 실내공기 오염물질의 특성과 주택성능연구개발센터 실내공기분야의 구축시설을 활용하여 건물 내 주요 오염물질의 평가방안에 대해 소개하였다.

16) 최은실, 신축 공동주택의 실내공기 오염물질 실태 조사, 한국소비자원, 2004, pp.2-41.
 17) 남기철, 이영환, 최봉석, 주택 실내공기중 오염물질 농도의 동절기와 하절기 비교 분석, 한국생태환경건축학회논문집, 17(3), 2017, pp.125-131.
 18) 이병희, 김선동, 전주영, 공동주택 실내공기 오염물질 유형 및 평가방안, 한국건축환경설비학회, 13(2), 2019, pp.16-23.
 19) 환경부, 국립환경과학원, 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 2012.
 20) 남기철, 이영환, 기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO 농도 실태 조사분석, 한국생태환경건축학회논문집, 16(6), 2016, pp.115-122.
 21) 환경부, 생활 속 자연 방사성 물질, 라돈의 이해, 2016.

22) 이병희, 김선동, 전주영, 공동주택 실내공기 오염물질 유형 및 평가방안, 한국건축환경설비학회, 13(2), 2019, pp.16-23.
 23) 대전세종연구원, 대전시민의 주택 실내공기질 실태조사 연구, 2018.
 24) 안태경, 건강주택을 위한 실내공기환경 수준 설정, 한국생활환경학회지, 10(1), 2003, pp.33-20.
 25) 남기철, 이영환, 기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO 농도 실태 조사분석, 한국생태환경건축학회논문집, 16(6), 2016, pp.115-122.
 26) 이병희, 김선동, 전주영, 공동주택 실내공기 오염물질 유형 및 평가방안, 한국건축환경설비학회, 13(2), 2019, pp.16-23.

이윤규(2013)²⁷⁾는 실내공기 오염원에 대한 제어가 주요 선진국 수준에 근접한 것을 고려하여 환기기준을 다소 완화할 필요가 있는 것으로 판단하여 국내 신축공동주택에 적용되고 있는 환기기준인 0.7회/h의 유지여부와 조정 가능성을 검토하였다. 전주영(2013)²⁸⁾은 공동주택의 실내공기질 개선을 위해 적용되고 있는 실내공기질 관련 제도와 건강주택 관련 기술 현황 및 실내공기질의 실태, 건강주택에 관한 의식조사 등을 통해 공동주택의 실내공기질 동향을 살펴보았다. 환경부·국립환경과학원(2012)²⁹⁾은 다중이용시설 및 신축 공동주택의 실내공기질 유지 및 권고기준 대상 오염물질 종류 및 기준치의 적정성을 재검토하고 인체 위해성평가에 따라 합리적인 기준(안)을 제시하였다.

대부분의 연구 기준이 되고 있는 ‘실내공기질 관리법’에서는 실내공기질 기준을 유지기준과 권고기준으로 나누어 시설에 따라 관리할 수 있도록 하고 있는데, 유지기준은 다중이용시설의 내부의 쾌적한 공기환경을 위해 반드시 지켜야할 기준으로 관리되며 권고기준은 실내에서 발생할 수 있는 오염물질을 일정수준으로 유지가 가능하도록 권고 수준으로 관리되고 있다. ‘실내공기질관리법 시행규칙’ 별표 1(개정 2019.2.13.)에 따르면 오염물질은 미세먼지(PM-10), CO₂, 폼알데하이드(HCHO), 총부유세균(TAB), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 라돈(Rn), 휘발성유기화합물(VOCs), 석면(Asbestos), 오존(O₃), 초미세먼지(PM-2.5), 곰팡이(Mold), 벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethylbenzene), 자일렌(Xulene), 스티렌(Styrene)로 규정하고 있다.

동 규칙 ‘별표 2(개정 2017.12.27.의) ‘실내공기질 유지기준’에 의하면 다중이용시설은 HCHO, CO₂, 미세먼지, 폼알데하이드 총부유세균, 일산화탄소의 기준을 규정하고 있으며, HCHO는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, CO₂는 1,000ppm이하, PM-10 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, PM-25는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다<Table 3>.

Table 3. Enforcement regulation of the indoor air quality control law for public facilities

구분	오염물질	기준
유지기준	미세먼지(PM-10)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	초미세먼지(PM-25)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	이산화탄소	1,000ppm 이하
	폼알데하이드	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	총부유세균	-
권고기준	일산화탄소	10ppm이하
	오염물질	기준
	이산화질소	0.1ppm 이하
	라돈	148Bq/m ³ 이하
	총휘발성유기화합물	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	곰팡이	-

27) 이윤규, 공동주택의 실내공기질과 적정 환기기준, 한국건축환경설비학회, 7(3), 2013, pp.6-8.

28) 전주영, 공동주택의 실내공기질 동향, 한국건축환경설비, 7(3), 2013, pp.13-20.

29) 환경부, 국립환경과학원, 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 2012.

동 규칙 ‘별표 3(개정2018.10.18.)’의 ‘실내공기질 권고기준’에 의하면 다중이용시설의 이산화질소, 라돈, TVOC, 곰팡이를 규정하고 있으며, TVOC는 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 규정하고 있다<Table 3>.

동 규칙 ‘별표 4의2(개정 2018.10.10.)’의 ‘신축 공동주택의 실내공기질 권고기준(제7조의2 관련)’은 폼알데하이드는 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 벤젠은 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 톨루엔은 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 에틸벤젠은 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 자일렌은 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 스티렌은 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 라돈은 148Bq/m³이하로 규정하고 있다. CO₂ 농도에 대한 기준은 없으며 TVOC도 화합물별로 별도로 규정하고 있다<Table 4>.

Table 4. Recommend standards for indoor air quality of new apartment house

구분	기준
폼알데하이드	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
벤젠	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
톨루엔	1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
에틸벤젠	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
자일렌	700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
스티렌	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
라돈	148Bq/m ³ 이하

이상의 측정기준을 검토한 결과, 본 연구에서는 기존의 연구(남기철 외 1인, 2016)³⁰⁾에서 제시한 기준치를 준용하고자 하였다. 다중이용시설의 실내공기질 권고기준에서는 TVOC 농도 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 다중이용시설의 실내공기질 유지기준에서는 CO₂ 농도 1,000ppm이하, 미세먼지 PM-10은 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, PM-25는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 준용하였다. 또한, 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준에서는 HCHO 농도 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 라돈 농도는 148Bq/m³이하를 기준으로 농촌 노후주택의 HCHO, TVOC, CO₂, 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 라돈 농도를 측정하고 이 측정값의 결과를 분석하였다.

3. 연구범위 및 방법

3.1 연구개요

본 연구는 충청남도 홍성군 ○○리를 중심으로 하며 구체적인 공간적 범위는 ○○리의 □□마을(8채)과 △△마을(7채)의 총 15채로 주민 거주 주택 15채를 대상으로 연구를 진행하였다. 연구의 대상지는 많은 대소 산들이 위치해 있어 임야율이 60%인 산간지역으로 전체 49호(신규 주택 1호)에서 30년 이상 노후주택 비율이 67%(32채)를 차지하며 무허가 주택은 73%(35채), 슬레이트는 46%(20채), 공폐가 주택은 4%(2채)로 전체의 71% 주택이 노후 및 개선이 시급한 지역이다. 홍성군 ○○리는 노후주택 대다수가 고령가구와 독거노인이 거주하고 있어 안전하게 거주하기 위한 방안을 마련하기 위한 고민과 노력을 지속하고 있으며 주택 개보수가 필요한 상황으로 농촌 노후주택의 실태

30) 남기철, 이영한, 기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO 농도 실태 조사분석, 한국생태환경건축학회논문집, 16(6), 2016, pp.115-122.

분석에 부합하고, 다른 농촌마을의 선례로서 적용이 가능하다고 판단되는 곳으로 선정·추진하였다.

시간적 범위는 2019년 10월 21일부터 2019년 10월 25일에 걸쳐 5일간 진행하였으며 실내공기질 대한 기초적 현황파악을 위해 농촌지역 노후주택의 건축연도, 주택면적, 주택 형태에 대한 현장조사를 통하여 주거환경을 분석하고 실내공기환경에 대한 정밀진단을 실시하여 현 농촌마을 노후주택 실내공기환경에 대한 실태를 조사하고자 하였다.

Table 5. Outline of investigation

구분	내용	비고
조사 일시	- 2019.10.21.~10.25(총 5일)	- 총 2회 방문
조사 지역	- 충청남도 홍성군 ○○리	- □□마을 : 8 - △△마을 : 7
조사 대상	- 노후주택(15채)	- 주민 거주 주택 : 15
조사 내용	- 주택 유형에 대한 현장조사 - 주택 실내공기환경에 대한 정밀진단	- 주택 건축연도, 면적, 내·외부 형태 - HCHO, TVOC, CO ₂ , 미세먼지, 라돈

3.2 연구방법

본 연구는 농촌마을 내·외부의 주택유형에 대한 현장조사를 통하여 농촌의 주거환경을 분석하고 노후주택의 공기환경오염물질에 대한 진단을 실시하였다<Fig. 1>.



Fig 1. Field survey and measuring devices

주택 유형조사의 경우 외부공간은 주택 준공연도, 주택 면적, 주택 형식, 건물층수, 지붕재료, 벽체재료, 벽체구조 등에 대해 조사하였고 내부공간은 내부공간의 세부적인 구성에 관한 조사를 실시하였다. 주택환경 정밀진단의 경우 전문기관에 의뢰하

여 주택별 정밀진단을 실시하였는데 공기환경오염물질은 폼알데하이드(HCHO), 휘발성유기화합물(TVOC), 미세먼지 측정은 LKC-1000 Series 모델을 사용하였고 ThermoRecorder TR-76UI를 통해 이산화탄소(CO₂)를 측정하고, Klepton Radon Tech를 통해 라돈 농도를 측정하였다. CO₂ 농도는 주택의 주거 공간에 데이터 로깅이 가능한 측정센서를 설치하여 농도를 측정하였고 미세먼지는 주택 내에서 발생하는 미세먼지의 Particle size에 따른 입자수의 누적값 및 농도를 측정하였다. 또한, TVOC는 주택의 내장재로 사용되는 타일카펫을 비롯한 목질건축재료로부터 배출되는 TVOC를 측정하고 약 1시간 정도 실내 거주공간에 배치하여 실내 오염도를 측정하였다. HCHO는 주택에 사전 10분 이상 환기를 시키고 모든 문을 닫은 직후 약 30분~1시간 동안 측정하고 실내 내장재에서 발생하는 HCHO 농도를 측정하였다. 라돈은 주택 내에 설치되어 있는 건축자재에서 발생하는 라돈 농도를 약 30~1시간 동안 측정하였다<Table 6>.

Table 6. A method of measurement

측정항목	측정방법
HCHO	사전 10분 이상 환기를 시킨 다음 모든 문을 닫은 직후 약 30분~1시간 측정, 실내 내장재에서 발생하는 폼알데하이드 농도를 측정함
TVOC	내장재로 사용되는 타일카펫을 비롯한 목질건축재(화장합판)로부터 배출되는 TVOC(휘발성 유기화합물)을 측정하였으며 약 1시간 정도 실내 거주공간에 배치하여 농도를 측정함
CO ₂	주거 공간에 데이터 로깅이 가능한 CO ₂ 센서를 설치하여 농도를 측정함
미세먼지	미세먼지의 Particle size에 따른 입자수 누적값 및 농도를 측정함
라돈	건축자재에서 발생하는 라돈 농도를 약 30분~1시간에 걸쳐서 측정함

4. 조사 결과 및 고찰

4.1 농촌마을 주택 유형에 대한 현장조사

현재 농촌지역은 과거 대가족이 생활하기 위한 많은 방이 필요했기 때문에 마루를 중심으로 작은 방들이 배치된 형태로 구성되어있어 현행 최저주거기준에서 제시된 최소 주거면적을 대체로 충족하고 있다고 한다(한국농촌경제연구원, 2018). 주로 단독주택이 많고, 노후주택 비율이 높은 농촌지역의 농촌 주택 유형 현장조사 결과는 다음과 같다.

먼저 주택 외부공간은 단독주택의 비율이 전체를 차지하고 있으며 2채를 제외하고 모두 단층주택이었다. 주택형식은 벽돌조 주택이 15채(73.3%)로 대부분이었으며 시멘블럭조 2채(13.3%), 목조, 조립식주택이 각각 2채로 7%이다. 지붕재료는 칼라강판 7채(46.7%), 기타(26.7%), 조립식패널 2채(13.3%), 금속기와, 시멘트기와가 각각 1채로 7%이다. 벽체재료는 벽돌 10채(66.7%), 흙미장 3채(20%), 조립식패널, 시멘트미장 각각 1채(7%)이고, 벽체구조는 벽돌블럭조 8채(53.3%), 흙벽돌조 6채(40%), 기타 1채(7%)이다. 주택 내부공간은 주로 2~3개의 방, 화장실, 거실, 부

역은 대부분의 주택 내에 구성되어 있었으며 마루 및 창고는 부가적으로 주택 내부에 구성되어 있었다. 조사 대상 주택의 각 요소별 평균치에 의하면 건축년도는 1939~2004년에 분포하여 30년 이상된 주택에 거주하는 가구는 12채(80%)로 약 46년이 경과하였다. 주택면적으로는 60m² 이상이 12채(80%), 60m² 미만인 3채(20%)로 상대적으로 작지 않은 규모의 주택에 거주하는 경우가 많았다<Table 7>.

4.2 노후주택 실내공기환경 정밀진단 결과

15개의 농촌 노후주택을 대상으로 HCHO, TVOC, CO₂, 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 라돈 농도를 측정하여 산출된 결과는 다음과 같다<Table 8>. 먼저, HCHO는 실내공기환경에 영향을 미치는 매우 중요한 유해인자로 방출정도는 방출원내포하고 있는 HCHO의 양과 온도, 습도 및 환기율과 밀접한 관련을 맺고 있으며, 방출수준이 반으로 감소하는데 소요되는 시간이 2년~4.4년 정도로 매우 길다(이윤규 외 1인, 2003)³¹⁾. 미국 국립산업안전보건

연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 발암물질로 분류하고 있다(심상효 외 1인)³²⁾. <Fig. 2>에 나타난 15채의 주택에서 측정된 HCHO의 농도는 최소 0.02mg/m³에서 최대 0.29mg/m³(평균 0.081mg/m³) 사이에 분포하며 환경부에서 제시하고 있는 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준인 210ug/m³을 초과하는 주택은 2채(H10, H14)로 일정수준 이상의 환기 및 난방 등을 실시하거나, 재건축 시에는 친환경소재의 마감재를 사용하여 HCHO의 발생량을 줄일 필요가 있다고 보여진다.

다음으로 TVOC는 각종 건축자재 및 가구, 침대 등에서 발생하는 주요 오염물질로 새집증후군, 건물병증후군을 유발한다. 이에 환경부에서는 5종의 개별 TVOC(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등)에 대한 권고기준을 설정하여 신축 공동주택에서 발생하는 오염물질을 관리하도록 하고 있다(장성기 외 6인, 2007)³³⁾. TVOC의 농도는 최소 0.11mg/m³에서 최대 1.0mg/m³(평균 0.321mg/m³) 사이에 분포하며 환경부의 다중이용시설의

Table 7. Outline of investigated housings

구분	건축년도	주택면적(m ²)	주택외부공간	주택내부공간
H1	1989	80	단독주택/벽돌조1층/지붕(조립식페널)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방3/화장실/거실/부엌
H2	1969	100	단독주택/목조1층/지붕(갈라강판)/벽체(흙미장/흙벽돌조)	방3/거실/부엌/창고
H3	1965	71	단독주택/벽돌조1층/지붕(갈라강판)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방3/화장실/거실
H4	1997	100	단독주택/벽돌조2층/지붕(기타)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방2/화장실/거실/부엌
H5	2004	60	단독주택/벽돌조1층/지붕(갈라강판)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방2/화장실/거실
H6	2003	90	단독주택/조립식주택/1층/지붕(조립식페널)/벽체(조립식페널/기타)	방2/화장실/거실/부엌
H7	1969	80	단독주택/벽돌조2층/지붕(기타)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방3/화장실/거실/부엌
H8	1959	80	단독주택/벽돌조1층/지붕(갈라강판)/벽체(벽돌/흙벽돌조)	방3/화장실/부엌/마루
H9	1959	90	단독주택/벽돌조1층/지붕(기타)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방3/화장실/거실/부엌
H10	1989	60	단독주택/시멘블럭조1층/지붕(금속기와)/벽체(벽돌/흙벽돌조)	방2/화장실/거실/부엌
H11	1970	50	단독주택/벽돌조1층/지붕(갈라강판)/벽체(시멘트미장/흙벽돌조)	방2/화장실/거실/부엌
H12	1955	48	단독주택/시멘블럭조1층/지붕(갈라강판)/벽체(흙미장/흙벽돌조)	방3/부엌
H13	1985	80	단독주택/벽돌조1층/지붕(갈라강판)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방2/화장실/거실/부엌/베란다
H14	1959	90	단독주택/벽돌조1층/지붕(기타)/벽체(벽돌/벽돌블럭조)	방3/화장실/거실/부엌
H15	1939	42	단독주택/벽돌조1층/지붕(시멘트기와)/벽체(흙미장/흙벽돌조)	방2/화장실/거실/부엌

Table 8. Result of Measurement about Indoor Air Environment in Rural Old house

구분	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
CO ₂ (ppm)	576 ~ 601	459 ~ 615	576 ~ 601	703 ~ 831	1,803 ~ 2,105	901 ~ 937	566 ~ 682	661 ~ 817	841 ~ 913	644 ~ 816	538 ~ 705	473 ~ 618	653 ~ 719	751 ~ 938	598 ~ 795
HCHO(ug/m ³)	30	20	30	50	190	60	60	50	20	260	20	40	70	290	30
TVOC(ug/m ³)	120	100	120	230	730	300	270	200	110	920	90	170	330	1,000	120
PM2.5(ug/m ³)	4.8	9.3	4.8	23.6	23.8	8.9	7.3	21.7	21.3	20.1	18.3	15.3	24.8	15.8	18.2
PM10(ug/m ³)	6.8	14.3	6.8	36.3	35.0	13.0	10.9	35.1	32.0	31.0	28.4	22.8	54.3	23.7	29.2
라돈(Bq/m ³)	23	21	63	20	24	23	24	19	27	21	22	21	30	50	37

* CO₂ : 이산화탄소, TVOC : 휘발성 유기화합물, HCHO : 폼알데하이드

31) 이윤규, 한길원, 공동주택의 포름알데히드 농도특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회, 19(10), 2003, pp.1153-160.

32) 심상효, 김윤선, 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가-휘발성 유기화합물 및 포름알데히드 중심으로-, 한국환경보건학회, 32(4), 2006, pp.275-281.

33) 장성기 외 6인, 신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카보닐화합물) 농도분포 특성, 한국분석과학회, 20(1), 2007, pp.17-24.

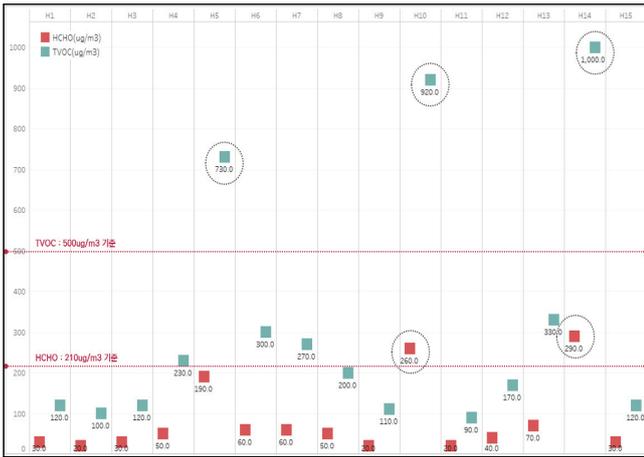


Fig 2. Concentration of HCHO, TVOC

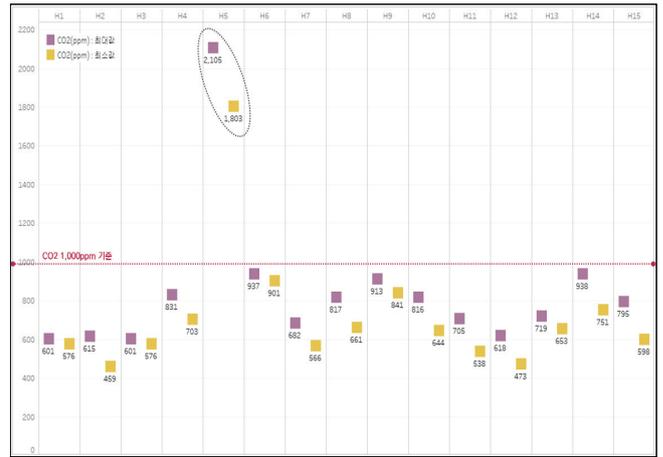


Fig 3. Concentration of CO₂

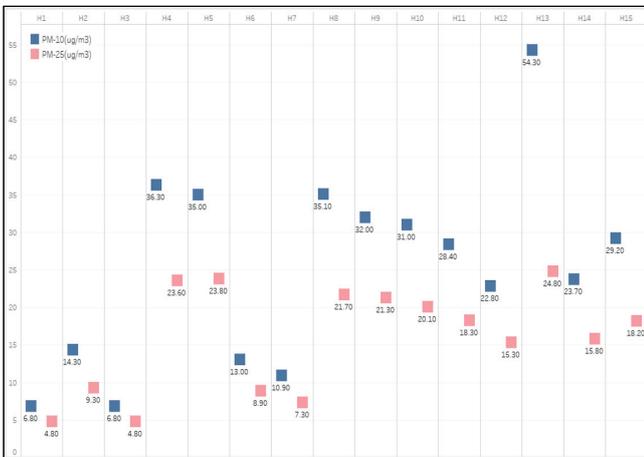


Fig 4. Concentration of Particulate matter (PM-10, PM-2.5)



Fig 5. Concentration of Radon

권고기준인 500ug/m³을 초과하는 주택은 3채(H5, H10, H14)로 H14가 1.00mg/m³로 가장 높은 것으로 분석되었다(Fig. 2). 전반적으로 TVOC와 HCHO의 농도는 비교적 양호한 것으로 측정되었으나 권고기준을 초과하는 주택(H5, H10, H14)의 경우 다른 가정에 비해 높게 분석되었다. 특히, H14의 경우 TVOC 수치는 다소 높게 측정되었고 H6, H7, H13의 수치는 비교적 양호한 것으로 나타났으나 적극적인 환기 등의 생활습관을 통해 오염물질의 수치를 낮추는 노력이 필요하다.

CO₂의 경우에는 집중력 저하와 두통의 원인이 되는 실내 환기 상태를 평가할 수 있는 물질로서, 도시지역을 대상으로 한 기존의 연구에서는 대체로 좁은 면적의 주택에서 이산화탄소의 농도가 높게 나타나 외부요인을 배제한 실내공기환경의 개선을 위해서는 환기가 필요함을 보여주고 있다. 그러나 <Fig. 3>에 나타난 15채 주택의 CO₂ 농도는 473ppm~2,105ppm(평균 795ppm) 사이에 분포하며 다중이용시설의 유지기준인 1,000ppm을 초과하는 주택은 1채(H5)로 CO₂ 농도가 주택 면적 간의 큰 연관성이 없는 것으로 보여진다.

또한, H3, H4, H8의 경우 CO₂ 농도가 양호한 수준이지만 비환기 시 상승될 것으로 나타났으며, H6, H9, H10, H14도 약간 위험한 수준으로 재실자가 거주하여 비환기로 있을 경우 기준

이상(800-1000ppm)으로 상승될 것으로 판단되어 주기적인 환기가 요구되는 상황이다. H5는 1803ppm~2105ppm으로 위험 수준으로 분석되었으며 전체적인 측정 조건은 모든 창호를 개방하지 않는 것으로 하였음에도 높은 수준으로 측정되어 하루 3번 30분 이상씩 적극적인 환기를 통해 수치를 낮추는 것이 요구되는 상황이다.

주요 이슈가 되고 있는 미세먼지는 WHO가 지정한 제1군 발암물질로, 질병관리본부에 따르면 PM-10 농도가 10ug/m³ 증가할수록 만성폐쇄성폐질환(COPD)으로 인한 사망률은 1.1% 증가하고, PM-2.5 농도가 10ug/m³ 증가할수록 폐암 발생률은 9%, PM-10 농도는 8% 증가한다고 하며 초미세먼지인 PM-2.5에서 일반인보다는 민감계층에서 건강영향을 크게 받는다(이수형, 2018)³⁴⁾. 이에 1995년 PM-10 농도의 기준을 마련하였으며, 2011년 PM-2.5 농도의 기준이 설정되어 2015년부터 적용되고 있다(환경부, 2016)³⁵⁾. <Fig. 4>에 나타난 15개의 주택에서 측정된 미세먼지의 농도는 PM-2.5는 최소 4.8mg/m³에서 최대 24.8mg/m³(평균 15.867mg/m³) 사이에 분포하고 PM-10는 최소 8mg/m³에

34) 이수형, 9.26 미세먼지 관리 종합대책 발표 후 보건 분야의 연구 및 적용 대책 방향, 한국보건사회연구원, 346, 2018.
35) 환경부, 「2016 환경백서」, 2016.

서 최대 54.3mg/m³(평균 25.307mg/m³) 사이에 분포하였다. 환경부의 '실내공기질 유지기준'에 의하면 다중이용시설은 PM-10 100µg/m³이하, PM-25는 50µg/m³이하로, 이를 초과하는 주택은 나타나지 않고 대부분 양호한 수준으로 분석되었으나 미세먼지는 지면과 가까이 있는 주택일수록 외부 환경에 영향을 받아 오염물질의 농도가 높을 수 있으므로 주기적인 환기 및 청소가 필요하다(환경부·국립환경과학원, 2012³⁶)

라돈의 경우 세계보건기구(WHO) 산하기관인 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer;IARC)는 라돈을 1군 발암물질로 분류하였으며 WHO에서는 전세계 폐암의 3~14%가 라돈에 의해 발생한 것으로 보고 있다(환경부, 2016)³⁷. 라돈은 단독주택·연립주택, 아파트 등의 주택유형에 따라 라돈 농도에 영향을 미치는데, 실내 생활공간이 토양과 직접 닿아있는 단독주택의 경우 라돈의 농도가 높게 나타날 가능성이 크며, 건축물 바닥이나 벽의 갈라진 틈새가 많을수록 라돈 농도가 높아진다(환경부, 2016)³⁸. 그러나 기존 연구에서 나타난 결과와는 달리 <Fig. 5>에 나타난 농촌 노후주택의 라돈 농도 분포는 19mg/m³~63mg/m³(평균 28.333Bq/m³) 사이로 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준인 148Bq/m³을 초과하는 주택은 나타나지 않았으며 대부분 양호한 수준으로 분석되었다. 다만, H3은 63Bq/m³으로 다소 높은 편으로 나타났는데, 라돈 농도가 74Bq/m³ 이상일 경우 가옥 보수 고려 대상으로, 실측 시 '실내공기질 관리법'의 유지기준을 초과하지 않았음에도 불구하고 천식 및 알레르기 등을 유발하는 라돈은 권고기준으로만 설정되어 있어 법적 검토의 필요성이 제기된다.

5. 결론

본 연구는 농촌지역 노후주택의 현 상태에 대한 측정을 통해 실내공기환경의 개선을 위한 기초자료로서 제공하기 위한 것으로 이론 고찰과 주택유형 및 실내공기환경 조사를 실시하였다. 조사 대상은 충남 홍성군의 15채 주택을 대상으로 하였으며 조사에 대한 주요결과는 다음과 같다.

첫째, 농촌 노후주택의 각 요소별 평균치에 의하면 건축년도는 1939~2004년에 분포하여 30년 이상된 주택에 거주하는 가구는 12채(80%)로 약 46년이 경과하였다. 주택면적으로는 60m² 이상이 12채(80%), 60m² 미만인 3채(20%)로 상대적으로 작지 않은 규모의 주택에 거주하는 경우가 많았다.

둘째, 농촌 노후주택의 실내공기 오염물질을 측정된 결과, 기준치를 초과하는 물질은 HCHO, TVOC, CO₂에서 나타났다. HCHO의 농도 분포는 0.02mg/m³~0.29mg/m³ 사이에 분포하며 2채의 주택에서 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준인 210µg/m³를 초과하였다. TVOC 농도 분포는 0.11mg/m³~1.0mg/m³ 사이에 분포하며 3채의 주택이 다중이용시설의 권고기준인 500µg/m³를 초과하였다. CO₂ 농도 분포는 473ppm~2,105ppm 사이에 분포하며 1채의 주택이 다중이용시설의 유지기준인 1,000ppm을 초과

하였다.

셋째, 미세먼지(PM-10, PM-25)와 라돈의 경우 기준치를 초과하는 주택은 나타나지 않았다. 그러나 라돈의 경우 '실내공기질 관리법'의 유지기준을 초과하지 않지만 천식 및 알레르기 등을 유발하는 라돈은 권고기준으로만 설정되어 있어 이를 관리할 수 있는 법적 검토의 필요성이 제기된다.

마지막으로 농촌지역 노후주택의 유형과 실내공기환경 진단 분석 결과, 주택 건축연도, 면적, 내·외부 형태 등과 실내공기환경 간의 유의미한 차이를 나타내지 않았으며 다만, TVOC는 건축연도가 짧을수록 농도가 높게 나오는 것으로 나타났다. 기존의 조사되어진 연구에 따르면 주택의 연도 및 면적은 실내공기환경과 다소 연관성이 있다고 나타났으나 본 연구에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 대부분의 주택이 양호한 수준이었으나 몇몇 주택은 비환기 시 기준치 이상으로 실내공기오염물질의 농도가 상승될 수 있어 적극적인 환기 등의 생활습관을 통해 오염물질의 수치를 낮추는 노력이 필요하다고 보여진다.

따라서 본 연구를 통해 살펴본 농촌 노후주택의 실내공기환경 개선을 위해서는 재건축 시 친환경 건축자재 및 오염물질이 적은 마감재 사용 등의 물리적 측면의 환경개선도 중요하지만 자연환기 등의 생활습관에 따른 비물리적 측면의 대안 제시가 요구됨을 알 수 있었다.

본 연구의 결과는 농촌지역의 재건축 사업 시 실내공기환경 관리방안을 수립하는데 필요한 기초자료로 활용 될 것으로 기대되며, 향후 계절별, 공간별 실내공기환경에 대한 후속 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 국토교통부, 도시 및 주거환경정비법 제2조 제3호, 2016.
2. 국토연구원, 농촌지역 주거품격 향상을 위한 농촌 주택정책 방안 연구, 2012.
3. 김도연, 농촌 노후 주거를 위한 주거환경 개선 방안에 관한 연구: 요양보호에 의한 주거이동과의 관계를 중심으로, 전북대학교 박사학위논문, 2013.
4. 남기철, 이영한, 기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO 농도 실태 조사분석, 한국생태환경건축학회논문집, 16(6), 2016.
5. 남기철, 이영한, 최봉석, 주택 실내공기중 오염물질 농도의 동절기와 하절기 비교 분석, 한국생태환경건축학회논문집, 17(3), 2017.
6. 대전세종연구원, 대전시민의 주택 실내공기질 실태조사 연구, 2018.
7. 박미정 외 7인, 농촌 노후주택 정비를 위한 건물에너지 분석, 한국농촌건축학회논문집, 3(74), 2019.
8. 박진철, 주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 19(6), 2003.
9. 심상호, 김윤선, 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가: 휘발성 유기화합물 및 포름알데히드 중심으로, 한국환경보건학회지, 32(4), 2006.
10. 안태경, 건강주택을 위한 실내공기환경 수준 설정, 한국생활환경학회지, 10(1), 2003.
11. 유우석 외 4인, 농촌주택 실내라돈 오염도 조사, 충청남도보건환경연구원보, 25, 2015.
12. 이병희, 김선동, 전주영, 공동주택 실내공기 오염물질 유형 및 평가방

36) 환경부, 국립환경과학원, 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 2012.

37) 환경부, 생활 속 자연 방사성 물질, 라돈의 이해, 2016.

38) 환경부, 「2016 환경백서」, 2016.

- 안, 건축환경설비, 13(2), 2019.
13. 이수형, 9.26 미세먼지 관리 종합대책 발표 후 보건 분야의 연구 및 적용 대책 방향, 한국보건사회연구원, 346, 2018.
 14. 이윤규, 공동주택의 실내공기질과 적정 환기기준, 건축환경설비, 7(3), 2013.
 15. 이윤규, 한길원, 공동주택의 포름알데히드 농도특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 19(10), 2003.
 16. 이현수 외 4인, 산업단지과 농촌지역의 주택실내·외 휘발성유기화합물과 이산화질소 농도 평가, 한국실내환경학회지, 7(4), 2010.
 17. 임선, 울산의 농촌과 도시 지역에서 집먼지 성분 특성 연구, 울산대학교 석사학위논문. 2012.
 18. 장성기 외 6인, 신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카보닐화합물) 농도분포 특성, 분석과학, 20(1), 2007.
 19. 전주영, 공동주택의 실내공기질 동향, 건축환경설비, 7(3), 2013.
 20. 최석환, 노후주택 관리 및 정비 지원을 통한 도시재생방안 연구 최종 보고서, 수원시정연구원, 2014.
 21. 최윤정, 김윤희, 김란희, 농촌지역 독거노인주택의 겨울철 실내환경 실태, 한국주거학회논문집, 21(3), 2010.
 22. 통계청, 2018 인구주택 총조사, 보도자료, 2019.
 23. 한국농촌경제연구원, 농촌형 주거기준 제정 및 주거실태조사 추진방안, 2018.
 24. 환경부, 국립환경과학원, 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 2012.
 25. 환경부, 2016 환경백서, 2016.
 26. 환경부, 생활 속 자연 방사성 물질, 라돈의 이해, 2016.

접 수 일 자 : 2020. 04. 10

초 심 완 료 일 자 : 2020. 05. 07

게 재 확 정 일 자 : 2020. 05. 15