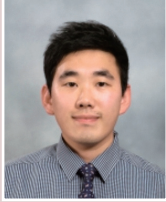


## 재실자 중심 건축물 실내환경 평가 및 관리 시스템 개발 동향 및 추진 전략

KICEM



홍태훈 연세대학교 건축공학과 교수  
김지민 연세대학교 건축공학과 연구교수

### I. 서론

세계는 지속 가능한 개발(Sustainable Development)이라는 목표를 가지고 전 산업에 걸쳐 다양한 노력을 하고 있다. 그 중 건물은 국가 전체 에너지 소비량의 약 40%를 차지하고 있기 때문에 국가는 건물 에너지를 줄이기 위한 정책들을 발효하고 있다. 2015년 12월, 신(新)기후체제(POST-2020) 출범에 따른, 우리나라의 국가 온실가스 감축목표 (2030년 BAU 대비 온실가스 배출량 37% 감축)를 달성하기 위한 건축물부문 저(低)에너지 전략도 범국가적 측면에서의 노력이라 볼 수 있다.

하지만, 저 에너지 전략에 따른 건축물 밀폐화 및 실내 거주시간의 증가로 실내공기오염은 새로운 환경문제로 대두되어 왔다. 많은 학술적 실험과 연구에도 환경오염에 따른 건강 위해 요인은 완전히 규명되지 않은 상태인 반면에 국민들의 실내 환경질에 대한 인식은 날로 증가하고 있다. 특히, 실내 환경에서 하루 80% 이상의 시간을 소비하는 현대인들의 증가에 따라, 재실자의 건강 및 쾌적성을 보장하기 위한 실내 환경질 관리가 필수적이다. 이와 함께 주거 문화의 새로운 패러다임으로 각광받았던 지능화된 주거공간인 유비쿼터스 홈(Ubiquitous Home), 스마트홈 (Smart Home), 인텔리전스 빌딩 (Intelligence Building) 등이 실내 환경질 개선과 저에너지 소비패턴 확립을 위한 해결책으로 제시되어 왔다. 더불어, 다양한 분야의 정책기관 및 연구기관에서는 생활문제 해결 및 미래대응 실내 환경질 향상 기술을 개발, 환경모니터링 신기술 그리고 건축물 범위에서의 지속가능한 건강건축을 연구하려는 노력이 계속되어 왔다. 국민의 건강을 최대한 증진시킬 수 있는 물리적·심리적·사회적 건축 환경을 창출하려 하고 있으며, 더 나아가 건강친화적인 건축기술 및 도시기술을 조성하는 데에 이르렀다.

한편, 건축물 내에서 방출되는 오염원 노출의 주체는 재실자이

며, 재실자에 관한 정확한 정보는 실내 환경질을 정량적으로 파악하는 부분에서 많은 영향을 준다. 수동적인 건축물과 달리 재실자의 행동에는 다양한 변수가 존재하며, 이는 인간의 신체적요인, 심리적요인 그리고 생리적 요인에 의해서 결정된다. 기존 연구들은 재실자의 정보를 파악하기 위해 확률적, 통계적 접근방법을 활용하고 있지만, 이는 실시간으로 변화하는 재실자의 정보를 파악하는 것에 대한 한계가 있다.

이에 따라 실내 환경질에 대한 재실자의 행동패턴을 상세히 분석하고, 더 나아가 오염물질을 정량화 할 수 있는 지표(Index)가 필요한 시점이다. 건축물의 다양한 요소들과 상호작용을 하는 재실자에게 정량화된 실내 환경질 지표는 건축물 운영 차원에서 저에너지 전략과 병행될 수 있는 방안이다. 이러한 실내 환경질 등급 체계 구축 및 최적 제어를 위한 건축물 및 재실자 행동패턴 관리 시스템 개발을 위해 본 고에서는 국내외의 관련 연구 동향을 살펴보고, 기존 연구의 한계점 및 전망을 살펴보고자 한다.

### II. 본론

#### 1. 국내외 연구동향

##### 1.1 국내현황

전 세계적으로 사물인터넷을 중심으로 한 '실내 환경 모니터링 시스템' 및 '인간의 행동패턴에 기반한 저에너지 절감 기법'을 지향하는 새로운 패러다임을 부각하고 있는 상황이며, 재실자에게 최적의 실내환경을 제공하기 위한 다양한 의사결정 모델 등을 개발하고 있는 상황이다.

국내의 경우, 에이전트 기반의 결과물을 통한 에너지 시뮬레이션 검증에 초점이 맞추어져 있으며, 재실자 행동에 대한 분석은 건축물 에너지 절감 측면에서만 바라보고 있다. 다른 방법으로는 지

능형 시스템들과 연동해 실내 환경질 개선을 위한 연구들이 존재 하지만, 이는 실내 오염물질과 관련한 재실자의 의사결정 지원에 한계를 나타내고 있으며, 단순 모니터링 기능에만 국한되어 있다.

표1. 국내 연구현황

선행연구	연구내용
다중이용시설 실내공기질 평가 및 건강영향과의 관련성	· 주요 다중이용시설을 대상으로 기본 사항으로 온도, 습도, 기류 및 CO <sub>2</sub> 를 측정, 권고 기준과 유지기준 항목 중 NO <sub>2</sub> , 미세먼지 및 PM <sub>2.5</sub> 중 내독소, 6종의 일대히드 및 총 부유세균의 노출수준을 분석 · 건강 상태 분석 및 면역독성학적 지표개발
실내환경의 유비쿼터스-실내 공기질(U-AQ) 진단시스템과 통합관리시스템 개발 및 구축에 관한 연구	· 설비시스템과 유비쿼터스의 결합을 통한 실내 환경 감시·진단·제어 시스템 개발 · 실내 환경 모니터링 장치 개발 · 실내 환경과 관련된 설비시스템 최적유지관리 시스템 개발
친환경 건축물 인증심사 기준 개선 및 인증제도 활성화 방안 연구	· 기존 국토 해양부에서 관리하는 친환경인증제도는 부합되지 않은 중북 사항 등에 따라서 효율적인 운영을 위해 신규 인증심사기준안을 제시 · 건축물의 등급을 제시하기 위한 실내 환경으로 공기환경, 온열 환경, 음 환경, 빛 환경 등을 고려 · 건축물의 실내 환경에서는 친환경소재, 자연환기 유무 등을 평가
실내공기질 통합관리 시스템 연구	· 실내환경질을 진단할 수 있는 등급별 실내 대기오염 통합지수 개발 · 실내공간의 오염물질 확산모델과 실험 데이터의 비교를 통한 실내 환기량과 오염물질 간의 상관관계를 정량적으로 해석 · 실내 오염물질 저감을 위한 환경 인자를 고찰하며, 확산특성을 예측
에이전트 모델에 의한 거주자의 에너지사용 형태 구현	· 실내 온열환경 측정과 사용자 상태에 대한 상세 설문조사를 통한 에너지 사용 행동모델 도출 · 도출된 에너지 사용 행동모델을 활용해 실제 건축물에너지 사용량을 예측

1.2 국외동향

국외의 경우, 진보된 데이터마이닝 기법을 통해 인간의 행동패턴을 정립하고, 이를 통해 이미 검증된 건축물 에너지 시뮬레이션으로의 애드온(Add-on) 및 건축물에너지 효율을 높이는 방안을 구축하고 있다. 또한, 다수의 연구기관과 스타트업 업체를 중심으로 사물인터넷기반의 실내 오염물질 모니터링 기술이 개발되고 있다. 하지만, 국내와 마찬가지로 단순 모니터링 기능에만 국한되어 있으며 재실자 중심의 능동적 체계는 부족한 실정이다.

표2. 국외 연구현황

선행연구	연구내용
NABERS (호주)	· 호주 정부에서 호주 건축물의 환경 성능 등을 평가하기 위해서 개발한 에너지, 수자원, 실내 환경 등을 따로 평가함 · 건축물 유형을 거주자 측면, 관리자 측면, 건축물주 측면으로 구분 · 실내 환경을 측정하기 위해, 열쾌적성, 실내환경질, 소음, 조명등을 고려
CASBEE (일본)	· CASBEE는 건축물의 능력과 건축물환경을 평가하고 등급을 측정하기 위해 개발된 방법 · 건축물의 유형을 고려하여 등급을 제시 · 실내환경질을 평가하기 위해 건축물의 유형에 따라 소음, 열 쾌적성, 조명, 실내환경질을 평가
An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part II: Implementation of the DNAS framework using an XML schema	· 인간과 건축물 간 나타나는 상호작용 효과를 분석 후, 건축물의 설계, 운영, 적용 단계에서의 에너지 절감을 목표로 하는 연구 · 건축물 에너지와 관련된 재실자의 행동에 대한 데이터를 수집하고, 시뮬레이션을 진행 · 에너지 시뮬레이션과 결합할 수 있는 XML(extended Markup Language) 기반의 재실자 정보 수집

2. 재실자 중심 건축물 실내환경 평가 및 관리 시스템 개발 전략

2.1 신뢰성있는 건축물 실내 환경질 복합지표

국민소득이 높아짐에 따라 삶의 질 개선에 대한 국민의 의식도 늘어나게 되었다. 특히, 쾌적한 실내 환경질에 대한 국민의 욕구가 계속해서 증대되고 있다. 신축 공동주택 입주민을 대상으로 한 결과에서도 대부분의 입주민 (93.9%)이 실내 환경질에 관심이 높은 것으로 나타났다. 앞으로 경제성장에 따라 쾌적한 삶에 대한 국민 욕구는 늘어날 전망이다. 기존의 국내의 건축물 등급체계에서는 전문가의 도움 없이는 건축물 등급체계를 고려하기 어려웠다. 이에 거주자가 쉽게 자신의 건물 수준을 파악할 수 있는 실내 환경질 등급체계에 대한 연구가 필요하며, 적절한 실내 환경질 등급체계를 평가하기 위한 모니터링 및 관리시스템을 개발하고 이를 활용하여 건축물 실내 환경질을 예측할 수 있는 시스템이 필요하다.

건축물 실내 환경질 정량화 및 복합지표 개발을 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다. 첫째, 건축물 특성 기반 실내외 환경질 정보 수집 및 상관관계 분석, 둘째, Wifi 및 센서를 활용한 재실자 행동 패턴에 따른 실내 환경질 정보 수집 및 상관관계 분석, 셋째, 건축물 특성과 재실자 행동 패턴 정보 기반 실내 환경질 정량화 및 복합지표 개발. 이를 통해, 재실자에게 있어 신뢰성있는 실

내 환경질 복합지표는 쾌적한 실내 환경을 조성하는데 큰 도움이 될 것이다.

## 22 건축물 실내 환경질 등급 체계 구축

새집증후군과 같이 신축 및 기존 건축물에서 나타나는 환경성 질환은 사전 예방과 선제적 실내 환경질 관리가 중요하다. 세계보건기구(WHO)에 따르면, 신축 건축물과 개보수된 건축물의 30% 정도가 새집증후군과 연관되어 있으며, 건축물에서 나타나는 대부분의 유해증상은 실내 환경질과 밀접한 관련이 되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 시설관리자 및 운영자 중심의 실내 환경질 관리 강화가 요구된다.

건축물 실내 환경질 등급체계 구축을 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다 첫째, 실내 환경질 복합지표를 활용한 건축물 특성별 실내 환경질 등급체계 구축, 둘째, 실내 환경질 복합지표를 활용한 재실자 행동 패턴 기반 실내 환경질 등급체계 구축, 셋째, 건축물 특성과 재실자 행동 패턴 기반 건축물 실내 환경질 등급체계 구축. 이를 통해, 건축물 당 등급체계 확립을 통한 실내 환경질 인증이나 빅데이터 기반의 자율관리체계가 구축될 수 있다.

## 23 능동형 건축물 및 재실자 행동패턴 관리시스템

온실가스 배출에 의한 기후변화가 지속되면서 냉난방기기의 사용이 증가할 것이며, 심각한 대기오염과 더불어 실내 유해 물질이 늘어날 것이다. 또한, 중국발 미세먼지와 같이 쾌적한 실내 환경질을 위협하는 생활주변 유해인자가 증가함에 따라 실내 환경질을 효율적으로 제어할 수 있는 능동적인 의사결정 도구가 필요한 실정이다.

최적 실내 환경질 제어를 위한 모니터링 시스템 및 사물인터넷(IoT) 기반의 건축물 및 재실자 관리 시스템(예측, 제어, 예방) 개발을 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정할 필요가 있다. 첫째, 실내 환경질 복합지표를 활용한 건축물 특성별 실내 환경질 등급체계 시각화 및 DB 구축, 둘째, 실내환경질 등급체계와 재실자 행동 패턴간의 관계 분석 및 예측을 위한 모델 개발, 셋째, 실내환경질 모니터링 및 최적 제어를 위한 건축물 및 재실자 행동패턴 관리 시스템 개발. 본 시스템은, 건축물을 실질적으로 운영하거나 제어하는 의사결정자에게 신뢰성 높은 의사결정 도구로서, 재실자의 건강뿐만 아니라 에너지 절약 부분에서도 활용될 것이다.

## III. 결론

본 연구의 결과물은 다음과 같이 학문적, 기술적, 그리고 경제적

측면에서 기여할 수 있다. 우선 학문적으로 살펴보면, 도시기반으로 웹기반 지도와의 연계를 통하여 건축물의 실내환경질 등급을 확인할 수 있는 응용기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 기술적으로는, 건축물 특성(교육시설물, 상업시설물, 주거시설물, 병원시설물 등)과 재실자 행동 패턴을 기반으로 실시간 오염물질(CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, 및 TVOCs)을 고려한 실시간 등급체계를 제시할 수 있다. 또한, 실내환경질 복합지표를 활용하여 도시기반 실내환경지도도를 개발하고 실내환경질 모니터링 및 관리 시스템을 개발할 수 있다. 최종적으로, 개발된 기술을 활용하면 사용자는 실시간으로 실내환경질을 수준을 등급으로 파악할 수 있으며 그에 따른 적절한 행동을 취할 수 있을 것으로 예상된다. 경제적으로 살펴보면, 국제 실내환경질 시장의 경우, 2016년 시장 규모는 약 4.5조원이며 연평균 성장률은 약 6.2%로 예상된다. 이에 2019년에는 5.34조원으로 2016년에 비해 20% 증가, 2022년에는 6.39조원으로 2016년 대비 61% 성장할 것으로 예상된다. 국내 실내공기질 시장의 경우, 2016년도 시장 규모는 약 6,351억원으로, 세계시장 성장률과 동일하게 적용하였을 경우, 2019년에는 2016년에 비해 20% 증가한 8,100억 원이며, 2022년에는 2016년에 비해 61% 증가한 9,700억 원으로 예상된다.

따라서, 본 고에 제시된 시스템 개발을 위하여, 실험성 검증을 위한 적용사례(Case Study) 대상 건축물을 선정하고, 테스트결과를 통보하여 지속적인 협력관계를 형성할 수 있도록 국내외 학교 및 기업과의 긴밀한 협력관계 형성할 계획이다. 더불어, 국내 연구기관(대학, 연구소 등) 및 대기업 부설 연구소를 활용하여 실무적 차원의 니즈(Needs)를 도출하고, 대규모 설문조사를 병행할 계획이다. 마지막으로, 미국의 Purdue University, University of Michigan, Florida International University(FIU), 홍콩의 The Hong Kong Polytechnic University, 싱가포르의 National University of Singapore(NUS) 등 여러 외국 기관 및 대학과의 연구 협력을 통해 시스템의 활용성을 높일 계획이다.

(본 고는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 학문후속세대양성사업(리서치펠로우) (과제번호: NRF-2016RIA6A3A11932132)의 지원을 받아 수행되었습니다.)

## 참고문헌

- 1) 김운신, 노영만, 홍승철, 이철민, 전형진, 김종철, & 조정현. (2004). 다중이용시설에서의 실내공기질 조사. 한국실내환경학회지, 1(2), 144-155.
- 2) 박미진. (2014). 병원건축의 실내공기질 개선 및 유해인자 관

리방안에 관한 연구. 주거환경, 12(2), 43-53.

3) Guak, S., Lee, B., Xu, S., Lee, K., & Lee, D. (2014). Pilot Study for Difference of Secondhand Smoke Exposure at Smoking and Non-smoking Nightclubs. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 40(1), 10-16.

4) Singleton, R., Salkoski, A. J., Bulkow, L., Fish, C., Dobson, J., Albertson, L., & Ritter, T. (2017). Housing characteristics and indoor air quality in households of Alaska Native children with chronic lung conditions. *Indoor air*, 27(2), 478-486.

5) Kim, J., Hong, T., Jeong, J., Lee, M., Lee, M., Jeong, K., Koo, C., and Jeong, J. (2017) "Establishment of an Optimal Occupant Behavior considering the Energy Consumption and Indoor Environmental Quality by Region" *Applied Energy*, In-Press.

6) Kim, J., Hong, T., Jeong, J., Koo, C., and Kong, M. (2017). "An integrated psychological response score of the occupants based on their activities and the indoor environmental quality condition changes." *Building and Environment*, 123, 66-77.

7) NAVIGANT RESEARCH , indoor Environmental and Air Quality

8) 국토해양부 등 관계부처 합동, 실내공기질 관리 기본계획 2009~2013

■ 김지민 Email : cookie6249@yonsei.ac.kr