

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘BIM정보를 활용한 건물 전과정에서의 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2016.06.22 ~ 2018.06.21) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018. 08. 03.

주관연구기관명 : 광운대학교 산학협력단 (대표자)
공동연구기관명 : (주)미래환경플랜건축사사무소 (대표자)



주관연구기관책임자: 유 정 호
공동연구기관책임자: 장 향 인

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C1149 26-02	해당 단계 연구 기간	2016.06.22- 2018.06.21	단계구분	1/1 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	BIM정보를 활용한 건물 전과정에서의 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초 시스템 개발			
연구책임자	유 정 호	해당단계 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: - 명	해당단계 연구개발비	정부:210,000천원 기업: 70,000천원 정부 외: - 천원 계:280,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: - 명	총 연구개발 비	정부:390,000천원 기업:130,000천원 정부 외: - 천원 계:520,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	광운대학교 산학협력단			참여기업명: 광운대학교 산학협력단, (주)미래환경플랜건축사사무소	
국제공동연구	-			-	
위탁연구	-			-	

본 연구는 공동주택의 실내 쾌적성 확보와 관련 인증업무 효율성 향상에 기여하기 위해 건물 전과정(설계단계, 시공단계, 유지관리단계)의 BIM기반 실내공기질 평가 및 통합관리 시스템 개발을 최종목표로 연구를 수행하였음. ‘실내공기질 정보생성 및 관리 기술 개발(핵심성과1)’, ‘실내공기질 법규 및 자재관리 기술 개발(핵심성과2)’, ‘실내공기질 정보 통합관리 시스템 개발(핵심성과3)’, ‘설계단계 실내공기질 평가기술 개발(핵심성과4)’, ‘시공단계 실내공기질 성능관리 기술개발(핵심성과5)’, ‘실내공기질 오염물질 및 예측기술 개발(핵심성과6)’을 수행하였으며, 1차년도에는 BIM요구정보 추출, 변화 및 통합관리기술 개발을, 2차년도에는 실내공기질 평가, 예측, 측정정보 관리기술개발을 세부목표로 설정하여 연구를 수행하였음. 본 연구는 최종결과물로 실내공기질 통합관리 프로그램을 개발하였으며, 해당 시스템은 설계사, 친환경 컨설팅업체, 시공사, 건축주 등 모든 관련자들이 실내공기질 평가 및 예측에 사용할 수 있는 시스템으로 설계단계에서의 설계사를 시작으로 운영단계의 관리자까지 건물 전과정에서 실내공기질 관리에 활용할 수 있을 것으로 기대됨. 또한, 본 연구는 기존 국내외 연구들과 차별을 두기 위해 웹기반의 친환경 제품정보 자동수집 프로세스(핵심성과2)와 전산유체역학 해석데이터를 기반으로 인공지능망 기계학습모델을 구축하여 실내 유효 필요환기량을 예측하는 프로세스(핵심성과6)을 구축하였음. 해당기술들은 기존연구들과의 차별성 뿐 아니라 기초위천기술로도 의미가 있음.

보고서 면수 : 234면

〈 요약 문 〉

연구의 목적 및 내용	본 연구의 최종목표는 실내공기질 평가 및 예측의 정확성과 신속성을 확보한 『건물 전과정(설계/시공/유지관리단계)의 BIM 기반 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초 시스템 구축』임. 따라서 친환경자재를 사전에 검토하고, 건물인증의 실내공기질 평가 및 실내오염물질 농도 예측, 실내공기질 측정정보의 통합관리기술을 개발하여 건물 전과정에서 관련 실내공기질 업무의 효율성 향상 및 거주공간의 쾌적성을 확보함. 1) BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리기술 개발 - 실내공기질 요구정보 정의, BIM 추출 및 속성정보 정의 - BIM 데이터로부터 형상정보, 속성정보 자동 추출기술 개발 2) 실내공기질 법규 및 자재 정보 관리기술 개발 - 실내공기질 자재 및 법규 DB 구축 - 실내공기질 자재 및 법규 정보관리 기술 개발 3) 전과정 실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발 - 전과정 실내공기질 정보 통합 활용 프로세스 수립 - 전과정 실내공기질 정보 연계 시스템 개발 4) 설계단계에서의 실내공기질 평가기술 개발 - 건물인증의 실내공기질 평가를 위한 요구정보 분석 - 실내공기질 평가항목별 자동산출 알고리즘 개발 5) 시공단계에서의 실내공기질 건물성능 관리기술 개발 - ‘녹색건축 본인증’ 및 ‘건강친화형 주택건설기준’ 에서 요구하는 실내공기질 성능관리 요구정보 분석 - 실내공기질 관리 프로그램 개발 6) 유지관리단계에서의 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 기술 개발 - BIM 정보를 활용한 실내오염물질 방출/제거 예측 프로그램 개발 - 실내공기질 측정대상 항목의 허용(유지/권고)기준이 적용된 측정관리 템플릿 및 프로그램 입출력 모듈 개발				
연구개발성과	- BIM 요구정보 추출 기술 및 실내공기질 평가 및 예측을 위한 요구정보 관리 기술 - 실내공기질 평가 및 예측을 위한 법규 및 자재정보 관리 체계 - 전 과정 실내공기질 정보 통합 관리 기술 - 녹색건축 예비인증, 건강친화형 주택건설 기준 평가 및 정보 관리 기술 - 녹색건축 본인증 평가, 건강친화형 주택건설 기준 성능 관리 기술 - BIM 정보 활용 실내공기질 예측 기술 및 측정데이터 관리체계				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 연구의 성과물은 설계사, 친환경 컨설팅업체, 시공사, 건축주 등 모든 관련자들이 실내공기질 평가 및 예측에 사용할 수 있는 시스템으로 설계단계에서의 설계사를 시작으로 운영단계의 관리자까지 건물 전과정에서 실내공기질 관리에 활용할 수 있음. 또한 정부정책과 연계하여 실내공기질을 관리할 수 있으며, 실내공기질의 원천적 관리로 건강한 주거 및 쾌적한 실내환경을 제공할 수 있을 것으로 기대됨.				
핵심어 (5개 이내)	실내공기질	건물정보모델	실내공기질 평가	농도예측	정보관리

< SUMMARY >

Purpose & Contents	The purpose of this study is the "Development of a BIM based System for Assessment and integrated Management of Indoor Air Quality(IAQ) during Building Life cycle" that Secured Accuracy and Speed of Indoor Air Quality Assessment and Prediction 1) Development of BIM-based IAQ Requirement Creation and Management Technique - Definition of IAQ Requirement and Extract Method, Definition of BIM Attribute - Development of BIM Passer 2) Development of Management Technique of Regulation & Material Information regarding IAQ - Development of IAQ Regulation & Material DB - Development of IAQ Regulation & Material Information Management Technique 3) Development of IAQ Information Integration-link System during Building Life cycle - Definition of Utilization Process of IAQ Information during Building Lifecycle - Development of IAQ Information Integration-link System 4) Development of IAQ Assessment Technique In Design Phase - Analysis of IAQ Assessment Requirement regarding Building Certification - Development of IAQ Automatic Assessment Algorithm regarding Building Certification 5) Development of IAQ Performance Management Technique In Construction Phase - Analysis of IAQ Performance Requirement regarding ‘Green Building’ and ‘Health-Friendly Housing Construction Standards’ - Development of IAQ Performance Management Program 6) Development of IAQ Prediction & Measurement Management Technique In Maintenance Phase - Development of Indoor Pollution Material Emission/Elimination Prediction Program using BIM - Development of Program and Template that applied the Acceptable Standard (Maintain or recommendation) of IAQ evaluation target				
Results	- Requirement Extraction Technique at BIM and Requirement Management Technique for IAQ Assessment & Prediction - Regulation and Material Information Management Process for IAQ Assessment & Prediction - IAQ Information Integration Management Technique during Building Life cycle - A Preliminary Assessment and information-management technique for ‘Green Building’ and ‘Health-Friendly Housing Construction Standards’ - A Performance-Management technique for ‘Green Building’ and ‘Health-Friendly Housing Construction Standards’ - IAQ Prediction Technique using BIM Information, Measurement Data Management Process and Technique				
Expected Contribution	The results of the research can use at IAQ management during the building life cycle from the designer of the design phase to the building manager of the operation phase, and manage IAQ with government policy. We anticipate providing good indoor environment & healthy housing environment though IAQ management using the results of the research.				
Keywords	IAQ(Indoor Air Quality)	BIM (Building Information Modeling)	IAQ Evaluation	Concentration Prediction	Information Management

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요	007
1.1 연구개발 목적	007
가. 연구개발 배경	008
나. 연구개발 필요성	009
1.2 연구개발의 최종목표	010
1.3 연구개발 범위	011
가. 연구개발 단계	011
나. 연차별 연구목표	011
다. 연차별 주요연구내용 및 수행방법	012
1.4 연구수행체계	016
제2장. 국내외 기술 개발 현황	017
2.1 국내외 연구동향	017
가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적	017
나. 국내외 연구동향 분석	021
2.2 국내외 기술특허 동향	023
가. BIM기반 친환경인증 지원기술 관련 국내외 기술특허 동향	023
나. 실내공기질 예측기술 관련 국내외 기술특허 동향	025
2.3 국내외 정책동향	028
2.4 소결	029
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	030
3.1 연구수행 내용 요약	030
3.2 BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술(핵심성과1)	033
3.3 실내공기질 법규 및 자재정보 관리 기술(핵심성과2)	057
3.4 전과정 실내공기질 정보 통합관리 시스템 개발(핵심성과3)	081
3.5 설계단계 실내공기질 평가 기술 개발(핵심성과4)	112
3.6 시공단계 실내공기질 평가 기술 개발(핵심성과5)	150
3.7 운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발(핵심성과6) ..	170
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	210
4.1 목표 달성도	210
가. 연구 수행 진도율	210
나. 연차개발 목표의 달성도	212
다. 핵심성과 달성 개요	215
4.2 관련 분야 기여도	221
가. 기술적 기여	221
나. 사회경제적 기여	222
제5장. 연구개발성과의 활용 계획	223
5.1 연구성과	223
가. 논문게재 성과	223
나. S/W등록 성과	223

다. 학술대회 발표 성과	224
라. 특허 성과	224
마. 기타	224
5.2 연구결과의 활용방안	225
가. 기술수요처 및 현장적용 방안	225
나. 실용화·제품화 방안	226
다. 미래원천기술 확보 및 신산업 창출	226
5.3 기대성 및 파급효과	227
가. 기술의 시장성 및 미래 시장 확대 전망	227
나. 기술적 기대성과	227
다. 사회·경제적 기재성과 및 파급효과	228
라. 전략적 측면의 파급효과	228
5.4 연구결과의 기업 활용방안	228
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	229
제7장. 연구개발성과의 보안등급	229
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	229
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	229
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	230
제11장. 기타 사항	230
제12장. 참고 문헌	231

제1장. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목적

가. 연구개발 배경

○ 국내·외 실내공기질 관리정책 현황

- **다양한 실내공기질 건물인증 시행:** 세계 각국의 친환경건축물인증제도에서는 실내공기질을 보다 효과적으로 관리하기 위해 다양한 인증항목을 제정하여 이를 관리하고 있음. 미국 LEED(Leadership in Energy and environmental Design, 이하LEED)의 경우 각 부위별 오염물질 저배출 자재 사용, 시공단계 및 입주단계에서의 IAQ(Indoor Air Quality)관리 계획을 평가항목으로 제정하였으며, 이외 최소한의 실내공기조절 수행, 담배연기 환경통제 등을 필수 평가항목으로 채택하고 있음. 일본 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, 이하 CASBEE)는 실내오염 발생원 대책으로 화학오염물질 및 석면대책과 함께 환기량, 자연환기 성능, 외기에 대한 배려 부문의 실내공기질을 평가하고 있음.
- **국내 실내공기질 관리정책의 강화:** 국내에서도 쾌적한 실내공기질에 대한 국민요구 증대와 국민의 안전한 실내환경조성을 위해 2015년부터 2019년까지 실내공기 오염도 10%이상 저감을 목표로 ‘실내공기질관리 기본계획(5년)’을 수립하여 추진 중에 있음. 또한, 실내공기질의 지속적인 관리를 위해 건물 설계단계부터 유지관리단계까지 다양한 실내공기질 관련 인증항목을 제정하였음. 예를 들어, ‘건강친화형 주택건설기준’은 19개의 항목 중 약60%인 의무기준 7개, 권장기준 4개가 실내공기질과 직접적으로 연관된 평가항목이며, ‘녹색건축인증(G-SEED)’은 7.실내환경에서 관련 항목을 평가하고 있음.
- **유기적인 인증정보 관리의 필요성 :** 실내공기질 운영기관을 통합 관리하는 선진국과 달리 국내에서는 4개 부처(환경부, 교육부, 고용노동부, 보건복지부)에서 이를 분산관리하고 있음. 이에 따라, 관리기준 및 의무사항 등이 상이하고, 실내공기질 관련 정보 공유가 미흡하다는 문제점이 제기되고 있음. 또한, 관리기관 및 인증기관이 달라 관련 정보가 체계적으로 통합관리되지 못한다는 한계가 있으며, 건설 전 과정에서 실내공기질 정보를 통합관리 할 수 있는 프로세스가 미흡하여 정보공유의 효율성과 유기적인 연계가 미흡한 실정임.

○ 국내·외 실내공기질 예측기술 현황

- **실내공기질 예측기술 무료보급:** 미국, 캐나다, 유럽, 일본에서는 국가 차원에서 실내공기질 예측 기술과 관련한 응용 프로그램을 개발하여 홈페이지를 통해 무료로 보급하고 있음. 전문가를 위한 프로그램도 있지만 일반인을 위한 기본적인 실내환경에 대한 선택형 정보 확인만으로 구성된 프로그램 등을 제공하고 있음. 현재 보급되고 있는 예측 프로그램들은 선택적인 정보를 활용해 한정적으로 실내공기질을 예측하기 때문에 설계 초기부터 운영단계까지 실내공기질을 종합적으로 평가하고 관리하는 연구는 미흡한 실정임.
- **실내공기질 예측기술의 한계:** 실내공기질 예측분야에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램을 활용하여 공기유동에 따른 실내 오염물질 분포 예측결과를 측정결과와 비교하는 연구가 주를 이루고 있음. 그러나, 전산유체역학을 이용한 분석은 전문적인 지식 기반이 필요하

며, 정확한 모델 설계 및 환경 조건의 설정이 이루어져야 정확한 결과를 얻을 수 있음. 또한, 다수의 해석 케이스를 분석하거나 복잡한 대상 시설 분석, 추적 가스 분석 등에는 많은 연산 시간과 컴퓨터 연산 능력이 요구되는 한계가 있음. 따라서 예측식 모델을 활용한 실내공기질 예측 프로그램은 측정정보 획득의 어려움으로 인해 발생하는 한계점을 개선할 수 있는 기술임.

○ 국내외 건축분야에서의 BIM적용 확대

- **국외 BIM적용 의무화 확대:** 미국, 유럽국가, 아시아 주요국가에서는 공공공사에 BIM적용을 의무화 하고 있는 추세임. 미국의 GSA(General Services Administration)는 2006년에 공공건물 설계 시, 제출하는 설계도면을 IFC(Industry Foundation Classes)로 제출하는 것을 의무화하였으며, 영국은 2011년에 정부와 기업 합동 노력을 기반으로 BIM을 시작하여 2016년 공공발주 건설 사업에 BIM적용을 의무화하였음. 싱가포르에서도 2010년 발표한 BIM 기술로드맵에 따라 2013년 중반부터 일부 프로젝트에 대하여 BIM기반 인허가 신청과 필요서류 제출을 의무화하였으며, 2016년부터 모든 프로젝트를 대상으로 확대하였음.
- **국내 BIM적용 의무화 확대:** 조달청은 2009년 공시한 BIM(Building Information Modeling) 도입 방침에 의거하여 2010년에 1~2건의 대형공사에 BIM을 시범적으로 적용하였음. 2012년부터는 500억 원 이상 턴키설계공모 건축공사에 BIM 적용을 의무화하였고, 2016년에는 조달청에서 발주하는 모든 건축공사에 BIM 적용을 의무화하였음. 또한, 국토교통부 ‘건축분야 BIM 적용가이드’, 조달청 ‘BIM 가이드라인’, 한국BIM학회의 ‘건축분야 BIM적용가이드’, LH의 ‘공동주택 BIM 적용 가이드라인’ 등이 개발 및 보급되고 있음.
- **건설 정보관리 패러다임의 변화:** BIM적용 의무화와 더불어 대형 건설프로젝트에서는 건물의 방대한 형상정보관리와 2D방식이 가지는 정보의 부적합성, 누락, 오류 등의 기술적 한계개선을 목적으로 한 다양한 BIM기반 기술들이 적용되고 있음. BIM기술은 설계단계에서의 결과물 품질향상, 시공단계에서의 하자개선, 유지관리단계에서의 유기적인 정보통합관리를 가능하게 함. 또한, 형상관련 정보 자동추출, 공정관리, 원가관리 등에서 입증되었던 기술효율성이 다양한 연구들을 통해 법규기준의 적합여부 자동평가, 인증기준의 접합여부 자동평가 등으로 확대되면서, BIM기반 정보관리의 활용분야는 점차 확대되고 있는 전망이다.

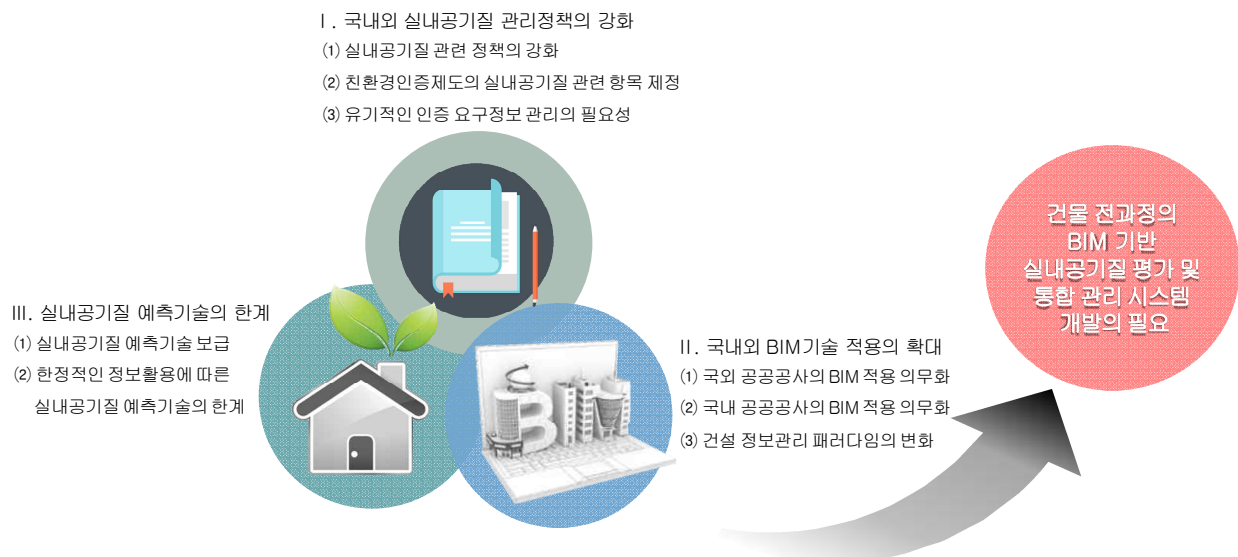


그림 2 연구의 배경 및 필요성

나. 연구개발 필요성

○ 설계환경 변화에 따른 기술개발의 필요성

- **국내외 BIM 시장 규모의 지속적인 성장:** 국외에서는 맥그로 힐과 터너 DPR 등 대형회사를 중심으로 BIM이 빠르게 확산되고 있음. 또한, 대형 설계사들도 창조적 설계와 부가가치 창출을 위해 BIM을 적극 활용하고 있어, 세계 BIM 시장규모는 지속적으로 증가할 것으로 전망됨. 2011년부터 매년 100건 이상의 BIM 적용 실적이 빌딩스마트협회에 등록되고 있으며, 2016년 공공공사의 BIM적용 의무화로 인하여 BIM 활용은 지속적으로 증가할 것으로 전망됨. 이에 따라, 기술 경쟁력 확보를 위한 BIM설계 도입 노력이 수행되고 있음.
- **친환경 인증지원을 위한 BIM기술 개발:** 최근에는 지속가능한 건축에 대한 이슈와 함께 에너지 평가/친환경인증지원 등 각종 응용분야에서의 BIM도입 노력이 활발히 수행되고 있음. 친환경인증업무는 설계변경 횟수만큼 단순하고 반복적인 업무를 수행해야한다는 특징이 있음. BIM기술은 인증평가업무의 작업특성을 개선에 기여하여 업무효율성을 향상시킬 수 있음. 또한, 친환경인증 지원을 위한 원천기술이 확보될 경우 BIM 설계환경에서의 정보 통합관리가 가능하여, 인증과정에서 생성된 정보를 건설 전 과정에서 활용할 수 있음. 이에 따라, LEED, 녹색건축인증, 에너지효율등급 인증 등을 지원하기 위한 BIM기술들이 개발되었으나, 실내공기질 관련 인증지원을 위한 기술개발은 미비한 실정임.

○ 실내공기질 인증업무 수행에 따른 필요성

- **실내공기질 관련 건물인증 업무의 자동화 기술개발 필요:** 현재 실내공기질 인증에 필요한 제출 도서는 신청자가 2D 도면 확인 후 수작업으로 작성하고 있음. 2D 도면은 설계 및 시공단계에서 동일하지 않은 도면으로 진행하기 때문에 각 단계별 요구되는 건물인증 도서작성을 위해 많은 시간과 인력이 투입되며, 작업자의 주관적 판단개입과 정보추출의 오류로 결과의 정확도가 감소하는 단점이 있음. 따라서 인증업무의 효율성 및 평가결과의 정확성 확보를 위한 건물인증의 실내공기질 평가업무의 자동화 기술 개발이 필요한 시점임.
- **실내공기질 인증업무 프로세스 개선사항 :** 실내공기질 인증업무는 단순하고 반복적인 작업 특성을 가지고 있음. 설계변경에 따라 적용 자재면적 산정, 환기량 산정 등과 같이 면적과 관련된 정보생성을 다시 해야 하며, 인증서류를 준비하기 위해 많은 시간과 인력이 투입됨. 이러한 비효율적인 업무 프로세스는 인증업무의 비용 증가로 이어지며, 수작업으로 인한 부정확성으로 인증서류의 신뢰도가 떨어지고 있는 실정임. 이에 따라 본 연구에서 제안한 “BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리 기술”을 적용한다면 업무 프로세스상 발생하는 불필요한 시간과 인력을 감소할 수 있을 것으로 기대됨.

1.2 연구개발의 최종목표

- 본 연구의 최종목표는 실내공기질 평가 및 예측의 정확성과 신속성을 확보한 ‘건물 전과정 (설계/시공/유지관리단계)의 BIM 기반 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초 시스템 구축’ 임. 이를 위해 6개의 핵심성과를 설정하였으며, 체계적인 연구수행 및 업무의 효율성 향상을 위해 각 차년도별 연구목표, 기관별 연구목표를 명확히 수립하고 수행하였음.
- 본 연구 과제수행을 통한 연구내용 및 최종결과물은 BIM 정보를 활용하여 실내공기질 관련 인증 과정의 정확성 및 효율성을 향상시키고 실내 오염물질 농도 예측·측정 정보를 통합 관리하는데 기여할 것으로 예상됨.



그림 3. 연구개요도

1.3 연구개발 범위

가. 연구개발 단계

○ 본 연구에서는 실내공기질 통합관리를 위한 ‘BIM 요구정보 추출 및 관리’, ‘건물인증 실내공기질 평가’, ‘실내공기질 성능 관리’, ‘실내공기질 예측 및 측정관리’ 총 4가지 핵심기술에 대하여 연구 착수 단계를 TRL 2단계로 설정하여 연구를 착수함. 4가지 핵심기술의 모듈을 개발하여 ‘BIM정보를 활용한 건물 전과정의 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초 시스템’을 구축한 후 실험실 환경에서의 각 핵심모듈의 기능별 성능 테스트를 완료하여 TRL 4단계로 연구가 종료되는 것을 목표로 연구개발을 수행하였음.

표 1. 기술개발 성숙도 분류

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☒	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☒	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

나. 연차별 연구목표

○ 본 연구 개발은 BIM 정보를 활용하여 건물 인증의 실내공기질 평가업무를 자동화하고, 실내 공기질 통합관리 시스템 개발을 통해 건물 전과정 단계별로 실내공기질 평가, 측정, 예측에 대한 정보를 관리하는 것을 목적으로 함. 또한, 개발된 세부 모듈을 적용하여 기존의 비효율적인 인증 업무 과정을 자동화하여, 인증 평가 결과의 정확성을 확보하고 건물 설계에서 유지관리 단계까지 실내공기질의 효율적인 통합 관리 시스템을 구현하고자 함.

○ 1차년도는 BIM을 활용한 실내공기질 정보관리 체계 구축을 위한 기반기술을 개발하는 것을 목표로 하였으며, 2차년도는 개발된 기술들을 통합하여 건물 전과정에서의 실내공기질 평가, 예측, 측정정보를 관리하는 통합시스템을 구축하는 것을 목표로 함. 각 연차별 연구목표 및 이와 연계된 핵심성과는 아래 그림과 같으며 달성계획을 수립하여 체계적인 연구개발이 수행되도록 하였음.

다. 연차별 주요연구내용 및 수행방법

- 1차년도에 수행된 연구는 (1)BIM 활용을 위한 실내공기질 관련 정보추출 프로세스 정의 (2) 실내공기질 관련 인증지원을 위한 정보 관리체계 구축 (3)녹색건축인증 예비·본인증 템플릿 개발 (4)건강친화형 주택건설기준 자제평가 및 이행확인 템플릿 개발 (5)실내공기질 예측을 위한 예측식 개발임.
- 연구수행을 위해 건강친화형 주택건설기준 및 녹색건축인증 실내공기질 관련항목 분석, 공동 주택 BIM모델을 통한 IFC데이터 추출, 정보관리 프로세스 및 DB 구축, 건강친화형 주택건설기준 및 녹색건축인증 실무자 자문 및 평가사례 분석, 실내 오염물질 방출/제거 방법론 조사 및 예측 알고리즘 제시 등을 수행하였음. 다만, 실내공기질에 영향을 미치는 다양한 요소 중 친환경 인증을 취득하기 위해 필요한 요구정보인 건물의 형태, 자재 등에 대한 정보를 연구범위로 설정하였음.
- 2차년도에는 1차년도에 수행된 기초연구를 기반으로 세부모듈 개발을 수행되었음. 수행된 연구는 (1)실내공기질 인증정보 생성 및 관리 기능모듈 개발 (2)실내공기질 정보관리 통합모듈 개발 (3)실내공기질 인증지원모듈 개발 (4)실내공기질 오염물질 정보예측모듈 개발임.
- 연구수행을 위해 자재종류별 속성정보 추론규칙 정의, 제품정보 자동수집을 위한 웹크롤링 및 온톨로지 기술 기반의 정보수집 프로세스 구현, 실내공기질 정보 통합관리 시스템 개발, 실별 실내공기질 오염물질 예측모듈 개발 등을 수행하였으며, 1차년도에서 정의한 요구정보를 활용하여 각각의 모듈과 시스템을 검증하였음. 향후 추가 연구를 통해 가구, 집기, 인체의 영향 (CO₂) 등 거주자가 생활하면서 발생하는 인자들을 추가로 고려하면 보다 실용성 높은 시스템 개발이 가능할 것으로 예상됨.

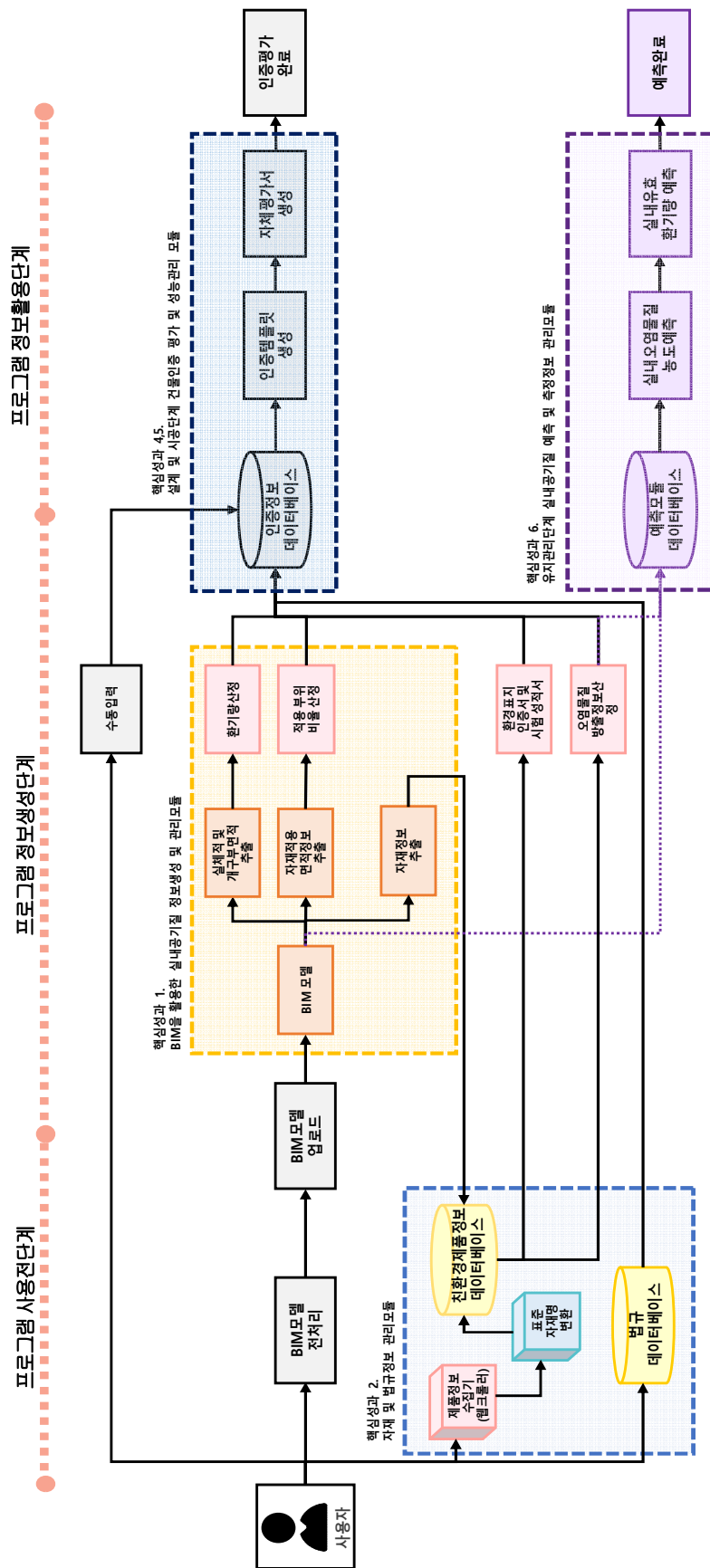


그림 4 단계별 실내공기질 통합관리 프로그램 수행개념도

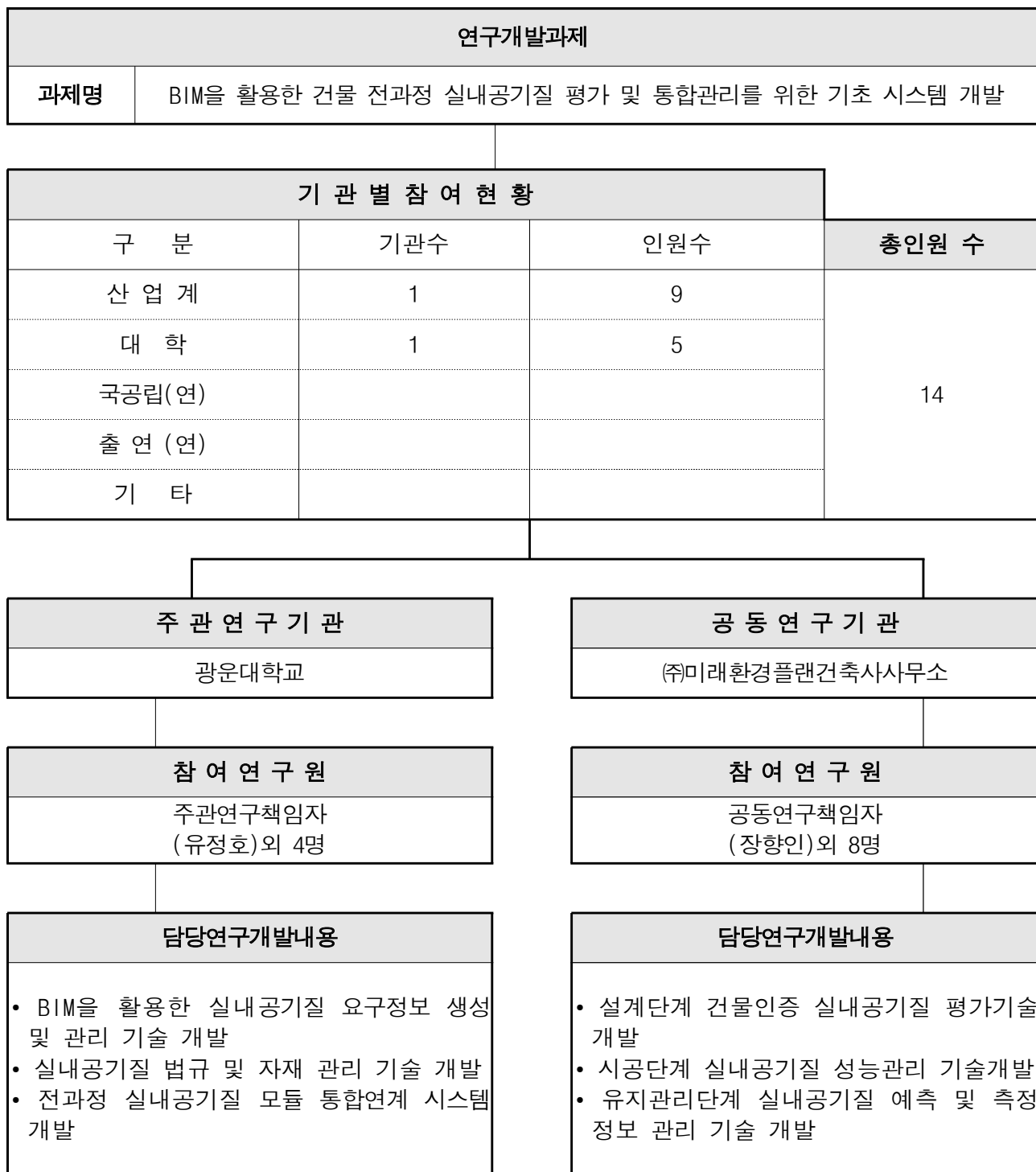
표 2. 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

(다음장 계속)

연차	연구목표	주요연구내용	해당핵심성과	
1 차 년 도	설계-유지관리 단계별 요구정보 정의	- 실내공기질 관련 건강친화형 주택건설기준항목 및 녹색건축 인증(G-SEED) 세부내용 분석 - 실내공기질 평가를 위한 요구정보와 해당 요구정보를 BIM에서 가져오기 위한 IFC 엔티티 및 속성에 대한 정의 - BIM모델에 포함되어 있는 정보와 모델링과정에서 추가되어야 하는 정보에 따른 요구정보 추출 IFC 구조도 작성	1	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술
	BIM정보 및 실내공기질 정보 관리체계 구축	- 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 전체 프로세스 작성 - 전체 프로세스 수행을 위한 세부모듈 상세사항 정의 - BIM관련 정보 생성 및 관리 프로세스 작성 - DB구축을 위한 웹기반 정보생성 및 관리 프로세스 작성		
	실내공기질 관련 자재DB 구축	- 통합프로세스 수행을 위한 DB 연동 개요도 정의 - 면적정보 및 자재정보 관리를 위한 ERD 작성 - DB 세부 엔티티별 데이터테이블 예시작성 - 자재별 친환경제품정보 DB 구축	2	실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술
	실내공기질 법규DB 구축	- 건강친화형 주택건설 기준 및 녹색건축물 인증제도 관련 법규 및 기준 분석 - 건강친화형 주택건설 기준 및 녹색건축물인증 제도를 위한 법규 데이터테이블 작성 - 건강친화형 주택건설 기준 및 녹색건축물 인증제도 평가를 위한 알고리즘 정의		
	녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축	- 녹색건축 인증 실무자 자문 및 수행 사례분석을 통해 기존 업무 프로세스 및 자체평가 업무의 개선방향 도출 - BIM 전문가 자문을 통해 BIM 정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 연계방안 도출 - 실내공기질 자체평가 자동화 프로세스 구축 및 항목별 평가 점수 산출 알고리즘 개발 - 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 및 실무자 테스트를 통한 기능 개선	4	설계단계 실내공기질 평가기술 개발
	건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구축	- 건강친화형 인증 실무자 자문 및 수행 사례분석을 통해 기존 업무 프로세스 및 자체평가 업무의 개선방향 도출 - 단위세대별 친환경자재 적용수량 산출 알고리즘 개발 - BIM 전문가 자문을 통해 BIM 정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 자체평가 연계방안 도출 - 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 개발 및 실무자 테스트를 통한 기능 개선		
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축	- 녹색건축 본인증 프로세스 및 제출서류 분석을 통한 예비인증과의 차별점 도출 - 실내공기질 평가모듈(예비인증)과 녹색건축 본인증 평가 템플릿과의 연계성 검토 - 녹색건축 본인증 자체평가 템플릿 개발 및 실무자 테스트를 통한 기능 개선	5	시공단계 실내공기질 성능관리 기술개발
	건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 구축	- 건강친화형 주택건설기준의 이행확인 항목 분석 - 건물인증 실내공기질 평가모듈의 건강친화형 주택건설기준 자체평가 모듈과의 연계성 검토 - 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발		
	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축	- 실내공기질 인증관련 법규 및 인증 프로세스 분석 - 국내외 실내공기질 측정대상 오염물질별(유지/권고) 허용기준 분석을 통해 운영단계 실내공기질 측정/관리기준 수립 - 실내공기질 인증(유지관리 기준)을 위한 필수 측정대상 오염물질 분류 체계 구축	6	운영단계 실내공기질 예측 및 측정 정보관리 기술개발

연차	연구목표	주요연구내용	해당핵심성과	
	실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발	• 문헌조사를 통한 실내공기 오염물질 종류 및 방출 특성 분석 후 실내 오염물질 예측 대상 선정 • 실내 오염물질 방출/제거 방법론 조사 후 오염물질 방출 예측 알고리즘 및 프로세스 개발 • 특허출원을 통해 실내공기질 예측 알고리즘 및 프로세스의 실효성 검증		
2 차 년 도	BIM을 활용한 실내공기질 정보 관리체계 구축	• BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술 개요 • BIM기반 실내공기질 관련 raw data 추출 모듈 개발 • 단계별 실내공기질 예측, 평가, 정보생성 및 관리모듈 개발 • 전과정 실내공기질 정보관리 프로세스 정립 • 프로그램 활용 매뉴얼 개발	1	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술
	실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술개발	• 단계별 BIM정보와 실내공기질 정보연계 알고리즘 개발 • 건물유형 및 규모별 실내공기질 최소기준을 활용한 최소기준 판정 모듈 • 자재 및 법규 DB관리 프로그램 개발 • 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선 도출 및 수정·보완 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 프로그램 성능 검증 • 프로그램 활용 매뉴얼 개발	2	실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술
	실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발	• 전과정 실내공기질 정보통합 활용 프로세스 수립 • 핵심성과 정보통합 활용 프로그램 UI 설계 • BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 파일럿테스트 개요 • BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 검증결과 • 프로그램 활용 매뉴얼 개발	3	전과정 실내공기질 정보통합 관리시스템 개발
	BIM기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발	• 녹색건축 예비인증 자체평가 입·출력 모듈 개발 • 입·출력 모듈의 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선 • 통합시스템에 녹색건축 예비인증 자체평가 모듈 통합 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 통합시스템 성능 검증	4	설계단계 실내공기질 평가기술 개발
	BIM기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 개발	• 건강친화형 주택건설기준 자체평가 입·출력 모듈 개발 • 입·출력 모듈의 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선 • 통합시스템에 건강친화형 주택건설기준 자체평가 모듈 통합 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 통합시스템 성능 검증		
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발	• 녹색건축 본인증 자체평가 입·출력 모듈 개발 • 입·출력 모듈의 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선 • 통합시스템에 녹색건축 본인증 자체평가 모듈 통합 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 통합시스템 성능 검증 • 프로그램 활용 매뉴얼 개발	5	시공단계 실내공기질 성능관리 기술개발
	건강친화형 주택건설기준 이행확인 프로그램 개발	• 건강친화형 주택건설기준 이행확인 입·출력 모듈 개발 • 입·출력 모듈의 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선 • 통합시스템에 건강친화형 주택건설기준 이행확인 모듈 통합 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 통합시스템 성능 검증 • 프로그램 활용 매뉴얼 개발		
	실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발	• 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발 • 실내오염물질 판정결과(유지/권고/허용기준) 비교 모듈 개발 • 예측 프로그램에 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 통합 • 실무자 샘플 테스트를 통한 프로그램 성능 개선 및 검증	6	운영단계 실내공기질 예측 및 측정 정보관리 기술개발
	실내공기질 예측 프로그램 개발	• 실내공기질 예측 프로그램의 BIM과의 연계성 검토 • BIM 데이터 추출 모듈 및 오염농도 산출 모듈 개발 • 실내공기질 예측식 도출을 위한 전산유체역학 분석 • 인공지능망 기반 기계학습을 통한 환기량 예측 모듈 개발 • 모듈 통합을 통한 실내공기질 예측 프로그램 개발 • 실무자 샘플 테스트를 통한 프로그램 성능 개선 및 검증		

1.4 연구수행체계



- **선행연구과제와의 차별성** : 본 연구는 BIM 기술을 활용하여 설계 및 시공단계에서부터 생성된 실내공기질 관련 정보들을 친환경인증평가, 실내공기질 예측, 실내공기질 관리에 활용하는 기술로 유사선행연구와는 다르게 설계단계에서부터 운영 및 유지관리단계까지 종합적으로 실내공기질 관련 정보를 관리하고 활용할 수 있는 기술로 선행 유사연구과제와는 차별성을 가짐.

표 3. 공동주택에서의 실내공기질 관리에 관한 대표적인 연구

부처명 (연구기간)	주관 연구기관	사업명	주요연구내용	차별성
한국연구재단 (2005.06.10 ~ 2014.02.28)	한양대학교 산학협력단	쾌적성 향상과 경제성을 고려한 실내공기질 평가 및 관리시스템 개발	실내공기질 설계지원 톨 개발을 목표로 연구를 수 행하였으며, 에너지 효율 적인 환기설계 가이드라 인 제시하였음.	해당 연구는 설계단계에 서 실내쾌적성을 확보하 는 연구로 건물 전과정에 서의 실내공기질을 확보 하는 본 연구와는 차이가 있음
한국환경산업 기술원 (2007.04.01. ~ 2010.03.31)	경원대학교	실내환경의 유비쿼터스- 실내공기질(U-IAQ) 진단시스템과 통합관리 시스템 개발 및 구축	유비쿼터스와 실내공기질 측정을 연계하여 실시간 실내환경 통합관리 시스 템 개발하는 것을 최종목 표로 연구를 수행하였음.	해당 연구는 운영단계 실 내공기질 측정에 관한 연구로 전과정에서 실내 공기질을 예측, 관리하는 본 연구와는 차이가 있음
한국연구재단 (2008.09.01. ~ 2015.02.28)	경희대학교 산학협력단	건강친화 실내공기질 및 위생환경 제어기술	VOC의 물질전달 특성을 연구하며 생물학적 오염 방지를 위한 습기 및 미 생물 오염 예측 및 평가 기술을 개발하는 것을 최 종목표로 연구를 수행하 였음.	VOC 방출 특성을 분석하 여 습기 및 미생물 오염 예측 및 평가기술 개발로 전과정 통합적인 실내공 기질 관리에 대한 연구를 진행하는 본 연구와는 차 이가 있음
한국환경산업기 술원 (2013.06.01. ~ 2015.05.31.)	(주)나인에코	실내공기질 통합감시를 위한 M2M 프로토콜 및 예측 프로그램 개발	M2M센싱 기술을 기반으로 실내외 공기질 및 재실자 의 활동도를 고려한 실내 공기질 예측 프로그램 개 발하는 것을 최종목표로 연구를 수행하였음.	센싱을 수행하는 정보통 신 시스템기술과 실내외 공기질 정보 및 재실자의 활동도에 대한 정보를 활 용해 대형건물의 실내공 기질을 예측하는 연구로 본 연구와는 차이가 있 음.
국토교통과학기술 진흥원 (2014.09.21. ~ 2019-02.20)	한국건설기술연 구원	생활문제 해결 및 미래대응 실내공기질 향상기술 개발	실외유입 및 실내 발생 오염물질 50%이상 저감을 목표로, 생활문제 해결형 환기시스템, 미세먼지 (PM10, PM2.5) 차폐기술 개발, 실내발생 오염물질 흡착제거 소재 및 제품 개발 등을 수행함	해당연구는 실내외에서 유입되는 발생오염물질을 저감하기 위해 각종 시스 템과 제품을 개발하는 것 을 목적으로 하는 연구로 실내공기질 관련 정보관 리를 위해 수행되는 본 연구와는 차이가 있음
중소기업기술정 보진흥원 (2014.06.17. ~ 2016.06.16.)	주식회사 랩존	공동주택용 실내공기질 관리 장치 개발	실시간 환경감시 장치 및 고성능 필터 장치 개발하 는 것을 최종목표로 하여 연구를 수행하였음.	해당 연구는 고성능 필터 를 활용한 실내공기질 관 리와 센서를 활용한 실시 간 실내환경을 감시하는 장치를 개발하는 연구로 통합적인 실내공기질 관 리에 대한 연구를 진행하 는 본 연구와는 차이가 있음

○ BIM과 인증 관련 유사연구과제 수행동향

- BIM을 기반으로 인증에 필요한 정보들을 추출하고, 이를 인증요구정보에 따라 활용하는 연구들이 주로 수행되었음. 본 연구과제와 동일하게 BIM에서 생성되는 정보를 설계단계, 시공단계, 유지관리단계까지 연계하여 활용하는 것을 목표로 다양한 정보연계 기술개발이 수행 중에 있으며, BIM에서 제공되는 기본 라이브러리 외에 인증을 위해 요구되는 정보 중 지원하지 않는 객체(예, 외피 등)에서의 정보추출 기술 역시 개발 중에 있음.
- **선행연구과제의 한계점** : 현재까지 수행된 유사연구과제들을 친환경인증제도 중 에너지효율성 평가를 연구범위로 수행된 연구가 대다수이며, 실내공기질과 관련된 인증제도를 지원하지 못한다는 한계점을 가짐. 또한, 녹색건축인증(G-SEED)지원을 위해 BIM기술이 활용된 연구들이 수행되었지만, 인증과정에서 생성된 BIM정보를 인증지원 외에 다른 목적으로 활용하지 못했다는 한계가 있음.
- **선행연구과제와의 차별성** : 본 연구는 실내공기질과 관련된 인증제도들을 대상으로 BIM에서 정보를 취득해 이를 유지관리단계에서의 실내공기질 예측까지 활용하는 것을 목적으로 수행되었음. 또한, BIM에서 추출되는 인증정보 외에 친환경 제품정보 자동수집 프로세스 등을 구축하여 친환경인증 취득 시 필요한 요구정보 수집을 자동화하고 이를 체계적으로 관리하는 것을 목표로 한다는 점에서 선행유사연구과제와 차별성이 있음.

표 4. BIM을 활용한 인증지원에 관한 대표적인 연구

부처명 (연구기간)	주관 연구기관	사업명	주요연구내용	차별성
한국산업기술평가관리원 (2014.06.01. ~ 2015.05.31.)	공주대학교 산학협력단	에너지절약 설계를 위한 BIM기반 실시간 형별성능 자동 산출 기술 개발	BIM기반으로 에너지효율 등급을 취득하기 위한 정보를 취득하고 인증에 필요한 정보DB를 연동해 인증을 지원하는 기술 개발을 목표로 연구를 수행하였음.	BIM정보를 기반으로 한 친환경인증평가 및 에너지성능평가를 대상으로 하는 반면, 실내공기질 관련 인증을 대상으로 인증단계 뿐 아니라 유지관리단계의 정보 활용을 연구범위로 설정.
한국연구재단 (2015.05.01 ~ 2018.04.30)	경희대학교 국제캠퍼스	BIM기반의 친환경건축물 품질통합평가 및 검증기술 개발	BIM기반의 친환경건축물 품질통합평가 및 검증을 위한 프로세스와 자동화 기술을 개발하고 이를 시범사례에 적용하는 것을 목표로 연구를 수행하였음.	BIM정보를 기반으로 한 친환경인증평가 및 에너지성능평가를 대상으로 하는 반면, 실내공기질 관련 인증을 대상으로 인증단계 뿐 아니라 유지관리단계의 정보 활용을 연구범위로 설정.
중소기업기술진흥원 (2015.06.01. ~ 2016.05.31.)	광운대학교 산학협력단	BIM기반 지능형 건축물에너지효율등급 인증지원 시스템 개발	BIM을 기반으로 건축물에너지효율등급 인증과정에 필요한 데이터의 추출 및 입력과정을 자동화하는 것을 목표로 연구를 수행하였음.	건축물에너지효율등급 평가를 위해 BIM에서 요구 정보를 추출해 인증 지원하는 것을 연구범위로 설정한 반면, 실내공기질 관련 인증을 대상으로 인증을 지원하고 이를 유지관리단계에서 활용하는 것을 연구범위로 설정.

부처명 (연구기간)	주관 연구기관	사업명	주요연구내용	차별성
한국연구재단 (2016.11.01 ~ 2019.10.31)	광운대학교 산학협력단	건축물 에너지성능평가를 위한 BIM기반 외피전개도 자동추출 기술	BIM을 활용해 에너지성 능평가에 필요한 외피형상 을 판단하고 추출하는 기 술을 개발하는 것을 목표 로 연구를 수행 중에 있 음.	에너지성능평가에 필요한 외피형상정보를 추출하는 기술개발을 목표로 연구 를 수행한 반면, 친환경 인증에 필요한 요구정보 를 추출하는 기술개발을 목표로 연구를 수행함.
한국연구재단 (2017.06.01 ~ 2020.05.31)	강원대학교 삼척캠퍼스	BIM-GIS연동 기반 녹색건축인증 공동주택 에너지 효율성 사후관리모델 개발	유지관리단계에서 활용 가능한 BIM-GIS 연동 기 반 에너지 효율성 사후관 리시스템 개발하는 것을 목표로 연구를 수행 중에 있음.	BIM정보를 가지고 있는 공동주택을 대상으로 BIM 정보와 GIS정보를 연동하 여 유지관리단계에서 사 용할 수 있는 에너지 효 율성사후관리 모델을 제 시한 반면, BIM정보를 활 용해 실내공기질 관련 인 증을 지원하고, 유지관리 단계에서의 오염물질량 예측모듈을 제시.

○ 선행 유사연구과제와의 차별화방안

- 본 연구과제는 기존에 수행된 선행 유사연구과제들과 (1) 정보활용범위 (2) 정보관리체계에 대하여 차별성이 있음. 이에 따라, 본 연구의 수행결과물을 통해 보다 효과적인 건물 전 과정에서 실내공기질 관련 정보활용이 개선될 수 있을 것으로 기대되며, 실내공기질 관련 인증수행에서도 정보연계의 부족으로 인해 발생하는 중복업무를 단축시켜 업무 프로세스의 개선이 가능할 것으로 예상됨.
- **정보활용범위에 따른 차별화 방안** : 본 연구는 설계단계, 시공단계에서 인증과정에서 획득한 BIM기반의 건물정보를 유지관리단계에서 실내공기질 예측을 위해 활용하는 것까지를 연구범위로 함. 이에 따라, 본 연구에서는 실내공기질 관련 친환경인증제도 프로세스 및 실내공기질 예측 프로세스를 분석하였으며, 건물 전 과정을 고려하여 다양한 세부기술모듈과 정보관리체계를 구축하였음.
- **정보관리체계에 따른 차별화 방안** : 본 연구는 BIM정보를 기반으로 실내공기질 관련 친환경인증제도 지원 및 유지관리단계에서의 실내공기질 정보 예측에 활용할 수 있는 정보관리체계 구축을 연구범위로 함. 이에 따라, 본 연구에서는 BIM기반의 정보생성 및 정보관리 모듈, 친환경제품정보 수집 자동화 프로세스 등을 개발하였으며, 녹색건축인증(G-SEED), 건강친화형 주택건설기준, 건설 자재정보관리 체계에 관한 선행연구, 실내공기질 예측 프로세스 등을 분석하여 실내공기질 관련 건설 전 과정 프로세스에서 활용할 수 있는 정보관리체계를 구축하였음.

나. 국내외 연구동향 분석

○ BIM기반 인증지원에 관한 국내외 기존문헌고찰

- **국내외 기존문헌 고찰 현황** : BIM정보를 활용해 친환경인증을 지원하는 다양한 국내외 연구들이 선행되었음. BIM정보를 기반으로 친환경인증을 수행할 경우, 사람이 수작업으로 인증요구정보를 산출함으로 인해 발생할 수 있는 휴먼에러(Human error)를 제거하고, 면적정보 등을 자동으로 산출해 발생하는 업무시간의 단축이 가능함. 또한, BIM의 형상, 공간, 속성정보를 활용하여 인증 업무절차의 개선과 평가 오류의 감소를 가져올 수 있음.
- 이에 따라, 실내공기질 인증평가 역시, BIM적용을 통해 설계변경으로 인한 실의 변경, 자재별 적용된 제품의 변경 등이 일어날 경우 필요한 정보를 산정하기 위해 동일한 작업을 지속적으로 반복해야 한다는 문제점과 사람이 개입하여 면적정보, 자재정보 등의 산정되기 때문에, 작업자의 숙련도에 따라 정확도와 신뢰도가 달라지며 오류가 발생할 수 있다는 문제점을 개선할 수 있을 것으로 기대됨.
- 국내에서 이루어진 BIM모델에서 추출된 IFC를 활용한 연구는 IFC파일에서 추출한 정보를 프로그램에 입력되어야 하는 정보로 활용하거나 기준여부 확인에 활용한 연구가 주를 이루고 있으며(김가람외 1인(2012), 김미경(2015), 이용주외 2인(2016), 홍심희외 1인(2017)), 국외에서 이루어진 BIM정보를 실내공기질 관련 제도에 활용한 연구는 사례검증을 통해 에너지성능평가나 에너지 인증제도에 활용한 연구가 주를 이루고 있음(Arno외 1인(2008), Salman외 3인(2010), Ibrahim외 1인(2013)).
- **기존연구의 한계점** : 기존 BIM정보를 활용한 연구들은 거의 동일한 프로세스로 연구가 진행되었음. 첫 번째 단계는 BIM정보를 활용하여 자동화할 대상의 요구정보를 정의하는 단계임. 이 단계에서는 정의된 요구정보는 기존 BIM툴을 활용하여 표현 가능한 정보와 표현이 되지 않는 정보로 분류함. 두 번째 단계는 분류된 요구정보 중 표현되지 않는 정보를 표현하기 위한 방법을 제시하는 단계임. 제시한 방법과 기존 BIM툴을 이용하여 원하는 정보를 추출함. 마지막 단계는 추출된 정보에 대한 사례 검증하는 단계임.
- 기존에 수행된 연구의 한계점을 각 단계별로 정리하였음. 먼저, 첫 번째 단계에서와 관련된 기존연구에서는 BIM에서 추출되는 정보외의 BIM에 표현되지 않은 정보수집 및 정보관리 방안에 관한 고려가 미흡하다는 한계점이 있음. BIM기반 친환경인증 지원 시스템의 정확도 및 신뢰도 향상을 위해 자재정보 자동관리 등과 관련된 연구들이 추가로 수행되어야 함. 다음으로, 두 번째 단계에서와 관련된 기존연구에서는 BIM에 표현된 기본 라이브러리 외에 인증을 위해 요구되는 형상정보를 BIM에 표현하여 이에 대한 정보를 추출하는 방법과 관련된 연구가 미흡하다는 한계점이 있음. 대표적으로 외피정보, 개구부 관련 복합객체 등이 있으며, 이와 관련해 다양한 연구과제들이 수행 중에 있지만, 동일하게 시스템의 정확도와 신뢰도를 향상하기 위해서 해당 단계와 관련된 연구가 추가적으로 수행되어야 함. 마지막으로, 세 번째 단계와 관련된 기존연구에서는 한정된 사례에 적용해 연구결과를 검증했다는 한계가 있으며, 보다 다양한 프로젝트에 개발 결과물을 적용해 검증을 수행되어야 함.

표 5. BIM기반 친환경인증 지원기술 국내외 연구동향 분석

연구제목	저자(년도)	내용	한계점
Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages	Arno외 1인 (2008)	BIM모델에서 추출한 정보를 에너지성능평가 프로그램에 적용하여 설계단계에서 에너지성능을 예측할 수 있는 프로토타입 소프트웨어를 제시함.	실무에 적용하기 위해서는 추가적인 개발이 필요하며, BIM에서 추출되는 정보 외에 에너지 성능 예측을 위해 필요한 정보관리가 미흡함.
Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis	Salman외 3인 (2010)	LEED 제도를 분석하여 BIM정보를 이용할 수 있는 항목들을 도출하였으며, 도출된 항목들에 BIM을 적용하여 인증과정을 간소화하는 과정을 사례검증을 통해 제시하였음.	친환경인증제도 중 일부 항목 혹은 일부 업무에 한정되어 개발되었기 때문에, 실무에 적용하기 위해서는 추가적인 개발이 필요함.
Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings	Ibrahim외 1인 (2013)	입주 이후단계에 에너지 관리를 위해 사용될 수 있는 BIM모델을 구축하였으며, 온톨로지 기술을 활용하여 에너지 사용정보 및 평가정보를 연계하는 프로세스를 제시함.	연구범위를 한정하여 연구를 수행하였기 때문에, 설계 및 시공 단계에서의 정보관리에 대한 고려가 부족함.
건물 에너지 부하량 산출을 위한 IFC파일의 형상정보 추출 방법	김가람외 1인 (2012)	에너지부하량 산정 프로그램에서 필요한 요구정보를 형상정보와 관련된 IFC파일을 통해 추출하는 방법을 제시함.	연구범위로 설정한 특정 에너지 분석엔진 외에 다른 엔진을 대상으로 검증이 필요하며, 형상정보 외에 자재 및 일반정보 입력의 자동화가 요구됨.
건축 설계 프로세스 BIM기반 친환경 건축 평가에 관한 연구	김미경 (2015)	공동주택 사례를 중심으로 친환경 설계 프로세스 지원을 위한 디자인 성능분석 시스템인 BIM기반 Green Building Template (GBT)를 제시하였음.	실제 인증제도 평가를 획득한 건물과의 비교를 통한 시스템 검증이 필요하며, 공동주택 외에 다른 용도의 건물에 대한 추가연구가 필요함.
국내 녹색건축인증제 (G-SEED)평가를 위한 BIM시스템 적용방안에 관한 연구	이용주 외 2인 (2016)	녹색건축인증 평가를 위한 BIM시스템 적용방안에 관한 연구를 진행하였음.	현재 인증 실정에는 적용하기 어려운 BIM 저작도구 Add-in 형태로 개발되었으며, BIM 정보와 연계가 어려운 건축 자재 데이터베이스에 대한 연구는 이루어지지 않았음.

2.2 국내외 기술특허 동향

○ 국내외 기술특허 동향

- 특허정보제공 사이트인 특허정보넷 키프리스(<http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp>)에서 2018년 7월을 기준으로 BIM, 실내공기질, 친환경인증, 실내공기질 예측 등의 키워드에 대한 유사특허 검색을 수행함. “BIM기반 친환경인증지원 기술”에 대한 국내외 기술특허와 “실내 공기질 예측기술”에 대한 국내외 기술특허에 대해 각각 동향조사를 수행하였음.



그림 5. 국내외 기술특허 동향 조사(키프리스, 2018년 07월기준)

가. BIM기반 친환경인증 지원기술 관련 국내외 기술특허 동향

○ BIM기반 친환경인증 지원기술 관련 특허기술 동향고찰 현황

- 국내외 특허기술 동향 고찰** : 국내 BIM기반 친환경인증 지원기술 관련 특허 사례는 ‘BIM기반 최종마감재 면적 산정방법에 대한 특허’ 1건, ‘BIM정보를 활용하여 복합객체의 구성정보를 추출하고 이를 인증에 활용한 특허’ 2건, ‘친환경인증에 BIM정보를 활용하는 프로세스에 관한 특허’ 1건, ‘일부정보를 웹에서 수집하여 친환경분석을 수행하는 기술에 관한 특허’ 1건으로 총 5건을 확인함. 또한, 국외 BIM기반 친환경인증 지원기술 관련 특허 사례는 ‘BIM정보를 환경관련 분석에 활용하는 특허’ 1건, ‘BIM정보를 활용해 법규검토를 수행하는 기술에 관한 특허’ 1건, ‘웹에서 제품성능 및 서비스에 관한 정보를 수집해 결과물을 도출하는 기술에 관한 특허’ 1건으로 총 3건을 확인함. 국내외 BIM기반 친환경 인증지원, 인증에 활용할 수 있는 정보생성 및 정보관리 관련 기술 특허 사례는 아래 표5와 같으며, 국외 BIM기반 친환경인증 지원 관련 기술은 수행프로세스 관점에서의 BIM기반 정보를 활용한 기술에 관한 특허가 주를 이루고 있음(표6).

- 국내외 기술특허와의 차별성** : 본 연구과제에서 개발하고자 하는 인증관련 BIM정보를 추출하고, 웹기반의 친환경제품정보 자동획득에 대한 유사기술이 없는 것으로 판단됨. 국내에서 수행된 관련 기술개발은 BIM정보 기반으로 기술을 구현한다는 점에서 유사성이 있지만, BIM정보 외에 필요한 정보를 자동 수집하는 기술특허는 현재 사례가 없음. 또한, 국외에서 수행된 관련 기술개발 중 웹상에서 제품성능 및 서비스에 대한 정보를 수집하고 이에 관한 결과물을 도출하는 기술에 관한 개발 사례는 존재하지만, BIM에서 추출된 정보와 맵핑해 인증에 활용한 기술개발은 아직 선행되지 않았음. 이에 따라, 본 연구에서의 기술특허는 웹상에서 주기적으로 친환경제품과 관련된 정보를 수집할 수 있는 자동화 프로세스 구축에 관한 것으로 기본 기술과 차별되므로 중복성 및 유사성이 없는 것으로 판단됨.

표 6. BIM기반 친환경인증 지원기술 국내 기술특허 동향조사

기술특허명	출원일자	등록일자	발명자	유사점	차별성
BIM기반의 건축물 유형별 면적 산출방법	2015.01.14	2015.10.01	유정호, 김가람	IFC 정보를 활용하여 건축 물의 정확한 기준면적을 자동으로 산출할 수 있는 방법을 사용한다는 점에서 유사점이 있음.	건축물 유형별로 면적을 산정하는 것 외에, 외부로 부터 인증에 요구되는 제 품정보를 취득하고, 이에 대한 정보를 실내공기질 인증, 예측 등에 활용한다 는 점에서 차이가 있음.
건축물 평가를 위한 BIM 라이브러리 구축 시스템	2013.01.18	2014.12.08	이병호, 신성우, 태성호, 홍성욱	BIM모델에 포함된 각 상세 부위에서 산출된 정보를 친환경관련 인증에 활용하 는 점에서 유사점이 있음.	BIM모델에서 산출된 상세 정보를 활용해 탄소배출량 을 산정하고 이를 환경성 능평가에 활용하는 반면, BIM에서 추출된 정보와 외 부에서 수집된 정보를 활 용해 친환경인증에 활용하 는 점에서 차이가 있음.
건축물 전과정 평가를 위한 BIM기반 모델링 구축 시스템	2015.05.08	-	태성호, 김태형, 이성우, 노승준	BIM모델에 친환경관련 인 증에 활용할 정보를 생성 한다는 점과 조달청 분류 체계를 표준으로 사용한다 는 점에서 유사점이 있음.	환경성능평가에 이용하기 위해 맵핑한 정보를 다시 패밀리로 설정해 정보를 활용하는 반면, 수집된 정 보를 별도의 DB로 저장해 활용한다는 점에서 차이 가 있음.
건축물 평가를 위한 BIM기반 인증평가 시스템 및 방법	2014.04.30	-	전한종, 신성우, 태성호, 김미경, 배지혜	친환경인증을 수행하기 위 해 BIM에서 정보를 추출하 고 이를 활용한다는 점에 서 유사점이 있음.	녹색건축인증(G-SEED)와 관련해 정보를 산정하고 이를 활용하는 반면, 실내 공기질 관련 인증제도에 정보를 활용한다는 점에 서 차이가 있음.
웹을 활용한 에너지 성능 분석 시스템 및 방법	2012.05.51	-	김민성, 임득환	BIM모델에서 추출된 정보 와 시스템에 필요한 일부 정보(표준기상데이터)를 웹기반으로 활용한다는 점 에서 유사점이 있음.	동적에너지성능분석을 목 적으로 정보를 활용하는 반면, 실내공기질과 관련 된 정보를 수집하고 활용 한다는 점에서 차이가 있 음.

표 7. BIM기반 친환경인증 지원기술 국내 기술특허 동향조사

기술특허명	출원일자	등록일자	발명자	유사점	차별성
System for selecting environmentally-sustainable building products	2015.12.18	-	Sphere E, Inc.	BIM에서 산출된 물량정보를 활용하여 제품의 친환경적인 영향정도에 관한 정보를 산출한다는 점에서 유사점이 있음.	ISO 제품 표준정보(ISO Product Standard, data) 요구사항에 따라 수집된 제품정보가 DB로 제공되는 반면, 웹상에서 주기적으로 제품정보를 수집한다는 점에서 차이가 있음.
Method and apparatus for automatically determining compliance with building regulations	2008.09.25	-	Conover David	BIM에서 생성되는 정보를 건물과 관련된 법령기준평가에 활용한다는 점에서 유사점이 있음.	건축물 건설규범에 대한 적합여부를 평가하기 위해 BIM정보를 활용하는 반면, 친환경인증평가를 위해 BIM정보를 활용한다는 점에서 차이가 있음.
Performance reporting for products and services using web-based portals	2011.11.14	2012.09.25	Dunning Deborah	제품 및 서비스 성능에 대한 정보를 웹기반의 포털에서 수집하여 이를 활용할 수 있도록 결과물을 도출한다는 점에서 유사점이 있음.	웹에서 수집된 성능에 대한 정보를 하나의 결과물로 도출하는 것이 목적인 반면, 친환경인증에 수집된 정보를 활용한다는 점에서 차이가 있음.

나. 실내공기질 예측기술 관련 국내외 기술특허 동향

○ 실내공기질 예측기술 관련 특허기술 동향고찰 현황

- 국내외 특허기술 동향 고찰** : 국내 실내공기질 예측기술 관련 특허 사례는 ‘실내공기질 센싱을 통한 실내공기질 예측 기술 특허’ 2건, ‘실내공기질 예측을 통해 환기량을 제어하는 기술 특허’ 1건, ‘실내에 적용된 건축 자재의 분석을 통해 실내 오염도를 예측하는 기술 특허’ 1건으로 총 4건을 확인함. 또한, 국외 실내공기질 예측 기술 관련 특허 사례는 ‘실내공기질 센싱을 통한 실내공기질 예측 기술 특허’ 2건, ‘실내에 적용된 건축 자재의 분석을 통해 실내 오염도를 예측하는 기술 특허’ 1건으로 총 3건을 확인함. 국내의 센싱, 시뮬레이션, 실내 오염도 분석을 통한 실내공기질 예측 관련 기술 특허 사례는 표7과 같으며, 국외 실내공기질 예측 관련 기술은 실내공기질 센싱을 이용하거나 실내공기 오염도를 평가하여 환기시스템 제어를 하는 기술에 대한 특허가 주를 이루고 있음(표8).
- 국내외 기술특허와의 차별성** : 본 연구과제에서 개발하고자 하는 실내공기질 측정 과정 없이 건물 형상 및 실내 오염농도에 따른 유효 환기량 예측에 대한 유사기술이 없는 것으로 판단됨. 국내에서 수행된 관련 기술개발은 센싱, 시뮬레이션, 실내 오염도 분석을 통한 실내공기질 예측 관련 기술로, BIM 기반 실내공기질 예측에 대한 기술 특허는 현재 사례가 없음. 기존 특허들의 실내공기질 예측 기술은 본 연구에서 제시한 건물 형상 및 자재 오염 농도 분석을 분석하여 실내 유효 자연 환기량을 예측하는 기술과 입력 정보의 데이터 체계가 상이하고, 자연 환기량 예측에 대한 분석 방법론이 차별되므로 중복성 및 유사성이 없는 것으로 판단됨.

표 8. 실내공기질 예측기술 관련 국내 기술특허 동향조사

기술특허명	출원일자	등록일자	발명자	유사점	차별성
대형건물 실내공기질 예측 서비스 제공 시스템	2014.03.26	2016.06.07	주식회사 나인에코	실내 공기 상태에 대한 모델링과 시뮬레이션을 통해 내부의 유동을 해석하고 이를 활용하여 실내 공기질을 예측한다는 점에 유사성이 있음	센서 측정 결과를 필요로 하기 때문에 센서 설치가 필수적이지만 본 연구의 경우 센서의 설치가 필요없는 차별성이 있으며, 실내 형상에 대한 효과를 고려하지 않고 센서 측정이라는 점 측정에 의존하기 때문에 측정 위치에 예측 결과의 정확성이 영향을 받는다는 차이가 있음
실내공기질의 예측을 통한 오염 정보 제공 방법	2015.05.29	2016.01.29	주식회사 나인에코	실내 오염물질 방출원들의 효과를 고려하여 내부에 센서를 설치하고, 측정된 데이터들의 시간 경과에 따른 상관관계를 통하여 실내 공기질을 예측한다는 점에 유사성이 있음	센서 측정 결과를 필요로 하기 때문에 센서 설치가 필수적이지만 본 연구의 경우 센서의 설치가 필요없다는 차별성이 있으며, 점 측정 결과를 바탕으로 전체 시설의 공기질 상태를 예측하나 본 연구는 지역적인 환기량 차이를 고려한 공기질 평가를 수행하는 차별성이 있음
실내공기질 예측 제어 기능을 가지는 환기량 제어 시스템	2013.03.20	2013.06.18	(주)삼원씨앤지	실내의 오염물질 농도 및 실외 오염물질 농도를 고려하여 쾌적한 환경을 유지하기 위한 필요 공기 유입량을 산정한다는 점에 유사성이 있음	실내 오염물질 측정 농도에만 기반하여 환기량을 예측하기 때문에 실내 형상 및 환기 조건의 영향성을 고려하지 못하나, 본 연구의 경우 실내 공기량을 분석하여 환기 조건의 영향성을 고려한 실제 필요 환기량을 예측한다는 차별성이 있음
실내공기질 진단용 프로그램이 기록된 기록매체 및 실내공기질 진단 시스템	2009.06.04	-	(주)포스코건설	대상 시설의 실내 형상에 대한 정보와 자재 방출 오염물질에 대한 정보를 활용하여 실내 공기질을 예측한다는 점에 유사성이 있음	실내 형상 및 조건에 대한 정확한 유동 해석 결과를 바탕으로 오염 물질을 예측하지 않으나, 본 연구의 경우 CFD 시뮬레이션 해석 결과 기반인 차별점이 있으며, 사용자가 모든 형상 정보를 직접 입력해야 한다는 점에 차이가 있음

표 9. 실내공기질 예측기술 관련 국외 기술특허 동향조사

기술특허명	출원일자	등록일자	발명자	유사점	차별성
Fresh air purifying control system based on air quality forecasting	2014.03.26	2017.01.11	CHINA RAILWAY CONSTRUCTION GROUP CO., LTD.	공기질을 예측하여 내부의 환기량을 조절하는 점에서 본 연구와 유사성이 일부 있음	실내에 대한 공기질을 정확하게 예측하는 것이 아니라 실외의 공기질을 예측하여 실내의 환기량을 조절하나, 본 연구는 실내의 오염물질 방출량을 고려하는 차별성이 있음
Apparatus and method for determining the indoor air quality within an enclosed space	2002.12.04	2010.10.27	Johnson Service Company	사용자의 입력데이터(기상 데이터, 풍속, 외부 기온 등)를 활용하여 환기량을 예측함과 동시에 실내 공기질 평가 지표 중 하나인 열적 특성을 예측한다는 점에서 유사성이 있음	실의 형상 및 환기구의 위치에 대한 고려 없이 압력 차이에 의해 계산되는 환기량을 예측값으로 제시하고 오염물질에 대한 예측값이 아닌 온도에 대한 예측을 하나, 본 연구에서는 실의 형상 환기 조건 등에 대한 고려와 동시에 실내 오염 물질에 대한 지역적 분석이 가능한 차별성이 있음
INFORMATION TECHNOLOGY ARRANGEMENT BASED ON EMBEDDED TECHNOLOGY FOR MEASURING, ANALYZING AND FORESEEING THE CLEANNES OF SURFACE MATERIALS AND INDOOR AIR	1994.06.28	-	SUONTAMO, Tuula PILLAI, Balan	인공 신경망 기반의 학습 모델을 이용하여 예측 알고리즘을 구축하고 이를 이용하여 실내공기질을 예측한 점이 유사함	실의 형상이나 환기 특성에 대한 고려 없이 실내 공기질의 측정 결과와 재실자의 행동 패턴 분석을 통하여 공기질을 예측하였으나, 본 연구는 형상, 환기 특성을 모두 고려하고 기계학습을 통해 신뢰성 높은 공기질 예측 결과를 도출하는 점에 차별성이 있음

2.3 국내외 정책동향

○ 국내 실내공기질 관련 정책동향

- 정부는 2015년부터 2019년까지 쾌적한 실내공기질에 대한 국민요구 증대와 국민의 안전한 실내환경조성을 위해 실내공기 오염도 10%이상 저감을 목표로 ‘실내공기질관리 기본계획(5년)’을 수립하여 추진 중에 있음. ‘실내공기질 관리기반 선진화’를 위해 ‘신규 오염물질 관리체계 마련’, ‘실내오염원 사전 예방적 관리’, ‘관리체계 합리적 개편’, ‘건강영향 사전 관리’, 총 4대 분야를 중점으로 선정하였음. 이에 따라, 측정기술 및 데이터관리 선진화를 기반으로 다양한 중점과제 추진전략이 실행 중에 있으며, 본 연구과제 역시 통합정보관리 체계 구축 및 선진화된 실내공기질 예측기술을 제시한다면 면에서 정책과 부합함.
- 또한, 현재, 실내공기질의 지속적 관리를 위해 건물 설계부터 유지관리단계별 다양한 건물인증을 시행 중에 있음. 먼저, 2013년 5월부터는 500세대 이상 공동주택(신축/리모델링)에 대해서는 허가 및 사업승인 단계에서 ‘건강친화형 주택 건설기준’의 자체평가서 제출을 의무화하고 있음. 건강친화형 주택건설기준은 권장기준 포함해 총 19개의 항목으로 구성되어 있으며, 이중 의무기준 7개, 권장기준 4개가 60%에 해당하는 11개의 항목이 실내공기질과 직접적으로 연관됨. 다음으로, 2014년부터 연면적 3000㎡이상 공공시설은(‘14년 개정) 설계와 시공 단계에서 녹색건축 예비인증과 본인증을 의무적으로 취득해야 하도록 기준이 개정되었음. 7. 실내환경에서 실내공기질과 관련된 항목을 다루고 있음.

○ 국외 실내공기질 관련 정책동향

- 미국은 EPA를 중심으로 실내공기질에 대한 정책, 기준, 프로그램 및 가이드를 개발하여 배포하고 있으며, CIAQ(Committee for Indoor Air Quality)를 운영하여 관련 부처 간 실내공기질 정책을 통합관리하고 있음. 일본은 건설성, 후생성, 통산성, 임야성을 중심으로 ‘건강주택연구회’가 조직되어 ‘주택의 화학물질 오염에 대한 지침’을 기반으로 실내공기질 정책을 수행중에 있으며, 각 기관별로 독립적인 업무를 추진하고 있으나 기관간 비공식적 유대관계가 형성되어 있음. 또한, 캐나다, 유럽 등에서도 실내공기질 관련 정책을 효과적으로 통합관리하기 위한 다양한 노력들이 수행 중에 있음.
 - 또한, 국외의 친환경건축물인증제도에서도 실내공기질과 관련된 평가항목이 포함되어 있음. 미국 LEED(Leadership in Energy and environmental Design, 이하LEED)의 경우 각 부위별 오염물질 저배출 자재 사용, 시공단계 및 입주단계에서의 IAQ(Indoor Air Quality)관리 계획을 평가항목으로 반영하고 있으며, 일본 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, 이하 CASBEE)는 실내오염 발생원 대책으로 화학오염물질 및 석면대책과 함께 환기량, 자연환기 성능, 외기에 대한 배려 부문의 실내공기질을 평가하고 있음.
- 지속가능한 건축에 대한 이슈가 꾸준히 증가되면서, 친환경인증제도 취득에 대한 필요성은 앞으로 더욱 강화될 전망이다. 이에 따라, 건강친화형주택건설기준, 녹색건축인증 등의 친환경제도에서의 요구정보를 보다 유기적이고 효과적으로 관리할 수 있는 기술의 수요 역시 증가될 전망이다.

2.4 소결

○ 국내외 정책 및 산업동향 분석결과

- 관련된 분석에 따르면, 지속가능한 건축에 대한 이슈가 꾸준히 증가됨에 따라 친환경인증제도 취득에 대한 필요성과 친환경제도에서의 요구정보를 보다 유기적이고 효과적으로 관리할 수 있는 기술의 수요는 앞으로 더욱 증가될 전망이다. 이에 따라, 본 연구는 실내공기질 관련 인증 정보를 건설 전 과정을 범위로 통합관리하고 활용할 수 있는 시스템을 개발한다는 측면에서 가치 있는 연구임.

○ 국내외 연구와의 차별화 방안

- 국내외 연구동향을 분석해 도출된 차별화 방안은 4가지임.
 - (1) 본 연구에서는 BIM기반의 정보활용범위를 특정단계만으로 한정하는 것이 아니라, 설계단계, 시공단계에서 인증과정에서 획득한 BIM기반의 건물정보를 유지관리단계에서 실내공기질 예측을 위해 활용하는 것까지를 연구범위로 설정하여 기존 연구들과 차별을 두었음.
 - (2) 본 연구에서는 BIM기반의 정보관리체계를 구축함에 있어서, 실내공기질 관련 친환경인증제도 지원 및 유지관리단계에서의 실내공기질 정보 예측에 활용할 수 있는 정보관리체계 구축을 연구범위로 설정하여 기존 연구들과 차별을 두었음.
 - (3) 본 연구에서는 BIM에 표현되지 않은 정보수집 및 정보관리 방안에 관한 고려가 미흡하다는 한계를 개선하기 위해 친환경제품정보 자동화 프로세스를 구축해 기존 연구들과 차별을 두었음.
 - (4) 본 연구에서는 기존의 실내공기질 및 환기량 예측 연구에서 실의 형상이나 환기 조건 등으로 인해 발생하는 지역적인 환기 특성의 차이를 고려가 부족한 점을 개선하기 위해 전산유체역학을 이용하여 실의 특성 및 환기 조건에 따른 공기류를 산정하였으며, 이를 기계학습 모델에 적용하여 오염 물질 제거에 필요한 유효 필요 환기량 예측 및 실내공기질 평가 모듈 개발을 연구범위로 설정하여 기존 연구들과 차별을 두었음.

○ 국내외 기술특허와의 차별화 방안

- 국내외 기술특허동향을 분석해 도출된 차별화 방안은 2가지이며, 관련 개발기술은 아직 개발이 선행되지 않은 기술들로 기초원천기술로의 의미가 있음
 - (1) 본 연구에서는 인증관련 BIM정보를 추출하고, 웹기반의 친환경제품정보 자동획득에 대한 유사기술이 없는 것에 기인하여, 웹상에서 주기적으로 친환경제품과 관련된 정보를 수집할 수 있는 자동화 프로세스를 구축하여 기존 특허기술과의 차별을 두었음(핵심성과2). 또한, 본 연구에서 개발한 자재별 제품관련 정보를 자동으로 수집하고 분류하는 기술은 친환경분야 외에 해외건설 등 다른 분야에 확대 적용이 가능한 원천기술임.
 - (2) 본 연구에서는 실내공기질 예측에 있어서 공기유동에 대한 정확한 분석과 함께 실의 형상과 환기 특성에 대한 고려가 이루어진 지역적인 평가를 하는 기술이 없는 것에 기인하여, 전산유체역학 해석 데이터를 기반으로 하는 인공지능망 기계학습모델을 구축하여 오염 물질 제거에 필요한 실내 유효 필요 환기량을 예측하고 실내공기질을 평가하는 기술을 기존 관련 특허기술과의 차별을 두었음(핵심성과 6).

제3장. 연구수행 내용 및 성과

3.1 연구수행 내용 요약

○ 핵심성과별 세부내용 : 본 연구의 핵심성과별 연구내용은 다음과 같음.

- **핵심성과1 BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술** : 핵심성과 1은 실내공기질 관련 요구정보 중에서 BIM에서 생성할 수 있는 정보를 자동으로 생성하고, 이에 대한 정보의 정확성을 확인하는 기능을 수행함. 또한, 추출된 정보 중 이름에 대한 정보를 다른 세부 모듈과 연계하여 인증에 활용할 수 있는 추가적인 정보를 생성함.
- **핵심성과2 실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술** : 핵심성과 2는 인증에서 요구되는 자재정보와 법규정보를 생성하고 관리함. 개발을 수행하는 과정에서 추가된 ‘친환경제품 DB’가 이에 해당하며, 자재에 적용된 제품 기본정보와 인증서에 대한 정보를 생성하고, 인증기준에 적합여부를 판단하는 법규판단 알고리즘을 포함함.
- **핵심성과 3 전과정 실내공기질 정보 통합관리 시스템 개발** : 핵심성과 3은 세부기술들을 통합하여 사용할 수 있는 사용환경을 제공함. “BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술”에서 생성된 면적정보와 “실내공기질 자재 및 법규정보 관리기술”에서 생성된 제품정보를 자동으로 입력하고, 추가정보를 수작업으로 입력할 수 있는 인터페이스를 제공함. 정보입력이 완료되면 “건물인증 실내공기질 평가기술(예비인증)”과 “실내공기질 성능 관리기술(본인증)”의 결과물로 개발된 템플릿을 이용해 인증에 필요한 서류를 자동으로 생성함. 또한, 예측기술과 연동하여 시간경과에 따른 오염물질 방출량 예측이 가능함.
- **핵심성과 4 설계단계 실내공기질 평가기술 개발** : 핵심성과 4는 설계단계에서의 건물 인증(녹색건축 예비인증 및 건강친화형 주택건설기준 자체평가) 실내공기질 평가 시 요구되는 자체평가서 및 제출용 첨부서류를 자동으로 생성하고 출력함. 실내공기질 평가 결과 데이터의 정확성 확보 및 관련 정보의 효율적 관리를 위한 BIM 정보기반의 건물인증 실내공기질 평가 및 관리기술을 포함함.
- **핵심성과 5 시공단계 실내공기질 성능관리 기술 개발** : 핵심성과 5는 사용승인단계 건물 인증(녹색건축 본인증 및 건강친화형 주택건설기준 이행확인) 실내공기질 평가 시 요구되는 자체평가서 및 제출용 첨부서류를 자동으로 생성하고 출력함. 건물인증 실내공기질 성능 관리 기술은 예비인증 템플릿과 연계되어 요구정보를 공유함.
- **핵심성과 6 운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발** : 핵심성과 6은 “BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술”에서 생성된 면적정보와 시험성적서 혹은 자재별 관리기준에 명시되어 있는 VOCs, HCHO의 오염물질 방출량 정보를 활용하여, 시간경과에 따른 오염물질 방출량을 예측하여 이에 따른 예측값을 제공함.

○ 핵심성과별 세부연구 결과물

- 본 연구의 핵심성과별 연구개발 결과는 다음과 같으며, 연구수행 결과물은 1)실내공기질 인증 정보 생성 및 관리 기능모듈 개발(핵심성과1,2) 2)실내공기질 정보관리 통합모듈 개발(핵심성과3) 3)실내공기질 인증지원모듈 개발(핵심성과 4,5) 4)실내공기질 오염물질 정보예측모듈 개발(핵심성과6)로 구분됨.

표 10. 핵심성과에 따른 연구목표 및 내용

(다음장 계속)

핵심성과			연구목표	연구내용	해당 연차
실내공기질인증정보	1	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리 기술	설계~유지관리 단계별 실내공기질 요구정보 정의	(1) 실내공기질 관련 국내 친환경인증제도 요구정보 정의 (2) 요구정보 생성을 위한 IFC 추출 구조도 정의 (3) 좌표정보를 활용한 최종마감재 면적산정 알고리즘	1
			BIM정보 및 실내공기질 정보 관리 체계구축	(1) 정보 생성 및 관리를 위한 통합관리시스템 프로세스 제시 (2) 각 모듈에 따른 세부수행 기능 및 성능정의	1
			BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리 기술	(1) 요구정보 추출을 위한 속성정보 규칙정의 (2) 통합관리 프로그램에 반영된 기능정의	2
	2	실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술	실내공기질 관련 자재 DB 구축	(1) 통합관리 시스템 데이터베이스 개요도 구성 (2) EFD정의 및 데이터베이스 세부 엔티티에 따른 데이터테이블 구성 (3) 친환경 제품정보 자동수집방법 제시	1
			실내공기질 관련 법규 DB 구축	(1) 국내 건물인증 실내공기질 평가기준 및 관련 법규 분석 (2) 실내공기질 최소기준 정의를 통한 법규 데이터테이블 정의 (3) 실내공기질 관련 인증항목에 따른 최소기준 판단 알고리즘 개발	1
			실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술	(1) 자동 제품정보 수집기술 구현을 위한 정보수집 항목 정의 (2) 표준분류체계에 따른 자재별 속성 및 온톨로지 Class정의 (3) 제조회사 홈페이지에 대한 친환경 제품정보 수집 프로세스 구현	2
정보관리통합모듈	3	전과정 실내공기질 정보 통합 관리 관리 시스템개발	실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발	(1) 실내공기질 통합시스템 파일럿 프로젝트 선정 (2) 실무자 파일럿 프로젝트 수행을 통한 성능 검증 (3) 프로그램 활용 매뉴얼 개발	2
실내공기질 인증지원모듈	4	설계단계 실내공기질 평가 기술 개발	녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가점수 산출 알고리즘 개발 (5) 자체평가 템플릿 개발	1
			BIM기반 녹색건축 예비인증 자체평가 프로그램	(1) 녹색건축 예비인증 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발 (2) 녹색건축 예비인증 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2
			건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 실내공기질 관련 항목 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가점수 산출 알고리즘 개발 (5) 자체평가 템플릿 개발	1
			BIM기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램	(1) 건강친화형 주택건설기준의 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발 (2) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2
	5	시공단계 실내공기질 성능 관리 기술 개발	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가모듈과 템플릿과의 연계성 검토 (5) 자체평가 템플릿 개발	1
			녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램	(1) 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 및 정보관리 프로그램 입·출력 모듈 개발 (2) 녹색건축 본인증 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2
			건강친화형주택건설기 준 이행확인 템플릿	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 이행확인 항목 분석 (3) 평가모듈의 건강친화형 주택건설기준과의 연계성 검토 (4) 이행확인 템플릿 개발	1
			건강친화형주택건설기 준 성능관리 프로그램	(1) 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 입·출력 모듈 개발 (2) 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2

핵심성과			연구목표	연구내용	해당 연차
실내공기질 예측모델 개발	6	운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계	(1) 오염물질별(유지/권고) 허용 기준 조사 및 분석 (2) 운영단계 실내공기질 측정 및 관리기준 수립 (3) 오염물질 분류 체계 구축 (4) 주요 실내오염물질 대상 선정 및 농도허용기준 설정 (5) 실내공기질 인증 대상 측정 정보 관리체계 구축	1
			실내공기질 측정 정보 관리 템플릿	(1) 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발 (2) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발 (3) 실내오염물질 판정결과(유지/권고/허용기준) 비교 모듈 개발 (4) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2
			실내오염물질 방출 및 제거 예측식	(1) 주요 실내오염물질 방출 특성 분석 (2) 건물 용도별 사용특성 조사 및 재실특성(재실자, 사용시간 등) DB 구축 (3) 오염물질 방출 및 제거 예측식 조사 (4) 프로그램 적용을 위한 방출 및 제거 예측식 개발 (5) BIM 추출정보 활용 실내공기질 방출 및 농도 예측 알고리즘 개발	1
			실내공기질 예측 프로그램	(1) 실내공기질 예측 프로그램의 BIM 프로그램과의 직·간접 연계성 검토 (2) BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 프로그램 개발 (3) BIM 프로그램(직/간접)에서 실내공기질 예측 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발 (4) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완	2

3.2 BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술(핵심성과 1)

단위성과	<1-1>	설계~유지관리 단계별 실내공기질 요구정보 정의
	<1-2>	BIM정보 및 실내공기질 정보 관리 체계구축
	<1-3>	BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리 기술

연차	단위성과별 주요 연구내용
1차년도	<1-1> 설계~유지관리 단계별 실내공기질 요구정보 정의 (1) 실내공기질 관련 국내 친환경인증제도 요구정보 정의 건강친화형주택건설기준과 녹색건축인증(G-SEED) 중 실내공기질 관련 항목을 분석. 도출된 요구정보는 면적, 자재, 시험성적서, 설치계획, 관리계획 등임. (2) 요구정보 생성을 위한 IFC 추출 구조도 정의 모델에 포함되어 있는 정보와 모델링 시 추가해야 하는 정보를 구분하여 구조도를 정의. BIM모델에 포함되어 바로 추출이 가능한 IFC정보는 이름(Name), 면적(Area), 너비(Width), 그리고 높이(Height)이며, BIM모델링 시 추가해야하는 정보는 건물 및 세대 구분과 관련된 정보, 환기량 산정과 관련된 정보 등임. (3) 좌표정보를 활용한 최종마감재 면적산정 알고리즘 안목치수 기준으로 면적, 너비, 높이 정보가 추출됨을 파악하기 위해 좌표정보 및 형상정보를 활용하여 최종마감재 면적산정 알고리즘을 정의하였음. <1-2> BIM정보 및 실내공기질 정보 관리 체계구축 (4) 정보생성 및 관리를 위한 통합관리시스템 프로세스 제시 통합관리시스템은 입력모듈과 출력모듈로 구분되며, 입력모듈(핵심성과 1,2)은 정보를 자동으로 생성하고 정보를 추가로 입력하는 기능을 수행하며, 출력모듈(핵심성과 4,5)은 생성된 정보로 자체평가서 혹은 제출서류를 구성하는 모듈임. 또한, 이외에 BIM에서 추출된 정보와 자재별 오염물질량 정보로 실별 오염물질 방출량을 예측모듈(핵심성과 6)이 있음. (5) 각 모듈에 따른 세부수행 기능 및 성능정의 통합프로그램 구성을 위해 BIM정보를 활용한 입력부 세부모듈과 워크롤링 기술 및 자재명 변환 Thesaurus 기술을 활용한 입력부 세부모듈을 정의하였음.
2차년도	<1-3> BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리기술 (6) BIM기반 실내공기질 관련 raw data 추출 모듈 개발 벽, 바닥, 천장은 단일재료로 구성된 것이 아닌 다양한 재료가 중첩된 복합구조이므로, 최종마감재, 접착제, 기타 내장재가 위치하는 Layer에 대해 정의. (7) 단계별 실내공기질 예측, 관리, 평가 정보생성 및 관리모듈 개발 설계단계, 시공단계, 유지관리단계에서 활용되는 정보생성 및 관리모듈을, 프로그램 메인화면, 인증정보 생성 및 관리모듈, 인증템플릿(출력모듈)로 구분해 개념도 제시. (8) 전과정 실내공기질 정보관리 프로세스 정립 부위별 면적산정, 최종마감재 면적산정, 천장고 길이산정, 자재명산정 등을 수행하며, 세대유형별로 BIM모델을 구분해 업로드하여 정보생성을 수행함.

구분	관련 성과물
1차년도	▪ 보고서 2건 - BIM기반 실내공기질 요구정보 정의서 [증빙 1] - 정보관리 프로세스 정의서 [증빙 2] ▪ 국내 논문 1건 - IFC-BIM을 활용한 실내공기질 인증 요구정보 생성 자동화, 2017.05., 한국건설관리학회논문집, 제18권 제3호, pp63~73 [증빙 25]
2차년도	▪ 보고서 1건 - 실내공기질 요구정보 생성 및 관리 기능개발 보고서 [증빙 3]

(1) 실내공기질 관련 국내 친환경인증제도 요구정보 정의

(가) 국내 실내공기질 관련 인증제도별 요구정보

① 건강친화형 주택건설기준

- 건강친화형 주택건설기준은 재실자에게 쾌적한 실내환경을 제공하기 위한 목적으로 제정(법제처, 2016)되었으며, 모든 항목이 실내환경과 관련된 내용으로 구성되어있음.
- 항목은 크게 의무기준과 권장기준으로 구분되며, 일정수준 이상의 실내공기질 유지를 위해서는 모든 의무기준과 최소 2개 이상의 권장기준을 만족시켜야함. 권장기준을 포함하여 총 19개의 항목으로 구성됨.
- 이중 설치계획, 관리대책 등과 관련된 항목을 제외한 의무기준 7개, 권장기준 4개의 항목이 실내공기질 평가와 직접적으로 연관됨. 건강친화형 주택건설기준(2015.12.30. 시행) 중 관련된 항목은 의무기준 1.1, 1.2, 4.1, 5.1, 5.2, 6.2, 6.3과 권장기준 1.1, 1.2, 1.3, 1.4가 이에 해당함.
- 건강친화형 주택건설기준의 요구정보는 면적, 자재, 시험성적서, 설치계획, 관리계획 등에 대한 내용임. 이중, 입력모듈인 'BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈' 과 '실내공기질 자재 및 법규정보 관리 모듈' 로 생성할 수 있는 정보는 면적과 자재에 관련된 정보임. 이에 따라, 요구정보의 생성방법을 기존방식(As-Is)과 변경방식(To-Be)으로 구분하여 비교하였으며, 항목별 정보생성 및 관리모듈을 정의하였음.

표 11. 건강친화형 주택건설기준

(다음 장 계속)

구분	항목		요구정보	As-Is	To-Be	비고
의무 기준	1.친환경건축자재 의적용	1.1 실내공기 오염물질 저방출 건축 자재의 적용	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이스 에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈
		1.2실내마감용으로 사용되는도료의납 (Pb)등유해원소함 유량	유해원소가 포함된 자재(페인트)의 환경표지 인증서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이스 에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈
	2. 플러쉬아웃(Flush-out)의 시행	2.1시행시기의준수	플러쉬아웃 시행시기에 대한 구체적인 계획	엔지니어가 입력	좌동	
		2.2 외기유입량	적정수준의 외기유입을 위한 유입계획	엔지니어가 입력	좌동	
	3. 효율적인 환기성능	3.1 효율적인 환기성능	환기설비에 대한 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	좌동 (설비는 자재에 포함되지 않음)	
	4. 환기설비의 성능검증	4.1 적정 환기 효율	각 실의 체적	도면을 이용하여 수작업으로 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질

구분	항		As-Is	To-Be			
5. 친환경 생활제품의 적용					정보생성 및 관리모듈		
			체적에 따른 환기횟수 계산서	수작업으로 계산	인증템플릿에서 자동으로 계산		
		4.2 TAB의 시행	‘공동주택 환기 설비 TAB 기술기준 “에 적합한 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	좌동 (설비는 자재에 포함되지 않음)		
	5.1 빌트인 (built-in) 가전제품의 성능평가		빌트인 가전제품의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈	
			가전제품 설치 위치를 표현한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈	
		5.2 불박이 가구의 성능평가	빌트인 가구의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈	
			가구 설치 위치를 표현한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈	
		6. 시공관리기준의 적용	6.1 일반 시공 관리기준	실내공기오염물질 배출 작업시 환기방법에 대한 계획	엔지니어가 입력	좌동	
				자재 보관장소 및 방법이 명시된 자재관리계획	엔지니어가 입력	좌동	
	건설폐기물의 적치, 반출계획 및 오염방지를 위한 유지관리계획			엔지니어가 입력	좌동		
	6.2 접착제시공 관리기준		사용된 접착제의 종류	접착제에 대한 정보를 사람이 수작업으로 검색	웹기반 외부 제품데이터베이스에서 자동으로 입력	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈	
			방출오염물질에 대한 관리대책	엔지니어가 입력	좌동		
	6.3 유해화학물질 확산방지를 위한 도장공사 시공관리기준		사용된 접착제의 종류	페인트에 대한 정보를 사람이 수작업으로 검색	웹기반 외부 제품데이터베이스에서 자동으로 입력	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈	
			방출오염물질에 대한 관리대책	엔지니어가 입력	좌동		
7. 관리자 및 입주자 사용설명서 제공	7.1 플러쉬아웃방법	실내온도 및 습도 조건의 유지 및 시행방법에 대한 설명서	엔지니어가 입력	좌동			
	7.2 환기설비 필터교환 시기 및 방법	환기설비의 필터 교환시기 및 방법에 대한 설명서	엔지니어가 입력	좌동			
	7.3 결로방지를	주기적 환기,	엔지니어가 입력	좌동			

구분	항목		요구정보	As-Is	To-Be	비고
		위한 입주자 생활 행위	실내수분발생 억제방법 등에 대한 설명서			
권장 기준	1. 오염물질 억제 또는 저감 건축자재	1.1흡방습 건축자재성능	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 추출 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재 적용 부위를 표시한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이 스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈
		1.2흡착 건축자재 성능	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 추출 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재 적용 부위를 표시한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이 스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈
	1. 오염물질 억제 또는 저감 건축자재	1.3 항곰팡이 건축자재 성능	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 추출 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재 적용 부위를 표시한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이 스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈
		1.4 항균 건축자재 성능	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 추출 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재 적용 부위를 표시한 도면	CAD를 이용하여 도면을 수작업으로 작성	BIM모델에서 도면을 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈
			자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베이 스에서 인증서를 다운로드	실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈

② 녹색건축인증(G-SEED)

- 녹색건축 인증기준(G-SEED)은 지속가능한 개발실천과 자원절약을 목적으로 시행(법제처, 2016)되었으며, 8개의 항목 중 7. 실내환경이 포함되어있음.
- 항목은 크게 일반항목과 가산항목으로 구분되며, 점수에 따라 4등급으로 차등 평가됨. 이중, 7.1~7.3까지의 항목이 실내공기질과 관련되어 있음. 7.3 단위세대 환기성능확보 중 기계환기에 대한 부분을 제외하고 정의된 요구정보는 건강친화형 주택건설기준의 요구정보와 동일함.
- 녹색건축인증(G-SEED)의 요구정보는 면적, 자재, 시험성적서, 설치계획, 관리계획 등에 대한 내용임. 이중, 입력모듈인 ‘BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈’과 ‘실내공기질 자재 및 법규정보 관리 모듈’로 생성할 수 있는 정보는 면적과 자재에 관련된 정보임.
- 이에 따라, 요구정보의 생성방법을 기존방식(As-Is)과 변경방식(To-Be)으로 구분하여 비하였으며, 항목별 정보생성 및 관리모듈을 정의하였음.

표 12. 녹색건축인증(G-SEED)

항목		요구정보	AS-IS	To-Be	비고
7. 실내환경	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	자재가 적용된 부위의 면적	도면을 이용하여 수작업으로 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기 질 정보생성 및 관리모듈
		자재의 시험성적서	해당 제품 제조사에 연락을 취하거나 홈페이지에서 필요한 인증서를 직접 다운로드	웹기반 외부 제품데이터베 이스에서 인증서를 다운로드	실내공기 질 자재 및 법규정보 관리모듈
	7.2 자연 환기성능 확보	각 실의 체적	도면을 이용하여 수작업으로 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기 질 정보생성 및 관리모듈
		체적에 따른 환기횟수 계산서	사람이 수작업으로 계산	인증템플릿에 서 자동으로 계산	
	7.3 단위세대 환기성능확보	각 실의 체적	도면을 이용하여 수작업으로 정보를 추출	BIM모델에서 IFC 정보를 추출하여 자동으로 생성	BIM을 활용한 실내공기 질 정보생성 및 관리모듈
		체적에 따른 환기횟수 계산서	사람이 수작업으로 계산	인증템플릿에 서 자동으로 계산	
		기준에 적합한 기계설비 설치 계획	엔지니어가 입력	좌동	

(2)요구정보 생성을 위한 IFC 추출 구조도 정의

(가) IFC 4 스키마에 따른 IFC정보추출 구조도

① BIM모델에 포함되어 있는 IFC정보

- BIM모델에 포함되어 있는 IFC정보와 모델링과정에서 추가하여 추출해야 하는 IFC정보를 구분하여 각각 엔티티(Entity, 이하 엔티티)와 속성(Attribute, 이하 속성)을 정의하였음.
- BIM모델에 포함되어 있어 바로 추출 가능한 IFC 정보는 이름(Name), 면적(Area), 너비(Width), 그리고 높이(Height)로 분류되며, ‘실명’, ‘자재명’, ‘면적’, ‘개구부 너비’, ‘개구부 높이’ 등에 대한 정보가 포함됨(표 13 참조).

표 13. BIM모델에서 이미 포함되어 있어서 바로 추출 가능한 정보

항목		Entity	Attribute
이름	실	IfcSpace	Name
	재료	IfcMaterial	Name
	마감재	IfcMaterialLayerSet	MaterialLayer
면적	공간	IfcQuantityArea	AreaValue
너비	창문	IfcWindow	OverallWidth
	문	IfcDoor	OverallWidth
높이	창문	IfcWindow	OverallHeight
	문	IfcDoor	OverallHeight
	천정고	IfcExtrudedAreaSolid	Depth

- 이름(Name)에는 실명과 자재명이 포함되며, 실명은 엔티티 IfcSpace의 속성 Name을, 자재명은 엔티티 IfcMaterial의 속성 Name에서 추출할 수 있었음.
- 벽체가 복합벽체로 모델링되었다는 가정 하에, 적용된 최종마감재의 이름은 엔티티 IfcMaterialLayerSet의 속성 MaterialLayer에서 추출할 수 있었음. 엔티티 IfcMaterialLayerSet의 속성 MaterialLayers에는 외부에서 내부 순으로 벽체의 구성이 나열되어 있음. 예를 들어, IfcMaterialLayerSet의 속성인 MaterialLayer에 자재가 콘크리트(Concrete), 석고보드(Gypsum Board), 벽지(Wall Paper)순으로 나열되어 있다고 가정할 때 가장 뒤에 있는 벽지가 최종마감재가 됨.
- IfcMaterialLayerSet의 속성 MaterialLayers는 IfcRelSpaceBoundary를 통해 원하는 부위가 포함되어 있는 실에 연관된 벽체를 찾고, IfcRelAssociatesMaterial을 통해 해당 벽체의 자재구성을 표현하는 엔티티인 IfcMaterialLayerSet을 찾아서 확인할 수 있음.
- 면적(Area)에는 실과 개구부의 면적이 포함되며, 엔티티 IfcQuantityArea의 속성 AreaValue에서 면적 값을 추출할 수 있었음. 또한, 최종마감재 적용면적은 별도의 확인 알고리즘을 두어 정확한 면적이 산정되었는지 확인하였음
- 너비(Width)는 개구부의 너비가 포함되며, 엔티티 IfcWindow의 속성 OverallWidth와 엔티티 IfcDoor의 속성 OverallWidth를 통해 추출할 수 있었음.

- 높이(Height)는 개구부의 높이와 천정고가 포함되며, 개구부의 높이는 엔티티 IfcWindow의 속성 OverallHeight와 엔티티 IfcDoor의 속성 OverallHeight를 통해, 천정고는 엔티티 IfcExtrudedAreaSolid의 속성 Depth를 통해 추출할 수 있었음.

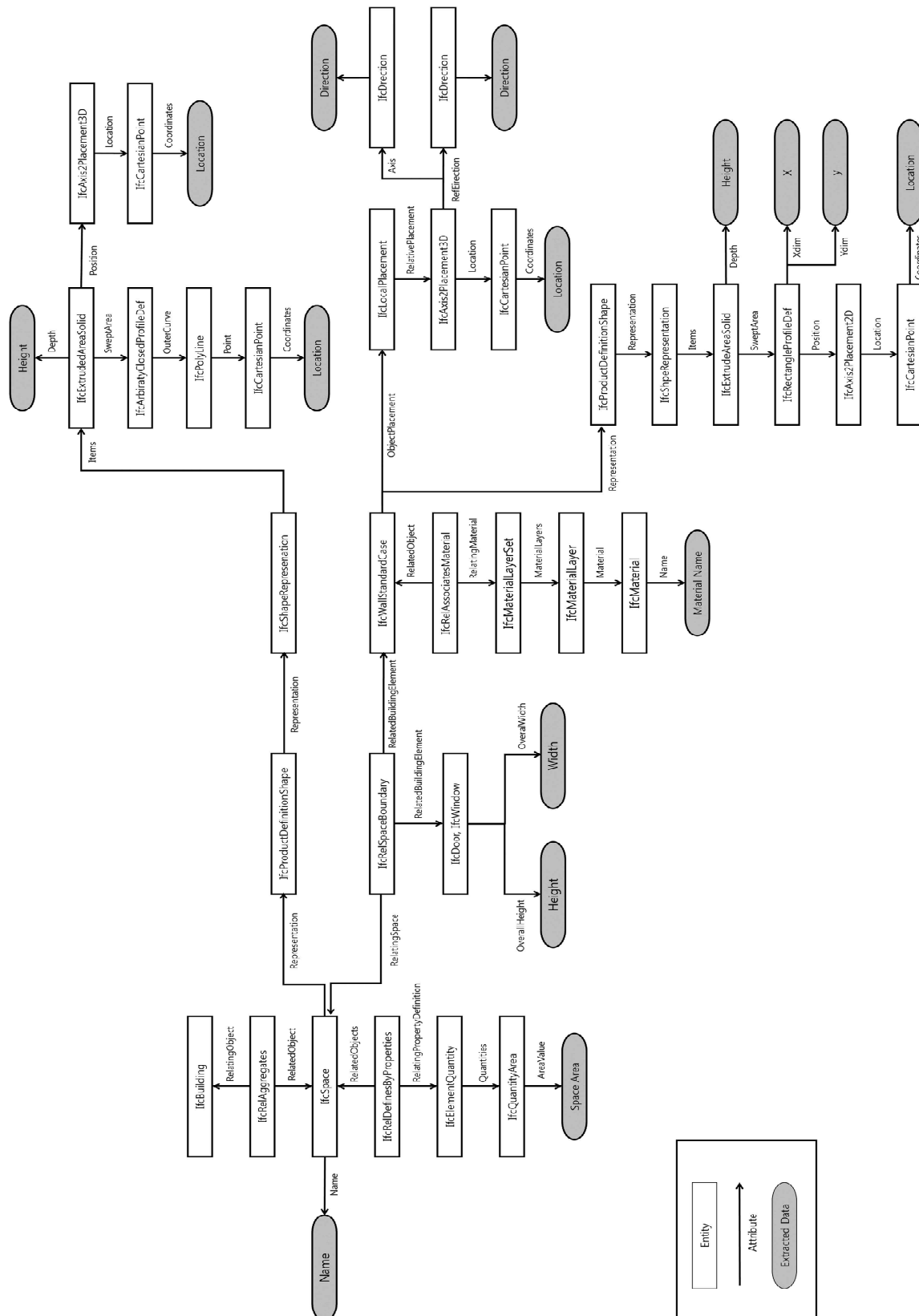


그림 6. IFC 4 스키마에 따른 포함정보 추출 구조도

② BIM 모델링 시 추가해야 하는 정보

- 모델링 과정에서 추가해야 하는 IFC 정보는 건물의 동과 실의 호, 그리고 개구부의 개폐여부로, 관련 정보들은 건물 및 세대 구분, 자연환기량 산정을 위해 모델링과정에서 추가로 입력되어야하는 정보들임.
- 관련 정보들은 모델링 과정에서 Parameter Properties를 이용하여 입력할 수 있으며, Revit 2016을 기준으로 이름(Name), 분류(Discipline), 타입(Type of parameter), 용도(Group Parameter), 그리고 정보위치(Categories) 총 5가지의 정보가 생성됨(표 14).

표 14. BIM모델에 정의되어 있지 않아서 사용자가 모델링 시 추가로 입력해야하는 정보

Name	Discipline	Type of Parameter	Group Parameter	Categories
세대유형	Common	Text	Identity Data	
동	Common	Text	Identity Data	Room
호	Common	Text	Identity Data	Room
개폐여부	Common	Yes or No	Identity Data	Window

- 이름(Name)은 새로 정의하는 정보의 이름을, 분류(Discipline)는 정보가 포함되는 분야 또는 분류를, 타입(Type of parameter)은 정보의 타입을, 정보위치(Categories)는 정보가 위치하는 모델의 부위객체를, 그리고 용도(Group Parameter)는 정보의 용도를 지칭함.
- 새롭게 정의된 정보들 중 이름, 분류, 타입에 대한 정보는 엔티티 IfcPropertySingleValue에서, 용도에 대한 정보는 엔티티 IfcPropertySet에서, 정보위치에 대한 정보는 엔티티 IfcSpace, IfcWindow에서 추출할 수 있음.
- 건물의 동과 실의 호수를 확인하는 구조도와 개구부의 개폐여부를 확인하는 구조도의 경로는 동일함.

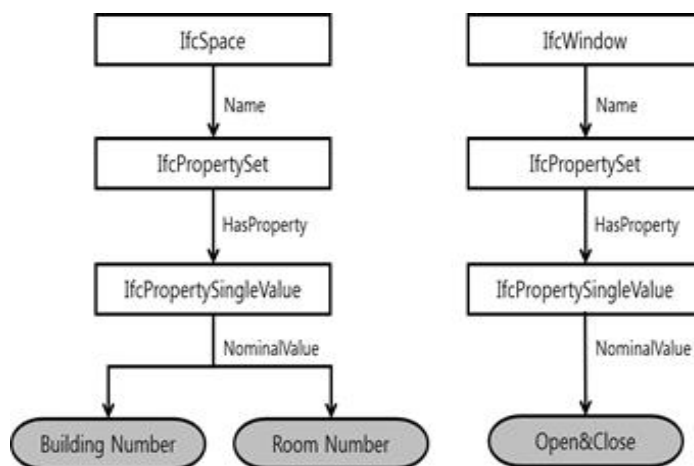


그림 7. IFC 4 스키마에 따른 추가정보 추출 구조도

(3) 좌표정보를 활용한 최종마감재 면적산정 알고리즘

(가) 최종마감재 면적산정 알고리즘

- 정확한 최종마감재면적 산정을 위하여 실의 좌표정보와 형상정보를 활용한 알고리즘을 정의하였음. 좌표를 통해 파악한 실 정보와 형상화된 부위 정보를 겹쳐 비교하고, 두 객체가 완전히 겹쳐지면 마감재 면적이 정확히 산정되었다고 판단하는 알고리즘을 구성하였음. 산정된 정보에서 부위에 포함된 개구부의 면적을 제하여 면적 산정을 완료함.
- 엔티티 IfcCaetesianPoint의 속성Coordinates에서는 면적산정의 기준좌표를, 엔티티 IfcRectangleProfileDef의 속성 Xdim, Ydim에서는 인접벽 모서리 정보를, 엔티티 IfcExtrudedAreaSolid의 속성 Height에서는 적용마감재의 높이를 추출하였음.

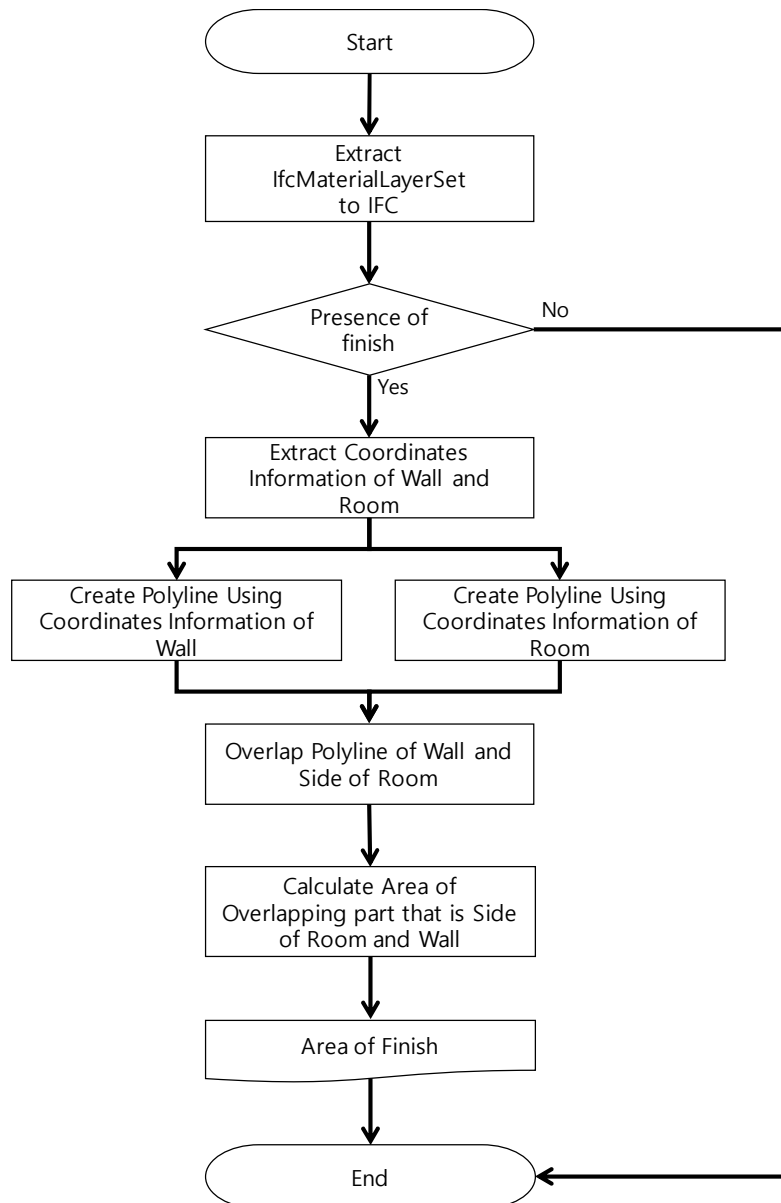


그림 8. 최종마감재 면적산정 알고리즘

(4) 정보 생성 및 관리를 위한 통합관리시스템 프로세스 제시

- 핵심성과에 따른 구성되는 세부모듈은 총 6가지이며, 1차년도에 상세수준을 정의하여 개발한 세부모듈은 ‘BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈’, ‘실내공기질 자재 및 법규 정보 관리모듈’, ‘건물인증 실내공기질 평가모듈’, ‘실내공기질 성능 관리모듈’ 임(그림 9). 2차년도에는 상세수준을 정의한 각 세부모듈의 기능을 각각 구현하고, 이를 통합적으로 사용가능한 실내공기질 통합관리 프로그램을 구현하였음.
- ‘BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈’은 실내공기질 관련 요구정보에 따라 BIM 모델에서 관련 정보를 자동으로 생성함. 면적산정의 정확성을 높여주는 최종마감재 면적산정 알고리즘이 포함되어 있음.
- ‘실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈’은 BIM에서 생성되는 정보 이외의 적용제품과 관련된 정보를 자동으로 생성함. 또한, 생성된 정보의 기준 적합여부를 판단하는 법규DB, 본인증 시 첨부되는 현장적용 사진 및 현장적용 확인서를 저장하는 현장DB가 포함되어 있음.
- ‘전과정 실내공기질 정보 통합모듈’은 생성된 모든 인증 요구정보를 통합하여 인증템플릿에 입력해주며, ‘건강친화형 주택건설기준’, ‘녹색건축인증(G-SEED)’, ‘유지관리 단계 및 예측’에 대한 정보로 구분됨.
- ‘건물인증 실내공기질 평가모듈’은 ‘건강친화형 주택건설기준’, ‘녹색건축인증(G-SEED)’의 예비인증 및 자재평가지 사용되는 템플릿으로 자체평가서를 생성해줌.
- ‘실내공기질 성능 관리모듈’은 ‘건강친화형 주택건설기준’, ‘녹색건축인증(G-SEED)’의 본인증 및 이행확인시 사용되는 템플릿으로 자체평가서를 생성해줌.
- ‘실내공기질 예측 및 측정’모듈은 유지관리단계에서의 실내오염물질 농도를 산정하며, 입력되는 정보들을 활용하여 실내유효 환기량에 대한 예측값을 도출함.
- 또한, 이에 대한 수행과정을 알고리즘으로 표현하였음(그림 11). 사용자는 시스템 프로세스를 시작하기 위하여 BIM모델을 업로드하며, 추가로 필요한 정보를 수동으로 입력함.
- 업로드 된 BIM모델에서 IFC 데이터를 통해 건물의 부위관련 정보인 ‘실체적 및 개구부면적’과 ‘자재적용면적’, 자재관련 정보인 ‘자재정보’를 자동으로 생성함. 부위관련 정보에는 길이, 면적, 체적에 대한 정보와 명칭이, 자재관련 정보에는 적용된 자재 명칭이 포함됨.
- 생성된 정보 중 자재명칭은 자재명 변환 Thesaurus를 거쳐서 표준 자재명으로 변환되며, 별도의 추가적인 모듈인 자재-친환경제품 데이터베이스를 거쳐서 자재별 제품이 선정됨.
- 제품에 대한 구체적인 정보는 웹 크롤링을 통해 정보를 자동으로 생성하고 관리하는 친환경제품정보 데이터베이스에서 입력됨.
- 생성된 모든 정보들은 출력모듈인 친환경 인증 템플릿을 거쳐서 결과물로 생성됨

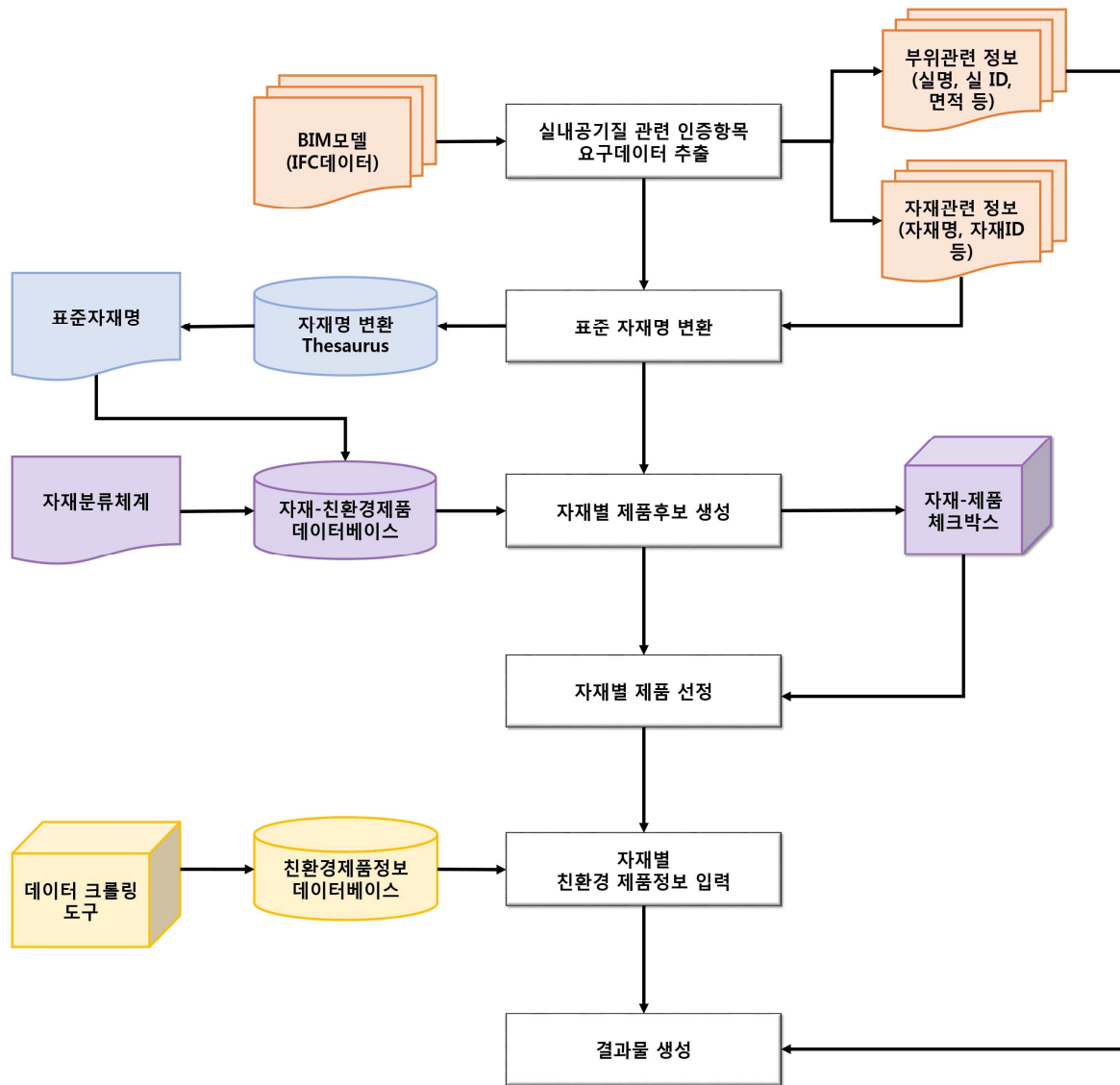


그림 11. 통합관리시스템 수행 알고리즘

(5) 각 모듈에 따른 세부수행 기능 및 성능정의

(가) BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈

- ‘BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈’은 IFC데이터를 활용하여 BIM에서 생성할 수 있는 실내공기질 관련 요구정보를 생성하며, 각각의 세부데이터는 DB에 저장되는 과정에서 식별자인 ID를 부여받음(그림 11).

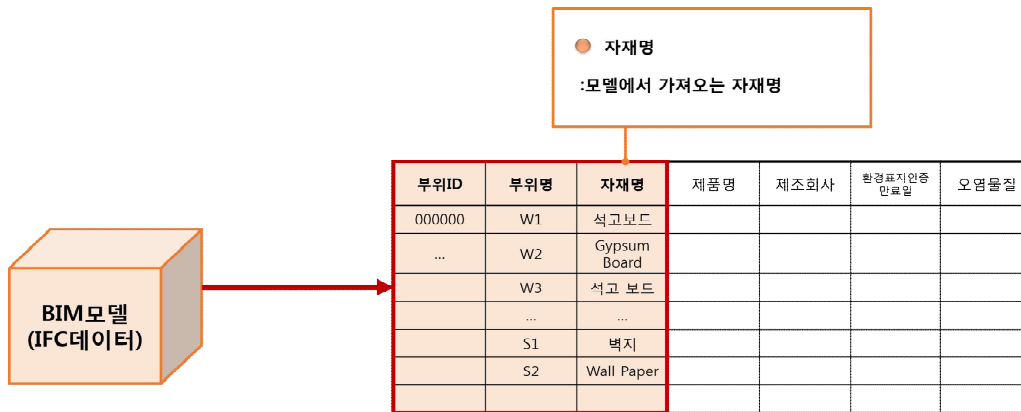


그림 12. BIM모델에서의 요구정보 추출 및 저장과정

- 먼저, Properties를 통해 추가되는 정보인 ‘세대유형’, ‘동’, ‘호’, ‘개구부의 개폐여부’는 사람이 모델링 과정에서 사람이 수작업으로 정보를 입력하여, 정의된 IFC 추출 구조도에 따라서 정보를 자동으로 생성할 수 있음.
- 다음으로 부위명, 자재명에 대한정보는 BIM모델에 포함되어진 정보를 자동으로 추출함. 자재명은 Thesaurus를 통해 표준자재명으로 변환됨.
- 자재적용 면적에 대한 정보는 추출이후 별도의 알고리즘을 거쳐서 정보가 정확하게 추출되었는지를 확인한 후 정보를 자동으로 추출함. 좌표정보를 활용하여 안목선길이를 추출되었는지 확인하는 알고리즘을 생성하였음.
- BIM을 활용하여 정보를 생성하는 모듈을 통합프로그램 구현 시, 통합프로그램에 BIM모델을 업로드한 후 정보가 자동으로 추출될 수 있게 반영되었으며, 2차년도에는 정보추출에 필요한 규칙을 정의하였음.

(나) 실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈

- ‘실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈’은 자재정보를 생성하는 기능과 법규DB, 현장DB이외에, BIM모델에서 추출된 자재명을 표준자재명으로 변환하는 자재명 변환 Thesaurus, 웹에서 친환경제품 관련된 정보를 자동으로 수집하는 친환경제품정보 DB를 포함함. 또한, 사용기록을 바탕으로 적용 가능한 제품을 추천해주는 자재-친환경제품 DB를 개발 중에 있음. Thesaurus는 2차년도에 온톨로지 기술을 활용하여 구현하였음.
- 자재정보 생성 기능은 먼저 BIM모델에서 자재명에 대한 정보를 가져오므로 수행됨. 자재와 관련된 정보는 ‘자재명’, ‘자재적용면적’으로 구분됨. 법규DB에는 생성된 정보의 기준적합 여부를 판단하는 알고리즘과 산정식이 포함됨. 현장DB에는 현장관련 기본정보와 현장적용사진 그리고, 현장적용확인서가 저장됨.

- ‘자재명 변환 Thesaurus’ 는 기준이 되는 분류체계에 명시되어 있는 자재명을 표준자재명으로 설정하여 BIM모델에서 추출되는 자재명을 자동으로 표준자재명으로 변환해줌. 예를 들어, BIM 모델에서 추출된 자재명이 석고보드, Gypsum Board, 석고 보드 등을 경우, 자동으로 표준자재명인 ‘석고보드’ 로 변환되어서 데이터테이블에 입력됨(그림 12).

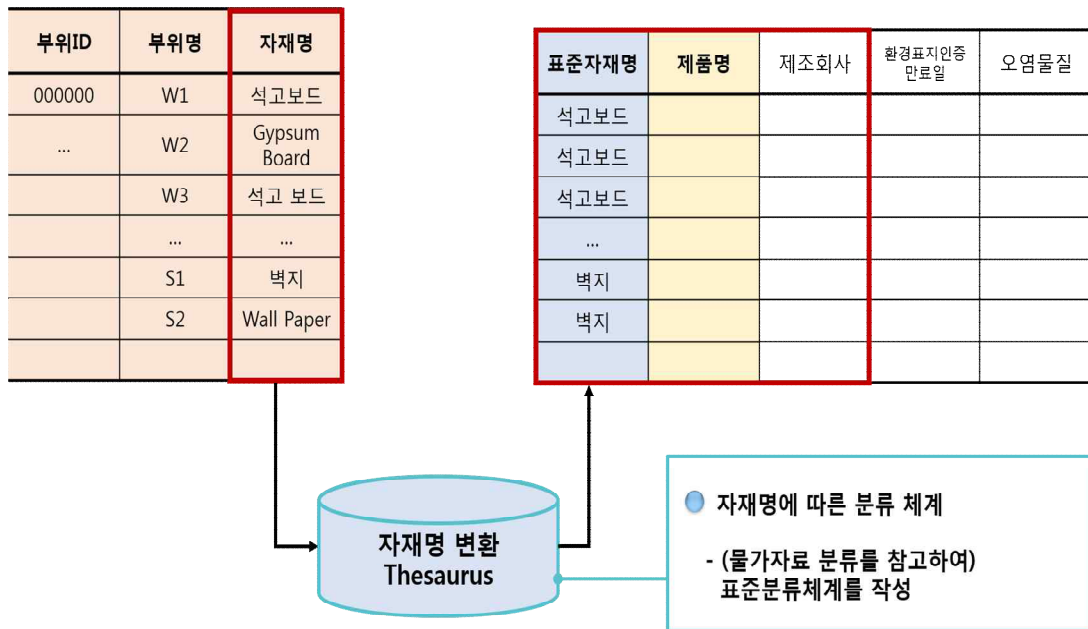


그림 13. BIM모델에서의 표준자재명 변환 과정

- 웹크롤러를 이용하여 웹에서 정보를 자동으로 수집하여 데이터베이스에 저장하는 과정을, ‘친환경건설자재정보시스템(<http://gmc.greenproduct.go.kr/>)에서 수행하여 검증하였음.
- 웹 크롤러를 통해 수집되는 정보는 ‘제품명’, ‘제조회사’, ‘제조회사 연락처’, ‘제조회사 홈페이지’, ‘환경표지인증 만료일’, ‘GR인증 만료일’, ‘탄소표지인증 만료일’, ‘특허유효만료일’, ‘오염물질 방출량’에 대한 정보로, 인증 만료일을 기준으로 유효기간이 만료된 정보는 자동으로 삭제함.
- 각각의 인증에 대한 인증서와 시험성적서 역시 저장되며, 현재는 파일이 있는 위치에 대한 URL을 수집하여 저장함. 데이터베이스 성능을 향상시켜서 문서로 저장할 수 있는 방법에 대한 추가적인 고려가 필요함.
- 2차년도에는 친환경제품에 대한 정보를 통합적으로 제공하는 웹페이지가 아닌 개별 제조회사 웹페이지에서 정보를 수집할 수 있는 웹크롤러를 구현하였으며, 수집된 정보를 엑셀로 저장하여 통합프로그램에서 사용가능하도록 하였음.

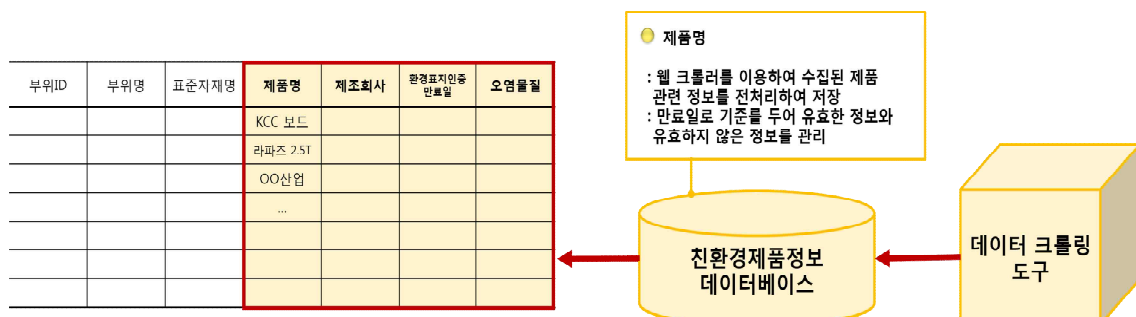


그림 14. 웹 크롤러를 이용한 친환경 제품정보 생성 및 저장과정

(6) 요구정보 추출을 위한 속성정보 규칙정의

(가) BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리기술 개요

- 1차년도에 정의한 실내공기질 관련 요구정보, IFC 4 스키마 기반 정보추출 구조도와 2차년도에 정의한 요구정보 추출을 위한 자재종류별 속성정보 추론규칙을 기반으로 실내공기질 요구정보 생성 및 관리를 위한 요소기술을 구현하였음. 요소기술에서 수행하는 기능은 이름(Name), 면적(Area), 너비(Width), 그리고 길이(Height)에 대한 정보 추출임.
- 요소기술을 통해 추출되는 이름(Name)에 관한 정보는 실명, 자재명이며, 면적(Area)은 안목치수를 기준으로 한 실별 총 벽면적, 바닥면적, 천장면적, 최종마감재가 적용된 벽면적, 바닥면적, 천장면적, 총 창면적, 문면적, 바닥길이, 바닥폭, 천장고였음.
- 요소기술 구현을 위해 예시로 사용한 BIM모델은 실제 공동주택 도면을 BIM모델로 작성한 83A 기본형과 83A 확장형이며, BIM모델은 Revit 2016으로 작성하였음. BIM모델에 포함된 실은 침실1,2,3, 거실, 욕실1,2, 발코니1,2,3, 파우더룸, 드레스룸, 주방/식당, 대피공간, 현관임.

(나) 자재종류별 추론을 위한 속성정보 규칙정의

- 1차년도에 정의하였던 정보추출 구조도 및 최종마감재 면적산정 알고리즘 외에 추가로 정의한 속성정보는 최종마감재, 접착제, 기타내장재 면적산정을 위한 추론규칙임.
- 벽, 바닥, 천장은 단일재료로 구성되는 것이 아닌 다양한 재료가 겹겹이 쌓인 복합구조로 구성되기 때문에, 원하는 종류의 자재면적을 추출하기 위해서는 Layer상에서 해당자재의 위치를 정의할 필요가 있음.
- 첫째로 최종마감재는 벽, 바닥, 천장에서 Layer상 첫 번째 혹은 마지막 Layer에 위치함(표 15). 먼저, 하나의 공간만을 감싸고 있는 벽의 최종마감재는 첫 번째 혹은 마지막 Layer이며, 두 개의 공간을 동시에 감싸고 있는 벽의 최종마감재는 첫 번째와 마지막 Layer 모두에 해당함. 다음으로, 바닥은 첫 번째 Layer가 실과 맞닿는 가장 처음 면이기 때문에 첫 번째 Layer가 바닥의 최종마감재임. 마지막으로 천장은 마지막 Layer가 실과 맞닿는 가장 처음 면이기 때문에 마지막 Layer가 천장의 최종마감재임.

표 15. 최종마감재 속성정보 추론 규칙

벽 최종마감재	- IFCMaterialLayer에서 첫 번째 Layer[0]와 마지막 Layer임. - 벽 유형에 따라 첫 번째 Layer 또는 마지막 Layer에만 존재할 수도 있음.
바닥 최종마감재	- IFCMaterialLayer에서 첫 번째 Layer임.
천장 최종마감재	- IFCMaterialLayer에서 마지막 Layer임.

- 둘째로 접착제는 두께를 가지지 않는 재료이기 때문에 BIM모델에 표현하지 않고, 최종마감재의 종류에 따라 사용되는 접착제의 종류를 지정하였음. 테스트모델에서 정의한 접착제 예시는 표15와 같음.

표 16. 최종마감재 속성정보 추론 규칙

벽지	벽지접착제	도기질타일	타일접착제
목재바닥재	바닥접착제	자기질타일	
천장지	천장지접착제	지정타일	

※ 현재 정의되어 있지 않은 재료들에 대해서는 추가정의가 필요함.

- 셋째로 기타내장재는 최종마감재 직전의 바탕면을 지칭하며, 벽, 바닥, 천장에 필수로 포함되어 있지 않는 경우도 있기 때문에 두 가지 방법으로 추출이 가능함. 먼저, 최종마감재와 동일하게 Layer위치로 파악하는 방법이 있음. 기타내장재는 벽, 바닥, 천장에서 Layer상 두 번째 혹은 마지막 Layer 직전에 위치함(표16). 일반적으로 최종마감재 직전에 놓여있는 재료를 기타내장재로 정의하여 추출함. 다음으로, 특정재료를 기타내장재로 인식하여 해당정보를 추출하는 방법이 있음. 공통주택의 경우, 석고보드가 이에 해당함.

표 16 기타내장재 속성정보 추론 규칙

벽 기타내장재	- IFCMaterialLayer 두 번째 Layer와 마지막 Layer 직전의 Layer가 기타내장재임. - 최종마감재와 동일하게 벽유형에 따라 두 번째 Layer 혹은 마지막 직전 Layer에만 존재할 수도 있음.
바닥 기타내장재	- IFCMaterialLayer에서 두번째 Layer임.
천장 기타내장재	- IFCMaterialLayer에서 마지막 Layer 직전의 Layer임.

※ 정보추출 후 작업자판단에 의해 삭제가 가능하며, 석고보드는 기타내장재로 자동인식.

(다) 테스트모델에서의 자재종류별 속성정보 추론규칙 검증

- 정의된 속성정보 추론규칙에 따라, 정보가 구성되어 있는지 BIM모델을 확인하였음. 먼저, 벽에 사용된 마감재는 페인트(마감1), 벽지(마감2), 도기질타일(마감3)로 모두 추론규칙에 따라 정의된 Layer에 위치하고 있었음. 다음으로 벽에 사용된 접착제는 벽지접착제(접착1), 타일접착제(접착2)로 최종마감재에 따라 접착제의 종류가 결정됨을 확인할 수 있었음. 마지막으로 기타내장재는 석고보드(기타내장재1)로 두 번째 방법에 따라 지정한 자재를 기타내장재로 추출할 수 있었음.

표 17. 테스트 BIM모델의 벽 Layer 구성

벽이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
W0	콘크리트	220		발코니1,2,3
	페인트		마감1	
W1	콘크리트	220		파우더룸, 드레스룸, 침실3
	벽지접착제		접착1	
	벽지		마감2	
W2	벽지		마감2	침실1,2, 주방/식당
	벽지접착제		접착1	

벽이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
	콘크리트	200		
	벽지접착제		접착1	
	벽지		마감2	
W3	페인트		마감1	발코니3, 대피공간
	콘크리트	180		
	페인트		마감1	
W4	페인트		마감1	침실1, 발코니1
	콘크리트	180		
	접착제	5	충전재	
	비드법보온판 2종2호	145		
	접착제	10		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제		접착1	
	벽지	0	마감2	
	페인트		마감1	
W5	시멘트 몰탈	20		거실, 발코니1
	1.0B 시멘트벽돌	160		
	접착제	5		
	비드법보온판 2종2호	145		
	접착제	10		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제		접착1	
	벽지	0	마감2	
	페인트		마감1	
W6	시멘트 몰탈	20		침실2, 침실3, 거실, 발코니1
	1.0B 시멘트벽돌	190		
	접착제	5		
	비드법보온판 2종2호	145		
	접착제	10		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제		접착1	
	벽지		마감2	
	페인트		마감1	
W7	도기질타일	10	마감3	침실3, 욕실1,2, 주방/식당
	타일접착제		접착2	
	시멘트 몰탈	30		
	콘크리트	200		
	벽지접착제		접착1	
	벽지		마감2	
W8	콘크리트	220		욕실1
	시멘트 몰탈	30		
	타일접착제		접착2	
	도기질타일	10	마감3	
W9	콘크리트	200		욕실1
	비드법보온판 2종2호	105		
	접착제	10		
	0.5B 시멘트벽돌	90		
	시멘트 몰탈	30		
	타일접착제	0	접착2	
	도기질타일	10	마감3	
W10	0.5B 시멘트벽돌	90		욕실1, 욕실2
	시멘트 몰탈	30		
	타일접착제		접착2	
	도기질타일	10	마감3	
W11	벽지	10	마감2	파우더룸, 드레스룸, 거실, 침실1, 욕실1,2,
	벽지접착제		접착1	

벽이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
	시멘트 몰탈	20		
	0.5B 시멘트벽돌	90		
	시멘트 몰탈	30		
	타일접착제		접착2	
	도기질타일	10	마감3	
W12	0.5B 시멘트벽돌	90		거실, 현관
	시멘트 몰탈	20		
	벽지접착제		접착1	
	벽지	10	마감2	
W13	콘크리트	200		현관
	비드법보온판 2종2호	105		
	접착제	10		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제		접착1	
	벽지	0	마감2	
W14	콘크리트	200		발코니2
	페인트		마감1	
W15	페인트		마감1	드레스룸, 주방/식당, 발코니2,3
	시멘트 몰탈	20		
	1.0B 시멘트벽돌	190		
	접착제	5	충전재	
	비드법보온판 2종2호	145		
	접착제	10	충전재	
	석고보드	9.5		
	벽지접착제		접착1	
	벽지	0	마감2	
W16	페인트		마감1	욕실2, 대피공간
	콘크리트	200		
	비드법보온판 2종2호	105		
	접착제	10		
	0.5B 시멘트벽돌	90		
	시멘트 몰탈	30		
	타일접착제		접착2	
	도기질타일	10	마감3	
W17	페인트		마감1	발코니2, 대피공간
	페인트			
	시멘트몰탈	10		
	1.0B 시멘트벽돌	190		
	시멘트몰탈	10		
	페인트	0	마감1	
W18	벽지	0	마감2	침실1,2,3, 파우더룸, 드레스룸, 거실, 주방/식당, 현관
	벽지접착제	0	접착1	
	석고보드	9.5	기타내장재	
	기본벽	80		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제	0	접착1	
	벽지	0	마감2	
W19	벽지	0	마감2	거실
	벽지접착제	0	접착1	
	석고보드	9.5	기타내장재	
	기본벽	100		
	석고보드	9.5	기타내장재	
	벽지접착제	0	접착1	
	벽지	0	마감2	
W20	0.5B 시멘트벽돌	90		발코니2

벽이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
	시멘트 몰탈	20		
	페인트	0	마감1	

- 다음으로, 바닥에 사용된 마감재는 목재바닥재(마감4), 지정타일(마감5), 자기질타일(마감6), 자기질타일(마감7)로 모두 추론규칙에 따라 정의된 Layer에 위치하고 있었음. 다음으로 바닥에 사용된 접착제는 바닥접착제(접착3), 타일접착제(접착4)로 최종마감재에 따라 접착제의 종류가 결정됨을 확인할 수 있었음. 마지막으로 기타내장재는 첫 번째 방법에 따라 최종마감재 직전의 자재를 기타내장재로 추출하였으나 삭제하였음.

표 18 테스트 BIM모델의 바닥 Layer 구성

바닥이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
F1	목재바닥재	7.5	마감4	주방/식당, 파우더룸, 드레스룸, 침실1,2,3, 거실
	바닥접착제	1	접착3	
	시멘트몰탈	40		
	경량기포콘크리트	40		
	비드법보온판 1종2호	30		
F2	콘크리트	210		현관
	지정타일	1	마감5	
	타일접착제	1	접착4	
	시멘트몰탈	110		
F3	콘크리트	210		욕실1,2
	자기질타일	1	마감6	
	타일접착제	1	접착4	
	시멘트몰탈	70		
F4	경질우레탄 2종2호	130		발코니1,2,3, 대피공간
	자기질타일	1	마감7	
	타일접착제	1	접착4	
	시멘트몰탈	50		
	콘크리트슬래브	210		
	압출법특호	25		

- 마지막으로, 천장에 사용된 마감재는 페인트(마감1), 지정천장재(마감8), 천장지(마감9)로 모두 추론규칙에 따라 정의된 Layer에 위치하고 있었음. 다음으로 천장에 사용된 접착제는 천장지접착제(접착5)로 최종마감재에 따라 접착제의 종류가 결정됨을 확인할 수 있었음. 마지막으로 기타내장재는 석고보드(기타내장재1)로 두 번째 방법에 따라 지정한 자재를 기타내장재로 추출할 수 있었음.

표 19. 테스트 BIM모델의 바닥 Layer 구성

천장이름	재료명	두께	재료유형	연관된 실
C1	석고보드	9.5	기타내장재	주방/식당, 파우더룸, 드레스룸, 침실1,2,3, 거실
	천장지접착제	1	접착5	
	천장지	1	마감9	
C2	지정천장재	1	마감8	욕실1,2
C3	페인트	1	마감1	발코니1,2,3, 대피공간

(7) 전과정 실내공기질 예측, 관리, 평가 정보생성 및 관리모듈 개발

(가) 설계단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈

- 설계단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈은 녹색건축인증의 예비인증과 건강친화형 주택건설기준의 자체평가의 인증결과물을 도출하기 위해 수행됨.
- 모듈은 프로젝트 작성을 시작하는 프로그램 메인화면, 인증정보를 생성하는 인증정보 생성세부모듈, 인증정보를 출력하는 인증템플릿으로 구성됨.
- 결과물 도출을 위해 사용되는 기능은 BIM모델에서의 면적 및 자재정보 추출, 워크롤링으로 수집된 친환경제품정보활용, 법규정보활용, 인증시 요구되는 수동입력정보 입력이며, 해당정보를 활용해 인증서류를 도출함.

✓ 설계단계에서의 정보생성 및 관리모듈

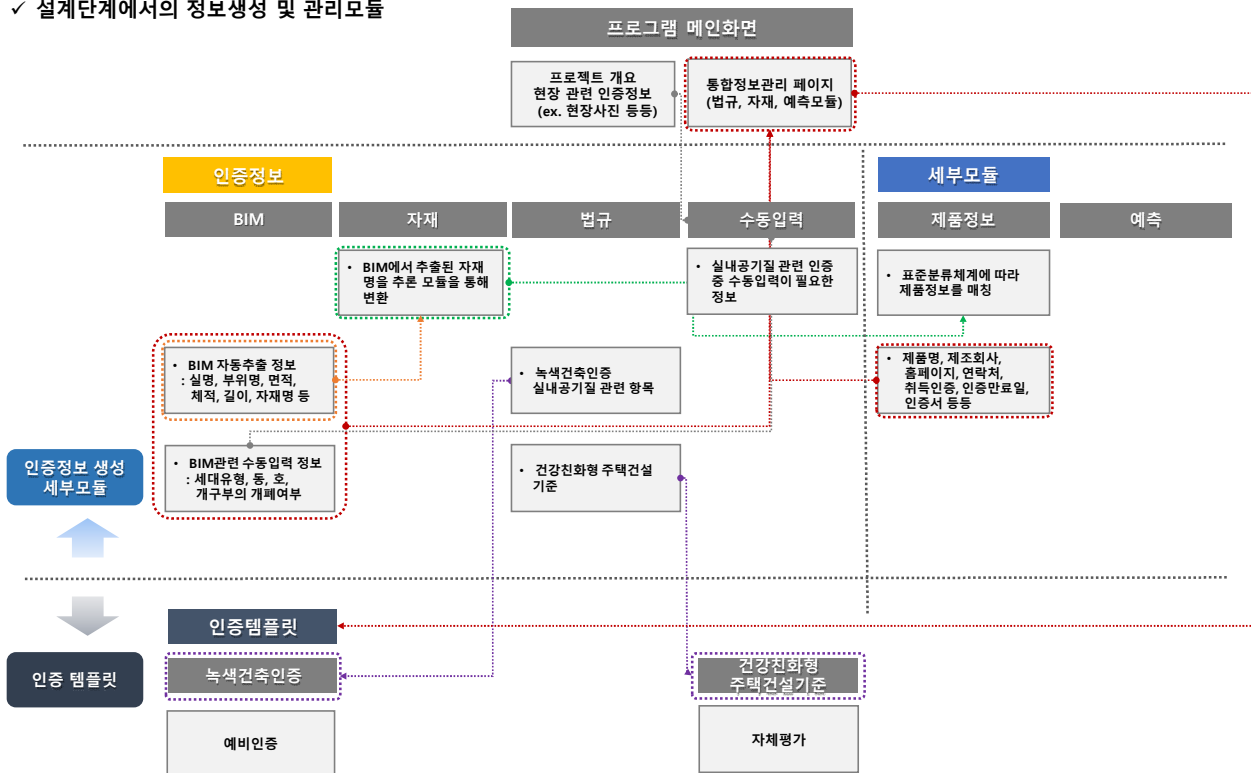


그림 15. 설계단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈 개념도

(나) 시공단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈

- 시공단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈은 녹색건축인증의 본인증과 건강친화형 주택건설기준의 이행확인의 인증결과물을 도출하기 위해 수행됨.
- 모듈은 프로젝트 작성을 시작하는 프로그램 메일화면, 인증정보를 생성하는 인증정보 생성세부모듈, 인증정보를 출력하는 인증템플릿으로 구성됨.
- 결과물 도출을 위해 사용되는 기능은 BIM모델에서의 면적 및 자재정보 추출, 웹크롤링으로 수집된 친환경제품정보활용, 법규정보활용, 인증시 요구되는 수동입력정보 입력이며, 이와 더불어 현장적용사진정보가 추가로 활용됨. 설계단계와 동일하게 해당정보를 활용해 인증서류를 도출함.

✓ 시공단계에서의 정보생성 및 관리모듈

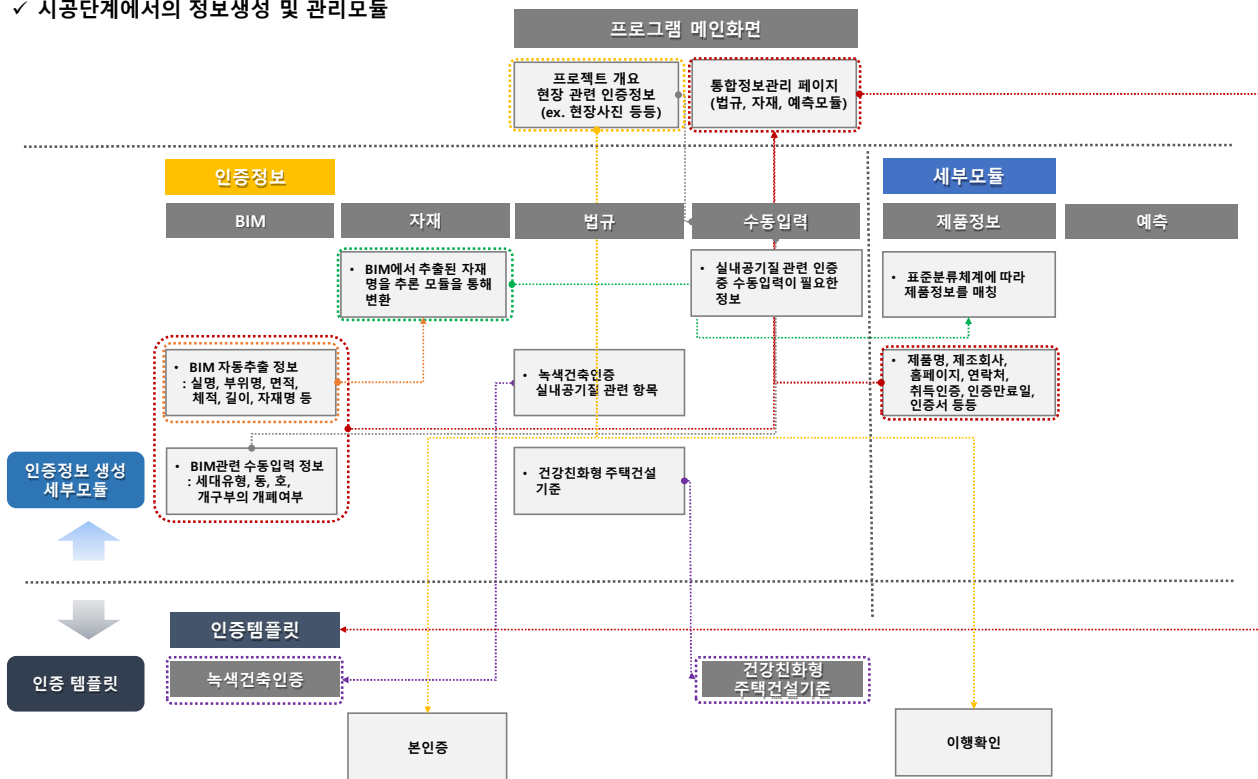


그림 16. 시공단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈 개념도

(다) 유지관리단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈

- 유지관리단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈은 BIM기반의 면적정보와 자재별 오염물질 방출량 정보를 활용해 실내유효환기량을 예측하기 위해 수행됨.
- 전산유체역학 해석 데이터를 기반으로 하는 인공신경망 기계학습모델을 구축하여 오염물질 제거에 필요한 실내 유효 필요 환기량을 예측하며, 실내오염물질 농도를 계산하는 실내오염물질 농도 산출부, 계산 결과로 도출된 실내오염물질 방출량을 활용해 실내 유효자연환기량을 산출하는 실내 유효자연환기량 산출부로 구분됨.

✓ 유지관리단계에서의 정보생성 및 관리모듈

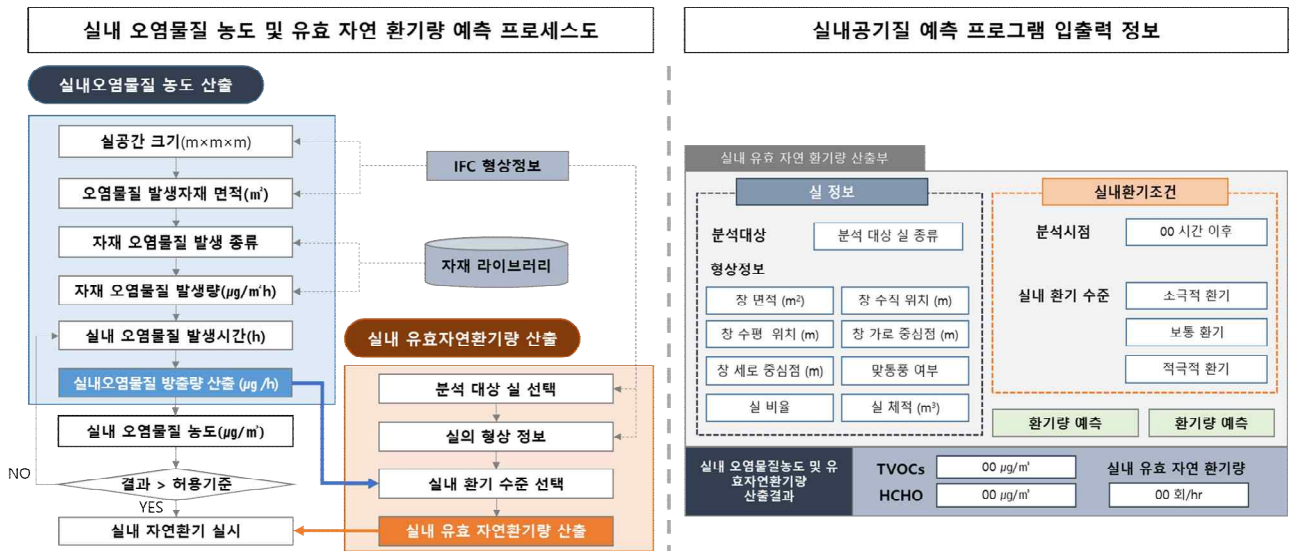


그림 17. 유지관리단계에서의 실내공기질 정보생성 및 관리모듈 개념도

(8) 전과정 실내공기질 정보관리 프로세스 정립

- BIM모델을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리기술을 통합프로그램에서 그림 17 프로세스와 같이 반영되었음.

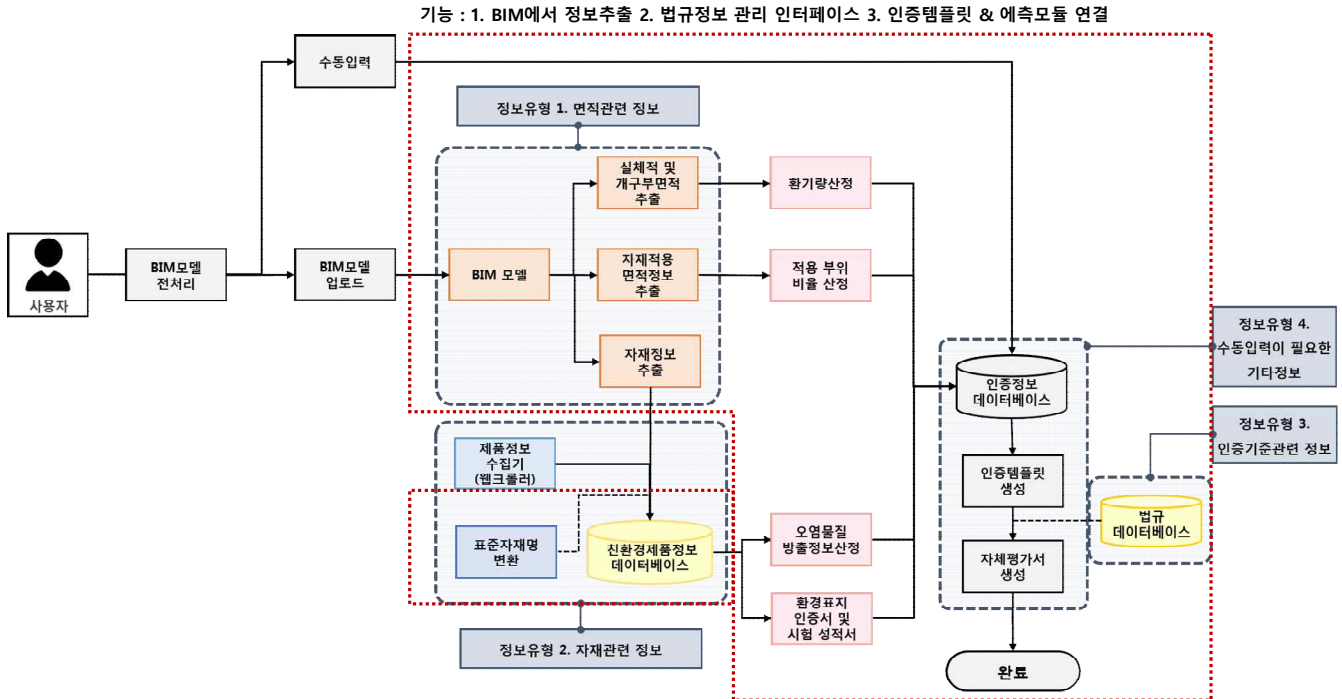


그림 18. 실내공기질 통합관리 프로그램 프로세스 개념도

- 먼저, 1차년도에 정의한 요구정보에 따라 인증에 필요한 정보들을 데이터테이블로 구현하였음. BIM에서 추출 가능한 인증에 필요한 요구정보는 바닥면적, 바닥폭, 바닥길이, 순수벽면적, 외피벽면적, 천장면적, 총 창면적, 문면적, 천장고이며, 외피벽면적은 2차년도 예측모델 개발에 따라 추가되었음. 데이터테이블로 정의된 정보는 1차년도에 정의한 IFC 4 스키마기반 구조추출도 및 2차년도에 정의한 자재별 속성정보 추론규칙에 따라 세대유형별로 업로드된 BIM모델에서 추출됨.
- 다음으로, 속성정보 추론규칙에 따라 도출된 자재명에 표준자재명으로 변환하여 업로드된 제품을 적용하고, 제품별로 적용된 면적이 산정됨. 그림14에는 최종마감재에 대한 면적일람표를 확인할 수 있음.

28A(기본형)

30A(기본형)

30B(기본형)

28A(확장형)

30A(확장형)

30B(확장형)

28A(기본형)

■ 실면적(m²)

BIM모델 입도도

BIM정보 삭제

NO	실구분	바닥면적	바닥폭	바닥길이	순수벽면적	친환경벽면적	외피벽면적	천장면적	층 창면적	문면적	천장고	환기횟수
1	거실	27.61	8.864	4.940	34.61	34.61	3.70	27.61	7.31	11.50	2.438	
2	주방/식당	16.16	4.220	4.139	27.17	27.17	7.41	16.16	1.43	2.39	2.438	
3	주방/식당	16.16	4.219	4.139	28.88	28.88	7.41	16.16	1.43	2.39	2.438	
4	침실1	13.07	3.614	3.617	24.43	24.43		13.07		7.13	2.438	
5	침실1	13.07	3.614	3.618	24.43	24.43		13.07		7.13	2.438	
6	침실2	9.84	2.719	3.619	26.62	26.62	4.73	9.84	1.90	2.39	2.438	

기실 : 마감재료별 면적 일람표

NO	구분	표준재료명	재품명	면적	외벽
1	바닥	목재마루재	나투스강	27.61	
2	벽	벽지	카라	1.01	
3	벽	벽지	카라	0.92	
4	벽	벽지	카라	2.07	

기실 : 창/문 일람표

NO	구분	규격	폭	높이	장위치
1	문	목재 외여닫이문(0750 x 2100mm)	0.902	2.176	
2	문	목재 양여닫이문(880 x 2000mm)	1.032	2.076	
3	문	목재 외여닫이문(1000 x 2200mm)	1.152	2.276	
4	창	미닫이(3600x2000mm)	3.630	2.015	0.502

그림 19. 통합프로그램에 반영된 요구정보 생성 및 관리기술

3.3 실내공기질 법규 및 자재정보 관리 기술(핵심성과 2)

단위성과	<2-1>	실내공기질 관련 자재 DB 구축
	<2-2>	실내공기질 관련 법규 DB 구축
	<2-3>	실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술
연차	단위성과별 주요 연구내용	
1차년도	<2-1> 실내공기질 관련 자재 DB 구축 (1) 통합관리 시스템 데이터베이스 개요도 구성 실내공기질 통합관리 시스템에서 관리되어야 하는 정보를 3종류로 구분하여 데이터베이스 모델을 제시하였음. BIM모델에서 추출된 정보, 자재별 적용된 제품에 관한 정보, 그 외의 정보에 해당하는 법규정보 및 현장정보임.	
	(2) ERD정의 및 세부 엔티티에 따른 데이터테이블 구성 실내공기질 통합관리 시스템에 활용 가능한 ERD 및 엔티티에 따른 데이터테이블을 제시하였음. ERD와 데이터테이블은 크게 건물의 기본정보, 건물의 물량과 자재구분에 대한 정보, 건물에 사용된 제품정보로 구분됨.	
	(3) 친환경 제품정보 자동수집방법 제시 파이썬을 이용해 친환경 제품에 대한 통합정보를 제공하는 친환경건설자재정보시스템에서 활용 가능한 웹크롤러 프로타입을 파이썬 라이브러리로 구현하였음.	
	<2-2> 실내공기질 관련 법규 DB 구축 (4) 국내 건물인증 실내공기질 평가기준 및 관련 법규 분석 실내공기질과 관련된 평가기준 및 관련 법규를 분석하여 인증점수 획득과 관련된 평가기준을 정리하였음. 대상으로 한 국내 친환경인증제도는 녹색건축인증(G-SEED)의 실내공기질 관련 항목과 건강친화형 주택건설기준임.	
	(5) 실내공기질 최소기준 정의를 통한 법규 데이터테이블 정의 분석한 법규내용을 바탕으로 인증항목별 인증취득을 위한 기준과 산정식, 그리고 조건 등에 따른 점수와 항목 취득을 위해 필요한 제출서류를 정의하였음. 평가에 대한 기준을 인증제도 각 항목별로 각각 정의하였음.	
	(6) 실내공기질 관련 인증항목에 따른 최소기준 판단 알고리즘 개발 녹색건축인증(G-SEED)의 항목별 평가점수 산정 알고리즘과 건강친화형 주택건설기준 전체에 대한 기준 판단 알고리즘을 정의하였음. 알고리즘은 앞서 분석한 법규내용과 데이터테이블을 기준으로 작성되었음.	
2차년도	<2-3> 실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술 (7) 단계별 BIM정보와 실내공기질 정보연계 알고리즘 개발 BIM정보에서 추출되는 정보는 건물 면적정보 및 자재정보로 웹에서 수집된 제품관련정보는 BIM에서 추출된 정보 중 자재명과 연동되어 통합프로그램에서 사용됨. 또한, 법규정보는 인증템플릿에 반영되어 통합프로그램에서 생성된 결과물을 출력하는 과정에서 사용으로 반영됨.	
	(8) 건물유형 및 규모별 실내공기질 최소기준을 활용한 최소기준 판정모듈 실내공기질 법규 및 자재정보 관리 기술 중 법규에 대한 정보는 통합프로그램 구현을 위해 개발한 인증템플릿을 활용해 반영하여 별도의 관리체계 없이 사용가능함. 1차년도에 정의하였던 관련 산정식 및 알고리즘과 동일하며, 2017년 녹색건축인증의 세부항목들이 개정되면서, 통합프로그램 및 인증템플릿에는 개정된 기준이 반영되었음.	
	(9) 자재 및 법규 DB관리 프로그램 개발 새로운 제품의 개발에 따라 지속적인 업데이트가 필요하다는 문제점을 개선하기 위해 자동 제품정보수집 프로세스에 구현에 필요한 정보수집 항목을 정의하였음. 실내공기질 친환경 제품정보 수집 프로세스 구현을 위해 웹크롤러와 온톨로지를 구현하였으며, 검증된 온톨로지의 자재속성을 통합프로그램에 반영해 기능을 구현하였음.	
구분	관련 성과물	
1차년도	■ 보고서 2건 - 자재DB 구축 보고서 [증빙 4] - 법규DB 구축 보고서 [증빙 5] ■ 특허 출원 1건 - BIM기반의 건축물 실내공기질 인증평가방법 및 장치(출원번호 : 10-2017-0053143), 2017.04.25 [증빙 21]	
2차년도	■ 보고서 1건 - 실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술 테스트 결과보고서 [증빙 6] ■ SCI논문 1건 - Identifying Effective Fugitive Dust Control Measures for Construction Projects in Korea, 2018.04, Sustainability, Vol. 10(4) [증빙 28] ■ 특허 등록 1건 - BIM기반의 건축물 실내공기질 인증평가방법 및 장치(등록번호 : 10-1778764), 2017.09.08 [증빙 23]	

(1) 통합관리 시스템 데이터베이스 개요도 구성

- DB에서 관리되어야 하는 정보는 ‘BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈’에서 생성된 BIM모델에서 추출된 정보, ‘실내공기질 자재 및 법규정보 관리모듈’에서 생성된 자재별 적용제품에 관한 정보, 그리고 법규DB, 현장DB에 포함된 그 외의 정보로 구분됨.
- BIM모델에서 추출된 정보는 ‘세대유형’, ‘동’, ‘호’, ‘실명’, ‘건물 부위명’, ‘면적’, ‘체적’, ‘길이’, ‘자재명’, ‘개구부의 개폐여부’로, ‘세대유형’, ‘동’, ‘호’, ‘개구부의 개폐여부’는 모델링 과정에서 수작업으로 입력되는 정보임.
- 자재별 적용제품에 관한 정보는 BIM에서 추출된 자재 관련 정보와 친환경제품정보 DB에서 생성되는 정보로, 친환경제품정보 DB에서는 ‘제품명’, ‘제조회사’, ‘제조회사 연락처’, ‘제조회사 홈페이지’, ‘환경표지인증 만료일’, ‘환경표지인증서’, ‘GR인증 만료일’, ‘GR인증서’, ‘탄소표지인증 만료일’, ‘탄소표지 인증서’, ‘특허유효만료일’, ‘특허등록증’, ‘오염물질 방출량’에 대한 정보가 생성됨.
- 그 외의 정보는 법규DB와 현장DB의 정보가 포함됨. 법규DB에는 인증 기준을 충족하기 위하여 계산되는 정보로 환기량, 오염물질 방출량, 적용된 제품의 면적 비율 등에 대한 정보가 포함됨. 현장DB에는 현장개요, 현장시공사진, 현장적용서 등과 같이 예비인증 이후 실제로 현장에서 수행된 작업들에 대한 증빙자료가 포함됨.
- 생성 및 관리되는 정보들을 인증정보 DB에 저장되어 인증템플릿에 출력되어 결과물 생성에 활용됨.

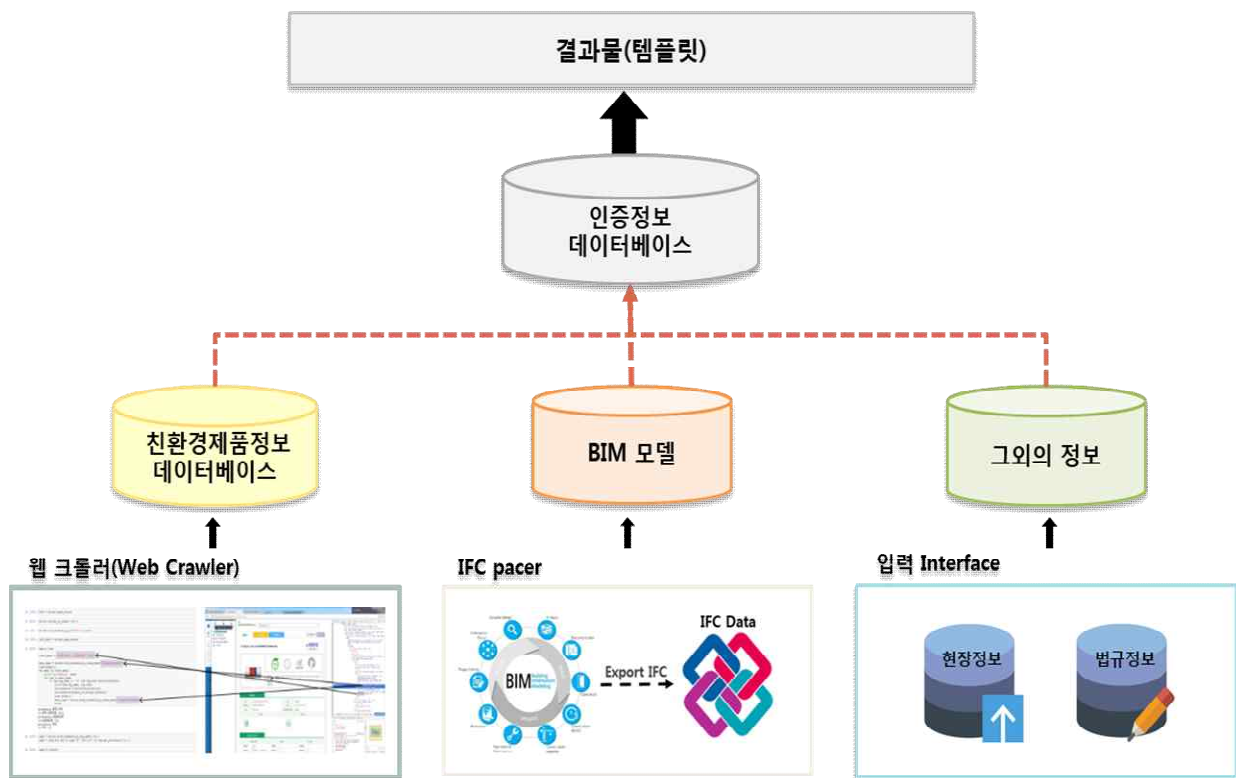


그림 20. 통합관리시스템 DB개요

(2) ERD정의 및 세부 엔티티에 따른 데이터테이블 구성

(가) ERD(Entity Related Diagram)

- 실내공기질 통합관리시스템 DB 구축을 위한 ERD(Entity Related Diagram, 이하, ERD)를 작성하였음. ERD에 포함되는 엔티티(Entity, 이하 엔티티)는 크게 건물의 기본정보 관련 정보, 건물의 물량과 자재구분 관련 정보, 건물에 사용된 제품정보 관련 정보로 구분됨.
- 건물의 기본정보 관련 정보는 ‘동’, ‘세대유형’, ‘세대’, ‘실’, ‘부위’가 있음.
- 건물의 물량과 자재구분 관련 정보는 ‘수량’, ‘자재구분’, ‘자재수량’, ‘설계자재’, ‘개구부타입’, ‘자재구분’이 있으며, 정보에 포함되는 정보 대부분이 BIM에서 생성되어 추출되는 정보임.
- 건물에 사용된 제품정보 관련 정보는 ‘제품명’, ‘제조회사’, ‘연락처’, ‘홈페이지’, ‘환경표지인증만료일’, ‘환경표지인증서’, ‘GR인증만료일’, ‘GR인증서’, ‘탄소표지인증만료일’, ‘탄소표지인증서’, ‘특허인증유효일’, ‘특허등록증’이 있음.
- 포함되는 엔티티 중 ‘수량’ 엔티티는 8개의 PK(Primary Key, 이하 PK)를 주어 정보를 구분하였으며, 세부내용에는 3가지 시리얼넘버(SN)가 포함됨. 실SN은 동일한 실명에 대한 구분을 주며, 부위SN은 실 안에서 있는 동일한 부위에 대한 구분을, 부위SN2는 해당부위에 설치된 자재에 대한 구분을 줌. 부위SN2에는 개구부가 설치된 자재로 포함됨.
- ERD를 정의하기 위하여 MS ACCESS를 이용하여 데이터베이스를 구성하였으며, 엔티티 구성과 관계설정에 대한 내용은 전문가 자문을 통하여 검증하였음.

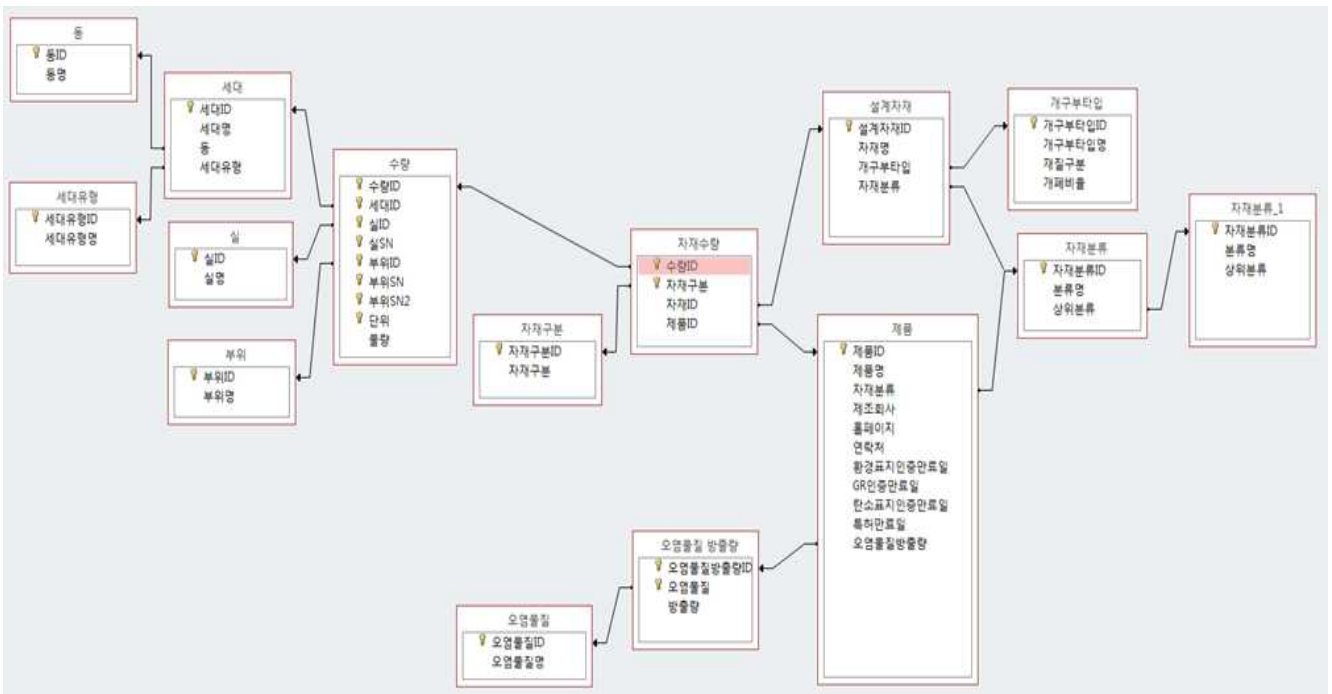


그림 21. 통합관리 프로그램 ERD

(나) ERD정의에 따른 데이터테이블 구성

- 데이터 테이블을 ‘건물의 기본정보’, ‘건물의 물량과 자재구분에 대한 정보’, ‘건물에 사용된 제품정보’로 구분하여 정리하였음.
- 건물의 기본정보에 대한 데이터테이블은 ‘동’, ‘세대’, ‘세대유형’, ‘실’, ‘부위’로 각각의 ID는 데이터베이스 안에서 부여됨. BIM과 친환경제품정보 데이터베이스를 통해 생성된 정보를 저장하는 기준이 되며, 세대를 기준으로 정보를 생성함. ‘동’, ‘세대’, ‘실’에 대한 정보는 무수히 추가될 수 있으며, ‘세대유형’은 기본형, 확장형으로, ‘부위’는 천장, 벽, 바닥으로 구분됨.
- 건물 물량정보와 자재구분에 대한 데이터테이블은 ‘수량’, ‘자재수량’, ‘자재구분’, ‘설계자재’, ‘자재분류’, ‘개구부타입’으로 BIM에서 생성되는 정보로 구분이 저장됨.
- ‘수량’, ‘자재수량’, ‘설계자재’, ‘자재분류’, ‘개구부타입’에 대한 정보는 무수히 추가될 수 있으며, ‘자재구분’은 내장재, 최종마감재, 접착제, 몰딩재, 코킹재, 걸레받이로 구분됨. 또한,
- ‘수량’ 엔티티는 8개의 PK와 3개의 SN을 가지고 있으며, 각각의 키(Key)에 의미를 부여하여 정보를 구분함.
- 실 SN은 동일한 ID를 갖는 실을 구분하며, SN을 주어 방1, 방2 등과 같은 구분함. 부위 시리얼넘버(SN)1은 실에 포함된 부위의 위치를 표현하며, SN을 주어 벽1, 벽2등과 같은 구분을 부여함. 부위 시리얼넘버(SN)2는 부위에 사용된 자재구분을 표현하며, 부위 시리얼넘버(SN)2 구분으로 개구부를 구분함. 단위는 m², m로 구분되며 m²는 개구부를 m는 코킹재를 지칭함.

ex. 수량 및 수량관련 예시

부위ID	부위 SN1	부위 SN2	단위	물량
E002	1	0	m ²	100
E002	1	1	m ²	40
E002	1	2	m ²	60
E002	1	3	m ²	50

ex. 벽1

(최종마감재 및 내장재 - 부위 SN2 : 0)



그림 22. 수량 엔티티 예시

- 건물에 사용된 제품정보 관련 정보는 ‘제품명’, ‘제조회사’, ‘연락처’, ‘홈페이지’, ‘환경표지인증만료일’, ‘환경표지인증서’, ‘GR인증만료일’, ‘GR인증서’, ‘탄소표지인증만료일’, ‘탄소표지인증서’, ‘특허인증유효일’, ‘특허등록증’, ‘오염물질 방출량’이 있음.
- 건강친화형 주택건설기준과 녹색건축인증(G-SEED)에서 관리되어야 하는 오염물질은 휘발성유기화합물(VOCs)과 폼알데히드(HCHO)임.

(3) 친환경 제품정보 자동수집방법 제시

(가) 친환경 제품정보 자동수집을 위한 추출 알고리즘

- 파이썬을 이용하여 특정사이트에서 정보를 수집할 수 있는 프로토타입의 친환경제품정보 웹 크롤러를 개발하였음. 친환경건설자재정보시스템(<http://gmc.greenproduct.go.kr/>)을 SEED URL로 하여 파이썬 라이브러리를 활용하여 명령을 주어 데이터수집을 수행하였음.
- 수집된 정보는 ‘제품명’, ‘제조회사’, ‘홈페이지’, ‘연락처’, ‘환경표지인증 만료일’, ‘환경표지인증서’, ‘GR인증 만료일’, ‘GR인증서’, ‘탄소표지인증 만료일’, ‘탄소표지인증서’, ‘특허유효만료일’, ‘특허만료일’ 임.
- 웹크롤링 프로세스가 수행되기 위해서는, 먼저 정보를 수집할 페이지를 SEED URL로 지정함. 다음으로 페이지의 HTML구조를 분석하여 크롤링하기 원하는 정보가 포함되어 있는 HTML구문을 찾음. 해당 HTML구문에 정보수집 기능을 수행하는 명령어를 주어 정보를 추출함. 마지막으로 필요한 데이터를 표로 정리하여 엑셀파일로 저장함. 현재 프로토타입으로 개발한 웹크롤러는 인증서 파일을 저장하는 것이 아니라 인증서 파일이 있는 위치에 대한 URL을 수집함.

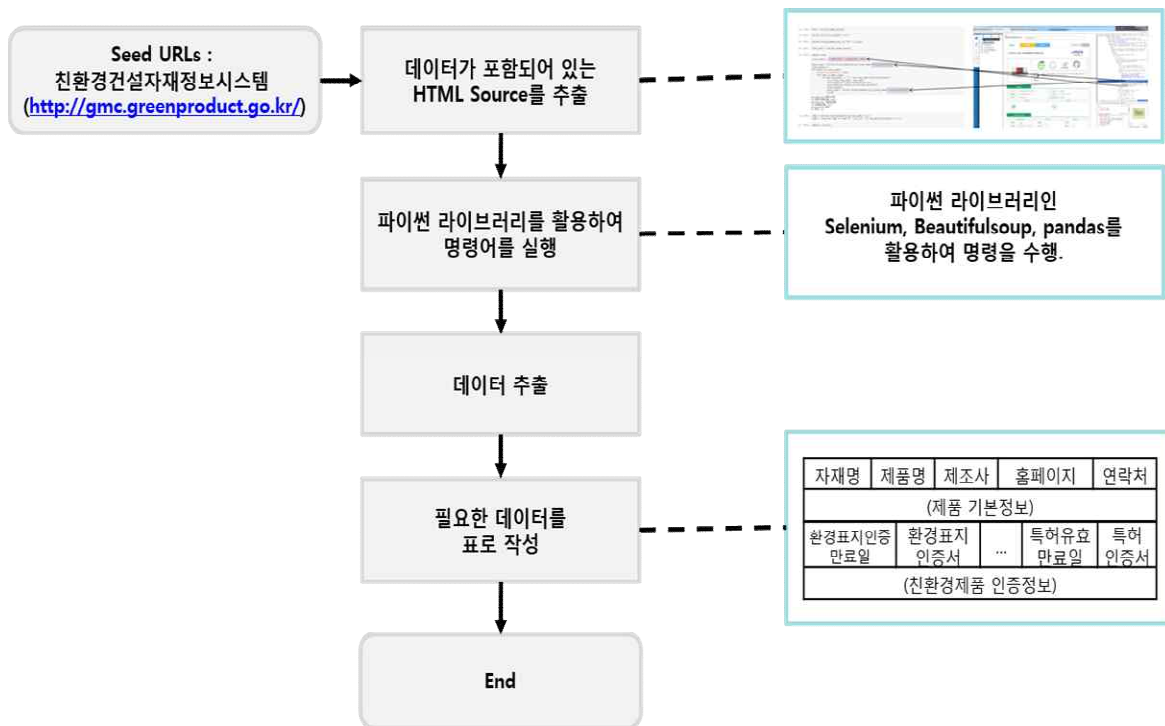


그림 23. 웹크롤링 수행 프로세스

(나) 친환경 제품정보 자동수집 세부 수행과정

- 정보수집을 위해 SEED URL로 지정한 웹페이지는 정부기관에서 인증하는 대다수의 인증관련 정보를 공개하고 있음. 페이지 중 제품에 대한 정보를 게시하고 있는 친환경제품정보 카테고리 를 시작으로 크롤링을 수행하였음.
- 먼저, 수행과정1에서는 카테고리에서 분류하고 있는 제품분류체계에 대한 정보를 크롤링하였 음. 분류체계는 대분류, 중분류, 소분류로 나누어지며, 소분류 하위로 제품 정보가 포함되어 있음. 파이썬 라이브러리인 셀레니움(Selenium, 이하 셀레니움)을 활용하여 분류체계를 포함 하고 있는 HTML구조에 대해 명령문을 수행하였음.
- 다음으로 제품에 해당하는 문서 이미지에 대하여 자동으로 클릭하는 명령을 수행하였음. 명령 이 수행되면 제품에 대한 상세정보가 보여지게 됨. 또한, 제품 상세정보를 포함하고 있지 않 은 페이지는 자동으로 크롤링 과정에서 배제되도록 명령을 수행하였음. 정보수집이 수행될 표 에는 제품기본정보, 친환경제품인증정보, 제조회사정보가 기재되어 있음.
- 마지막으로, 웹크롤러는 수집한 정보 중 ‘제품명’, ‘제조사’, ‘홈페이지’, ‘연락처’, ‘환경표지인증 만료일’, ‘환경표지인증서’, ‘GR인증 만료일’, ‘GR인증서’, ‘탄소표지인증 만료일’, ‘탄소표지인증서’, ‘특허유효만료일’, ‘특허만료일’ 로 표를 구성하여 원하는 파일형식으로 저장함. 본 프로토타입 프로그램은 다른 프로그램 혹은 DB와의 연동을 고려하여 엑셀 파일로 저장되도록 결과물을 지정하였음.

In [292]: a = [makeInfoTable(soup), makeInfoTable(soup)]
pd.DataFrame(a, columns=['제품명', '제조사', '홈페이지', '연락처', '환경표지인증만료일', 'GR인

Out[292]:

	제품명	제조사	홈페이지	연락처	환경표지인증 만료일	GR 인증 만료일	탄소표 지인증 만료일	특허 유효 만료 일
0	에어푸르트 블리스파저 Vliesfaser731	(주)리빙스톤에코하 우스	http://www.living-stone.co.kr	02-563-1404	2016-08-12 ~ 2018-08-11			
1	에어푸르트 블리스파저 731(ERFURT Vliesfaser731)	(주)리빙스톤에코하 우스	http://www.living-stone.co.kr	02-563-1404	2016-08-12 ~ 2018-08-11			



자재명	제품명	제조사	홈페이지	연락처	환경표지인증 만료일	환경표지 인증서	...	특허유효 만료일	특허 인증서
(제품 기본정보)					(친환경제품 인증정보)				

그림 24. 파일저장 직전 마지막 수행과정

[결과물]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																																

그림 25. 웹크롤링 수행 결과물

(4) 국내 건물인증 실내공기질 평가기준 및 관련 법규 분석

(가) 녹색건축인증(G-SEED)

- 녹색건축인증제도는 녹색건축물 조성지원법 제16조(녹색건축의 인증)¹⁾에 의거하여 시행되고 있으며, 녹색건축 인증에 관한 규칙에서 녹색건축 인증 대상 건축물의 종류, 인증기준 및 인증절차, 인증유효기간, 수수료, 인증기관 및 운영기관의 지정 기준, 지정 절차, 업무범위, 인증받은 건축물에 대한 점검이나 실태조사 및 인증 결과의 표시 방법에 관하여 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정하고 있음.
- 또한 녹색건축 인증기준에서 인증신청서류, 인증기준 및 등급 및 인증수수료에 대하여 규정하고 있으며, 공동주택, 복합건축물(주거), 업무용 건축물, 학교시설, 판매시설, 숙박시설, 소형주택, 기존 공동주택, 기존 업무용 건축물 및 그 밖의 건축물 등에 건물 용도별 인증심사 기준을 제시하고 있음.
- 녹색건축물 인증 평가 항목 중 7. 실내환경에서 실내공기질에 대한 평가항목을 제시하고 있음. 공동주택의 경우, 실내공기오염물질 저방출 제품의 적용, 자연 통풍확보 여부, 단위세대의 환기성능확보여부에 대하여 평가하고 있음.

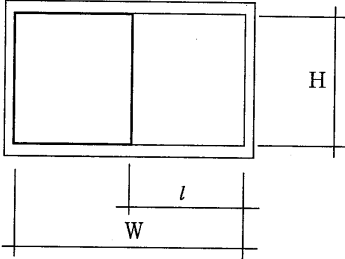
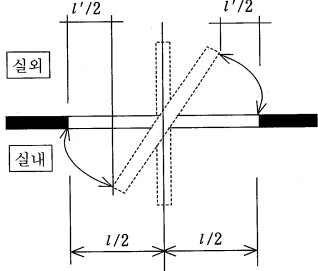
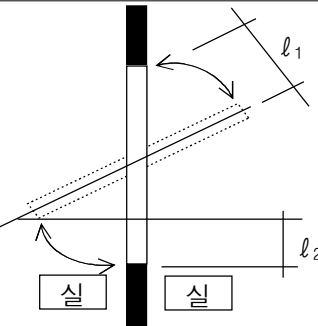
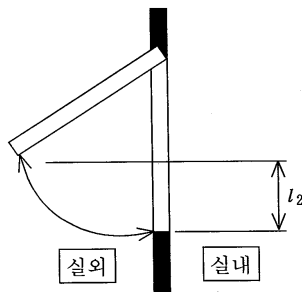
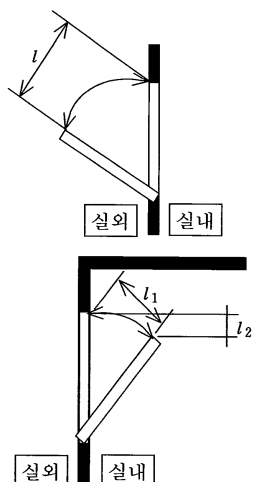
표 20. 녹색건축인증 7. 실내환경 관련 평가 항목

평가항목	세부평가기준	구분	배점
7.1 실내공기오염물질 저방출 제품의 적용	유해화학물질 저방출제품의 적용정도에 대해 평가	필수항목	2
7.2 자연 통풍 확보 여부	거주자가 직접 외기를 도입할 수 있도록 자연통풍이 가능한 환기창의 설치 여부를 평가	평가항목	2
7.3 단위세대의 환기성능확보여부	실내공기환경을 건강하고 안전하게 유지하기 위하여 요구되는 최소환기량 및 일정수준 이상의 환기성능 확보에 필요한 적정 환기설비의 설치여부를 확인	평가항목	2

- 또한, 이와 더불어 자연통풍 확보 여부에 대한 [별표2]가 있어 개구부의 유효면적에 따른 산정식에 대한 기준을 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」, [별표2]의 배연창 유효면적 산정 기준을 참조하여 정의하였음.

1) 녹색건축물 조성지원법 제 16조(녹색건축의 인증) 제1항 국토교통부장관은 지속가능한 개발의 실현과 자원절약형이고 자연친화적인 건축물의 건축을 유도하기 위하여 녹색건축 인증제를 시행한다.

표 21. [별표 2] 배연창의 유효면적 산정기준(제14조제1항제2호관련)

구분	유효면적 산정식	참조
미서기창	$H \times \ell$	 ℓ : 미서기 창 의 유효폭 H : 창 의 유효 높이 W : 창문의 폭
Pivot 종축창	$H \times \ell' / 2 \times 2$	 H : 창 의 유효 높이 ℓ : 90° 회전시 창호와 직각방향으로 개방된 수평거리 ℓ' : 90° 미만 0° 초과시 창호와 직각방향으로 개방된 수평거리
Pivot 횡축창	$(W \times \ell_1) + (W \times \ell_2)$	 W : 창 의 폭 ℓ_1 : 실내측으로 열린 상부창호의 길이방향으로 평행하게 개방된 순거리 ℓ_2 : 실외측으로 열린 하부창호로서 창틀과 평행하게 개방된 순수평투영거리
들창	$W \times \ell_2$	 H : 창 의 폭 ℓ_2 : 창틀과 평행하게 개방된 순수수평투영면적
미들창	창이 실외측으로 열리는 경우: $W \times \ell$ 창이 실내측으로 열리는 경우: $W \times \ell_1$ (단, 창이 천장(반자)에 근접하는 경우: $W \times \ell_2$)	 W : 창 의 폭 ℓ : 실외측으로 열린 상부창호의 길이방향으로 평행하게 개방된 순거리 ℓ_1 : 실내측으로 열린 상부창호의 길이방향으로 개방된 순거리 ℓ_2 : 창틀과 평행하게 개방된 순수수평투영면적 * 창이 천장(또는 반자)에 근접된 경우 창 의 상단에서 천장면까지의 거리 $\leq \ell_1$

(나) 건강친화형 주택건설기준

- 건강친화형 주택건설기준은 주택법 제21조 및 주택건설기준 등에 관한 규정 제65조에 의거하여 시행되고 있으며, 500세대 이상의 건설사업을 시행하거나 500세대 이상의 리모델링을 하는 주택이 대상이 됨. 그리고 사업계획 승인 신청 시, 자체평가서를 제출하며, 사용검사 신청전에 이행확인서를 제출해야함.
- 건강친화형 주택건설기준은 의무기준과 권장기준으로 구분되며, 의무기준의 경우, 친환경 건축자재의 적용, 플러쉬아웃 또는 베이킹 아웃 시행, 효율적인 환기성능, 환기설비의 성능검증, 친환경 생활제품의 적용, 시공관리기준 적용, 관리자 및 입주자 사용설명서 제공 등의 항목으로 평가하고 있음. 또한, 의무기준과 권장기준 달성을 위한 별표들이 존재함.

표 22. 건강친화형 주택 건설기준 - 의무기준

구분	평가내용	평가기준
1. 친환경 건축자재의 적용	1.1 실내공기 오염물질 저방출 건축자재의 적용	오염물질 방출량 기준 적합여부
	1.2 실내마감용으로 사용되는 도료의 납(Pb) 등 유해원소 함유량	환경표지 인증기준 적합여부
2. 플러쉬 아웃 (Flush-out) 또는 베이킹 아웃(Bake-out)의 시행	2.1 시행시기의 준수	모든 실내 내장마감재 및 붙박이 가구 등의 설치 이후 입주자 입주 전 시행여부
	2.2 플러쉬 아웃의 외기유입량	실내바닥면적 1m ² 당 400m ³ 이상 외기 유입방법 명시여부
	2.3 베이킹 아웃의 적용	개구부 밀폐, 실내온도 유지시간, 환기 시간 및 환기 횟수
3. 효율적인 환기성능	3.1 효율적인 환기성능	환기량, 단열성능, 표면결로방지성능 시험성적서(자연환기설비) 국가나 공인인증기관의 인증서, 시험 성적서 등 객관적 기술자료와 고성능 외기청정필터 첨부여부(기계환기설비 및 혼합형환기설비) 바이패스 기능 및 프리히터의 적용여부(열회수형 환기장치) 적용된 환기 설비의 사양이 명시된 사용설명서 첨부
4. 환기설비의 성능검증	4.1 적정 환기 효율	각 실의 환기량이 환기기준 대비 25 % 이내의 편차 유지
	4.2 TAB의 시행	대한설비공학회 “공동주택 환기설비 TAB 기술기준”에 적합 여부
5. 친환경 생활제품의 적용	5.1 빌트인 (built -in) 가전제품의 성능평가	오염물질 방출량 기준 적합여부
	5.2 붙박이 가구의 성능평가	가구유형별 오염물질 방출량 기준 적합 여부

구분	평가내용	평가기준
6. 시공관리기준의 적용	6.1 일반 시공 관리기준	실내공기오염물질 배출 공정 작업시 환기방법 제시여부
		자재 보관장소 및 방법이 명시된 자재 관리계획 수립여부
		건설폐기물의 적치, 반출계획 및 오염방지를 위한 유지관리계획 수립여부
	6.2 접착제 시공 관리기준	시공면 수분 함수율 4.5% 미만 유지방법 제시 여부
		시공면 평활도 3mm/2m 이하 유지방법 제시 여부
		실내온도 5℃ 이상 유지방법 제시 여부
		접착제 시공시의 오염물질 외부배출 대책 수립여부
	6.3 유해화학물질 확산방지를 위한 도장공사 시공관리기준	도료의 운반, 보관, 저장 및 시공에 대한 제조업체 지침(MSDS) 반영여부
		외부도장공사시 비산 및 실내 유입 방지대책 수립여부
		실내도장공사시 발생하는 오염물질의 외부배출대책 제시여부
		오염물질 저방출 장비 사용
7. 관리자 및 입주자 사용설명서 제공	7.1 플러쉬 아웃방법	실내온도 및 습도 조건의 유지 및 시행 방법 설명 여부
	7.2 환기설비 필터교환 시기 및 방법	환기설비의 필터 교환시기 및 방법 설명 여부
	7.3 결로방지를 위한 입주자 생활 행위	주기적 환기, 실내수분발생 억제방법 등의 설명 여부

표 23. 건강친화형 주택건설 기준-권장기준

구분	평가내용	평가기준
1. 오염물질 억제 또는 저감 건축자재	1.1 흡방습 건축자재 성능	흡방습 건축자재 시공부위 및 면적 적합 여부
		흡방습량 적합 자재 사용여부
	1.2. 흡착 건축자재 성능	흡착 건축자재 시공부위 및 면적 적합여부
		흡착률 및 적산흡착량 적합 자재 사용여부
	1.3 항곰팡이 건축자재 성능	항곰팡이 건축자재 시공부위 및 면적 적합여부
		항곰팡이 저항성 기준 적합여부
	1.4 항균 건축자재 성능	항균 건축자재 시공부위 및 면적 적합여부
		항균 활성치 기준 적합여부

(5) 실내공기질 최소기준 정의를 통한 데이터테이블 정의

- 녹색건축 인증 및 건강친화형 주택건설 기준에 대한 법적근거 및 기준분석을 토대로 법규 데이터 테이블을 구축하였음.
- 녹색건축인증 7.1 실내공기오염물질 저방출 제품 적용에 대한 데이터테이블을 예시로 삽입하였으며, 마감재와 붙박이 가구 적용에 대한 산출기준과 전체 점수에 대한 평가 점수 산정식으로 데이터테이블을 구성하였음.
- 예시 : 평가항목 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용

표 24. 평가항목 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용의 산정식 기준

평가내용	평가기준	산정식					구분	가중치
유해 화학물질 저방출제품의 적용 정도에 대해 평가	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수 합계 14점 이상	14	<=	A			1급	1
	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수 합계 12점 이상 14점 미만	12	<=	A	<	14	2급	0.8
	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수 합계 10점 이상 12점 미만	10	<=	A	<	12	3급	0.6
	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수 합계 8점 이상 10점 미만	8	<=	A	<	10	4급	0.4
	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수 합계 8점 미만			A	<	8	-	0

(A 는 합계 점수)

표 25. 구분기호에 따른 세부조건

구분	구분 기호	내용
최종마감재, 접착제, 최종마감재 이외의 그밖의 내장재	A	실내오염물질 저방출 제품 사용(환경표지 대상제품 및 인증기준에 적합한 제품)
	B	유리, 자연석재와 대리석, 세라믹 타일, 금속성 표면의 재료, 천연목재, 천연블록 등과 같은 휘발성 유기화합물을 방출하지 않는 재료의 사용
	C	접착제를 사용하지 않는 마감재 시공법

표 26. 적용자재 면적에 대한 산출기준

구분		산출기준	조건1	조건2			점수
최종 마감재	벽체	실내벽면(기둥, 간막이벽 포함)에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우	“Material” = A or B or C	0.7	<=	M area	2
	천장	천장면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					1
	바닥	바닥면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					2
접착제	벽체	실내벽면(기둥, 간막이벽 포함)에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					2
	천장	천장면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					1
	바닥	바닥면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					2
최종마 감재 이외의 그밖의 내장재	벽체	실내벽면(기둥, 간막이벽 포함)에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					1
	천장	천장면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					0.5
	바닥	바닥면에 실내공기 오염물질 저방출 제품이 적용된 경우					0.5

(M area = 적용자재의 면적/해당자재 부위의 전체면적)

표 27. 불박이 가구 설치_평가점수 산정 데이터 테이블

구분	내용	점수
조건 1	불박이 가구의 설치 유무	만점
조건 2	(기준에 적합한 침실내 불박이 가구 수/ 세대 전체 침실 내 불박이 가구 수) x 배점	-

표 28. 불박이 가구 설치_평가기준 데이터 테이블

구분		산출기준	점수
입주 전 설 치 되 는 불박 이 가구	침실에 설치되는 내장가구	침실에 설치되는 내장 불박이 가구의 실내공기 오염물질 방출량이 기준에 적합한 경우(드레스룸 포함)	1
	부엌에 설치되는 주방가구	부엌 등에 설치되는 주압가구(싱크대 등)의 실내공기 오염물질 방출량이 기준에 적합한 경	1
	현관 등에 설치되는 수납가구	현관 등에 설치되는 수납가구(신발장 등)의 실내공기 오염물질 방출량이 기준에 적합한 경우	0.5
	거실에 설치되는 거실 가구	거실에 설치되는 거실가구의 실내공기 오염물질방출량이 기준에 적합한 경우(단순 선방 등은 제외)	0.5

(6) 실내공기질 관련 인증항목에 따른 최소기준 판단 알고리즘 개발

- 녹색건축 인증의 실내공기질 관련 평가항목 중 하나인 7.1.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용에 대한 평가점수 산정알고리즘을 예시로 삽입하였음.
- 먼저, 실내오염물질 저방출 제품 사용유무, 휘발성유기화합물 미방출 제품 유무, 접착제 사용 유무를 검토하고, 해당되는 자재에 대한 적용 면적을 산정함. 산정된 면적이 해당 부위 면적의 70%이상일 경우, 각 재료 및 부위별 점수를 산정함.
- 그리고 불박이 가구의 경우, 불박이 가구의 설치유무를 먼저 판단하고, 설치 시, 오염물질 방출량 기준에 적합한 가구인지를 판단하여 점수를 산정함.
- 마지막으로, 저방출 자재 사용과 불박이 가구 설치에 대한 합계점수를 평가기준에 따라 평가 점수를 산정하는 순서로 평가가 진행됨.

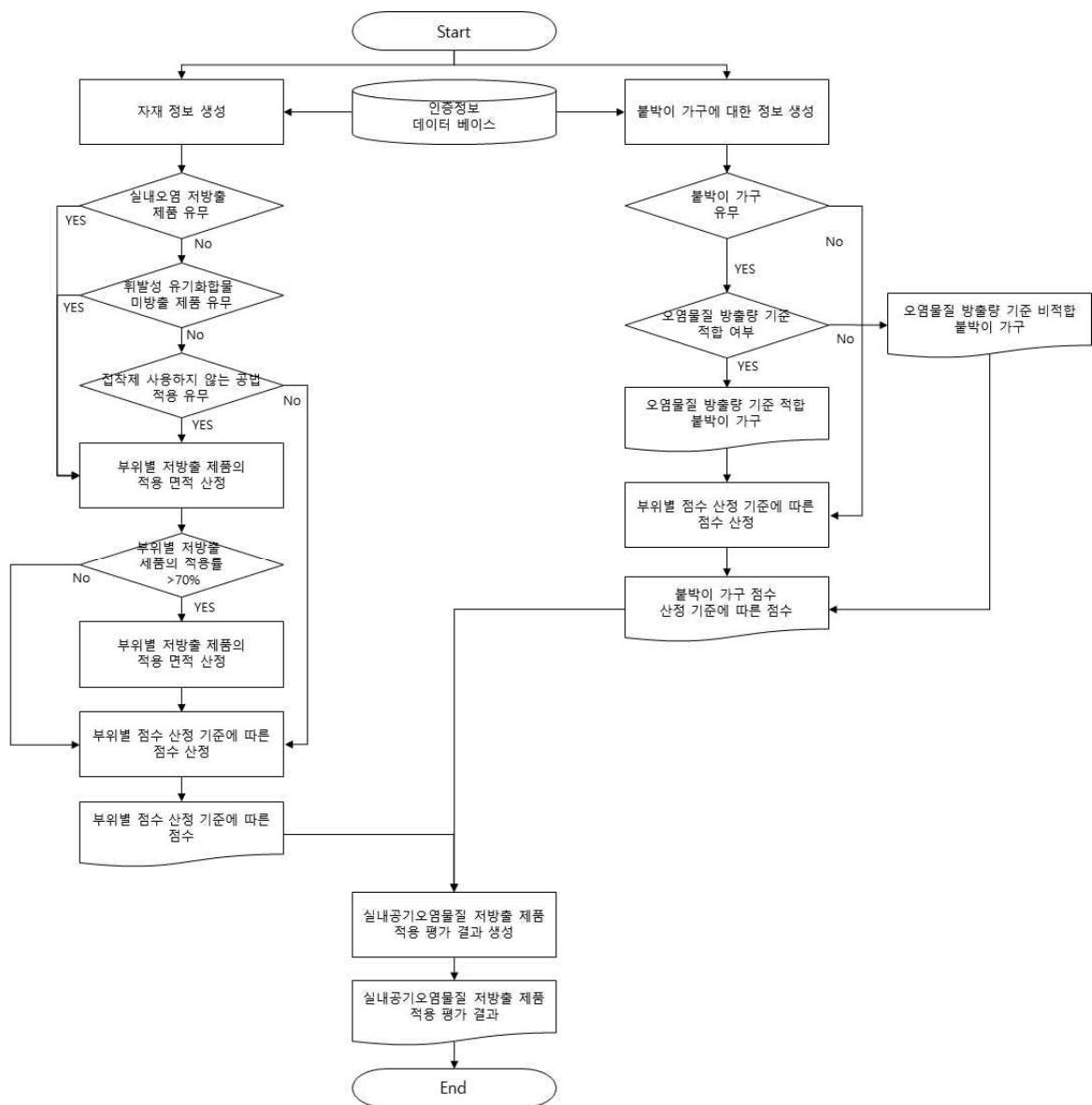


그림 26. 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 점수산정 알고리즘

(7) 단계별 BIM정보와 실내공기질 정보연계 알고리즘 개발

- BIM정보에서 추출되는 정보는 건물 면적정보 및 자재정보로 웹에서 수집된 제품관련정보는 BIM에서 추출된 정보 중 자재명과 연동되어 통합프로그램에서 사용됨. 또한, 법규정보는 인증 템플릿에 반영되어 통합프로그램에서 생성된 결과물을 출력하는 과정에서 사용으로 반영됨.

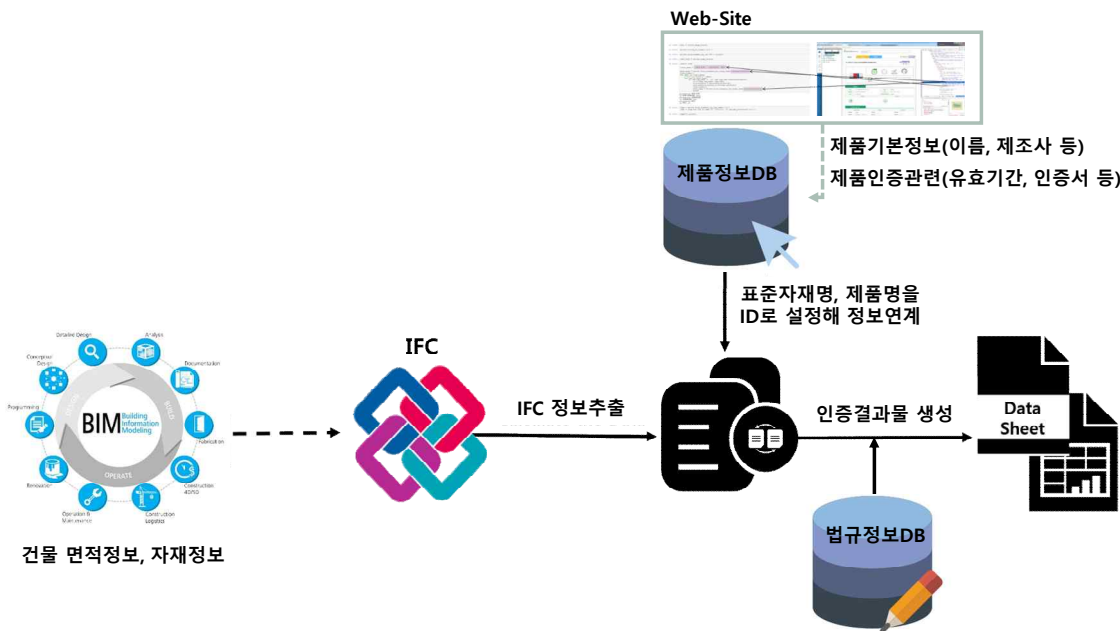


그림 27. 자재 및 법규정보 연계 개념도

- 자재DB는 친환경 제품 정보프로세스를 통해 수집된 정보와 연계하여 통합관리 프로그램에서 사용됨. BIM모델에서 추출된 정보와 연동되는 정보는 표준자재명과 제품명으로 제품의 경우, 동일한 제품을 벽, 천장 등의 부위에 중복해 사용하는 것이 가능하여 2가지 정보 모두를 연동 정보로 사용하였음.
- 친환경 제품정보 자동수집 프로세스의 수행 알고리즘을 상세하게 정의하였음. 친환경 제품정보 자동수집 프로세스를 수행하기 이전에 정보수집 준비과정으로 정보수집과 정보분류를 위한 정보분석단계와 도구사용 준비단계가 존재함.
- 정보수집을 위한 정보분석단계에서는 통합관리 프로그램의 정보관리를 위한 데이터테이블을 도출하는 것을 최종 목표로 함. 정보수집을 위한 도구사용준비단계에서는 정보수집을 수행할 웹페이지를 결정하고, 해당 페이지에서 HTML구조를 파악하여 코딩을 수행함. 각 웹페이지별로 코딩이 완료되면, 크롤링을 1회 수행하여 오류를 검토하고, 오류가 없다면 최종결과물로 웹크롤러를 도출함.
- 정보분류를 위한 정보분석단계에서는 정보수집과정에서 도출된 데이터테이블과 표준관리체계를 활용해 온톨로지 Class를 정의함. 정보분류를 위한 도구사용분석단계에서는 정보분석단계에 정의된 온톨로지 Class를 기반으로 온톨로지를 구축하거나 추론도구를 개발하며, 이에 대한 테스트를 통해 최종결과물로 추론도구를 도출함

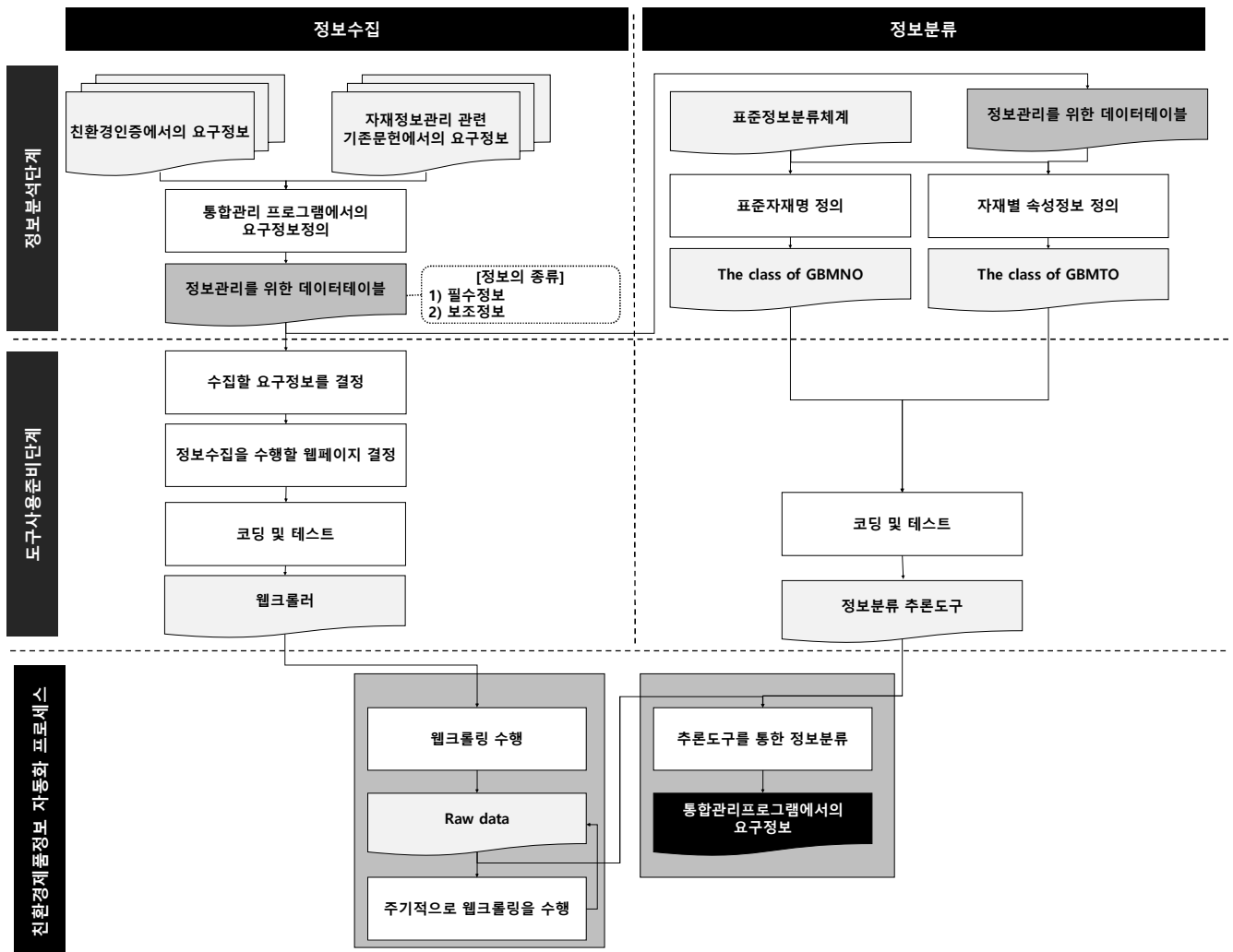


그림 28. 친환경제품정보 자동수집 프로세스 수행 알고리즘

(8) 건물유형 및 규모별 실내공기질 최소기준을 활용한 최소기준 판정모듈

- 실내공기질 법규 및 자재정보 관리 기술 중 법규에 대한 정보는 통합프로그램 구현을 위해 개발한 인증템플릿을 활용해 반영하여 별도의 관리체계 없이 사용가능함. 이에 따라 법규관리를 위한 세부기술을 추가로 개발하지 않았음.
- 현재 통합관리 프로그램에 반영되어 있는 법규관련 기준은 녹색건축인증(G-SEED), 건강친화형 주택건설기준의 인증항목에 대한 기준과 이외에 [참고자료] 및 관련 법령에 대한 내용으로, 핵심성과 4,5인 인증템플릿과 핵심성과 3인 통합관리 프로그램을 구축함에 따라 인증결과를 판단하기 위한 기준으로 사용되었음.
- 세부내용은 1차년도에 정의하였던 관련 산정식 및 알고리즘과 동일하며, 2017년 녹색건축인증의 세부항목들의 항목번호와 배점이 개정되면서, 통합프로그램 및 인증템플릿에는 개정된 기준이 반영되었음.

[녹색건축인증 개정전 예시]

평가항목		세부평가기준	구분	배점
7.1.1	실내공기오염물질 저방출 제품의 적용	유해화학물질 저방출제품의 적용정도에 대해 평가	필수항목	6
7.1.2	자연 통풍 확보 여부	거주자가 직접 외기를 도입할 수 있도록 자연통풍이 가능한 환기창의 설치 여부를 평가	평가항목	3
7.1.3	단위세대의 환기성능확보여부	실내공기환경을 건강하고 안전하게 유지하기 위하여 요구되는 최소환기량 및 일정수준 이상의 환기성능 확보에 필요한 적정 환기설비의 설치여부를 확인	평가항목	3

[녹색건축인증 개정후 예시]

평가항목		세부평가기준	구분	배점
7.1	실내공기오염물질 저방출 제품의 적용	유해화학물질 저방출제품의 적용정 도에 대해 평가	필수항목	2
7.2	자연 통풍 확보 여부	거주자가 직접 외기를 도입할 수 있도록 자연통풍이 가능한 환기창 의 설치 여부를 평가	평가항목	2
7.3	단위세대의 환기성능확보여부	실내공기환경을 건강하고 안전하게 유지하기 위하여 요구되는 최소환 기량 및 일정수준 이상의 환기성능 확보에 필요한 적정 환기설비의 설 치여부를 확인	평가항목	2

[illegible]

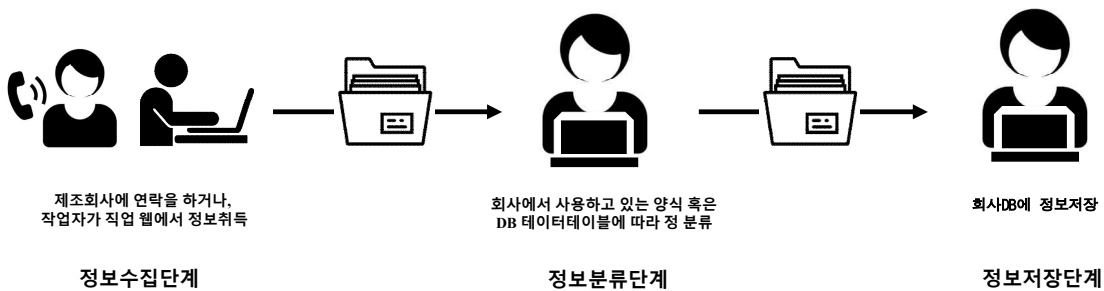
그림 29. 실내공기질 관련 법규 개정항목 예시

(9) 자재 및 법규 DB관리 프로그램 개발

(가) 실내공기질 법규 및 자재정보 관리기술 개요

- 자재에 대한 정보를 새로운 제품의 개발에 따라 지속적인 업데이트가 필요하며, 현재 친환경 인증 컨설팅회사에서 사용하고 있는 자재DB는 작업자가 수작업으로 정보를 수집하고 분류하기 때문에, 인증에 활용할 수 있는 최신의 친환경제품정보를 수집하기 위해서는 불필요한 반복업무가 작업자에게 요구됨.
- 이에 따라, 1차년도에 프로토타입으로 구현한 친환경 제품정보 자동수집방법을 활용하여 제조 회사 웹페이지에서 친환경제품에 대한 요구정보를 자동 수집하고, 이를 표준자재명에 따라 자동 분류하는 정보수집 프로세스를 구축하였음.

As-is Process



To-be Process

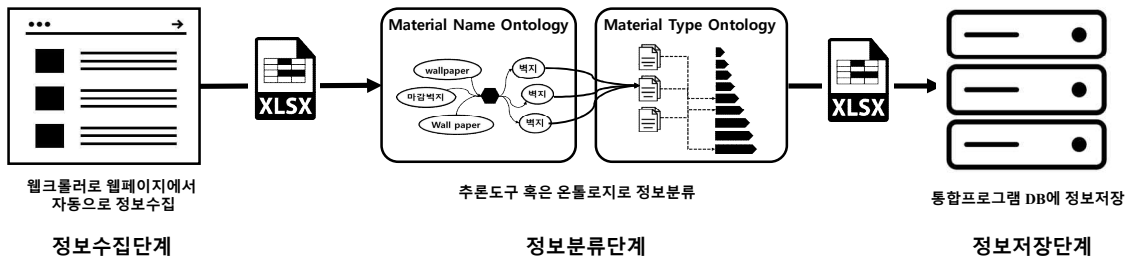


그림 30. 기존 정보수집 프로세스 및 개선 정보수집 프로세스

- 실내공기질 관련 인증취득을 위한 자재에 관한 요구정보는 이름(코드), 속성정보, 인증정보, 제조회사정보로 구분되며, 정보수집과정을 통해 제품명과 취득한 인증서가 필수정보임.
- 또한, 수집된 필수정보를 보조하기 위한 정보들이 존재함. 먼저 만약 인증서에 대한 정보가 수집되지 않을 경우, 인증서 취득을 위한 보조경로에 대한 정보로 제조회사 연락처, 홈페이지 등이 있음.
- 다음으로, 인증서의 유효기간을 관리하기 위해 인증만료일에 대한 정보가 있음. 마지막으로, 표준자재명에 따라 정보분류를 지원하기 위해 웹페이지에 사용되는 자재명과 제품규격에 대한 상세정보인 속성정보가 있음.
- 수집된 속성정보는 자재명 Thesaurus를 구현한 온톨로지의 Class구축을 위해 사용됨. 통합관리 프로그램에서는 온톨로지에서의 정의한 Class를 기반으로 하여 업로드 된 정보의 자재명으로 표준자재명으로 변화해주는 기능을 반영하였음.

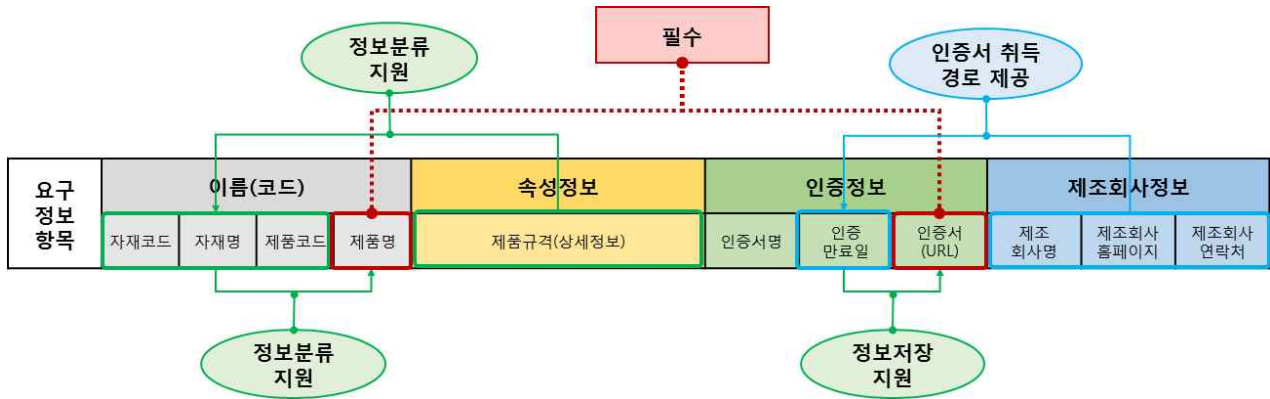


그림 31. 친환경제품 관련 요구정보

	이름(코드)		속성정보						인증정보				제조회사정보		
	자재명	제품명	부위	설치위치	재질	용도	형태	기타	취득 인증서명	인증 기관	인증 기간	인증서 (첨부파일)	제조 회사명	제조회사 홈페이지	제조회사 연락처
국내통합	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
영국통합	○	○	○									△	○	○	○
미국통합	○	○	○				○					△			
국내K사	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○
국내L사	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
해외A사	○	○	○				○						○	○	△
해외T사	○	○	○				○	○					○	○	△

그림 32. 친환경제품정보 데이터테이블

(나) 표준분류체계에 따른 자재별 속성 및 온톨로지 Class정의

- 먼저, 웹페이지에서 자동으로 수집된 정보를 일관성 있게 분류하기 위해 표준분류체계에 따라 자재별 속성을 정의하였으며, 웹페이지에서 제공되고 있는 실제정보를 확인하였음. 표준분류체계로는 UNSPSC를 기반으로 제정된 조달청 물품분류체계를 사용했으며, 세분류의 자재명을 표준자재명으로, 각각의 자재별로 제공되는 품명설명을 자재별 속성으로 정의하였음.
- 실내공기질 관련 인증항목과 관련된 자재는 최종마감재, 접착제, 기타내장재이며, 이중 부위별로 정보분류가 필요한 최종마감재를 대상으로 온톨로지 Class를 정의하였음. 최종마감재는 조달청 물품분류체계 중 3016 내장마감재와 동일한 위계를 가지며, 3016 내장마감재에 포함된 소분류 항목 중 벽, 바닥, 천장에 설치하는 자재인 301615 내벽마무리재료, 301616 천장재료, 301617 바닥재의 세분류항목들의 속성을 “부위”, “설치위치”, “재질”, “용도”, “형태”, “기타”로 구분하여 정의하였음.
- 속성에서 “설치위치”는 부위에 따라 제품이 실제로 설치되는 위치를 지칭하며, 벽의 경우, 설치위치는 구조체벽, 벽 모서리 등임. “재질”은 제품의 원재료를 지칭하며, 종이, 목재, 석고, 대리석 등이 있음. “용도”는 제품이 사용되는 목적을 지칭하며, 칸막이, 흡음용, 러그, 이중바닥 등이 있음. “형태”는 제품의 모양을 지칭하며, 제공되는 규격에 따라 추론되는 정보로, 예를 들어, 너비*길이*두께(<1.0), 포장단위가 Roll일 경우 너비를 가진 얇은 판형의 자재로 시트형이 되며, 시트형, 판형 등이 있음. “기타”는 그 외의 정보로 색상, 시공방법 등이 있음.

표 29. 내벽마무리재료(301615) 세분류에 따른 속성정의

물품분류번호	품명	부위	설치위치	재질	용도	형태	기타
30161501	벽판재	벽면		화학물질	칸막이용 이외	판형	
30161502	벽지	벽면	구조체벽	종이		시트	
30161504	모서리보강재	벽면	벽모서리				
30161505	벽패널	벽면	구조체벽	석고	칸막이용		
		벽면	구조체벽	목재			
		벽면	구조체벽	화학물질	칸막이용	판형	
30161509	석고보드	벽면	구조체벽	석고	칸막이용 이외		
30161599	인조대리석 가공제품	벽면	벽모서리 외, 구조체벽 외	대리석			
		벽면	구조체벽	대리석			

표 30. 천장재료(301616) 세분류에 따른 속성정의

물품분류번호	품명	부위	설치위치	재질	용도	형태	기타
30161601	흡음용천장재	천장			흡음용	판형	
30161602	천장패널	천장			흡음용 이외	판형	
30161604	현가천장	천장			천장설치용구 성품		
30161698	조명박스	천장			조명박스		

표 31. 바닥재(301617) 세분류에 따른 속성정의

물품분류번호	품명	부위	설치위치	재질	용도	형태	기타
30161701	카펫	바닥		직물	러그용 이외		
30161702	목재마루재	바닥		코르크외의 나무			
30161703	리놀륨	바닥		직물		판형	
30161705	고무마루재	바닥		고무			
30161706	석재 및 타일바닥재	바닥		석재			
30161707	비닐바닥재	바닥		비닐			
30161711	옥외바닥재	바닥		직물	실외용		
30161714	코르크바닥재	바닥		코르크			
30161717	이중바닥재	바닥			이중바닥		
30161719	양탄자 및 바닥용 깔개	바닥		직물	러그용		

- 실제 웹페이지에서 제공되고 있는 정보를 확인하기 위해, 친환경제품에 대한 통합정보를 제공하는 국내외 카탈로그형 웹페이지 3곳(친환경 건설자재정보시스템(<http://gmc.greenproduct.go.kr/main.do>), 영국의 그린스펙(GreenSpec, <http://www.greenspec.co.uk/>), 미국의 스위트 카탈로그(Sweets Catalog, <http://sweets.construction.com/>))와 최종마감재를 대상으로 제품정보를 제공하는 국내외 제조회사 웹페이지 4곳(K사, L사, T사, A사)에서 정보를 확인하였음. 자재 종류별로 제공되는 정보는 표31과 같으며, 설치위치에 대한 정보가 제공되지 않기 때문에 온톨로지 Class정의 시 이에 대한 정보를 제외하였음.

- 다음으로 정의된 속성을 바탕으로, 표준분류체계로 구성된 자재명 온톨로지 (Material Name Ontology)와 자재분류별 속성을 정의한 자재속성 온톨로지(Material Type Ontology)를 구축하였음. 자재명 온톨로지(Material Name Ontology)는 조달청에서 사용하는 자재분류로 클래스가 구성되며, 최하위 클래스의 인스턴스는 분류체계에서의 세분류명임.
- 자재속성 온톨로지 (Material Type Ontology)는 자재를 정의하는 속성들로 구성되며, 품명설명에 따라 정의한 부위(Element), 원자재(Raw Material), 형태(Form)와 이를 조합하여 자재별로 정의한 추론규칙인 자재유형(Material Type) 클래스가 구성됨. 또한, 친환경 관련 속성을 정의하기 위한 인증(Certification)과 제조회사(Manufacture) 클래스를 추가로 구성하였음.

표 32. 친환경인증 건설자재 온톨로지 클래스 구분

클래스	상세 설명	인스턴스
Element	건축물의 부위를 지칭	Wall, Ceiling, Floor 등
RawMaterial	원자재를 지칭	Chemical, Paper, Gypsum, Wood, Marble 등
Form	자재형태를 지칭	Sheet, Panel 등
MaterialType	자재분류에 사용되는 자재속성을 지칭	개별제품에 대해 별도로 정의
Material Name	자재명(자재분류)을 지칭	WallPaper, WallPanels, GypsumBoard, CornerGuards 등
Certification	인증기관을 지칭	Keiti 등
Manufacture	제조회사를 지칭	LGHausys, KCC ,Tuscan등

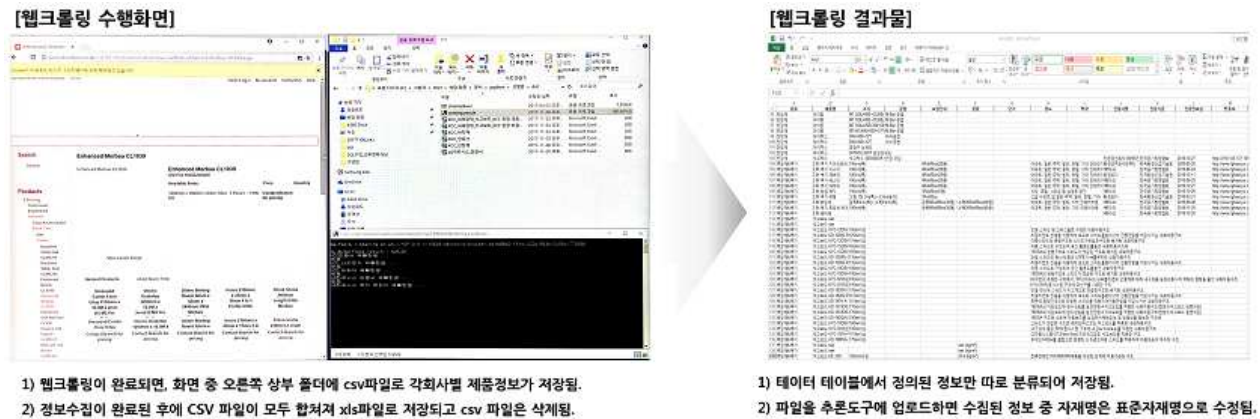
- 또한, 온톨로지는 Object Property와 Data Property를 가지는데, 클래스를 바탕으로 정의한 Property는 다음 표 33과 같음.

표 33. 친환경인증 건설자재 온톨로지 객체속성

Type	객체속성	Domain	Range
Object Property	has Element	Material Type	Element
	has Raw Material	Material Type	Raw Material
	has Form	Material Type	Form
	has Certification	Material Type	Certification
	has Manufacture	Material Type	Manufacture
	has Material Name	Material Type	Material Name
Data Property	has Another Name	Material Type	string
	has Color	Material Type	string
	has Size	Material Type	string
	has Expiration Date	Material Type	string
	has Tel	Manufacture	string
	has Web	Manufacture	string

- 정의된 온톨로지에 따라 정보가 분류되는 과정은 그림6과 같으며, 웹크롤링을 통해 수집된 raw data가 자재속성에 따라 정의된 Class인 GBMT0(Green Building Material Type Ontology)에 수집된 속성정보가 입력되면, 정의된 조건에 따라 GBMN0(Green Building Material Name Ontology)에서 표준자재명으로 정보 변환됨.

[웹크롤링을 통한 자동 정보수집]



[온톨로지를 통한 자동 정보분류]

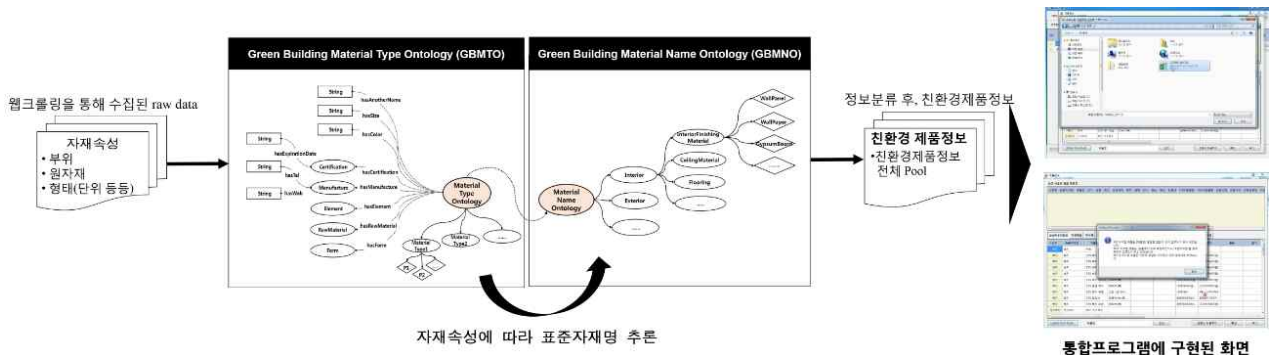


그림 33. 온톨로지 수행 프로세스

(다) 제조회사 홈페이지에 대한 친환경 제품정보 수집 프로세스 구현

- 국내 제조회사 2곳, 해외 제조회사 2곳을 선정하여 자동화 프로세스를 구현하였으며, 정보수집을 위해 파이썬 실행도구인 Anaconda 4.1.1버전을 활용하여 웹크롤러를 구축하였음. 제조회사 홈페이지에서 자재별로 정보가 수집되며, 수집된 정보는 1차적으로 csv파일로 저장된 후에 모든 웹페이지에서 정보수집이 완료된 후 xls파일로 합쳐서 저장됨. 또한, 정의한 Class와 Property를 바탕으로 온톨로지를 구현하였으며, 온톨로지 구현을 위해 Protégé v5.2.0를 활용하였음. 정보수집이 완료된 후, 수집된 xls파일은 온톨로지를 통해 표준자재명에 따라 분류됨.
- 먼저, 구글 크롬의 개발자도구를 활용하여 선정된 제품군의 정보를 포함하고 있는 웹페이지의 HTML구조를 파악하였으며, 친환경인증서를 공개하고 있는 홈페이지에 대해서는 제품정보와 인증서를 구분하여 크롤링을 수행하였음. 다음으로, 파이썬 라이브러리로 불필요한 이미지정보를 차단하고, 크롬드라이버(Chrome Driver)와 파이썬 라이브러리를 활용하여 정보수집을 수행하였음. 각각의 홈페이지에서 자재명, 제품명, 형태(크기, 중량), 공법, 포장단위, 단가, 용도, 색상, 인증서명, 인증기관, 인증만료일, 인증서, 제조회사명, 제조회사홈페이지(SEED

URL)에 대한 정보를 수집할 수 있었음.

- 각 회사별 홈페이지에서 순차적으로 제품정보를 수집하여 1차적으로 csv파일로 저장하였으며, 모든 페이지의 정보수집이 완료되면 하나의 파일로 합쳐서 xls파일을 생성하고, 정보수집과정에서 생성된 .csv 파일을 자동으로 삭제되도록 하였음. 수행이 완료되면 상세화면의 하단 창과 같이 ‘완료’ 라고 진행상태가 출력되도록 하였음.

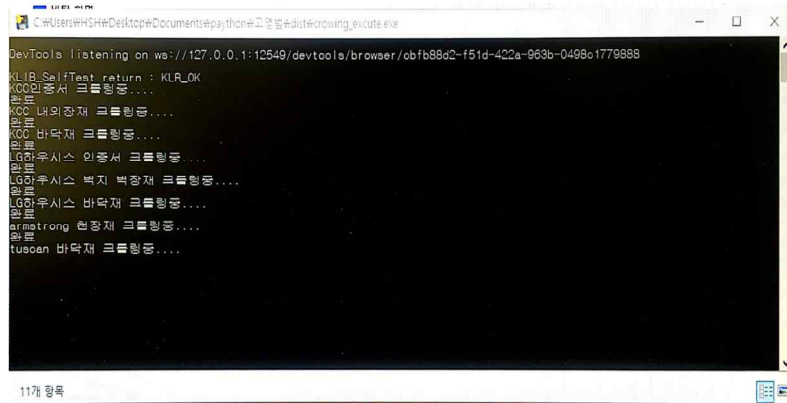


그림 34. 웹 크롤러 수행중 화면

- 다음으로, 정의된 Class와 Property로 온톨로지를 구현하였음. 온톨로지는 자재명변환 Thesaurus와 같은 기능을 수행하며, 재속성을 정의하는 요소들과 자재분류체계를 구성하는 요소들을 온톨로지로 구축하여 제조회사에서의 홈페이지로부터 얻은 정보들을 자동으로 인식하고 그에 적합한 표준자재명을 도출하는 과정을 자동화하는 것을 목적으로 함.
- 제조회사의 홈페이지에서 크롤링을 통해 파싱된 부위, 설치, 원자재, 판형 정보는 각각 자재유형을 정의하는 자재유형 온톨로지 (Material Type Ontology)를 통해 자재유형 중 하나로 인식하게 되고 인식된 자재유형에 적합한 자재명이 미리 정의된 자재명 온톨로지 (Material Name Ontology)를 통해 추천되게 됨.
- 예를 들어, ‘벽, 구조체벽, 종이, 시트’가 각각 파싱되어 부위 (Element), 원자재 (Raw Material), 형태(Form) 클래스에 해당하는 하위 클래스의 인스턴스에 자동으로 인식되며, 추론을 통해 자재 유형 (Material Type)클래스의 하위 클래스 중 ‘부위는 벽, 설치위치는 구조체벽, 원자재는 종이, 형태는 시트’이라는 조건을 필요·충분조건으로 가지는 ‘Material Type_1’로 인식됨. 이 ‘Material Type_1’ 클래스는 가장 적합한 자재명으로 자재명 온톨로지 (Material Name Ontology)의 하위클래스의 인스턴스인 ‘WallPaper’를 필요조건으로 가지고 있어 결과적으로 표준자재명을 추천해주게 됨.

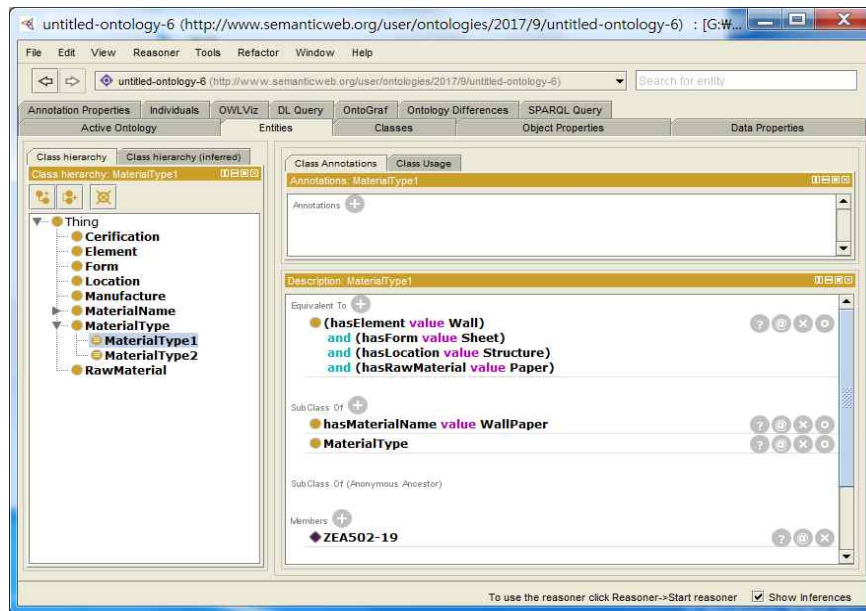


그림 35. 추론규칙 정의 화면에서

- 온톨로지의 유효성 검사와 추론은 Protege v5.2.0에 포함되어 있는 Hermit Reasoner 1.3.8.413 버전을 활용하였음. 유효성 검사 결과, 온톨로지가 자체적으로 논리적 오류가 없이 일관적으로 정의된 것으로 확인되었음. 또한 자재유형의 인스턴스로 정의된 개별 제품에 자재 속성과 자재명이 인식된 것을 확인할 수 있음. 이는 RDF형식으로 온톨로지의 클래스를 결정지을 수 있는 자재속성정보가 포함되어 있다면 추론과정을 통하여 개별 제품에 해당 자재명이 인식됨을 의미함.

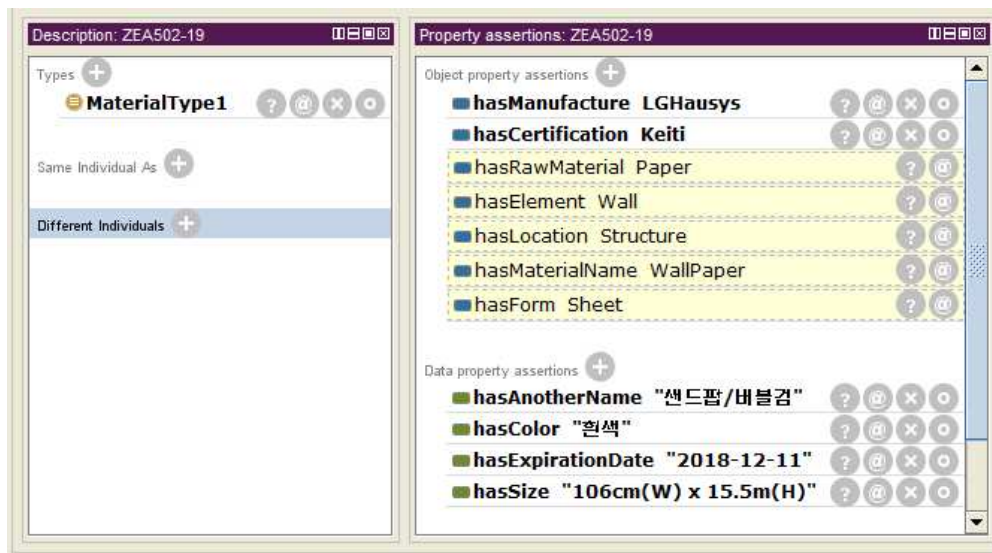


그림 36. 추론결과 화면에서

3.4 전과정 실내공기질 정보 통합관리 시스템 개발(핵심성과3)

단위성과	<3-1>	실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발
------	-------	-----------------------

연차	단위성과별 주요 연구내용
1차년도	-
2차년도	<3-1> 실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발 (1) 전과정 실내공기질 정보통합 활용 프로세스 수립 전과정 실내공기질 정보통합 활용을 위해 프로세스를 구축하였음. 프로세스는 1차년도에 정의한 모듈을 기반으로 재정의하였음. (2) 핵심성과 정보통합 활용 프로그램 UI 설계 실내공기질 정보통합관리 프로그램의 UI는 6가지 화면으로 구성되며, 로그인화면, HOME화면, 프로젝트 신규 생성화면, 신규프로젝트 등록완화면, 세부정보 입력화면, 출력화면임. (3) BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 파일럿 테스트 개요 BIM 기반 실내공기질 통합관리 프로그램에 대한 성능 검증을 위해 공동주택 BIM 모델을 대상으로 파일럿 프로젝트를 수행하였음. 결과물 도출을 위한 프로그램의 수행 프로세스는 프로그램 실행(사용자 등록, 신규 프로젝트 생성) - BIM모델 업로드 - 정보 생성 및 입력(BIM모델에서의 면적정보 추출, 친환경제품정보 및 장비정보 선택, 수동 입력 정보추가, 현장적용업로드) - 결과물 생성 순으로 진행되었음. 파일럿 프로젝트를 통해 통합프로그램에 대한 정확성과 신속성을 각 세부 모듈별로 검토하였음. (4) BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 검증결과 통합관리 프로그램에 대한 검증은 정확성과 신속성에 대하여 평가하여 진행하였으며, 각 항목에 따라서 세부 모듈별로 검토가 진행되었음. 첫 번째 정확성에 대한 평가는 BIM 모델에서 추출되는 정보의 정확성과 일관성, 친환경 제품 DB 연동 정보의 정확성, 인증 평가 결과의 정확성, 예측모듈의 측정 정보 관리부와 예측 정보 관리부 결과에 대한 정확성으로 구분하여 각 모듈의 정확성을 검증하였음. 두 번째 신속성에 대한 평가는 BIM 모델에서 정보가 추출되는데 소요되는 시간과 기존에 2D 도면을 통한 작업시간의 비교를 통해 통합프로그램의 신속성을 검증하였음. 여기서, 4가지 정확성 검증에 대한 세부 검증 내용은 다음과 같음. 첫째, BIM모델에 대해 2D 도면에서 수작업으로 산출한 면적과 BIM 모델(3D)에서 자동으로 산출된 면적에 대한 비교하였음. 비교결과, 프로그램에 적용된 IFC기반의 정보추출기술은 타기술에 비해 정확도와 신뢰도가 우수한 기술로 판단됨. 둘째, 자재 DB 연동 여부를 검증하기 위해 웹크롤링을 통해 수집된 제품정보파일을 프로그램에 업로드하여 표준자재명에 따른 정보분류여부와 인증서 다운로드과정을 검증하였음. 셋째, 인증평가 결과의 품질을 검증하기 위해 기존의 작업결과와 통합시스템에서의 작업결과를 비교하여 프로그램을 통한 결과물의 품질을 비교하였음. 마지막으로, 예측모듈에 대하여 측정 정보 관리부는 실내공기질 입력정보에 대한 출력 및 이력 관리의 정확성을 평가하고, 예측 정보 관리부는 임의의 공동주택 5건을 선정하여 프로그램을 통해 산정한 공기량 정체비와 전산유체역학으로 분석한 공기량 정체비 결과를 비교하여 프로그램 성능을 검증하였음.

구분	관련 성과물
1차년도	-
2차년도	▪ 보고서 2건 - 실내공기질 통합관리프로그램 파일럿 테스트 결과보고서 [증빙 7] - 사용자 매뉴얼 1건 [증빙 20] ▪ S/W등록 1건 - BIM(빔)정보를 활용한 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초시스템 (등록번호 : C-2018-014842), 2018.06.15. [증빙 31]

(1) 전과정 실내공기질 정보통합 활용 프로세스 수립

- 전과정 실내공기질 정보통합 활용을 위해 프로세스를 구축하였음. 프로세스는 1차년도에 정의한 모듈을 기반으로 재정의하였음.
- 핵심성과1,2에서 개발된 세부모듈은 정보의 생성과 관리기능을 수행함. 먼저, BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리모듈(핵심성과1)은 BIM에서 인증에 요구되는 면적 및 자재 관련 정보를 추출하는 모듈로 크게 부위별 자재적용 면적과 개구부 면적추출을 수행함. 다음으로 친환경제품정보 생성 및 관리모듈은 자재DB와 법규DB로 구분되며, 자재DB는 친환경제품정보를 웹에서 자동으로 수집하는 친환경제품정보 프로세스를 통해, 법규DB는 현재 인증에 활용되고 있는 인증항목을 템플릿에 반영하는 것을 통해 구현하였음.
- 핵심성과4,5에서 개발된 세부모듈은 정보의 인증평가 및 결과물 도출기능을 수행함. 먼저, 설계단계 실내공기질 성능평가모듈(핵심성과4)에서는 녹색건축예비인증과 건강친화형 주택건설 자체평가에 대한 인증결과물을 도출할 수 있음. 다음으로 시공단계 실내공기질 성능평가모듈(핵심성과5)에서는 녹색건축본인증과 건강친화형 주택건설 이행확인에 대한 인증결과물을 출력할 수 있음.
- 핵심성과 6에서 개발된 세부모듈은 BIM에서 추출된 면적정보를 활용하여 실의 유효 환기량을 예측하는 기능을 수행함.

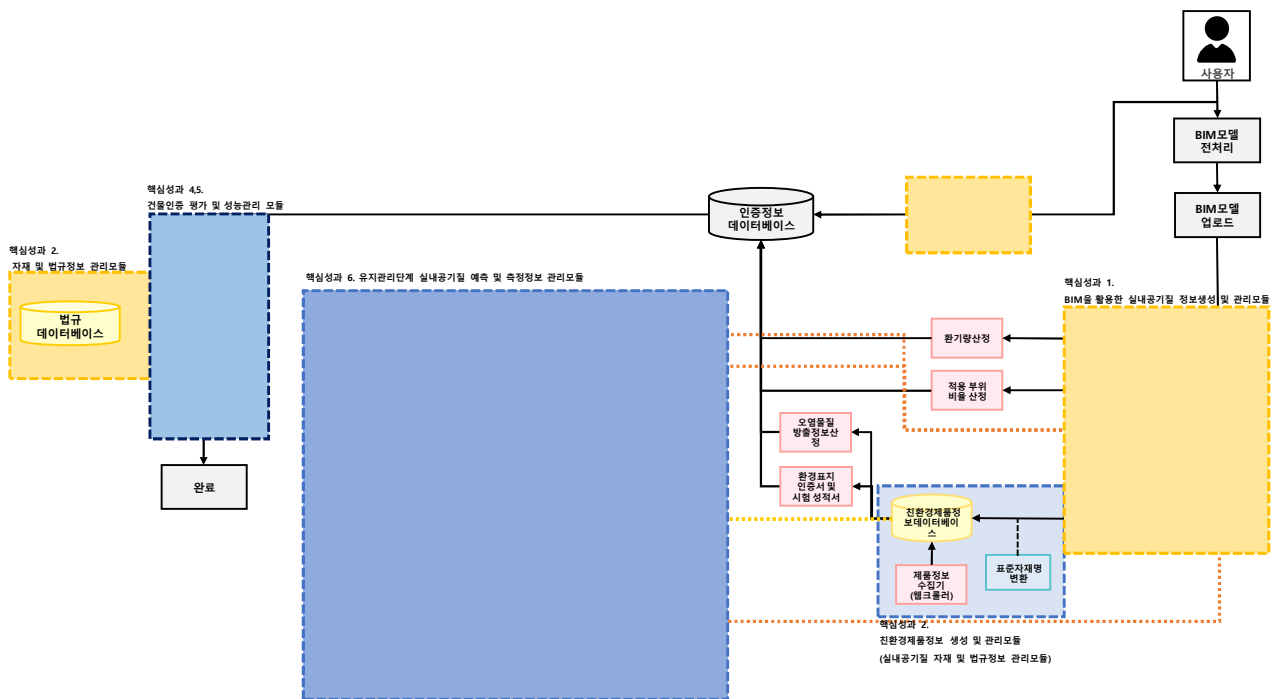


그림 37. 전과정 실내공기질 정보통합 활용 프로세스 개요도

(2) 핵심성과 정보통합 활용 프로그램 UI 설계

- 실내공기질 정보통합관리 프로그램의 UI는 6가지 화면으로 구성됨.
- 첫째 로그인 화면임. 사용자는 회원가입을 통해 개인사용자 등록을 하여 프로그램을 사용할 수 있음.
- 둘째, HOME화면임. 먼저, 사용자는 해당 페이지에서도 프로젝트를 신규 작성할 수 있으며, 각각의 프로젝트의 수정이력을 확인할 수 있음. 또한, 프로젝트와 연동된 세부모듈의 정보관리를 수행할 수 있음. 연동된 세부모듈은 법규정보모듈, 자재정보모듈, 예측정보모듈이 있음.
- 셋째, 프로젝트 신규생성화면임. 생성할 수 있는 인증의 종류는 설계단계에서의 녹색건축예비인증(G-SEED), 건강친화형 주택건설기준 자체평가, 시공단계에서의 녹색건축본인증(G-SEED), 건강친화형 주택건설기준 이행확인임.
- 현재 개발된 통합관리 프로그램에서는 신청서에 필요한 정보를 하나의 테이블로 재정의하여 프로젝트 신규생성 후 인증을 선택하는 것이 아닌, 모든 정보의 생성이 완료된 이후에 출력화면에서 인증의 종류를 선택하도록 개발되었음.
- 넷째, 신규프로젝트 등록완료 후 화면임. UI설계단계에서는 웹 드라이버를 통한 정보공유를 고려하여 UI를 설계하였지만, 개발하는 과정에서 PC당 사용하는 단독 프로그램으로 개발이 진행되어 해당화면은 삭제되었음.
- 다섯째, 세부정보 입력화면임. 세부정보입력화면에서는 BIM모델 업로드, 추출된 면적정보확인, 자재정보확인 및 변경, 장비 및 환기시스템 정보 선택, 정보 수동입력, 평가확인의 기능을 수행함(상세화면은 UI를 참조).
- 여섯 번째, 출력화면임. 출력은 평가확인이 완료된 이후에 생성되는 탭이며 해당 탭에서 출력을 원하는 서류를 선택하여 PDF로 저장할 수 있음.

[UI 설계안] : 1. 로그인화면

1. 로그인 화면

ID User 01

PW *****

로그인

ID/PW 찾기

회원가입

[UI 설계안] : 2. HOME화면

2.HOME 화면(로그인 이후 첫 화면)

User 01

법규정보, 제품정보, 예측정보 DB와 연동

HOME | 로그아웃 | Site Map

신규작성

데이터관리

프로젝트명

신청날짜

인증구분

인증구분

건물용도

전체

검색

NO	프로젝트명	신청날짜	인증구분		건물구분	진행상태	인증기관	서류출력	예측모듈
			녹색건축인증	건강친화형 주택건설기준					
39	CC 공동주택	20170811	본인증		주거용	신청완료		출력	
38	OX 공동주택	20170809		이행확인	주거용	평가중			
37	XY 공동주택	수정이력을 보여줌		자체평가	주거용	신청완료		출력	
36	DD 공동주택		예비인증		주거용	평가중			
35	OO 공동주택	20170430		이행확인	주거용	인증서발급		출력	연동
34	BB 공동주택	20170427	예비인증		주거용	인증서발급		출력	
33	XX 공동주택	20170305		자체평가	주거용	인증서발급		출력	
32	YY 공동주택	20170305	본인증		주거용	인증서발급		출력	연동
31	XO 공동주택	20170201	본인증		주거용	인증서발급		출력	연동

1

2

3

4

5

3. 프로젝트 신규생성(녹색건축 예비인증)

HOME | 로그아웃 | Site Map



User 01

녹색건축 예비인증 신청

임시저장

등록완료

Click

- 건물 세대유형 입력

세대유형		
기본형	확장유무	세대수
83A1	O	376
83A2	O	99
83B	O	91
합 계	기본형	566
	확장형	566



• 클릭하면 새로운 행 생성

• 확장유무 "O" 선택하면 확장형 있음.

[UI 설계안] : 4. 신규프로젝트 등록완료 후 화면(통합프로그램에서는 삭제)

5.신규프로젝트 등록완료

HOME | 로그아웃 | Site Map



User 01

신규작성

데이터관리

프로젝트명 신청날짜 인증구분 인증구분 건물용도 전체 검색

NO	프로젝트명	신청날짜	인증구분		건물구분	진행상태	인증기관	서류출력	예측모델
			녹색건축인증	건강친화형주택건설기준					
40	AA 공동주택	20170812	예비인증		주거용	등록 NEW			
39	CC 공동주택	20170811	본인증		주거용	신청완료			
38	OX 공동주택	20170809		이행확인	주거용				
37	XY 공동주택	20170731		자체평가	주거용	신청완료		출력	
36	DD 공동주택	20170711	예비인증		주거용	평가중			
35	OO 공동주택	20170430		이행확인	주거용	인증서발급		출력	연동
34	BB 공동주택	20170427	예비인증		주거용	인증서발급		출력	
33	XX 공동주택	20170305		자체평가	주거용	인증서발급		출력	
32	YY 공동주택	20170305	본인증		주거용	인증서발급		출력	연동

프로젝트명을 클릭하면 세부내용 창으로 이동

• 새로운 행 생성되고, 진행상태에 NEW 표시

1 2 3 4 5

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - BIM모델 업로드

6.세부내용 입력(① BIM모델 업로드)

HOME | 로그인아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

(건물 명칭) 개요

명칭	
주소	
건축물군	
용도	
구조	
규모	
대지면적	
건축면적	
연면적	
세대유형 종류 (기본형/확장형)	
총 세대수	
신청인	
실무책임자(연락처/전자우편)	
건축주(연락처)	
설계자(연락처)	

BIM 모델 업로드

기본형

세대유형		세대수
83A1	BIM모델	376
83A2	BIM모델	99
83B	업로드	91
합계		566

확장형

세대유형		세대수
83A1	BIM모델	376
83A2	BIM모델	99
83B	BIM모델	91
합계		566

임시저장

완료

Click

프로젝트 등록시 입력된 정보

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - 면적

6.세부내용 입력(② 면적정보 확인)

HOME | 로그인아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

83A1(기본형)

83A2(기본형)

83B(기본형)

83A1(확장형)

83A2(확장형)

83B(확장형)

83A1 타입 (기본형)

임시저장

완료

Click

실면적(m²)

개폐창면적(m²)

개폐창둘레(m)

실구분	바닥	(벽 둘레)	벽 1	벽 2	벽 3	벽 4	천장	총 개폐창	문	천정과	환기횟수	창1	창2	총 창면적	창1	창2	총 창둘레
거실	21.87	22.33	34.62	34.62	34.62	34.62	21.87	9.00	-	2.30	0.50	9.00	0.00	9.00	9.00	0.00	9.00
주방/식당	13.60	7.80	14.19	14.19	14.19	14.19	13.60	3.75	-	2.30	0.50	3.75	0.00	3.75	3.75	0.00	3.75
(싱크대)	0.00	3.34	7.68	7.68	7.68	7.68	0.00	0.00	-	2.30	-	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00
침실1	12.96	13.07	23.86	23.86	23.86	23.86	12.96	4.00	2.20	2.30	0.50	4.00	0.00	4.00	4.00	0.00	4.00
침실2	6.21	10.00	16.77	16.77	16.77	16.77	6.21	4.25	1.98	2.30	0.50	4.25	0.00	4.25	4.25	0.00	4.25
침실3	6.90	10.60	17.40	17.40	17.40	17.40	6.90	5.00	1.98	2.30	0.50	5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00
욕실1	3.30	7.40	14.71	14.71	14.71	14.71	3.30	0.00	1.58	2.20	0.50	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00
욕실2	3.00	7.60	15.15	15.15	15.15	15.15	3.00	0.00	1.58	2.20	0.50	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00
합관	4.21	7.55	15.06	15.06	15.06	15.06	4.21	0.00	2.31	2.30	0.50	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00
드레스룸/파우더룸	5.10	9.85	20.68	20.68	20.68	20.68	5.10	0.00	1.98	2.30	0.50	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00
단위세대 총면적(m ²)	77.15	99.54	180.11	180.11	180.11	180.11	77.15	26.00	13.60								

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - 자재

6.세부내용 입력(③ 자재정보 확인 및 선택)

HOME | 로그아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

83A1(기본형)

83A2(기본형)

83B(기본형)

83A1(확장형)

83A2(확장형)

83B(확장형)

83A1 타입 (기본형)

최종마감재 바닥

최종마감재 벽

최종마감재 천장

접착재 바닥

접착재 벽

접착재 천장

기타내장재 바닥

기타내장재 벽

기타내장재 천장

[건물 자재 정보 - 최종마감재]

임시저장

완료

• 자동계산 : (부위면적/전체면적)*100

일구분	전체면적	적용면적	적용비율	표준자재명	제조업체	제품명	유효기간	인증서	변경
거실	21.87	21.87	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
주방/식당	13.60	13.60	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
(싱크대)	-	-	-	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
침실1	12.96	12.96	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
침실2	6.21	6.21	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
침실3	6.90	6.90	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
욕실1	3.30	3.30	100	자기질타일	-	-	-	기준에 적합	재용
욕실2	3.00	3.00	100	자기질타일	-	-	-	기준에 적합	재용
현관	4.21	4.21	100	지정타일	-	-	-	기준에 부적합	재용
트레스틀/파우더룸	5.10	5.10	100	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용
장고	-	-	-	지정바닥마감	동화기업주	지장목질마루판	2015.06.10-2017.06.09	환경표지인증서	재용

• BIM에서 추출되어 자동으로 입력

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - 장비 및 환기시스템

6.세부내용 입력(④ 장비 및 환기시스템)

HOME | 로그아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

자연환기 설비

완료

기본형	83A1	83A2	83B					
적용제품 :			장비DB		적용환기량 (CMH) :		60.35	

확장형	83A1	83A2	83B					
적용제품 :			장비DB		적용환기량 (CMH) :		60.35	

기계환기 설비

완료

기본형	83A1	83A2	83B					
	장비DB	장비DB	장비DB					

확장형	83A1	83A2	83B					
	장비DB	장비DB	장비DB					

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - 수동입력

6.세부내용 입력(⑤ 장비 및 환기시스템)

HOME | 로그아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

7.3 단위세대의 환기성능 확보

구분	등급기준	가중치	적용여부	용어설명
1급	2급 + 자연 및 기계환기 설비가 하나의 시스템으로 구성되어 있으며, 필요에 따라 상호보완적으로 가동될 수 있는 혼합형(하이브리드) 환기설비가 설치된 경우	1.0	○	관련용어
2급	- 자연환기 : 3급 + 일정수준 이상⁹²⁾의 단열성능이 확보된 경우 - 기계환기 : 4등급 + 고성능 외기정정필터 및 열교환기 또는 바큇살을 이용한 환기장치가 설치된 경우	0.8		관련용어
3급	- 자연환기 : 4급 + 일정수준 이상의 조건주⁹³⁾에서 환기설비의 표면 결로방지성능이 확보된 경우 - 기계환기 : 4등급 + 고성능 외기정정필터, 열교환기, 바큇살을 이용한 환기장치 중 어느 하나가 설치된 경우	0.6		관련용어
4급	단위세대에서 시간당 0.5회에 상응하는 환기회수의 확보가 가능한 환기설비(자연환기 또는 기계환기설비)가 설치된 경우	0.4		관련용어

→ 그리고 이외에 추가적으로 수동입력 되어야 하는 세부내용들을 입력

→ 건강친화형 주택건설기준은 항목별 적합 · 부적합 여부를 선택

완료 Click

[UI 설계안] : 5. 세부정보 입력화면 - 평가확인

6.세부내용 입력(⑥ 장비 및 환기시스템)

HOME | 로그아웃 | Site Map

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

수동입력

평가확인

7.1 항목

7.2 항목

7.3 항목

7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용

최종원본

서류목록

자세평가서

적용예정확인서

점수산출표

자재리스트

실내마감표

환경표지인증서/시험성적서

면적산출서(기본형)

면적산출서(확장형)

세대유형별 평면도(기본형)

세대유형별 평면도(확장형)

첨부서류 Viewer

클릭하면 수정불가, 출력탭 생성

[UI 설계안] : 6. 출력

7. 출력

User 01

BIM모델

면적

자재

장비 및 환기시스템

평가확인

최종완료후
출력으로
탭 변경

출력

Click

1아웃 | Site Map

7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용

☒	자체평가서
☒	적용예정확인서
☐	점수산출표
☒	자재리스트
☒	실내마감표
☒	환경표지인증서/시험성적서
☐	면적산출서(기본형)
☒	면적산출서(확장형)
☐	세대유형별 평면도(기본형)
☒	세대유형별 평면도(확장형)

7.2 자연 환기성능 확보

☒	자체평가서
☒	점수산출표
☒	면적산출서(기본형)
☐	면적산출서(확장형)
☐	
☐	
☐	
☐	
☐	
☐	

출력을 원하는
서류를 체크

7.3 단위세대의 환기성능 확보

☒	자체평가서
☒	적용예정확인서
☐	점수산출표
☒	장비알람표
☒	고효율인증서/필터 시험성적서
☒	면적산출서(자연환기 기본형)
☐	면적산출서(자연환기 확장형)
☒	면적산출서(기계환기 기본형)
☐	면적산출서(기계환기 확장형)
☒	환기덕트 평면도

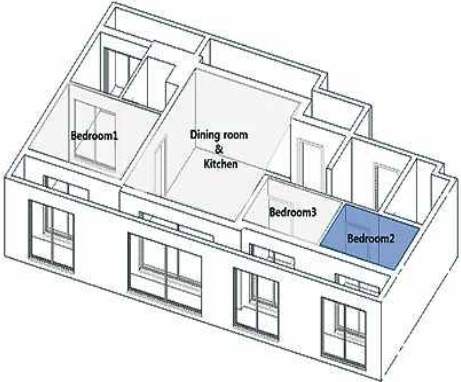
- 90 -

(3) BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 파일럿테스트 개요

(가) 파일럿테스트 프로젝트 개요

- BIM 기반 실내공기질 통합관리 프로그램에 대한 성능 검증을 위해 공동주택 BIM 모델을 대상으로 파일럿 프로젝트를 수행하였음. 파일럿 프로젝트 모델은 Revit 2016 버전으로 작성하고, IFC 4 표준파일 포맷으로 정보를 생성하였으며, 해당 프로젝트에 대한 개요는 아래와 같음.

표 34. 공동주택 프로젝트 개요

대지위치	평택000 택지지구					
지역지구	제3종 일반주거 지역					
용도	공동주택 (아파트 및 부대복리시설)					
면적(㎡)	대지면적:	37,662.1	건축면적:	4,755.37	연면적:	85,494.2
구조	철근콘크리트구조					
규모	지하 1층, 지상 25층					
세대수	600 세대					
모델	 [3D 모델]			 [2D 모델]		

(나) 실내공기질 통합관리 프로그램 실행절차에 따른 파일럿테스트 항목

- 선정된 프로젝트로 프로그램 실행(사용자 등록, 신규 프로젝트 생성) - BIM모델 업로드 - 정보생성 및 입력(BIM모델에서의 면적정보 추출, 친환경제품정보 및 장비정보 선택, 수동입력 정보추가, 현장적용업로드) - 결과물 생성에 따라 파일럿테스트를 수행하였음. 또한, 예측모델과의 연동과정을 추가로 테스트하였음.
- 통합관리 프로그램은 5가지 관점에서 파일럿 테스트를 진행하였음.
 - 첫 번째, 업로드 된 BIM모델에서 추출되는 정보의 정확성을 검증하였음. ‘평택 000택지지구’의 BIM모델은 발코니의 여부에 따라 기본형과 확장형이 구분되는 공동주택모델로, 건강친화형 주택건설기준의 개정규칙으로 인해 요구되는 외피벽면적 정보를 포함해 인증에 요구되는 면적정보를 수작업결과와 비교하였음. 또한, 기존 수작업으로 진행하던 면적추출 작업에 대한 작업자별 오차에 대한 사항을 검증을 위해 통합프로그램 면적추출의 일관성을 평가하였음.
 - 두 번째, 통합프로그램에 업로드 된 친환경 제품정보와의 연동여부를 검증하였음. 웹크롤링 수행결과물로 도출된 엑셀파일형식의 DB를 통합프로그램에 업로드하여, 온톨로지의 자재속성을 반영한 자재분류 기능의 구동여부를 검증하였음.
 - 세 번째, 출력된 인증결과물의 품질을 확인하였음. 입력된 프로젝트 정보, BIM기반 면적정보, 자재정보, 장비 및 환기시스템정보, 수동입력정보 그리고 현장적용사진정보가 결과물에 적합하게 반영되었는지를 확인하였음.
 - 네 번째, 실내공기질 예측모델의 출력 결과물에 대한 품질을 확인하였음. 예측모델은 측정 정보 관리부와 예측 정보 관리부로 구분되어 있어 각 부문에 대한 프로그램 검증을 진행하였음. 측정 정보 관리부는 실내공기질 입력정보에 대한 출력 및 이력 관리의 정확성을 기준으로 프로그램을 검증하였고, 예측 정보 관리부는 임의의 공동주택 5건을 선정하여 프로그램을 통하여 산정한 공기령 정체비 결과와 전산유체역학 분석을 통하여 산정한 공기령 정체비 결과를 비교하여 프로그램 성능을 검증하였음.

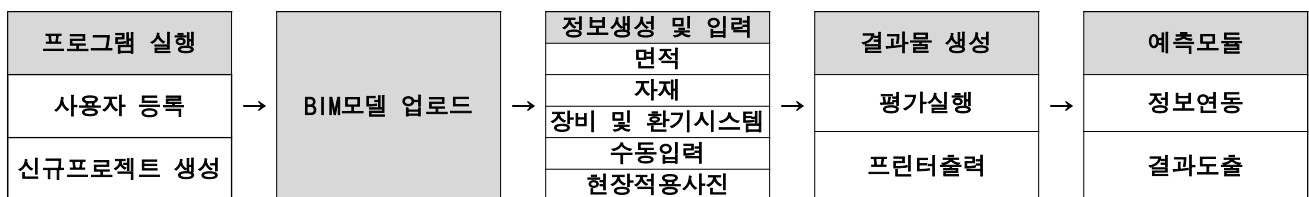
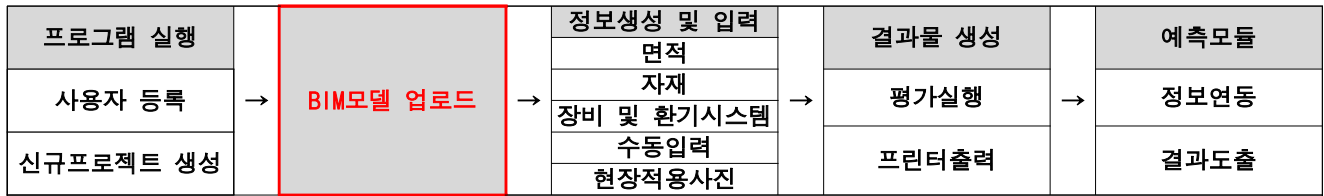


그림 38. 실내공기질 통합관리 프로그램 구동 프로세스

(다) 실내공기질 통합관리 프로그램 실행화면

프로그램 실행	→	BIM모델 업로드	→	정보생성 및 입력	→	결과물 생성	→	예측모듈
면적				평가실행		정보연동		
자재								
사용자 등록				장비 및 환기시스템		프린터출력		결과도출
신규프로젝트 생성				수동입력				
				현장적용사진				

프로그램 실행	→	BIM모델 업로드	→	정보생성 및 입력	→	결과물 생성	→	예측모듈
면적				평가실행		정보연동		
자재								
사용자 등록				장비 및 환기시스템		프린터출력		결과도출
신규프로젝트 생성				수동입력				
				현장적용사진				



실내공기질

KW1234 - 1 : 신규프로젝트

BIM 모델 세대유형 면적 자재 장비 및 환기시스템 수동입력 현장적용사진 평가실행

83A(기본형) 83A(확장형)

83A(기본형)

■ 실면적(m²)

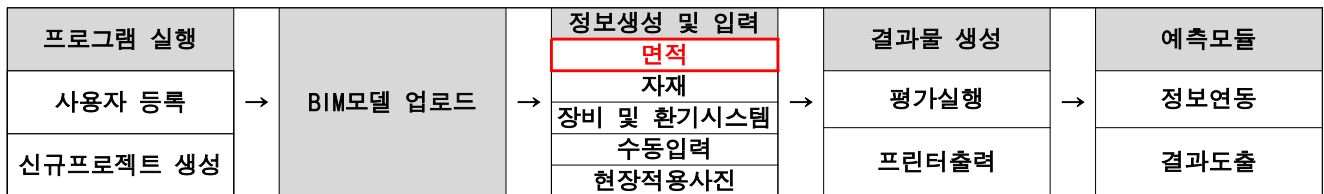
NO	실구분	바닥면적	바닥폭	바닥길이	순수벽면적	진환경벽면적	외피벽면적	천장면적	총 창면적	문면적	천장고	환기횟수
1	거실	21.73	8.865	3.639	29.01	29.01		21.73	9.00	7.74	2.509	0.50
2	주방/식당	14.30	5.790	2.730	25.29	25.29		14.30	3.75		2.509	0.50
3	침실1	13.07	3.612	3.620	26.59	26.59		13.07	4.00	2.20	2.509	0.50
4	침실2	6.30	2.720	2.318	19.05	19.05		6.30	4.25	1.98	2.509	0.50
5	침실3	6.99	3.014	2.319	19.59	19.59		6.99	5.00	1.98	2.509	0.50
6	욕실1	3.30	1.500	2.199	16.03			3.30		1.58	2.379	0.50
7	욕실2	3.01	1.499	2.310	16.04	0.16		3.01		1.58	2.379	0.50
8	현관		2.438	1.965	15.63	15.33		4.44			2.360	0.50

거실 : 마감재로별 면적 일람표

NO	구분	표준재로명	재로명	면적	외벽
1	바닥	목재마루재	나투스강	21.73	
2	벽	벽지	카라	6.88	
3	벽	벽지	카라	1.18	
4	벽	벽지	카라	1.15	
5	벽	벽지	카라	6.07	

거실 : 창/문 일람표

NO	구분	규격	목	높이	창위치
1	문	목재 외여달이문(1000 x 2200mm)	1.000	2.200	
2	창	미달이-2 파널(3600 x 2500mm)	3.600	2.500	
3	문	목재 외여달이문(0900 x 2200mm)	0.900	2.200	
4	문	목재 외여달이문(0900 x 2200mm)	0.900	2.200	
5	문	목재 외여달이문(0750 x 2100mm)	0.750	2.100	



실내공기질

TEST_KW - 1 : 평택 000택지 지구

BIM 모델 세대유형 면적 자재 장비 및 환기시스템 수동입력 현장적용사진 평가실행

83A(기본형) 83A(확장형)

83A(기본형)

■ 실면적(m²)

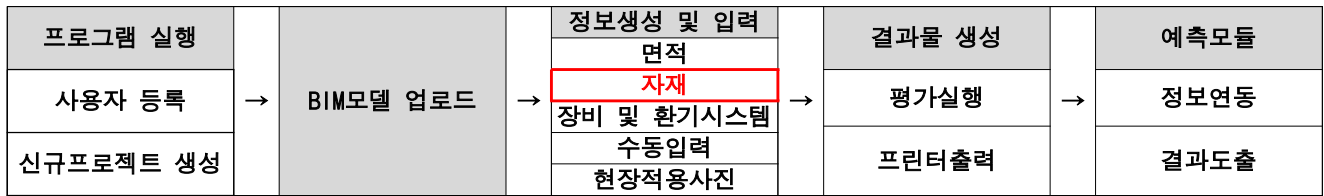
NO	실구분	바닥면적	바닥폭	바닥길이	순수벽면적	진환경벽면적	외피벽면적	천장면적	총 창면적	문면적	천장고	환기횟수
1	거실	27.61	8.864	4.940	31.54	31.54	3.07		7.31	11.50	2.299	
2	주방/식당	16.16	4.219	4.139	27.02	27.02	6.91		1.43	2.39	2.299	
3	침실1	13.07	3.614	3.618	22.62	22.62			4.51	2.62	2.299	
4	침실2	9.84	2.718	3.619	24.85	24.85	4.35		1.90	2.39	2.299	
5	침실3	10.91	3.015	3.619	25.74	25.74	4.56		2.36	2.39	2.299	
6	욕실1		1.501	2.210	14.36			3.32		1.96	2.199	
7	욕실2		1.499	2.300	14.41			3.45		1.96	2.199	
8	현관	2.96	1.590	1.861	7.24	7.24				4.76	2.306	

거실 : 마감재로별 면적 일람표

NO	구분	표준재로명	재로명	면적	외벽
1	바닥	목재마루재	나투스강	27.61	
2	벽	벽지	카라	0.84	
3	벽	벽지	카라	0.87	
4	벽	벽지	카라	1.95	
5	벽	벽지	카라	1.46	

거실 : 창/문 일람표

NO	구분	규격	목	높이	창위치
1	문	목재 외여달이문(0750 x 2100mm)	0.902	2.176	
2	문	목재 외여달이문(880 x 2000mm)	1.032	2.076	
3	문	목재 외여달이문(1000 x 2200mm)	1.152	2.276	
4	창	미달이(3600x2000mm)	3.630	2.015	0.502
5	문	목재 외여달이문(0900 x 2200mm)	1.052	2.276	



실내공기질

TEST_KW - 1 : 평택 000택지 지구

BIM 모델 세대유형 면적 자재 장비 및 환기시스템 수동입력 현장적용사진 평가실행

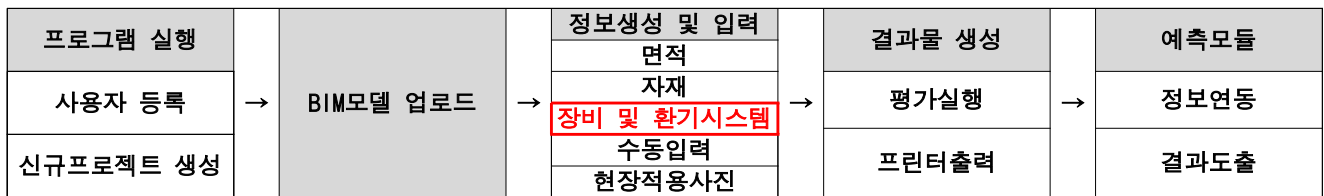
83A(기본형) 83A(확장형)

83A(기본형)

바닥 마감재 벽 마감재 천 마감재 바닥 집착재 벽 집착재 천장 집착재 바닥 기타내장재 벽 기타내장재 천장 기타내장재 그외 자재정보

건물자재정보 - 벽 마감재

NO	실구분	전제면적	작용면적	적용비율(%)	표준자재명	제조업체	재품명	유효기간	인증서	변경
1	거실	31.54	31.54	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
2	주방/식당	27.02	26.49	98.04	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
3	침실1	22.62	22.62	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
4	침실2	24.85	24.85	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
5	침실3	25.74	25.74	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
6	욕실1	14.36	14.36	100.00	세라믹타일또는판석	inus	DQG 82270B			변경
7	욕실2	14.41	14.41	100.00	세라믹타일또는판석	inus	DQG 82270B			변경
8	현관	7.24	7.24	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
9	드레스룸	16.47	16.47	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
10	파우더룸	7.79	7.79	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
11	발코니1	8.74	8.74	100.00	아크릴페인트	누루 페인트	큐피트플러스	2019.04.29	환경표지인증	변경
12	발코니2	18.61	18.10	97.26	아크릴페인트	누루 페인트	큐피트플러스	2019.04.29	환경표지인증	변경
13	실외기실	12.06	12.06	100.00	아크릴페인트	누루 페인트	큐피트플러스	2019.04.29	환경표지인증	변경
14	창고	14.38	14.38	100.00	벽지	㈜서울벽지	카라	2018.06.29	친환경건축자재인증	변경
15	대피공간	10.49	10.49	100.00	아크릴페인트	누루 페인트	큐피트플러스	2019.04.29	환경표지인증	변경



실내공기질

TEST_KW - 1 : 평택 000택지 지구

BIM 모델 세대유형 면적 자재 장비 및 환기시스템 수동입력 현장적용사진 평가실행

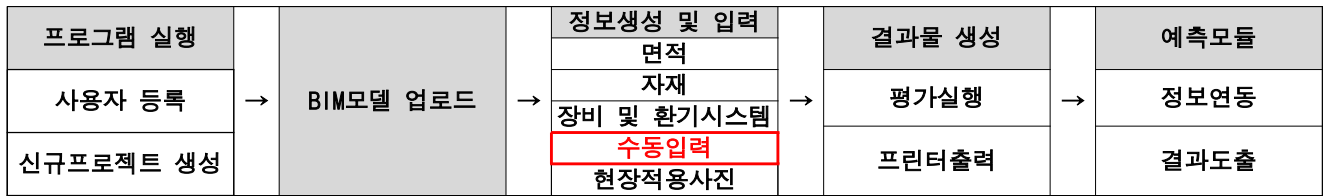
장비 및 환기시스템

■ 자연환기 설비

기본형					확장형				
NO	명칭	적용제품	적용길이 (m)	적용환기량 (CMH)	NO	명칭	적용제품	적용길이 (m)	적용환기량 (CMH)
1	83A		0	0	1	83A		0	0

■ 기계환기 설비

기본형			확장형		
NO	명칭	적용제품	NO	명칭	적용제품
1	83A		1	83A	



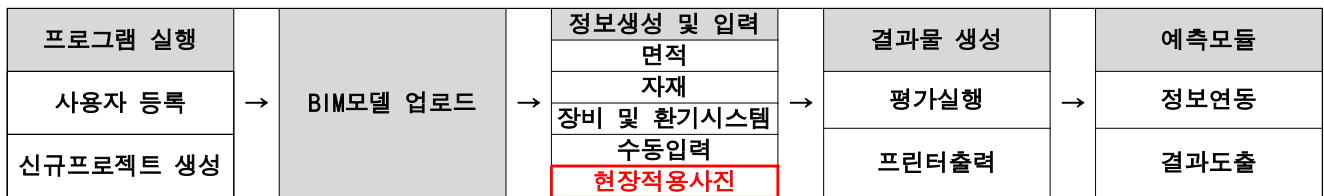
실내공기질

TEST_KW - 1 : 평택 000택지 지구

BIM 모델 | 세대유형 | 면적 | 자재 | 장비 및 환기시스템 | 수동입력 | 현장적용사진 | 평가실행

녹색건축 | 건강친화형 주택건설기준

구분	평가내용 및 기준	제출서류	유/무
1. 친환경 건축 자재의 적용	1.1 실내공기 오염물질 저감률 건축자재의 적용 오염물질 방출량 기준 적합여부	• 환경표지인증서, 시험성적서 (최종마감재, 접착제, 내장재 및 그밖의 마감재)	☒
	1.2 실내마감으로 사용되는 도료의 납(Pb) 중 유해원소 함유량 페인트의 환경표지 인증기준 적합여부	• 환경표지인증서(페인트)	☒
2. 플러쉬아웃의 시행	각종 공사 완료 후, 입주 전 플러쉬아웃(Flush-out)을 실시여부	• 특기사항서 입주자용 생활환경 설명서 (순수도 조인유지방법 명시)	☒
3. 효율적인 환기성능	적합한 단위세대의 환기성능을 확보 여부	• 건물공기환기 고표준에너지기자재인증서	☐
4. 환기설비의 성능검증	4.1 적정 환기 효율 환기설비의 성능검증 시험을 통한 성능 발휘 및 운영 여부를 확인	• 외기정중질터 시험성적서 (입자표진율 90% 1) • 환기유닛의 사용설명서 (필터교환, 청소 등 유지관리 명시)	☐
	4.2 TAB의 시행 대한설비공학회 '공동주택 환기설비 TAB 기술기준'에 적합 여부	• TAB 용역계약서 (용가서 제출시)	☒
5. 친환경 생활 제품의 적용	5.1 빌트인(built-in) 가전 제품의 성능평가 빌트-인(built-in) 가전제품의 오염물질 방출량 기준 적합여부	• 시험성적서	☐
	5.2 붙박이 가구의 성능평가 붙박이 가구 유출물 오염물질 방출량 기준 적합여부	• 오염량 표기된 매뉴얼 또는 설명서	☐
6. 시공관리 기준의 적용	6.1 일반 시공 관리기준 - 실내공기오염물질 배출 공정 작업시 환기방법 제시여부 - 자재 보관장소 및 방법이 명시된 자재관리계획 수립여부 - 건설폐기물의 적자, 인출계획 및 오염방지를 위한 유지관리계획 수립여부	• 시험성적서	☐
	6.2 집착제 시공 관리기준 - 시공면 수분 함유율 < 5% 미만 유지방법 제시 여부 - 시공면 평활도 3mm/2m 이하 유지방법 제시 여부 - 실내온도 5℃ 이상 유지방법 제시 여부 - 집착제 시공시의 오염물질 외부배출 대책 수립여부	• 특기사항서	☐
	6.3 유해화학물질 확산 방지를 위한 도장공사 시공관리기준		



실내공기질

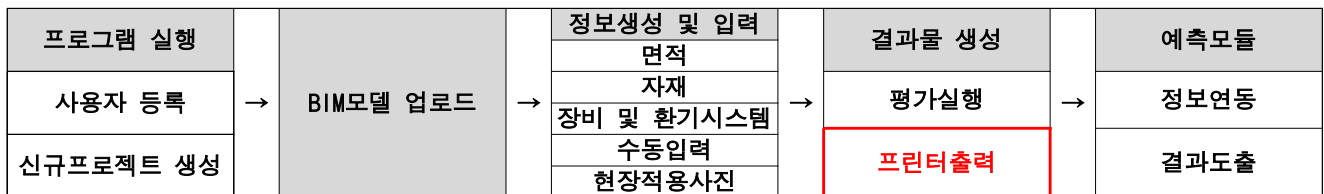
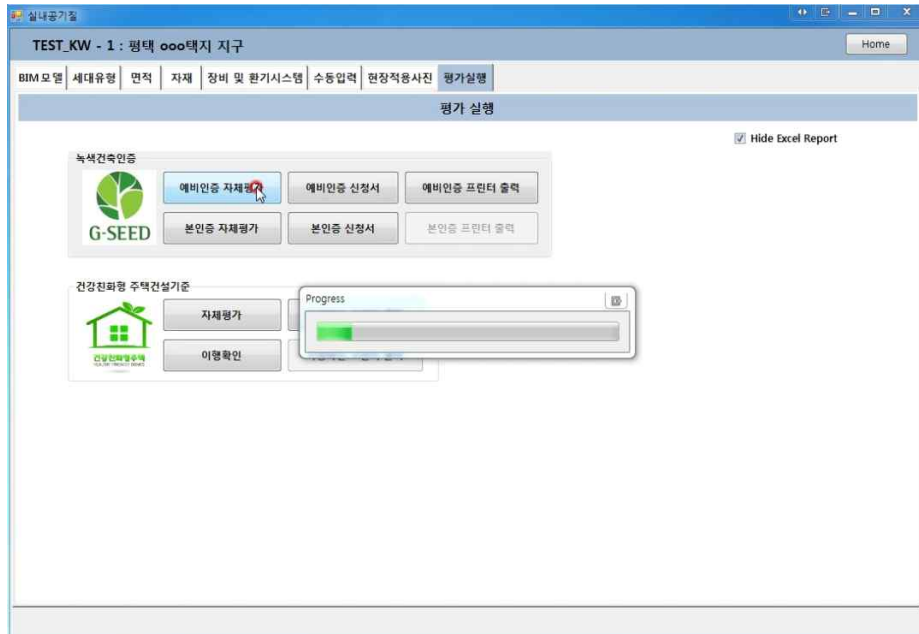
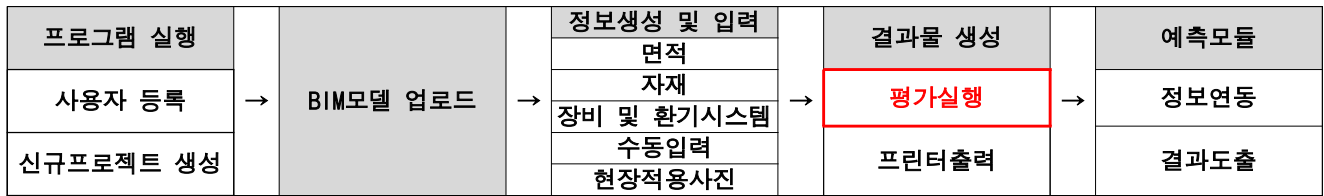
TEST_KW - 1 : 평택 000택지 지구

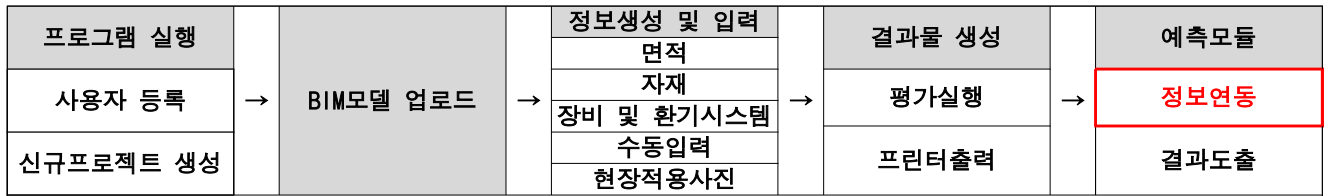
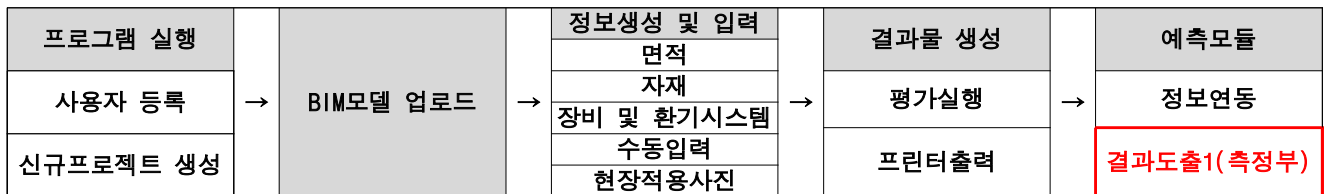
BIM 모델 | 세대유형 | 면적 | 자재 | 장비 및 환기시스템 | 수동입력 | 현장적용사진 | 평가실행

7.1 친환경건축자재 | 7.2 자연환기성능확보 | 7.3 단위세대 환기성능확보 | 7.3 단위세대 환기성능확보, 기계

NO	구분	이미지 파일명	이미지 지정
1	통화기업(나투스강)		이미지 지정
2	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
3	주식회사 창공(수성세라아름)	현장적용사진_벽지.jpg	이미지 지정
4	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
5	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
6	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
7	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
8	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
9	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
10	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
11	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정
12	주식회사 창공(수성세라아름)		이미지 지정

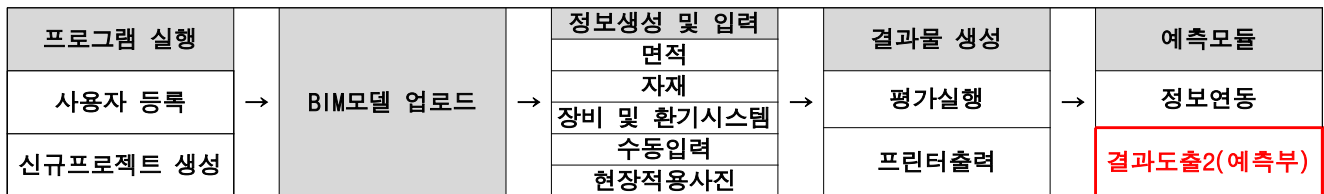
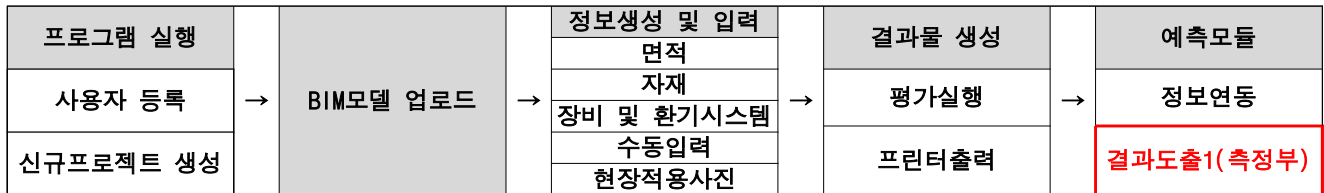




실내공기 오염물질	실내기준농도	단위	1차 측정	1차 결과
폼알데하이드	210	μg/m³	200	만족
벤젠	30	μg/m³	40	초과
톨루엔	1000	μg/m³	300	만족
에틸벤젠	360	μg/m³	200	만족
자일렌	700	μg/m³	500	만족
스티렌	300	μg/m³	100	만족
중위발성유기화합물	100	μg/m³	100	만족
라돈	400	Bq/m³	300	만족

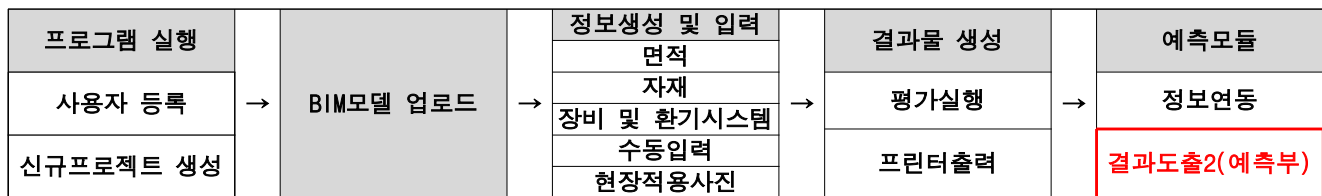
실내공기 오염물질	실외기준농도	단위	1차 측정	1차 결과
미세먼지(PM10)	100	μg/m³	200	초과
미세먼지(PM2.5)	50	μg/m³	30	만족
이산화황	1000	ppm	500	만족
일산화탄소	10	ppm	10	만족
이산화질소	0.05	ppm	0.01	만족
총부유세균	800	CFU/m³	500	만족
곰팡이	500	CFU/m³	300	만족



기호	항목	입력 정보
A	장면적비 [-]	0.334
B	장면적 [㎡]	1.017
C	창위차가로 [m]	0.255
D	유입가르차이 [m]	0.79
E	유입세로차이 [m]	0.3
F	창가로중점 [m]	0.72
G	중심가로 [m]	0.016
H	창위차세로 [m]	0.785
I	창세로중점 [m]	1.35
J	중심세로 [m]	0.131
K	중심면적 [㎡]	0
L	수정각도 [-]	90
M	실유적 (a/b) [-]	0.902
N	전체 부피 (a*b*c) [㎡]	4.212

출력 정보	
유로 자연 환기량:	19.354 (㎡/h)
유로 환기 횟수:	4.595 (회/h)
공기량 비율:	2.429 (-)

예측 조건	
분석 대상 설명:	대피공간
분석 시험:	8760
환기 수준:	적극적 환기
실내 HCHO 농도:	0.199 (mg/h)
실내 VOCs 농도:	0.797 (mg/h)
측정결과 보정 여부:	X (O, X)



실내공기질

TEST-KW

신규작성 법규정보 제품정보

프로젝트

검색

NO

1 평가

OutlookView

환기량 예측 분석 분석 이력 정보

No	분석일자	대상 실명	분석 시점(h)	환기 수준	실내 HCHO 농도(mg/h)	실내 VOCs 농도(mg/h)	유해 자연 환기량(m³/h)	유해 환기회수
0	2018-07-29	대피공간	8760	적극적 환기	0.199	0.797	19.354	4.595
1	2018-07-29	대피공간	8760	소극적 환기	0.199	0.797	20.063	4.763

내려받기 (CSV)

삭제

(3) BIM기반 실내공기질 통합관리 프로그램 검증결과

(가) 통합관리 프로그램의 정확성 검증

① BIM 모델에서 추출된 정보의 정확성

㉠ BIM 형상정보 비교를 통한 정확성 검증

- BIM 모델에서 녹색건축인증과 건강친화형 주택건설기준에서 요구되는 형상 및 속성정보에 대한 추출 정보의 정확성을 검증하였음. 대상 파일럿 프로젝트 중 하나의 세대유형을 기준으로 기본형과 확장형에 대한 정보 추출을 모두 확인하였음.
- 추출되는 형상정보는 각 실별 바닥면적, 순수벽면적(전체 벽면적), 친환경벽면적(친환경 자재가 적용된 면적), 외피벽면적(외기와 접한 벽면적, 확장형에만 해당됨), 천장면적, 총창면적, 문면적, 천장고가 있음. 발코니, 창고, 실외기실, 대피공간과 같은 기타 실의 경우 건강친화형 주택건설기준의 권장사항 기준을 적용할 때만 평가되는 실이지만, 해당 프로그램에서는 녹색건축인증과 건강친화형 주택건설기준에서 요구되는 입력정보를 통합으로 관리하기 때문에 해당 실에 대한 면적들도 모두 산출하였음.
- 83A 기본형의 2D 도면에서 수작업으로 산출한 면적과 BIM 모델(3D)에서 자동으로 산출된 면적에 대한 비교는 표 34와 같음. 두 가지 작업방식에 대한 면적을 비교 결과, 면적 자동 추출기술의 신뢰도와 정확성을 확인할 수 있었음.
 - 첫째, 동일한 정보추출 구조도에 따라 정보가 추출된 바닥과 천장면적은 총 면적에서는 거의 1%미만의 오차가 발생하였음. 이에 따라, 바닥면적과 천장면적은 안목선 기준으로 신뢰도 있는 면적값을 확보할 수 있음이 확인되었음.
 - 둘째, 벽면적과 친환경벽면적은 총 면적에서는 1%미만의 오차가 발생하였음. 최초 수행한 파일럿 테스트에서는 면적값을 추출하기 위해 적용한 최종마감재 산정 알고리즘과 모델링된 BIM의 일부 부위의 형상정보가 일치하지 않아 벽면적과 친환경벽면적에서 각각 6.5%, 3.1%의 오차가 발생하였고, 천장고 값이 층고 값으로 추출되는 문제가 발견되었음. 이에 따라, 실구획 및 실정보를 확인해 발생하는 오차를 수정하였으며, 하부 슬라브의 상단면의 좌표와 상부 슬라브의 하단면의 좌표를 수직으로 연결한 값을 천정고로 정의하여 오류를 개선하였음.
 - 셋째, 외피벽면적은 건강친화형 주택건설기준의 개정에 따라 1차년도에 정의했던 면적추출 구조도 외에 새롭게 정의하여 추가된 부분임. 해당 부분은 외기와 맞닿은 공간을 정확하게 인식하여 이에 대한 면적을 추출하는 기술이 적용되었으며, 거의 0%(0.02m²)의 오차가 발생하였음.

표 34. 83A 기본형 형상 정보 비교

실구분	바닥면적		순수벽면적		친환경벽면적		외피벽면적		천장면적		총창면적		문면적	
	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준
	오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)	
거실	22.33	22.41	25.22	25.57	25.22	25.57	-	-	22.33	22.41	9.00	9.00	7.74	7.74
	오차: 0.36%		오차: 1.39%		오차: 1.39%		오차: -		오차: 0.36%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
주방/식당	13.60	13.88	21.52	22.49	21.52	22.49	-	-	13.60	13.88	3.75	3.75	-	-
	오차: 2.06%		오차: 4.51%		오차: 4.51%		오차: -		오차: 2.06%		오차: 0.00%		오차: -	
침실1	13.04	13.07	23.95	23.93	23.95	23.93	-	-	13.04	13.07	4.00	4.00	2.20	2.20
	오차: 0.23%		오차: 0.08%		오차: 0.08%		오차: -		오차: 0.23%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
침실2	6.21	6.30	16.77	16.95	16.77	16.95	-	-	6.21	6.30	4.25	4.25	1.98	1.98
	오차: 1.45%		오차: 0.17%		오차: 0.17%		오차: -		오차: 1.45%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
침실3	6.90	6.99	17.40	17.37	17.40	17.37	-	-	6.90	6.99	5.00	5.00	1.98	1.98
	오차: 1.30%		오차: 0.17%		오차: 0.17%		오차: -		오차: 1.30%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
욕실1	3.30	3.30	14.71	14.71	14.71	14.71	-	-	3.30	3.30	-	-	1.58	1.58
	오차: 0.00%		오차: 0.00%		오차: 0.00%		오차: -		오차: 0.00%		오차: -		오차: 0.00%	
욕실2	3.00	3.01	15.15	14.71	15.15	14.71	-	-	3.00	3.01	-	-	1.58	1.58
	오차: 0.33%		오차: 2.90%		오차: 2.90%		오차: -		오차: 0.33%		오차: -		오차: 0.00%	
현관	4.46	4.44	15.70	15.63	15.70	15.63	-	-	4.46	4.44	-	-	2.31	2.31
	오차: 0.45%		오차: 2.90%		오차: 2.90%		오차: -		오차: 0.45%		오차: -		오차: 0.00%	
드레스룸	2.85	2.90	10.62	11.35	10.62	11.35	-	-	2.85	2.90	-	-	1.98	1.98
	오차: 1.75%		오차: 6.87%		오차: 6.87%		오차: -		오차: 1.75%		오차: -		오차: 0.00%	
파우더룸	2.25	2.31	9.12	9.06	9.12	9.06	-	-	2.25	2.31	-	-	1.58	1.58
	오차: 2.67%		오차: 0.66%		오차: 0.66%		오차: -		오차: 2.67%		오차: -		오차: 0.00%	
발코니1	16.08	15.79	38.21	38.29	38.21	38.29	-	-	16.08	15.79	38.89	38.77	-	-
	오차: 1.80%		오차: 0.21%		오차: 0.21%		오차: -		오차: 1.80%		오차: 0.31%		오차: -	
발코니2	8.00	7.96	34.72	33.58	34.72	33.58	-	-	8.00	7.96	7.58	7.58	-	-
	오차: 0.50%		오차: 3.28%		오차: 3.28%		오차: -		오차: 0.50%		오차: 0.00%		오차: -	
발코니3	2.13	2.13	10.80	10.79	10.80	10.79	-	-	2.13	2.13	1.03	1.03	3.56	3.56
	오차: 0.00%		오차: 0.09%		오차: 0.09%		오차: -		오차: 0.00%		오차: -		오차: 0.00%	
창고	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	오차: -		오차: -		오차: -		오차: -		오차: -		오차: -		오차: -	
대피공간	1.77	1.73	10.64	10.52	10.64	10.52	-	-	1.77	1.73	1.58	1.58	1.58	1.58
	오차: 00%		오차: 1.13%		오차: 1.13%		오차: -		오차: 00%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
총면적	128.25	128.63	289.75	290.52	289.75	290.52	-	-	128.25	128.63	83.63	83.63	35.81	35.81
	오차: 0.30%		오차: 0.27%		오차: 0.27%		오차: -		오차: 0.19%		오차: 0.16%		오차: 0.00%	

- 83A 확장형의 2D 도면에서 수작업으로 산출한 면적과 BIM 모델(3D)에서 자동으로 산출된 면적에 대한 비교는 표 35와 같음. 기본형모델과 동일하게 두 가지 작업방식에 대한 면적을 비교 결과, 면적 자동 추출기술의 신뢰도와 정확성을 확인할 수 있었음.
 - 첫째, 동일한 정보추출 구조도에 따라 정보가 추출된 바닥과 천장면적은 총 면적에서는 약 1%의 오차가 발생하였음. 이에 따라, 바닥면적과 천장면적은 안목선 기준으로 신뢰도 있는 면적값을 확보할 수 있음이 확인되었음.
 - 둘째, 벽면적과 친환경벽면적은 총 면적에서는 약 1%미만의 오차가 발생하였음. 최초 수행한 파일럿 테스트에서는 면적값을 추출하기 위해 적용한 최종마감재 산정 알고리즘과 모델링된 BIM의 일부 부위의 형상정보가 일치하지 않아 벽면적과 친환경벽면적에서 각각 6.5%, 3.1%의 오차가 발생하였고, 천장고 값이 층고 값으로 추출되는 문제가 발견되었음. 이에 따라, 실구획 및 실정보를 확인해 발생하는 오차를 수정하였으며, 하부 슬라브의 상단면의 좌표와 상부 슬라브의 하단면의 좌표를 수직으로 연결한 값을 천정고로 정의하여 오류를 개선하였음.
 - 셋째, 외피벽면적은 건강친화형 주택건설기준의 개정에 따라 1차년도에 정의했던 면적추출 구조도 외에 새롭게 정의하여 추가된 부분임. 해당 부분은 외기와 맞닿은 공간을 정확하게 인식하여 이에 대한 면적을 추출하는 기술이 적용되었으며, 약 1%미만의 오차가 발생하였음.
- 이에 따라, 프로그램에 적용된 IFC기반의 정보추출기술은 타기술에 비해 정확도와 신뢰도가 우수한 기술로 판단됨. 최초 파일럿테스트에서는 모델링과정에서 발생한 휴먼에러, 부정확한 추출구조도의 적용 등으로 인해 오차 및 오류가 확인되었지만, 현재는 모든 오차 및 오류를 수정하였음.
- 본 기술을 활용한 실내공기질 관련 친환경인증이 진행될 경우, 정확도와 신뢰도를 확보한 면적정보 자동추출이 가능하여 기존 실내공기질 관련 친환경인증업무 개선에 크게 이바지 할 수 있을 것으로 예상됨.

표 35. 83A 확장형 형상 정보 비교

실구분	바닥면적		순수벽면적		친환경벽면적		외피벽면적		천장면적		총창면적		문면적	
	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준	2D기준	3D기준
	오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)		오차율(%)	
거실	27.90	28.06	34.42	33.81	34.42	33.81	3.19	3.19	27.90	28.06	7.20	7.20	7.74	7.74
	오차: 0.57%		오차: 1.77%		오차: 1.77%		오차: 0.00%		오차: 0.57%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
주방/식당	15.43	15.80	24.79	25.03	24.79	25.03	6.80	6.96	15.43	15.80	1.38	1.38	1.98	1.98
	오차: 2.40%		오차: 0.97%		오차: 0.97%		오차: 2.35%		오차: 2.40%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
침실1	12.96	13.07	25.09	25.33	25.09	25.33	-	-	12.96	13.07	4.00	4.00	2.20	2.20
	오차: 0.85%		오차: 0.96%		오차: 0.96%		오차: -		오차: 0.85%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
침실2	9.75	9.84	26.13	26.33	26.13	26.33	4.40	4.41	9.75	9.84	1.96	1.96	1.98	1.98
	오차: 0.92%		오차: 0.77%		오차: 0.77%		오차: 0.23%		오차: 0.92%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
침실3	10.83	10.91	26.13	26.22	26.13	26.22	4.48	4.63	10.83	10.91	2.30	2.30	1.98	1.98
	오차: 0.74%		오차: 0.34%		오차: 0.34%		오차: 3.35%		오차: 0.74%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
욕실1	3.30	3.32	14.71	14.75	14.71	14.75	-	-	3.30	3.32	-	-	1.58	1.58
	오차: 0.61%		오차: 0.27%		오차: 0.27%		오차: -		오차: 0.61%		오차: -		오차: 0.00%	
욕실2	3.00	3.00	15.15	14.75	15.15	14.75	-	-	3.00	3.00	-	-	1.58	1.58
	오차: 0.00%		오차: 2.64%		오차: 2.64%		오차: -		오차: 0.00%		오차: -		오차: 0.00%	
현관	4.21	4.36	15.70	15.63	15.70	15.63	-	-	4.21	4.36	-	-	2.31	2.31
	오차: 3.56%		오차: 0.45%		오차: 0.45%		오차: -		오차: 3.56%		오차: -		오차: 0.00%	
드레스룸	5.23	5.31	16.98	17.16	16.98	17.16	3.54	3.39	5.23	5.31	1.04	1.03	1.58	1.58
	오차: 1.5%		오차: 1.06%		오차: 1.06%		오차: 4.24%		오차: 1.5%		오차: 0.96%		오차: 0.00%	
파우더룸	2.23	2.20	10.83	10.06	10.83	10.06	-	-	2.23	2.20	-	-	1.58	1.58
	오차: 1.35%		오차: 7.11%		오차: 7.11%		오차: -		오차: 1.35%		오차: 00%		오차: 0.00%	
발코니1	2.33	2.40	7.48	7.65	7.48	7.65	-	-	2.33	2.40	7.20	7.20	1.58	1.58
	오차: 3.00%		오차: 2.27%		오차: 2.27%		오차: -		오차: 3.00%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
발코니2	3.75	3.74	18.71	18.42	18.71	18.42	-	-	3.75	3.74	1.04	1.03	1.98	1.98
	오차: 0.27%		오차: 1.55%		오차: 1.55%		오차: -		오차: 0.27%		오차: 0.96%		오차: 0.00%	
발코니3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	오차: -		오차: -		오차: -		오차: -		오차: -		오차: 3.8%		오차: 3.8%	
실외기실	1.41	1.41	8.44	8.42	8.44	8.42	-	-	1.41	1.41	1.98	1.98	1.58	1.58
	오차: 0.00%		오차: 0.24%		오차: 0.24%		오차: -		오차: 0.00%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
창고	2.81	2.86	15.07	15.09	15.07	15.09	-	-	2.81	2.86	-	-	-	-
	오차: 00%		오차: 0.13%		오차: 0.13%		오차: -		오차: 00%		오차: -		오차: -	
대피공간	1.77	1.77	10.84	10.83	10.84	10.83	-	-	1.77	1.77	1.02	1.02	1.58	1.58
	오차: 1.78%		오차: 0.09%		오차: 0.09%		오차: -		오차: 1.78%		오차: 0.00%		오차: 0.00%	
총면적	106.91	108.05	270.47	269.48	270.47	269.48	107.44	107.48	106.91	108.05	29.12	29.10	31.23	31.23
	오차: 1.07%		오차: 0.37%		오차: 0.37%		오차: 0.37%		오차: 1.07%		오차: 0.07*		오차: 0.00%	

㉔ 추출된 정보의 일관성 확인을 통한 정확성 검증

- 작업자의 숙련도에 따라 면적값이 다르게 계산된다는 문제점의 개선여부를 검증하기 위해, 친환경건설팅업체에서 친환경인증업무를 수행하는 작업자를 대상으로 기본형과 확장형모델의 면적계산 결과를 비교하였음.
- 먼저, 기본형모델, 확장형모델의 면적을 각각 5인의 작업자가 수작업으로 계산한 결과를 비교하였음. 작업자의 숙련도를 다르게 설정하기 위해 직급을 사원에서 과장까지로 설정하여 계산 결과를 비교하였음.
- 비교결과, 기본형모델에서는 발코니1,2,3, 실외기실, 대피공간의 순수벽면적값과 친환경벽면적값 그리고 천장고 길이값에서 차이가 나타났음. 발코니 및 대피공간은 실외와 접하고 있는 공간으로 작업자에 따라 공간을 구획하는 기준이 달라 표 36, 37과 같이 면적이 다르게 계산된 것으로 판단됨.
- 또한, 발코니 및 대피공간의 천장고는 일반실보다 조금 높지만, 일반실과 동일하게 계산해도 무관하여 작업자 판단에 따라 계산되는 값이 차이가 있는 것으로 판단됨.

표 36. 기본형모델 면적산정 결과1

순수벽면적(기본형)

	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
발코니1	32.52	32.30	26.64	32.30	26.6
발코니2	33.29	33.14	30.17	33.14	30.2
발코니3	6.06	6.04	4.91	6.04	4.9
대피공간	10.68	10.64	9.67	10.64	9.7

표 37. 기본형모델 면적산정 결과2

친환경벽면적(기본형)

	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
발코니1	32.52	32.30	26.64	32.30	26.6
발코니2	33.29	33.14	30.17	33.14	30.2
발코니3	6.06	6.04	4.91	6.04	4.9
대피공간	10.68	10.64	9.67	10.64	9.7

표 38. 기본형모델 면적산정 결과3

천장고(기본형)

	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
발코니1	2.49	2.48	2.30	2.48	2.3
발코니2	2.49	2.48	2.30	2.48	2.3
발코니3	2.49	2.48	2.30	2.48	2.3
대피공간	2.49	2.48	2.30	2.48	2.3

- 확장형모델에서는 발코니1,2의 외피면면적, 발코니1,2,3, 실외기실, 창고, 대피공간의 천장고 길이값에서 차이가 나타났음.
- 먼저, 발코니1,2,3 및 대피공간의 확장형모델은 벽면적과 친환경벽면적은 일치하지만 건강친화형주택건설기준에 따라 추가된 외피벽면적에서 차이가 있었음.
- 또한, 발코니1,2, 실외기실, 창고, 대피공간의 천장고 길이 값이 차이가 있었음.

표 39. 확장형모델 면적산정 결과1

외피벽면적(확장형)

	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
발코니1	2.18	0.82	0.78	0.82	2.13
발코니2	2.49	0.64	0.68	0.60	2.50

표 40. 확장형모델 면적산정 결과2

천장고(기본형)

	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
발코니1	2.52	2.30	2.30	2.52	2.52
발코니2	2.52	2.30	2.30	2.52	2.52
실외기실	2.52	2.30	2.30	2.52	2.52
창고	2.52	2.30	2.30	2.52	2.52
대피공간	2.52	2.30	2.30	2.52	2.52

- 이에 따라, 작업자가 수작업으로 면적을 계산할 경우, 실외와 맞닿아 있는 실들의 정보산정시 작업자의 숙련도와 판단에 따라 계산되는 면적과 길이가 다름이 확인되었음.
- 통합프로그램을 활용해 기본형 및 확장형모델의 면적값과 길이값을 계산한 결과, 5회 모두 동일한 값이 계산되었으며, 프로그램을 활용하여 작업하는 경우 작업자 개인의 판단과 숙련도를 배제하고 신뢰도를 확보한 일관성 있는 값을 추출할 수 있음.

② 친환경 건축자재 DB 연동 정보의 정확성

- 웹크롤러를 통해 수집된 결과물을 통합프로그램에 연동하여, 수집된 결과물과 프로그램의 연동여부, 온톨로지 자재속성에 따른 표준자재명 분류여부, 친환경제품정보의 인증활용여부를 검증하였음.
- 검증을 위해 사용된 웹크롤링결과물에 포함된 친환경제품관련 정보는 586개이며, 수집된 결과물을 프로그램에 연동하여 정보분류 여부를 먼저 확인하였음. 연동 및 분류여부확인을 위해 동일한 파일을 2번 업로드하여 분류된 정보의 개수를 확인하였음.
- 확인결과 586개의 아이템 중 567개의 아이템이 온톨로지에서 정의한 자재명 추론기준에 따라 정확하게 분류되었으며, 18개의 아이템은 크롤링과정에서 수집된 속성정보 중 추론을 위해 정

의한 속성정보가 누락되어 분류되지 않았으며, 1개의 아이템은 제품명에 대한 정보가 누락되어 분류되지 않았음. 이에 따라, 수집된 결과물 중 96.8%의 정보가 정의된 기준에 따라 정확하게 분류됨을 확인할 수 있었으며, 분류되지 않은 4%의 정보에 대해서는 이를 분류할 수 있는 추가적인 속성정보 정의가 요구됨.

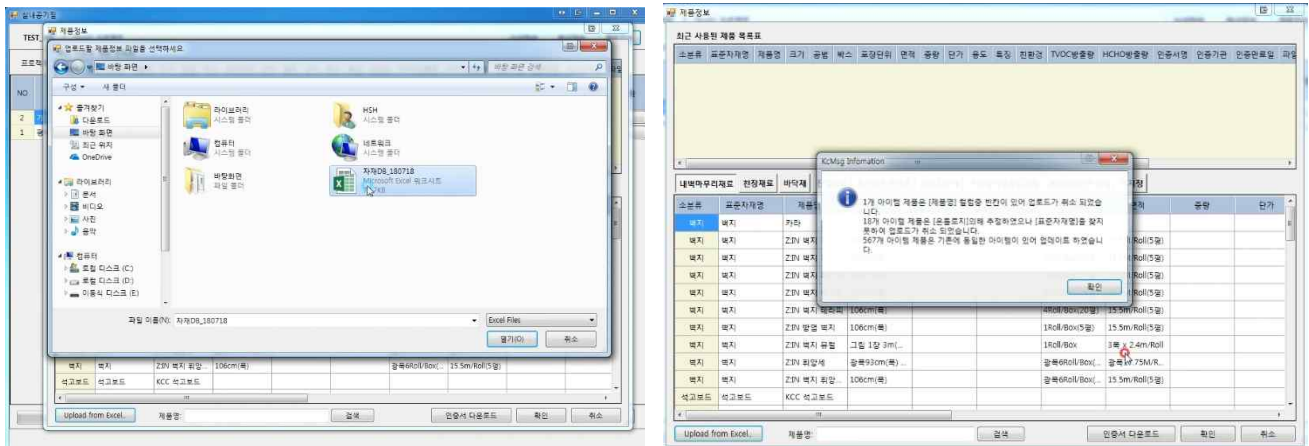


그림 39. 웹크롤링을 통해 수집된 정보와의 프로그램 연동화면

- 다음으로, 수집된 정보를 활용해 인증서 취득을 수행하였음. 웹크롤링 과정에서 수집된 파일 위치의 URL을 경로로 설정해 인증서파일을 다운받을 수 있는 기능을 통합프로그램에 반영하였으며, 수집된 경로를 활용하여 관련파일을 취득할 수 있는 것이 확인되었음.

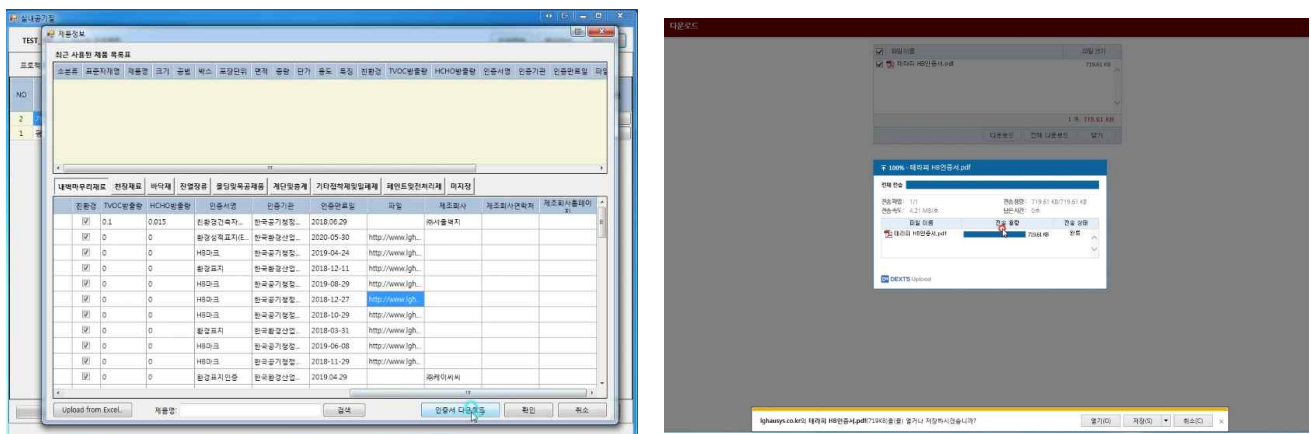


그림 40. 웹크롤링을 통해 수집된 정보와의 프로그램 연동화면

③ 실내공기질 관련 인증 평가 결과의 정확성

- 실내공기질 평가 모듈을 검증하기 위해 통합시스템에서 자동 및 수동으로 입력되는 정보에 따른 인증 평가 결과를 바탕으로 기존 수작업 결과와 비교하였음.
- 통합시스템을 통해 평가된 녹색건축인증과 건강친화형 주택건설기준에 대한 각 항목별 인증 평가 결과는 모두 기존 수작업 방식의 평가와 동일하게 출력되는 것을 확인하였음.
- 이는 BIM 모델에서 추출되는 정보와 자재 DB와 연동된 정보, 수동입력한 정보가 모두 제대로 입력됨을 의미함.

표 41. 인증 평가 결과 정확도

인증 구분	세부 항목	기존 작업 결과	통합시스템 결과	오차율
녹색건축인증	7.1 오염물질 저방출 제품의 적용	4.8 / 6.0점	4.8 / 6.0점	0%
	7.2 자연 환기성능 확보	0.8 / 2.0점	0.8 / 2.0점	0%
	7.3 단위세대 환기성능 확보	1.6 / 2.0점	1.6 / 2.0점	0%
건강친화형 주택건설기준	의무1. 오염물질 저방출 자재 적용	적합	적합	0%
	의무2. 플러쉬/베이킹 아웃	적합	적합	0%
	의무3. 자연/기계환기 설비 설치	적합	적합	0%
	의무4. TAB 시행 여부	적합	적합	0%
	의무5. 불박이 가구 기준 적합 여부	적합	적합	0%
	의무6. 시공관리 시행 여부	적합	적합	0%
	의무7. 사용설명서 제공 여부	적합	적합	0%
	권장1. 흡방습 건축자재 적용 비율	부적합	부적합	0%
	권장2. 흡착 건축자재 적용 비율	부적합	부적합	0%
	권장3. 항곰팡이 건축자재 적용 비율	적합	적합	0%
	권장4. 항균 건축자재 적용 비율	적합	적합	0%

④ 실내공기질 측정 및 예측 모듈 출력의 정확성

㉟ 실내공기질 측정 정보 관리부

- 실내공기질 측정 및 예측 모듈에서 측정 정보관리부에 대한 정확성을 측정 데이터의 저장과 이력 관리에 대한 정확성 검증을 통해 확인하였음.
- 실내공기질 측정 정보 저장 및 이력 관리에 대한 정확성 검증을 위해 표 42와 같은 임의의 실내공기질 측정 값을 이용하여 테스트를 수행하였음.
- 측정 정보 저장 및 이력 관리에 대한 프로그램 정확성 평가는 (1) 입력 값에 대한 프로그램 출력의 정확성, (2) 공기질 판정 결과의 정확성, (3) 이력 관리의 정확성으로 평가함

표 42. 파일럿 테스트를 위한 실내 공기질 측정 데이터

건축자재 발생 오염물질			대기 중 오염물질		
오염물질	기준농도	측정값	오염물질	기준농도	측정값
폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	210 이하	150	미세먼지-PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100 이하	120
벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30 이하	40	미세먼지-PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50 이하	30
톨루엔 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,000 이하	300	이산화탄소 (ppm)	1,000 이하	500
에틸벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	360 이하	200	일산화탄소 (ppm)	10 이하	10
자일렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	700 이하	500	이산화질소 (ppm)	0.05이하	0.01
스티렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	300 이하	100	총부유세균 (CFU/ m^3)	800 이하	500
총휘발성유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100 이하	100	곰팡이 (CFU/ m^3)	500 이하	300
라돈 (Bq/ m^3)	400 이하	300			

- 표 42의 측정 데이터를 프로그램에 업로드한 후 출력 되는 결과에 대하여 정확성 평가를 하였으며, 결과는 표 43과 같음
- 표 43과와 같이, 프로그램에 입력된 측정 데이터와 동일하게 모든 오염물질 농도값이 출력되고 판정 결과 역시 정상적으로 실내공기질을 판별하는 것으로 나타나 프로그램 출력의 정확성을 검증할 수 있었음
- 실내공기질 측정 결과의 이력 관리의 정확성을 평가하기 위하여 표 44와 같이 폼알데하이드 오염물질에 대하여 5회 측정치를 추가로 프로그램에 입력함
- 5회 측정 데이터를 프로그램에 입력 후 이력 관리 항목에서 해당 5회 측정 결과가 DB에 정상적으로 저장이 되고 프로그램에 출력이 되는지를 평가하였으며, 실제 측정 데이터와 평가 결과는 표 45와 같음
- 표 45와 같이 5회의 실제 측정 데이터를 프로그램 이력 관리부에서 정확하게 정보를 저장 및 출력하는 것을 확인할 수 있었으며, 폼알데하이드 외의 다른 오염물질에 대해서도 이력 관리 정확성을 검증함

표 43. 실내공기질 측정 데이터 출력 결과 및 정확성 평가 결과

건축자재 발생 오염물질				대기 중 오염물질			
오염물질	출력값	판정결과	일치여부	오염물질	출력값	판정결과	일치여부
폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	만족	○	미세먼지-PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	120	초과	○
벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	초과	○	미세먼지-PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	만족	○
톨루엔 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	300	만족	○	이산화탄소 (ppm)	500	만족	○
에틸벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	만족	○	일산화탄소 (ppm)	10	만족	○
자일렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	500	만족	○	이산화질소 (ppm)	0.01	만족	○
스티렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	만족	○	총부유세균 (CFU/ m^3)	500	만족	○
총휘발성유기화합물 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	만족	○	곰팡이 (CFU/ m^3)	300	만족	○
라돈 (Bq/ m^3)	300	만족	○				

표 44. 폼알데하이드 5회 측정 결과

	1회 측정	2회 측정	3회 측정	4회 측정	5회 측정
폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	220	180	200	130

표 45. 폼알데하이드 5회 측정 결과에 대한 이력 관리 정확성 판정 결과

	폼알데하이드 측정 결과 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	1회 측정	2회 측정	3회 측정	4회 측정	5회 측정
측정 데이터	150	220	180	200	130
출력 데이터	150	220	180	200	130
일치 여부	○	○	○	○	○

㉔ 실내공기질 예측 정보 관리부

- 본 연구에서 구축한 실내공기질 측정 및 예측 모듈 중 예측 정보 관리부(유효 자연 환기량 예측)의 성능 검증을 위하여 실제 공동주택 설계 사례를 바탕으로 파일럿 프로젝트를 수행함
- 파일럿 프로젝트의 대상 시설은 표 46과 같이 실제 공동주택 설계 도면을 작성한 5개 사례에서 각각 추출한 대표 실로 선정함

표 46. 파일럿 프로젝트 주요 대상 시설 형상 정보

형상 정보	세종시 84-B: 침실2	공동주택 84-B: 침실2	평택시 84-A2: 침실3	부천시 84-B: 침실3	부천시 84-C: 침실
폭 x 길이 (m)	2.9 X 2.4	2.73 X 2.45	3.0 X 3.6	3 x 2.3	3.9 X 3.8
천장고 (m)	2.3	2.6	2.3	2.3	2.3
창 면적 (m^2)	4.140	4.212	2.300	4.140	4.140
창-문 각도 ($^\circ$)	0	0	0	90	90
실 형태비	0.828	1.117	0.833	1.304	1.026

- 예측 프로그램의 정확성 검증은 실내 최대 정체 공기량에 대한 평균 공기량의 비율로 표현이 되는 공기량 정체비를 이용하여 실시함
- 대상실설에 대하여 예측 프로그램을 통해 산정한 공기량 정체비 결과와 전산유체역학 시뮬레이션 분석을 통하여 산출한 공기량 정체비 결과를 비교하여 MAPE 값을 산출하고 이를 기준으로 프로그램의 정확성을 검증함
- 프로그램 정확성 평가 및 검증은 표 47과 같이 예측모델의 MAPE 값에 대하여 예측 정확성 정도를 평가한 Lewis(1997)의 연구를 바탕으로 하여 본 연구에서 개발 프로그램을 평가함

표 47. MAPE에 따른 예측모델의 정확성 기준 (Lewis, 1997)

MAPE	예측모델 정확성
10% 미만	예측의 정확성이 매우 좋음
10% 이상 20% 미만	예측의 정확성이 좋음
20% 이상 30% 미만	예측의 정확성이 보통 수준임
30% 이상	예측 정확성이 좋지 못함

- 프로그램 정확성 평가 및 검증을 위한 테스트 케이스로 5개의 대상시설에 대하여 환기량 조건을 6가지로 세분화(0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 ACH)하고, 전산유체역학을 이용하여 총 30개 케이스에 대한 공기량 정체비를 모델의 결과와 비교 검증함
- 프로그램의 공기량 정체비 예측에 대한 정확성 및 성능 검증 결과, MAPE는 약 13.49%, RMSE는 0.32이며, Lewis (1997)의 MAPE 기준에 따라 평가한 본 연구에서 구축한 학습모델 예측 정확성은 높은 것으로 나타남 (MAPE = 13.49%)

(나) 통합관리 프로그램의 신속성 검증

- 통합프로그램에 대한 실내공기질 인증 평가 업무의 기존 인증 평가를 위한 2D 도면의 면적 추출 작업과 통합프로그램을 통합 면적 추출 작업에 대한 신속성을 평가하였음.
- 인증 평가에 대한 작업시간은 작업자, 세대유형의 개수, 관계 업체들의 협조(인증서, 시험성적서 수집 등) 등에 따라 상이하기 때문에 프로그램에 대한 신속성은 BIM에서 추출되는 면적 정보에 대하여 기존에 2D 수작업 방식과 통합프로그램 사용했을 때의 작업시간을 비교하여 평가하였음.
- 산출된 작업 시간은 파일럿 프로젝트 중 하나의 세대유형을 기준으로 하였으며, 기본형과 확장형에 대한 작업을 모두 산정 하였음.
- 면적 산출 작업의 경우 각 실별, 부위별 면적을 사용자가 직접 일일이 산출하는 작업을 모두 자동화하였기 때문에 통합프로그램 활용시 약 97.1%의 높은 신속성 향상을 보이는 것을 확인하였음. 친환경 건축 자재 검토의 경우에는 건축 자재 종류가 자동으로 추출되어 높은 신속성을 보이거나, 해당 자재들의 인증서 및 시험성적서 다운로드 하는데 일부 시간이 소요되므로 약 70%의 작업시간 저감율을 보였음(표 48).

표 48. 인증 제출서류 작업시간 비교

인증 구분		기존 작업 시간	통합시스템 작업 시간	저감율
면적 산출 작업	기본형	3.5 시간	0.1 시간	97.1%
	확장형			
친환경 건축 자재 검토	기본형	1 시간	0.3 시간	70%
	확장형			

3.5 설계단계 실내공기질 평가 기술 개발(핵심성과 4)

단위성과	<4-1>	녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발
	<4-2>	BIM 기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발
	<4-3>	건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 개발
	<4-4>	BIM 기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 개발

연차	단위성과별 주요 연구내용
1차년도	<4-1> 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 (1) 녹색건축 예비인증 사례 및 업무 프로세스 분석 녹색건축 예비인증 관련 사례 조사 및 필요 업무 절차 분석 수행 (2) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수산출 방식 분석 녹색건축 예비인증 항목 중 실내공기질과 관련된 항목들에 대한 분석 수행 (3) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출 예비인증 단계에서 실내공기질 평가를 위한 BIM 요구정보 생성 방안 분석 (4) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 평가점수 산출 알고리즘 개발 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가 프로세스를 바탕으로 평가점수 산출 알고리즘 개발 (5) BIM정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 BIM 정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발
	<4-2> BIM 기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발 (6) 녹색건축 예비인증 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발 녹색건축 예비인증 자체평가 및 정보 관리를 위한 입·출력 모듈 개발 (7) 녹색건축 예비인증 평가 프로그램 통합 녹색건축 예비인증 평가를 위한 입·출력 모듈 통합 (8) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완 샘플테스트를 통한 프로그램 개선사항 도출 및 보완
1차년도	<4-3> 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 개발 (9) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 및 업무 프로세스 분석 건강친화형 주택건설기준 관련 사례 조사 및 필요 업무 절차 분석 수행 (10) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 관련 항목 분석 건강친화형 주택건설기준 중 실내공기질과 관련된 항목들에 대한 분석 수행 (11) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출 건강친화형 주택건설기준에서 실내공기질 평가를 위한 BIM 요구정보 생성 방안 분석 (12) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가항목별 평가점수 산출 알고리즘 개발 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가 프로세스를 바탕으로 평가점수 산출 알고리즘 개발 (13) BIM정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 개발 BIM 정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 실내공기질 자체평가 템플릿 개발
	<4-4> BIM 기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 개발 (14) 건강친화형 주택건설기준의 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발 건강친화형 주택건설기준의 자체평가 및 정보 관리를 위한 입·출력 모듈 개발 (15) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합 건강친화형 주택건설기준 평가를 위한 입·출력 모듈 통합 (16) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완 샘플테스트를 통한 프로그램 개선사항 도출 및 보완
구분	관련 성과물
1차년도	■ 보고서 2건 - 녹색건축 예비인증 자체평가 템플릿 구현 보고서 [증빙 8] - 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구현 보고서 [증빙 10] ■ S/W 등록 2건 - 공동주택 건강친화형 주택 건설기준 자체평가 프로그램(버전.1) [증빙 29] - 공동주택 녹색건축인증 자체평가 프로그램(버전.1) [증빙 30]
2차년도	■ 보고서 2건 - BIM기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 테스트 결과 보고서 [증빙 9] - BIM기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 테스트 결과서 [증빙 11]

(1) 녹색건축 예비인증²⁾ 사례정보 및 업무 프로세스 분석

(가) 녹색건축인증³⁾의 개요

① 녹색건축인증 목적

- 녹색건축인증 제도(G-SEED, Green Standard for Energy and Environmental Design)는 설계와 시공, 유지 관리 등 건축물 전 과정에 걸쳐 에너지 절약 및 환경오염 저감에 기여한 건축물에 대한 친환경 성능을 종합적으로 평가하여 건축물에 친환경 등급을 부여하는 제도임

② 녹색건축인증 종류 및 평가 대상

- 녹색건축인증 종류: 예비인증-사업계획 승인단계, 본인증-사용계획 승인단계
- 신축건축물 : 주거용(소형주택, 공동주택) 및 비주거용(업무용, 주거복합, 학교시설 등)
- 기존건축물 : 주거용(공동주택), 비주거용(업무용)
- 의무대상 : 공공기관에서 발주하는 연면적 3,000㎡ 이상 건축물
- 인증등급 : 최우수, 우수, 우량, 일반

표 49. 녹색건축인증 등급별 점수

인증등급		최우수 (그린1등급)	우수 (그린2등급)	우량 (그린3등급)	일반 (그린4등급)
신축 건축물	주거용	74점 이상	66점 이상	58점 이상	50점 이상
	단독주택	74점 이상	66점 이상	58점 이상	50점 이상
	비주거용	80점 이상	70점 이상	60점 이상	50점 이상
기존건축물 (그린리모델링)	주거용	69점 이상	61점 이상	53점 이상	45점 이상
	비주거용	75점 이상	65점 이상	55점 이상	45점 이상

③ 녹색건축인증 평가 분야

- 녹색건축인증은 건축물의 전과정을 대상으로 환경에 영향을 미치는 요소를 평가하기 위해 토지이용 및 교통, 에너지 및 환경오염, 재료 및 자원, 물순환 관리, 유지관리, 생태환경, 실내환경의 7개 전문분야의 평가 항목을 제시하고 있음
- 공동주택의 경우 「주택건설기준」에 따라 ‘주택성능분야(16개 세부 항목)’에 대한 평가를 점수와 상관없이 의무적으로 시행해야 함

④ 녹색건축인증 평가항목 중 실내공기질 관련 항목 선정

- 본 과제는 공기환경 분야를 대상으로 건물 전과정에서의 실내공기질 평가에 관련된 연구이기 때문에, 실내공기질과 관련된 평가항목만을 연구수행 대상으로 선정함
- 특히 신축 공동주택의 대상으로 실내공기질 연구를 수행하였으며, 이에 대한 평가 항목인 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용(필수항목, 6점), 7.2 자연 환기성능 확보(평가항목, 2점), 7.3 단위세대의 환기성능 확보(평가항목, 2점)’를 대상으로 연구를 진행함

2) 녹색건축인증은 예비와 본인증으로 구분되지만, 예비와 본인증 시 일부 첨부서류를 제외하고 평가항목별 평가방식 및 산출계산서 작성 방식은 동일(보고서 5-1 참조)하므로, 본 보고서의 본문에서 ‘녹색건축 예비인증’이라 명확히 명시해야 하는 부분 이외에는 ‘녹색건축인증’을 혼용하여 작성함

3) 녹색건축 인증기준 해설서 - 신축 주거용 건축물, 한국건설기술연구원, 2017.03.01. 개정 발간

- 이 중 7.1항목은 인증대상 건물에서 필수적으로 수행해야 하는 평가항목(필수항목으로 지칭함)으로, 배점 또한 6점으로 실내환경분야에서 평가 비중이 가장 높음. 7.2와 7.3 항목은 대상건물에서 평가 가능한 기술이 적용된 경우 평가할 수 있는 항목(평가항목으로 지칭함)으로 배점은 2점임(표 50의 ‘7.1 ~ 7.3’ 참조)

표 50. 신축 주거용 건축물의 녹색건축인증 실내환경분야 중 실내공기질과 관련된 평가항목

전문분야	인증 항목		구분	배점	일반주택 ¹⁾	공동주택 ²⁾	실내공기질 관련항목
7. 실내환경	7.1	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	필수항목	6	●	●	○
	7.2	자연 환기성능 확보	평가항목	2	●	●	○
	7.3	단위세대 환기성능 확보	평가항목	2	●	●	○
	7.4	자동온도조절장치 설치 수준	평가항목	1	●	●	×
	7.5	경량충격음 차단성능	평가항목	2	●	●	×
	7.6	중량충격음 차단성능	평가항목	2	●	●	×
	7.7	세대 간 경계벽의 차음성능	평가항목	2	●	●	×
	7.8	교통소음(도로, 철도)에 대한 실내외 소음도	평가항목	2	●	●	×
	7.9	화장실 급배수 소음	평가항목	2	●	●	×

1) 일반주택은 「건축법시행령」 제3조의 5에 따른 단독주택과 「주택법」 제16조에 따른 사업계획승인대상 공동주택을 제외한 주거용 건축물을 말한다.

2) 공동주택은 「주택법」 제16조에 따른 사업계획승인대상의 주택을 말한다.

(나). 녹색건축 예비인증 사례정보 분석

① 사례정보 분석의 개요

- 본 연구에서는 실제 수행했던 녹색건축인증 사례를 선정하여 녹색건축인증에서의 실내공기질 업무비중 및 평가업무의 프로세스를 분석함
- 사례분석은 실내공기질 관련 항목을 대상으로 진행하였으며, 사례분석을 통해 현재 인증 업무 방식에서의 문제점을 도출하여, 업무 효율성을 높일 수 있는 개선방안을 도출함

② 사례정보 분석 대상

- 본 연구에서 선정한 분석 대상 사례는 표 5와 같이 본 과제에서 다루고 있는 건물인증 중 세대 수를 명확히 규정(500세대 이상 의무)한 ‘건강친화형 주택건설기준⁴⁾’을 만족하는 공동주택 3단지로 선정하여 진행하였음.

표 51. 분석대상 공동주택

구분	총세대수	세대유형	(확장포함)	완료시점	실내환경 평가 여부			건강친화형 주택건설
					7.1	7.2	7.3	
1	566세대 (평택A단지)	3개	(6개)	2016.11	○	○	○	○
2	566세대 (부천옥길B단지)	7개	(14개)	2015.05	○	○	○	○
3	784세대 (세종시C단지)	15개	(30개)	2016.06	○	○	○	○

4) 건강친화형 주택 건설기준, 국토교통부고시 제2016-1084호, 2016.12.30.개정, 2018.01.01.시행

③ 신축 공동주택의 녹색건축인증 실내공기질 항목 비중 분석

㉠ 실내공기질 항목 점수 비중

- 항목별 점수는 신축 공동주택의 녹색건축인증 평가분야별 세부항목의 배점 합계로 산정하여 녹색건축인증에서 실내 환경분야와 실내공기질 관련 항목 비중을 검토함
- 모든 항목의 점수를 획득했을 때의 합계점수인 115점을 100%로 보았을 때, 그 중에서 실내환경에 대한 점수 비중은 18.3%로 가장 높았으며(표 52 참조), 9개의 실내 환경분야 중 실내공기질 관련 항목(7.1~7.3)은 3개임에도 불구하고 47.6%의 높은 비중을 차지함(표 53 참조)
- 주택성능 항목은 녹색건축인증 항목의 평가대상에 해당되지만, 공동주택성능등급 인증서에만 표기하므로 점수 배점항목에는 해당되지 않음.

표 52. 신축 공동주택의 녹색건축인증 평가분야별 점수 비중

구분	1. 토지 및 교통	2. 에너지	3. 재료 및 자원	4. 물순환	5. 유지관리	6. 생태환경	7. 실내환경	8. 주택성능	합계
세부항목수	8 개	5 개	6 개	4 개	4 개	4 개	9 개	18 개	58 개
항목점수	16 점	20 점	15 점	14 점	9 점	20 점	21 점	0 점	115 점
점수비중	13.9%	17.4%	13.0%	12.2%	7.8%	17.4%	18.3%	-	100%
점수순위	4위	2위	5위	6위	7위	2위	1위	-	-

표 53. 신축 주거용 건축물의 녹색건축인증 실내환경분야 중 실내공기질과 관련된 평가항목

전문분야	인증 항목		구분	배점	공동주택2)	비중
7. 실내환경	7.1	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	필수항목	6	●	47.6%
	7.2	자연 환기성능 확보	평가항목	2	●	
	7.3	단위세대 환기성능 확보	평가항목	2	●	
	7.4	자동온도조절장치 설치 수준	평가항목	1	●	52.4%
	7.5	경량충격음 차단성능	평가항목	2	●	
	7.6	중량충격음 차단성능	평가항목	2	●	
	7.7	세대 간 경계벽의 차음성능	평가항목	2	●	
	7.8	교통소음(도로, 철도)에 대한 실내외 소음도	평가항목	2	●	
	7.9	화장실 급배수 소음	평가항목	2	●	
소 계				21		100%

㉡ 실내공기질 항목별 업무 비중

- 공동주택 녹색건축인증 경력을 4년 이상 보유한 실무자를 대상으로 각 평가분야별 세부항목에 대한 작업시간의 정도를 1점(적음)~5점(많음)까지 5점 척도로 구분하여 분석함.
- 이때 녹색건축인증 배점에 포함되지는 않지만, 평가대상에 포함되는 주택성능분야도 함께 비교 분석함(표 54 참조)
- 5점 척도를 바탕으로 항목별 작업시간에 대한 비중을 분석해 보았을 때, 항목이 제일 많아 총 작업시간이 가장 많은 주택성능에 이어 실내환경에 대한 작업이 2번째로 많으며, 전체 작업시

장 중 21.1%의 비중을 차지하는 것으로 분석됨

- 이중 실내공기질 관련 항목(7.1~7.3 항목)에 대한 작업시간 비중은 총 13점으로 실내환경분야의 50%를 차지하고 있어, 작업시간 비중이 매우 많은 것으로 확인됨

표 54. 신축 공동주택 녹색건축인증 평가분야별 세부항목의 작업시간 정도

구분	작업시간기준 범례 : 1점(적음) / 2점(다소 적음) / 3점(보통) / 4점(다소 많음) / 5점(많음)																합계	작업 비중
	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16		
1. 토지 및 교통	1점	2점	3점	3점	1점	1점	2점	1점									14점	11.4%
2. 에너지	1점	2점	1점	1점	1점												6점	4.9%
3. 재료 및 자원	4점	3점	1점	1점	3점	3점											15점	12.2%
4. 물순환	3점	3점	3점	0점													9점	7.3%
5. 유지관리	2점	2점	2점	2점													8점	6.5%
6. 생태환경	1점	2점	3점	3점													9점	7.3%
7. 실내환경	5점	4점	4점	2점	1점	1점	1점	3점	5점								26점	21.1%
8. 주택성능	3점	1점	2점	2점	2점	2점	4점	3점	2점	2점	2점	4점	3점	2점	1점	1점	36점	29.3%

(다) 실내공기질 평가 항목별 업무수행 프로세스 분석

- 본 장에서는 공동주택 녹색건축인증 실내공기질 관련 항목에 대한 해설서와 공동주택 인증 업무 실무자 자문을 통해 평가대상 건축물 조사부터 첨부서류 준비까지 녹색건축예비인증 실내공기질 평가항목별 업무수행 프로세스를 분석하였으며 해당 항목별 프로세스는 아래 그림 41, 42, 43과 같음

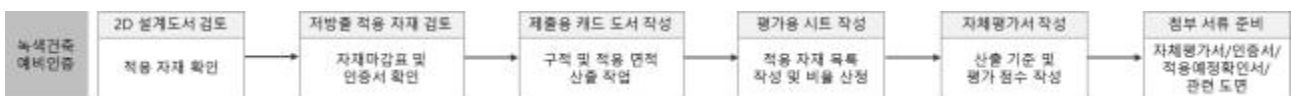


그림 41. 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 업무수행 프로세스



그림 42. 7.2 자연 환기성능 확보 업무수행 프로세스



그림 43. 7.3 단위세대의 환기성능 확보 업무수행 프로세스

(라) 실내공기질 항목별 평가 소요시간 분석

- 분석된 실내공기질 항목별 업무수행 프로세스를 기준으로 앞서 선정한 공동주택 3개 사례의 실내공기질 항목을 평가했을 때 소요되는 시간을 측정함.
- 사례분석은 ‘설계 초기, 1차 설계변경(전체변경), 2차 설계변경(일부변경)’의 3단계에 걸쳐 분석하였으며, 각 단계별로 항목별 평가소요 시간을 산정함
- 본 연구에서는 각 세부업무 중 2시간 초과업무에 대해서만 총 작업소요 시간과 비교하는 항목으로 선정하였으며, 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’의 p.7-13 참조

(마) 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가 업무에서의 문제점 및 개선방안 도출

- 실제 수행 사례를 분석한 결과, 7.1~7.3항목 모두 설계도면에서 단위세대별 부위별 면적 및 적용 자재 면적 등을 도출하여 적용비율을 산출하는 업무에 많은 시간이 소요되므로 관련 업무를 단축시키는 기술 개발이 가장 시급할 것으로 사료됨.
- 본 장에서 도출된 주요 문제점별로 개선방안을 살펴보면, BIM 모델에서 형상정보를 자동으로 추출하는 기술을 활용할 때 관련 업무의 작업시간 단축효과가 가장 클 것으로 판단됨. 뿐만 아니라 면적정보의 정확도가 향상되는 측면이 있어 녹색건축인증 평가 업무수행 프로세스의 신뢰도도 동시에 확보할 것으로 판단됨(표 55 참조)

표 55. 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가 업무수행 프로세스의 문제점 및 개선방안

문 제 점	개선방안 및 기대효과
• 7.1 항목의 경우 면적 산출하는 작업 시간이 전체 작업의 절반이상 소요되며, 면적정보 입력과정에서의 정보입력 오류 및 누락 발생	• BIM모델에서 건물 면적 정보 자동 산출기술 개발 → 면적 정보의 정확도 향상, 작업시간 단축
• 단위세대별(기본형/확장형) 평가로 인한 업무수행 프로세스 반복으로 작업시간 증가	• 평가점수 산출 프로세스 자동화 기술 개발 → 작업시간 단축
• 설계 변경 시 기존 평가 작업문서 수정 및 재작성으로 인한 초기 작업시간의 절반이상 소요	• 설계변경 BIM모델 데이터의 건물 면적 정보 자동 산출 기술 개발 및 설계변경 이력 관리 기술 개발 → 변경 정보의 정확도 향상, 작업시간 단축
• 항목 평가 시 제출을 위한 서류 작업(카드 도서, 평가용 시트, 자체평가서, 첨부서류 준비)을 위해 대부분의 작업시간이 사용됨(60~70%) • 설계 변경 관련 카드 도서, 평가용 시트, 자체평가서 작성 작업의 반복	• 인증기관 제출용 서류의 자동 생성기술 개발 → 작업시간 단축
• 자체평가서 및 적용예정서를 제외한 평가용 증빙서류에 대한 표준화된 양식이 없음(평가자별 다른 양식)	• 평가용 증빙서류의 표준화된 템플릿 개발 → 증빙서류 양식 제작 시간 단축

(2) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수산출 방식 분석

(가) 실내공기질 항목별 세부 평가기준 분석

- 실내공기질 항목은 거주자에게 쾌적한 실내공기 환경을 제공하기 위해 실내 오염물질 발생량을 저감시키거나, 발생된 오염물질을 제거하기 위해 외기도입을 통한 환기량을 증가시키는 방법에 대한 평가를 실시하고 있으며, 각 항목은 7.1 실내공기오염물질 저방출제품의 적용, 7.2 자연환기성능 확보 평가기준, 7.3 단위세대의 환기성능 확보 평가기준과 같음
- 7.1 항목은 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 비율을 평가하는 ‘필수항목’으로 실내에 사용되는 건축자재 및 가구에서 실내공기로 방출되는 폼알데하이드 및 휘발성 유기화합물 저방출 제품의 적용을 유도하여 실내공간에서의 오염물질 발생량을 저감시키기 위한 항목임
- 7.2 항목은 자연환기가 가능한 창 설치 여부를 평가하는 항목으로, 개폐가능한 창을 통해 신선한 외부 공기가 실내로 유입되어 쾌적한 실내 공기환경을 조성하기 위한 항목임. 이러한 신선 외기도입은 실내에서 발생된 오염물질 발생량을 저감시켜 거주자의 건강하고 안전한 실내 공기환경 조성에 활용되는 기술임
- 7.3 항목은 실내공기 오염물질을 효과적으로 실외로 배출할 수 있는 기계환기성능을 평가하는 항목으로, 실 용도에 적합한 최소 환기량 및 일정수준 이상의 환기성능에 필요한 적정 기계환기설비 설치 여부를 평가함. 7.3항목도 7.2항목과 같이 거주자를 위한 건강하고 안전한 실내 공기환경 조성하는 기술임

(나) 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석

① 실내공기질 항목별 평가 방식

- 공동주택의 경우 녹색건축인증의 실내공기질 항목 평가 시 단위세대별로 평가 기준을 적용하기 때문에 단위세대별로 동일한 평가 절차를 반복적으로 실시함
- 단위세대별 세부 산출결과를 토대로 세대별 평점의 합을 전체 세대수로 나누어 최종 평가 점수를 산출하는 프로세스로 진행됨
- 7.1 항목은 저방출 제품 적용 면적을 산정하는 것이 평가의 주된 프로세스이며, 7.2 항목은 개폐 창 면적 비율 산출, 7.3 항목은 환기횟수 및 필요환기량 산정이 평가의 주된 프로세스로 진행되며, 각 항목에 대한 평가 프로세스는 그림 44~46과 같음

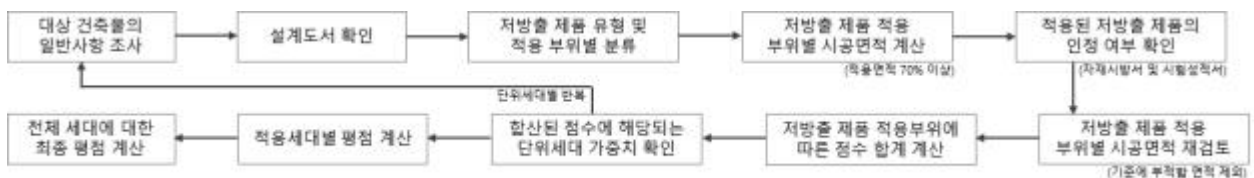


그림 44. 7.1 항목의 세부 평가 프로세스

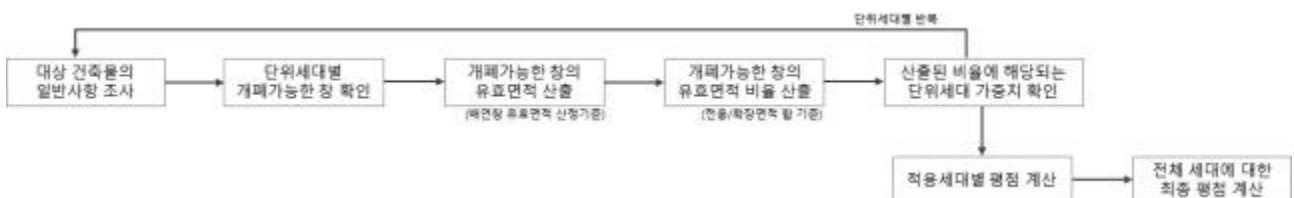


그림 45. 7.2 항목의 세부 평가 프로세스

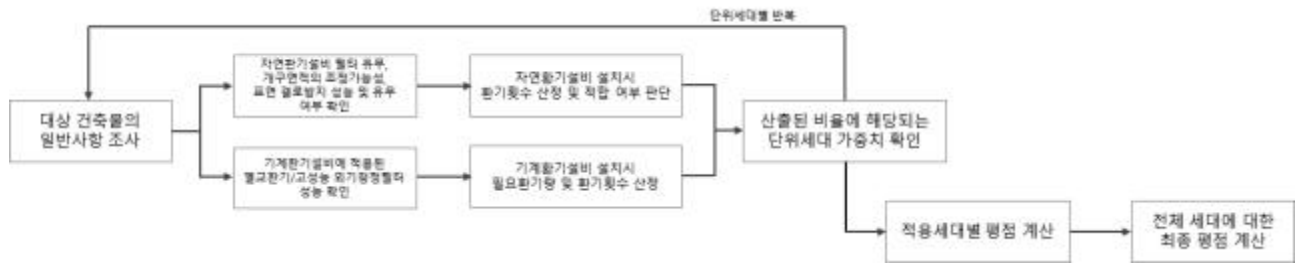


그림 46. 7.3 항목의 세부 평가 프로세스

② 실내공기질 항목별 점수 산출 방식 분석

- 녹색건축인증 평가 시 점수 산출 방법은 각 항목의 산출 기준에 따라 결정된 등급에, 등급별 단위세대 가중치를 산정하여 각 항목별 배점에 곱하여 해당 항목의 최종 평가 점수를 산출함
- 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’의 2장을 참조

③ 실내공기질 항목별 평가 제출서류 분석

- 대상 건축물의 녹색건축인증 평가를 받기 위해서는 평가 항목별로 자체평가서와 평가점수를 산출한 근거서류를 인증기관에 제출해야 함
- 산출 근거서류는 항목별로 자체평가서, 적용예정 확인서(시공시 현장 적용 증빙용), 산출계산서, 관련 설계도면, 인증서/시험성적서 등이 있음

(3) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출

(가) 녹색건축 예비인증 실내공기질 항목별 요구정보 정의

- 실내공기질 관련 항목은 단위세대로 평가되기 때문에 세대유형정보와 세대수에 대한 정보는 공통적으로 요구되며 표 56과 같음

표 56. 평가항목별 요구정보

항목		7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품 적용	7.2 자연 환기성능 확보	7.3 단위세대 환기성능 확보
공 통 사 항	세대유형	○	○	○
	세대수	○	○	○
	실구분	모든 실(현관, 욕실 포함)	거주 공간 위주	모든 실(현관, 욕실 포함)
	실별 면적	바닥, 천장, 벽	전용 및 확장	바닥
	개구부 면적	창호 및 문	개폐가능한 창	-
	층고	○	-	○
개별사항		부위별 최종마감재 종류	-	기준 환기횟수
		부위별 접착제 종류		적용길이 (자연환기설비 적용시)
		부위별 내장재 종류		적용 장비 설계풍량 (기계환기설비 적용시)
		불박이 가구 종류		

(나) 녹색건축 예비인증 실내공기질 항목별 요구정보의 BIM 연계방안

- 본 장에서는 실내공기질 관련 항목별 요구정보의 BIM 연계방안을 표 57과 같이 도출함

표 57. 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가항목별 요구정보 입력방법

구분		요구정보	입력방법
공 통	세대유형	- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부	BIM 추출 정보/평가자 입력
	세대수	- 세대수	BIM 추출 정보/평가자 입력
	실구분	- 모든 실 - 현관, 욕실 포함	BIM 추출 정보/평가자 입력 (거실, 주방/식당, 싱크대, 침실, 욕실, 현관, 드레스룸/파우더룸, 창고, 발코니, 팬트리)
7.1 항목	실별 면적	- 바닥(안목치수) - 천장(안목치수) - 벽체(벽둘레*천정고-개구부 총면적)	BIM 추출 정보
	개구부 면적	- 창호(폭*높이) - 문(폭*높이)	BIM 추출 정보 (창호(프레임 바깥치수) / 문(문틀 바깥치수))
	층고	- 천장고(안목치수)	BIM 추출 정보
	부위별 최종마감재	- 바닥, 벽, 천장 최종마감재	건축자재 DB 자동연동
	부위별 접착제	- 표준자재명, 제조업체, 제품명	
	부위별 내장재	- 인증서 유효기간, 인증종류 - 저방출 제품 여부(0/X)	

	불박이 가구	- 가구 설치 위치 (침실, 부엌, 현관, 거실) - 제조업체, 제품명 - 저장출 제품 여부(0/X)	
7.2 항목	실별 면적	- 전용 및 확장 면적	BIM 추출 정보
	개구부 면적	- 창호(폭*높이_프레임 안측)	BIM 추출 정보 (개폐면적(폭/2*높이)_미서기창의 경우)
7.3 항목	실별 면적	- 바닥(안목치수)	BIM 추출 정보
	층고	- 천장고(안목치수)	
	기준 환기횟수	- 공동주택 법정기준 이상	법규 DB 연동/평가자 입력
	자연환기설비 적용시	- 적용 제품명, 제품 환기량(CMH) - 적용 길이(m)	장비 DB 연동/평가자 입력
	기계환기설비 적용시	- 적용 장비명 - 적용 장비의 설계 풍량(CMH)	

(다) BIM 정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가 프로세스 개발

- 앞서 제시한 현재 녹색건축인증 업무 프로세스의 문제점을 개선하기 위해 BIM 정보를 활용한 녹색건축 예비인증 평가 프로세스를 도출함
- 현재 녹색건축 예비인증 업무의 문제점은 데이터 검토에 대한 업무 시간보다 평가용 카드도서 및 시트를 작성하는 데에 소요되는 업무시간이 더 많음. 또한 설계변경 시 변경된 설계에 대한 제출용 카드 도면, 평가용 시트와 자체평가서를 다시 작성해야하는 번거로움이 있기 때문에 업무량이 초기 설계 단계 작업과 거의 동일하거나 50% 정도의 업무시간이 소요됨
- 특히 현재의 업무방식이 2D 도서를 활용한 수작업에 의해 진행되므로, 각 항목별 요구정보 추출 및 평가시트 입력과정에서 일부 정보의 누락 및 오류 등이 발생하며, 이에 대한 오류부문 검토 및 수정작업에 따른 작업시간 증가는 불가피함
- 따라서 BIM 정보에서 추출한 요구정보와 자재 및 법규 DB 정보와 연계한 녹색건축 예비인증 실내공기질 항목별 평가 점수를 자동으로 산출하고 인증기관에 제출할 평가용 시트도 자동으로 생성하는 평가 프로세스를 제안함.

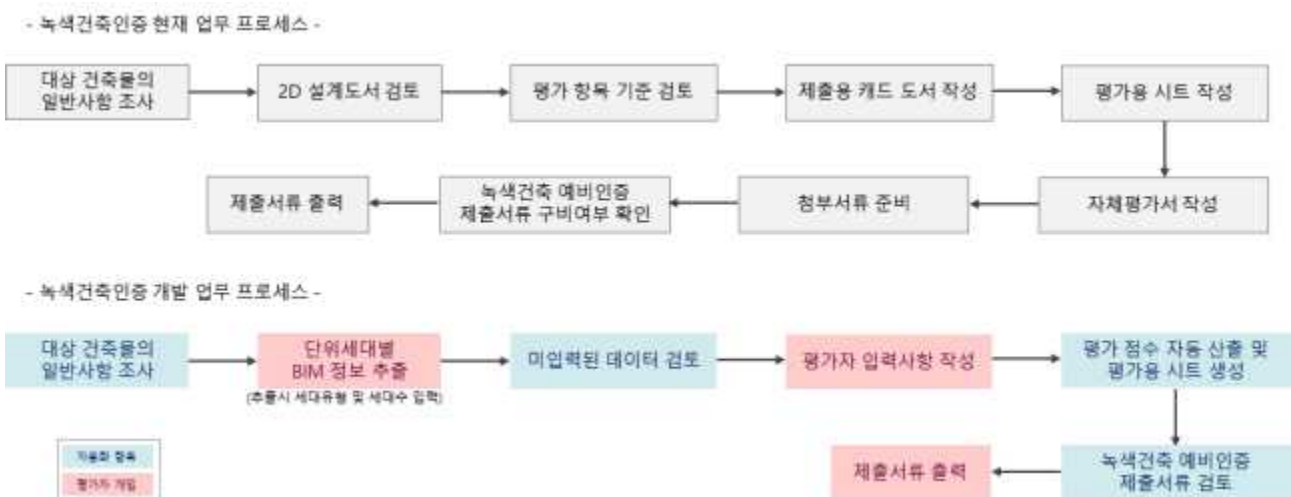
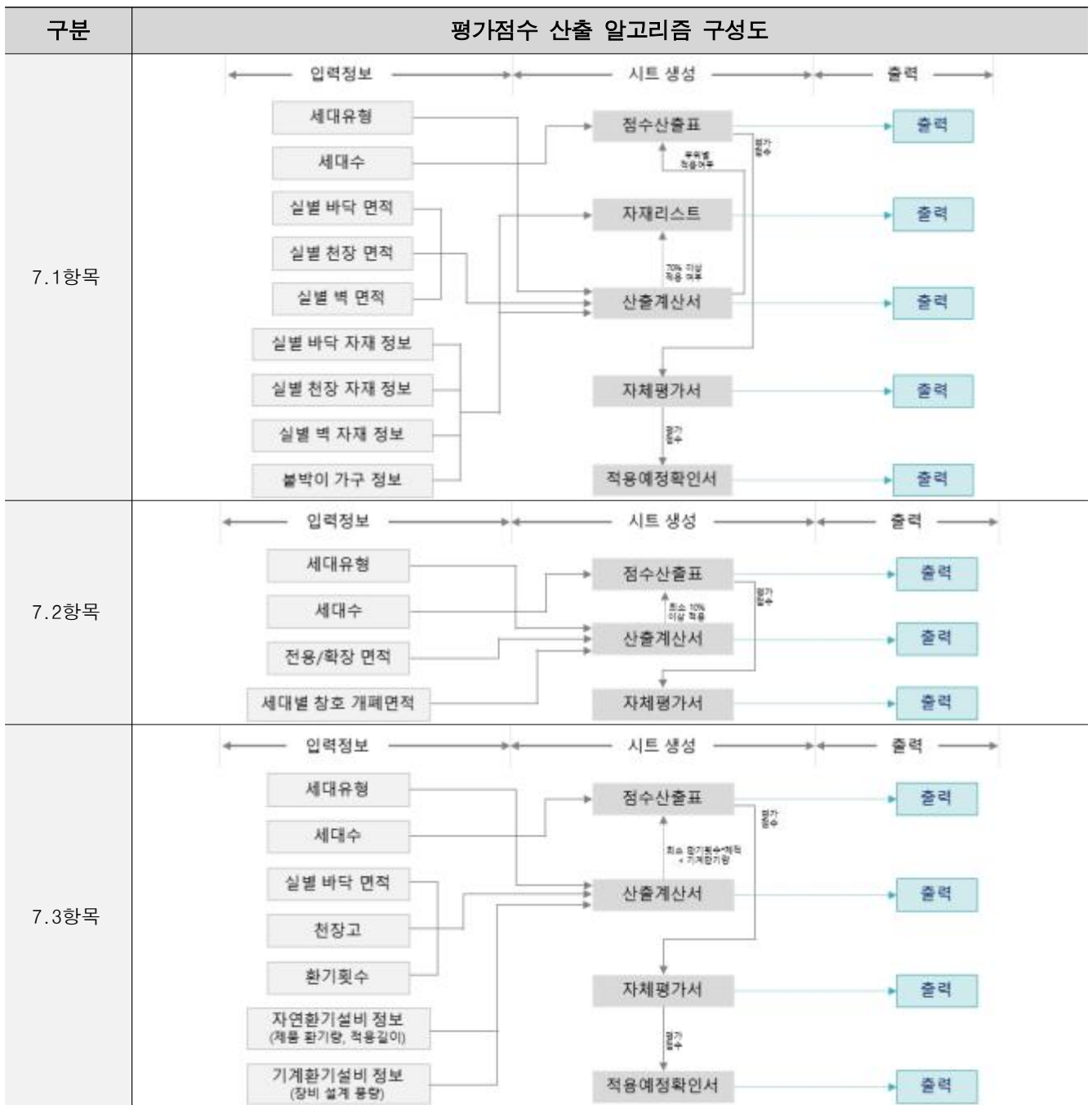


그림 47. 녹색건축 예비인증 현재 및 BIM 정보 활용 평가 프로세스 비교

(4) 녹색건축 예비인증의 실내공기질 평가점수 산출 알고리즘 개발

- 앞서 정의한 BIM 정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 항목 평가 프로세스를 바탕으로 평가점수 산출 알고리즘을 표 58과 같이 개발함
- 실내공기질 항목별 평가 알고리즘은 템플릿에 입력되는 정보를 활용하여 각 평가용 시트에 연결되어 자재 적용면적, 유효개폐창면적비용 및 환기량 산출 시트를 생성할 때 사용되며, 각 산출시트는 인증항목별 평가기준에 부합될 경우 자동으로 생성되도록 구성함

표 58. 단계별 주요 구성내용



(5) BIM정보를 활용한 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발

(가) 템플릿 개발의 개요

① 개발 배경 및 목표

- 현재 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가서 작성 업무는 설계도면에서 항목별 요구정보를 추출하여 적용비율을 산출하는 단순하고 반복적인 작업의 특성을 갖고 있어, 녹색건축 실내공기질 평가업무에 많은 인력과 시간이 소요됨. 또한 수작업이 반복되므로 작업 오류가 빈번히 발생하여 이에 대한 수정 보완 작업업무도 추가로 발생함
- 이러한 반복적인 수작업을 최소화하여 관련업무의 소요시간을 단축시키고 수작업이 아닌 요구정보의 자동 연동을 통해 작업의 정확도를 향상시킬 수 있는 기술 개발이 요구됨
- 이에 간략한 요구정보 입력을 통해 자동으로 생성되는 자체평가서와 산출계산서를 제공하여, 현재의 비효율적인 녹색건축 예비인증 실내공기질 평가 업무의 효율성 향상과 평가 결과의 정확성을 확보할 수 있는 자체평가 템플릿을 개발함

② 개발의 범위 및 내용

- 개발된 템플릿은 녹색건축인증 평가 시 가장 많은 시간이 소요되는 실내공기질과 관련된 항목에 대해서만 적용됨
- 템플릿은 해당 항목별평가 점수를 자동으로 산출한 후 자체평가서 및 산출 계산서 등 제출서류를 자동으로 생성하고 관련 첨부 서류도 출력할 수 있는 기능을 제공함
- 특히 사용자의 활용성 및 요구정보 입력의 편의성을 위해 템플릿은 입력부, 시트 생성부, 출력부로 구성되어 개발함

(나) 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 결과

① 템플릿 구조도

- 녹색건축 예비인증 자체평가 템플릿의 구조도는 그림 48과 같으며, 개발된 템플릿은 엑셀기반으로 제작되었으며, 추후 BIM 정보와의 연동을 통해 모듈화를 통해 프로그램으로 개발할 예정

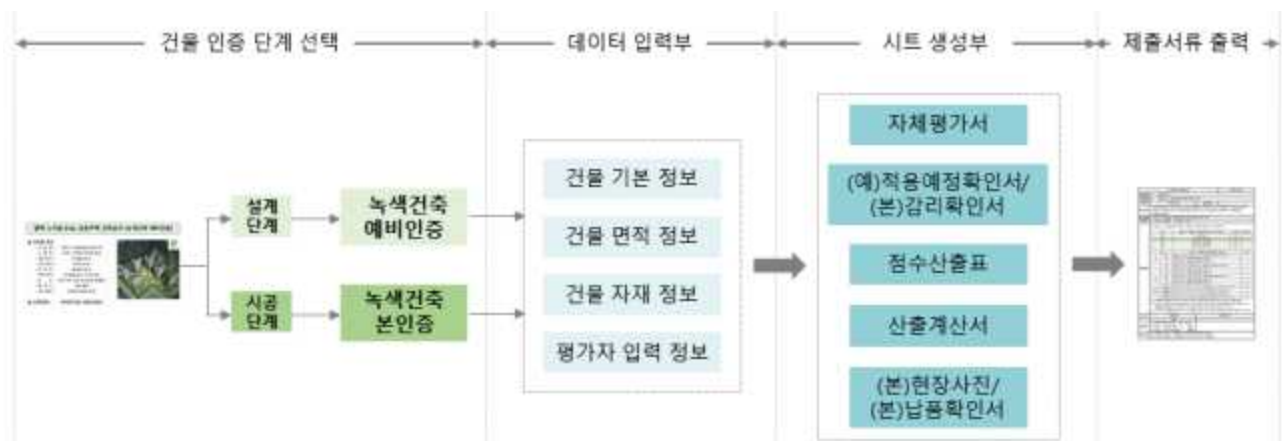


그림 48. 공동주택 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구조도

② 템플릿 구성 내용

- 템플릿은 [입력부] 건물정보 입력사항, [시트 생성부]녹색건축 예비인증 제출서류, [출력부] 녹색건축 예비인증 첨부서류 체크 및 출력부로 구성되며 세부 항목별 내용은 표 59와 같음

표 59. 엑셀기반의 공동주택 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구성내용

구분		세부 구성 내용	
[입력부] 건물 정보 입력사항	건물 기본 정보	대상 건물 사업 개요, 세대유형, 세대수, 전용면적 등	
	건물 면적 정보	- 세대유형별, 실별, 기본형/확장형 면적 구분 - 바닥, 벽(순수 벽체), 천장, 총 개폐창, 문, 천정고, 환기횟수	
	건물 자재 정보	- 부위별(바닥, 벽, 천장), 실별 최종마감재, 접착제, 기타 내장재 구분 - 표준자재명, 제조업체, 제품명, 인증유효기간, 인증서, 저방출 제품 여부	
	평가자 입력사항	- 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용: 단위세대 평면도 확인 - 7.2 자연 환기성능 확보: 창호상세도 확인 - 7.3 단위세대의 환기성능 확보 등급기준, 자연환기 설비 제품 및 적용환기량, 기계환기 설비 제품	
	(자연환기) 선택시	- 기본형/확장형, 실별 구분 - 면적(바닥), 천정고, 체적, 적용길이	
[시트 생성부] 녹색건축 예비인증 제출서류 체크	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		적용확인서	자체평가 점수에 해당하는 자재를 본인증시 반영할 것을 증명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		자재리스트	적용 예정인 자재명과 인증여부를 부위별/실별 구분하여 제시하는 서류
		산출계산서	저방출 제품이 적용된 면적에 대한 근거자료를 제시하는 서류
	7.2 자연 환기성능 확보	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		산출계산서	개폐가능한 창면적 비율 계산에 대한 근거자료를 제시하는 서류
	7.3 단위세대의 환기성능 확보	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		적용확인서	자체평가 점수에 해당하는 설비를 본인증시 반영할 것을 증명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		산출계산서	단위세대별 환기횟수 및 필요환기량의 만족 여부에 대한 근거자료를 제시하는 서류
[출력부] 녹색건축 예비인증 첨부서류 체크	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	자체평가서, 적용예정확인서, 점수산출표, 자재리스트, 산출계산서-기본형/확장형, 실 내마감표, 단위세대평면도-기본형/확장형, 환경표지인증서/시험성적서	
	7.2 자연 환기성능 확보	자체평가서, 점수산출표, 산출계산서-기본형/확장형,	
	7.3 단위세대의 환기성능 확보	자체평가서, 적용예정확인서, 점수산출표, 산출계산서-기본형/확장형, 장비일람표, 환기덕트 평면도, 고효율자재인증서/필터 시험성적서	

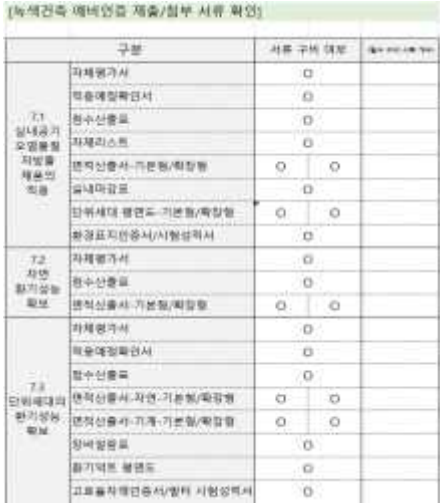
③ 템플릿 개발 내용

- 녹색건축 예비인증 템플릿은 사용자의 편의성을 높이기 위해서 그래픽 인터페이스를 적용하였으며, BIM과 연계 시 기본적으로 추출된 데이터는 ‘건물 기본 정보, 건물 면적 정보, 건물 자재 정보’ 시트로 입력되며, 사용자의 입력이 추가로 필요한 항목들은 ‘평가자 입력사항’에서 입력할 수 있도록 구성하였음

○ 초기 개발한 템플릿을 기반으로 인증 실무자 자문을 통해 기존에 입력할 수 있는 세대유형을 5개에서 8개로 확대하고, 실구분에 있어서 발코니 및 팬트리를 추가함. 또한 창문 유효면적 산정 방법 및 자연환기설비 길이 산정 방법을 적용함

○ 각 단계별 템플릿 예시 이미지는 아래와 같으며, 상세한 템플릿 이미지는 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’ 의 p.26-30 참조

표 60. 단계별 인증템플릿 구성 예시

엑셀화면	설명
가) 1단계: 데이터 입력부 	건물에 대한 면적 정보 입력창 (BIM 정보 연계 시 자동 입력됨)
나) 2단계: 시트 생성부 	(좌) 7.1 항목 자체평가서 - 7.1 항목 평가 기준 및 점수 확인서 (우) 7.1 항목 적용예정확인서 - 적용 평점 수준에 해당하는 자재를 시공시 적용할 것을 확인하는 서류
다) 인증기관 제출서류 출력부 	각 항목별 제출 서류 구비 여부 확인창 (필수 구비서류 목록제시)

(6) 녹색건축 예비인증 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발

(가) 녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈 개발

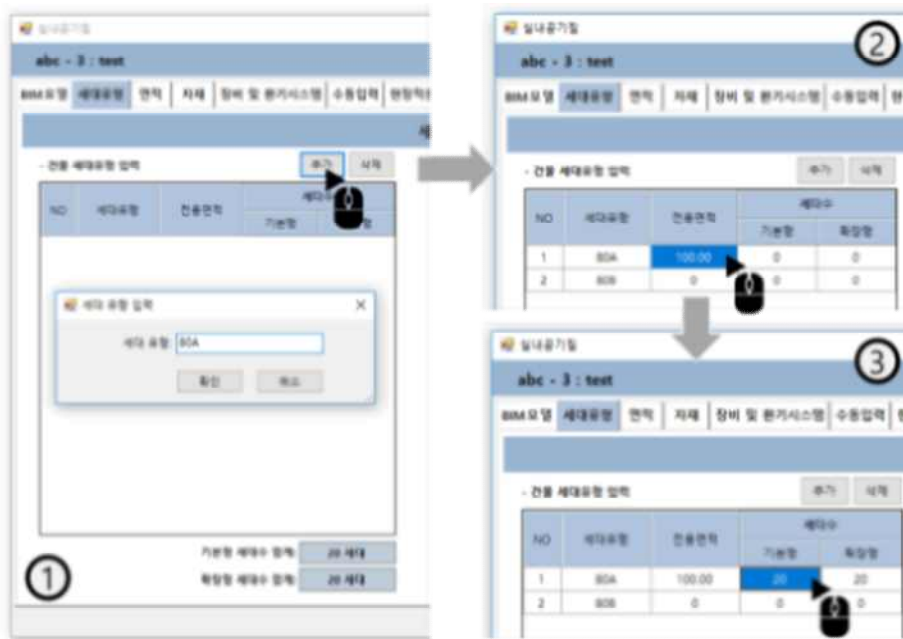
- 녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈은 녹색건축 예비인증에 필요한 요구정보에 대해 자동 및 수동으로 정보를 입력할 수 있는 기능을 제공함
- 해당 입력 모듈은 입력 정보의 생성 방법에 따라 IFC 파일에서 직접 추출되어 입력되는 면적 정보, 통합 시스템 내의 데이터베이스와 연동되어 입력되는 자재정보, 사용자가 직접 입력하는 수동 입력정보로 구분됨
- IFC 파일에서 직접 추출되는 면적정보에는 실별 바닥, 벽, 천장, 창, 문에 대한 면적 정보가 자동으로 입력되며, 해당 부위에 적용된 자재에 대한 면적 정보도 함께 입력됨
- 통합 시스템 내의 데이터베이스와 연동되어 입력되는 자재정보는 앞서 추출된 해당 부위에 적용된 자재의 표준재료명, 제품명, 친환경인증 관련 정보가 자동으로 입력됨
- 수동 입력정보에서는 건물에 대한 기본 정보와 자연 및 기계 환기 설비부분 및 불박이가구에 대한 정보를 사용자가 직접 입력함
- 본 모듈을 통한 녹색건축 예비인증 자체평가 요구정보 입력 절차는 다음과 같음

① 건물 기본 정보 입력

[illegible]

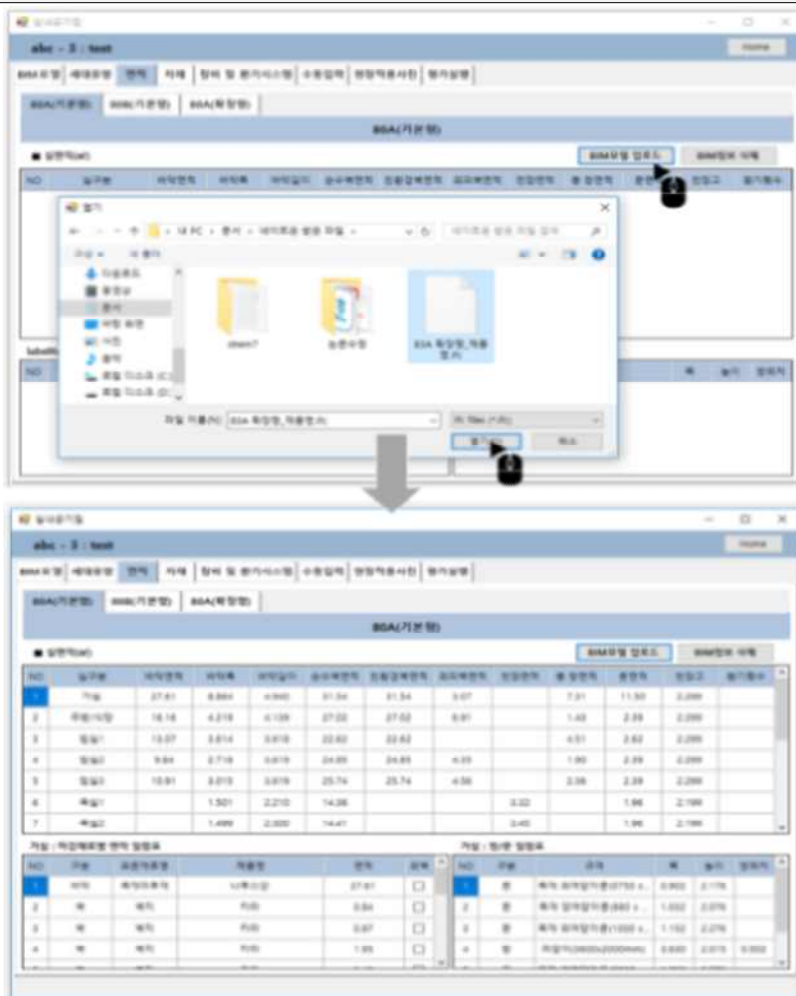
대상 프로젝트 및 시설에
대한 전반적인 정보를
사용자가
직접 입력

② 해당 프로젝트의 세대유형 및 세대수 입력



대상 프로젝트의 세대 유형 직접 추가 후, 각 유형별로 전용 면적과 기본형 및 확장형 세대수를 사용자가 직접 입력

③ 세대유형별로 IFC 파일 업로드 -> 면적 및 자재 정보 입력됨



각 세대 유형별로 해당 하는 BIM 모델을 프로그램에 업로드하며, 업로드가 완료되면 해당 세대의 실별 면적 정보가 자동으로 프로그램에 입력이 됨



BIM 모델 업로드 후
사용자가 입력한 자재
정보 DB와 연계하여
실별로 적용된 건축자재
정보들이 연동되며,
사용자는 재료 DB 안에서
건축 자재의 재료를
변경할 수 있음 (자세한
변경 사항은 프로그램
매뉴얼 참조)

④ 환기시스템 정보 입력



대상 프로젝트의 각 세대
유형별로 자연환기
설비와 강제(기계)환기
설비에 대한 정보를
사용자가 직접 입력

⑤ 불박이 가구 및 환기성능 적용 점수 입력

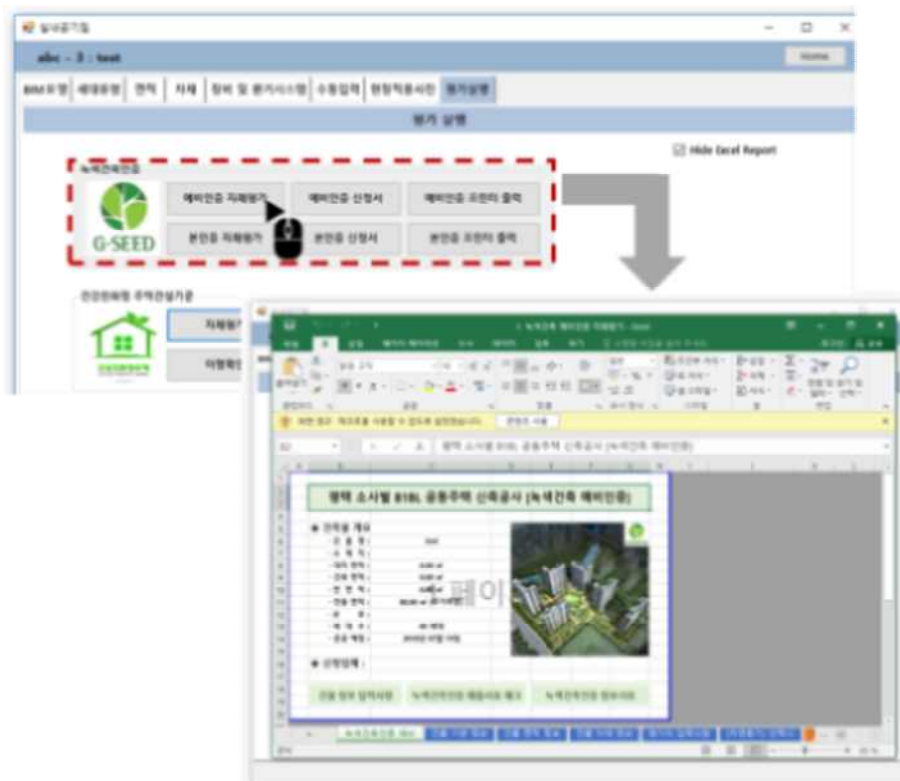


BIM 정보에 연계되어
있지 않은 7.1 항목 관련
불박이 가구 정보 및
환기성능 정보를
사용자가 수동으로
입력하여 반영

(나) 녹색건축 예비인증 자체평가 출력 모듈 개발

- 녹색건축 예비인증 자체평가 출력 모듈은 녹색건축 예비인증 평가에 필요한 제출서류들을 자동으로 생성하는 기능을 제공함
- 녹색건축 예비인증 평가에 필요한 제출서류로는 획득 점수에 대한 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 자체평가서와 점수산출표, 획득 점수에 해당하는 기준들을 본인증시 반영할 것을 증명하는 적용예정확인서, 녹색건축인증 항목별 산출기준에 따라 평가된 근거를 제시하는 산출서, 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서 및 인증서 등이 있음
- 입력 정보를 바탕으로 항목별 관련 기준에 따라 작성되어야 하는 자체평가서, 점수산출표, 적용예정확인서, 근거 산출서는 1차년도에 개발된 인증 평가 플랫폼을 바탕으로 자동으로 평가 점수가 산출되고, 항목별 해당 양식에 따라 제출서류를 생성함
- 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서 및 인증서는 자재 DB 및 현장 폴더와 연계되어 선택한 항목에 대해 출력기능을 제공함
- 본 모듈을 통한 녹색건축 예비인증 자체평가 결과 출력 절차는 다음과 같음

① 해당 인증에 대한 평가 수행



녹색건축 예비인증에
필요한 모든 정보를 입력
후에 평가실행 항목의
예비인증
자체평가 메뉴를
선택하여 평가를
수행하며, 엑셀로 구현된
템플릿을 최종적으로
출력함

② 해당 제출서류 출력



프로그램 내부에서 출력
메뉴를 선택하여
평가서를 전체 혹은
일부를 직접 선택하여
출력할 수 있음

(7) 녹색건축 예비인증 평가 프로그램 통합

- 본 연구를 통해 개발될 최종 결과물인 통합시스템에서 녹색건축 예비인증 평가를 위해 녹색건축 예비인증 입·출력 모듈을 통합하는 작업을 수행함
- 통합시스템을 통한 건물 전 과정에서의 실내공기질 평가 및 성능 관리를 위해 녹색건축 예비인증 입력 모듈의 정보는 설계단계의 ‘건강친화형 주택건설기준 자체평가’, 시공단계의 ‘녹색건축 본인증’, ‘건강친화형 주택건설기준 이행 확인’ 입력 모듈 정보와 연계됨(그림 49)
- 프로그램 통합을 통해 건물 정보를 관리하기 때문에 설계변경을 통해 발생하는 업무의 과중 및 중복 작업을 줄일 수 있으며, 같은 프로젝트에 대해 동일한 작업의 반복을 없앨 수 있음

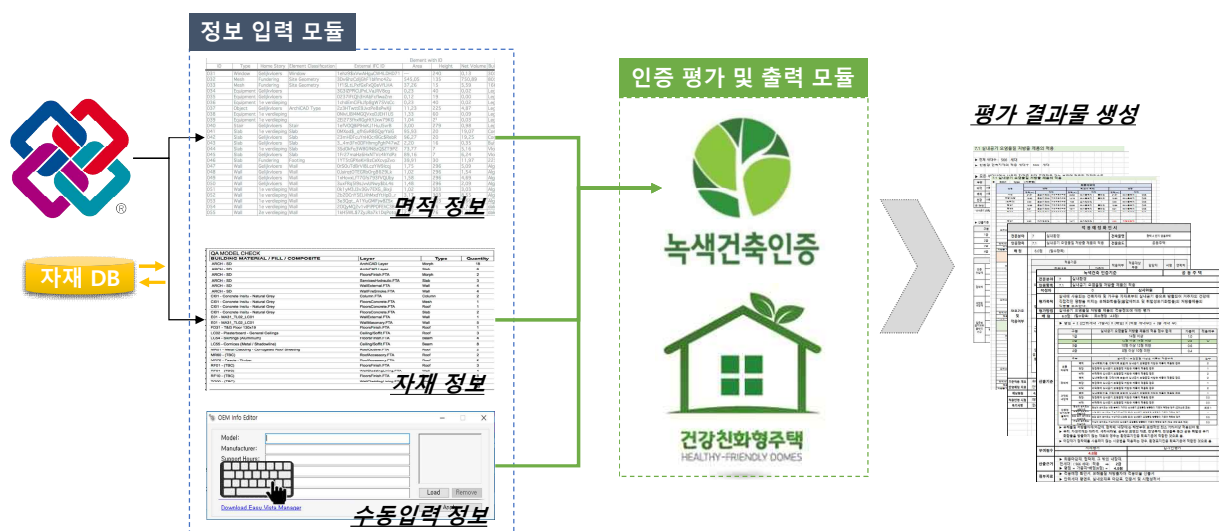


그림 49. 통합 프로그램 모듈 연계 구성도

(8) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완

- 본 연구를 통해 최종 구현된 실내공기질 통합시스템에서 녹색건축 예비인증 자체평가 부문에 대한 실무자 샘플 테스트를 수행함. 샘플 테스트를 통해 해당 부문에 대한 문제점 및 개선사항을 도출(표 61 참조)하고 해당 사항들을 보완하여 최종 프로그램에 반영하였음

표 61. 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선사항 도출 및 보완

구분	보완 전 (문제점 및 개선사항)	보완 후 (반영사항)
녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈	초기 프로젝트 개요 입력 시 녹색건축 예비인증 신청서에 필요한 정보에 대한 입력 사항을 추가해서 신청서를 자동으로 출력해주는 기능 추가	출력 모듈에 신청서 자체 생성 기능을 추가하여 구현함
	예비인증 시에는 프로젝트 개요에서 요구되는 입력정보를 모두 입력하기 어려운 경우도 있음. 모든 정보가 입력되지 않아도 다음 단계로 넘어갈 수 있도록 변경	모든 입력 정보를 입력하지 않아도 다음 단계를 계속 진행할 수 있도록 수정함
	자재 DB에 대한 업데이트가 지속적으로 이루어지는 것이 아니면, 해당 프로젝트에서 사용한 자재에 대한 인증 유효기간 및 인증 여부에 대한 부분은 수정할 수 있도록 변경 요청	해당 시스템이 네트워크 기반이 아니어서 자재 DB 업데이트가 실시간으로 이루어지기는 어렵기 때문에, 해당 프로젝트에 적용된 자재 정보에 한해서 수정할 수 있도록 구현함
녹색건축 예비인증 자체평가 출력 모듈	출력 서류 선택 시 출력물에 대한 정보를 미리 확인할 수 있는 기능 추가	평가 수행 후에 출력물에 대한 검토가 가능할 수 있도록 플랫폼 내용 제공하도록 수정함

(9) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 및 업무 프로세스 분석

(가) 건강친화형 주택건설기준⁵⁾의 개요

① 건강친화형 주택건설기준 목적

- 건강친화형 주택 건설기준은 ‘건강친화형 주택’ 건설에 필요한 사항을 규정하여 쾌적한 주거환경 조성을 목적으로 함
- ‘건강친화형 주택’이란 오염물질이 적게 방출되는 건축자재를 사용하고 환기 등을 실시하여 새집증후군 문제를 개선함으로써 거주자에게 건강하고 쾌적한 실내 환경을 제공할 수 있도록 일정수준 이상의 실내공기질과 환기성능을 확보한 주택을 말함

② 건강친화형 주택건설기준 평가

- 평가 대상: 500세대 이상의 신축 및 리모델링 공동주택
- 평가 항목: 의무기준 7개(입주자 설명서 제외 6개 항목), 권장기준 4개(2개 이상 의무적용)
- 평가 시기: 자체평가서-사업계획승인 신청 단계, 이행확인서-사용승인 단계

(나) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 및 업무 프로세스 분석

① 분석 목적 및 범위

- 본 장에서는 실제 수행한 건강친화형 주택 건설기준 사례를 선정하여 자체평가 항목의 전반적인 평가 프로세스와 평가 항목별 입력 요구정보를 분석함
- 평가 업무수행 프로세스와 항목별 입력 요구정보 분석 결과를 바탕으로 현재 인증 업무방식에서의 문제점을 도출하고, 각 문제점별로 업무 효율성을 향상시킬 수 있는 개선방안을 제안함

② 분석 대상

- 본 연구에서 선정한 분석 대상 사례는 ‘건강친화형 주택건설기준’을 실제 수행한 공동주택 3개 단지로 선정하여 진행하였으며, 분석 대상에 대한 정보는 표 62와 같음

표 62. 건강친화형 주택 건설기준 사례 정보

구분	단지명	총세대수	세대유형	(확장포함)	완료시점	건강친화형 주택건설	녹색건축인증
1	평택A단지	566세대	3개	(6개)	2016.11	○	○
2	원주봉화산B단지	839세대	8개	(16개)	2015.08	○	X

5) 건강친화형 주택 건설기준, 국토교통부고시 제2016-1084호, 2016.12.30.개정, 2018.01.01.시행

③ 건강친화형 주택건설기준 평가 프로세스 분석(업무 수행 프로세스 분석)

- 건강친화형 주택건설기준의 업무수행 프로세스는 도서를 근거로 한 항목별 적합유무로 평가하는 의무기준과 친환경자재 적용비율을 산출하여 평가하는 권장기준으로 구분되며, 의무기준 항목별 주요 업무수행 프로세스는 그림 50과 같음
- 의무기준 1항목은 단위세대별(기본형/확장형)환기량을 산출하여 평가용 시트를 작성하고 관련 증빙서류를 구비해야 하며, 이는 녹색건축인증 ‘7.2 자연 환기성능 확보’와 동일한 업무수행 프로세스로 진행됨
- 권장기준은 단위세대별(기본형/확장형) 부위별 적용자재 비율을 산출하여 평가용 시트를 작성하고 관련 증빙서류를 구비해야 하며, 이는 녹색건축인증 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용’과 동일한 업무수행 프로세스로 진행됨
- 건강친화형 주택건설기준은 500세대 이상 공동주택은 의무기준과 권장기준별로 적용여부로 평가하며, 적용을 증명하는 근거서류를 제출함
- 건강친화형 주택건설기준 평가 업무수행 프로세스는 그림 53과 같이 대상 공동주택에 대한 설계도서를 확인한 후, 항목별 평가 기준에 만족한 근거자료 유무에 따라 ‘자체평가서’와 ‘적용예정확인서’를 작성함. 권장기준과 같이 친환경건축자재 적용 비율에 대한 평가의 경우 해당 항목별 적용자재 ‘산출계산서’ 작성 업무가 추가됨

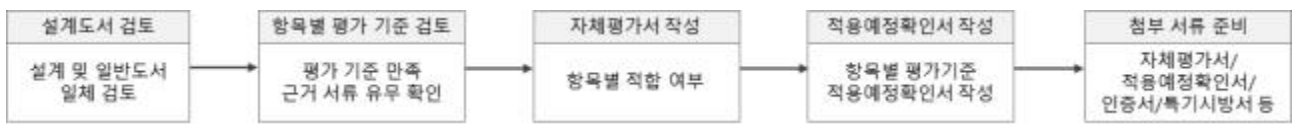


그림 50. 의무기준 업무수행 프로세스



그림 51. 의무기준 1항목 업무수행 프로세스



그림 52. 권장기준 항목별 주요 업무수행 프로세스



그림 53. 건강친화형 주택 건설기준 평가 업무수행 프로세스(전체 항목대상)

④ 건강친화형 주택건설기준 제출서류 분석

○ 건강친화형 주택건설기준의 제출 서류는 아래 표 63과 같음.

표 63. 건강친화형 주택 건설기준 항목별 제출서류

제출서류		자체평가서	적용예정확인서	제출 서류	인증서/ 시험성적서	설계도서
의 무 사 항	1. 친환경건축자재의 적용	0	0	적용 자재리스트	0	0
	2. 플러쉬의 아웃 시행		0	시행계획서	-	-
	3. 효율적인 환기성능		0	장비 사용설명서	0	-
	4. 환기설비의 성능검증		0	장비 매뉴얼/설명서 환기량 계산서 TAB 이행확인서	0	0
	5. 친환경생활제품의 적용		0	제품 매뉴얼	0	-
	6. 시공관리기준의 적용		0	특기시방서	-	-
	7. 관리자 및 입주자 사용설명서 제공		0	입주자 매뉴얼/ 사용설명서	-	-
권 장 사 항	1. 흡방습 건축자재 성능	0	0	적용 산출계산서	0	0
	2. 흡착 건축자재 성능		0	적용 산출계산서	0	0
	3. 항곰팡이 건축자재 성능		0	적용 산출계산서	0	0
	4. 항균 건축자재 성능		0	적용 산출계산서	0	0

⑤ 건강친화형 주택건설기준 평가 업무에서의 문제점 및 개선방안 도출

- 수행업무 프로세스에서의 문제점을 도출한 결과, 설계도면에서 단위세대별 부위별 면적 및 적용 자재 면적 등을 도출하는 업무에서 많은 시간이 소요되는 프로세스로 분석됨
- 본 장에서 도출된 주요 문제점별로 개선방안을 살펴보면, BIM 모델에서 형상정보를 자동으로 추출하는 기술을 활용할 때 관련 업무의 작업시간 단축효과가 가장 클 것으로 판단됨. 뿐만 아니라 면적정보의 정확도가 향상되는 측면이 있어 건강친화형 주택 건설기준 업무수행 프로세스의 신뢰도도 동시에 확보할 것으로 판단됨(표 64 참조)
- 녹색건축인증 실내공기질 관련 항목과 동일한 업무수행 프로세스가 있어 녹색건축인증에 활용된 정보를 연계하여 활용하면 관련 업무시간을 효과적으로 단축시킬 것으로 판단됨

표 64. 건강친화형 주택 건설기준 자체평가 작성 업무수행 프로세스에서의 문제점 및 개선방안

문 제 점	개선방안 및 기대효과
• 권장기준 평가 시 단위세대별 적용자재 면적 산출 작업 시간이 전체 작업의 절반이상 소요되며, 면적정보 입력과정에서의 정보입력 오류 및 누락 발생	• BIM모델에서 건물 면적 정보 자동 산출기술 개발 → 면적 정보의 정확도 향상, 작업시간 단축
• 단위세대별(기본형/확장형) 평가로 인한 업무수행 프로세스 반복으로 작업시간 증가	• 평가점수 산출 프로세스 자동화 기술 개발 → 작업시간 단축
• 설계 변경 시 기존 평가 작업문서 수정 및 재작성으로 인한 초기 작업시간의 절반이상 소요	• 설계변경 BIM모델 데이터의 건물 면적 정보 자동 산출기술 개발 및 설계변경 이력 관리 기술 개발 → 변경 정보의 정확도 향상, 작업시간 단축
• 자체평가서 및 적용예정서를 제외한 평가용 증빙서류에 대한 표준화된 양식이 없음(평가자별 다른 양식)	• 평가용 증빙서류의 표준화된 템플릿 개발 → 증빙서류 양식 제작 시간 단축

(10) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 관련 항목 분석

(가) 건강친화형 주택건설기준 평가 항목 분석

① 의무기준 항목

- 건강친화형 주택을 건설할 때 실내에서 발생하는 오염물질 방출량 감소 및 방출된 오염물질의 효과적으로 제거시키기 위해 필수적으로 적용해야 하는 기준을 말하며 (6개 항목), 1. 친환경 건축자재의 적용, 2. 플러쉬 아웃/베이킹 아웃 시행, 3. 효율적인 환기성능, 4. 환기설비의 성능 검증, 5. 친환경 생활제품의 적용, 6. 시공관리 기준의 적용 등이 있음

② 권장기준 항목

- 건강친화형 주택을 건설할 때 실내에서 발생된 오염물질을 저감시키거나 곰팡이 및 세균 발생 감소를 위한 건축자재 적용을 권장(4개 항목)하지만, 자체평가서 제출 시 권장기준 2개 항목은 의무적으로 적용해야 함.
- 권장기준 항목으로는 1. 흡방습 건축자재, 2. 흡착 건축자재, 3. 항곰팡이 건축자재, 4. 항균 건축자재 등이 있음

(나) 항목별 평가기준 분석

- 사업계획승인 단계에 제출하는 자체평가서는 각 항목별 평가기준에 부합된 서류를 제출하며, 제출된 서류를 근거로 건강친화형 주택 적합 여부를 판정함
- 의무기준 1은 실내공기 오염물질 저방출 건축자재 적용에 따른 평가항목으로 총휘발성유기화합물과 폼알데하이드 방출량의 기준 적합 여부로 평가함
- 의무기준 2는 신축 공동주택의 사용검사 단계까지 실내 건축자재에서 발생된 오염물질 방출량을 최소화하기 위한 플러쉬아웃 및 베이킹아웃 시행 여부로 평가함
- 의무기준 3은 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 자연환기 및 기계환기설비 설치 여부로 평가함
- 의무기준 4는 실내에서 발생하는 오염물질을 효과적으로 제거하기 위해 설치된 공동주택 환기설비의 TAB 시행여부로 평가함
- 의무기준 5는 신축 공동주택에 설치된 빌트-인 가전제품과 붙박이 가구에서 발생하는 총휘발성유기화합물 및 폼알데하이드 방출량의 기준 적합 여부로 평가함
- 의무기준 6은 실내공기질과 관련된 ‘일반 시공관리기준, 접착제 시공 관리기준 및 유해화학물질 확산방지를 위한 도장공사 시공관리기준’을 통해 체계적인 시공관리 진행여부로 평가함
- 의무기준 7은 ‘플러쉬 아웃방법, 환기설비 필터교환시기 및 방법, 결로방지를 위한 입주자 생활행위’에 대한 관리자 및 입주자 사용설명서 제공여부로 평가함
- 권장기준 1~4항목은 단위세대별로 시공부위에 따른 ‘흡방습, 흡착, 항곰팡이 및 항균 건축자재’의 적용비율에 따라 평가함

(다) 항목별 요구정보 분석

- 건강친화형 주택 건설기준은 ‘건강친화형 주택’을 건설하는 과정에서 실내공기질을 효과적으로 관리할 수 있는 항목을 평가하며, 각 항목은 친환경건축 자재, 환기성능, 시공관리, 입주 전 환기계획, 입주자설명으로 분류됨
- 환기 효율 산출계산서(의무기준 4.1) 및 친환경자재 적용 비율 산출계산서(권장기준 1~4) 작성항목을 제외한 항목은 모두 세부 기준에 적합한 내용 수행 여부 또는 관련 증빙서류를 구비해야 하며, 평가 항목별 입력 요구정보는 표 65와 같음

표 65. 평가 항목별 입력정보

항목			입력정보	증빙서류
의 무 사 항	1. 친환경 건축자재의 적용	1.1 저방출 건축자재	- 바닥, 벽, 천장 최종마감재/접착제/기타내장재 - 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 저방출 제품 여부(0/X)	자재리스트
		1.2 실내 마감 도료	- 실내 마감 도료 인증 여부	인증서/ 시험성적서
	2. 플러쉬아웃/ 베이킹아웃 시행		- 입주자 입주전 플러쉬아웃/베이킹아웃 시행 여부	특기시방서
	3. 효율적인 환기성능		- 환기설비 종류, 성능	인증서/ 시험성적서 사용설명서
	4. 환기설비의 성능검증	4.1 환기 효율	- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부 - 실별 바닥면적(안목치수) - 천장고(안목치수) - 기준 환기횟수 - 자연환기설비: 제품명, 제품 환기량(CMH), 적용 길이(m) - 기계환기설비: 장비명, 설계 풍량(CMH)	산출계산서
		4.2 TAB 시행	- TAB 시행여부	TAB 계약서
	5. 친환경 생활제품의 적용	5.1 빌트인 가전제품	- 오염물질 방출량 적합 여부	인증서/ 시험성적서
		5.2 붙박이 가구 성능	- 오염물질 방출량 적합 여부	
	6. 시공관리 기준의 적용	6.1 일반 시공 관리	- 실내공기 오염물질 배출 공정 작업시 환기방법 - 자재관리 계획 - 건설폐기물 등의 유지관리 계획	시방서
		6.2 접착제 시공 관리	- 접착제 시공시 시행방법	
		6.3 도장 공사 시공 관리	- 도장재 운반, 보관 및 저장, 오염물질 방출기준 적합 여부	
	7. 관리자 및 입주자 사용설명서	7.1 플러쉬아웃방법	- 플러쉬아웃 시 실내온도 및 습도조건의 유지 및 시행방법	입주자 설명서
		7.2 환기설비	- 환기설비의 필터교환 시기 및 방법	
		7.3 결로방지	- 결로방지를 위한 입주자 생활행위	

권 장 사 항	1. 흡방습 건축자재 성능	- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부 - 실구분(모든 실 - 현관, 욕실 포함) - 실별 벽면적(안목치수)	산출계산서
	2. 흡착 건축자재 성능	- 개구부면적(창호, 문) - 벽 최종마감재 종류 - 흡방습, 흡착 건축자재 여부(0/X)	
	3. 항곰팡이 건축자재 성능	- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부 - 실구분(주방/식당, 욕실, 발코니, 대피공간, 실외기실) - 실별 벽면적(안목치수)	
	4. 항균 건축자재 성능	- 외피면적(안목치수) - 개구부면적(창호, 문) - 벽 최종마감재 종류 - 항곰팡이, 항균 건축자재 여부(0/X)	

(11) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출

(가) 건강친화형 주택 건설기준 평가항목의 BIM 요구정보 연계방안 도출

- 의무기준 1, 4.1, 5를 제외한 의무기준 항목들은 모두 BIM 모델에서 추출할 수 없는 내용으로 관련 도서를 근거로 평가자가 입력하는 방식으로 구성하며, 항목별 관련 도서를 현장 DB 로 구축 연계하는 방식으로 구성함 (표 66 참조)
- 의무기준 1, 4.1, 5와 권장기준은 각 항목별로 공통입력정보(표 66, 표 67 참조)인 세대유형이 공동주택 BIM 모델에 포함된 경우 BIM 모델 정보를 그대로 추출할 수 있으나, 포함되지 않은 경우 평가자가 추가로 입력하는 방법을 활용함.

표 66. 평가자 입력정보 항목에 대한 입력방법

항목	입력 정보		입력방법
2. 플러쉬아웃/ 베이크아웃 시행	- 입주자 입주 전 플러쉬아웃 / 베이크아웃 시행 여부		평가자 입력 (현장 DB 연계)
	참고서류	특기시방서	
3. 효율적인 환기성능	- 환기설비 종류, 성능		평가자 입력 (현장 DB 연계)
	참고서류	인증서/시험성적서, 사용설명서	
4.2 TAB 시행	- TAB 시행여부		평가자 입력 (현장 DB 연계)
	참고서류	TAB 계약서	
6. 시공관리 기준의 적용	- 실내공기 오염물질 배출 공정 작업시 환기방법, 자재관리 계획 - 접착제 시공시 시행방법 - 도장재 운반, 보관 및 저장, 오염물질 방출기준 적합 여부		평가자 입력 (현장 DB 연계)
	참고서류	시방서	
7. 관리자 및 입주자 사용설명서	- 플러쉬아웃 시 실내온도 및 습도조건의 유지 및 시행방법 - 환기설비의 필터교환 시기 및 방법 - 결로방지를 위한 입주자 생활행위		평가자 입력 (현장 DB 연계)
	참고서류	입주자 설명서	

표 67. 의무기준 1, 4.1, 5 항목별 요구정보 입력방법

입력정보		추출정보	비고
세대유형		- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부	BIM 추출 정보/평가자 입력
실구분		- 모든 실 - 현관, 욕실 포함	BIM 추출 정보/평가자 입력 (거실, 주방/식당, 싱크대, 침실, 욕실, 현관, 드레스룸/파우더룸, 창고, 발코니, 팬트리)
의무기준-1 (친환경건축자재 적용)	부위별 최종 마감재	- 바닥, 벽, 천장 최종마감재 - 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 저방출 제품 여부(0/X)	건축자재 DB 자동연동/평가자 입력
	부위별 접착제	- 바닥, 벽, 천장 접착제 - 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 저방출 제품 여부(0/X)	
	부위별 내장재	- 바닥, 벽, 천장 기타 내장재 - 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 저방출 제품 여부(0/X)	
	실내 마감도료	- 오염물질 저방출 인증 여부(0/X)	
의무기준-4.1 (환기효율)	실별 면적	- 바닥(안목치수)	건축자재 DB 자동연동
	층고	- 천장고(안목치수)	
	기준 환기횟수	- 공동주택 법적기준 이상	법규 DB 연동/평가자 입력
	자연환기설비 적용 시	- 적용 제품명, 제품 환기량(CMH) - 적용 길이(m)	장비 DB 자동연동
	기계환기설비 적용 시	- 적용 장비명 - 적용 장비의 설계 풍량(CMH)	
의무기준-5 (친환경 생활제품의 적용)	불박이 가구	- 가구 설치 위치 (침실, 부엌, 현관, 거실) - 제조업체, 제품명 - 저방출 제품 인증 여부(0/X)	건축자재 DB 자동연동

표 68. 권장기준 1~4 항목 요구정보 입력방법

입력정보		추출정보	비고
세대유형		- 세대유형구분 - 기본형/확장형 여부	BIM 추출 정보/평가자 입력
실구분		- (거실, 주방/식당, 싱크대, 침실, 욕실, 현관, 드레스룸/파우더룸, 창고, 발코니, 팬트리)	BIM 추출 정보/평가자 입력
		- (주방/식당, 욕실, 발코니, 대피공간, 실외기실)	
실별 면적		- 벽체(벽둘레*천정고-개구부 총면적)	BIM 추출 정보
개구부 면적		- 창호(폭*높이_프레임 바깥치수) - 문(폭*높이_문틀 바깥치수)	BIM 추출 정보
층고		- 천장고(안목치수)	BIM 추출 정보
권장기준 -1~2항목	벽체 마감재	- 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 흡방습, 흡착 건축자재 인증 여부(0/X)	건축자재 DB 자동연동
권장기준 -3~4항목	벽체 마감재	- 표준자재명, 제조업체, 제품명 - 인증서 유효기간, 인증서 종류 - 항공팡이, 항균 건축자재 인증 여부 (0/X)	

(나) BIM 정보를 활용한 건강친화형 주택 건설기준 평가 프로세스 개발

- 본 장에서는 현 건강친화형 주택 건설기준 평가 프로세스 중 업무시간이 가장 많이 소요되며 BIM 정보와 연계 가능한 산출계산서 작성이 포함된 항목을 대상으로 BIM 정보를 활용한 프로세스를 도출함
- 개발 프로세스는 BIM 정보에서 추출된 요구정보를 평가항목별 시트에 자동으로 입력하고, 입력정보를 토대로 자체평가서, 산출계산서 및 적용예정확인서가 자동으로 생성되며, 마지막으로 제출서류를 출력하는 프로세스로 구성됨 (그림 54 참조)



그림 54. 건강친화형 주택건설기준 현재 및 BIM 정보 활용 평가 프로세스 비교

(12) 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가항목별 평가점수 산출 알고리즘 개발

- 앞서 정의한 BIM 정보를 활용한 건강친화형 주택 건설기준 항목 평가 프로세스를 바탕으로 건강친화형 주택 건설기준 평가점수 산출 알고리즘을 개발함
- 건강친화형 주택 건설기준 항목별 평가 알고리즘은 템플릿에 입력되는 데이터를 활용하여 평가용 시트를 생성할 때 사용되며, 평가점수 산출 알고리즘 구조도는 그림 55와 같음

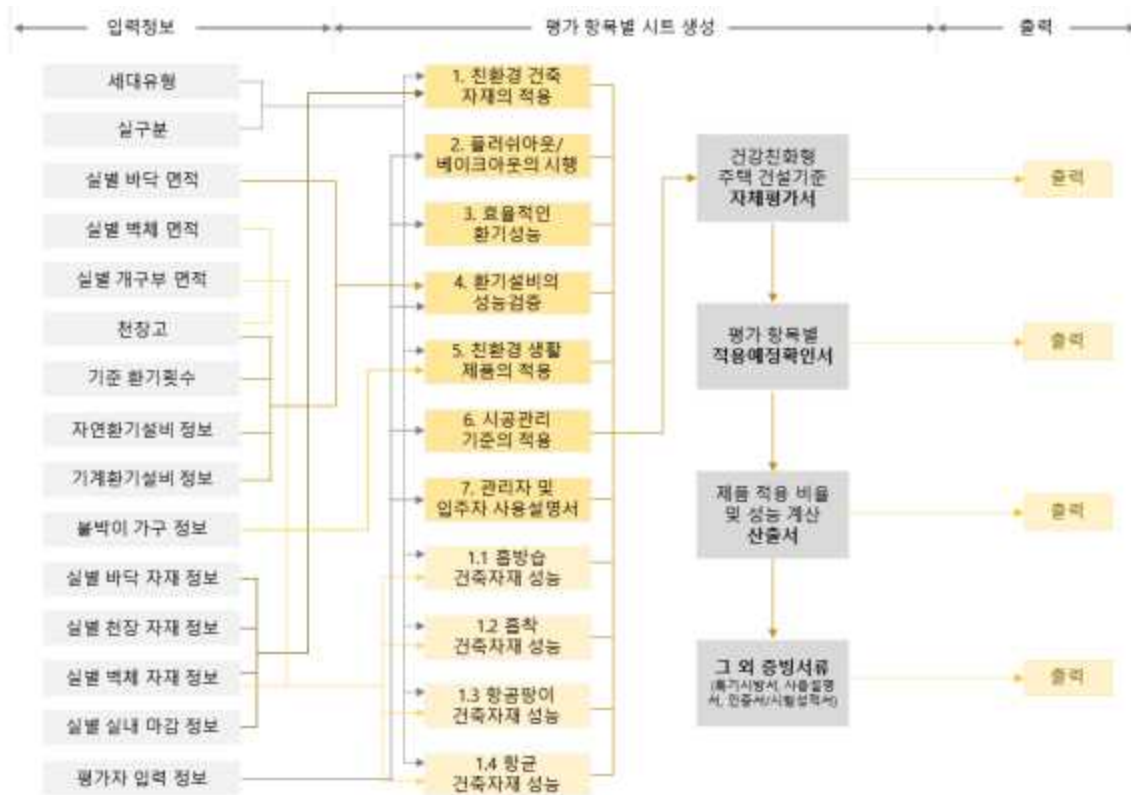


그림 55. 건강친화형 주택 건설기준 평가 알고리즘 구조도

(13) BIM정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 개발

(가) 템플릿 개발의 개요

① 개발의 배경 및 목표

- 현 건강친화형 주택건설기준 자체평가서 작성 업무는 설계도면에서 항목별 요구정보를 추출하여 적용비율을 산출하는 단순하고 반복적인 작업의 특성을 갖고 있으며, 자체평가서 작성업무에 많은 시간이 소요됨. 또한 수작업이 반복되므로 작업 오류가 빈번히 발생하여 이에 대한 수정 보완 업무도 추가적으로 발생함
- 반복적이며 비효율적인 수작업을 최소화하여 관련업무의 소요시간을 단축시키고, BIM 모델에서의 요구정보의 연동을 통해 작업결과물의 정확도를 향상시킬 수 있는 기술 개발이 요구됨
- 이에 BIM 모델에서 추출된 요구정보 입력을 통해 자동으로 생성되는 자체평가서와 산출계산서를 제공하여, 현재의 비효율적인 건강친화형 주택 건설기준 평가 업무의 효율성을 높이고 평가 결과의 정확성을 확보할 수 있는 자체평가 템플릿을 개발함

② 개발의 범위 및 내용

- 개발된 템플릿은 건강친화형 주택 건설기준의 모든 평가 항목에 대해서 적용되며, BIM에서 추출하여 입력된 정보를 바탕으로 자체평가서와 적용예정확인서를 자동으로 생성함
- 의무기준 4.1 항목과 권장기준 1~4항목에 대해서는 환기량과 적용 자재 면적비율 산출계산서를 자동으로 생성하는 기능을 제공하며, 의무기준 1과 5항목은 자재 DB와 연계되어 적용 자재 리스트를 자동으로 생성하는 기능을 제공함
- 입력의 편의성을 위해 템플릿은 입력부, 시트 생성부, 출력부로 구성하여 개발함

(나) 자체평가 템플릿 개발 결과

① 템플릿 구조도

- 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿의 구조도는 그림 56과 같으며, 개발된 템플릿은 엑셀기반으로 제작되었으며, 추후 BIM 정보와의 연동을 통해 모듈화를 통해 프로그램으로 개발할 예정임(2차년도 목표)
- 사업계획 승인단계에는 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿과 연동되며, 사용계획 승인 단계에는 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿과 연계되도록 템플릿을 개발하였음

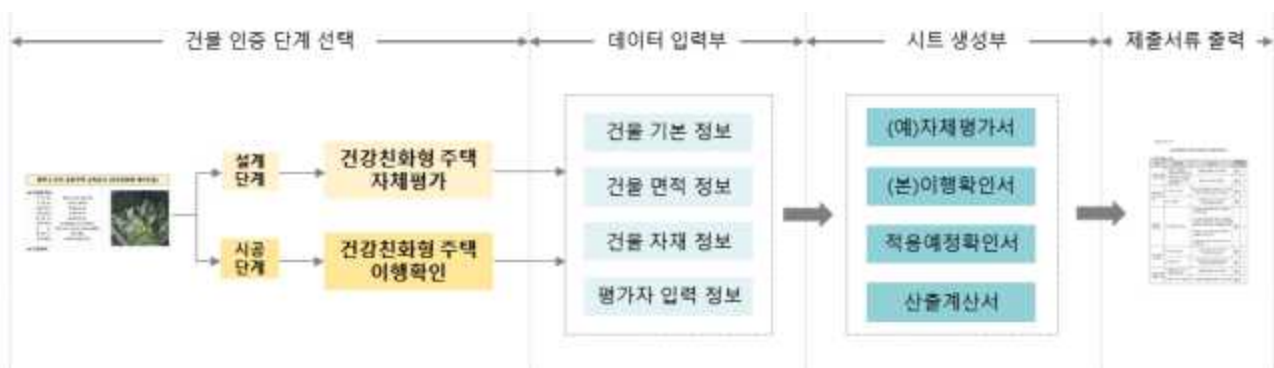


그림 56. 건강친화형 주택건설기준 자체평가/이행확인 템플릿 구조도

② 템플릿 구성내용

- 템플릿은 ‘[입력부] 건물정보 입력사항, [시트 생성부]건강친화형 제출서류 체크, [출력부] 건강친화형 첨부서류 체크 및 출력부’ 로 구성되며 세부 구성항목별 내용은 표 69와 같음

표 69. 엑셀기반의 건강친화형 주택 건설기준 자체평가 템플릿 구성내용

구분		건강친화형 주택 건설기준 자체평가 템플릿(엑셀) 구성 내용
[입력부] 건물 정보 입력사항	건물 기본 정보	대상 건물 사업 개요, 세대유형, 세대수, 전용면적 등
	건물 면적 정보	- 세대유형별, 실별, 기본형/확장형 면적 구분 - 바닥, 벽(순수 벽체), 외피면적, 총 개폐창, 문, 천정고, 환기횟수
	건물 자재 정보	- 부위별(바닥, 벽, 천장), 실별 최종마감재, 접착제, 기타 내장재 구분 - 표준자재명, 제조업체, 제품명, 인증유효기간, 인증서, 저방출 제품 여부 - 실란트, 몰딩재, 페인트 구분- 표준자재명, 제조업체, 제품명, 인증유효기간, 인증서, 저방출 제품 여부
	평가자 입력사항	각 항목별 평가내용 및 기준 준수와 제출서류 구비 유무
	자연환기설비 사용시	- 기본형/확장형, 실별 구분 - 자연환기시스템 적용 길이(m)
	흡방습, 흡착 건축자재 사용시	- 기본형/확장형, 실별 구분 - 흡방습, 흡착 건축자재 적용 여부(0/X)
	항공팡이, 항공 건축자재 사용시	- 기본형/확장형, 실별 구분 - 항공팡이, 항공 건축자재 적용 여부(0/X)
[시트 생성부] 건강친화형 제출서류 체크	자체평가서	의무기준 7항목(세부23개)과 권장기준 4항목(세부8개)에 대해 준수여부를 체크 하는 서류
	적용확인서	각 항목 평가 기준에 해당되는 사항과 동등한 성능을 실시설계 또는 시공시 반영할 것을 증명하는 서류
	그 밖 의 증 빙 서 류	1. 친환경 건축자재의 적용 자재리스트: 적용 예정인 자재명과 인증여부를 부위별/실별 구분하여 제시하는 서류
		4.1 환기설비의 성능검증 산출계산서: 환기설비 적용시 단위세대별 환기횟수 및 필요환기량의 만족 여부에 대한 근거 자료를 제시하는 서류
[출력부] 건강친화형 첨부서류 체크	의 무 기 준	권장기준 산출계산서: 흡방습, 흡착, 항공팡이, 항공 건축자재가 적용된 면적에 대한 계산한 근거자료를 제시하는 서류
		1. 친환경 건축자재의 적용 자체평가서, 적용예정확인서, 자재리스트, 실내마감표, 환경표지인증서/시험성적서
		2. 플러쉬아웃/ 베이크아웃 시행 자체평가서, 적용예정확인서, 특기시방서, 환기설명서
		3. 효율적인 환기성능 자체평가서, 적용예정확인서, 환기관련도면, 고효율자재인증서/필터 시험성적서, 환기유닛 사용설명서
		4. 환기설비의 성능검증 자체평가서, 적용예정확인서, 산출계산서-기본형/확장형, 환기관련도면, 고효율자재인증서/필터 시험성적서, TAB 용역계약서
		5. 친환경 생활제품의 적용 자체평가서, 적용예정확인서, 시험성적서, 제품 매뉴얼
		6. 시공관리 기준의 적용 자체평가서, 적용예정확인서, 특기시방서
		7. 관리자 및 입주자 사용설명서 자체평가서, 적용예정확인서, 사용설명서
	권장기준 자체평가서, 적용예정확인서, 산출계산서-기본형/확장형, 실내마감표, 단위세대 평면도, 환경표지인증서/시험성적서	

③ 템플릿 개발 내용

- BIM과 연계 시 기본적으로 추출된 데이터는 ‘건물 기본 정보, 건물 면적 정보, 건물 자재 정보’ 시트로 입력되며, 추가적으로 사용자의 입력이 필요한 항목들은 ‘평가자 입력사항’ 에서 입력할 수 있도록 구성하였음
- 실무자 자문을 통해 입력할 수 있는 세대유형 8개로 확대함. 또한, 권장사항의 요구정보 입력을 위해 실구분에 발코니, 대피공간 등을 추가하고, 건물 외피 면적 산출 방법을 적용함

표 70. 인증템플릿 구성단계

엑셀화면	설명
가) 1단계: 데이터 입력부 	건물에 대한 자재 정보 입력창 (BIM 정보 연계시 자동 입력됨)
나) 2단계: 시트 생성부 	[자체평가서] 건강친화형 주택 건설기준 자체평가서 - 평가기준 준수 여부 확인
다) 인증기관 제출서류 출력부 	각 항목별 제출 서류 구비 여부 확인창 (필수 구비서류 목록제시)

(14) 건강친화형 주택건설기준의 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발

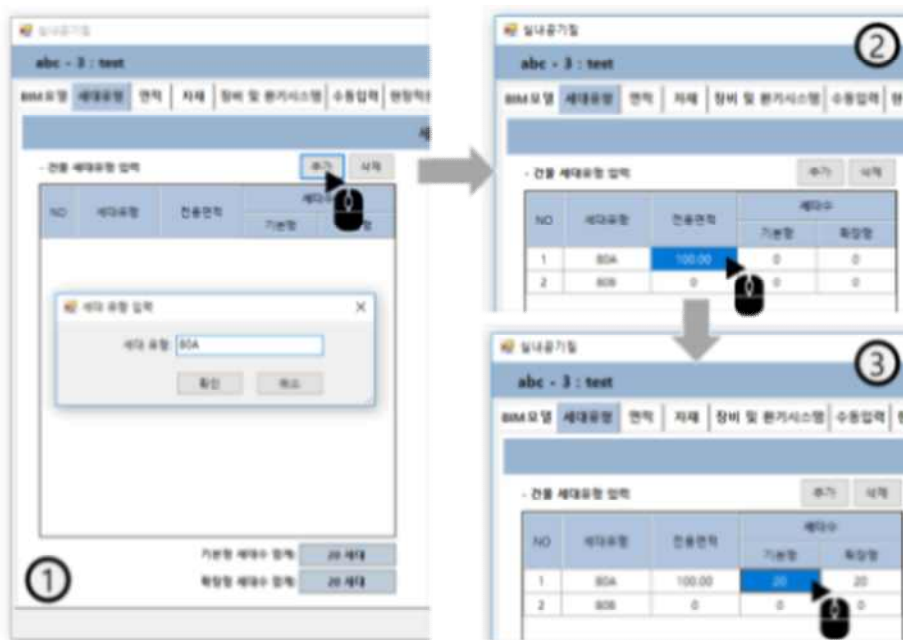
(가) 건강친화형 주택건설기준 자체평가 입력 모듈 개발

- 건강친화형 주택건설기준 자체평가 입력 모듈은 건강친화형 주택건설기준에 필요한 요구정보에 대해 자동 및 수동으로 정보를 입력할 수 있는 기능을 제공함
- 해당 입력 모듈은 입력 정보의 생성 방법에 따라 IFC 파일에서 직접 추출되어 입력되는 면적 정보, 통합 시스템 내의 데이터베이스와 연동되어 입력되는 자재정보, 사용자가 직접 입력하는 수동 입력정보로 구분됨
- IFC 파일에서 직접 추출되는 면적정보에는 실별 바닥, 벽, 천장, 창, 문에 대한 면적 정보가 자동으로 입력되며, 해당 부위에 적용된 자재에 대한 면적 정보도 함께 입력됨
- 통합 시스템의 데이터베이스와 연동되어 입력되는 자재정보는 앞서 추출된 해당 부위에 적용된 자재의 표준재료명, 제품명, 친환경인증 관련 정보가 자동으로 입력됨
- 수동 입력정보에서는 건물에 대한 기본 정보와 항목별 평가자의 판단에 의해 적합/부적합 여부를 사용자가 직접 입력함
- 본 모듈을 통한 건강친화형 주택건설기준 자체평가 요구정보 입력 절차는 다음과 같음

① 건물 기본 정보 입력

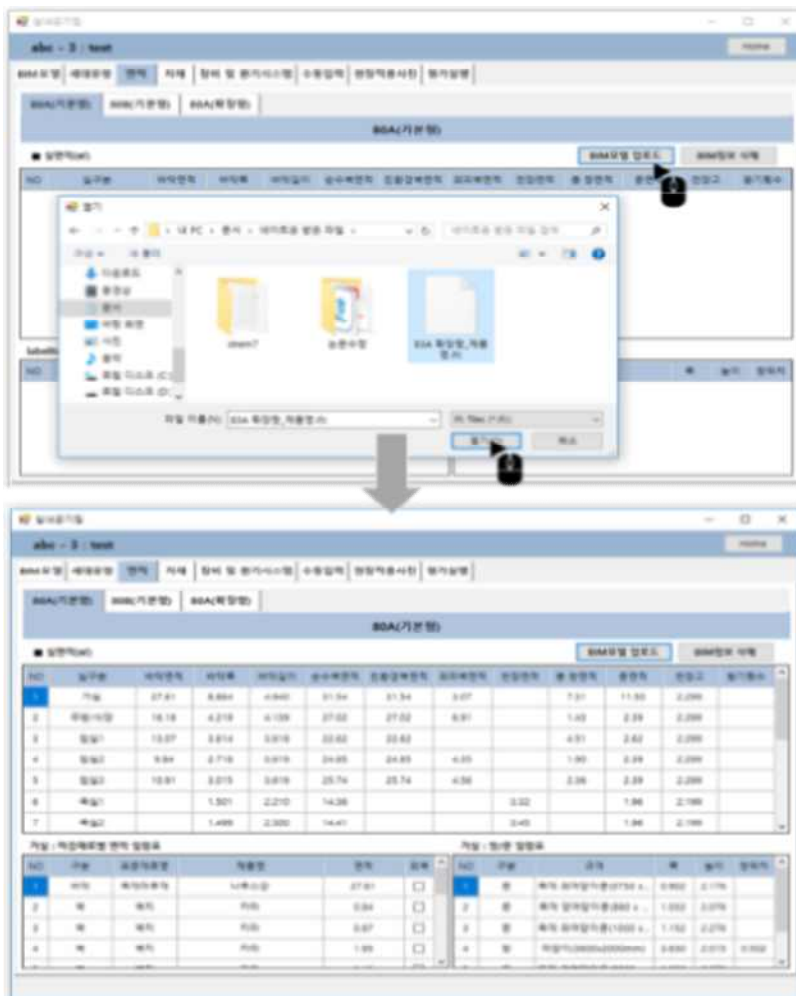
대상 프로젝트 및 시설에
대한 전반적인 정보를
사용자가
직접 입력

② 해당 프로젝트의 세대유형 및 세대수 입력



대상 프로젝트의 세대 유형 직접 추가 후, 각 유형별로 전용 면적과 기본형 및 확장형 세대수를 사용자가 직접 입력

③ 세대유형별로 IFC 파일 업로드 -> 면적 및 자재 정보 입력됨



각 세대 유형별로 해당 하는 BIM 모델을 프로그램에 업로드하며, 업로드가 완료되면 해당 세대의 실별 면적 정보가 자동으로 프로그램에 입력이 됨



BIM 모델 업로드 후
사용자가 입력한 자재
정보 DB와 연계하여
실별로 적용된 건축자재
정보들이 연동되며,
사용자는 재료 DB 안에서
건축 자재의 재료를
변경할 수 있음 (자세한
변경 사항은 프로그램
매뉴얼 참조)

④ 항목별 적합/부적합 여부 입력



대상 프로젝트의 각 세대
유형별로 건강친화형
주택건설기준의 의무사항
및 권장사항 만족여부를
사용자가 체크하여
입력함

(나) 건강친화형 주택건설기준 자체평가 출력 모듈 개발

- 건강친화형 주택건설기준 자체평가 출력 모듈은 건강친화형 주택건설기준 평가에 필요한 제출 서류들을 자동으로 생성하는 기능을 제공함
- 건강친화형 주택건설기준 자체평가에 필요한 제출서류로는 항목별 기준 성능에 대한 적합/부적합 여부를 판단하는 자체평가서, 해당 기준 성능을 만족하는 건축 자재 및 제품을 시공 시

에 반영할 것을 증명하는 적용예정확인서, 건강친화형 주택건설기준 항목별 기준에 따라 평가된 근거를 제시하는 산출서, 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서 및 인증서 등이 있음

- 입력 정보를 바탕으로 항목별 관련 기준에 따라 작성되어야 하는 자체평가서, 적용예정확인서, 근거 산출서는 1차년도에 개발된 인증 평가 플랫폼을 바탕으로 항목별 해당 양식에 따라 제출서류를 자동으로 생성함
- 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서 및 인증서는 자재 DB 및 현장 폴더와 연계되어 선택한 항목에 대해 출력기능을 제공함
- 본 모듈을 통한 건강친화형 주택건설기준 자체평가 결과 출력 절차는 다음과 같음

① 해당 인증에 대한 평가 수행



건강친화형 주택건설기준 자체평가에 필요한 모든 정보를 입력 후에 평가실행 항목의 자체평가 메뉴를 선택하여 평가를 수행하며, 엑셀로 구현된 템플릿을 최종적으로 출력함

② 해당 제출서류 출력



프로그램 내부에서 출력 메뉴를 선택하여 평가서를 전체 혹은 일부를 직접 선택하여 출력할 수 있음

(15) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합

- 본 연구를 통해 개발될 최종 결과물인 통합시스템에서 건강친화형 주택건설기준 자체평가 입·출력 모듈을 통합하는 작업을 수행함
- 통합시스템을 통한 건물 전 과정에서의 실내공기질 평가 및 성능 관리를 위해 건강친화형 주택건설기준 자체평가 입력 모듈의 정보는 설계단계의 ‘녹색건축 예비인증’, 시공단계의 ‘녹색건축 본인증’, ‘건강친화형 주택건설기준 이행확인’ 입력 모듈 정보와 연계되어 통합 관리됨(그림 57)
- 프로그램 통합을 통해 건물 정보를 관리하기 때문에 설계변경을 통해 발생하는 업무의 과중 및 중복 작업을 줄일 수 있으며, 같은 프로젝트에 대해 동일한 작업의 반복을 없앨 수 있음

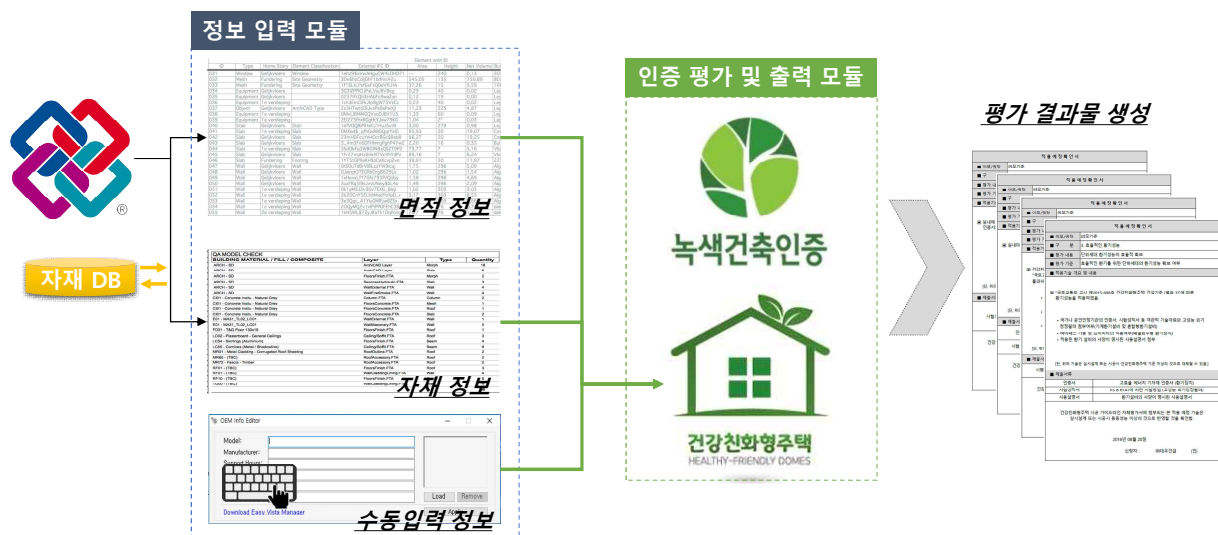


그림 57. 통합 프로그램 모듈 연계 구성도

(16) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정 · 보완

- 본 연구를 통해 최종 구현된 실내공기질 통합시스템에서 녹색건축 예비인증 자체평가 부문에 대한 실무자 샘플 테스트를 수행함. 샘플 테스트를 통해 해당 부문에 대한 문제점 및 개선사항을 도출(표 71)하고 해당 사항들을 보완하여 최종 프로그램에 반영하였음

표 71. 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선사항 도출 및 보완

구분	보완 전 (문제점 및 개선사항)	보완 후 (반영사항)
녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈	초기 프로젝트 개요 입력 시 녹색건축 예비인증 신청서에 필요한 정보에 대한 입력 사항을 추가해서 신청서를 자동으로 출력해주는 기능 추가	출력 모듈에 신청서 자체 생성 기능을 추가하여 구현함
	예비인증 시에는 프로젝트 개요에서 요구되는 입력정보를 모두 입력하기 어려운 경우도 있음. 모든 정보가 입력되지 않아도 다음 단계로 넘어갈 수 있도록 변경	모든 입력 정보를 입력하지 않아도 다음 단계를 계속 진행할 수 있도록 수정함
	자재 DB에 대한 업데이트가 지속적으로 이루어지는 것이 아니면, 해당 프로젝트에서 사용한 자재에 대한 인증 유효기간 및 인증 여부에 대한 부분은 수정할 수 있도록 변경 요청	해당 시스템이 네트워크 기반이 아니어서 자재 DB 업데이트가 실시간으로 이루어지기는 어렵기 때문에, 해당 프로젝트에 적용된 자재 정보에 한해서 수정할 수 있도록 구현함
녹색건축 예비인증 자체평가 출력 모듈	출력 서류 선택 시 출력물에 대한 정보를 미리 확인할 수 있는 기능 추가	평가 수행 후에 출력물에 대한 검토가 가능할 수 있도록 플랫폼 내용 제공하도록 수정함

3.6 시공단계 실내공기질 평가 기술 개발(핵심성과 5)

단위성과	<5-1>	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발
	<5-2>	BIM 기반 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발
	<5-3>	건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발
	<5-4>	건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발

연차	단위성과별 주요 연구내용
1차년도	<5-1> 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 (1) 녹색건축 본인증 사례정보 및 업무 프로세스 분석 녹색건축 본인증 관련 사례 조사 및 필요 업무 절차 분석 수행 (2) 녹색건축 본인증의 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수산출 방식 분석 녹색건축 본인증 항목 중 실내공기질과 관련된 항목들에 대한 분석 수행 (3) 녹색건축 본인증의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출 본인증 단계에서 실내공기질 평가를 위한 BIM 요구정보 생성 방안 분석 (4) 건물인증 실내공기질 평가모듈과 녹색건축 본인증 평가 템플릿과의 연계성 검토 기존 문제점 개선을 위한 실내공기질 평가 모듈과 평가 템플릿과의 연계성 검토 (5) BIM정보를 활용한 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발 BIM 정보를 활용한 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발
2차년도	<5-2> BIM 기반 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발 (6) 녹색건축 본인증 자체평가 및 정보 관리 입·출력 모듈 개발 녹색건축 본인증 자체평가 및 정보 관리를 위한 입·출력 모듈 개발 (7) 녹색건축 본인증 평가 프로그램 통합 녹색건축 본인증 평가를 위한 입·출력 모듈 통합 (8) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완 샘플테스트를 통한 프로그램 개선사항 도출 및 보완
1차년도	<5-3> 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발 (9) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 및 업무 프로세스 분석 건강친화형 주택건설기준 관련 사례 조사 및 필요 업무 절차 분석 수행 (10) 건강친화형 주택건설기준의 이행확인 항목 분석 건강친화형 주택건설기준 중 이행확인 항목들에 대한 분석 수행 (11) 건물인증 실내공기질 평가모듈의 건강친화형 주택건설기준과의 연계성 검토 기존 문제점 개선을 위한 실내공기질 평가 모듈과 건강친화형 주택건설기준과의 연계성 검토 (12) BIM정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발 BIM 정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발
2차년도	<5-4> 건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발 (13) 건강친화형 주택건설기준의 성능 관리 프로그램 입·출력 모듈 개발 건강친화형 주택건설기준의 성능 관리를 위한 프로그램 입·출력 모듈 개발 (14) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합 건강친화형 주택건설기준 평가를 위한 프로그램 통합 (15) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완 샘플테스트를 통한 프로그램 개선사항 도출 및 보완

구분	관련 성과물
1차년도	▪ 보고서 2건 - 녹색건축 본인증 자체평가 템플릿 구현 보고서 [증빙 12] - 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 구현 보고서 [증빙 14]
2차년도	▪ 보고서 2건 - 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 테스트 결과서 [증빙 13] - 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 테스트 결과서 [증빙 15] ▪ 국내논문 1건 - IFC-BIM을 활용한 공동주택의 실내공기질 인증 자동화 시스템 개발, 한국생활환경학회 논문집, 제25권 제3호, pp 346~356 [증빙 26]

(1) 녹색건축 본인증⁶⁾ 사례정보 및 업무 프로세스 분석

(가) 녹색건축 본인증 사례정보 분석

① 사례정보 분석의 개요

- 본 연구에서는 실제 수행했던 녹색건축인증 사례를 선정하여 녹색건축 본인증에서의 실내공기질 업무비중 및 평가업무의 프로세스를 분석함
- 사례분석은 본 과제에서 다루고 있는 실내공기질 관련 항목(7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용, 7.2 자연 환기성능 확보, 7.3 단위세대의 환기성능 확보)을 대상으로 진행하였으며, 사례분석을 통해 현재 인증 업무방식에서의 문제점을 도출하여, 업무 효율성을 높일 수 있는 개선방안을 도출함

② 사례정보 분석 대상

- 본 연구에서의 분석 대상 사례는 녹색건축 예비인증의 분석 대상과 동일하게 선정함

③ 신축 공동주택의 녹색건축인증 실내공기질 항목 비중 분석

- 녹색건축 예비인증과 본인증은 동일한 방식으로 평가되기 때문에, 본 장의 내용은 녹색건축 예비인증 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’에서 분석한 내용과 동일함
- 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’ 참조

(나) 녹색건축 본인증 업무 프로세스 분석

① 실내공기질 평가 항목별 업무수행 프로세스 분석

- 본 장에서는 공동주택 녹색건축인증 실내공기질 관련 항목에 대한 해설서와 공동주택 인증 업무 실무자 자문을 통해 녹색건축 본인증 실내공기질 평가항목별 업무수행 프로세스를 분석함
- 각 항목별 본인증 세부 업무수행 프로세스가 예비인증과 다른 점은 본인증 업무 진행 시, 설계도면과 적용 자재 검토 단계에서 예비인증 설계도서 및 적용 자재의 변경여부와 함께 산출 결과를 비교하는 작업이 추가로 진행되는 부분과 자체평가서 작성 후 현장 방문을 통해 자재의 적용 여부를 확인하는 부분임
- 또한 ‘첨부 서류 준비’ 단계에서 예비인증 때 제출했던 ‘적용예정확인서’가 본인증 때는 ‘현장적용 증빙서류(감리확인서 및 납품확인서, 현장사진)’ 제출로 변경되는 부분이 예비인증과 다름.
- 각 항목별 세부 업무수행 프로세스는 다음과 같음

6) 6) 녹색건축인증은 예비와 본인증으로 구분되지만, 예비와 본인증 시 일부 첨부서류를 제외하고 평가항목별 평가방식 및 산출계산서 작성 방식은 동일(보고서 5-1 참조)하므로, 본 보고서의 본문에서 ‘녹색건축 예비인증’이라 명확히 명시해야 하는 부분 이외에는 ‘녹색건축인증’을 혼용하여 작성함



그림 58. 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용 업무수행 프로세스(예비/본인증 비교)



그림 59. 7.2 자연 환기성능 확보 업무수행 프로세스(예비/본인증 비교)



그림 60. 7.3 단위세대의 환기성능 확보 업무수행 프로세스(예비/본인증 비교)

② 실내공기질 항목별 평가 소요시간 분석

- 본인증 시 예비인증과 달리 ‘현장방문’을 통해 현장 증빙서류를 취합하는 업무가 추가로 발생하지만 본인증 과정에서 실무자가 현장방문을 주기적으로 진행해야 하는 부분이자 해당 업무를 대체 또는 단축할 수 없는 부분임. 또한 추후 개발 프로세스에도 포함되는 업무이기 때문에 소요시간 분석에 반영하지 않음

- 따라서 녹색건축 본인증 실내공기질 항목별 평가 소요시간은 ‘녹색건축 예비인증 사례분석’과 동일한 내용이며, 자세한 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’ p.4~13와 같음

(2) 녹색건축 본인증의 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수산출 방식 분석

(가) 실내공기질 항목별 세부 평가 기준 분석

- 앞서 언급한 바와 같이 녹색건축 예비인증과 본인증은 동일한 방식으로 평가하기 때문에, 본 장의 내용은 녹색건축 예비인증 보고서(성과점검기준표 [증빙 8])의 내용과 동일함
- 자세한 분석 내용은 성과점검기준표 [증빙 8]을 참조

(나) 실내공기질 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석

① 실내공기질 항목별 평가점수 산출 방식

- 앞서 언급한 바와 같이 녹색건축 예비인증과 본인증은 동일한 방식으로 실내공기질 항목을 평가하기 때문에, 본 장의 내용은 녹색건축 예비인증 보고서(성과점검기준표 [증빙 8])의 내용과 동일함
- 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’ 을 참조

② 실내공기질 항목별 평가 제출서류 분석

표 72. 녹색건축인증 실내공기질 평가항목별 제출서류

구분	제출서류	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	7.2 자연 환기성능 확보	7.3 단위세대의 환기성능 확보
예비/ 본인증	자체평가서 (표준양식)	○	○	○
	산출계산서	자재리스트, 저방출 제품 적용 면적계산서	단위세대별 창 유효면적 비율 산출서	환기량 산출계산서
	설계도면	단위세대 평면도, 실내마감표	단위세대 평면도, 창호상세도	환기덕트도면
	인증서/ 시험성적서	저방출 자재 인증서 공인인증기관 시험성적서	-	환기설비 성능 시험성적서
예비인증	적용예정확인서 (표준양식)	○	-	○
본인증	감리확인서 (표준양식)	○	-	○
	납품확인서	○	-	○
	현장사진	○	-	○

- 대상 건축물의 녹색건축 본인증 평가를 받기 위해서는 평가항목별로 자체평가서와 평가점수 산출 근거서류 일체를 인증기관에 제출해야 함
- 본인증에 제출해야 하는 서류는 표 72와 같이 있으며, 예비인증과 다른 점은 ‘적용예정확인서’를 ‘감리확인서, 납품확인서 및 현장사진’으로 대체하여 현장적용을 증빙한다는 점임

(3) 녹색건축 본인증의 실내공기질 평가항목별 BIM 요구정보 생성 방안 도출

(가) 녹색건축인증 실내공기질 항목별 요구정보 정의

- 앞서 언급한 바와 같이 녹색건축 예비인증과 본인증은 동일한 평가 항목으로 평가되고 있기 때문에, 각 항목별 평가에 요구되는 입력항목 또한 동일하게 적용됨
- 따라서 본 장의 내용은 녹색건축 예비인증 보고서(성과점검기준표 [증빙 8])에서 분석한 내용과 동일하며, 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’의 3장을 참조

(나) 녹색건축인증 실내공기질 항목별 요구정보의 BIM 연계방안

- 녹색건축 예비인증과 본인증의 요구정보가 동일하기 때문에 요구정보의 BIM 연계방안 또한 동일한 방법을 적용함. 본 장의 내용은 녹색건축 예비인증 보고서(성과점검기준표 [증빙 8])에서 분석한 내용과 동일함
- 자세한 분석 내용은 ‘성과점검기준표 [증빙 8]’의 3장을 참조

(4) 건물인증 실내공기질 평가모듈과 녹색건축 본인증 평가 템플릿과의 연계성 검토

- 본 연구에서는 현재 녹색건축 본인증뿐만 아니라 예비인증 업무 프로세스에서 문제점으로 계속 언급한 단위세대별 동일한 업무의 반복적 수행, 설계변경에 따른 제출서류 일체 재작성 및 요구정보 입력의 오류 등의 문제점을 개선하고자 본인증 평가 시 실내공기질 평가 모듈(녹색건축 예비인증)과의 연계성을 검토함
- 당해년도(1차년도)에는 엑셀기반의 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가서류 자동 생성 기술을 개발하였으며, 녹색건축 예비인증 템플릿과 본인증 템플릿의 데이터 연계 체계도를 구현하고 데이터 연계성 검토를 완료함.
- 2차년도에는 예비인증 도서와의 비교를 통해 설계 및 적용자재 변경사항을 검토할 수 있으며, 그에 따른 산출점수도 비교할 수 있도록 예비인증 모듈과 본인증 모듈을 연동하여 개발하고자 함. 또한 실내공기질 평가 모듈(녹색건축 예비인증) 개발 후 실내공기질 성능 관리 모듈(녹색건축 본인증)의 데이터 연계 작업을 진행할 계획임
- 예비인증과 본인증 정보 데이터 연계 구성도는 그림 61과 같음



그림 61. 녹색건축 본인증과 실내공기질 평가 모듈(녹색건축 예비인증) 데이터 연계 체계도

(5) BIM정보를 활용한 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 개발

(가) 템플릿 개발의 개요

- 본 연구에서 개발한 ‘녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿’은 핵심성과 4-1(성과점 검기준표 [증빙 8])에서 개발된 ‘녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿’과 함께 개발되었으며, 템플릿에 사용된 평가 알고리즘 및 사용자 인터페이스 또한 동일함
- 두 템플릿의 차이점은 녹색건축인증 평가 업무 차이점과 동일하게 생성되는 평가용 시트 구성도가 다르다는 점이며, 실내공기질 평가 모듈과의 연계를 통한 설계 및 적용자재 변경을 검토하도록 구성함
- 개발된 템플릿은 녹색건축인증 평가 시 가장 많은 시간이 소요되는 실내공기질과 관련된 항목(7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품 적용, 7.2 자연 환기성능 확보, 7.3 단위세대 환기성능 확보)에 대해서만 적용됨
- 템플릿은 해당 항목별평가 점수를 자동으로 산출한 후 자체평가서 및 산출 계산서 등 제출서류를 자동으로 생성하고 관련 첨부 서류도 출력할 수 있는 기능을 제공함
- 특히 사용자의 활용성 및 요구정보 입력의 편의성을 위해 템플릿은 입력부, 시트 생성부, 출력부로 구성되어 개발함

(나) 본인증 자체평가 템플릿 개발 결과

① 템플릿 구성 내용

- 템플릿은 ‘[입력부] 건물정보 입력사항, [시트 생성부]녹색건축 본인증 제출서류, [출력부] 녹색건축 본인증 첨부서류 체크 및 출력부’로 구성되며 세부 구성항목별 내용은 표 73과 같음. 상세한 템플릿 이미지는 ‘성과점검기준표 [증빙 12]’의 p.11-16 참조

표 73. 엑셀기반의 공동주택 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구성내용

구분			세부 구성 내용
[입력부] 건물 정보 입력사항	건물 기본 정보		대상 건물 사업 개요, 세대유형, 세대수, 전용면적 등
	건물 면적 정보		- 세대유형별, 실별, 기본형/확장형 면적 구분 - 바닥, 벽(순수 벽체), 천장, 총 개폐창, 문, 천정고, 환기횟수
	건물 자재 정보		- 부위별(바닥, 벽, 천장), 실별 최종마감재, 접착제, 기타 내장재 구분 - 표준자재명, 제조업체, 제품명, 인증유효기간, 인증서, 저방출 제품 여부
	평가자 입력사항		- 7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용: 단위세대 평면도 확인 - 7.2 자연 환기성능 확보: 창호상세도 확인 - 7.3 단위세대의 환기성능 확보 등급기준, 자연환기 설비 제품 및 적용환기량, 기계환기 설비 제품
	(자연환기) 선택시		- 기본형/확장형, 실별 구분 - 면적(바닥), 천정고, 체적, 적용길이
[시트 생성부] 녹색건축 본인증 제출서류 체크	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		감리확인서	자체평가 점수에 해당하는 자재를 본인증시 적용한 것을 증명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		자재리스트	적용 예정인 자재명과 인증여부를 부위별/실별 구분하여 제시하는 서류
		산출계산서	저방출 제품이 적용된 면적에 대한 근거자료를 제시하는 서류
		현장적용사진	현장에 적용된 자재에 대한 실제 적용 사진을 제시하는 서류

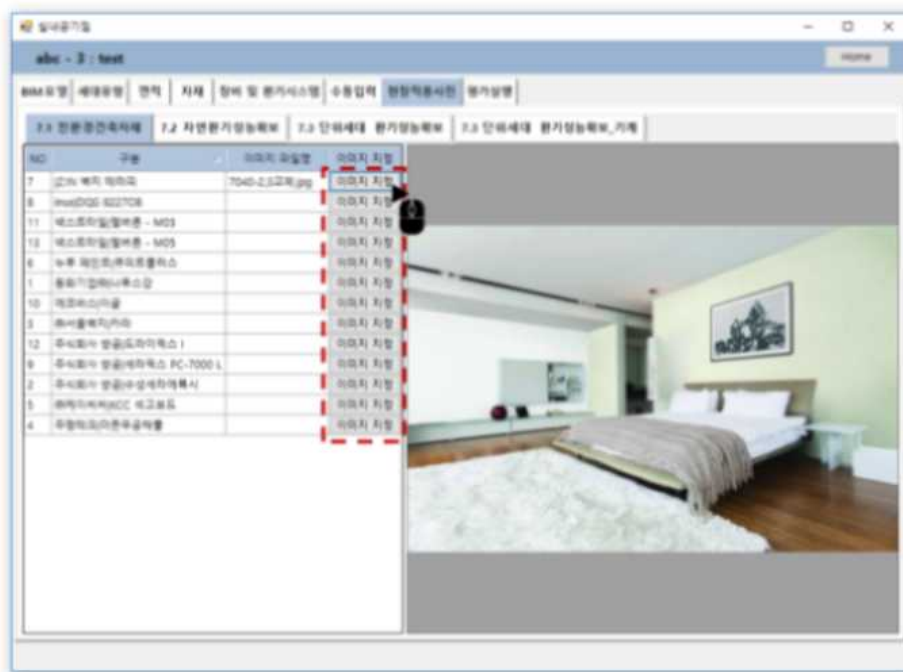
	7.2 자연 환기성능 확보	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		산출계산서	개폐가능한 창면적 비율 계산에 대한 근거자료를 제시하는 서류
		현장적용사진	현장에 적용된 자재에 대한 실제 적용 사진을 제시하는 서류
	7.3 단위세대의 환기성능 확보	자체평가서	자체평가 점수에 대해 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 서류
		감리확인서	자체평가 점수에 해당하는 설비를 본인증시 적용한 것을 증명하는 서류
		점수산출표	산출기준에 따라 계산된 평점을 제시하는 서류
		산출계산서	단위세대별 환기횟수 및 필요환기량의 만족 여부에 대한 근거자료를 제시하는 서류
		현장적용사진	현장에 적용된 자재에 대한 실제 적용 사진을 제시하는 서류
[출력부] 녹색건축 본인증 첨부서류 चेट	7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용	자체평가서, 감리확인서, 점수산출표, 자재리스트, 산출계산서-기본형/확장형, 실내마감표, 단위세대평면도-기본형/확장형, 환경표지인증서/시험성적서, 현장사진, 납품확인서	
	7.2 자연 환기성능 확보	자체평가서, 점수산출표, 산출계산서-기본형/확장형, 현장사진, 납품확인서	
	7.3 단위세대의 환기성능 확보	자체평가서, 감리확인서, 점수산출표, 산출계산서-기본형/확장형, 장비일람표, 환기덕트 평면도, 고효율자재인증서/필터 시험성적서, 현장사진, 납품확인서	

(6) 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 및 정보관리 프로그램 입·출력 모듈 개발

(가) 녹색건축 본인증 자체평가 입력 모듈 개발

- 녹색건축 본인증 자체평가 입력 모듈은 녹색건축 본인증에 필요한 요구정보에 대해 자동 및 수동으로 정보를 입력할 수 있는 기능을 제공함
- 녹색건축 예비인증과 본인증은 동일한 평가 항목으로 평가되기 때문에 해당 입력 모듈은 녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈의 기능을 동일하게 포함하고 있으며, 녹색건축 본인증 자체평가 시에는 현장적용에 대한 증빙이 추가되기 때문에 각 항목별 현장적용 사진을 업로드하는 기능이 추가됨
- 본 모듈을 통한 녹색건축 본인증 자체평가 요구정보 입력 절차는 다음과 같음. 기존 녹색건축 예비인증 자체평가 입력 모듈의 절차와 ①~⑤까지는 동일함

① 건물 기본 정보 입력
② 해당 프로젝트의 세대유형 및 세대수 입력
③ 세대유형별로 IFC 파일 업로드 -> 면적 및 자재 정보 입력됨
④ 환기시스템 정보 입력
⑤ 불박이 가구 및 환기성능 적용 점수 입력
⑥ 항목별 현장적용사진 업로드

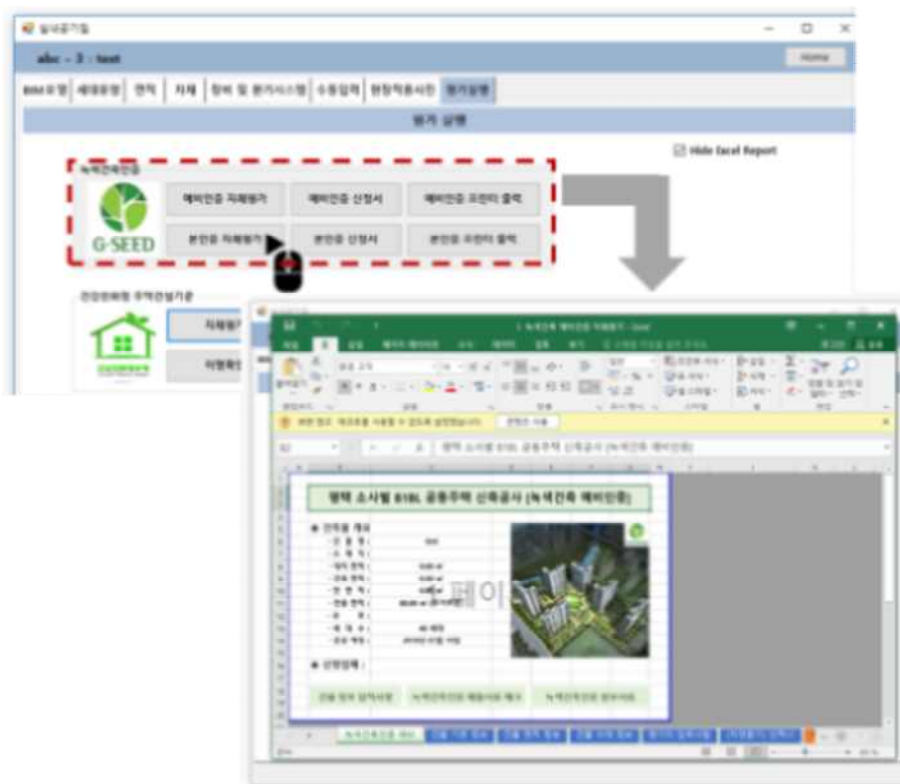


현장적용사진 항목에서
각 세부 항목에
해당하는 자재들의
현장적용사진을 이미지
지정 메뉴를 선택하여
프로그램에 업로드함

(나) 녹색건축 본인증 자체평가 출력 모듈 개발

- 녹색건축 본인증 자체평가 출력 모듈은 녹색건축 본인증 평가에 필요한 제출서류들을 자동으로 생성하는 기능을 제공함
- 녹색건축 본인증 평가에 필요한 제출서류로는 획득 점수에 대한 산출 기준 및 근거에 대해 설명하는 자체평가서와 점수산출표, 획득 점수 기준에 준하는 건축 자재 및 제품의 적용을 증명하는 감리확인서 및 현장적용사진, 녹색건축인증 항목별 산출기준에 따라 평가된 근거를 제시하는 산출서, 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서 및 인증서 등이 있음
- 녹색건축 예비인증 자체평가 출력 모듈과 동일하게 입력 정보를 바탕으로 항목별 관련 기준에 따라 작성되어야 하는 자체평가서, 점수산출표, 감리확인서, 근거 산출서는 1차년도에 개발된 인증 평가 플랫폼을 바탕으로 자동으로 평가 점수가 산출되고, 항목별 해당 양식에 따라 제출서류를 생성함
- 그 밖의 적용 제품 및 자재에 대한 시험성적서/인증서와 현장적용사진은 자재 DB 및 현장 폴더와 연계되어 선택한 항목에 대해 출력기능을 제공함
- 본 모듈을 통한 녹색건축 본인증 자체평가 요구정보 입력 절차는 다음과 같음

① 해당 인증에 대한 평가 수행



녹색건축 본인증
자체평가에 필요한
모든 정보를 입력 후에
평가실행 항목의
본인증 자체평가 메뉴를
선택하여 평가를
수행하며, 엑셀로 구현된
템플릿을 최종적으로
출력함

② 해당 제출서류 출력



프로그램 내부에서 출력
메뉴를 선택하여
평가서를 전체 혹은
일부를 직접 선택하여
출력할 수 있음

(7) 녹색건축 본인증 평가 프로그램 통합

- 본 연구를 통해 개발될 최종 결과물인 통합시스템에서 녹색건축 본인증 자체평가 입·출력 모듈을 통합하는 작업을 수행함
- 통합시스템을 통한 건물 전 과정에서의 실내공기질 평가 및 성능 관리를 위해 녹색건축 본인증 자체평가 입력 모듈의 정보는 설계단계의 '녹색건축 예비인증', '건강친화형 주택건설 기준 자체평가', 시공단계의 '건강친화형 주택건설기준 이행확인' 입력 모듈 정보와 연계되어 통합 관리됨(그림 62)
- 프로그램 통합을 통해 건물 정보를 관리하기 때문에 설계변경을 통해 발생하는 업무의 과중 및 중복 작업을 줄일 수 있으며, 같은 프로젝트에 대해 동일한 작업의 반복을 없앨 수 있음

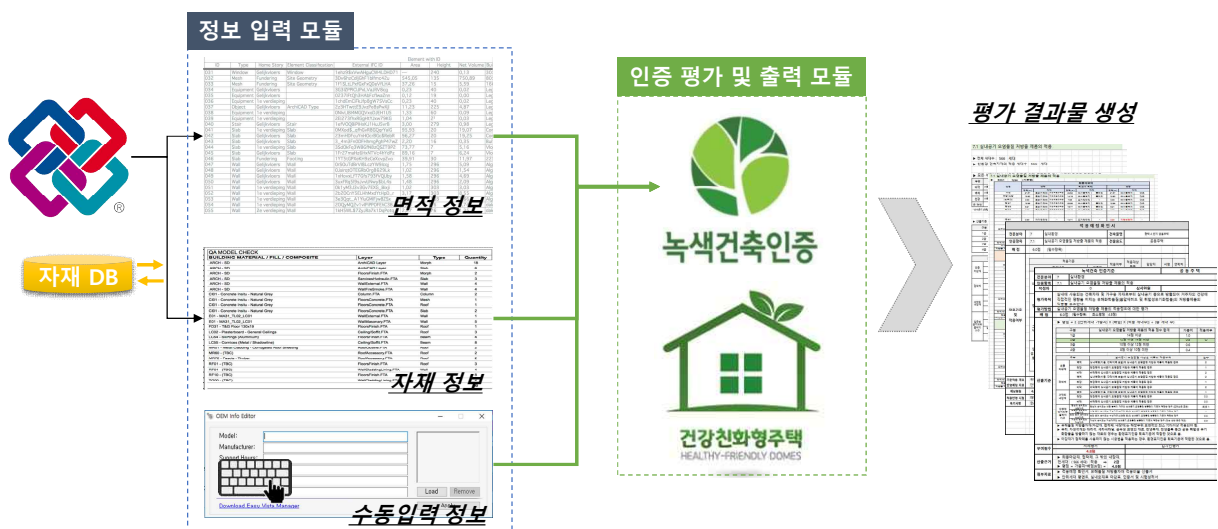


그림 62. 통합 프로그램 모듈 연계 구성도

(8) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정 · 보완

- 본 연구를 통해 최종 구현된 실내공기질 통합시스템에서 녹색건축 본인증 자체평가 부문에 대한 실무자 샘플 테스트를 수행함. 샘플 테스트를 통해 해당 부문에 대한 문제점 및 개선사항을 도출(표 74 참조)하고 해당 사항들을 보완하여 최종 프로그램에 반영하였음

표 74. 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선사항 도출 및 보완

구분	보완 전 (문제점 및 개선사항)	보완 후 (반영사항)
녹색건축 본인증 자체평가 입력 모듈	현장적용사진 업로드 시 1개 파일 이상 업로드 가능하도록 수정 요청	현재 현장적용사진의 경우 출력 모듈과 연동되어 있어 한 항목당 하나의 이미지밖에 업로드가 되지 않으며, 해당 부분은 여러장을 하나의 이미지로 묶어서 올리면 가능함
	현장적용사진 업로드 한 사진에 대해 미리 확인할 수 있는 기능 추가	현장적용사진 탭에 업로드한 이미지 파일 확인할 수 있는 뷰어 구현함
녹색건축 본인증 자체평가 출력 모듈	출력 서류 선택 시 출력물에 대한 정보를 미리 확인할 수 있는 기능 추가	평가 수행 후에 출력물에 대한 검토가 가능할 수 있도록 플랫폼 내용 제공하도록 수정함

(9) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 및 업무 프로세스 분석

(가) 건강친화형 주택건설기준 사례정보 분석

① 분석 목적 및 범위

- 본 장에서는 실제 수행한 건강친화형 주택건설기준 사례를 선정하여 자체평가 항목의 전반적인 평가 프로세스와 평가 항목별 입력 요구정보를 분석함
- 평가 업무 수행 프로세스와 항목별 입력 요구정보 분석 결과를 바탕으로 현재의 인증 업무방식에서의 문제점을 도출하고, 각 문제점별로 업무 효율성을 향상시킬 수 있는 개선방안을 제안함

② 분석 대상

- 본 연구에서 선정한 분석 대상 사례는 ‘건강친화형 주택건설기준’을 실제 수행한 공동주택 2개 단지로 선정하여 진행하였으며, 분석 대상에 대한 정보는 표 75와 같음

표 75. 건강친화형 주택건설기준 사례 정보

구분	단지명	총세대수	세대유형	(확장포함)	완료시점	건강친화형 주택건설	녹색건축인증
1	평택A단지	566세대	3개	(6개)	2016.11	○	○
2	원주봉화산B단지	839세대	8개	(16개)	2015.08	○	X

(나) 건강친화형 주택건설기준 업무 프로세스 분석

① 건강친화형 주택건설기준 평가 프로세스 분석(업무 수행 프로세스 분석)

- 건강친화형 주택건설기준 이행확인 단계의 업무 수행 프로세스는 기존 사업계획승인 단계에서 제출한 자체평가서를 바탕으로 각 항목별 적용여부를 현장 확인 후 평가함
- 자체평가서 및 설계 도서를 근거로 항목별 적합 유무를 평가하여 6개 항목의 의무기준과 4개 항목의 권장기준의 이행확인서를 작성함(그림 63 참조)

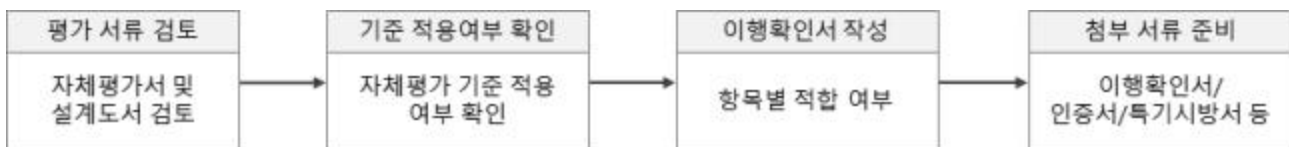


그림 63. 건강친화형 주택건설기준 평가 프로세스(전체 항목대상)

② 건강친화형 주택건설기준 제출서류 분석

- 건강친화형 주택건설기준의 업무 수행 프로세스에 따라 제출 서류는 다음과 같음(표 76 참조)

표 76. 건강친화형 주택건설기준 항목별 제출서류

제출서류		이행확인서	제출 서류	설계도서
의 무 사 항	1. 친환경건축자재의 적용	○	인증서/시험성적서	○
	2. 플러쉬의 아웃 시행		시행계획서	-
	3. 효율적인 환기성능		장비 사용설명서 인증서/시험성적서	-
	4. 환기설비의 성능검증		장비 매뉴얼/설명서 인증서/시험성적서 TAB 이행확인서	○
	5. 친환경생활제품의 적용		제품 매뉴얼 인증서/시험성적서	-
	6. 시공관리기준의 적용		특기시방서	-
권 장 사 항	1. 흡방습 건축자재 성능		인증서/시험성적서	○
	2. 흡착 건축자재 성능		인증서/시험성적서	○
	3. 항곰팡이 건축자재 성능		인증서/시험성적서	○
	4. 항균 건축자재 성능		인증서/시험성적서	○

(10) 건강친화형 주택건설기준의 이행확인 항목 분석

(가) 건강친화형 주택건설기준 평가 항목 분석

- 건강친화형 주택을 건설할 때 실내에서 발생하는 오염물질 방출량 감소 및 방출된 오염물질의 효과적으로 제거시키기 위해 의무기준 6개 항목과 권장기준 4개 항목이 있음. 평가 항목별 자세한 평가 기준은 표 77, 78과 같음.

표 77. 건강친화형 주택건설기준 의무기준

구 분	항목 설명
1. 친환경 건축자재의 적용	가. 실내에 사용하는 건축자재는 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 7 참조에 따른 실내공기 오염물질 저방출 자재 기준에 적합할 것 나. 실내마감용으로 사용하는 도료에 함유된 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg) 및 6가크롬(Cr+6) 등의 유해원소는 환경표지 인증기준에 적합할 것
2. 플러쉬 아웃/베이킹아웃 시행	쾌적하고 안전한 실내공기 환경을 확보하기 위하여 각종 공사를 완료한 후 입주자가 입주하기 전에 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 8에 따라 플러쉬 아웃(Flush-out) 또는 베이킹아웃(Bake-out)을 실시할 것
3. 효율적인 환기성능	효율적인 환기를 위하여 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 9에 적합한 단위세대의 환기성능을 확보할 것
4. 환기 설비의 성능검증	설치된 환기설비의 정상적인 성능 발휘 및 운영 여부를 확인하기 위하여 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 10에 따른 성능검증을 시행할 것
5. 친환경 생활제품의 적용	가. 빌트-인(built-in) 가전제품은 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 11의 제1호에 적합할 것 나. 붙박이가구 등은 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’의 표 11의 제2호에 적합할 것

6. 시공관리 기준의 적용	가. 일반 시공·관리기준 1) 입주 전에 설치하는 붙박이 가구 및 빌트-인(built-in) 가전제품, 내장재 시공 등과 같이 실내공기 오염물질을 배출하는 공정은 공사로 인해 방출된 오염물질을 실외로 충분히 배기할 수 있는 환기계획을 수립할 것 2) 시공단계에서 사용하는 실내마감용 건축 자재는 품질 변화가 없고 오염물질 관리가 가능하도록 보관할 것 3) 건설폐기물은 실외에 적치하도록 적치장을 확보하고 반출계획을 작성하여 공사가 완료될 때까지 다른 요인에 의해 시공 현장이 오염되지 않도록 구체적인 유지관리 계획을 수립할 것
	나. 접착제의 시공·관리기준 1) 바닥 등 건물내부 접착제 시공면의 수분함수율은 4.5퍼센트 미만이 되도록 할 것 2) 접착제 시공면의 평활도는 2미터마다 3밀리미터 이하로 유지할 것 3) 접착제를 시공할 때의 실내온도는 5℃ 이상으로 유지할 것 4) 접착제를 시공할 때에 발생하는 오염물질의 적절한 외부배출 대책을 수립할 것(환기·공조시스템 가동중지 및 급배기구를 밀폐한 후 자연통풍 실시 또는 배풍기 가동)
	다. 유해화학물질 확산방지를 위한 도장 공사 시공·관리기준 1) 도장재의 운반·보관·폐기장 및 시공은 제조자 지침을 준수할 것 2) 외부 도장공사시 도료의 비산과 실내로의 유입을 방지할 수 있는 대책을 수립할 것(도장부스 사용 등) 3) 실내 도장 공사를 실시할 때에 발생하는 오염물질의 적절한 외부배출 대책을 수립할 것(환기·공조시스템 가동중지 및 급배기구를 밀폐한 후 자연통풍 실시 또는 배풍기 가동) 4) 뿜칠 도장공사시 오일리스 방식 컴프레서, 오일필터 또는 저오염오일 등 오염물질 저방출 장비를 사용할 것

표 78. 건강친화형 주택건설기준 권장기준

구 분	세부 평가기준
1. 흡방습 건축자재	흡방습 건축자재는 모든 세대에 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’ 표 13의 제1호에 적합한 건축자재를 거실과 침실 벽체 총면적의 10퍼센트 이상을 적용할 것
2. 흡착 건축자재	흡착 건축자재는 모든 세대에 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’ 표 13의 제2호에 적합한 건축자재를 거실과 침실 벽체 총 면적의 10퍼센트 이상을 적용할 것
3. 항곰팡이 건축자재	항곰팡이 건축자재는 모든 세대에 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’ 표 13의 제3호에 적합한 건축자재를 발코니·화장실·부엌 등과 같이 곰팡이 발생이 우려되는 부위에 총 외피면적의 5퍼센트 이상을 적용할 것
4. 항균 건축자재	항균 건축자재는 모든 세대에 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’ 표 13의 제4호에 적합한 건축자재를 발코니·화장실·부엌 등과 같이 세균 발생이 우려되는 부위에 총 외피면적의 5퍼센트 이상을 적용할 것

(나) 건강친화형 주택건설기준 항목별 평가기준 분석

- 앞에서 언급했듯이 사업계획승인 단계에 제출하는 자체평가서는 각 항목별 평가기준에 부합된 서류를 제출하지만, 이행확인서는 사용계획 승인 시 감리자가 기 제출된 자체평가서를 토대로 해당 항목들에 대한 수행여부로 판단하여 작성하기 때문에 항목별 평가기준은 핵심성과 4-2에서 분석된 내용과 동일함
- 자세한 분석 내용은 성과점검기준표 [증빙 10]를 참조

(11) 건물인증 실내공기질 평가모듈의 건강친화형 주택건설기준과의 연계성 검토

(가) 실내공기질 평가 모듈과 건강친화형 주택건설기준 이행확인과의 연계성 검토

- 본 연구에서는 건강친화형 주택건설기준 평가 시 사업계획단계와 사용승인단계에서의 설계변경이 이루어 졌을 때의 문제점을 개선하고자 사용승인 단계에서 실내공기질 평가 모듈(사업계획 승인 내역)과의 연계성에 대하여 검토하였음
- 1차년도 연구 내용으로는 템플릿을 개발하여 건강친화형 주택건설기준 자체평가 자동 생성 기술을 개발하였으며, 이에 설계 변경 이력 검토 항목을 추가하여 사업계획 단계와 사용승인 단계의 연동 가능성
- 해당 연구에서 실내공기질 평가 모듈과 이행확인 템플릿과의 데이터 연계 체계도를 구현하여 연계성 검토를 마쳤으며, 2차년도에 실내공기질 평가 모듈 구현 후 데이터 연계 작업이 이루어질 예정임
- 설계 데이터 연동은 그림 64와 같이 구현될 예정임



그림 64. 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿과 실내공기질 모듈 데이터 연계 체계도

(12) BIM정보를 활용한 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발

(가) 템플릿 개발의 개요

- 본 연구에서 개발한 ‘건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿’은 핵심성과 4-2에서 개발된 ‘건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿’과 함께 개발되었으며, 템플릿에 사용된 평가 알고리즘 및 사용자 인터페이스 또한 동일함
- 두 템플릿의 차이점은 건강친화형 주택건설기준 평가 업무 차이점과 동일하게 생성되는 평가용 시트 구성에 대한 차이가 있으며, 실내공기질 평가 모듈과의 연계를 통한 설계 변경 사항 검토가 진행됨
- 본 장에서는 ‘건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿’의 구성내용 및 구현 내용은 자체평가서 템플릿과 동일한 내용이므로, 자세한 템플릿 개발 내용은 성과점검기준표 [증빙 10]를 참조

(나) 이행확인 템플릿 개발 결과

① 템플릿 구성 내용

- 템플릿은 ‘[입력부] 건물정보 입력사항, [시트 생성부] 이행확인서 체크, [출력부] 첨부서류 체크 및 출력부’로 구성되며 세부 구성항목별 내용은 표 79와 같음. 상세한 템플릿 이미지는 ‘성과점검기준표 [증빙 10]’을 참조

표 79. 엑셀기반의 건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구성내용

구분			세부 구성 내용
[입력부] 건물정보 입력사항	건물 기본 정보		대상 건물 사업 개요, 세대유형, 세대수, 전용면적 등
	평가자 입력사항		각 항목별 평가내용 및 기준 준수와 제출서류 구비 유무
[시트 생성부] 건강친화형 제출서류 체크	이행확인서		의무기준 6항목과 권장기준 4항목에 대해 준수여부를 체크하는 서류
[출력부] 건강친화형 첨부서류 체크	의 무 기 준	1. 친환경 건축자재의 적용	이행확인서, 단위세대 평면도, 인증서/시험성적서
		2. 플러쉬 아웃/ 베이크아웃 시행	이행확인서, 특기시방서, 환기설명서
		3. 효율적인 환기성능	이행확인서, 고효율자재인증서/필터 시험성적서, 환기유닛 사용설명서
		4. 환기설비의 성능검증	이행확인서, 환기관련도면, 고효율자재인증서/필터 시험성적서, TAB 용역계약서
		5. 친환경 생활제품의 적용	이행확인서, 시험성적서, 제품 매뉴얼
		6. 시공관리 기준의 적용	이행확인서, 특기시방서
	권장기준		이행확인서, 단위세대 평면도, 인증서/시험성적서

(13) 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 입·출력 모듈 개발

(가) 건강친화형 주택건설기준 이행확인 입력 모듈 개발

- 건강친화형 주택건설기준 이행확인 입력 모듈은 건강친화형 주택건설기준에 필요한 요구정보에 대해 자동 및 수동으로 정보를 입력할 수 있는 기능을 제공함
- 건강친화형 주택건설기준 이행확인 단계에서는 기존 사업계획승인 단계에서 제출한 건강친화형 주택건설기준 자체평가서를 바탕으로 각 항목별 적용여부를 평가함
- 따라서 해당 모듈에서는 각 항목별 시공단계에서 수행여부를 평가자가 판단하여 직접 입력함
- 본 모듈을 통한 건강친화형 주택건설기준 이행확인 요구정보 입력 절차는 다음과 같음

① 건물 기본 정보 입력

대상 프로젝트 및 시설에
대한 전반적인 정보를
사용자가
직접 입력

② 해당 프로젝트의 세대유형 및 세대수 입력

대상 프로젝트의 세대
유형 직접 추가 후,
각 유형별로 전용 면적과
기본형 및 확장형 세대
수를 사용자가 직접 입력

③ 항목별 적합/부적합 여부 입력

대상 프로젝트의 각 세대 유형별로 건강친화형 주택건설기준의 의무사항 및 권장사항 만족여부를 사용자가 체크하여 입력함

(나) 건강친화형 주택건설기준 이행확인 출력 모듈 개발

- 건강친화형 주택건설기준 이행확인 출력 모듈은 건강친화형 주택건설기준 평가에 필요한 제출서류들을 자동으로 생성하는 기능을 제공함
- 건강친화형 주택건설기준 이행확인에 필요한 제출서류로는 항목별 기준 성능에 대한 적합/부적합 여부를 판단하는 이행 확인서가 있음
- 본 모듈을 통한 건강친화형 주택건설기준 이행평가 결과 출력 절차는 다음과 같음

① 해당 인증에 대한 평가 수행

건강친화형 주택건설기준 이행확인에 필요한 모든 정보를 입력 후에 평가실행 항목의 이행확인 메뉴를 선택하여 평가를 수행하며, 엑셀로 구현된 템플릿을 최종적으로 출력함

② 해당 제출서류 출력



프로그램 내부에서 출력
메뉴를 선택하여
평가서를 전체 혹은
일부를 직접 선택하여
출력할 수 있음

(14) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합

- 본 연구를 통해 개발될 최종 결과물인 통합시스템에서 건강친화형 주택건설기준 이행확인
입·출력 모듈을 통합하는 작업을 수행함
- 통합시스템을 통한 건물 전 과정에서의 실내공기질 평가 및 성능 관리를 위해 건강친화형 주택
건설기준 이행확인 입력 모듈의 정보는 설계단계의 ‘녹색건축 예비인증’, ‘건강친화형 주택
건설기준 자체평가’, 시공단계의 ‘녹색건축 본인증’ 입력 모듈 정보와 연계됨(그림 65)
- 프로그램 통합을 통해 건물 정보를 관리하기 때문에 설계변경을 통해 발생하는 업무의 과중
및 중복 작업을 줄일 수 있으며, 같은 프로젝트에 대해 동일한 작업의 반복을 없앨 수 있음



그림 65. 통합 프로그램 모듈 연계 구성도

(15) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완

- 본 연구를 통해 최종 구현된 실내공기질 통합시스템에서 건강친화형 주택건설기준 이행확인 부문에 대한 실무자 샘플 테스트를 수행함. 해당 부문은 현장에서 직접 확인하는 부분이 많기 때문에 프로그램에 대한 개선사항 요청은 없었음

표 80. 실무자 샘플 테스트를 통한 성능 개선사항 도출 및 보완

구분	보완 전 (문제점 및 개선사항)	보완 후 (반영사항)
건강친화형 주택건설기준 자체평가 입력 모듈	문제점 및 개선사항 없음	문제점 및 개선사항 없음
건강친화형 주택건설기준 자체평가 출력 모듈	문제점 및 개선사항 없음	문제점 및 개선사항 없음

3.7 운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발(핵심성과 6)

단위성과	<6-1>	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축
	<6-2>	실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발
	<6-3>	실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발
	<6-4>	실내공기질 예측 프로그램 개발

연차	단위성과별 주요 연구내용
1차년도	<6-1> 실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축 (1) 실내공기질 인증(유지관리 기준)의 측정 정보 관리와 관련된 법규 및 인증 프로세스 분석 (2) 국내외 실내공기질 측정대상 오염물질별(유지/권고) 허용기준 조사 및 분석 (3) 운영단계 실내공기질 측정 및 관리기준 수립 (4) 국내 실내공기질 인증을 위한 필수 측정대상 오염물질 분류 체계 구축 (5) 주요 실내오염물질 대상 선정 및 농도허용기준 설정 분석 대상 건축 자재 방출 및 대기중 주요 오염물질 선정 및 허용 농도기준 설정 (6) 실내공기질 인증 대상 측정 정보 관리체계 구축
2차년도	<6-2> 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발 (7) 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발 (8) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 통합을 위한 프로그램 입·출력 모듈 개발 (9) 실내오염물질 판정결과(유지/권고/허용기준) 비교 모듈 개발 (10) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
1차년도	<6-3> 건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 개발 (11) 주요 실내오염물질 방출원별 방출 특성 및 건축자재별 실내오염물질 방출 특성 분석 (12) 건물 용도별 사용특성 조사 및 재실특성 DB 구축 (13) 주요 실내공기질 예측식 개발을 위한 오염물질 선정 후 방출 및 제거 예측식 조사 실내공기질 오염물질 방출원 종류에 따른 방출 예측식 및 제거 예측식 조사 (14) 프로그램 적용을 위한 자연환기성능, 실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발 실내공기질 예측을 위한 자연환기량, 실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발 (15) BIM 추출정보 활용 실내공기질 방출 및 농도 예측 알고리즘 개발 BIM 정보를 활용한 실내공기질 오염물질 방출량 및 농도 예측 알고리즘 개발
2차년도	<6-4> 건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발 (16) 실내공기질 예측 프로그램의 BIM 프로그램과의 직·간접적 연계성 검토 (17) BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 프로그램(모듈) 개발 BIM 정보를 활용한 CFD 분석 데이터 및 기계학습 기반 실내공기질 예측 프로그램 개발 (18) BIM 프로그램에서 실내공기질 예측 프로그램 입·출력 모듈 개발 실내공기질 통합 프로그램과 연동을 위한 프로그램 입·출력 모듈 개발 (19) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완

구분	관련 성과물
1차년도	■ 보고서 2건 - 실내공기질 인증의 측정 정보 관리 체계 구축 보고서 [증빙 16] - 실내공기질 예측 알고리즘 개발 보고서 [증빙 18] ■ 특허출원 1건 - 실내 오염물질 제거를 위한 창호 개폐량 및 실외 기류속도 기반의 실내 유효 자연 환기량 산출 시스템 및 방법 [증빙 22]
2차년도	■ 보고서 2건 - 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 구현 보고서 [증빙 17] - 실내공기질 예측 프로그램 테스트 결과서 [증빙 19] ■ 국내논문 1건 - 전산유체역학 및 다중회귀분석을 활용한 공동주택 단위 실의 유형별 최대 공기량 예측모델 개발, 한국생활환경학회논문집, 제25권 제3호, pp 288~297 [증빙 27] ■ 특허출원 1건 - 공동주택 실내공기질 개선을 위한 유효 필요 환기량 예측 시스템 및 방법 [증빙 24] ■ S/W 등록 1건 - 실내공기질 측정 및 예측 정보 관리 프로그램 [증빙 32]

(1)실내공기질 인증(유지관리 기준)의 측정 정보 관리와 관련된 법규 및 인증 프로세스 분석

○ 실내공기질 인증의 측정 정보 관리와 관련된 법규 및 인증 프로세스를 아래 표 81과 같이 조사하고 분석함

표 81. 실내공기질 인증(유지관리 기준)의 측정 정보 관리와 관련된 법규 및 인증 프로세스 조사 결과

구분	실내공기질 관리법 시행규칙 ⁷⁾	실내공기 우수시설 인증사업 ⁸⁾	실내공기질 인증 ⁹⁾
목적	다중이용시설, 신축 공동주택의 실내공기질을 알맞게 유지하고 관리함으로써 그 시설을 이용하는 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방함을 목적으로 함	다중이용시설을 이용하는 국민이 체감할 수 있는 실내공기질 개선과 법정 관리 대상에 대한 규제중심 관리 외에 시설 소유자 등이 자율적으로 실내공기질을 관리할 수 있는 유도체계 구축	다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 시행에 따라 대상시설물은 연 1회 실내공기질 측정 및 보고가 의무화 되어 그에 맞춰 효율적인 실내공기질 관리 제고를 통해 업무 편의성을 제고하고, 실내공기질 인증 마크 홍보를 통해 기업 이미지 향상
인증 관리 대상	신축공동주택 다중이용시설	「실내공기질 관리법」 적용대상으로, 최근 3년간 실내공기질 관련 행정처분을 받지 않고, 자가 측정 및 지자체 오염도 검사 결과가 법적 기준 이내인 시설. 단, 신축 건축물(3년 미만)제외, 다중이용시설(어린이집 제외)	작업장, 사무실, 학교, 신축건물 및 다중이용시설
인증 평가 항목 및 평가 절차	가) 신축 공동주택 - 100세대 이상 신축 공동주택의 시공자는 주민 입주 전 실내공기질을 측정하여 결과를 입주 3일 전까지 지자체 장에게 제출하고 주민 입주 3일 전부터 60일간 공고해야 함 나) 다중이용시설 - 다중이용시설물은 실내공기질 관리법 ¹⁰⁾ 시행에 따라 연 1회 실내공기질 유지 및 권고기준에 적합하게 실내공기 오염물질을 측정하여 그 결과를 도지사에게 보고해야 함 - 다중이용시설 중 실내공기질 관리 적용 대상이 되는 시설물이 25개의 용도 및 규모로 나누어 구분하고 있음	- 대상시설 기본현황 조사 연면적, 시설 설치연도, 개보수 연혁, 환기설비 유무 등 - 시설 이용 관리 실태조사 자재사용실태, 환기설비, 운영관리 - 체감 공기질 만족도 조사 운영자, 이용자 구분 설문조사 - 실내공기질 관리법 10개 오염물질 정밀 측정	- 일반 심사 소유자 인터뷰, 시스템 조사 - 실내 심사 실내공기질 측정(12항목)

7) 실내공기질 관리법 시행규칙, 환경부령 제681호, 2016.12.22. 일부개정

8) 실내공기질인증(홈페이지 <http://isum.ksa.or.kr>), 한국표준협회

9) 실내공기질인증(홈페이지 <http://isum.ksa.or.kr>), 한국표준협회

10) 실내공기질 관리법, 법률 제13601호, 2015.12.22. 일부개정

(2) 국내외 실내공기질 측정대상 오염물질별(유지/권고) 허용기준 조사 및 분석

(가) 국외기준 조사

○ 실내공기질 측정대상 오염물질 국외 허용기준을 조사한 결과는 아래 표 82와 같음

표 82. 실내공기질 측정대상 오염물질별(유지/권고) 국외 허용기준 조사 결과

구분	내용
일본 ¹¹⁾	일본은 실내공기질에 대한 관리를 후생노동성, 문부과학성 등 국가기관과 전문가, 관련업계 등이 참여하여 법정부적으로 대처하고 있으며 후생노동성은 주택을 대상으로 폼알데하이드 및 톨루엔 등 13가지 오염물질별 농도 권고기준을 제시하고 있음
미국 ¹²⁾¹³⁾	미국의 경우 환경보호청(EPA)에서 실내공기질 가이드라인을 제시하며, 미국 환경보호청에서 제시하는 실내공기질 관리 기준에는 미세먼지, 라돈, 이산화질소, 클로로포름 및 벤젠 등 5가지 항목에 대한 권고기준을 제시하고 있으며, 국내 실내공기질 관리법과 달리 주거와 비주거 구분이 없는 것으로 조사됨
캐나다	주거공간의 실내공기질 기준은 폼알데하이드, 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소, 오존, 미세먼지, 이산화황, 라돈 및 습도 등 총 9개 항목에 대한 목표 가이드라인으로 권장하고 있음
영국	환경건설교통부내 건설 과에서 주거인의 생산성을 높이기 위한 실내공기질 관리라는 정책 목표와 평가지표를 설정하였으며, 주요 오염물질은 벤젠, 부타디엔, 일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 부유분진 및 이산화황 등 8가지 항목으로 구분함

① 실내공기질 관리법 시행규칙

㉠ 신축 공동주택

- 실내공기질 관리법의 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준¹⁴⁾은 표 83과 같이 새집증후군의 주요 원인으로 건축마감자재에서 방출되는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등 5가지 휘발성유기화합물과 폼알데하이드에 대한 기준을 제시함
- 최근 건물내부에서 발생하는 라돈 방출을 고려하여 2018년 1월 1일부터는 실내공기질 권고기준에 추가하여 시행할 예정임

표 83. 신축공동주택의 실내공기질 권고기준

오염물질	기준	비고
폼알데하이드	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	현 시행기준
휘발성 유기화합물 (5VOC)	벤젠	
	톨루엔	
	에틸벤젠	
	자일렌	
	스티렌	
라돈	200Bq/ m^3 이하	2018년 1월 1일 추가 시행

11) 도서관 등 실내공기질 진단·개선 서비스(최종보고서), 환경부, 2011.6.30

12) 도서관 등 실내공기질 진단·개선 서비스(최종보고서), 환경부, 2011.6.30

13) 공중이용시설 실내공기질 실태조사 및 조사감시 체계 구축(최종보고서), 보건복지가족부, 2011.6.30

14) 실내공기질 관리법 시행규칙, 환경부령 제681호, 2016.12.22. 일부개정_[별표4의 2] (제7조의 2 관련) <개정 2008.10.10.> & <개정 2016.12.22.>

㉔ 다중이용시설

- 다중이용시설의 실내공기질은 표 84와 같이 유지기준과 권고기준¹⁵⁾으로 구분됨
- 석면과 오존의 경우 2017년 12월 31일까지 적용되며, 2018년 1월 1일부터는 미세먼지와 곰팡이 기준이 도입되어 적용될 예정임

② 실내공기 우수시설 인증사업(좋은 실내공기질 인증제도)

- 실내공기 우수시설 인증사업은 표 84와 같이 다중이용시설의 실내공기질 관리법에서 규정하고 있는 10가지 오염물질에 대한 유지 및 권고기준을 적용하고 있음 (표 84 참조)

표 84. 다중이용시설의 실내공기질 유지 및 권고기준

구분	오염물질	대상시설	기준	비고
유 지 기 준	미세먼지 (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	가*	150 이하	현 시행기준
		나**	100 이하	
		다***	200 이하	
		라****	200 이하	
	이산화탄소 (ppm)	가*, 나**, 다***	1,000 이하	
		라****	-	
	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	가*, 나**, 다***	100 이하	
		라****	-	
	총부유세균 (CFU/ m^3)	가*	-	
		나**	800 이하	
		다***, 라****	-	
		가*, 나**	10 이하	
권 고 기 준	이산화질소(ppm)	가*, 나**	0.05 이하	2017년 12월 31일까지 적용
		다***	0.30 이하	
	라돈(Bq/ m^3)	가*, 나**, 다***	148 이하	
		가*	500 이하	
		나**	400 이하	
	총휘발성유기화합물($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	다***	1,000 이하	
		가*, 나**, 다***	0.01 이하	
	오존(ppm)	가*, 나**	0.06 이하	2018년 1월 1일부터 적용
		다***	0.08 이하	
	이산화질소(ppm)	가*, 나**	0.05 이하	
		다***	0.30 이하	
	라돈(Bq/ m^3)	가*, 나**, 다***	148 이하	
		가*	500 이하	
		나**	400 이하	
	총휘발성유기화합물($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	다***	1,000 이하	
		가*	-	
		나**	70 이하	
	미세먼지(PM _{2.5} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	다***	-	
		가*	-	
		나**	500 이하	
	곰팡이(CFU/ m^3)	다***	-	
		가*	-	
		나**	500 이하	

가*. 지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 향만시설 중 대합실 등

나**. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집

다***. 실내주차장

라****. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물

15) 실내공기질 관리법 시행규칙, 환경부령 제681호, 2016.12.22. 일부개정_[별표1] (제2조 관련), [별표2] (제3조 관련), [별표3] (제4조 관련)

③ 실내공기질 인증(한국표준협회)

- 실내공기질 인증사업도 다중이용시설의 실내공기질 관리법에서 규정하고 있는 10가지 오염물질에 대한 유지 및 권고기준을 적용하고 있음 (표 85 참조)

표 85. 실내공기질 관리법 10개 오염물질 기준

(최소 수치기준)

유지기준					권고기준				
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO2 (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	라돈 (Bq/ m^3)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
100	1,000	100	800	10	0.05	148	400	0.01	0.06

(다) 국내외 기준 비교

- 국내외 실내공기질 관리 기준을 비교한 결과는 아래 표 86과 같음

표 86. 국내외 오염물질 기준 비교

오염물질		국내			일본		미국*	캐나다 (주거)	영국 (주거)
		주거 (권고)	비주거		주거	비주거			
			유지	권고					
건 축 자 재	폼알데하이드	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.1568 ppm	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.08 ppm	-	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.08ppm	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	벤젠	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.0086 ppm	-	-	-	-	0.63 ppm	-	16.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균)
	톨루엔	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.2435 ppm	-	-	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.07ppm	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	에틸벤젠	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.0761 ppm	-	-	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.88ppm	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	자일렌	700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.1479 ppm	-	-	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.20ppm	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	스티렌	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.0634 ppm	-	-	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.05ppm	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	TVOC	-	-	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-
	라돈 (주거2018.1.1. 추가)	200 Bq/ m^3	-	148 Bq/ m^3 4 pCi/L	-	-	148 Bq/ m^3 4 pCi/L	800 Bq/ m^3 21.6 pCi/L (연평균)	-
	석면 (2018.1.1.삭제)	-	-	0.01개/cc	-	-	-	0.15ppm (1h)	-
	오존 (2018.1.1.삭제)	-	-	0.06 ppm	-	-	-	-	0.05 ppm (8h)
	곰팡이 (2018.1.1.추가)	-	-	500 CFU/ m^3	-	-	-	-	50 CFU/ m^3
	재 실 자 생 활 특 성	C02	-	1000 ppm	-	-	1,500 ppm	-	3500 ppm
C0		-	10 ppm	-	-	-	-	25 ppm(1h) , 11 ppm(8h)	1 ppm(1h)
총부유세균		-	800 CFU/ m^3	-	-	-	-	-	-
PM10		-	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-	-
PM2.5 (2018.1.1.추가)		-	-	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-
N02		-	-	0.05 ppm	-	0.06 ppm	0.05 ppm (연평균)	0.25 ppm (1h)	0.15 ppm (1h)

* 미국은 실내공기질 기준은 주거/비주거로 구분되지 않으며, 특히 각 기관별로 제시하는 실내공기질 기준에서도 주거와 비주거에 대한 명확한 구분이 없음(도서관 등 실내공기질 진단·개선 서비스, 환경부, 2011.6.30)

- 국내와 일본은 주거부문에 있어 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물질에 대한 관리기준이 타 국가에 비해 정량화 및 체계화되어 있으나 재실자의 생활특성에서 발생하는 오염물질에 대한 관리기준은 제시하지 않음
- 하지만 재실자의 건강하고 안전한 생활공간 확보를 위해서는 국내 비주거 및 국외 기준에 포함된 재실자의 생활특성에서 발생하는 오염물질도 주거의 실내공기질 측정관리 대상으로 포함하는 체계적 관리를 유도할 필요가 있음

(3) 운영단계 실내공기질 측정 및 관리기준 수립

- 본 연구과제는 공동주택을 대상으로 연구를 진행한 관계로, 본 보고서에서는 공동주택의 실내 공기질 측정 및 관리기준을 수립함
- 신축 공동주택의 실내공기질 관리대상 오염물질은 새집증후군의 주요 원인인 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물로 입주자의 입주 전, 각 오염물질 항목별로 권고 기준 초과 여부를 확인하도록 측정을 의무화하고 있음(본 보고서 1장 참조). 최근에는 공동주택의 건축자재에서 방출된 라돈에 의해 폐암이 발생한다는 문제점이 부각¹⁶⁾되어 2018년 1월 1일부터 관리대상 오염물질로 추가됨
- 2015년 정부에서 발표한 ‘실내공기질 관리 기본계획(2015-2019)’에 따르면 신축 공동주택의 오염물질로 규정되지 않은 미세먼지(PM2.5)와 곰팡이 등도 위해물질로 보고 이에 대한 측정 및 관리 기준 수립의 필요성을 언급하고 있음
- 특히 건축자재에서 발생하는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물 등은 입주 후 초기 거주단계에서는 방출강도가 높으나 시간이 경과하면 방출강도가 현저히 낮아지는 특성을 보임. 하지만 미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소 및 곰팡이 등은 재실자의 생활방식¹⁷⁾에 따라 차이가 나지만 건물 사용단계에서 지속적으로 발생하는 특징을 가짐
- 따라서 본 연구에서는 건축자재에서 발생하는 오염물질뿐만 아니라 재실자의 생활특성에서 발생하는 오염물질을 추가로 규정하여 실내공기질 유지관리 기준에 적용함 (표 87 참조)

표 87. 실내공기질 측정 및 유지관리

구분		입주 후 초기 거주단계	장기 거주단계
오염물질 발생특징	건축자재 오염물질	• 건축자재로부터 발생하는 오염물질 방출강도 높음	• 건축자재로부터 발생하는 오염물질 방출 없음
	대기 중 오염물질	• 재실자 생활특성(재실인원, 조리, 개구부 개폐관리 등)에서 발생	• 재실자 생활특성(재실인원, 조리, 개구부 개폐관리 등)에서 발생
측정대상 및 항목		• 건축자재에서 발생하는 오염물질 • 재실자 생활특성에서 발생하는 오염물질	• 재실자 생활특성에서 발생하는 오염물질
유지관리		• 건축자재와 재실자 생활특성에서 발생된 오염물질을 규정하고, 주기적으로 측정한 각 오염물질이 허용농도 기준 이하로 유지	• 재실자 생활특성에서 발생된 오염물질을 규정하고, 주기적으로 측정한 각 오염물질이 허용농도 기준 이하로 유지

16) 실내공기 중 라돈 관리 현황과 과제, 이슈와 논점, 국회입법조사처, 2014.08.25

17) 주거 공간별 실내공기질 관리방안 연구(Ⅰ) -아파트의 실내 오염물질 평가와 건강영향 연구, 국립환경과학원, 2009.12

(4) 국내 실내공기질 인증을 위한 필수 측정대상 오염물질 분류 체계 구축

- 공동주택 재실자의 건강한 생활안전성을 확보하기 위해 필수적으로 측정 및 관리해야 하는 오염물질을 대상으로 실내공기질의 유지관리 분류체계를 구축함 (표 88 참조)
- 건축자재 발생 오염물질은 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물 및 라돈으로 분류함.
- 대기 중 오염물질은 미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소, 총부유세균, 이산화질소 및 곰팡이 등으로 분류함. 대기 중 오염물질은 신축 공동주택의 실내공기질 측정관리 대상에 해당되지 않으나, 재실자의 생활특성에서 발생되어 허용기준을 초과할 경우 재실자의 건강에 영향을 주는 오염물질로 다중이용시설의 관리대상을 중심으로 선정함

(5) 주요 실내오염물질 대상 선정 및 농도허용기준 설정

- 실내공기질 측정 정보 관리 기술에 적용할 실내오염물질 대상은 표 88과 같음
- 현재 국내 실내공기질 관리법 시행규칙에서 제시한 신축공동주택과 다중이용시설의 오염물질 종류에 따른 농도기준을 최소 기준으로 적용함 (표 88 참조)

표 88. 실내공기 오염물질별 분류 및 농도기준

건축자재 발생 오염물질		대기 중 오염물질	
오염물질	기준농도	오염물질	기준 농도
폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	210 이하	미세먼지-PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100 이하
벤젠	30 이하	미세먼지-PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50 이하
톨루엔	1,000 이하	이산화탄소 (ppm)	1,000 이하
에틸벤젠	360 이하	일산화탄소 (ppm)	10 이하
자일렌	700 이하	이산화질소 (ppm)	0.05이하
스티렌	300 이하	총부유세균 (CFU/ m^3)	800 이하
총휘발성유기화합물	100 이하	곰팡이 (CFU/ m^3)	500 이하
라돈(Bq/ m^3)	400 이하	-	-

(6) 실내공기질 인증 대상 측정 정보 관리체계 구축

- 실내공기질 유지관리 기술에 적용할 오염물질 측정정보 관리체계는 오염물질 발생 특성을 고려하여 건축자재 발생 오염물질 8가지 항목과 대기 중 오염물질 7개 항목으로 분류하여 ‘실내 공기 오염물질 측정 정보 입력부’에 적용하도록 관리체계를 구축함
- 실내공기 오염물질별 측정 정보는 ‘측정정보 관리부’와 연동하여 측정 데이터의 저장 및 이력관리, 기준 농도 초과 및 환기 알림 검토, 실내공기질 예측 데이터와 비교하도록 관리체계를 구축함

(7) 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발

(가) 실내공기질 측정 결과 관리 서식 분석

- 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 구축을 위하여 실내오염물질 측정과 관련된 국내 법규를 검토하였으며, 측정 결과를 기입하는 서식을 조사함
- 공동주택 공기질 측정결과 서식이 제공되는 관련 법규로는 실내공기질 관리법과 환경부 고시 실내공기질관리 업무 편람을 참고함

① 실내공기질 관리법 시행규칙

- 다중이용시설 및 신축 공동주택의 쾌적한 실내공기질을 유지 및 관리하여 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해를 예방하기 위해 규정한 제도
- 실내공기질 관리법 제9조제1항 및 시행규칙 제7조제3항에 따라 아래 표 89와 같은 신축 공동주택 공기질 측정결과를 보고해야함이 명시되어 있음

표 89. 실내공기질 관리법 시행규칙에 고시된 공동주택 공기질 측정결과 서식

공동주택 공기질 측정결과 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)										
항목	측정 일시 (시간)	측정지점 (동호수)	거실 방향	벤젠	톨루엔	폼알데 하이드	에틸 벤젠	자일렌	스틸렌	라돈 (Bq/m ³)
권고기 준	-	-	-	30 이하	1,000 이하	210 이하	360 이하	700 이하	300 이하	200 이하
1지점	(:)	(-)								
2지점	(:)	(-)								
3지점	(:)	(-)								
:	:	:								
평균										

② 실내공기질관리 업무 편람

- 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에 대하여 환경부에서 관련 업무 내용을 정리한 편람으로, 기존 및 신축 공동주택은 실내공기질을 주기적으로 측정하도록 하고 있으며 표 90과 같이 측정 결과를 정리하여 관리할 것을 명시하고 있음

표 90. 실내공기질관리 업무 편람에 고시된 (신축)공동주택 공기질 측정결과 서식

일련 번호	측정위치	측정일시 (시각기재)	측정 항목									
			유지 기준					권고 기준				
			PM10 ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	CO2 (ppm)	HCHO ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	총부유 세균 (CFU/ m^3)	CO (ppm)	NO2 (ppm)	Rn (pCi / ℓ)	VOC ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
1	1.											
	2.											
	3.											
	평 균											
2	1.											
	2.											
	3.											
	평 균											
□ ⋮												

- 본 연구에서는 현재 적용이 되고 있는 실내공기질 관리법의 측정 결과 서식을 기반으로 하여 실내공기질 측정 정보 템플릿을 구축하고자 하였음
- 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿에는 건축자재에서 방출되는 8개의 주요 공기오염물질(폼알데하이드, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌, 총휘발성유기화합물, 라돈)과 7개의 대기 중 주요 공기오염물질(PM10, PM2.5, 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소, 총부유세균, 곰팡이)의 측정 결과를 기입하도록 구성함

(나) 실내공기질 측정 정보 입력 데이터 시트 구축

- 실내공기질 관리법에서 고시하고 있는 실내공기오염물질 측정 결과 서식을 참고하여 측정 정보 관리 템플릿에 데이터를 입력하는 기본 입력 데이터 시트를 구축함
- 데이터 시트는 건축자재에서 방출되는 주요 오염물질과 대기 중 주요 오염물질 두 종류로 구분하였으며 표 91과 92와 같이 구성함

표 91. 건축자재 방출 오염물질 입력 데이터 시트

N0	실내공기 오염물질	실내기준농도	단위	측정 데이터
1	폼알데하이드	210	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
2	벤젠	30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
3	톨루엔	1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
4	에틸벤젠	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
5	자일렌	700	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
6	스티렌	300	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
7	총휘발성유기화합물	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
8	라돈	400	Bq/ m^3	-

표 92. 대기 중 오염물질 입력 데이터 시트

N0	실내공기 오염물질	실외기준농도	단위	측정 데이터
1	미세먼지 (PM10)	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
2	미세먼지 (PM2.5)	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
3	이산화탄소	1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
4	일산화탄소	10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
5	이산화질소	0.05	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
6	총부유세균	800	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
7	곰팡이	500	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

(8) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발

(가) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 입력 모듈 개발

- 실내공기질 측정 정보 입력 데이터 시트를 기반으로 측정 결과를 관리하는 템플릿을 그림 2와 같이 구축하였으며, 해당 템플릿을 실내공기질 예측 프로그램에 연계함
- 템플릿은 건축 자재 방출 오염물질군과 대기 중 오염물질 군으로 구분되어 있으며 왼쪽은 각 오염물질별 권고 및 유지 기준을 데이터 시트에서 읽어온 데이터를 바탕으로 제시하고 있으며, 우측에는 각 오염물질별로 측정 횟수에 따른 결과를 제시하고 있음
- 우측의 +버튼을 눌러 측정 데이터를 업로드하게 되면, 입력된 허용농도기준과 측정값을 비교하여 기준 농도보다 높을 경우 초과, 낮을 경우에는 만족을 화면 출력함

측정데이터 업로드	측정데이터 입력	일식 다운로드
건축 자재		
실내공기 오염물질	실외기준농도	단위
포름알데하이드	210	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
벤젠	30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
톨루엔	1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
메틸벤젠	360	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
자일렌	700	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
스티렌	300	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
중화발생유기화합물	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
라돈	400	Bq/m ³
1차 측정	1차 결과	
123	만족	
6546	초과	
7	만족	
677	초과	
666	만족	
7767	초과	
246	초과	
31848	초과	
대기		
실내공기 오염물질	실외기준농도	단위
미세먼지(PM10)	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지(PM2.5)	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
이산화탄소	1000	ppm
일산화탄소	10	ppm
이산화질소	0.05	ppm
총부유세균	800	CFU/m ³
곰팡이	500	CFU/m ³
1차 측정	1차 결과	
231	초과	
654	초과	
48	만족	
77	초과	
7	초과	
9	만족	
77697	초과	

그림 66. 실내 및 실외공기 오염물질 농도 및 기준농도 업로드 화면

(나) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 출력 모듈 개발

① 실내공기질 측정 정보 이력 관리 모듈 구축

- 템플릿에 입력된 데이터들을 기반으로 오염물질별 농도와 농도 변화의 추이를 그래프로 제시하는 이력 정보 관리 템플릿을 아래 그림 67과 같이 구축함



그림 67. 실내 및 실외공기 오염물질 측정데이터 이력 관리 화면

(9) 실내오염물질 판정결과(유지/권고/허용기준) 비교 모듈 개발

- 사용자가 업로드한 실내오염물질 측정 결과를 판정하여 실내공기질의 상태를 판별하는 알고리즘을 개발함
- 실내오염물질 측정 결과 판정 기준은 1차년도 연구 6-1 실내공기질 측정에서 결정한 농도기준을 적용하여 판정함
- 표 91, 92의 오염물질별 기준농도와 사용자가 업로드한 실내오염물질 측정 결과를 비교하여 기준농도보다 높은 측정 결과가 입력되는 경우 “초과” 상태로 판별하여 실내공기질이 열악한 상태임을 나타내고, 기준농도보다 낮은 결과가 입력되는 경우 “만족” 상태로 판별하여 실내공기질 상태가 적합한 것을 나타냄
- 판정 결과는 그림 68과 같이 건축 자재에서 방출되는 오염물질들과 대기 중 오염물질 두 개로 구분하여 출력되도록 템플릿을 구축함

실내공기 오염물질	실내기준농도	단위	1차 측정	1차 결과
총알데히드	210	㎍/㎥	123	만족
유기	50	㎍/㎥	45.48	초과
총부유	1000	㎍/㎥	7	만족
악취	980	㎍/㎥	471	초과
자외선	700	㎍/㎥	666	만족
스트레스	300	㎍/㎥	7767	초과
중금속	100	㎍/㎥	245	초과
이온	400	㎍/㎥	21848	초과

그림 68. 실내공기질 판정 결과 출력 화면

(10) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정 · 보완

- 최종 구현된 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿에 대하여 실무자 샘플 테스트를 시행하였으며, 샘플 테스트의 결과를 종합하여 표 93과 같이 프로그램의 문제점 및 오류사항을 도출하고 해당 사항들을 개선하여 최종 구현 템플릿에 반영하였음

표 93. 실무자 샘플 테스트를 통한 문제점 도출 및 개선사항 반영

구분	보완 전 (문제점 및 오류 사항)		보완 후 (개선사항)
측정 데이터 입력 데이터 시트	입력 데이터 시트	건축자재 방출 오염물질 및 대기 중 오염물질의 종류가 고정된 것이 아니라 사용자가 임의로 추가할 수 있는 기능이 필요함	사용자가 기존 오염물질 외의 다른 오염물질을 추가로 정보를 기입하면 템플릿에 반영될 수 있도록 수정함
		현재 데이터 시트에는 데이터 입력 칸이 한 개이므로, 다수 측정한 결과를 데이터 시트에 기입하는 경우에 대한 고려가 필요함	다측정의 경우 입력 데이터 시트의 측정 데이터 옆에 추가 열을 만들어 데이터를 입력하면 템플릿에 반영될 수 있도록 수정함
실내 공기질 측정 정보 관리 템플릿	측정 정보 관리 템플릿	측정 데이터를 입력하는 기능에 추가적으로 입력된 측정 데이터 시트를 다운받을 수 있는 기능이 필요함	측정 데이터 시트를 다운받을 수 있는 기능을 측정 정보 관리부에 양식 다운로드라는 버튼을 추가하여 프로그램에 구현함
		실내 오염물질 측정치에 대하여 허용 기준농도 만족 여부를 판별 하고 출력해주는 창이 작아 향후 측정 횟수가 많은 경우 가독성이 떨어짐	프로그램의 기본 폭 자체를 조금 더 늘렸으며, 화면 구성을 조정하여 측정 횟수가 많아져도 가독성이 떨어지지 않도록 수정함
	이력 정보 관리 템플릿	문제점 및 오류 사항 없음	문제점 및 오류 사항 없음

(11) 주요 실내오염물질 방출원별 방출 특성 및 건축자재별 실내오염물질 방출 특성 분석

(가) 실내에서 발생하는 오염물질 종류 및 방출 특성

- 실내공기 오염물질에는 미세먼지, 총부유세균, 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소, 오존, 라돈, 폼알데하이드, 휘발성유기화합물, 석면¹⁸⁾ 등 10개 종류가 있음.
- 라돈, 폼알데하이드, 휘발성유기화합물, 석면은 건축자재에서 발생하며, 특히 폼알데하이드, 휘발성유기화합물은 신축건물의 건축 마감자재 및 가구에서 주로 발생하는 오염물질이며, 이외는 거주자 생활특성 및 가전제품 사용 과정에서 주로 발생함
- 오염물질 종류 및 방출 특징에 대한 자세한 정보는 성과점검기준표 [증빙 18]의 p.2~5 참조

(나) 건축자재의 실내공기 오염물질 종류 및 방출 특성

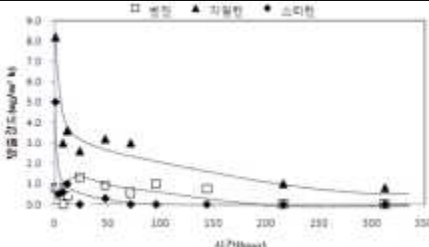
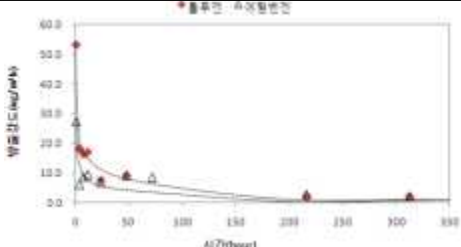
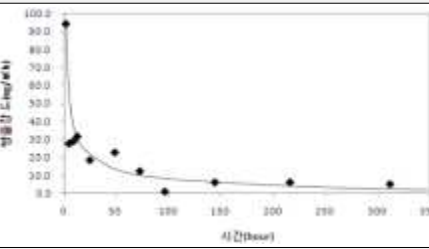
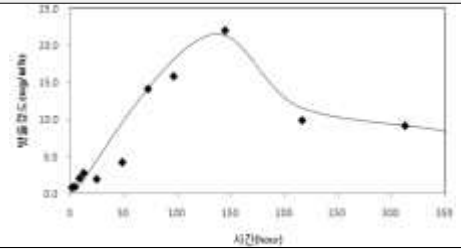
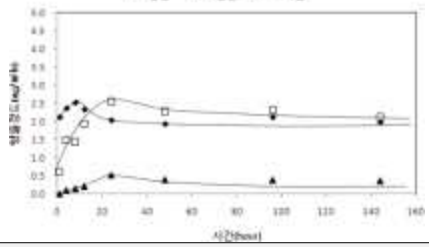
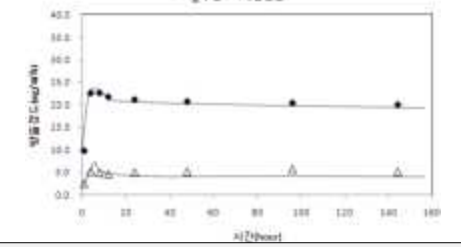
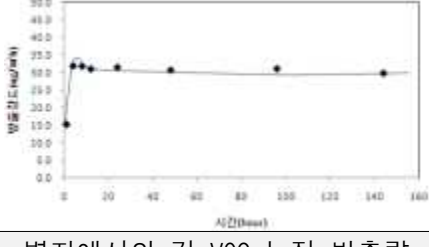
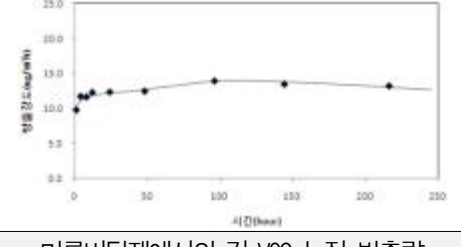
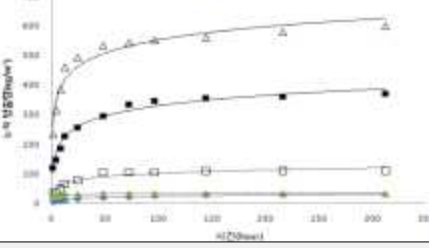
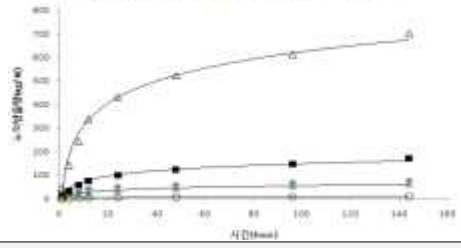
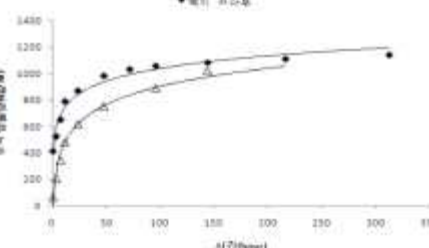
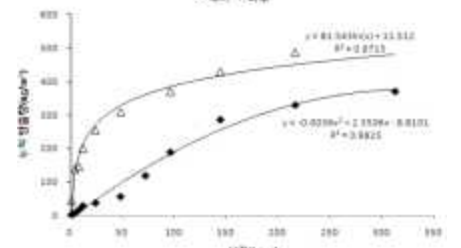
- 본 연구에서는 녹색건축인증과 건강친화형 주택건설 기준에서 실내공기질 평가 항목에서의 평가대상인 실내 건축마감자재를 실내공기 오염물질 발생원으로 선정하여 방출원별 방출 특성을 조사함
- 건축마감자재에서 방출하는 대표적인 오염물질은 벤젠, 자일렌, 스티렌, 에틸벤젠 및 톨루엔 등 휘발성유기화합물과 폼알데하이드이며, 두 종류의 오염물질을 대상으로 방출특성을 조사 분석함
- 이러한 휘발성유기화합물과 폼알데하이드는 공동주택 입주 이후에 일상적 생활이 이루어지는 과정에서 건축 마감자재(벽지 및 바닥재)에서 방출되며, 시간에 따른 각 오염물질의 방출 정도와 방출 패턴은 표 94와 같이 다소 차이가 남¹⁹⁾
- 생산 후 18개월 경과된 벽지에서 발생한 휘발성유기화합물의 종류에 따라 다소 차이는 있으나, 시간경과에 따른 방출강도가 24시간 이전에 급격한 감소를 보이며 1차 감소가 완료되었고 이후 완만한 감소를 보임. 폼알데하이드는 시간경과에 따라 방출강도가 일정기간 증가하며 144시간(6일)이 경과한 시점에서 최대방출강도를 나타내며 이후 완만한 감소 패턴을 보임
- 생산 후 16개월이 경과된 마루바닥재의 휘발성유기화합물은 벽지와 달리 초기방출강도가 미세하기 증가하고 시간경과에 따라 완만한 감소 경향을 보임. 폼알데하이드의 방출 패턴은 벽지의 경우 최대방출강도와 초기방출강도의 차이가 크나, 마루바닥재의 경우 미세한 차이를 보이는 방출 패턴 특성을 보임
- 벽지와 마루바닥재의 휘발성유기화합물 종류별 누적 방출량은 초기에 다소 증가하다가 미세한 증가를 보이며 톨루엔의 누적 방출량이 가장 높게 나타남. 에틸벤젠이 두 번째로 높은 경향을 보이나, 마루바닥재보다 벽지에서 높은 누적 방출량을 보임
- 휘발성유기화합물이 벽지에서의 누적 방출량이 높게 나타났으나, 폼알데하이드는 마루바닥재에서 높게 나타났으며 초기 누적 방출량도 높은 패턴을 보임

18) 2011 다중이용시설 실내공기질 개선 사례집, 환경부

19) 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구, 유복희, 대한건축학회논문집 계획, 제26권 제9호(통권263호), 2010년 9월

표 94. 벽지 및 바닥재별 오염물질 방출 특성

(다음 장 계속)

구분	시간에 따른 오염물질 방출강도	
벽지	벤젠, 자일렌, 스티렌의 방출 패턴	톨루엔, 에틸벤젠의 방출 패턴
		
	5VOC 방출 패턴	폼알데하이드의 방출 패턴
		
바닥재	벤젠, 자일렌, 스티렌의 방출 패턴	톨루엔, 에틸벤젠의 방출 패턴
		
	5VOC 방출 패턴	폼알데하이드의 방출 패턴
		
벽지 및 바닥재	벽지에서의 각 VOC 누적 방출량	마루바닥재에서의 각 VOC 누적 방출량
		
	벽지와 마루바닥재의 5VOC의 누적 방출량	벽지와 마루바닥재의 폼알데하이드 누적 방출량
		

(12) 건물 용도별 사용특성 조사 및 재실특성 DB 구축

- 주거와 비주거를 구분하여 대표공간에 대한 용도별 사용특성을 조사한 결과, 건축물 에너지효율등급 평가 톨(EC02)에 활용되는 용도 프로필이 있으나 냉난방에너지 분석에 요구되는 정보 외에 시간에 따른 세부적인 재실 특성은 제공되지 않음 (성과점검기준표 [증빙 18] 표 5 참조)
- 이에 공동주택의 사용시간 특성을 확인하기 위해 한국인의 생활시간 변화상(1999~2014)²⁰⁾에 따른 주거공간에서 이뤄지는 수면, 식사, 가사노동, 재택시간 및 여가생활과 이동시간을 조사하여 재실특성 DB를 구축함 (성과점검기준표 [증빙 18] 표 6,7 참조)

(13) 주요 실내공기질 예측식 개발을 위한 오염물질 선정 후 방출 및 제거 예측식 조사

(가) 실내공기질 예측식 개발을 위한 오염물질 선정

- 본 연구에서는 공동주택 실내공기질 예측식 개발을 위해 입주자 입주 후 초기(이하, 단기 거주 단계)에서 실내공기질 영향도가 높은 건축자재 발생 오염물질, 장기 거주단계에서는 생활 중 발생 오염물질(이하, 대기 중 오염물질)을 예측 대상으로 선정함
- 건축자재 발생 오염물질은 녹색건축인증 및 건강친화형 주택 건설기준에서 규정한 오염물질과 신축 공동주택의 오염물질 권고기준에서 규정한 오염물질을 대상으로 하며, 대기 중 오염물질은 실내공기질 관리법에서 규정한 오염물질을 포함하여 표 95와 같이 선정함

표 95. 실내공기질 예측식 적용 오염물질 선정

건축자재 발생 오염물질		대기 중 오염물질	
오염물질	발생원	오염물질	발생원
폼알데하이드	건축자재	미세먼지(PM10)	재실인원 가스기구 사용 재실자 생활특성 외부공기의 실내 유입 (성과점검기준표 [증빙 16] 표 15 참조)
휘발성 유기화합물		미세먼지(PM2.5)	
벤젠		이산화탄소	
톨루엔		일산화탄소	
에틸벤젠		이산화질소	
자일렌		총부유세균	
스티렌		곰팡이	
총휘발성 유기화합물			
라돈*			

* 라돈은 건물 지반, 토양 및 건물자재, 조리/난방 시 천연가스로부터 발생하며, 최근 아파트 건축자재로부터 발생된 라돈에 의해 폐암 발생이 문제가 된다는 이슈가 있어 본 연구에서는 건축자재를 발생원으로 규정하여 진행함(성과점검기준표 [증빙 16] 참조)

(나) 실내공기 오염물질 방출 예측식 조사

- 실내 건축마감재에서 방출되는 오염물질이 실내공간에서의 영향을 고려한 오염물질 농도 예측식을 조사함
- 이에 건축자재의 VOCs 방출 예측식, 실내공기 오염물질 농도 이중지수감쇠 모델을 활용한 예측식, 건축자재에서의 오염물질 방출 예측식을 조사함

20) 한국인의 생활시간 변화상(1999년~2014년), 통계청, 2016.4.20

① 건축자재의 VOCs 방출 예측식²¹⁾

- VOCs의 자재내부에서는 하나의 방향으로만 물질전달이 일어나는 것으로 가정하였으며, 식 1과 같은 Fick's law에 기초한 지배방정식이 사용됨

$$\frac{\delta C_m}{\delta t} = D_m \frac{\delta^2 C_m}{\delta y^2} \quad \text{----- (식 1)}$$

C_m : 자재내부의 VOC 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

D_m : 자재의 VOC 확산계수(m^2/s)

y : 자재내부의 VOC 확산방향(m)

t : 시간(s)

- 자재표면 경계층에서의 VOCs 물질전달은 대류와 확산에 의해 일어나며, 경계층에서의 물질전달률은 식 2와 같음

$$R(t) = h_m (C_{as} - C_a) \quad \text{----- (식 2)}$$

$R(t)$: VOC 방출률($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$)

h_m : 대류 물질전달 계수(m/s)

C_a : 공기영역의 VOC 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

② 실내공기 오염물질 농도 이중지수감쇠 모델을 활용한 예측식

- 주택의 실내공기 오염물질 농도 예측을 위한 건축자재로부터의 방출강도 예측 모델식은 Chang and Guo(1992)가 제안한 이중지수감쇠모델²²⁾²³⁾이 있으며, 식 3과 같음
- 이중지수모델은 화학물질의 방출 패턴에서 1차 감소시점과 2차 감소시점으로 구분하여 식 5를 이용하여 예측하며, 여기서 1차 감소시점은 방출 패턴 중에 방출강도가 최대점을 지난 후에 급격하게 감소가 이루어진 시점을 말하며, 2차 감소시점은 1차 감소가 완료된 후에 방출강도가 미세하게 감소하거나 또는 평형상태에 도달한 시점을 말함

$$EF(t) = EF_1 \exp(-k_1 t) + EF_2 \exp(-k_2 t) \quad \text{----- (식 3)}$$

EF_1 : 감쇠가 빠른 발생과정의 $t=0$ 에서의 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)

k_1 : 감쇠가 빠른 발생과정의 감쇠계수(h^{-1})

EF_2 : 감쇠가 느린 발생과정의 $t=0$ 에서의 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)

k_2 : 감쇠가 느린 발생과정의 감쇠계수(h^{-1})

21) 건축자재의 VOCs 방출특성 예측을 위한 모델링 활용에 관한 연구, 김지혜 외 5인, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제2호 2004.10.29.~30일

22) 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구, 유복희, 대한건축학회논문집 계획, 제26권 제9호(통권 263호) 2010. 9.

23) Characterization of organic emission from a wood finishing product-wood stain, Indoor Air, 2(3), 1992

○ 단일실내 오염물질 농도 $C(\text{mg}/\text{m}^3)$ 는 식 4와 같이 나타남(岩下 剛 등;1999)²⁴⁾

$$C = \frac{L \cdot EF_1}{N - k_1} \exp(-k_1 t) + \frac{L \cdot EF_2}{N - k_2} \exp(-k_2 t) - \left(\frac{L \cdot EF_1}{N - k_1} + \frac{L \cdot EF_2}{N - k_2} \right) \exp(-Nt) \quad \text{---- (식 4)}$$

C : 시간 t 에서의 실내농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

L : 부하율(m^3/m^3)

N : 환기횟수(h^{-1})

표 96. 실내 오염물질 발생강도 예측 관련 변수 예시

구분		제1차 감소시기		제2차 감소시기	
		초기방출강도(EF_{i1})	감쇠계수(k_{i1})	초기방출강도(EF_{i2})	감쇠계수(k_{i2})
벽지(A)	5VOC	0.0929	0.4447	0.0122	0.1562
	HCHO (b)	0.0223	0.0111	0.0099	0.0008
마루(B)	5VOC (a)	0.0323	0.0054	0.0312	0.005
	HCHO (b)	0.0139	0.0011	0.0136	0.003

* 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구, 유복희, 대한건축학회논문집 계획계, 제26권 제9호(통권263호), 2010년 9월

③ 건축자재에서의 오염물질 방출 예측식

- 가구 및 벽지로부터의 오염물질 방출량은 일반적으로 시간에 따라 감소하는 양상을 보임. 이러한 내용을 바탕으로 벽지, 바닥재 및 가구 3종(협탁, 식탁, 소파)의 시간에 따른 건축자재에서의 오염물질 방출 예측식을 표 97과 같이 도출함(장성기 외, 2005²⁵⁾; 박현주 외, 2009²⁶⁾; Ho et al; 2011²⁷⁾)

표 97. 실내마감재 및 가구에서 발생하는 VOCs 방출량 예측식

구분	톨루엔	벤젠
벽지	$y = 39.504x^{-0.306}$	-
바닥재	$y = 0.5332x^{-0.397}$	$y = 0.0073x^{-0.397}$
협탁	$y = 0.7757x^{-0.118}$	$y = 0.0034x^{-0.586}$
식탁	$y = 2.7907x^{-0.742}$	$y = 0.0047x^{-1.039}$
소파	$y = 2.0573x^{-0.709}$	$y = 0.0011x^{-0.540}$

* x : 경과일수 [day], * y : 방출속도 [mg/unit/hr]

* 방출속도(y)의 단위는 가구의 경우 mg/unit/hr 이며, 벽지 및 바닥재의 경우 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hr}$

24) 岩下 剛, 木村建一, ラワン合板から放たれるホルムアルデヒドの時系列発生量の算定法に関する基礎的研究, 空気調和・衛生工學{會論文集, 75号, pp.13-20, 1999

25) 바닥재로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드 특성, 박현주 외 3인, 한국대기환경학회지, 25권 1호

26) 벽지에서 발생하는 오염물질 방출특성. 장성기 외 5인, 한국분석과학회, 18권 6호

27) Emission rates of volatile organic compounds released from newly produced household furniture products using a large-scale chamber testing method.Ho 외 9인, SientificWorldJournal,11권

(다) 실내공기 오염물질 제거 예측식 조사

① 실내공기 오염물질 농도 감쇠에 의한 환기량 예측식²⁸⁾

- 실내공기 오염물질 농도 감쇠에 따른 환기량을 예측할 때는 식 5를 활용하여 환기에 따른 실내공기 중의 오염물질 농도를 예측함

$$C = C_o + (C_1 - C_o)e^{-\frac{Q}{V}t} \text{ ----- (식 5)}$$

C_1 : 초기 실내 오염물질 농도(m^3/m^3)

C_o : 외기 오염물질 농도(m^3/m^3)

C : t 시간 후의 실내 오염물질 농도(m^3/m^3)

Q : 환기량(m^3/h)

V : 실체적(m^3)

t : 시간(h)

② 실내공기 오염물질 농도 증가에 의한 환기량 예측식²⁹⁾

- 실내에 오염물질 발생이 있을 경우 환기량은 식 6과 같이 산정할 수 있음

$$Q = \frac{M(1 - e^{-\frac{Q}{V}t})}{C - C_o - (C_1 - C_o)e^{-\frac{Q}{V}t}} \text{ ----- (식 6)}$$

M : 실내 오염물질 발생량(m^3/h)

C_1 : 초기 실내 오염물질 농도(m^3/m^3)

C_o : 외기 오염물질 농도(m^3/m^3)

C : t 시간 후의 실내 오염물질 농도(m^3/m^3)

Q : 환기량(m^3/h)

V : 실체적(m^3)

t : 시간(h)

28) 건축환경 측정과 설비계측, 남시복 감수(CO2를 오염물질로 통칭하여 작성함)

29) 건축환경 측정과 설비계측, 남시복 감수, CO2를 오염물질로 통칭함

(14) 프로그램 적용을 위한 자연환기성능, 실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발

(가) 예측식 개발을 위한 표준모델 선정

- 가구원수별 가구당 주거 사용면적을 조사한 결과, 2인 가구는 73.1㎡, 3인 가구 79.1㎡, 4인 가구는 85.5㎡ 등으로 조사되었으며, 준공주택 규모별 비중은 60~85㎡ 규모의 주택이 총 주택의 40% 이상을 차지하는 것으로 조사됨
- 이러한 조사결과를 바탕으로 본 연구에서 개발하는 공동주택 실내공기질 예측식 도출을 위한 3인 가족이 생활하는 주거공간 규모는 85㎡로 선정함

(나) 단기 거주단계(입주 후 초기)에서의 오염물질 농도 예측식

- 공동주택의 단기 거주단계에서의 실내공기 오염물질은 건축자재에서 발생한 오염물질은 시간에 따라 발생강도가 달라지므로, 오염물질의 단기 농도 예측식과 장기 농도 예측식으로 구분하여 개발하였으며, 예측식 개발 내용은 다음과 같음

<건축자재 발생 오염물질 단기 농도 예측식>

- 실내 건축자재 오염물질 농도 산출 프로세스는 BIM 모델정보(IFC 파일)에서 추출된 실공간 크기 및 건축자재 면적이 포함된 형상 정보와 오염물질 발생량이 포함된 자재 라이브러리 정보를 기반으로, 아래의 식 7을 활용하여 오염물질 단기 농도를 예측함

$$M = \frac{E \times A \times h}{V} \quad \text{----- (식 7)}$$

M : 실내 전체 확산 오염물질 농도(μg/㎡)

E : 오염물질 발생량(μg/㎡h)

A : 오염물질 발생 건축자재 면적(㎡)

h : 실내공기 오염물질 발생시간(h)

V : 실체적(㎡)

(다) 장기 거주단계에서의 오염물질 농도 예측식

- 장기 거주단계에서 오염물질 농도 예측은 건축자재에서 방출되는 오염물질 방출량의 장기 특성과 거주단계에서 환기 성능에 따른 오염물질 제거 예측식을 활용하여 개발함

건축 자재에서 방출되는 오염물질의 발생량은 건축자재와 실내공기 오염물질 종류에 따른 조합을 변수로 설정하고 각 조건에 따라 실내 오염물질 발생량을 산정함

<건축자재 발생 오염물질 장기 농도 예측식>

- 건축자재에서 방출되는 총휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 장기간에 걸친 방출 특성에 따르면 초기 방출특성과 장기 방출특성이 다른 패턴을 보임
- 실내공기 오염물질 농도 이중지수감쇠 모델(식 8)을 장기 농도 예측에 활용함

$$EF(t) = EF_1 \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + EF_2 \cdot \exp(-k_2 \cdot t) \quad \text{----- (식 8)}$$

EF_1 : 감쇠가 빠른 발생과정의 t=0에서의 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

k_1 : 감쇠가 빠른 발생과정의 감쇠계수(h^{-1})

EF_2 : 감쇠가 느린 발생과정의 t=0에서의 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

k_2 : 감쇠가 느린 발생과정의 감쇠계수(h^{-1})

<건축자재와 오염물질에 따른 오염물질 발생량 예측식>

- 건축 자재별 발생하는 오염물질에 따른 방출량 예측식은 식 9와 같음. 이때, 환기량 예측을 위한 목표 오염물질 방출량 예측식은 식 10과 같이 산정됨
- 건축 자재 종류는 기호 α 로, 오염물질 종류는 기호 β 로 구분하여 식을 도출하였음.

$$f(x_{\alpha i, \beta j}) = (EF_{\alpha i, \beta j1} \cdot \exp(-k_{\alpha i, \beta j1} \cdot t) + (EF_{\alpha i, \beta j2} \cdot \exp(-k_{\alpha i, \beta j2} \cdot t) \quad \text{----- (식 9)}$$

$$K_{max} = \max\{f(x_{a1, \beta 1}), f(x_{a1, \beta 2}), \dots, f(x_{a2, \beta 1}), \dots, f(x_{ai, \beta j}), \dots\} \quad \text{----- (식 10)}$$

$f(x_{\alpha i, \beta j})$: 자재(α)에서 방출되는 오염물질(β)별 방출량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

$EF_{\alpha i, \beta j1}$: 1차 감소시기에 발생하는 오염물질 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

$k_{\alpha i, \beta j1}$: 1차 감소시기의 감쇠계수(h^{-1})

$EF_{\alpha i, \beta j2}$: 2차 감소시기에 발생하는 오염물질 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

$k_{\alpha i, \beta j2}$: 2차 감소시기의 감쇠계수(h^{-1})

K_{max} : 건축자재에서 방출되는 오염물질의 최대 발생량($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)

<환기 성능에 따른 오염물질 제거량 예측식>

- 실내 오염물질 제거량 예측식 도출을 위해 실내외 오염물질 농도와 실내 오염물질 발생량(K_{max})을 이용하여 실내 오염물질 농도를 허용 기준 농도(C_i) 이하로 유지할 수 있는 평균 실내 자연환기량(Q)을 예측하는 식 11을 사용함

$$Q = \frac{K_{max}}{C_i - C_o} \quad \text{----- (식 11)}$$

Q : 평균 실내 자연환기량(m^3/h)

K_{max} : 실내공기 오염물질 발생량($\mu\text{g}/\text{h}$)

C_i : 실내 오염물질 기준 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_o : 실외 오염물질농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 자연환기를 실시하여도 실의 형태나 환기 특성에 따라서 공기 정체구역이 발생하기 때문에 공기령 개념을 사용하여 실의 최대 유효 환기량(Q_e) 예측식을 도출함
- 지역적 환기 성능 차이를 반영하기 위하여 실내 최대 공기령비 개념을 적용하여 식 12와 같이 최종 유효 환기량을 산정함

$$Q_e = \gamma_t \cdot Q \quad \text{----- (식 12)}$$

Q_e : 실내 유효 자연환기량(m^3/h)

γ_t : 최대 정체 지점의 공기령비 (-)

Q : 실내 평균 환기량(m^3/h)

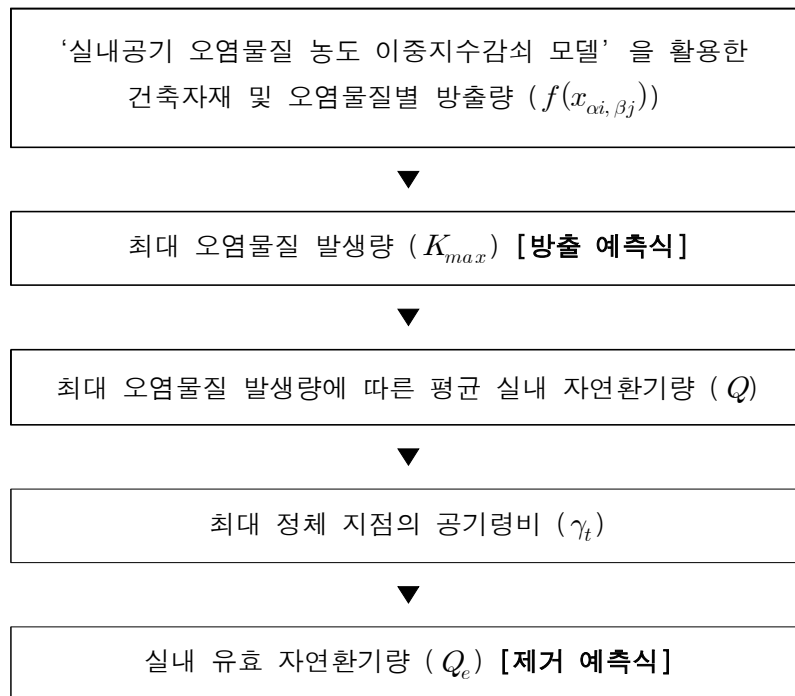


그림 69. 실내오염물질 방출 및 제거 예측식 프로세스

(15) BIM 추출정보 활용 실내공기질 방출 및 농도 예측 알고리즘 개발

(가) 개발 개요

① 개발 배경 및 필요성

- 건축자재에서 방출되는 오염물질별은 방출강도가 시간이 흐름에 따라 감소하나, 여러 자재에서 방출되기 때문에 누적 농도는 증가하므로 설계 및 거주단계에서 오염물질 농도를 실내공기질 허용기준 이하로 저하시키기 위한 자연환기량 검토가 필요함
- 하지만 주거공간의 특성(공간크기, 개구부의 유효 개폐정도 및 사용시간 등)에 따라 실공간의 위치별로 오염농도 분포가 다르며, 유효자연환기량에서도 차이가 남
- 따라서 실공간 전체에서의 오염물질 농도를 허용기준 이하로 저감시킬 수 있는 실제적인 실내 유효자연환기량 산출 기술 개발이 필요함

② 개발 방향

- 본 연구에서는 공동주택의 실내 건축자재에서 발생한 오염물질 농도를 예측하고, 오염물질 농도가 기준을 초과할 경우 허용농도 이하로 제거할 수 있는 실내 유효자연환기량 산출 기술을 개발하고 함
- 또한 본 과제의 주제를 고려하여, 실내 유효자연환기량 산출기술에서도 BIM 모델에서 추출된 형상정보를 연계하여 개발하고자 함

③ 개발 목표

- 프로그램 개발 목표 실내에서 발생하는 오염물질을 예측하고, 창호 개폐정도와 실외 속도에 따른 실 전체구역에서의 오염물질 농도가 허용기준 이하로 유지되기 위한 실내 유효자연환기량 간단 계산 프로그램 개발
- 거주단계에서 건축자재에서 발생하는 오염물질 제거에 요구되는 실내 유효자연환기량 간이 계산으로 실내 자연환기 계획 수립에 간편하게 활용되는 프로그램 개발

(나) BIM 추출정보 활용 실내공기질 방출 및 농도 예측 알고리즘 개발

- 실내 유효자연환기량 산출 프로그램 개발을 위해 실내 건축자재에서 발생한 오염물질의 농도 예측방법과 예측된 오염물질 농도를 실내 전반에 걸쳐 실내공기질 허용기준 이하로 저감시킬 수 있는 유효자연환기량 예측 방법을 개발함
- 실내에서 발생한 오염물질 농도를 예측하고 허용기준과의 비교를 통해 실내 자연환기 여부를 판단하는 실내공기 오염물질 농도 산출 프로세스를 그림 70과 같이 개발함
- 실내에서 발생된 오염물질 농도를 허용기준 이하로 저감시키기 위해 창호의 개폐정도와 실외 기류속도 기반의 유효자연환기량 산출 프로세스는 그림 71과 같음

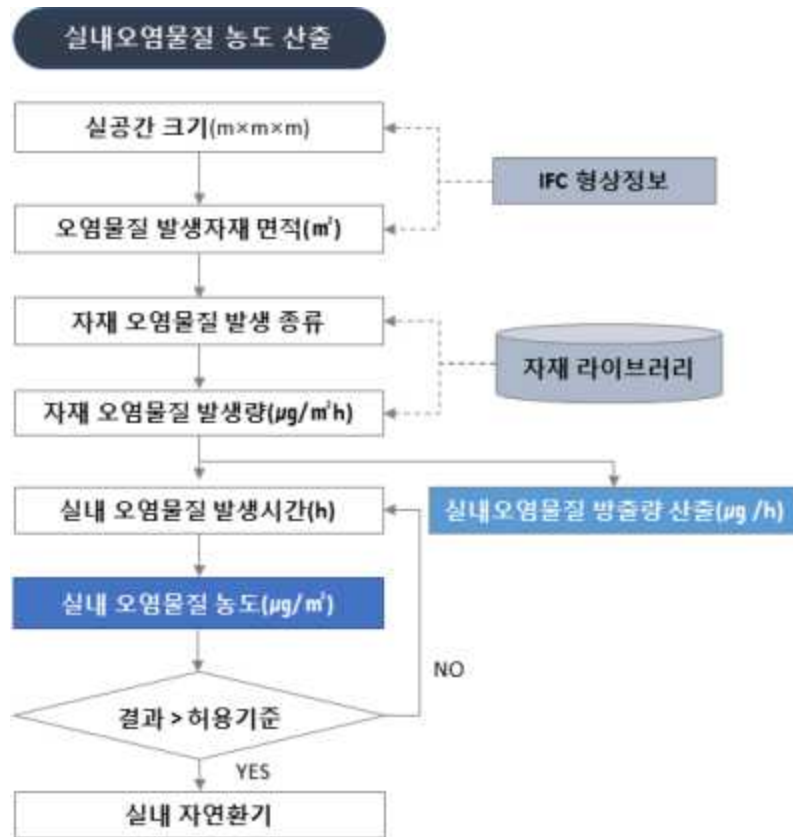


그림 70. 실내공기 오염물질 단기 농도 산출 프로세스

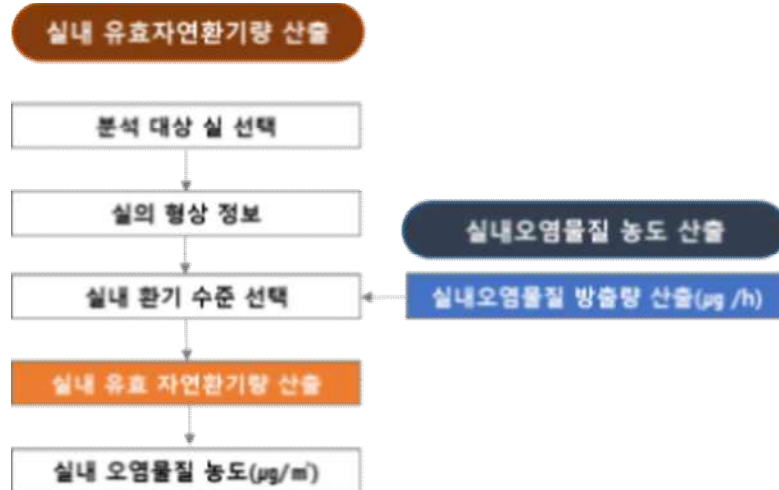


그림 71. 실내 유효자연환기량 산출 프로세스

(16) 실내공기질 예측 프로그램의 BIM 프로그램과의 직·간접적 연계성 검토

(가) 실내공기질 예측 프로그램과 BIM 프로그램 연계의 필요성

- 실내공기질 예측 및 평가를 위해서는 실내에서 발생하는 오염물질에 관한 정보와 대상 시설의 형상과 관련된 정보, 그리고 환기 특성에 관련된 인자들이 필요함
- 건축자재별로 방출되는 실내공기 오염물질의 농도가 다르며, 정확한 실내공기질 예측을 위해서는 대상 시설에 적용된 모든 건축 자재에 대한 정보가 필요함
- BIM 모델에는 대상 건물에 적용된 모든 자재 정보들을 포함하고 있으므로 BIM 모델과 실내공기질 예측 프로그램의 연계는 예측 과정의 편의성을 확보할 수 있음
- 실내공기 오염물질에 관한 정보와 함께 이를 제거하는 환기와 관련된 정보를 정확하게 예측할 수 있는 모듈 설계가 필요함
- 일반적으로 실내의 환기특성은 환기량에 지배적인 영향을 받음과 동시에 대상 시설의 형상, 환기 특성 등에 영향을 받아 지역적인 환기 성능 차이가 발생하며, 실내공기질에 대한 평가는 이러한 지역적인 편차를 모두 고려해서 이루어져야 함
- 모듈 개발을 위하여 선행 연구 조사를 통해 표 98과 그림 72와 같이 예측에 필요한 15개 인자를 선정하였으며, 환기량을 제외한 14개의 인자는 대상 시설의 형상에 관련된 인자로 BIM 모델과 연계하여 해당 정보를 추출하는 경우 예측 과정의 편의성을 확보할 수 있음

표 98. 실내 환기 특성 예측 모듈 개발을 위하여 필요한 요구정보

요구정보	설명
환기량 (A)	시간 당 환기횟수
창 면적 (B)	창의 폭과 높이를 곱하여 산정한 값
창 면적비 (C)	창의 면적을 창이 있는 벽면의 넓이로 나눈 값
창 위치(수평거리) (D)	안목치수 기준 창의 수평거리 (시작점)
창 위치(수직거리) (E)	바닥 기준 창의 높이 (시작점)
창 중점 수평거리 (F)	안목치수 기준 창의 중점까지의 수평거리
창 중점 수직높이 (G)	바닥 기준 창의 중점까지의 높이
창-실중점 수평거리 (H)	창과 대상 실의 중점 간의 수평거리
창-실중점 높이 차이 (I)	창과 대상 실의 중점 간의 높이
창-문 중점 가로 차이 (J)	창과 문의 중점 간의 가로길이
창-문 중점 세로 차이 (K)	창과 문의 중점 간의 세로길이
창-문 각도 (L)	창과 문이 이루는 각도 (맞통풍: 0°, 비맞통풍: 90°)
창-문 중첩면적 (M)	창과 문을 동일면에 투영하였을 때 중첩이 발생하는 면적
실 종횡비 (N)	대상 실의 부피
실 체적 (O)	대상 실의 가로길이를 세로길이를 나눈 값

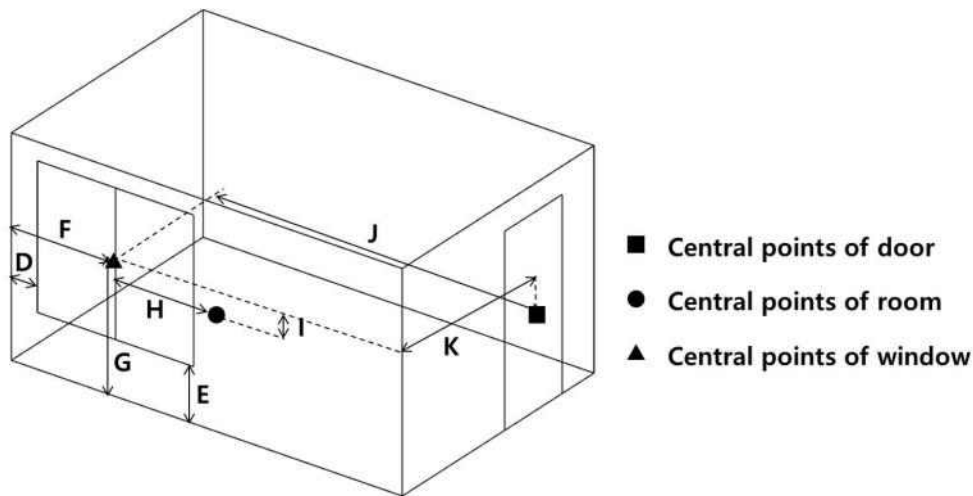


그림 72. 실내 환기 특성 예측 모듈 개발을 위하여 필요한 형상정보 인자

(나) 실내공기질 예측 프로그램과 BIM 프로그램의 연계방안 조사

- 실내공기질 예측에 있어서 BIM 프로그램과 연계를 한 사례는 현재까지 국내에서는 이루어지지 않고 있으며 BIM 모델을 다른 프로그램과 연계하여 사용한 기존의 연구들은 표 99와 같이 BIM 모델에서 대상 시설의 형상 정보나 속성 정보들을 추출하였으나, 대상 시설의 크기나 문, 창문 등의 기본 구성요소들의 좌표를 추출하는 연구가 대다수임
- 본 연구에서는 BIM 모델에서 각 구성요소들의 좌표를 추출하고 이를 이용하여 필요한 요구정보를 산정하는 알고리즘을 구축하였으며, 실내공기질 예측에 있어서 반드시 필요한 요구정보인 자재별 방출 오염물질의 농도와 형상 정보들을 추출하고 예측 프로그램에 활용하는 방안으로 전체 연구 프로세스를 진행함

표 99. BIM 모델에서 요구정보를 추출한 선행연구 사례

관련 연구	BIM 모델 추출 목적 및 방법
고일두 외, 2009	- 3차원 그래픽기반 IFC 뷰어 구현 - 개방형 BIM 모델 뷰어 구현을 위하여 BIM 모델의 형상 데이터에서 전체 좌표를 추출하고 좌표계를 구축하여 전체 형상을 모델링함
김가람 외, 2012	- 건물 에너지 부하량 산정 목적의 DOE-2 분석엔진에 필요한 INF 입력 파일을 작성하기 위한 IFC 요구정보 추출 방법 제안 - IFC 모델의 엔티티 분석을 통해 위치 좌표를 추출하여 요구정보를 출력함
류정림 외, 2015	- 개방형 BIM 모델의 추출 방안 제안 및 시각화 도구 구현 - IFC 모델에서 공간 정보를 추출하는 Ifcspace와 공간 간의 정보를 추출하는 Ifcdoor를 통해 대상 시설의 형상 정보를 추출하고 모델링함
김창민 외, 2017	- 창세트 BIM모델에서 형상정보를 추출하고 열관류율 평가를 위한 입력 자료로 자동 변환하는 방법 개발 - 창세트 IFC 모델에서 형상 정보 엔티티를 추출하여 좌표를 얻고 이를 변환하는 알고리즘을 개발하여 열관류율 시뮬레이션의 입력 데이터로 변환함

(17) BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 프로그램(모듈) 개발

(가) 실내공기질 예측 모듈 개발 프로세스

- 실내공기질은 특정 시점에서의 실내 오염물질별 농도와 오염물질별 실내 허용 기준 농도를 비교하여 평가되며, 평가를 위해서는 실내 오염물질의 방출 및 제거 예측식에 대한 개발과 함께 오염물질 제거에 절대적인 영향을 미치는 환기 특성에 대한 예측이 필요함
- 1차년도 연구 결과로 8종의 건축 자재 방출 오염물질과 7종의 대기 중 오염물질을 대상 오염물질로 선정하였으며, 각 오염물질별로 방출 및 제거 예측식을 개발함 (성과점검기준표 [증빙 18] 참조)
- 일반적으로 실내 오염물질 제거와 관련이 있는 환기 특성 예측으로 실내 평균 환기량을 식 13과 같이 산정하여 실내공기질을 평가함

$$Q = \frac{K_{max}}{C_i - C_o} \quad \text{----- (식 13)}$$

Q : 평균 실내 자연환기량(m^3/h)

K_{max} : 실내공기 오염물질 발생량($\mu\text{g}/\text{h}$)

C_i : 실내 오염물질 기준 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_o : 실외 오염물질농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 실내 평균 환기량은 대상 시설 전체의 환기량을 대푯값으로 산정하기 때문에 시설 내부의 공기 유동에 대한 정확한 분석과 지역적인 환기량 차이를 고려하지 못하는 단점이 있음
- 시설 내부 유동에 대한 정확한 분석과 지역적인 환기량 차이를 고려한 환기 특성을 예측하기 위하여 식 14와 같이 유효 자연 환기량 개념을 도입함
- 유효 자연 환기량은 평균 환기량에 최대 정체 지점의 공기정체비의 영향을 고려한 환기 특성으로 여기서 공기 정체비는 대상 시설의 최대 공기정체를 평균 공기정체로 나누어 산정함

$$Q_e = \gamma_t \cdot Q \quad \text{----- (식 14)}$$

Q_e : 실내 유효 자연환기량(m^3/h)

γ_t : 최대 정체 지점의 공기정체비 (-)

Q : 실내 평균 환기량(m^3/h)

- 대상 오염물질에 대한 방출 및 제거 예측식과 유효 자연 환기량 예측식을 기반으로하여, 실내 공기질 평가 대상 세대의 특성(면적, 적용 자재 등)을 고려한 실내공기 오염물질 농도를 산출하고 산출한 오염물질을 실내허용 기준과 비교하여 기준농도 이하로 유지할 수 있는 유효 자연 환기량을 예측하는 프로그램을 개발하였으며, 전체 프로세스는 그림 71과 같음

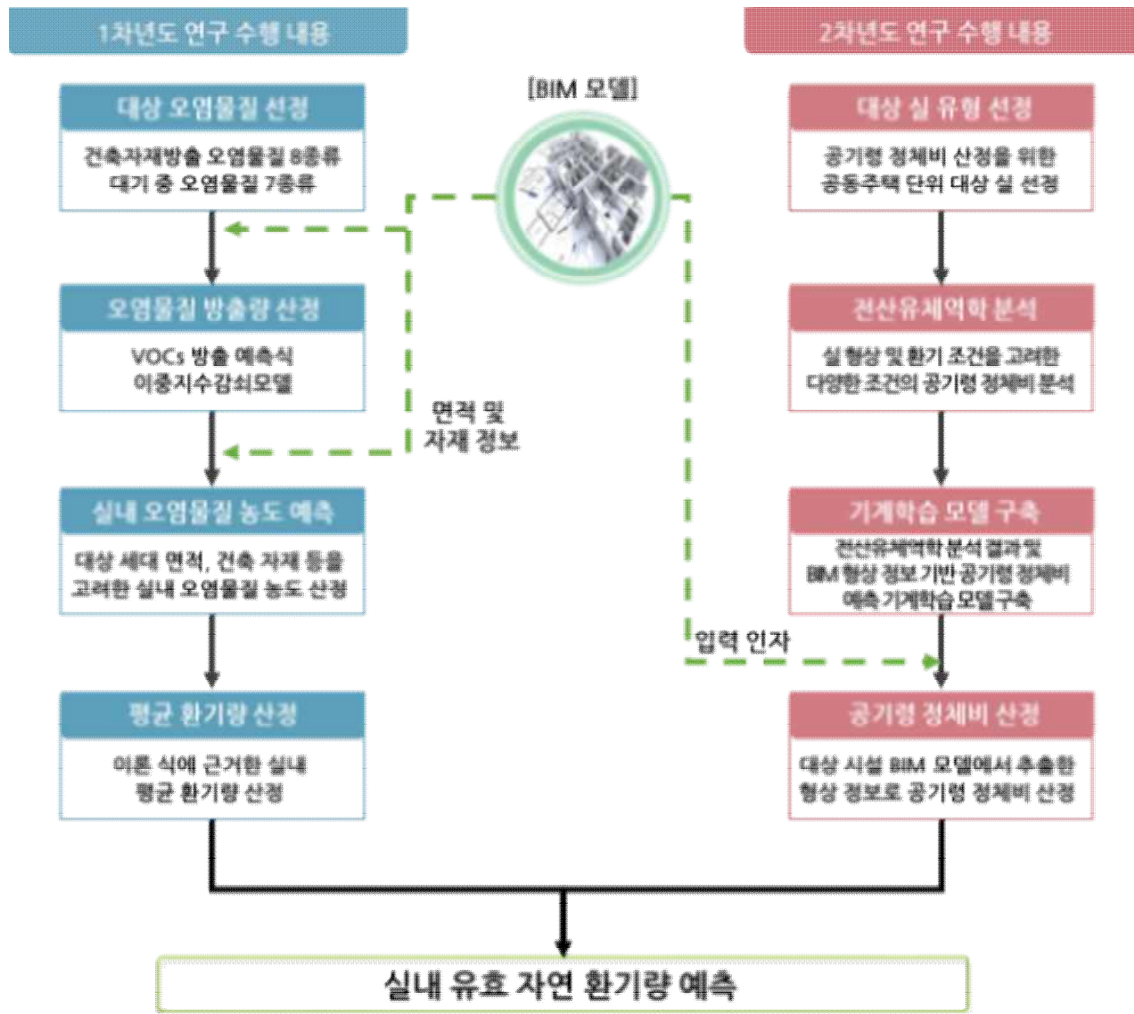


그림 73. BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 프로그램 개발 프로세스

- 유효 자연 환기량 산정에 있어서 필수적인 공기럼 정채비의 경우, 전산유체역학의 분석 결과와 인공신경망 기계 학습 모델을 커플링(coupling)하여 예측함
- 현재 개발된 예측 모듈의 경우, 대상 오염물질 중 실내공기질 환경 및 인체 건강에 영향력이 가장 높은 포름알데하이드와 총휘발성유기화합물의 오염물질 농도 및 유효 자연 환기량을 예측하며, 두 물질 중에 유효 자연 환기량이 더 높은 물질의 결과를 제시함
- 추후 필요에 따라 미세먼지(PM10, PM2.5), 이산화탄소 등의 오염물질별로 실내 오염물질 농도와 유효 자연 환기량을 예측하는 기능을 추가할 예정임
- 향후 예측 프로그램의 측정 정보 관리부에 축적이 되는 실제 실내공기질 측정 정보들과 프로그램을 통해 산정되는 예측 값들을 비교하여 예측의 지배 방정식인 VOCs 방출 예측식과 이중지수감소모델을 보정할 계획임
- VOCs 방출 예측식과 이중지수감소모델 보정을 위하여 실측값과 예측값의 오차를 최소화하고 예측식의 매개변수 보정 및 입력 변수 불확실성 최소화에 사용되는 최대 우도 추정법(Maximum Likelihood Estimation), 베이저안 보정법(Bayesian Calibration) 등을 적용할 예정임

(나) 예측 모듈 개발을 위한 전산유체역학 분석

- 공기 정체비는 실측이 어려우며 예측식이 존재하지 않고 실의 형상과 환기 특성에 영향을 받는 공기령에 지배적이므로 이러한 모든 인자를 고려한 예측식 개발이 필요함
- 다중회귀분석, 기계학습을 이용하여 실내 공기 정체비 예측식을 개발하고자 하였으며, 학습 데이터를 구축하기 위하여 전산유체역학(Computer Fluid Dynamics, CFD)을 사용함
- CFD 분석의 대상 시설은 1차년도의 표준모델 선정 결과를 반영하여 규모 85m²의 공동주택으로 선정하였으며, 그림 72와 같이 3가지 단위 실 형태들에 대하여 분석을 수행함
- 단위 실의 층고와 폭은 LH 공사 주택분야 건축설계지침서 (2010)를 참조하여 각각 2.4 m와 3.0 m로 설정하고 3.0 m 폭을 기준으로 실 형태를 1:1 비율, 1.5:1 비율, 1:2 비율의 3가지로 구분하였으며, 단위 실에는 유입구 역할을 하는 폭 1.8 m의 창과 유출구 역할을 하는 폭 0.9m의 문이 설치된 것으로 설정함

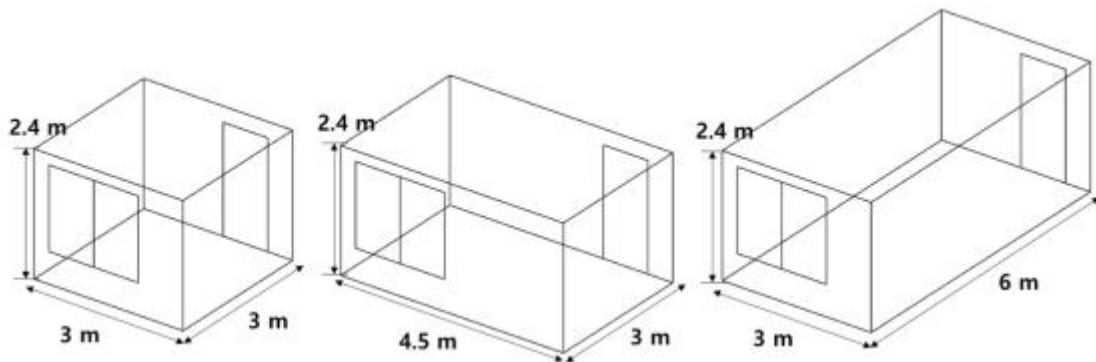


그림 72. 전산유체역학 분석 대상 시설

- 대상 시설의 형상 설계는 STAR-CCM+의 전처리 프로그램인 3D-CAD을 이용하여 설계하였으며, 거주자의 환기 패턴을 고려하여 유입구와 유출구에 프레임의 두께와 같은 0.05 m의 틈을 만들어 침기 형태로 실내에 기류가 유출입 되는 것으로 설정함
- 내부 격자는 trimmer cell type이며 격자 크기는 연산 시간과 해석 결과의 정확도를 고려하여 0.025 m로 설계하였으며, 벽체와 창의 닫힌 영역은 Wall로, 창의 틈은 Velocity inlet, 문의 틈은 Pressure outlet으로 경계 조건을 설정함
- CFD 모델의 난류 모델 및 경계 조건은 표 100과 같으며, Passive scalar를 이용하여 정상상태에 대하여 분석을 수행하여 공기 정체비를 산정함
- 공기령 정체비 예측식 개발을 위하여 표 101과 같이 다양한 실 형태 조건과 환기량 조건에 대한 총 162개의 해석 케이스에 대하여 전산유체역학 분석을 수행함

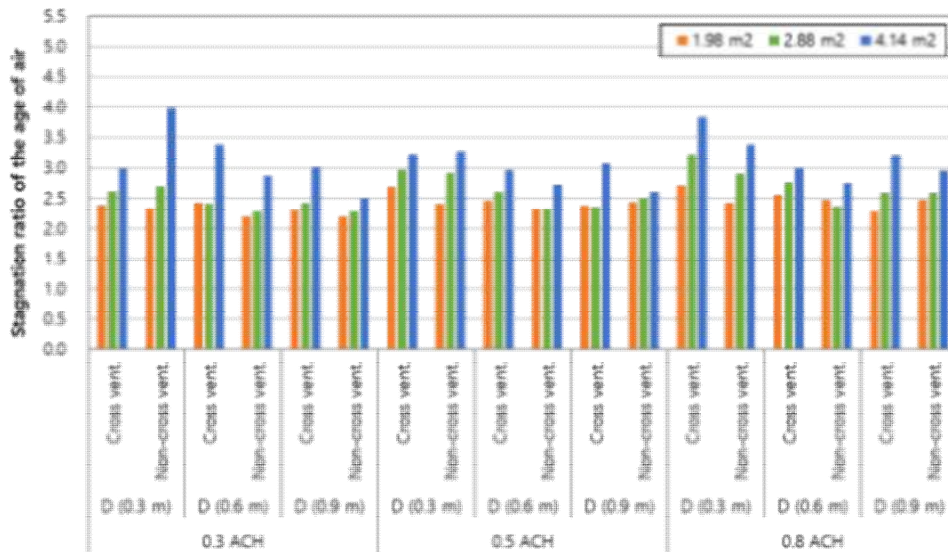
표 100. 전산유체역학 해석을 위한 모델 특성 요인 설정

요인	설정값	단위
난류 모델	Realizable k- ϵ 모델	-
초기 대기압력	101,325	Pa
중력 가속도	9.81	m s ⁻²
공기 밀도	1.187	kg m ⁻³
공기 점성계수	1.855×10^{-5}	kg m ⁻¹ s ⁻¹
난류 강도	0.1	-
난류 소산율	10	%

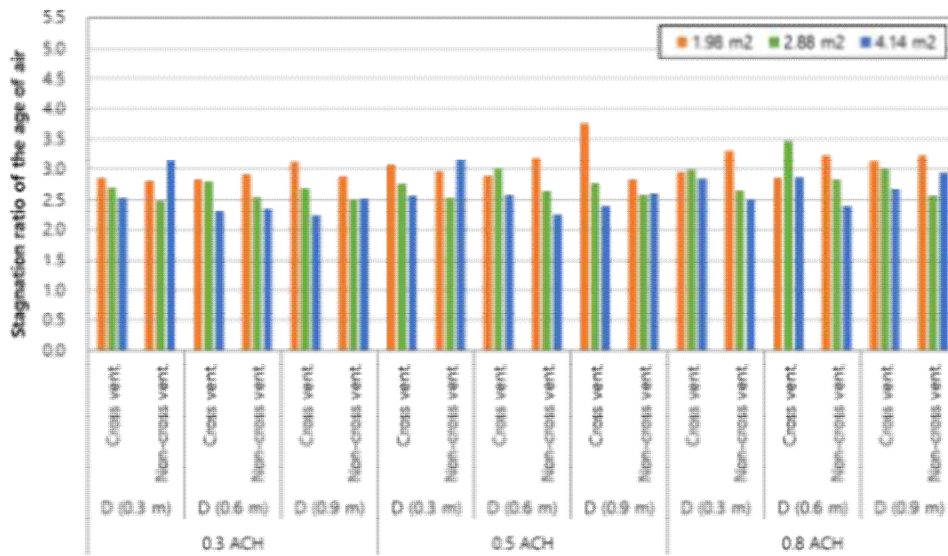
표 101. 전산유체역학 해석을 위한 모델 특성 요인 설정

요인	조건	케이스 수
실 유형	1:1, 1.5:1, 1:2	3
환기량	0.3 ACH, 0.5 ACH, 0.8 ACH	3
창 면적	1.98 m ² , 2.88 m ² , 4.14 m ²	3
창 수평거리	0.3 m, 0.6 m, 0.9 m	3
유, 출입구 배치	맞통풍 구조, 비맞통풍 구조	2
전체 해석 케이스	162 개	

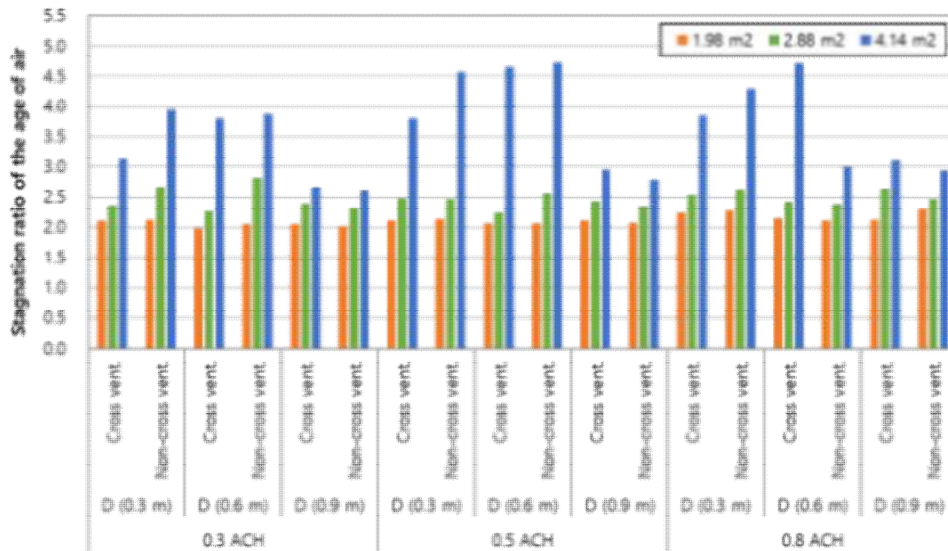
- 1:1 실 형태에서는 그림 73과 같이 창 유형 3의 조건에서 가장 높은 공기령 정체비가 도출되었는데, 이는 같은 환기량 조건에서 창 면적이 가장 넓은 창 유형 3의 실내 평균 공기령은 대체로 가장 낮게 형성이 되고 정체 지점의 최대 공기령은 대체로 유사하거나 창 유형 3에서 가장 높은 공기령이 형성되어 높은 정체비가 도출되는 것으로 나타남
- 1:1 실 형태에서는 대체로 비맞통풍 구조에서 더 낮은 공기령 정체비가 도출되었는데, 이는 일반적으로 맞통풍 구조에서 원활한 환기가 이루어져서 평균 공기령은 낮게 도출되나 그림 74와 같이 주 기류의 영향을 받지 않는 실의 모서리 부분의 영역에 정체 구역이 형성되며 이로 인하여 비맞통풍 구조보다 최대 공기령이 높게 형성되어 나타남
- 1.5:1 실 형태에서는 창 유형 1의 조건에서 대체로 가장 높은 공기령 정체비가 도출되었으며, 이는 창 유형 1의 조건에서 정체지점에 대한 실내 최대 공기령이 가장 높게 도출되었으며, 평균 공기령도 가장 높게 산정되었으나 창 유형별 차이는 최대 공기령보다 편차가 작아 공기령 정체비가 가장 크게 도출된 것으로 나타남
- 2:1 실 형태에서는 1:1 실 형태와 마찬가지로 창 유형 3에서 가장 큰 공기령 정체비가 도출되었는데, 특히 다른 창 유형보다 2배 이상 높은 공기령 정체비가 형성되어 편차가 크게 나타났으며, 평균 공기령은 창 유형 3이 다른 창 유형보다 훨씬 적은 공기령이 도출되어 나타남



(a) 1:1 실 형태의 공기령 정체비 분석 결과



(b) 1.5:1 실 형태의 공기령 정체비 분석 결과



(b) 1:2 실 형태의 공기령 정체비 분석 결과

그림 75. 전산유체역학을 이용한 공기령 정체비 분석 결과

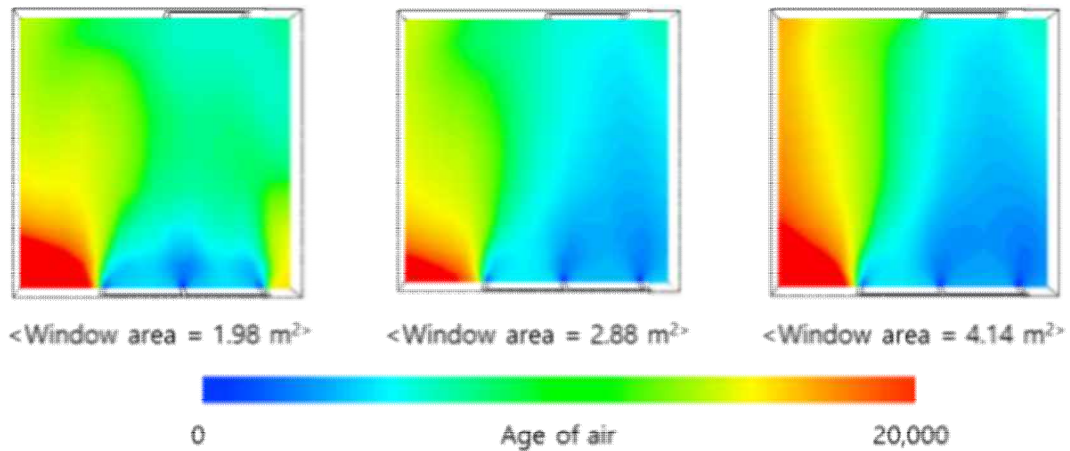


그림 76. 실 형태 1:1의 실내 최대 공기령 전산유체역학 분석 결과

(다) 다중회귀분석을 통한 유효 필요환기량 예측 모델 구축

- 공기령 정체비 예측식 도출을 위하여 CFD 결과를 기반으로 하는 다중회귀분석을 실시하여 예측 모델을 설계하였으며, 다중회귀분석을 위한 변수는 대상 실 형태 및 환기 조건에서 추출할 수 있는 변수들을 고려하여 표 102와 같이 설정함
- 창 면적비(C)는 창이 위치한 벽면에서 창 면적을 벽 면적으로 나눈 값을 의미하는 변수이고, 창과 문의 중첩면적(K)은 창과 문을 동일면에 투영시켰을 때 중첩되는 면적으로 비맞통풍이면 중첩면적이 없다고 설정하였으며, 창과 문 사이의 각도(L)는 맞통풍 구조일 경우 0°, 비맞통풍 구조일 경우에는 90° 로 설정함

표 102. 다중회귀분석을 위한 독립변수 설정

요인	조건
환기량 (A)	0.3 ACH, 0.5 ACH, 0.8 ACH
창 면적 (B)	1.98 m ² , 2.88 m ² , 4.14 m ²
창 면적비 (C)	0.18, 0.27, 0.28, 0.38, 0.40, 0.58
창 위치(수평거리) (D)	0.3 m, 0.6 m, 0.9m
창 위치(수직거리) (E)	0.25 m, 0.55 m, 0.85 m, 1.20 m, 1.50 m, 1.75 m, 1.80 m, 2.05 m, 2.35 m, 2.70 m, 3.00 m, 3.30 m
창 중점 수평거리 (F)	1.2 m, 1.5 m, 1.8 m
창 중점 수직높이 (G)	0 m, 0.3 m
창-실중점 수평거리 (H)	0 m, 0.7 m, 1.1 m
창-실중점 높이 차이 (I)	1.15 m, 1.50 m, 1.65 m
창-문 중점 가로 차이 (J)	0.05 m, 0.30 m, 0.45 m
창-문 중점 세로 차이 (K)	2.05 m, 3.00 m, 5.05 m, 6.00 m
창-문 각도 (L)	0°, 90°
창-문 중첩면적 (M)	0 m ² , 0.50 m ² , 0.70 m ² , 0.80 m ² , 1.05 m ² , 1.10 m ² , 1.12 m ² , 1.54 m ² , 1.68 m ² , 2.31 m ²
실 종횡비 (N)	0.5, 1, 1.5
실 체적 (O)	21.6 m ³ , 32.4 m ³ , 43.2 m ³

- 한편, 독립변수 간의 높은 상관관계로 인한 다중공선성이 존재할 경우 최적의 모형이 분석되지 않으므로 다중공선성을 제거하기 위하여 독립변수 선정방법으로 기여도가 가장 적은 변수부터 제거하는 후진 제거법을 사용하였으며, 공차 한계치가 0.1 이하인 변수들에 대해서는 독립변수들을 조정하여 공선성을 제거한 최적 회귀 모델을 도출함
- CFD를 이용하여 분석한 총 162개의 결과에 대하여 다중회귀분석을 수행하였으며, 공기령 정체비를 종속변수, 표 102의 변수들을 독립변수로 지정하여 분석을 진행할 결과, 표 103과 같이 총 6개의 독립변수(A, C, D, H, N, O)가 회귀 모형의 인자로 선정됨
- 6개의 독립변수 중 5개의 독립변수(A, C, D, N, O)는 t 값과 유의확률이 통계적 유의수준을 만족하였고, 창-실중점 수평거리(H)의 경우에는 t 값이 -1.762, 유의확률이 .080로 유의수준을 다소 만족하지 못하였으나, 외기가 유입되는 창의 위치가 내부 유동에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 회귀 모형의 인자로 추가함
- 도출한 회귀 모형은 F값이 $p < .001$ 에서 16.006, 회귀식에 대한 R^2 값은 0.38로 38%의 설명력을 가지고 있으며 회귀 모형의 자기 상관성 평가에 가장 보편적으로 사용되는 방법인 Durbin-Waston test를 이용하여 도출된 회귀 모형의 상관성을 평가한 결과, Durbin-Watson 값이 1.348로 잔차들 간에 상관관계가 없는 것으로 나타남
- 본 연구에서 사용한 다중회귀분석은 선형회귀 분석이기 때문에 각 독립변수와 종속변수의 관계가 비선형인 데이터 집단의 예측에는 회귀 모형의 결정계수가 낮아지고 정확성이 떨어지는 것으로 판단됨

표 103. 다중회귀분석을 위한 독립변수 설정

종속변수	독립변수	표준오차	β	t-value	p	공차한계
공기령 정체비	Constant	.355		1.344	.181	
	A	.165	.144	2.284	.024*	1.000
	C	.305	.640	8.713	.000	.739
	D	.155	-.260	-3.682	.000	.800
	H	.208	-.216	-1.762	.080	.265
	N	.189	.661	4.609	.000	.194
	O	.006	.354	3.709	.000	.436
R=.619 $R^2=.38$ Adjusted $R^2=.36$, F=16.006, $p < .001$, Durbin-Watson=.956						

- 다중회귀분석을 통해 최종적으로 도출된 공기령 정체비 예측식은 식 15와 같음

$$Y_{AOA} = 0.477 + 0.377A + 2.660C - 0.569D - 0.366H + 0.870N + 0.022O \text{ ---- (식 15)}$$

Y_{AOA} : 실 전체 최대 공기령(s)

A : 환기량 (ACH)

C : 창 면적비

D : 창 위치 (수평거리) (m)

H : 창-실 중점 수평거리 (m)

N : 실의 종횡비

O : 실의 체적 (m^3)

- 다중회귀분석의 결과로 도출한 회귀식의 정확성을 검증하기 위하여, 학습 데이터의 결과값과 회귀식을 이용하여 도출한 결과를 비교하였음
- 정확성 검증은 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 RMSE(Root Mean Squared Error)의 통계적 지표를 이용하였으며, 계산식은 아래와 같음

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{----- (식 16)}$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad \text{----- (식 17)}$$

$RMSE$: 평균 제곱근 오차

$MAPE$: 평균 절대비율 오차

n : 전체 데이터 수

y_i : i 번째 관측 값

$\hat{y}_i$: i 번째 예측 값

- 다중회귀분석 회귀모델의 정확성 검증 결과는 그림 77과 같으며, MAPE는 18.60%, RMSE는 0.61로 도출됨

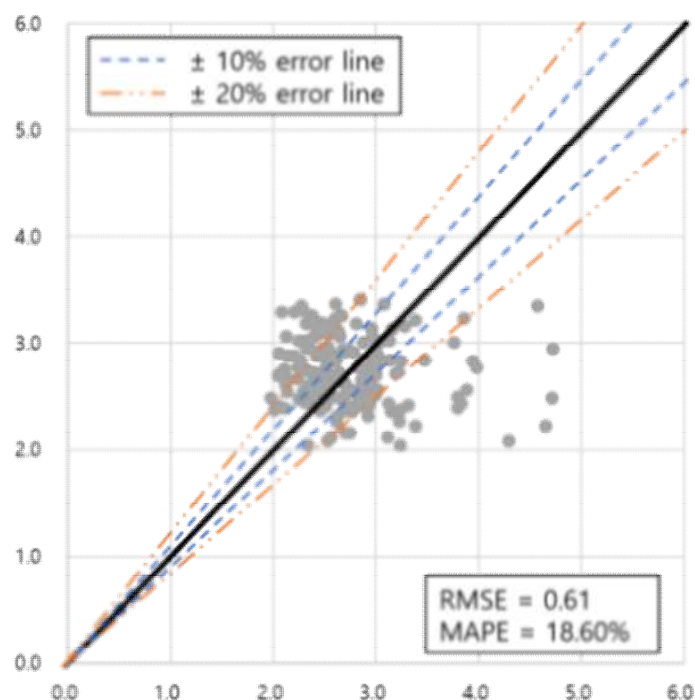


그림 77. 회귀모델의 예측 정확도 검증 결과

(라) 인공지능망기반 기계학습을 통한 유효 자연 환기량 예측 모델 개발

- 공기량 정체비 학습 데이터군이 비선형 분포를 이루고 있어, 다중회귀분석을 통하여 도출한 회귀 모델의 설명력이 38%로 낮으며 학습 데이터에 대한 검증결과, MAPE가 18.60%, RMSE가 0.61로 예측식의 신뢰성이 상대적으로 낮아 개선이 필요함
- 신뢰성 및 정확성이 높은 공기량 정체비 예측 모델을 구축하기 위하여 비선형 데이터 집단에 대한 예측 정확성이 뛰어난 인공지능망 기반의 기계학습을 활용하여 모델을 구축함
- 전산유체역학을 통해 분석한 162개 케이스의 공기량 정체비 결과를 학습 데이터로 가공 및 활용하여 기계학습 모델을 구축함
- 기계학습 모델의 입력 인자로는 표 104와 같이 다중회귀분석에 사용한 15개 인자를 적용함
- 인공지능망 기반 학습모델은 비선형 데이터에 대한 예측 및 정확성이 뛰어난 Function fitting neural network(fitnet)을 이용함
- fitnet의 train function, transfer function 및 매개변수는 표 104와 같이 fitnet 네트워크의 기본 설정 변수들을 적용함

표 104. 공기량 예측을 위한 fitnet 환경조건 설정

항목	설정 값
Train function	trainlm (Levenberg-Marquardt backpropagation)
Transfer function	tansig
epochs	1,000
goal	0
max_fail	6
min_grad	1e-7
mu	0.001
mu_dec	0.1
mu_inc	10
mu_max	1e+10

- 162개의 학습 데이터 중 70%는 기계학습 모델 구축 및 학습에 적용하였으며, 15%의 데이터는 검증, 15% 데이터는 테스트에 활용하도록 모델을 구축함
- 네트워크 정확성에 많은 영향을 미치는 은닉층(hidden layer)의 수는 표 105와 같이 선행 연구들에서 적용한 설정값 중에서 학습모델 구축 시 본 연구의 학습 데이터 예측 및 검증에 가장 적합한 11개로 설정하여 그림 78과 같이 네트워크를 구축함
- 인공지능망 기반 학습모델의 예측 정확성 검증 결과는 그림 79와 같으며, MAPE는 5.28%, RMSE는 0.26으로, 다중회귀분석 모델로 도출한 회귀 모델의 정확성에 비해 MAPE는 약 13%, RMSE는 약 0.35 개선되어 정확성이 높아진 것으로 나타남

표 105. fitnet 기계학습 모델의 최적 은닉층 수 설정

선행연구	은닉층 수	MAPE (%)	RMSE
Li et al. (1995)	18	6.46	0.08
Tamura et al. (1997)	161	9.10	0.35
Jinchuan et al. (2008)	28	6.42	0.09
Xu et al. (2008)	11	5.28	0.07
Shibata et al. (2009)	4	8.53	0.13
Hunter et al. (2012)	163	8.01	0.33

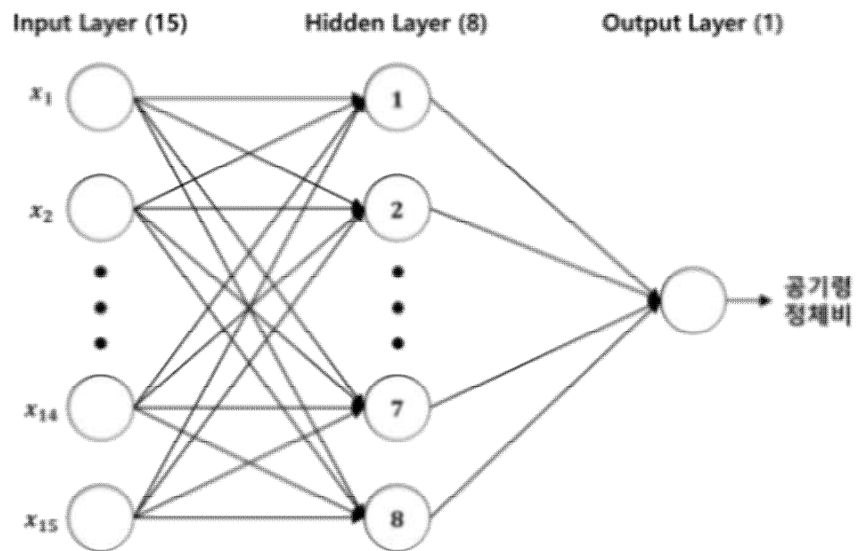


그림 78. 공기질 정제비 예측을 위한 인공신경망 네트워크 구조

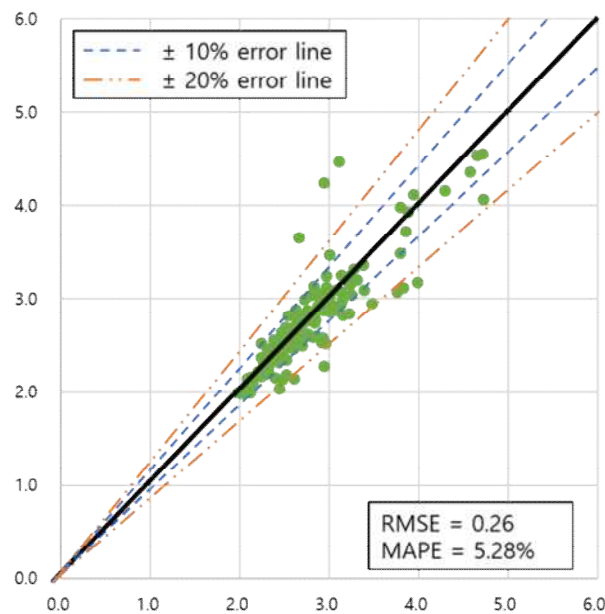


그림 79. 기계학습 모델의 예측 정확도 검증 결과

(18) BIM 프로그램에서 실내공기질 예측 프로그램 입·출력 모듈 개발

(가) 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 통합 프로그램의 입·출력 모듈 개발

- 본 연구에서 개발한 실내 공기질 예측 프로그램은 측정 정보 관리 템플릿과 데이터 입·출력 모듈을 통합하였으며, 통합 프로그램은 그림 80과 같이 3개의 예측 관련 모듈과 1개의 측정 정보 관리부로 구성되며, 통합 시스템으로부터 BIM 모델을 입력 파일로 받는 형태임

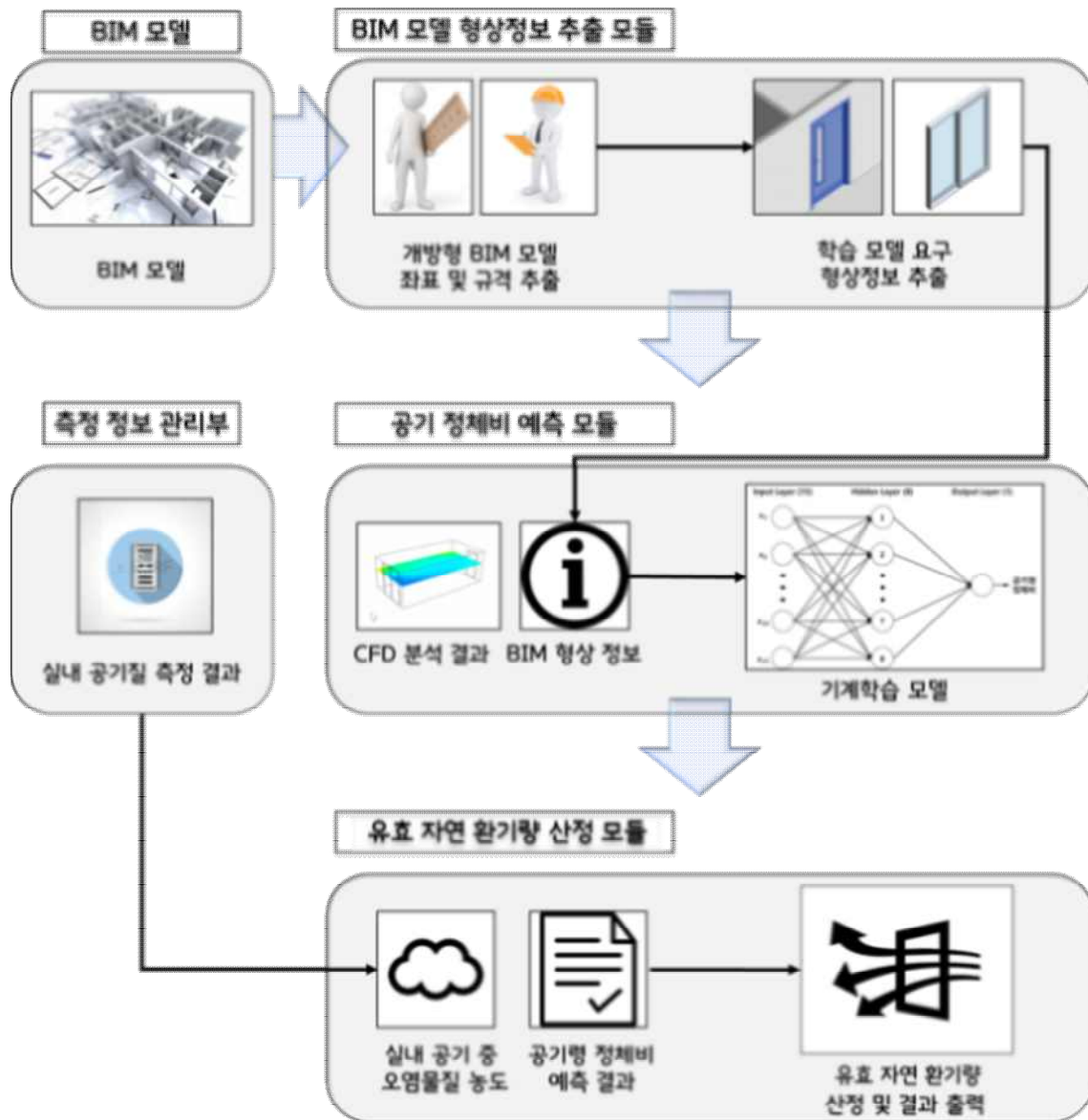


그림 80. 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 통합 프로그램 구조도

- 본 연구에서 개발한 BIM 모델 요구정보 추출 알고리즘을 통하여 통합 시스템에서 입력된 BIM 모델을 분석하여 실내공기질 예측 프로그램 필요한 요구 형상정보들을 추출함
- 공기령 정체비 예측 기계학습 모델에 입력되는 14개 형상정보 인자는 BIM 모델에서 추출한 좌표를 바탕으로 추가 연산 과정을 거쳐야 산출할 수 있는 인자들로 이를 추출하기 위하여 표 106과 같은 process를 가지는 BIM 형상정보 추출 알고리즘을 개발함

표 106. BIM 모델에서 학습모델에 필요한 인자를 추출하는 알고리즘의 주요 계산 과정

추출 인자	인자 설명
창 면적	창의 폭과 높이를 추출하여 계산함
창 면적비	창이 있는 벽면의 면적을 계산 후 1을 나눔
창 위치 (수평거리)	IfcCartesianPoint 분석 후 X좌표의 최소값
창 위치 (수직거리)	IfcCartesianPoint 분석 후 Y좌표의 최소값
창 중점 수평거리	창의 좌표를 추출한 후 X좌표의 최댓값과 최솟값을 뺀 값에 0.5를 곱하여 산정
창 중점 수직높이	창의 좌표를 추출한 후 Y좌표의 최댓값과 최솟값을 뺀 값에 0.5를 곱하여 산정
창-실 중점 수평거리	창, 실의 중심 좌표를 추출한 후 두 X 좌표간의 절대값 차이 산정
창-실 중점 높이 차이	창, 실의 중심 좌표를 추출한 후 두 Y 좌표간의 절대값 차이 산정
창-문 중점 가로 차이	창, 문의 중심 좌표를 추출한 후 창 X축 방향에 대한 벡터를 곱하여 산정
창-문 중점 세로 차이	창, 문의 중심 좌표를 추출한 후 창 Z축 방향에 대한 벡터를 곱하여 산정
창-문 각도	창이 있는 벽면과 문이 있는 벽면의 인접 여부를 판별하여 인접한 경우 90° , 반대의 경우 0° 로 값을 정의함
창-문 중첩 면적	창-문의 각도가 0° 인 경우, 창의 구성 좌표와 문의 구성 좌표 사이의 중첩되는 길이와 높이를 추출하여 면적을 산정
실 체적	폭, 길이, 높이 길이를 곱하여 산정
실 중형비	대상 실 벽면의 폭과 길이를 추출한 후, 폭을 길이로 나눈 비율

- 개발된 알고리즘을 바탕으로 통합 시스템에 사용자가 업로드한 BIM 모델을 분석하여 대상 시설의 좌표 체계를 분석 후 학습모델에 필요한 14개의 인자를 산정하고 이를 다음 모듈의 입력 데이터로 전달함
- CFD을 이용하여 공기령 정체비를 분석한 결과를 학습 데이터로 구축하여 기계학습 모델에 내장시켰으며, BIM 모델 형상정보 추출 모듈에서 전달되는 14개의 형상정보 인자들과 환기량 인자를 기계학습 모델에 입력하여 실내 공기 정체비를 예측함
- 공기 정체비 예측 모듈에서 산정된 공기령 정체비 예측 결과는 유효 자연 환기량 산정 모듈로 데이터가 전달되며, 실내공기질 측정 정보 관리부에서 사용자가 입력한 오염물질 농도 데이터 또한 함께 입력되어 최종적으로 유효 자연 환기량을 산정함
- 산정된 유효 자연 환기량과 함께 공기령 비를 프로그램에 출력하여 대상 실의 공기 오염물질 농도와 시설 형태 및 환기 특성에 따라 허용 공기질 기준을 충족시키기 위한 환기량을 사용자에게 제시해 줌

(나) 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 통합 프로그램 구현

- 통합 시스템에 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 통합 프로그램을 탑재하기 위하여 단독 실행 프로그램으로 구현하여 시스템에 연동함
- 프로그램을 시작하였을 때 측정 정보 관리부와 예측 정보 관리부를 선택할 수 있음
- 측정 정보 관리부의 프로그램 구성은 핵심성과 6의 2. 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발의 프로그램 구현 설명과 동일함
- 업로드한 측정 결과는 프로그램 DB에 저장되며, 그림 78과 같이 측정데이터 이력 항목에서 측정 결과를 다시 확인할 수 있으며, 측정데이터를 그래프로 자동 변환하여 측정 횟수에 따른 농도 변화 추이를 그래프로 제시함
- 프로그램 DB에 저장된 오염물질 측정 농도 결과 중 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물의 농도는 유효 자연 환기량 산정부에 입력 파일로 적용되며, 대상 실내의 환경 조건 값으로 적용되며, 이를 이용하여 실내 유효 자연 환기량을 산정함
- 예측 정보 관리부 메뉴로 진입하였을 때 출력되는 화면 구성이며, 사용자는 통합 시스템에서 BIM 모델을 입력 파일로 받거나 개별적으로 BIM 파일을 업로드하여 공기 정체비 및 유효 자연 환기량을 예측할 수 있음

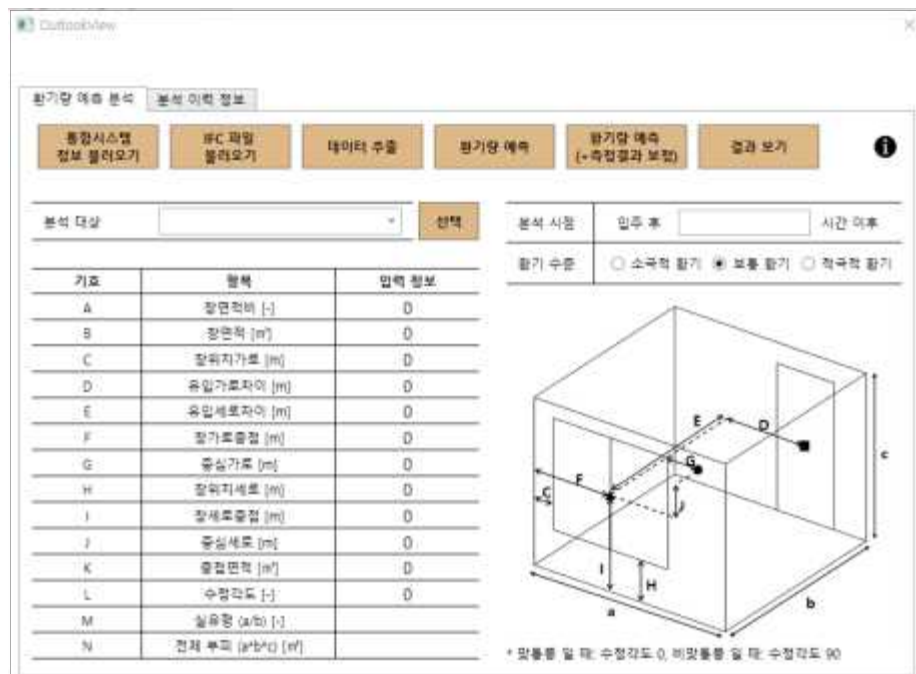


그림 81. 유효 자연 환기량 예측부 화면

- 통합시스템정보 불러오기 버튼을 통해 BIM 모델에 포함된 건축 자재별 오염물질 방출 농도 값을 XML 데이터 형식으로 시스템에 입력할 수 있으며, IFC 파일 불러오기를 통해 BIM 모델의 형상정보를 프로그램에 입력할 수 있음
- BIM 모델을 업로드 후, 데이터 추출 버튼을 클릭하면 해당 BIM 모델을 이루고 있는 실의 정보, 형상정보 등이 자동으로 알고리즘을 통해 추출되고 사용자는 분석 대상의 드롭다운 버튼을 통해 대상 실의 종류를 확인할 수 있으며, 그 중에서 분석 대상을 지정하여 예측이 가능함

- 본 연구의 기계학습 모델에 입력 변수로 사용되는 14개의 인자들을 나타내고 있으며, 사용자가 분석 대상을 지정하는 경우 알고리즘을 통해 추출한 해당 실의 정보가 출력이 되며, 우측의 대상 실의 형상도 자동을 변화함
- 형상정보 이외의 환기 특성에 대한 인자는 우측의 환기 수준을 통해 설정이 가능하며, 소극적 환기는 0.3 ACH의 환기 조건, 보통 환기는 0.5 ACH의 환기 조건 그리고 적극적 환기는 0.8 ACH 환기 조건으로 예측 모델에 적용됨
- 형상정보, 환기 수준, 분석 시점에 대한 설정을 한 후에 환기량 예측 버튼을 누르면 알고리즘을 통해 기계학습 모델이 구축되어 환경조건에 맞는 공기량 정체비를 산출하며, 이를 측정부의 오염물질 농도 값을 이용하여 산출된 필요환기량에 곱하여 유효 자연 환기량을 산정함
- 결과 보기 버튼을 통해 대상 실의 조건에 따른 공기량 정체비와 실내공기질 기준농도를 충족하기 위한 유효 자연 환기량이 그림 82와 같이 출력됨

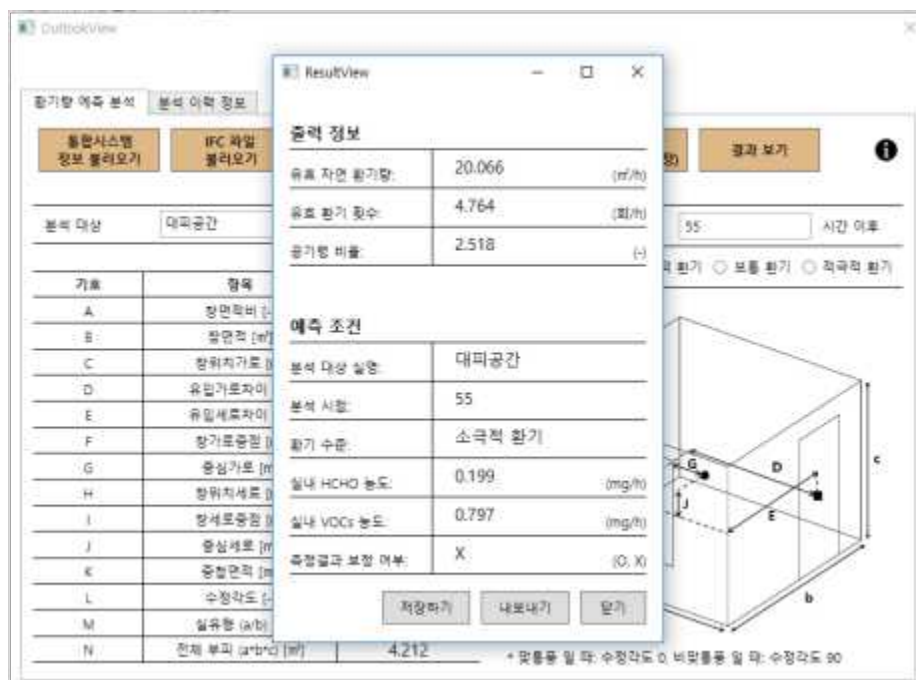


그림 82. 대상 시설의 환경 조건에 따른 유효 자연 환기량 예측 결과

- 측정 결과에 대한 데이터가 DB에 축적이 되면, 해당 측정 데이터를 이용하여 기계학습의 예측 결과를 보정하는 기능 추후에 탑재할 예정임
- 대상 실에 대하여 공기량 정체비 및 유효 자연 환기량을 산정한 결과 및 관련 내용은 프로그램 내부 DB에 자동으로 저장되며, 해당 내용은 분석 이력 정보 탭에서 그림 83과 같이 확인할 수 있음
- 산정된 유효 자연 환기량 및 실내공기질 측정 결과는 통합 시스템에 자동으로 연계됨



그림 83. 분석 이력 정보부 화면

(19) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정 · 보완

- 최종 구현된 실내공기질 예측 및 실내공기질 예측 및 측정 정보 관리 통합 프로그램에 대하여 실무자 샘플 테스트를 시행하였으며, 샘플 테스트의 결과를 종합하여 표 107과 같이 프로그램의 문제점 및 오류사항을 도출하고 해당 사항들을 개선하여 최종 프로그램에 반영함

표 107. 실무자 샘플 테스트를 통한 문제점 도출 및 개선사항 반영

구분	보완 전 (문제점 및 오류 사항)		보완 후 (개선사항)
예측 정보 관리부	환기량 예측 분석	유효 자연 환기량을 예측하고자 하는 대상 실에 관한 정보가 프로그램에서 제공되는 것이 사용자가 이해하기에 편리함	예측 분석부 화면 배치를 수정하여 화면 우측 하단에 대상 실에 대한 형상이 그림으로 표현되도록 수정함
		유효 자연 환기량 예측에 사용되는 입력 인자들이 모두 제시되고 어떻게 정의되는지에 대한 설명이 필요함	예측에 사용되는 15개 인자들이 대상 실에 따라 분석 후 표로 사용자에게 제공되며, 해당 인자들에 대한 정의를 대상 실 그림에 추가하여 제시함
		유효 자연 환기량에 대한 결과 뿐만 아니라 대상 실의 공기청정기 정제비 결과의 제시가 필요함	기존의 결과 화면을 별도의 창으로 분리하여 결과를 제시하도록 하였으며, 유효 자연 환기량 결과와 함께 정제비에 대한 결과도 제시하도록 수정함
	분석 이력 정보	문제점 및 오류 사항 없음	문제점 및 오류 사항 없음

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4.1 목표 달성도

가. 연구 수행 진도를

(1) 1차년도 연구수행 진도를

구분 개발내용		연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1 차 년 도	설계-유지관리 단계별 요구정보 정의													100
	BIM정보 및 실내공기질 정보 관리체계 구축													100
	실내공기질 관련 자재DB 구축													100
	실내공기질 법규DB 구축													100
	녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축													100
	건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구축													100
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축													100
	건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 구축													100
	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축													100
	실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발													100

 당초계획

 실적

(2) 2차년도 연구수행 진도를

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2 차 년 도	BIM을 활용한 실내공기질 정보 관리체계 구축													100
	실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술개발													100
	실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발													100
	BIM기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발													100
	BIM기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 개발													100
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발													100
	건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발													100
	실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발													100
	실내공기질 예측 프로그램 개발													100

 당초계획
 실적

나. 연차개발 목표의 달성도

(1) 1차년도 연구개발 목표의 달성도

구분	연구목표	달성도(%)	내용
1 차 년 도	설계-유지관리 단계별 요구정보 정의	100	(1) 실내공기질 기준분석 (2) 실내공기질 관련 속성정의 (3) 정보추출 알고리즘 개발
	BIM정보 및 실내공기질 정보 관리체계 구축	100	(1) 기존 프로그램 분석 (2) 단계별 정보상세수준정의 (3) 정보관리 체계 구축
	실내공기질 관련 자재DB 구축	100	(1) 실내오염물질 특성 분석 (2) 실내공기질 자재 DB구축 (3) 정보관리 SHEET 개발
	실내공기질 법규DB 구축	100	(1) 국내 법규 분석 (2) 법규 DB 구축 (3) 최소기준 판단 알고리즘 개발
	녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축	100	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가점수 산출 알고리즘 개발 (5) 자체평가 템플릿 개발
	건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구축	100	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 실내공기질 관련 항목 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가점수 산출 알고리즘 개발 (5) 자체평가 템플릿 개발
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구축	100	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 항목별 평가 방식 및 점수 산출 방식 분석 (3) BIM 요구정보 생성 방안 도출 (4) 평가모듈과 템플릿과의 연계성 검토 (5) 자체평가 템플릿 개발
	건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 구축	100	(1) 사례 및 업무 프로세스 분석 (2) 이행확인 항목 분석 (3) 평가모듈의 건강친화형 주택건설기준과의 연계성 검토 (4) 이행확인 템플릿 개발
	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축	100	(1) 오염물질별(유지/권고) 허용 기준 조사 및 분석 (2) 운영단계 실내공기질 측정 및 관리기준 수립 (3) 오염물질 분류 체계 구축 (4) 주요 실내오염물질 대상 선정 및 농도허용기준 설정 (5) 실내공기질 인증 대상 측정 정보 관리체계 구축
	실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발	100	(1) 주요 실내오염물질 방출 특성 분석 (2) 건물 용도별 사용특성 조사 및 재실특성 DB 구축 (3) 오염물질 방출 및 제거 예측식 조사 (4) 프로그램 적용을 위한 방출 및 제거 예측식 개발 (5) BIM 추출정보 활용 실내공기질 방출 및 농도 예측 알고리즘 개발

(2) 2차년도 연구개발 목표의 달성도

구분	연구목표	달성도(%)	내용
2 차 년 도	BIM을 활용한 실내공기질 정보 관리체계 구축	100	(1) BIM정보 추출 모듈 (2) 정보관리 모듈 개발 (3) 매뉴얼 제작
	실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술개발	100	(1) 정보연계 알고리즘 개발 (2) 최소기준 판정 모듈 개발 (3) 자재 및 법규 DB 관리 프로그램 개발 (4) 매뉴얼 제작
	실내공기질 정보 통합 연계 시스템 개발	100	(1) 통합시스템 설계 (2) 통합시스템 개발 (3) 매뉴얼 제작
	BIM기반 녹색건축 예비인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발	100	(1) 녹색건축 예비인증 자체평가 입·출력 모듈 개발 (2) 녹색건축 예비인증 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	BIM기반 건강친화형 주택건설기준 자체평가 프로그램 개발	100	(1) 건강친화형 주택건설기준의 자체평가 입·출력 모듈 개발 (2) 건강친화형 주택건설기준 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 프로그램 개발	100	(1) 녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 및 정보관리 프로그램 입·출력 모듈 개발 (2) 녹색건축 본인증 평가 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발	100	(1) 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 입·출력 모듈 개발 (2) 건강친화형 주택건설기준 성능 관리 프로그램 통합 (3) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발	100	(1) 실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발 (2) 측정 정보 관리 템플릿 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발 (3) 실내오염물질 판정결과(유지/권고/허용기준) 비교 모듈 개발 (4) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	실내공기질 예측 프로그램 개발	100	(1) 실내공기질 예측 프로그램의 BIM 프로그램과의 직·간접 연계성 검토 (2) BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 프로그램 개발 (3) BIM 프로그램(직접 또는 간접)에서 실내공기질 예측 통합 프로그램 입·출력 모듈 개발 (4) 실무자 샘플 테스트를 통해 성능 개선사항 도출 및 수정·보완
	프로그램 파일럿 테스트	100	(1) 파일럿 테스트 선정 (2) 실무자 파일럿 테스트 수행을 통한 성능 검증 (3) 프로그램 활용 매뉴얼 개발

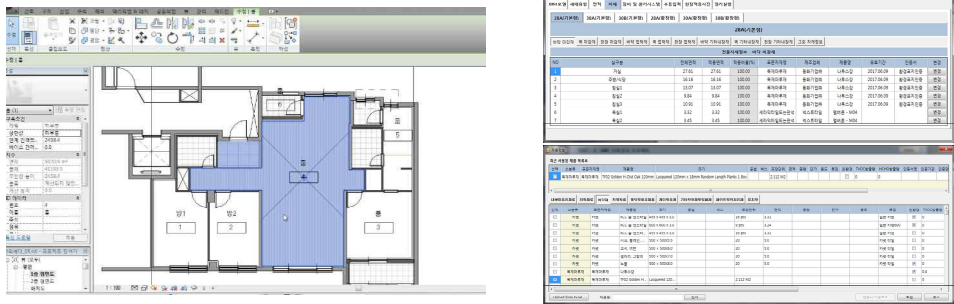
(3) 정량적 성과지표 달성도

연차	핵심성과		성과지표	측정방법	목표	달성치	달성	참조
1차년도	1	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리 기술	설계~유지관리 단계별 요구정보정의(보고서)	전문가검증	1건	100%	1건	[증빙 1]
			실내공기질 관련 정보 관리 프로세스(보고서)	전문가검증	1건	100%	1건	[증빙 2]
			국내 학술지 게재 논문	국내 학술지 게재 여부	1건	100%	1건	[증빙 25]
	2	실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술	실내공기질 관련 자재 DB (보고서)	DB구축여부	1건	100%	1건	[증빙 4]
			실내공기질 관련 법규 DB (보고서)	DB구축여부	1건	100%	1건	[증빙 5]
			특허출원	특허출원 여부	1건	100%	1건	[증빙 21]
	4	설계단계 실내공기질 평가 기술 개발	녹색건축 예비인증 자체평가 템플릿 구현(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 8]
			S/W등록(추가실적)	-	-	100%	1건	[증빙 30]
			건강친화형 주택건설기준 자체평가 템플릿 구현(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 10]
	5	시공단계 실내공기질 성능 관리 기술 개발	녹색건축 본인증 실내공기질 자체평가 템플릿 구현(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 12]
			S/W등록(추가실적)	-	-	100%	1건	[증빙 29]
			건강친화형 주택건설기준 이행확인 템플릿 구현(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 14]
	6	운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발	실내공기질 인증의 측정정보 관리체계 구축(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 16]
			실내오염물질 방출 및 제거 예측식 개발(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 18]
			특허출원	특허출원 여부	1건		1건	[증빙 22]
	소계							
2차년도	1	BIM을 활용한 실내공기질 정보생성 및 관리 기술	실내공기질 요구정보 추출 및 관리 프로그램(매뉴얼)	프로그램 테스트	1건	100%	1건	[증빙 3]
	2	실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술	실내공기질 관련 법규 및 자재 관리 프로그램(매뉴얼)	프로그램 테스트	1건	100%	1건	[증빙 6]
			특허등록(추가실적)	-	-	100%	1건	[증빙 23]
	3	전과정 실내공기질 정보 통합 관리 관리 시스템개발	실내공기질 정보 통합 연계 시스템(파일럿적용)	파일럿 테스트	1건	100%	1건	[증빙 7]
			국외학술지 게재 논문	SCI 게재 여부	1건	100%	1건	[증빙 28]
			S/W개발	S/W 등록 여부	1건	100%	1건	[증빙 31]
	4	설계단계 실내공기질 평가 기술 개발	BIM정보 활용 녹색건축 예비인증 평가 및 관리 모듈개발 (파일럿적용)	파일럿 테스트	1건	100%	1건	[증빙 9]
			BIM정보 활용 건강친화형 주택건설기준 실내공기질 성능 평가 및 관리 모듈개발 (파일럿적용)	파일럿 테스트	1건	100%	1건	[증빙 11]
	5	시공단계 실내공기질 성능 관리 기술 개발	BIM정보 활용 녹색건축인증 자체평가 및 관리 프로그램 개발(파일럿적용)	파일럿 테스트	1건	100%	1건	[증빙 13]
			국내논문(추가실적)	-	-	100%	1건	[증빙 26]
			BIM정보 활용 건강친화형 주택건설기준 성능관리 프로그램 개발(파일럿적용)	파일럿 테스트	1건	100%	1건	[증빙 15]
	6	운영단계 실내공기질 예측 및 측정정보 관리기술 개발	실내공기질 측정 정보 관리 템플릿 개발(보고서)	보고서	1건	100%	1건	[증빙 17]
			실내공기질 예측 프로그램 개발	프로그램 구현	1건	100%	1건	[증빙 19]
			국내학술지 게재 논문	국내 학술지 게재 여부	1건	100%	1건	[증빙 27]
			특허출원(추가실적)	-	-	100%	1건	[증빙 24]
			특허등록	특허등록 여부	1건	-	진행중	-
			S/W개발	S/W 등록 여부	1건	100%	1건	[증빙 32]
	소계							

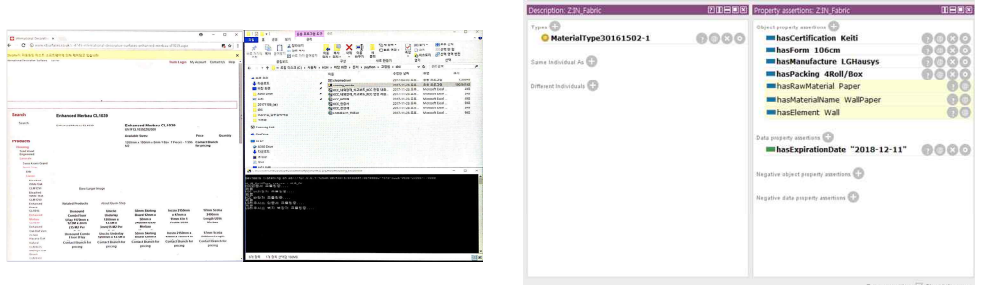
* 특허출원 1건, S/W등록 2건, 국내 학술발표대회 1건, 국제 학술발표대회 3건, 성과홍보 1건을 추가로 달성하였음.

다. 핵심과제 달성 개요

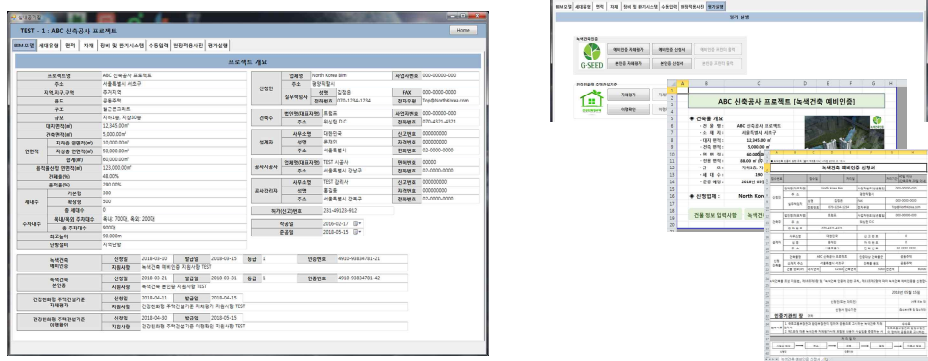
(1) 핵심성과 1: BIM을 활용한 실내공기질 요구정보 생성 및 관리 기술

관련 그림/ 사진								
정의		• 건물 전과정 실내공기질 예측, 평가 및 측정정보 관리에 필요한 요구정보를 BIM에서 자동 추출하고 효율적으로 관리하는 기술						
목적		• 실내공기질 분야에서 BIM 활용을 극대화하고, 관련 요구정보를 자동 추출할 수 있도록 BIM 속성정보 정의 및 모델링 가이드를 개발하기 위함 • BIM에서 실내공기질에 필요한 요구정보 추출로 관련업무의 정확성 및 결과물의 신뢰성 확보뿐만 아니라 기존 실내공기질 인증 평가 업무 프로세스 개선으로 업무 효율성 증대 기반 구축이 목적임.						
성능목표		• 기존기술 수준 : 건설산업에서 건물에너지, 적산 및 비용 등을 산출하기 위한 BIM에서 요구정보를 추출하는 프로그램이 다수 개발되었음. 하지만, 국내 외적으로 실내공기질 평가 및 예측을 위한 BIM 작성 및 활용 가이드는 제작되지 않은 상황임. 특히 국내의 경우, <u>실내공기질 분야에서 BIM 적용 사례는 존재하지 않으며, 실내공기질 평가 및 예측기술 개발도 전혀 이뤄지지 않은 상황임.</u> • 개발기술 수준 : 생산되는 BIM 모델이 적용 활용될 수 있도록 BIM 객체에 실내공기질 평가 및 예측 분석에 필요한 형상/속성정보를 정의 및 모듈을 개발 하였음. 이를 통해 BIM모델의 품질을 높일 수 있고, 실내공기질 분야에서의 BIM 활용 범위 확대에 기여할 것임.						
성과달성 책임자		유정호(광운대학교)						
소요기간		2016.06.~ 2018. 05(2년, 2년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	• 실내공기질 요구정보 정의서 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 • 국내 학술지 논문게재 1건						
	양적성과	1차년도	특허출원	특허등록	SCI논문	비SCI논문	S/W	기타
			-	-	-	국내1건	-	-
	질적성과	2차년도	특허출원	특허등록	SCI논문	비SCI논문	S/W	기타
			-	-	-	-	-	-
성과 활용계획	1차년도	• 실내공기질 요구정보 정의서						
	2차년도							
성과 활용계획		• 도면으로 정보를 추출하는 경우 설계변경으로 인해 반복적으로 수행해야하는 작업량과 작업시간을 줄여 업무의 효율성향상에 기여할 수 있음. • 최종마감재 면적산정 알고리즘을 활용해, 중심선 기준으로 추출되기 때문에 발생하는 오차를 줄이고 정보의 정확성과 신뢰도 향상에 기여함. • 친환경인증 정보 취득을 위해 필요한 라이브러리를 구축하고, 모듈의 정확성을 향상한다면 상용화 및 제품화가 가능할 것으로 예상됨.						

(2) 핵심성과 2: 실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술

관련 그림/ 사진								
정의		• 실내공기질 평가 및 측정 관련 법규 및 기준에 대한 DB와 자재별 오염물질 방출특성 관련 정보 DB를 BIM 정보와 연계하여 활용하는 기술						
목적		• 실내공기질 관련 자재 및 법규 DB 구축을 통한 실내공기질 평가, 예측, 관리를 위하여 필요한 배출량 및 법규 등 정보의 체계적 관리와 실무자들의 데이터 접근성 향상으로 실내공기질 관련 업무 효율성 향상을 위함.						
성능목표		• 기존기술 수준 : 실내공기질 인증 관련 자재 정보를 활용하기 위해서는 온라인 또는 오프라인으로 관련 시험성적서, 인증서, 부처별 제시하는 다양한 건물용도별 실내공기질 관련 법규 및 기준자료를 실무자가 직접 수집해야 함. 현재 BIM기술은 설계(건축/구조) 및 에너지 등의 공종은 속성 및 형상정보, 관련 라이브러리 구축 연구를 활발히 진행되고 있어, (사)빌딩스마트협회를 통해서도 배포되는 등 실무에서도 활용사례가 많음. 하지만 <u>실내공기질 관련 BIM 활용에 대한 연구는 전무하여 관련 DB 구축 사례가 없음.</u> • 개발기술 수준 : 업무의 중복성 방지와 함께 결과의 정확도를 향상시키는 <u>실내공기질 평가 및 예측에 활용되는 표준화된 BIM DB(법규/자재)와 건물 전과정 단계별 DB를 체계적으로 활용될 수 정보관리 기술을 개발하였음.</u>						
성과달성 책임자		유정호(광운대학교)						
소요기간		2016.06.~ 2018. 05(2년, 2년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	• 법규 및 자재 DB 구축 보고서 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 • 실내공기질 법규 및 자재 정보 관리 기술 개발 후 특허출원 1건 등록 • SCI(E) 1건 게재						
	양적성과	1차년도	특허출원 1건	특허등록 -	SCI 논문 -	비SCI 논문 -	S/W -	기타 -
		2차년도	특허출원 -	특허등록 1건(추가)	SCI 논문 게재1건	비SCI 논문 -	S/W -	기타 -
	질적성과	1차년도	• 자재 DB 구축 보고서 • 법규 DB 구축 보고서					
		2차년도	• 실내공기질 법규 및 자재 정보관리 기술 테스트 보고서					
성과 활용계획		• 지속적으로 새로운 정보가 발생하는 제품정보의 특성을 반영하여 주기적인 정보 업데이트가 가능함. •지정한 제조회사 홈페이지에서 지정된 정보를 자동으로 수집하기 때문에 정보수집과정에서 사람의 개입으로 인해 발생하는 Human Error가 감소함. •자재별 제품관련 정보를 자동으로 수집하고 분류하는 기술은 친환경인증분야 외에 다른 분야에 확대 적용이 가능한 원천기술로 해외건설 분야 등에 활용가능함.						

(3) 핵심성과 3: 전과정 실내공기질 통합 정보 연계 시스템

관련 그림/ 사진								
정의		• BIM정보를 활용한 건물인증(녹색건축 예비/본인증 및 건강친화형 주택건설기준 자체평가 및 이행확인) 실내공기질 성능 평가 및 정보관리 기술						
목적		• 건축물 전과정 실내공기질 평가 및 예측에 요구되는 정보를 체계적으로 관리하는 시스템 구축으로 단계별 BIM 요구정보 활용을 극대화하기 위함임						
성능목표		• 기존기술 수준 : BIM 관련 기술에서도 <u>건물 전과정의 각 단계별 성능 평가 관리를 위한 기술은 전무함</u>. 건물 전과정 단계별 실내공기질 인증평가 및 성능관리를 위한 정보는 차별화될 수밖에 없으며, 주기적으로 측정되는 실내공기질 정보가 오프라인 문서로 관리되어 <u>실내공기질 관리 부처별 정보공유가 미흡한 상황임</u> • 개발기술 수준 : <u>건물 전과정 단계별 실내공기질 평가, 예측 및 성능 관리에 요구되는 정보를 체계적으로 활용할 수 있는 ‘전과정 실내공기질 정보 통합 연계 시스템’을 구축하였음.</u>						
성과달성 책임자		유정호(광운대학교)						
소요기간		2017.06.~ 2018. 05(2년, 1년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	• 프로그램 개발 연구보고서 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 • 프로그램 개발 후 소프트웨어 1건 등록						
	양적성과	1차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
		2차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
	질적성과	1차년도	-					
		2차년도	• 파일럿테스트 보고서 및 프로그램 사용 매뉴얼 1건					
성과 활용계획		• BIM정보를 기반으로 설계단계, 시공단계에서 실내공기질 관련 친환경인증제도를 지원하고, 정보를 예측단계로 활용함으로 통합적인 정보관리 및 사용에 기여함. • 실내공기질 관련 친환경인증 제도 뿐 아니라 정보생성 및 관리의 범위를 확대하여 에너지, 녹색 건축인증 전 항목 등에 확대하여 활용이 가능함. • 또한, 공동주택 모델 뿐 아니라 다중이용시설 등의 모델을 활용해 프로그램을 검증하고 개선하여 활용범위의 확장이 가능할 것으로 예상.						

(4) 핵심성과 4: 설계단계에서의 실내공기질 평가기술

관련 그림/ 사진		 BIM 모델 & 추출 알고리즘을 연계한 통합 플랫폼 적용 건강친화형주택 HEALTHY FRIENDLY HOME 녹색건축인증 최우수(그린1등급) 건강친화형 주택건설기준 예비인증						
정의		• BIM정보를 활용한 건물인증(녹색건축물 예비인증 및 건강친화형 주택건설기준) 실내공기질 성능 평가 및 정보관리 기술						
목적		• 건물인증(녹색건축 예비인증 및 건강친화형 주택건설기준 자체평가)의 실내 공기질 평가의 자동화에 따른 결과데이터의 정확성 확보 및 관련 정보의 효율적 관리기술 기반을 확립하기 위함임						
성능목표		• 기존기술 수준 : 기존의 녹색건축 예비인증을 위한 자체평가서 작성은 설계사가 의뢰한 전문컨설팅업체에서 진행하고 있어, <u>설계와 녹색건축인증 평가에서 요구되는 정보 공유가 지연되거나 설계에서 누락되는 문제와 함께 컨설팅 비용이 증가</u>하는 문제가 있음. 또한 2D 도면을 바탕으로 녹색건축 예비인증 자체평가서 작성으로 인한 업무과중과 함께 <u>BIM 정보를 활용한 자체평가서 자동작성 도구가 없어</u> 신청자가 일일이 건물 도면에 적용 자재와 면적비율을 수작업으로 작성하는 비효율적 업무 프로세스로 진행됨 • 개발기술 수준 : 실내공기질 인증 관련 업무 프로세스 개선과 평가결과의 정확성을 확보하기 위한 <u>'BIM 정보 활용 건물인증 (녹색건축물 예비인증 및 건강친화형 주택 건설기준)에서의 실내공기질 자체평가서를 자동으로 생성하고 출력하는 기술'</u> 을 개발하였음						
성과달성 책임자		장향인((주)미래환경플랜건축사사무소)						
소요기간		' 16.06 ~ ' 18.05 (2년, 2년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	• 프로그램 개발 연구보고서 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 • 프로그램 개발 후 소프트웨어 1건 등록						
	양적성과	1차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
			-	-	-	-	1건(추가)	-
	2차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타	
			-	-	-	-	-	-
질적성과	1차년도	• 프로그램 개발 연구보고서 • S/W 등록 1건						
	2차년도	• 프로그램 개발 연구보고서						
성과 활용계획		• BIM 설계도서가 의무화된 공동주택 프로젝트 시 설계단계에서 녹색건축인증 및 건강친화형 주택건설기준 인증 업무의 효율성 및 정확성 향상에 기여할 것임 • 향후 추가적으로 모듈의 안정성을 개선하여 인증 평가 관련 기관의 실무자들을 대상으로 업무에 시범 적용함 • 시범 기관들을 통해 공동주택 프로젝트 시범 사례를 구축하고 사용자의 추가적인 요구사항을 수용하여 상용화 및 제품화 함						

(5) 핵심성과 5: 시공단계에서의 실내공기질 건물성능 관리기술

관련 그림/ 사진		 BIM 모델 & 추출 알고리즘을 연계한 통합 플랫폼 적용 건강친화형주택 HEALTHY FRIENDLY HOMES 녹색건축인증 최우수(그린1등급) 건강친화형 주택건설기준 본인증						
정의		• BIM정보를 활용한 건물인증(녹색건축물 본인증 및 건강친화형 주택건설기준) 실내공기질 성능 관리 기술						
목적		• 건물인증(녹색건축 본인증 자체평가 및 건강친화형 주택건설기준 이행확인)의 실내공기질 성능 관리의 자동화에 따른 결과데이터의 정확성 확보 및 관련 정보의 효율적 관리기술 기반을 확립하기 위함임						
성능목표		• 기존기술 수준 : 기존의 녹색건축 본인증을 위한 자체평가서 작성은 시공사가 의뢰한 전문컨설팅업체에서 진행하고 있어, <u>시공단계에서 녹색건축인증 평가에서 요구되는 정보공유가 지연되거나 시공도서에서 누락되는 문제와 함께 컨설팅 비용이 증가하는 문제</u>가 있음. 또한 2D 도면을 바탕으로 녹색건축 예비인증 자체평가서 작성으로 인한 업무과중과 함께 BIM 정보를 활용한 자체평가서 자동작성 도구가 없어 신청자가 일일이 건물 도면에 적용 자재와 면적비율을 수작업으로 작성하는 비효율적 업무 프로세스로 진행되며, 예비인증과 본인증 수행 업체가 다른 경우 정보공유가 어려워 설계도서 검토업무가 가중되는 상황임 • 개발기술 수준 : 실내공기질 인증 관련 업무 프로세스 개선과 평가결과의 정확성을 확보하기 위한 <u>‘BIM 정보 활용 건물인증 (녹색건축물 본인증 및 건강친화형 주택 건설기준 이행확인)에서의 실내공기질 자체평가서 및 이행확인서를 자동으로 생성하고 출력하는 기술’</u>을 개발하였음						
성과달성 책임자		장향인((주)미래환경플랜건축사사무소)						
소요기간		’ 16.06 ~ ’ 18.05 (2년, 2년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	• 프로그램 개발 연구보고서 • 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 • 프로그램 개발 후 소프트웨어 1건 등록						
	양적성과	1차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
		-	-	-	-	-	1건(추가)	-
	2차년도	특허출원	특허등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타	
		-	-	-	1건(추가)	-	-	
	질적성과	1차년도	• 프로그램 개발 연구보고서 • S/W 등록 1건					
2차년도		• 프로그램 개발 연구보고서 • 국내논문 게재 1건						
성과 활용계획		• BIM 설계도서가 의무화된 공동주택 프로젝트 시 시공단계에서 녹색건축인증 및 건강친화형 주택건설기준 인증 업무의 효율성 및 정확성 향상에 기여할 것임 • 향후 추가적으로 모듈의 안정성을 개선하여 인증 평가 관련 기관의 실무자들을 대상으로 업무에 시범 적용함 • 시범 기관들을 통해 공동주택 프로젝트 시범 사례를 구축하고 사용자의 추가적인 요구사항을 수용하여 상용화 및 제품화 함						

(6) 핵심성과 6: 유지관리단계에서의 실내공기질 예측 및 측정 관리기술

관련 그림/사진								
정의		BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측 및 실내공기질 인증 단계에서 측정된 정보의 체계적 관리 기술						
목적		재실자 쾌적성 확보를 위한 실내공기질 예측기술의 정확성 향상 및 실내공기질 인증 측정정보 관리를 위한 유지관리단계에서의 실내공기질 예측 및 측정 관리 기술 개발						
성능목표		기존기술 수준 : 운영단계에서 실내공기질을 센서기반으로 측정하고 실시간으로 실내오염물질 배출을 관리하는 기술이 존재하며, 실내공기질 예측 알고리즘 연구가 일부 진행되었지만, 선진국과 달리 <u>실내공기질 예측 프로그램 개발은 이뤄지지 않음</u>. 특히 건축에서 BIM적용이 활성화되는 추세에서 <u>BIM정보를 운영단계에서 실내공기질 예측 및 관리에 활용하는 기술 개발은 전무한 상황임</u> 개발기술 수준 : 건축자재에서의 방출되는 오염물질 방출량 및 시간별 농도 특성분석에 따른 실내 쾌적성 확보를 위한 <u>적정 환기량 및 환기기술 검토를 위한 'BIM 정보를 활용한 실내공기질 예측기술'</u> 개발하였음.						
성과달성 책임자		장향인((주)미래환경플랜건축사사무소)						
소요기간		' 16.06 ~ ' 18.05 (2년 0개월, 2년차)						
핵심성과	성과달성 확인방법	- 프로그램 개발 연구보고서 - 실무자 파일럿 프로젝트 수행 보고서 - 프로그램 개발 후 특허출원 1건, 특허등록 1건 프로그램 등록 1건 - 학술지 논문게재 1건						
	양적성과	1차년도	특허출원 1건	특허등록 -	SCI 논문 -	비SCI 논문 -	S/W -	기타 -
		2차년도	특허출원 1건(추가)	특허등록 진행중	SCI 논문 -	비SCI 논문 1건	S/W 1건	기타 -
	질적성과	1차년도	- 프로그램 개발 연구보고서 - 특허출원 1건					
		2차년도	- 프로그램 개발 연구보고서 - 특허출원 1건 - S/W 등록 1건 - 국내논문 게재 1건					
성과 활용계획		- 단독으로 구현될 수 있는 프로그램으로 개발되어 건물 운영단계에서 실내공기질 평가 및 관리의 기능을 제공할 수 있음 - 또는, 통합시스템과의 연동을 통해 본인증 평가 완료 이후에 건물 유지관리 단계에서 실내공기질 관리를 위해 건물 관리자 및 사용자에게 시범 적용함						

4.2 관련 분야 기여도

가. 기술적 기여

- 공동주택 실내공기질 인증 평가 수행시 BIM 모델을 활용한 새로운 업무 프로세스를 제시할 수 있으며, 개발 시스템의 활용을 통해 작업 효율성 및 정확성 향상에 기여할 수 있음.
- 최종마감재 면적산정 알고리즘을 활용해, 중심선기준으로 면적 정보가 추출되기 때문에 발생하는 오차를 줄이고 정보의 정확성과 신뢰도 향상에 기여함.
- 친환경 제품정보 수집 자동화 프로세스를 통해 지속적으로 새로운 정보가 발생하는 제품정보의 특성을 반영하여 주기적인 정보 업데이트가 가능함. 이에 따라, 지정한 제조회사 홈페이지에서 지정된 정보를 자동으로 수집하기 때문에 정보수집과정에서 사람의 개입으로 인해 발생하는 Human Error를 감소하여 정보의 정확성 향상에 기여할 수 있음. 또한, 제품에 대한 정보를 인증만료일 기준으로 관리할 수 있어서, 인증과정에서 제품의 유효기간이 지나 제품을 변경해야 하는 번거로움을 줄이고 정확한 최신의 정보로 자재DB 유지가 가능함.
- 공동주택 실내공기질 관련 친환경인증평가 업무 수행시 BIM모델을 기반으로 한 설계, 시공, 유지관리 전 과정에서 활용 가능한 통합정보관리 시스템을 통해 작업의 효율성 및 정확성 향상에 기여할 수 있음. 또한, 현재 개발된 통합모듈은 자재별로 제품에 대한 정보를 자동으로 수집된 제품정보 DB에서 선택하는 방식이기 때문에 자재별 제품정보를 비교하여 대안을 확인하는 것이 용이함. 이에 따라, 친환경 BIM의 설계 품질을 향상시키고, 설계자들의 기술력의 향상에 기여할 수 있으며, 나아가 설계정보의 효율적 유통 및 호환성 향상에 따른 관련 분야 업체간 BIM 정보 공유 활성화에 기여할 수 있음
- 본 연구의 결과는 공동주택에 대한 실내공기질 관련 인증 평가에 대한 새로운 프로세스를 제공할 수 있으며, 건설 산업의 각 분야에서 BIM 도입에 대비한 기존 기술의 개선방향을 제시할 수 있는 기초연구로 제공될 수 있을 것으로 사료됨
- BIM 모델 적용에 대비하여 실내공기질 예측 프로그램과 연동된 프로세스를 제시함으로써 향후 BIM 적용에 대비한 기존 프로세스의 대응방안 제시할 수 있음

나. 사회경제적 기여

- 설계단계에서부터 실내공기질을 관리할 수 있어 실내공기질 관련 최적 대안을 건축주에게 제공할 수 있고, 이는 설계변경 감소로 이어져 건축주 및 설계자 등에게 경제적 이익을 제공
- BIM과 연계한 시스템 개발 기술 활용에 따른 실내공기질 인증 평가를 위한 소요인력 감소 및 시간절약에 따른 생산성 향상에 따른 인력투입비용 절감 및 비용절감의 재투자로 인한 산업의 활성화에 기여할 수 있음.
- BIM모델의 정보 재 활용을 통한 녹색건축인증 및 건강친화형 주택건설기준 평가 모두에 필요한 정보의 불필요한 재생산 및 소멸에 따른 노력 및 비용의 절감되며, 인력운용 시간 및 비용이 최소화할 수 있음.
- 융통성과 확장성을 지닌 실내공기질 통합관리 방안 수립을 통해 실내공기질 관련 기술의 응용 영역을 확대하여 응용기술 개발 시장의 활성화와 관련 기술의 실무 적용 확대를 통하여 새로운 시장 창출에 기여할 수 있음
- BIM을 활용한 실내공기질 예측 및 통합관리 시스템을 통한 관련 시장 확대 및 이로 인한 실내 공기질 관련 산업분야의 성장으로 국가 경쟁력 확보
- 건물의 전과정에서 실내공기질을 관리하여 사용자에게 쾌적한 재실 환경 제공 및 친환경적인 건축물 확산에 기여할 수 있음
- 교육 및 연구기관에서의 본 개발기술 적용으로, 친환경 BIM기술을 활용 가능한 고급 엔지니어 및 실내공기질 분야 전문 인력 양성에 기여할 수 있음

제5장. 연구개발성과의 활용계획

5.1 연구성과

가. 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2017	IFC-BIM을 활용한 실내공기질 인증 요구정보 생성 자동화	홍심희	유정호	여창재	건설관리학회회 논문집	18(3)	국내	-
2018	Identifying Effective Fugitive Dust Control Measures for Construction Projects in Korea	Hyun-jun Noh	Jung-ho Yu	Seul-ki Lee	Sustainability	10	국외	SCI
2018	IFC-BIM을 활용한 공동주택의 실내공기질 인증 자동화 시스템 개발	조수영	장향인	김창민, 이대길, 홍심희, 유정호	한국생활환경학회지	25(3)	국내	-
2018	전산유체역학 및 다중회귀분석을 활용한 공동주택 단위 실의 유형별 최대 공기량 예측모델 개발	이민형	장향인	조수영, 김창민, 이대길, 최창호	한국생활환경학회지	25(3)	국내	-
심사 中	Automated management of green building materials information using Web-Crawling and Ontology	Simhee Hong	Jung-ho Yu	Seul-ki Lee	Automation in Construction	-	국외	SCI

나. S/W 등록 성과

SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
공동주택 녹색건축인증 실내공기질 자체평가 프로그램 (버전.1)	2017.05.04.	미래환경플랜 주식회사	2017.05.12.	C-2017-011391	미래환경플랜 주식회사
공동주택 건강친화형 주택 건설기준 자체평가 프로그램 (버전.1)	2017.05.04.	미래환경플랜 주식회사	2017.05.12.	C-2017-011392	미래환경플랜 주식회사
실내공기질 측정 및 예측 정보 관리 프로그램	2018.06.11.	(주)미래환경플랜 건축사사무소	2018.06.15.	C-2018-014816	(주)미래환경플랜 건축사사무소
BIM(빔)정보를 활용한 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초시스템	2018.06.11.	광운대학교 산학협력단, (주)미래환경플랜 건축사사무소	2018.06.15.	C-2018-014842	광운대학교 산학협력단, (주)미래환경플랜 건축사사무소

다. 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2017.04	The Process of Generating an Eco-Material Data Using a Web Crawling	Simhee Hong, Jung-ho Yu	2017 icEAAC (in Jeju)	국외
2017.06	Air Quality Measurement Method of Closed Space Using Drones and Sensor to Ensure Operator Safety,	Changjae Yeo, Jung-ho Yu,	IASTEM 2017 (in Malaysia)	국외
2017.06	Proposal For Eco-Friendly Certification Information Generation Using Web Crawling Technology	Simhee Hong, Jung-ho Yu	IASTEM 2017 (in Malaysia)	국외
2017.11	실내공기질 인증업무 자동화 방안	홍심희, 유정호	2017 한국건설관리학회	국내

라. 특허 성과

특허명칭	출원번호	출원일	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
BIM기반의 건축물 실내공기질 인증평가 방법 및 장치	10-2017-0053143	2017.04.25	10-1778764	2017.09.08	유정호, 홍심희
실내 오염물질 제거를 위한 창호 개폐량 및 실외 기류속도 기반의 실내 유효 자연 환기량 산출 시스템 및 방법	10-2017-0061622	2017.05.18	등록 中	등록 中	미래환경플랜(주)
공동주택 실내공기질 개선을 위한 유효 필요 환기량 예측 시스템 및 방법	10-2018-0068771	2018.06.15	등록 中	등록 中	(주)미래환경플랜 건축사사무소

마. 기타

게재일	성과명	저자	학회지명	비고
2016.06	BIM을 활용한 건축물 실내공기질 관리방안	여창재, 장향인, 유정호	건설관리	성과홍보

5.2 연구결과의 활용방안

가. 기술수요처 및 현장적용 방안

○ 건축 설계사사무소

- 설계단계에서 ‘건물인증 평가모듈’을 활용하여 BIM에서 자동 추출한 녹색건축(예비인증) 및 건강친화형 주택건설기준의 실내공기질 평가항목별 요구정보가 적용된 산출계산서(자체평가서용)를 출력하여 인증에서 활용할 수 있음

○ 건축 시공사

- 시공단계에서는 ‘실내공기질 성능관리 모듈’을 활용하여 설계 및 자재변경 등에 신속하게 대처하여 실내공기질 성능 변화를 예측하며, BIM에서 추출한 녹색건축(본인증)의 실내공기질 평가항목별 산출계산서(자체평가서용)와 설계 시 제출한 건강친화형 주택건설기준의 자체평가서를 토대로 실제 현장적용 여부를 체크하는 이행확인서를 출력하여 활용할 수 있음

○ 친환경건축 컨설팅회사

- 실내공기질 관련 인증에 요구되는 정보생성 및 관리에 통합프로그램을 활용하여 인증업무의 효과적인 수행이 가능함. 인증에 필요한 자재 관련 정보수집의 정확성 및 신뢰도를 향상할 수 있으며, 수집된 정보를 인증과정에서 대안비교에 활용할 수 있음.
- 유지관리단계에서는 ‘실내공기질 관리모듈’을 활용하여 거주 후 실별 사용특성에 따라 방출되는 실내오염물질의 농도와 제거를 위한 환기량을 예측하여 거주공간의 쾌적성 확보방안을 도출함. 또한 실내공기질 인증 취득대상 건물인 경우, 유지관리단계에서 연 단위 측정항목별 유지/권고 측정데이터를 통합적으로 관리하는데 활용할 수 있음



그림 84. 기술수요처별 개발기술의 현장적용 방안

나. 실용화·제품화 방안

- 친환경 건축 자재 라이브러리는 실무 적용 가능한 데이터베이스로써 설계사나 BIM 엔지니어에게 보급하여 활용 가능
- BIM 설계기반의 국내 법적 기준에 적합한 건물 전과정의 실내공기질 평가 및 관리 시스템 개발을 통해 건축 실무(설계/시공/엔지니어링)분야에 보급 및 활용 가능
- 실내공기질 평가 및 성능 관리 모듈은 건축 현장에서 활용 가능한 프로그램으로써 해당 수요처에 시범 보급하여 실무자 개선사항 반영을 통한 프로그램 실용화 방안 마련
- 실내공기질 측정 정보 관리 및 예측 모듈은 유지관리 단계의 실무에 적용 가능한 프로그램으로써 친환경건설업체, 실내공기질 관련 업체에 보급 및 활용 가능

다. 미래원천기술 확보 및 신산업 창출

- BIM모델에서 건물 전 과정의 실내공기질 평가 및 예측을 위한 정보추출·통합 관리기술 개발로 실내공기질 정보의 체계적 관리기술의 토대를 제공. 또한 BIM 모델을 접목한 친환경 인증 프로세스 개선을 통한 BIM & 친환경 인증 평가 기술 개발로 친환경 BIM(Green BIM) 분야의 주요 원천 기술 개발함.
- 자재별 제품관련 정보를 자동으로 수집하고 분류하는 기술은 친환경 인증분야 외에 다른 분야에 확대 적용이 가능한 원천 기술임. 예를 들어 해외건설은 다국적 언어로 작성된 다양한 형태의 자료가 무수히 존재함. 이에 따라 사용자의 필요(Needs)에 따라 신뢰도 있는 출처에서 정보를 수집해, 사용자가 원하는 기준으로 분류해 주거나 정보를 자국의 언어로 변환해 주는 기술이 적용된다면 정보의 활용이 보다 용이해질 것으로 예측됨.
- BIM과 CFD, 인공지능망 기반 기계학습 모델을 접목하여 실내공기질 허용 기준을 만족할 수 있는 유효 자연 환기량을 예측하는 기술의 개발로, 향후 다양한 건축물의 실내공기질 개선에 필요한 유효 자연 환기량 예측 프로그램 개발의 기초 원천기술 창출
- 건물 용도별 재실자 특성을 고려한 쾌적한 실내공기질 유지관리 기술 제공과 더불어 BIM을 활용하여 실내공기질을 실시간 관리할 수 있는 신산업 창출

5.3 기대성 및 파급효과

가. 기술의 시장성 및 미래 시장 확대 전망

- 조달청 발주 사업의 BIM 모델 설계 적용 의무화 및 공공기관 설계 프로젝트에서 BIM 모델 적용의 확대와 함께 친환경 건축물에 대한 사회적 요구의 증가로 인한 녹색건축인증 및 친환경 주택 인증에 대한 수요는 증가하고 있으므로 본 연구 개발 기술의 수요도 확대될 전망이다
- 또한, 향후 개발된 BIM기반 실내공기질 통합관리 시스템 및 예측모듈을 외부환경에 의한 실내 미세먼지 관리대책과 연계하여 발전시킨다면, 건물 내·외부환경을 통합적으로 관리할 수 있는 솔루션 제공에 기여할 수 있을 것으로 예상됨. 이에 따라, 사용자에게 보다 밀접한 실내환경 관리방안을 제시하는 기술을 제공해 사용범위 확대가 가능함.
- 4차 산업혁명에 따른 다양한 ICT(Information and Communication Technology, 이하 정보통신 기술)는 무수한 정보를 파생함. 이에 따라, 사용자가 필요로 하는 정보를 수집하고 일관된 분류체계에 따라 분류해주는 기술은 빅데이터의 세부기술들과 결합하여 다양한 응용이 가능함. 데이터마이닝, 머신러닝, 딥러닝 등의 빅데이터 기술은 일정량 이상의 정보를 필요로 하며, 이에 따라 신뢰도 있는 정보의 확보 필수적인 선행조건임.
- 또한, 정보수집 및 분류기술은 표준에 기반한 분류체계에 따라 정보를 축척하기 때문에, 축척된 정보의 활용이 가능함. 예를 들어, 친환경인증을 위한 의사결정시 축척된 정보를 기반으로 적용의 빈도가 높은 제품을 추천해주거나, 자재분류를 위해 응용된 온톨로지 기술을 응용하여 인증 의사결정시 고려하는 조건에 따라 적용 우선순위가 높은 제품을 추천해 주는 것이 가능함. 이에 따라, 일관성 및 신뢰도를 확보한 조건기반의 의사결정 도구로 확대사용이 가능함.
- 현재 본 연구에서 다루고 있는 정보는 텍스트형태의 정형데이터이지만 이미지 등 비정형데이터로 정보 수집 및 분류기술의 적용범위를 확대하여 사용할 수 있음.
- 본 연구의 개발 성과를 바탕으로 국외 기술수준을 초월한 핵심 기술을 개발 및 선점하여 국내외 관련 시장에 국내 기술의 경쟁력 확대 가능함

나. 기술적 기대성과

- 공동주택의 녹색건축인증 및 건강친화형 주택건설기준 평가 시 BIM 모델과의 연계를 통한 필요한 작업 절차의 자동화로 인하여 기존 작업 시간의 50% 이상 절감 가능
- 공동주택의 실내공기질 측정 결과를 저장 및 통합 관리함으로써 공동주택의 실내공기질에 대한 이력 관리 및 향후 실내공기질 예측을 위한 기초 데이터 구축이 가능

- BIM 모델과 전산유체역학을 통한 실내 지역적 환기 상태 분석결과와 함께 4차 산업의 주요 핵심 기술인 인공지능 기반 기계학습과의 연계 방안을 창출하여 실내공기질 예측에 대한 정확성 향상 및 새로운 기술 융합 방안 제시

다. 사회·경제적 기대성과 및 파급효과

- 본 연구의 개발기술 활용을 통해 녹색건축인증 및 건강친화형 주택건설기준 인증 작업에 필요한 소요인력 감소 및 작업시간 절감은 물론, 설계 단계에서 실내공기질을 미리 예측하고 평가할 수 있으므로, 시공 단계에서의 복잡한 설계 변경 없이 최적의 설계 안을 바로 적용하여 전체 작업 효율의 향상 및 투입비용의 절감
- BIM 모델과의 연계로 업무 프로세스의 효율성 향상이 가능함. 통합프로그램을 사용할 경우, 세부작업으로 정의된 모든 업무를 자동으로 수행하는 것이 가능함. 이에 따라 인증업무에서 면적과 자재에 대한 정보산출 업무에 대해 작업소요시간과 작업량을 90%이상 단축해 작업시간과 관련된 경제적인 효과 기대

라. 전략적 측면의 파급효과

- BIM을 연계한 건축물의 친환경 인증 프로세스 및 프로그램 매뉴얼을 제공함으로써, 친환경 인증과 실내공기질에 대한 관련 지식 보급화
- 본 연구의 성과는 다양한 공동주택 설계에서 실내 공기질을 개선 및 향상시킬 수 있는 최적 설계 방안 도출에 기여하며, 나아가 국민복지 향상에 일조

5.4 연구결과의 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

○ ㈜미래환경플랜건축사사무소

- 친환경 건축기술 및 엔지니어링 컨설팅 전문 업체, 연간 매출액 약31억원, 임직원 50여명, 32건의 녹색건축인증 및 기타 인증 컨설팅, 8건의 국책 연구와 29건의 민간 R&D 및 기술 용역을 수행함
- 녹색건축인증 및 기타 친환경 인증 연구용역 및 컨설팅 용역 수행 실적이 26건으로 친환경 건축 인증 분야에 특화

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

○ ㈜미래환경플랜건축사사무소

- BIM 정보를 기반한 실내공기질 평가 및 관리를 위한 통합 시스템을 실제 공동주택 친환경 인증(녹색건축인증, 건강친화형 주택건설기준) 프로젝트에 적용해 실무 수행

- 연구 개발 최종성과물의 실무 프로젝트 적용을 통한 적용가능성 여부 확인
- 연구 성과물의 실무 적용을 위한 합리적 적용방안 마련
- 성과물의 정보공유 및 적용과 문제점 도출의 신속한 피드백을 통한 보완
- 유관 산업분야의 연계를 통해 성과물에 대한 교육 실시

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 해당없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	- 본 사업의 「2016년 창의도전연구분야 시행공고」에 따라 보안과제로 지정되지 아니한 과제로 ‘일반과제’에 해당됨	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

- 해당없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 연구실 안전조치 주요사항으로서 안전관리 위원회로부터 정기적인 검사를 받고 있음. 또한, 시설의 안전관리 상태에 대하여 매년 1회 안전관리 부서로부터 매일 1회 점검을 받으며, 모든 참여연구원은 실험·실습기기를 사용하기 전 안전관리 책임자로부터 승인 및 교육을 받고 있음.
- 연구실 안전점검 및 정밀 안전진단 계획
 - 일일 안전점검을 통한 안전사고 예방(조명소등, 전원차단, 인화성 물질 점검(일일점검))
 - 연구실 관리자의 감독을 통한 순찰계획(연구순찰 및 점검)
 - 분기별(3개월)로 연구실 자체 안전점검을 통한 안전성 확립(정기점검)
 - 안전관리자로부터 년 1회 연구실 정밀안전진단을 통한 안전점검(정밀점검)
- 교육방법
 - 오프라인교육 : 학부생, 대학원생(석사, 박사)의 안전교육 수강(6개월 1번)
 - 온라인교육 : 인터넷 강의를 통한 사이버 연구실 안전교육 수강



[그림 174] 광운대학교 안전교육사이트 및 안전교육 수료증

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

구분 번호 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역 할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문 IFC-BIM을 활용한 실내공기질 인증 요구정보 생성 자동화	광운대학교	-	대한민국	-	2017.	단독	-
2	논문 Identifying Effective Fugitive Dust Control Measures for Construction Projects in Korea	광운대학교	-	Basel , Switzerland	2.075	2018.04.17	단독	SCI
3	논문 IFC-BIM을 활용한 공동주택의 실내공기질 인증 자동화 시스템 개발	(주)미래환경 플랜건축사 사무소	-	대한민국	-	2018.06.26	단독	-
4	논문 전산유체역학 및 다중회귀분석을 활용한 공동주택 단위 실의 유형별 최대 공기량 예측모델 개발	(주)미래환경 플랜건축사 사무소	-	대한민국	-	2018.06.29	단독	-
5	특허 BIM기반의 건축물 실내공기질 인증평가 방법 및 장치	광운대학교	-	대한민국	-	2017.09.08	단독	-
6	특허 실내 오염물질 제거를 위한 창호 개폐량 및 실외 기류속도 기반의 실내 유효 자연 환기량 산출 시스템 및 방법	미래환경 플랜(주)	-	대한민국	-	출원일 : 2017.05.18. (등록 中)	단독	-
7	특허 공동주택 실내공기질 개선을 위한 유효 필요 환기량 예측 시스템 및 방법	(주)미래환경 플랜건축사 사무소	-	대한민국	-	출원일 : 2018.06.15. (등록 中)	단독	-
8	S/W BIM(빔)정보를 활용한 실내공기질 평가 및 통합관리를 위한 기초시스템	광운대학교, (주)미래환경 플랜건축사 사무소	-	대한민국	-	2018.06.15	단독	-
9	S/W 공동주택 녹색건축인증 실내공기질 자체평가 프로그램 (버전.1)	미래환경 플랜(주)	-	대한민국	-	2017.05.12.	단독	-
10	S/W 공동주택 건강친화형 주택 건설기준 자체평가 프로그램 (버전.1)	미래환경 플랜(주)	-	대한민국	-	2017.05.12.	단독	-
11	S/W 실내공기질 측정 및 예측 정보 관리 프로그램	(주)미래환경 플랜건축사 사무소	-	대한민국	-	2018.06.15.	단독	-

제11장. 기타 사항

공동연구기관의 기업명이 2018년에 아래와 같이 변경됨

- 변경 전: 미래환경플랜(주)
- 변경 후: (주)미래환경플랜건축사사무소

제12장. 참고 문헌

- 1) 고일두, 최중현, 김이두, 이재민. 2009. BIM/IFC 파일로부터 건물요소의 형상 모델 추출에 관한 연구. 한국전산구조공학회논문집, 22(2), 163-172.
- 2) 국립환경과학원. 주거 공간별 실내공기질 관리방안 연구(1)-아파트의 실내 오염물질 평가와 건강영향 연구
- 3) 국토교통부, 건강친화형 주택건설 기준, 2016
- 4) 국토교통부. 2014. 건축물에너지성능의 정량적 평가방법 표준화를 위한 연구 (최종보고서)
- 5) 국토교통부, 녹색건축 인증기준, 2017
- 6) 국토해양부, 건설정보분류체계 적용기준, 2012
- 7) 국회입법조사처. 2014. 실내공기 중 라돈 관리 현황과 과제. 이슈와 논점
- 8) 김가람, 유정호. 2012. 건물 에너지 부하량 산출을 위한 IFC 파일의 형상정보 추출 방법. 대한건축학회논문집 계획계, 28(5), 241-248.
- 9) 김가람, 유정호, 2017. 시멘틱 웹을 활용한 BIM기반 유지보수 업무 우선순위 관리 자동화 방안”, 대한건축학회 논문집 - 계획계. 33(1), 53-61
- 10) 김미경, 2015. 건축 설계 프로세스 BIM기반 친환경 건축 평가에 관한 연구, 한양대학교 박사논문,
- 11) 김성혁, 박영택, 추윤미 공역, 2008, 온톨로지 개발자를 위한 시멘틱웹 : W3C RDF, RDFS 그리고 OWL 기반 온톨로지 모델링, 사이텍미디어, 초판
- 12) 김지혜, 강동화, 최동희, 김선숙, 여명석, 김광우. 2004. 건축자재의 VOCs 방출특성 예측을 위한 모델링 활용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 24(2), 1015-1018.
- 13) 김창민, 김연아, 금요찬, 최창호. 2017. 창세트 열관류율 시뮬레이션을 위한 개방형 BIM의 형상정보 추출에 관한 연구. 한국건축친환경설비학회 논문집, 11(4), 305-318.
- 14) 노상규, 박진수, 2007, 온톨로지 : 인터넷 진화의 열쇠, 웹 2.0에서 웹 3.0으로, 가즈토이, 초판
- 15) 류수훈, 2001. 친환경건축물 인증제도 활성화를 위한 정보시스템 개선 연구, 한국디지털건축인테리어학회 논문집, 11(3)
- 16) 류정림, 문선기, 추승연. 2015. 개방형 BIM 기반 IFC 모델을 이용한 실내공간정보 시각화 도구개발 및 활용방안 연구. 한국공간정보학회지, 23(5), 41-52.
- 17) 문지윤, 황석승, 2017. 웹 데이터베이스 기반의 건축자재 관리 시스템, 한국전자통신학회 논문지, 12(1), 195-200.
- 18) 박현주, 장성기, 서수연, 임준호. 2009. 바닥재로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드 특성. 한국대기환경학회지, 25(1), 38-45.
- 19) 박형진, 구교진, 2014. 메타데이터 기반 건축자재정보관리 프로토타입 시스템, 대한건축학회 논문집 - 구조계 30(5), 109-116.
- 20) 방문선, 201. 한국과 미국 녹색건축 인증제도 비교분석을 통한 호환성 연구 - 공동주택 평가를 중심으로, 건축대학교 석사논문
- 21) 보건복지가족부. 2011. 공중이용시설 실내공기질 실태조사 및 조사감시 체계 구축
- 22) 서울시정개발 연구원. 2004. 서울시 다중이용시설의 실내공기질 실태조사 및 관리방안

연구

- 23) 에너지경제연구원. 2015. 2014년도 에너지총조사보고서
 - 24) LG 하우시스 - 자연, 사람 그리고 공간,
http://www.z-in.co.kr/rn/productcategory/category3/list.jsp?sup_category=A02&mid_category=A0201&fin_category=A020102, 2017
 - 25) 유복희. 2010. 공동주택에서의 VOC 및 폼알데하이드 실내농도 예측을 통한 건축자재의 영향 검증에 관한 연구. 대한건축학회논문집 계획계, 26(9), 267-274.
 - 26) 이슬기, 김가람, 유정호, 2012. BIM과 온톨로지를 활용한 표준내역항목 추론 자동화, 한국건설관리학회 논문집, 13(3), 99-108.
 - 27) 이용주, 김미경, 전한종, 2016. 국내 녹색건축 인증제(G-SEED) 평가를 위한 BIM시스템 적용방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 32(12), 63-70.
 - 28) 일본건축학회. 2010. 건축환경 측정과 설비계측. 원기술. 남시복 감수
 - 29) 장성기, 김미현, 이홍석, 임준호, 장미, 서수연. 2005. 벽지에서 발생하는 오염물질 방출특성 - TVOC와 HCHO를 중심으로. 분석과학, 18(6), 542-551.
 - 30) 조달청, 2017. 목록정보시스템(Korea e-Catalog Information system),
<http://www.g2b.go.kr:8100/onTechCat01L.do?lefttab=techdic>
 - 31) (주)케이씨씨(KCC), 2017. <http://www.kcc.in/product/about/proudctAbout1.asp>
 - 32) 통계청. 2016. 한국인의 생활시간 변화상 (1999년~2014년)
 - 33) 한국건설기술연구원. 2017. 녹색건축 인증기준 해설서 - 신축 주거용 건축물
 - 34) 한국조달연구원(Korea Instituted of Procurement), 2017. 물품분류체계,
<http://www.kip.re.kr/mall/business/listSphere.asp>
 - 35) 한국환경산업기술원(Korea Environment Industry & Technology Institute, KEITI), 2017. 친환경건설자재정보시스템(Green Construction Material Information system, <http://gmc.greenproduct.go.kr/main.do>)
 - 36) 홍심희, 여창재, 유정호, 2017. IFC-BIM을 활용한 실내공기질 인증 요구정보 생성 자동화”, 한국건설관리학회 논문집, 18(3)
 - 37) 한국환경정책평가 연구원. 2004. 실내공기질 관리제도 발전방안에 관한 연구
 - 38) 환경부. 2006. 실내공기질 업무편람
 - 39) 환경부. 2011. 다중이용시설 실내공기질 개선 사례집
 - 40) 환경부. 2011. 도서관 등 실내공기질 진단·개선 서비스 (최종보고서)
 - 41) 환경부, 교육부, 국방부, 산업통상자원부, 보건복지부, 고용노동부, 국토교통부, 원자력 안전위원회. 2015. 실내공기질 관리 기본계획 (2015~2019)
 - 42) 岩下 剛, 木村建一. 1999. ラワン合板から放たれるホルムアルデヒドの時系列発生量の算定法に関する基礎的研究. 空気調和・衛生工学, 75号, 13-20
 - 43) Amstrong World Industries, 2017. <https://www.armstrongceilings.com/>, U.S.A.
 - 44) A.J. Torija, D.P. Ruiz, and A.F.R. Ridao. 2012. Use of back-propagation neural networks to predict both level and temporal-spectral composition of sound pressure in urban sound environments, Building and Environment, 52, 45-56.
 - 45) A. Salman, A. C. Wade, O. Darren and A. Irtishad, 2010. Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis, Automation in
-

Construction, 20, 217–224.

- 46) BREEAM(Building Research Establishment Environmental Assessment Method), 2017. <https://www.breeam.com/>, U.K.
 - 47) CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency), 2017. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>, Japan
 - 48) C.D. Lewis. 1997. Demand Forecasting and Inventory Control. Butterworth-Heinemann
 - 49) D. Hunter, H. Yu. M.S. Pukish III, J. Kolbusz, and B.M. Wilamowski. 2012. Selection of Proper Neural Network Sizes and Architectures–A Comparative Study. IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, 8(2), 228–240.
 - 50) D.X. Ho, K.H. Kim, J.R. Sohn, Y.H. Oh, and J.W. Ahn. 2011. Emission Rates of Volatile Organic Compounds Released from Newly Produced Household Furniture Products Using a Large-Scale Chamber Testing Method, ScientificWorldJournal, 11, 1597–1622.
 - 51) GREEN SPEC, 2017. <http://www.greenspec.co.uk/>, U.K.
 - 52) H. Samadian, S.S. Zakariaee, M. Adabi, H. Mobasheri, M. Azami, and R.F. Majidi. 2016. Effective parameters on conductivity of mineralized carbon nanofibers: and investigation using artificial neural networks. RSC Advances, 6(113), 111908–111918.
 - 53) International Conference in Swarm Intelligence. 2010. Application of Artificial Neural Network in Composite Research
 - 54) J.C. Cancilla, P.D. Rodriguez, G. Matute, and J.S. Torrecilla. 2015. The accurate estimation of physicochemical properties of ternary mixtures containing ionic liquids via artificial neural networks. Physical Chemistry Chemical Physics, 17(6), 4533–4537.
 - 55) J.C.S. Chang and Z. Guo. 1992. Characterization of organic emission from a wood finishing product–wood stain, Indoor Air, 2(3), 146.153.
 - 56) J. Ke and X. Liu. 2008. Empirical Analysis of Optimal Hidden Neurons in Neural Network Modeling for Stock Prediction. IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application
 - 57) J.S. Torrecilla, C. Tortuero, J.C. Cancilla, and P.D. Rodriguez. 2013. Neural networks to estimate the water content of imidazolium-based ionic liquids using their refractive indices. Talanta, 116, 122–126.
 - 58) J.Y. Li, T.W.S. Chow, and Y.L. Yu. 1995. The Estimation Theory and Optimization Algorithm for the Number of Hidden Units in the Higher-order Feedforward Neural Network. Proceedings of ICNN'95 – International Conference on Neural Networks, 3, 1229–1233.
 - 59) K. Shibata. 2009. Effect of number of hidden neurons on learning in large-scale layered neural networks. ICROS–SICE International Joint Conference
 - 60) MathWorks. 2016. Machine Learning Challenges: Choosing the Best Model and Avoiding Overfitting
-

-
- 61) L. Chen, J.f. Huang, F.M. Wang, and Y.L. Tang. 2007. Comparison between back propagation neural network and regression models for the estimation of pigment content in rice leaves and panicles using hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(16),3457–3478.
- 62) S. Jabin. 2014. Stock Markeet Predictions using Feed-forward Artificial Neural Network, *International Journal of Computer Applications*, 99(9).
- 63) S. Tamura and M. Tateishi. 1997. Capabilities of a Four-Layered Feedforward Neural Network: Four Layers Versus Three. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS*, 8(2), 251–255.
- 64) Sweets Catalog, 2017. <http://sweets.construction.com/>, U.S.A.
- 65) S. Xu and L. Chen. 2008. A Novel Approach for Determining the Optimal Number of Hidden Layer Neurons for FNN's and Its Application in Data Mining.5th International Conference on Information Technology and Applications.
- 66) Tuscan, 2017. <http://www.idsurfaces.co.uk/>, U.K.
- 67) Y. Yang. 2017. Desiccant wheel system modeling improvement using multiple population genetic algorithm training of neural network. *Drying Technology*, 35(14), 1663–1674.
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.+