

18CTAP-C
133322-02

실내미세먼지 60%저감 및 인체쾌적지수 30%향상을 위한
인공지능 기반 창호환기시스템 원천모델 개발 최종보고서

2019
국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C133322-02

실내미세먼지 60%저감 및 인체쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호환기시스템 원천모델 개발

2019. 02. 15.

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

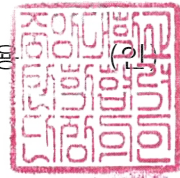
국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘실내미세먼지 60%저감 및 인체쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호환기시스템
원천모델 개발’(연구개발 기간 : 2017. 06. 26. ~ 2018. 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를
제출합니다.

2019. 01. 31.

주관연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단

김 원 동



주관연구기관책임자: 박 진



국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C133322-02	해당 단계 연구 기간	2018.01~ 2018.12	단계구분	(2차연도)/ (2차연도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	실내미세먼지 60%저감 및 인체 쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호환기시스템 원천모델 개발			
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총: 13명 내부: 13명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:215,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:215,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 14명 내부: 14명 외부: 명	총 연구개발비	정부:360,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:360,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	중앙대학교 산학협력단			참여기업명	해당없음
국제공동연구	상대국명 : 해당없음			상대국 연구기관명 : 해당없음	
위탁연구	연구기관명 : 해당없음			연구책임자 : 해당없음	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록· 기탁 번호	4	6				1					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

연구목표 : 실내미세먼지 60%저감 및 인체 쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호 환기시스템 원천모델 개발 연구내용 : ☐ 미세먼지 차단 창호환기시스템 개발 ☐ 인공지능(AI)기반 쾌적 실내환경 조성 알고리즘 개발 ☐ 사물인터넷(IoT)기반 복합 센서 모듈 개발 ☐ Open API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼 및 서버 구축	보고서 면수 76page
--	-----------------------------

요약문

연구의 목적 및 내용	실내미세먼지 60%저감 및 인체쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호환기시스템 원천모델 개발 • 미세먼지 차단 창호환기시스템 개발 - 황사 및 미세먼지 등 외기 상태의 제약 없는 창호 환기시스템 - 교체 및 유지 관리가 용이하고, 경제성이 높은 필터(HEPA 및 정전방식 필터) 적용 • 쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI)기반 알고리즘 개발 - 인공지능(AI)을 기반으로 하여 미세먼지, 이산화탄소, 라돈 등 실내 유해물질의 제거에 있어서 환기, 창호개폐, 냉·난방의 우선순위 결정 알고리즘 - 실내·외 온·습도, 기류, 날씨 등을 고려한 자동 환기 및 창호 개폐 판단 • 사물인터넷(IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발 - 실내·외 미세먼지 농도, 기류, 온습도 기후 등 센서를 통한 현재 상황 인지 - 환기시스템 외에도 기타 전자제품과의 네트워크 연결 가능 - 확장성이 우수한 SBC(Single Board Computer) 사용 • Open API 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버(Server)구축 - Open API 활용 상시 모니터링을 통한 대기환경 및 실내환경 정보 활용
연구개발성과	• 미세먼지 차단 창호환기시스템 개발 - 황사 및 미세먼지 등 외기 상태의 제약 없는 창호환기시스템 - 공기유입로에 팬(FAN)삽입하여 풍속에 따른 자연환기 & 기계환기 병행사용으로 환기성능 및 실내공기정화 효과 상승 - 유지 관리가 쉽고 경제성이 높은 필터를 활용으로 미세먼지농도 저감 - 전열교환 필터 삽입으로 효율적 필터교체 가능 및 에너지 소비량 최소화 - 창호 환기시스템 Mock-up 성능평가 • 쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI)기반 알고리즘 개발 - 인공지능 기반 미세먼지, 이산화탄소, 라돈 등 실내 유해물질의 제거에 있어서 환기, 창호개폐 우선순위 결정 알고리즘 - 머신러닝의 자가 학습을 통한 맞춤형 환기 가능 - 사물인터넷(IoT)을 활용한 네트워크 구축으로 스마트 홈오토메이션 등 적용성 및 확장성 극대화 - 실내·외 온·습도, 기류, 날씨 등을 고려한 자동 환기 및 창호 개폐 판단 • 사물인터넷(IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발 - 저비용 고성능의 SBC(Single Board Computer)를 사용하여 확장성 증대 (냉·난방기구, 출입문, 세탁기, 주방기구 등 실내 전자 시스템과의 네트워크망 및 워크스테이션 구축으로 창호환기시스템의 적용성 및 확장성 극대화) - 사물인터넷(IoT) 적용 재실자 행동 및 재실 유무에 따른 환기시스템 ON/OFF 및 창호개폐 제어 - 실내·외 미세먼지, 온습도, 기류, 재실 상태 인지를 통한 최적 실내 환경 조성

	• Open API 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버(Server)구축 - Open API를 활용한 대기환경 및 기후상황 정보 활용 - IoT 기반의 네트워크망 접속이 용이한 플랫폼(Platform) 구축 - 창호환기시스템에서 발생하는 (Big)data의 보관 및 기계학습에 활용 가능한 서버 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	□ 활용계획 및 기대효과 □ 미세먼지 차단 창호환기시스템 개발 - 공동·단독주택 등 주거건축물에서 기계환기시스템 적용이 어려운 곳에 손쉽게 적용하여 환기성능향상과 미세먼지 저감에 기여 - 이는 최근의 사회적 문제점인 미세먼지를 저감시키는 해결책으로 활용 - 특히, 재실자의 건강과 관련하여 매우 중요한 문제의 해결책 제시 - 또한 제품을 상용화 할 수 있는 정도의 기초기술을 제시 - 기존 전열교환기와 비교 필터교환 용이성과 에너지비용 절감에 기여 □ 쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI)기반 알고리즘 개발 - 인공지능(AI) 적용을 통하여 자동 실내환경조절 및 에너지절약 모드 가능 - 특히, 외기의 황사 및 미세먼지의 영향에 자동 on-off 환기모드 가동으로 미세먼지 및 유해가스 저감이 가능 - 또한, 축적된 Big Data로 향후 국내 실정에 적합한 재실자 맞춤형 실내환경 쾌적범위 설정 등 다양한 응용연구로 활용 가능 - 전열교환기 장착 창호환기시스템으로 실내 온도조절이 가능하여 쾌적한 환경유지와 특히, 에너지소비의 최소화로 에너지절약 효과 - 기존 단순의 단열값 상승 창호시스템 대비 오염물질 저감을 통하여 실내환경 쾌적성 확보가능한 진보된 기술력으로 새로운 패러다임 구축가능 □ 사물인터넷(IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발 - 사물인터넷(IoT) 및 인공지능 관련 연구·산업 응용 활성화에 기여 - 주거건물 외에 오피스 및 학교시설 등 다양한 건물 유형에 적용 가능 □ Open API 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버(Server)구축 - 개발 플랫폼 및 서버로, 홈오토메이션 연계 활용 - 스마트빌딩의 데이터를 저장 및 활용 가능 - 스마트빌딩을 목표로 작동 및 제어·관리 시스템 적용 - 다양한 접근 환경 확보 (Wifi, ZigBee, Ethernet 등) □ 기타 - 학교, 병원, 요양시설 등 성장기 어린이 및 신체 노약자 맞춤형 창호 환기시스템 적용 가능. - 궁극적으로 재실자 맞춤형 창호 환기시스템 제어를 통해 재실자의 건강, 안전 및 삶의 질 개선이 가능				
국문핵심어	미세먼지	환기 시스템	창호환기	인공지능	실내 쾌적
영문핵심어 (5개 이내)	Fine dust	Ventilation system	Window system	Artificial intelligence	Indoor Comfort

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발 목적	1
나. 연구개발 필요성	1
나. 연구 범위	4
2. 연구수행내용 및 성과	6
가. 연구 수행 결과 요약	6
나. 연구 수행 결과	12
(1) 미세먼지 차단 방안 도출	12
(2) 인공지능(AI)기반 제어 알고리즘 개발	46
(3) 실내환경 측정 센서모듈 개발 및 성능 검증	54
(4) Open API 및 IoT 활용 플랫폼 및 서버 구축	60
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	63
가. 목표 달성도	63
나. 목표 달성 여부	68
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	71
붙임. 참고 문헌	72

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

실내미세먼지 60%저감 및 인체 쾌적지수 30%향상을 위한 인공지능 기반 창호환기시스템
원천모델 개발

나. 연구개발 필요성

(1) 연구개발 개요

(가) 미세먼지 등 외기오염에 따른 미세먼지 차단 창호시스템 개발 필요성 대두

- 하루 85%이상 실내에서 거주하는 현대인에게 실내공기질 관리는 매우 중요
- 미세먼지 등 대기오염으로 자연환기만으로 실내공기 정화 불가
- 일반 주택의 경우 별도의 환기 및 필터시스템의 미비로 인해, 자연환기를 하지 않을 경우 이산화탄소, 라돈, 악취 등 실내 오염 물질 축적으로 인한 실내공기질 악화
(거주용 건축물 : 국내 전체 건축물의 61% 차지)
- 외부 미세먼지 차단을 위한 창호 전면 단순 필터 장착으로 창호의 원천적 기능인 시야확보 장애 발생 및 실내·외 환경에 따른 유연한 활용 불가
- 따라서, 실시간 모니터링으로 대기오염물질 또는 실내공기질에 따른 자동 창호 개폐가능
인텔리전트 창호환기시스템 기술 필요성 대두

(나) 건강한 삶을 위하여 사용자 중심의 쾌적 환경 조성 시스템 개발 필요

- 쾌적한 실내 환경은 삶의 질 향상 및 건강을 유지하는데 기본적 요건
- 하지만, 도심지 현대인의 대부분이 실외보다 더 오염되어 있는 실내에서 악취와 각종 유해물질을 흡입하며 하루 중 85%이상을 거주
- 따라서, 인공지능 기반사용자 편의성과 쾌적한 실내 환경 및 건강한 실내공기질 조성을 위한 적절 환기 문제 해결 필요

(다) '4차산업혁명'에 따른 인공지능형 실내 환경 제어 기술 개발의 시의성 대두

- 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 빅데이터 등 첨단 정보통신기술과 건축분야의 접목을 통한 초연결(Hyper-connected)과 초지능(Hyper-automation)혁신 필요
- 인공지능 및 사물인터넷(IoT) 활성화 정책 및 시장 규모 성장에 비하여
건축□실내환경분야 응용 수준 미미 (세계 인공지능 시장규모 2015년 2억 달러 → 2024년 110억 달러 전망)
- 창호시장 성장률은 점차 하락추세를 보이며 신기술 개발을 통한 창호 시장 활성화 시급
(2014년 기준 국내 창호시장 규모 약 2조 3천억원, 환기시스템 시장규모 약 1조 1500억원 ; 창호시장 성장률 2014년 대비 2017년 20% 하락 추세)

□ 따라서, 인공지능 기반 지능형 창호환기시스템 기술 개발 필요

(2) 연구개발 중요성

(가) 환경변화 대응, 재실 쾌적성 극대화, 사용편의성 확보, 저에너지 시스템 개발 필요

- 하루 85%이상 실내에서 거주하는 현대인의 경우 실내환경이 쾌적하지 못할 경우 각종 실내공기 오염 물질로 인하여 인체 악영향 초래
- 부유 미세먼지(PM10, Particulate Matters), 폼알데하이드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOC), 이산화탄소(CO₂) 등은 호흡기질환, 각종 기관지염, 어지럼증, 호흡곤란 발생
- 환경부 ‘미세먼지·온실가스 동시 저감 신산업 육성’에 따른 지능형 창호 환기시스템 개발 추진
- 재실자 맞춤형 자동제어 환기로 인한 자연환기 & 기계환기 병행사용으로 환기성능과 실내공기 환경을 효과적으로 유지하며 건물에너지 소비량 최소화

(나) 인공지능 활성화 정책에 따른 국가 흐름 반영한 연구 필요

- 엑소브레인(Exobrain) 프로젝트 : 향후 10년간 1,070억원 투자
- 인공지능 관련 국내 특허는 미국의 1/20, 일본의 1/10 수준
- 국내 인공지능 관련 스타트업 수 : 세계 인공지능 관련 스타트업 수의 2.5%~6.7% 수준
- 선진국과의 기술 격차를 줄이고 인공지능 시장에 조기 진입하기 위하여 정부 정책 및 산업 투자 흐름에 따르는 연구 및 기술개발 필요

표 1.1 우리나라 정부 인공지능 산업 관련 PEST 분석

정책	□ 향후 10년간 1,070억원 투자 : ‘엑소브레인(Exobrain)’ (인공지능 관련분야 연간 총 380억원 투자 계획)
경제	□ 민간 부문의 인공지능 산업 : 기업 수 및 투자 규모 측면 부족한 수준 □ 2015년 기준 국내 인공지능 관련 기업은 24개~64개로 추정 (국외 인공지능 관련 스타트업 기업 수에 비하여 약 2.5%~6.7% 수준)
사회	□ 인공지능 확산 극대화하기 위한 사회적 논의와 준비 부족
기술	□ 인공지능 선진국 대비 한국의 인공지능 관련 기술 수준 및 특허 □ 한국은 인공지능 SW 기술은 최고기술국 대비 75.0% 수준, 인공지능 응용 SW 기술은 74.0% 수준 □ 미국, 일본, 한국, PCT(국제특허) 등 4개 DB에 등록된 인공지능 관련 특허 11,613건 중 국내 특허는 306건 (전체의 3%에 불과하여 미국의 1/20, 일본의 1/10 수준)

(다) 사물인터넷(IoT)산업 활성화 정책에 따른 관련 기술 개발 필요

- 사물인터넷(IoT) : 2014년 미래창조과학부 주도(관계부처 협동) 사물인터넷 기본계획 수립
- 관련 정책 및 시장 성장 동향에 따른 IoT 연구 및 기술개발을 통한 국내 시장성 확보 필요
- 사물인터넷을 기반으로 한 스마트 홈 시장은 지속적으로 성장하며 다양한 분야로 확장되고 있으나 현재까지 실시간 모니터링으로 대기오염물질 또는 실내공기질에 따른 자동 창호 개폐가능 환기시스템 적용 연구 전무
- 따라서, 본 연구를 통하여 스마트 홈오토메이션 적용을 목표로 실외 및 실내공기질 고려 실시간 모니터링과 이에 따른 쾌적 실내환경 제어가능 시스템 개발로 재실자에게 스마트한 쾌적한 실내환경 제공 목적

표 1.2 미래창조과학부의 사물인터넷(IoT) 추진 목표 및 전략(2014년 발표, 2013년도 → 2020년도)

국내 시장 규모 확대	□ 2.3조원 → 30조원(세계시장대비 1%→2.7%)
생산성 • 효율성 향상	□ 이용기업 성과 30%향상
중소 • 중견 수출기업의 수	□ 70개 → 350개
중소 • 중견기업 고용 인원	□ 2700명 → 30000명
개인 IoT	□ 창의/아이디어 제품화(D.I.Y) □ 이용자 참여(UX, Living Lab)
산업 IoT	□ 개방형 플랫폼 □ 글로벌 파트너십 확보
공공 IoT	□ 민·관 협력/오픈 이노베이션 □ 플랫폼 정부(IoT as a Service)

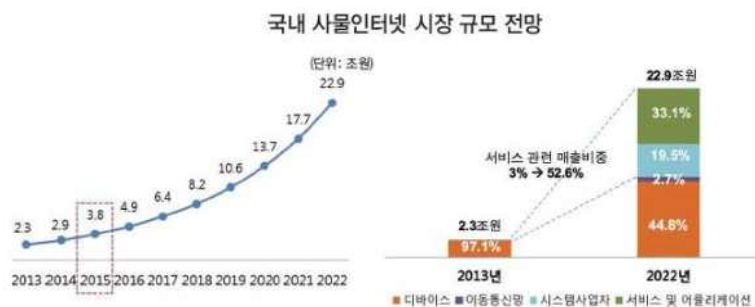


그림 1.1 국내 사물인터넷(IoT) 시장 현황 및 전망

(출처: Machine Research, STRACORP, NA, KT경제경영연구소 재구성)

(라) 창호 • 환기시스템 및 인공지능 시장성 확대, 신분야 시장 선점 효과

- 창호·환기시스템 시장규모 : 창호의 경우 약 2조 3,000억 원, 환기 시스템의 경우 약 1조 1,500억 원으로 지속적 성장 전망
- 인공지능 시장규모 : 2015년 2억 달러 → 2024년 110억 달러 전망
- 창호환기시스템 시장은 점차 확대되어 상장하고 있지만 인공지능이 결합된 건축 실내환경

조성 기술에 관한 연구는 전무

- 인공지능이 결합된 지능형 실내 환경 제어 창호환기시스템 개발 연구를 통한 원천기술 및 시장 선점 발판 마련 필요

다. 연구 범위

(가) 1차 연도

① 개발 목표

- 인공지능 기반 창호 환기시스템 및 Open API 활용 알고리즘 개발

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(중앙대학교):

- Open API 교환 데이터 Request-Response 방식 활용 실시간 정보접근 방안 도출
- 인공신경망 기반 실내환경 산출 알고리즘 적용 방안 분석
- 제어 시스템 적용 창호 시제품 제작, Mock-up 성능 검증 및 보완

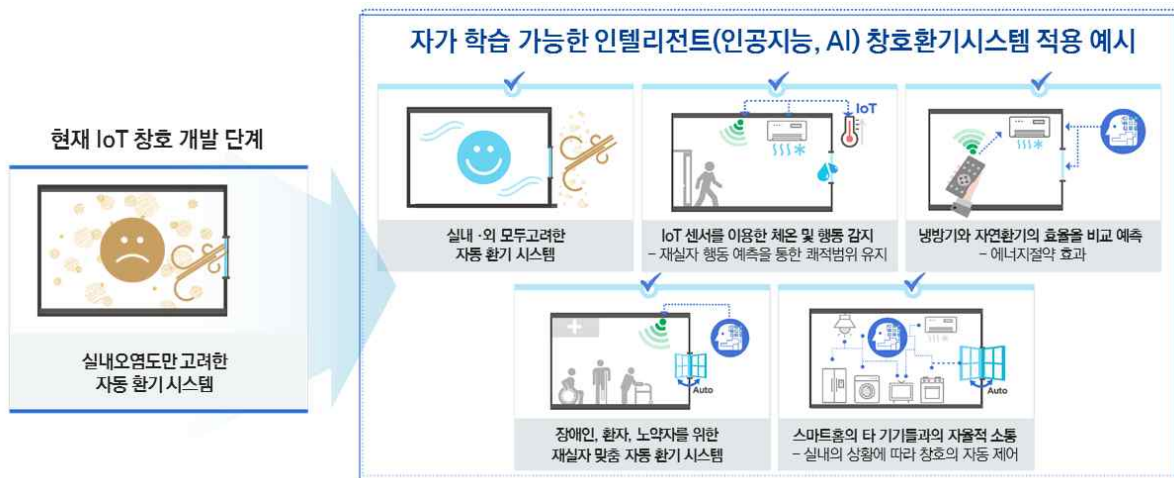


그림 1.2 인공신경망 기반 인텔리전트 창호환기시스템의 적용 예시

(가) 2차 연도

① 개발 목표

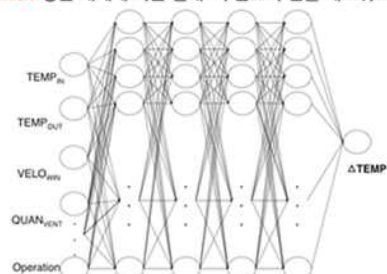
- 주관연구기관(중앙대학교): 인공지능 기반 지능형 창호 환기시스템 제어 알고리즘 플랫폼 개발 및 성능평가

② 개발 내용 및 범위

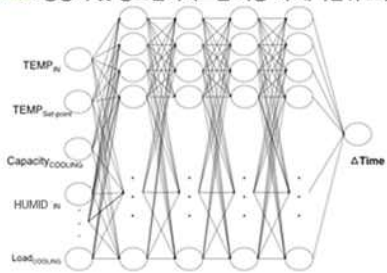
- 주관연구기관(중앙대학교):

- 인공지능(AI) 기반 창호 환기시스템 제어 알고리즘 플랫폼 개발
- 제어 시스템 적용 창호 환기시스템 성능평가 및 검증
(Mock-up 실험 및 Test Bed 현장 적용 쾌적 실내환경 조성 성능평가)

- Test Bedd의 성능평가 분석을 통한 지능형 자동 개폐 제어 창호 환기시스템 최적안 도출



ANN02 냉방기 및 창호환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간



Input Layer $\Rightarrow$ Hidden Layer $\Rightarrow$ Output Layer

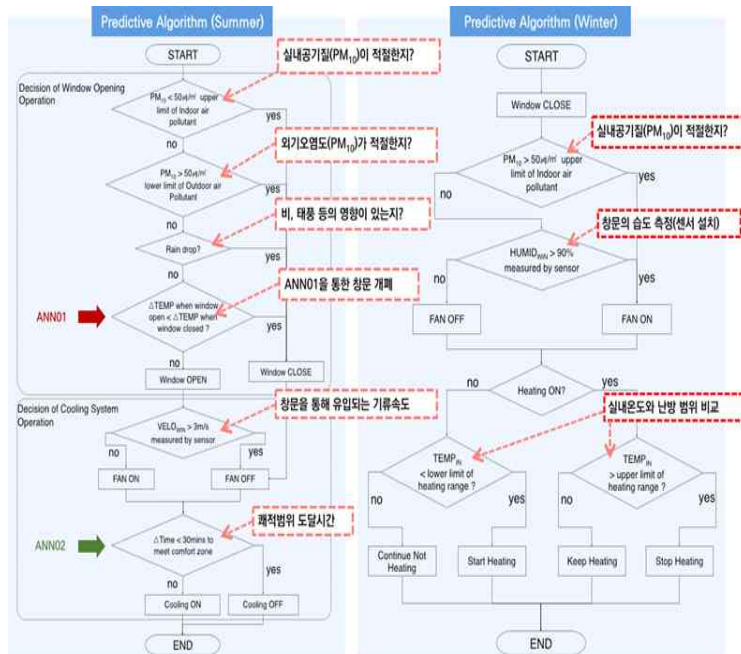
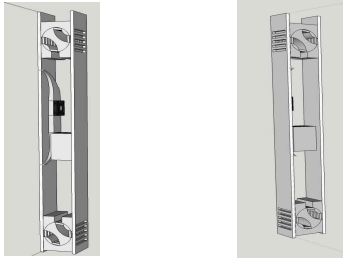
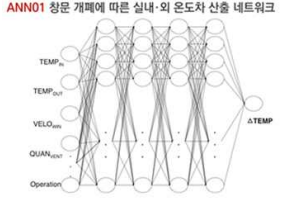
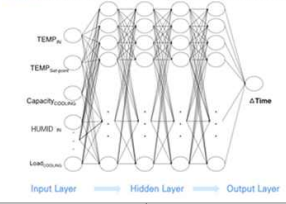


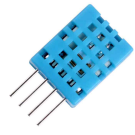
그림 1.3 인공지능(AI) 기반 창호시스템 적용 알고리즘

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구 수행 결과 요약

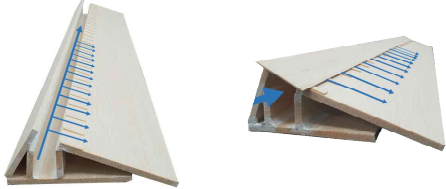
(1) 1차 연도

연구 범위	연구 수행 방법	구체적인 내용	
미세먼지 차단 방안 도출	(가) 국내·외 관련 기술 조사 (나) 창호형 환기시스템에 적용가능한 최적의 필터 도출 (정전방식, HEPA) (다) 베르누이 원리를 활용한 환기방식 설계방안 도출	□창호형 환기시스템의 필터 적용 ① 정전방식 필터 - 열가소성 고기능수지를 활용하여 정전기유도 - PM10 미세먼지 차단율 : 83.7% - 무전력 시스템으로 환기에너지 효율성 증가 ② 섬유형 필터 - H12급 HEPA 등급 필터 적용 - PM2.5 미세먼지 차단율 : 99.5%	
		 창호형 환기시스템 개념도	
인공지능 기반 실내환경 조성 방안 도출	(가) 기계학습을 통한 환기 성능 예측 가능한 인공신경망 - 창문 개폐에 따른 실내 온도 변화 - 냉방기 또는 환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간 및 에너지 사용량 비교 (나) 센서를 통해 수집된 데이터(실내·외 온·습도, 미세먼지, 대기상태 등)를 적용시켜 창호환기시스템의 최적 작동을 도출	ANN01 창문 개폐에 따른 실내·외 온도차 산출 네트워크  ANN02 냉방기 및 창호환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간  Input Layer Hidden Layer Output Layer	
센서 모듈 범위 및 방향 도출	(가) 국내·외 실내 환경 관련 자료 조사를 통해 최적의 센서 모듈 도출	Arduino Uno	
	(나) 열환경 모니터링을 위하여 미세먼지, 온도, 습도, 기류속도 등 물리적 요소 기반 제어 장치	미세먼지센서 [GP2Y1023AU0F]	
	(다) 센서모듈은 신호처리부와 연결시켜 물리적 수치를 감지 및 제어할 수 있는 환경 (라) 센서 모듈과 플랫폼은 상호작용을 통해 신호 처리 및 제어를 위해 명령 수행 가능 (Open Source Hardware) (마) 아두이노(Arduino)는 센서와	기류속도센서 [MD-0550]	

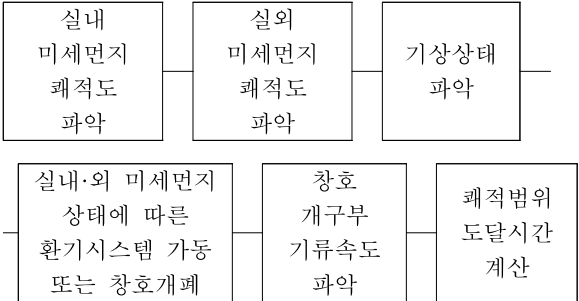
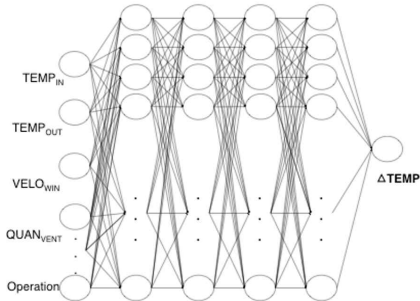
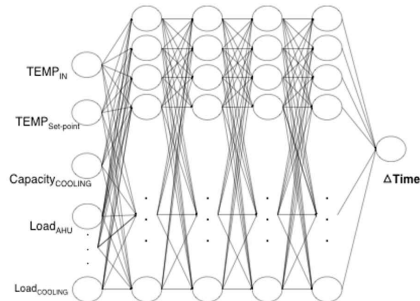
연구 범위	연구 수행 방법	구체적인 내용	
	액추에이터(Actuator)를 이용 가능한 디지털핀과 아날로그핀 탑재 - 환경 측정 센서 연결에 적합 (확장성 및 경제성 증가)	온습도센서 [DHT11]	
Open API 데이터 실시간 정보접근	(가) API(Application Programming Interface ;응용프로그램 프로그래밍 인터페이스)를 이용하여 날씨와 미세먼지 정보 활용	□기온, 체감온도, 습도, 강수량, 적설량, 기압, 풍향, 풍속, 시정 데이터 사용 가능 □RSS(Really Simple Syndication, Rich Site Summary)를 활용하여 동단위 시간별 데이터 활용 가능	

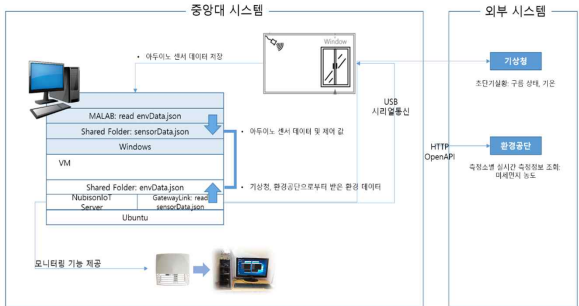
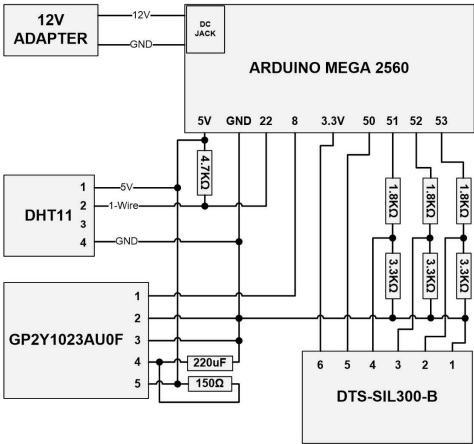
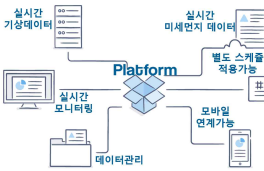
(2) 2차 연도

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
미세먼지 차단 창호환기 시스템 개발	(가) 창호형 환기시스템 국내외 사례조사	① 선진 외국에서는 주로 창호프레임에 환기구를 설치한 것으로 자연환기를 위주로 하였고 내부에 전열교환장치를 장착하여 사용되고 있었다. 그러나, 주로 센서에 의한 on-off 작동모드로 단순 환기량을 조절하는 정도의 기술이 적용되고 있었음 ② 국내에서는 팬, 필터, 열회수장치와 센서 등이 장착된 시스템으로 IoT 및 인공지능 기능을 통한 자동 개폐형으로 오염물질을 컨트롤 할 수 있는 창호환기시스템은 본 연구팀이 최초 시도
	(나) 창호 환기시스템의 최적설계안을 위한 CFD 시뮬레이션 분석	① 환기구 형태의 기류분석 - 동일한 취출구 면적과 풍속에서 상·하부 환기형 창호의 외기 유입율이 가장 환기 효율이 높은 것으로 확인되었다. 따라서, 창호환기시스템에 적용 하였다. ② 취출구 형태에 따른 기류분석 - 일반창호(취출구 개수 0 - 2개, 풍속: 0.206~0.243 m/s 증가)와 비교하여 취출구가 4개인 에어글라이드 창호의 풍속이 약 41% 증가를 보임으로 외기 도입률에 따른 환기효율이 증가되는 것으로 확인 ③ 집풍장치(集風 Wind catcher louver) 배치 형상에 따른 기류분석 - 집풍의 배치(원호, 사각(90°), 갈지(之)자, 사각(45°))에 의한 영향에 따라 환기효율 향상은 관련이 없는 것으로 나타남 ④ Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치에 따른 기류분석 - 영각(0°, 1°, 2°, 4°, 8°)이 높아질수록 루버의 상부 부압 형성 면적이 넓어지고 이에 따라 풍속이 빨라지는 것을 확인

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
	(다) Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 제작 및 Mock-up Test, 간이풍동실험	① Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 제작 - 길이 1200mm, 너비 220mm, 높이(최고) 30mm의 크기의 집풍장치 제작  ② 제작된 집풍장치의 Mock-up Test - Mock-up 실험 결과 집풍장치를 적용하지 않은 실보다 적용한 실이 미세먼지 저감 성능이 약 37.5% 높게 나타났다. 특히, 서풍일 때 보다는 남풍일 때, 즉 바람의 방향이 0° 보다는 90°의 경우 높게 나타났다. ③ 집풍장치의 간이 풍동 실험 - 실험결과, 집풍장치 상단부의 기류 속도는 최고 4m/s까지 증가하는 것을 확인 
	(라) 창호 환기시스템(에어글라이드) 제작 (특허번호 : 제10 - 1818434호)	① 설계된 창호환기시스템(에어글라이드)를 직접 실물 제작하였다. 주요 기능으로는 베르누이효과의 에어글라이드, 필터, 열교환기, FAN, 댐퍼, 자동개폐기, 회전형 유로 등을 내장하고 있으며 특히, 실내외 환경변화에 대응한 창호유닛 on-off가 가능한 인공지능 기능등을 포함. 열교환기는 열교환율 89%이상, FAN 최대풍량은 3.9CMM이며, 최대정압은 37~44mmAq이다. 특히 자동으로 창호가 개폐됨.  ① 필터 ② 열교환기 ③ Fan (DJF-10) ④ 댐퍼 (HM-220VH4) 자동개폐기 제작된 창호형 환기시스템 입면

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용				
	(마) 창호 환기시스템(에어글라이드)의 성능검증을 위한 Mock-up test 실험 (Room 바닥면적 6.25㎡ 층고 2.4m)	① 집풍장치의 성능 실험 창호환기시스템의 집풍장치의 성능실험결과 (Mock-up 실험) 베르누이효과를 최대한 이용하여 환기가 원활히 되고 있었으며 특히, 창호를 모두 개방시 실내미세먼지가 기존대비 약 50% 저감하는 성능을 보임 ② 환기장치의 성능실험 a) 창호환기시스템의 실내미세먼지 60% 저감 성능 - 창호환기시스템(에어글라이드)를 각 Mode별 작동 시 실내미세먼지 제거 최소 시간 6분에 농도를 95.2%~96.5% 까지 저감시킬 수 있는 성능을 확보함으로써 실내 미세먼지 60% 저감을 창호환기시스템을 통해 실현 b) 창호 환기시스템의 열쾌적지수 30% 향상 성능 : 창호환기시스템(에어글라이드)에서의 열쾌적 성능을 실험결과 - 창호환기시스템(에어글라이드)에서 열교환기 작동 시 실내온도 25.5℃ Base Model 인 경우 15.6℃ 로 약 9.9℃ 더 높게 나타났고 특히, ‘ASHREA Standard 2015’의 쾌적기준을 만족함으로써 창호 환기시스템의 열쾌적지수 30% 향상 성능을 확인하였다.				
	(바) 건물 높이에 따른 풍압 안정성 검토	건물의 높이 별 풍압을 검토하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 통하여 초고층 주택(55층 175m) 높이의 풍속(평균 : 2.5m/s, 최고 3.4m/s)에서 18.4Pa의 환경에서도 안전한 것으로 나타남				
	(사) 결로 및 단열에 대한 검토	창호환기시스템의 외부측은 EPS, 내부개구부 측에는 알루미늄시트로 단열을 보완하였다. 특히 단열재를 적용 전·후의 열화상 카메라 측정 결과, 최대 15.3℃ 평균 11.1℃의 온도 상승효과가 나타나 결로 발생 위험성도 낮추었다. <table><tr><th>단열재 적용 전</th><th>단열재 적용 후</th></tr><tr><td> 11.5℃</td><td> 26.8℃</td></tr></table>	단열재 적용 전	단열재 적용 후	 11.5℃	 26.8℃
	단열재 적용 전	단열재 적용 후				
 11.5℃	 26.8℃					
(아) 창호환기시스템의 전기 안전 관리	창호환기시스템은 전선, 전원 등 전기용품이 포함되어 있어 KC인증에서 규정하고 있는 자체검사의 제품 검사 항목 검사를 실시한 결과 이상이 없음을 확인하였다					

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
	(자) 창호환기시스템의 적용을 위한 CFD 시뮬레이션 예측 - 시뮬레이션 모델링: 국내 표준공동주택 중 전용면적 84㎡, 층고 2.8m(승강기홀 제외) - Base model : 자연환기창 개방율 100% - 대조군 : Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 적용 - 오염물질: CO2(100%, 3.6 kg/m³)	분석결과, 320초 후의 CO2 평균농도를 분석한 결과 집풍루버를 설치하지 않은 공간이 1.52kg/m³로 5.78% 감소하였고, 집풍루버를 설치한 경우 1.44kg/m³로 60%감소하였다(표 2.24 그림 2.49참조). 즉, 루버를 설치한 경우가 CO2 농도가 더 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
	(가) 창호제어 기본 개념 - 창호제어 우선순위: · 1순위=미세먼지농도고려, · 2순위=실내 열쾌적도	 창호제어 기본 개념 순서 흐름도 설명: 상단에는 '실내 미세먼지 쾌적도 파악', '실외 미세먼지 쾌적도 파악', '기상상태 파악'이 순서대로 연결되어 있다. 하단에는 '실내·외 미세먼지 상태에 따른 환기시스템 가동 또는 창호개폐', '창호 개구부 기류속도 파악', '쾌적범위 도달시간 계산'이 순서대로 연결되어 있다.
인공지능 기반 쾌적 실내환경 조성 알고리즘 개발	(나) 인공신경망 - 창호 개폐에 따른 실내·외 온도차 산출 알고리즘 (ANN 01) - 냉방기 및 환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간 계산 (ANN 02)	 창호 개폐에 따른 실내·외 온도차 산출 알고리즘  냉방기 및 환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간 계산 구조도 설명: ANN 01의 입력층에는 TEMP_IN, TEMP_OUT, VELO_WIND, QUAN_VENT, Operation이 포함되어 있으며, 출력층에는 ΔTEMP가 있다. ANN 02의 입력층에는 TEMP_IN, TEMP_Set-point, Capacity_COOLING, Load_AHU, Load_COOLING이 포함되어 있으며, 출력층에는 ΔTime이 있다.

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
	(다) 창호환기시스템 작동 연계시스템 도식도	 창호환기시스템 작동 연계 시스템 구조 도식도
사물인터넷 기반 복합센서 모듈 개발	(가) 복합센서모듈개발 - 외부환경과 상호작용 가능한 오픈소스 (Open Source) 개발환경을 제공하는 아두이노 기반 복합센서모듈 개발	 센서모듈 연결 종합 회로도
	(나) 센서 모듈 전용케이스(Case) 제작 (디자인등록 : 30-2018-0043353) - 각 센서의 최적 성능 구현을 위한 디자인 적용	 실내환경 측정 센서모듈
	(다) 센서모듈 성능검증	서울시 흑석동 C대학건물옥상 mock-up 실험실에서 기상청에서 제공하는 5분 단위 농도 데이터를 기반으로 48시간의 데이터를 분석결과 ① 미세먼지 센서(6% 미만의 오차) ② 온·습도 센서(5% 미만의 오차) ③ 기류 센서(5% 미만의 오차)
Open API 및 IoT 활용 플랫폼 및 서버 구축	(가) Open API(Application Programming Interface) 및 IoT 플랫폼 구축 - 국가API(2019년 01월 기준) : 3,129 건의 Open API 제공(국가 공공데이터포털) - 한국환경공단의 '대기오염 정보조회 서비스', 기상청의 '동네예보 정보 조회 서비스'활용	 원격 전원 제어 실시간 모니터링

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
	(나) 센서모듈 데이터 및 창호시스템 제어를 위한 서버 구축	 

나. 연구 수행 결과

(1) 미세먼지 차단 방안 도출

(가) 창호형 환기시스템 국내외 사례 조사

창호형 환기시스템이란, 창호와 환기시스템이 결합된 일체형 환기시스템을 의미한다. 다음의 그림 2.1은 외국의 R사의 창호 환기시스템으로써, 창호프레임에 환기구를 설치하는 형태의 제품이다. 창호의 가로부와 세로부에 선택적으로 적용할 수 있게 설계되어있으며, 모듈러시스템을 채택하여 다양한 조건의 건물에 탄력적으로 적용이 가능하다. 세장형태의 모듈에는 소형전열교환기(81% 효율)가 내장되어 공기를 흡수할 때 가열되어 Regenerator에 저장되는 시스템이다. 2개의 순환식 팬으로 연속환기가 가능하여 결로 및 결빙이 발생하지 않는다는 장점이 있다.



그림 2.1 창호형 환기시스템 사례 (R사)

다음의 그림 2.2는 B사의 에너지 절약형 창호환기시스템으로 외부소음은 차단하고 신선한 공기는 유입할 수 있는 소음저감형 창호환기시스템이다. 3단계의 환기모드로 환기량 조절이 가능하며, 창호 프레임의 요철에 결합하는 형태의 디자인으로 간편한 시공이 가능하다는 장점이 있다. 그림 2.3은 G사의 창호형 환기시스템은 현재 출시된 창호환기 제품 중 가장 작은 Slot vent 시스템이며, 시스템내부에 별도의 기계장치 없어 요구 면적이 적어 기존 및 신축 건물에 적용 용이하다. 내·외부 환기구 개폐를 통하여 창호프레임을 통한 자연환기를 한다.



그림 2.2 SM ACOUSTIC (B사)

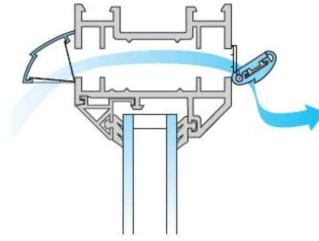
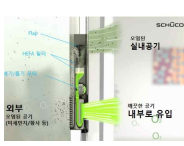
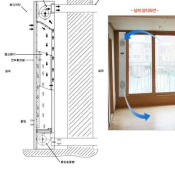


그림 2.3 5000EA (G사)

다음의 표 2.1은 국내의 주요 창호형 환기시스템을 비교한 것이다.

표 2.1 국내 주요 창호형 환기시스템 개요

제조사명		중앙대학교	E사	S사	E사	L사
제품명		인공지능기반 창호형 환기시스템	벤토라이프	창틀형 전열환기장치	Eco-av	자동환기창 PTT237V
출시년도		2018년	2017년	2013년	2005년	2013년
제품사진						
주요 기능	FAN	O	O	O	O	O
	필터	O	O	X	X	O
	열회수 장치	O	X	O	O	O
	센서	O	O	X	X	O
	자동 개폐 인공 지능	O	X	X	X	X
	주요 특징	□ 실내·외 미세먼지 농도에 따른 창호 자동개폐 가능 □ 인공지능기반 기술을 통해 최적의 환기방법 도출 및 자동제어	□ HEPA 필터 □ CO2 센서	□ FAN : 댐퍼송풍기 □ 열회수장치 : 슬림형(다이아몬 드형-열교환 회수율 언급 없음)	□ FAN : 상·하부에 각각 팬 설치 - 상부 : 배기 송풍팬 - 하부 : 흡기 송풍팬 □ 열교환 회수율 90% (재료 및 형태 내용 없음)	□ 실내공기질을 감지하여 스스로 환기량 조절

따라서 창호형 환기시스템의 국내외 사례조사 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 선진외국에서는 주로 창호프레임에 환기구를 설치한 것으로 자연환기를 위주로 하였고 내부에 전열교환장치를 장착하여 사용되고 있었다. 그러나, 주로 센서에 의한 on-off 작동모드로 단순 환기량을 조절하는 정도의 기술이 적용되고 있었다. 한편 국내에서는 팬, 필터, 열회수장치와 센서 등이 장착된 시스템으로 IoT 및 인공지능 기능을 통한 자동개폐형으로 오염물질을 컨트롤 할 수 있는 창호환기시스템은 본 연구팀이 처음으로 시도한 것이다.

(나) 창호환기시스템의 최적설계안을 위한 CFD 시뮬레이션 분석

본 연구에서는 창호환기시스템의 최적설계안을 위하여 다음과 같은 요소를 대상으로 기류분석 시뮬레이션을 실시하였다. 즉, 환기구 형태, 취출구 형태, 집풍장치(集風 wind catcher louver)의 배치, Clark-Y 에어포일 형상에 따라 분석하였다.

① 환기구 형태의 기류분석

창호환기시스템의 최적환기구 형태를 도출하기 위하여 CFD 분석을 실시하였다. 환기구 위치에 따른 mesh는 각각의 대상 모델의 규모를 고려하여 0.005m 크기로 설정하였다. 형태는 가장 효과적으로 3차원 해석이 구현 가능한 육각형 격자인 polyhedral mesh로 설정하였다.

표 2.2 CFD 시뮬레이션 설정 조건

Item	Settings
Space	Three Dimensional
Mesh	Polyhedral Mesh
Mesh Size	0.005m
Time	Steady
Material	Gas
Flow	Segregated Flow
Fluid state	Equilibrium Air
Viscosity	Turbulent
Reynolds-turbulent flow	k-ε Turbulence
	K-omega Turbulence
Iteration	100회

㉑ 분석 조건

창호형 환기시스템의 환기 및 열교환 성능 비교 검증을 위하여 1개의 대조군과 2개의 비교군으로 구성하여 분석을 실시하였다. 대조군은 본 연구진이 개발한 창호형 환기시스템인 ‘에어글라이드 창호(상하부 환기형창호)’이며, 비교군은 a. 하단 환기형창호, b. 측면 환기형창호 로 구성하였다. 환기시스템의 취출구 풍속에 따른 성능을 검증하기 위하여 2m/s, 4m/s, 6m/s로 풍속을 변화하여 실시하였으며, 풍속 외의 실의면적, 취출구의 면적, 실내·외 온도, 실내·외 풍향 등 모든 조건을 동일하게 설정하였다. 외기의 풍속은 기상청 자료를 참고하여 서울 서초구의 평년값(30년) 자료를 활용하여 평균 풍속인 1.5m/s와 주풍향인 서풍으로 지정하였다. 창호의 형태에 따른 풍속 변화를 보기 위하여 온도 및 습도 등 다른 요소는 실내·외 동일하게 설정하였다.

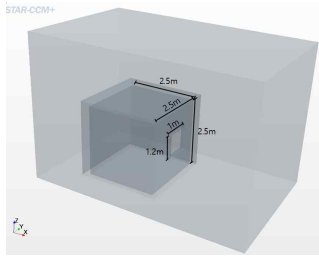


그림 2.4 CFD 시뮬레이션 모델링

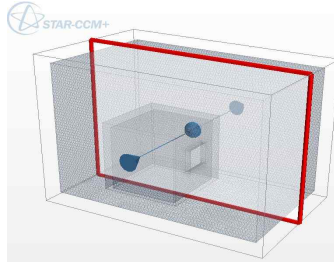


그림 2.5 수직·수평단면 분석 위치

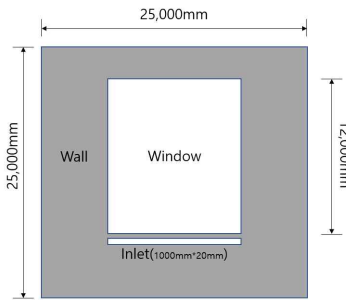
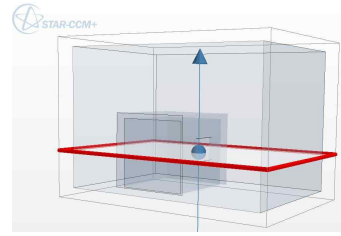


그림 2.6 하단 환기형

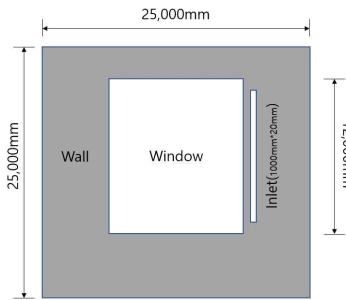


그림 2.7 측면 환기형

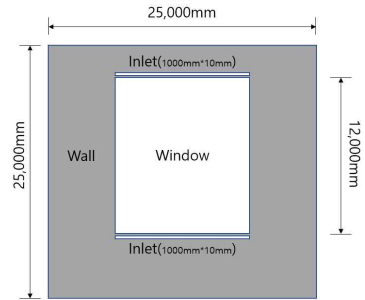
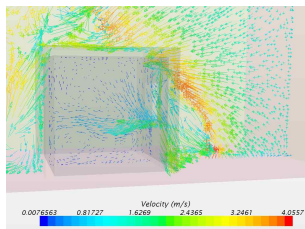


그림 2.8 상·하부
환기형(에어글라이드)

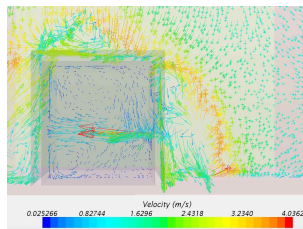
㉠ 시뮬레이션 결과

□ 하단 환기형창호

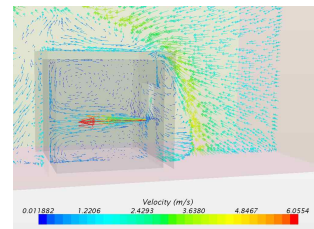
하단 환기형창호는 환기시스템의 취출구 부분에서는 설정 풍속인 2m/s, 4m/s, 6m/s가 나타났으나, 취출구 부분을 제외하고, 창문으로 유입되는 공기는 미미한 것으로 나타났다. 취출구의 풍속이 높아져도 창문을 통한 공기의 유입은 확인하기 힘들며 환기구를 통한 유입으로 실내의 압력이 높아져 창문을 통해 공기가 배출되는 것을 확인할 수 있었다.



2m/s



4m/s



6m/s

그림 2.9 하단 환기형 창호의 CFD분석 결과

□ 측면 환기형창호

측면 환기형창호 역시 취출구 부분을 제외하고, 창문으로 유입되는 공기는 미미한 것으로 나타났다. 측면 환기형 창호의 특성상 수직단면 분석으로는 공기의 출입을 파악하기 힘들기 때문에

측면 환기형 창호는 취출구와 개구부가 함께 분석될 수 있는 수평단면을 활용하였다. 측면 환기형 창호 역시 취출구의 풍속이 높아져도 창문을 통한 공기의 유입은 확인하기 힘들며, 개구부를 통한 공기 배출을 확인할 수 있었다. 이는 역시 취출구를 통한 공기 유입으로 인해 실내의 압력이 높아져 개구부를 통해 공기가 배출되는 것으로 사료된다.

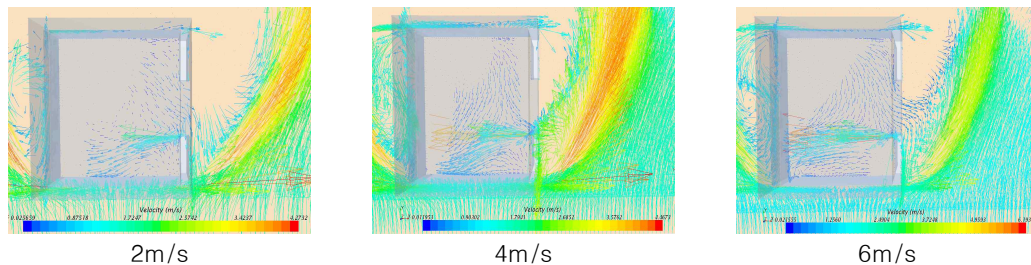


그림 2.10 측면 환기형 창호의 CFD분석 결과

□ 상·하부 환기형(에어글라이드)창호

상·하로 취출구가 있는 에어글라이드 창호는 그림 2.11 에서 볼 수 있듯이 취출구 뿐 아니라 창호를 통해서 외기가 유입되는 것을 확인할 수 있다. 실내의 압력이 높아질 정도로 충분한 시간이 흐른 뒤에도 일부를 제외하고 창호 개구부의 대부분의 공간에서 공기가 유입되었다.

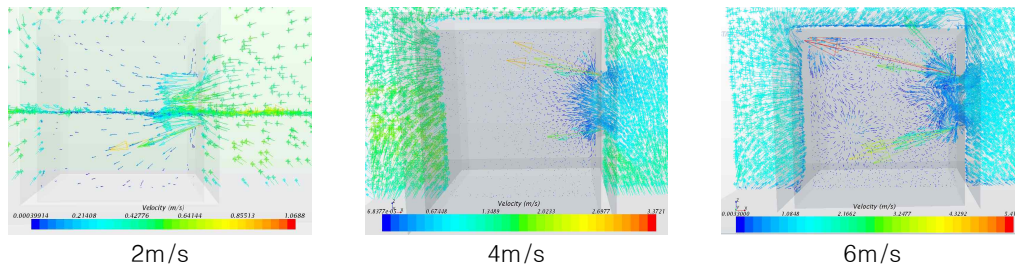


그림 2.11 상·하부 환기형 창호의 CFD분석 결과

- 대조군인 하단형 창호환기, 측면형 창호환기와 실험군인 에어글라이드 창호환기 모두 동일한 면적의 취출구와 풍속으로 실험한 결과 하단형과 측면형은 개구부를 통한 외부공기의 유입이 미미하였으나, 에어글라이드 창호환기는 개구부를 통해 다량의 외부공기가 유입되는 것을 확인하였다.
- 환기시스템을 통해 실험실 체적 이상의 공기를 유입시킨 이후, 하단형과 측면형은 개구부를 통해 실내의 공기를 내보내는 것으로 확인되었지만, 에어글라이드 창호의 경우 취출구 주변의 개구부를 통해 지속적으로 외부의 공기를 유입시키는 것을 확인하였다.
- 따라서 동일한 취출구 면적과 풍속에서도 에어글라이드(상하부환기형) 창호의 외기 유입율이 더욱 효율이 높은 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 본 에어글라이드 창호의 시제품 제작 및 적용 시 매우 미세한 취출구의 크기로 인해 고속의(제트기류) 풍속이 생성 될 것을 감안하면 더욱 우수한 유입률을 기대할 수 있다.

② 취출구 형태에 따른 기류분석

㉠ 시뮬레이션 분석 조건

에어글라이드 창호의 취출구 형태는 다음과 같이 세 가지로 분류하였다. 즉, ㉠일반 창호프레임 (취출구 개수 0), ㉡일반 창호프레임+취출구 (취출구 개수 2), ㉢에어글라이드 창호 + 취출구 (취출구 개수 4) 의 3가지로 분류하였고 특히, ㉡와 ㉢는 취출구를 좁게 만들어 고속의 기류가 형성될 수 있도록 하였다. 분석에 사용된 창호의 상세 단면은 그림 2.12와 같으며, 분석을 위한 전체 모델링은 그림 2.13과 같다.

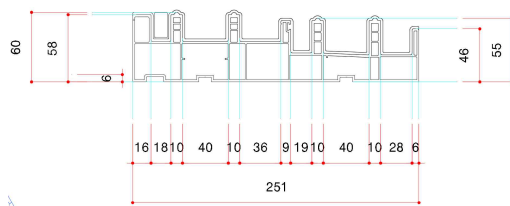


그림 2.12 창호의 상세 단면도

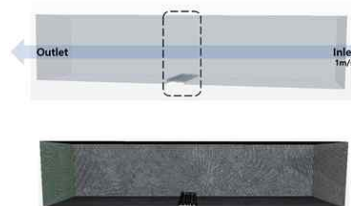
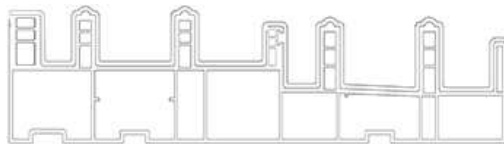
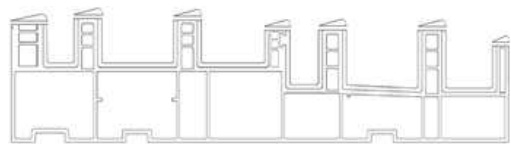


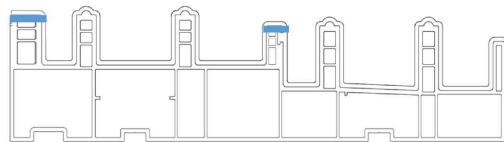
그림 2.13 CFD분석을 위한 모델링



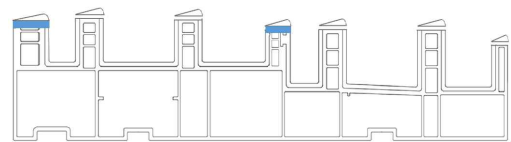
일반창호 취출구 0개



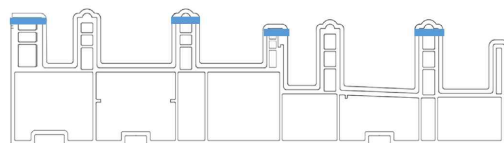
에어글라이드 창호 취출구 0개



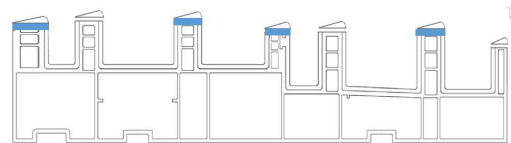
일반창호 취출구 2개



에어글라이드 창호 취출구 2개



일반창호 취출구 4개

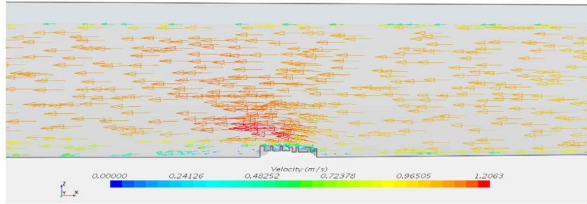


에어글라이드 창호 취출구 4개

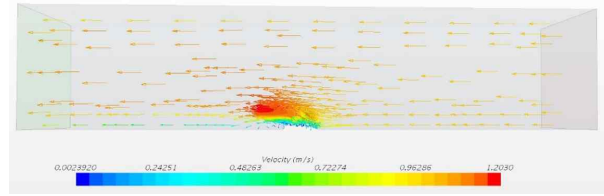
그림 2.14 각 분석 모델의 상세 단면도

㉡ 시뮬레이션 결과

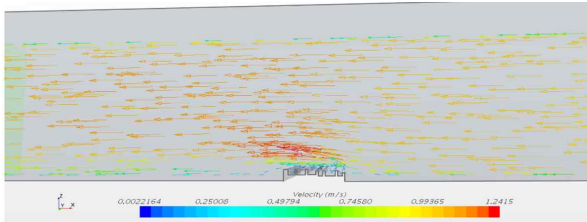
CFD 시뮬레이션 결과 그림 2.15와 같이 각각 일반창호(취출구 개수 0-2개, 풍속: 0.206~0.243m/s 증가)에 비하여 에어글라이드 창호(취출구 개수 4개, 0.203~0.413m/s 증가)가 풍속이 약 41% 증가를 보였다. 따라서, 취출구가 4개인 에어글라이드 창호의 풍속증가가 높아 외기 도입률과 환기효율이 높을 것으로 판단되었다.



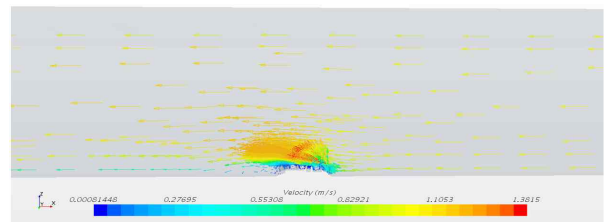
일반창호 취출구 0개
1.206m/s <풍속 0.206m/s 증가>



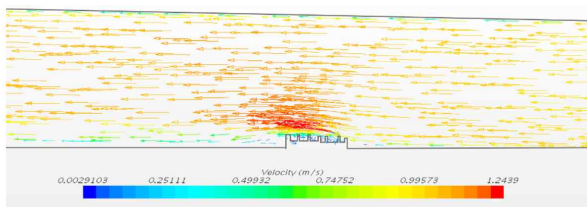
에어글라이드 창호 취출구 0개
1.203m/s <풍속 0.203m/s 증가>



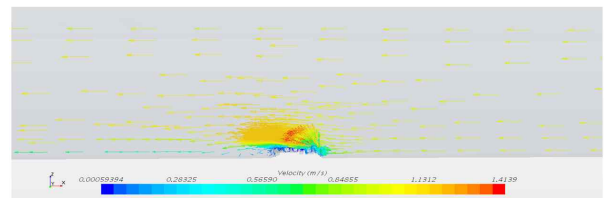
일반창호 취출구 2개
1.241m/s <풍속 0.241m/s 증가>



에어글라이드 창호 취출구 2개
1.381m/s <풍속 0.381m/s 증가>



일반창호 취출구 4개
1.243m/s <풍속 0.243m/s 증가>



에어글라이드 창호 취출구 4개
1.413m/s <풍속 0.413m/s 증가>

그림 2.15 창호취출구 형태에 따른 기류분석결과

③ 집풍장치(集風 Wind catcher louver) 배치 형상에 따른 기류분석

㉠ 시뮬레이션 분석 조건

집풍장치는 고대 이집트에서 사용된 페르시아의 건축 요소 중 하나로 현재는 이란, 이집트, 두바이 등 덥고 건조한 기후지역에서 널리 사용되는 장치로 공기의 대류효과를 통한 자연환기시스템을 의미하며, 최근에는 건물상층부의 공기를 모아 실내 환기 및 냉방을 할 수 있도록 타워형태로 설계된 건축물의 형상을 의미한다.

본 연구에서는 창호형 환기시스템의 환기효율 증가를 위해 집풍(集風; wind catcher Louver) 장치의 설치 방안을 고려하였다. 집풍장치는 개구부로 바람을 유도하여 환기효율을 높일 수 있는 장치로써, 주로 환기구에 사용된다. 집풍장치의 형태 및 간격에 따른 기류 비교·분석을 위해 전산 유체역학(CFD)분석을 실시하였다. 형태는 베이스(Base) 모델을 포함하여 총 4개의 형상(원호, 사각형, 갈지(之)자, 45°)로 분류하였다.

시뮬레이션을 위한 전체 풍동환경 모델링은 다음의 그림 2.16 과 같으며, 창호의 실외 측 하단에 설치하였다. Inlet의 속도는 서울지역의 2017년 평균 풍속인 서풍 3.6m/s로 설정하였고, Outlet의 비율도 100%로 설정하여 풍속이 저하되지 않고 자연스럽게 흐를 수 있도록 설정하였다. 각

장치의 상세 형상은 그림 2.17 과 같으며, 기본적인 CFD 분석 설정조건은 위의 분석조건과 동일하다.

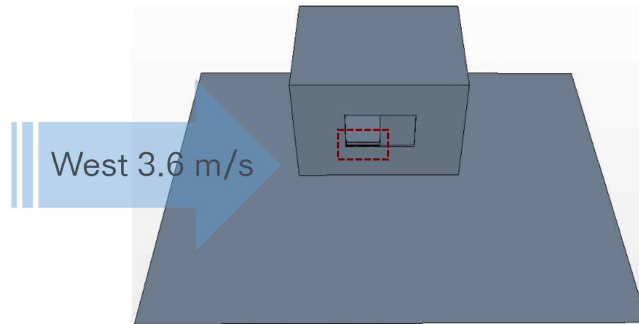


그림 2.16 집풍장치 분석을 위한 CFD 모델링

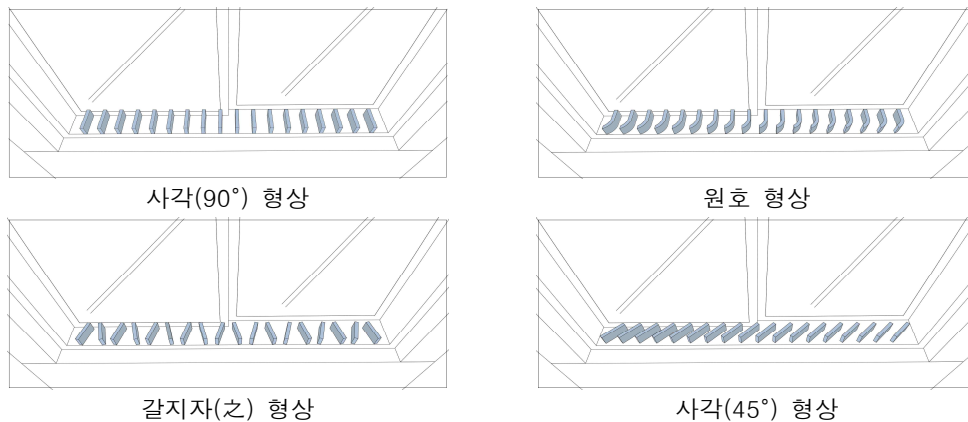


그림 2.17 집풍장치의 상세 형상 모델링

㉠ 시뮬레이션 결과

창호형 환기시스템에 적용할 집풍장치의 형태에 따른 기류 비교·분석을 위해 전산유체역학(CFD)분석을 실시하였다. 장치형태는 원호, 사각형, 갈지(之)자, 45°의 4개로 분류하여 장치가 없는 일반창호와 비교하였다. 기류속도는 2017년 서울시의 평균 풍속인 서풍 3.6m/s로 실시하였지만, 다음의 그림 2.18과 같이 빠른 외기의 영향으로 역압력구배가 발생하여 유동박리(Flow separation) 및 후류(Wake)가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서, 루버가 효과적으로 작용하는 풍속을 도출하기 위하여 3m/s, 2m/s, 1m/s, 0.5m/s 0.4m/s, 0.3m/s로 단계적으로 감소시켜가며 분석을 실시하였다.

하지만, 시뮬레이션 결과 그림 2.19 에서 확인할 수 있듯이 4개 형상 모두 동일하게 유동박리(Flow separation) 및 후류(Wake)가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서, 집풍(集風 ; wind catcher Louver)의 배치(원호, 사각(90°), 갈지(之)자, 사각(45°))에 의한 영향에 따라 환기효율 향상은 관련이 없음을 확인하였다.

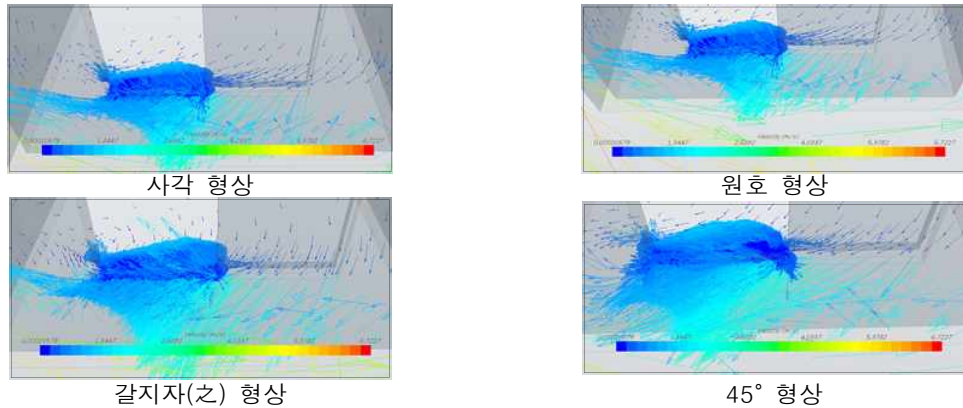


그림 2.18 집풍장치의 CFD분석 결과

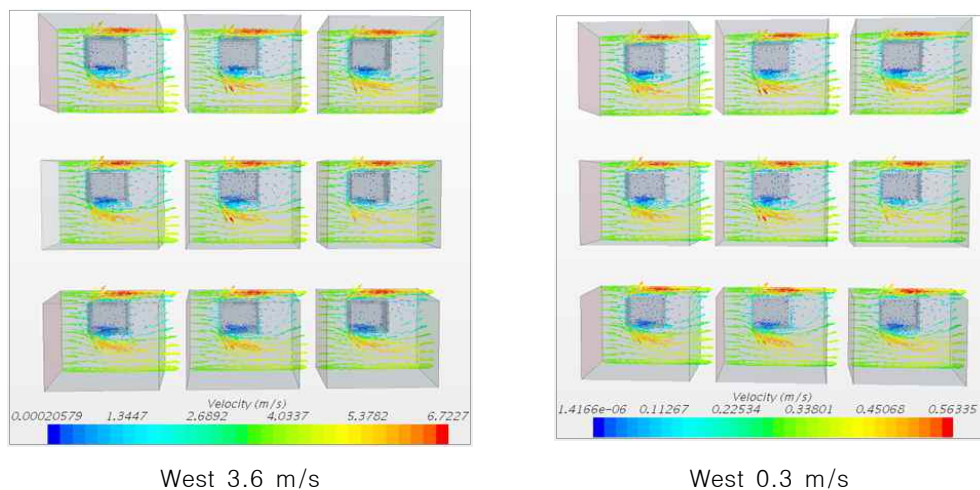


그림 2.19 풍속에 따른 집풍장치의 CFD분석 결과 비교

④ Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치에 따른 기류분석

㉠ Clark-Y 에어포일 개요

에어포일이란, 그림 2.20과 같이 비행기의 날개와 같은 형상의 2차원 단면이며 주로 앞전(leading-edge)을 둥글게 하고 뒷전(trailing-edge)을 뾰족하게 한 유선형 형상을 의미한다. 에어포일의 대표적인 형태는 미국의 항공자문위원(National Advisory Committee for Aeronautics; NACA)의 형상과 Clark-Y가 가장 일반적이다. 그 외에도 그림 2.21과 같이 Low-speed ULM wing, Airliner, Propeller blade, Supersonic interceptor 등의 에어포일 형상이 있다.

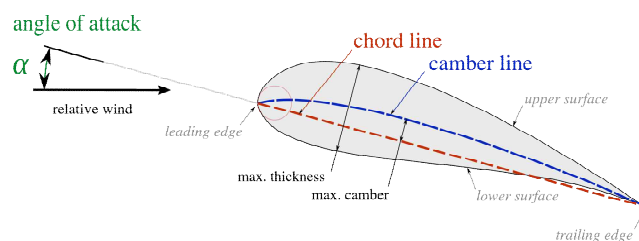


그림 2.20 에어포일 개요

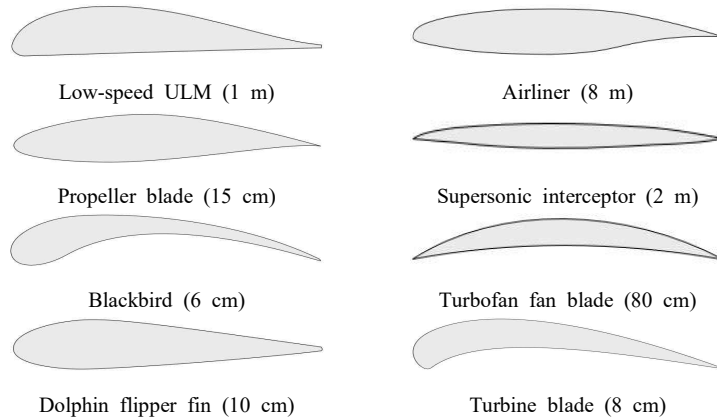


그림 2.21 다양한 에어포일의 형상

㉔ Clark-Y 에어포일의 특성

Clark-Y 에어포일 형상은 1922년 Virginus E. Clark에 의해 디자인 되었으며, 바닥면이 평평하기 때문에 디자인 단순화가 수월하여 범용 항공기 설계에 널리 사용되는 형상이다.

본 연구에서는 집풍루버의 디자인을 Clark-Y 에어포일 형상 기반으로 설계 및 제작하였다. Clark-Y는 최대 두께비(Thickness ratio)가 28% 위치에서 11.7%이고, 캠버(Camber) 3.4%에 최대 캠버 위치는 42%이다. 그림 2.22는 Clark-Y 에어포일의 단면과 양력계수, 항력계수의 특성을 나타낸다. 표 2.3은 Clark-Y 에어포일의 데이터이며 X좌표에 따른 블레이드의 상·하부의 Y좌표 값을 의미한다. 에어포일 형상을 설계할 때는 블레이드의 크기와 주속비 등에서 레이놀드수를 고려할 필요가 있지만 일반적으로는 무시하여 $Re=100,000$ 정도의 데이터를 바탕으로 설계한다. 영각은 상대적인 바람의 방향과 블레이드의 현 길이, 선각도를 뜻하는데 이 각도에 따라 블레이드에 작용하는 양력이 크게 변화한다. Clark-Y 에어포일은 영각을 8° 로 설정했을 때 최대 출력을 얻을 수 있으며, 형상에 따라 미세하게 다르지만 보통 양력계수 $CL=1$, 영각 $4\sim6^\circ$ 로 설정하면 큰 오차는 없다.

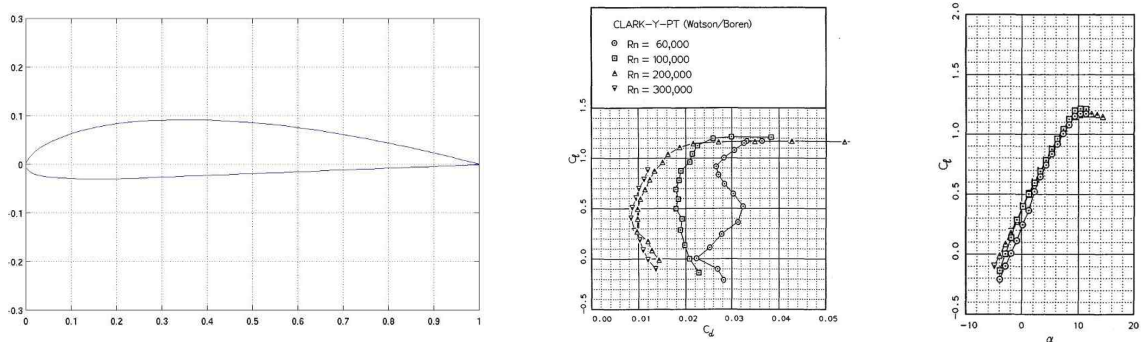


그림 2.22 Clark-Y 에어포일의 횡단면과 양력 및 항력 계수 특성

표 2.3 Clark-Y 에어포일 데이터

X	Y	
	상부	하부
0.00	3.50	3.50
1.25	5.45	1.93
2.50	6.50	1.47
5.00	7.90	0.93
7.50	8.85	0.63
10.00	9.60	0.42
15.00	10.68	0.15
20.00	11.36	0.00
30.00	11.70	0.00
40.00	11.40	0.00
50.00	10.52	0.00
60.00	9.15	0.00
70.00	7.35	0.00
80.00	5.22	0.00
90.00	2.80	0.00
95.00	1.49	0.00
100.00	0.12	0.00

㉠ Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 기류분석

Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치는 서울의 풍향·속을 기준으로 루버 선단을 주풍향인 서향으로 현의 길이는 220mm로 하였다. 그림 2.23은 Clark-Y 에어포일의 최적 각도 도출을 위하여 영각을 변경하여 모델링을 실시한 것이다. Clark-Y 에어포일은 영각을 8°로 설정했을 때 최대 출력을 얻을 수 있으며, 형상에 따라 미세하게 다르지만 보통 양력계수 CL=1, 영각 4~6°로 설정하면 큰 오차는 없기 때문에 기류분석의 조건의 영각은 0°, 1°, 2°, 4°, 8°의 5개로 분류하였다.

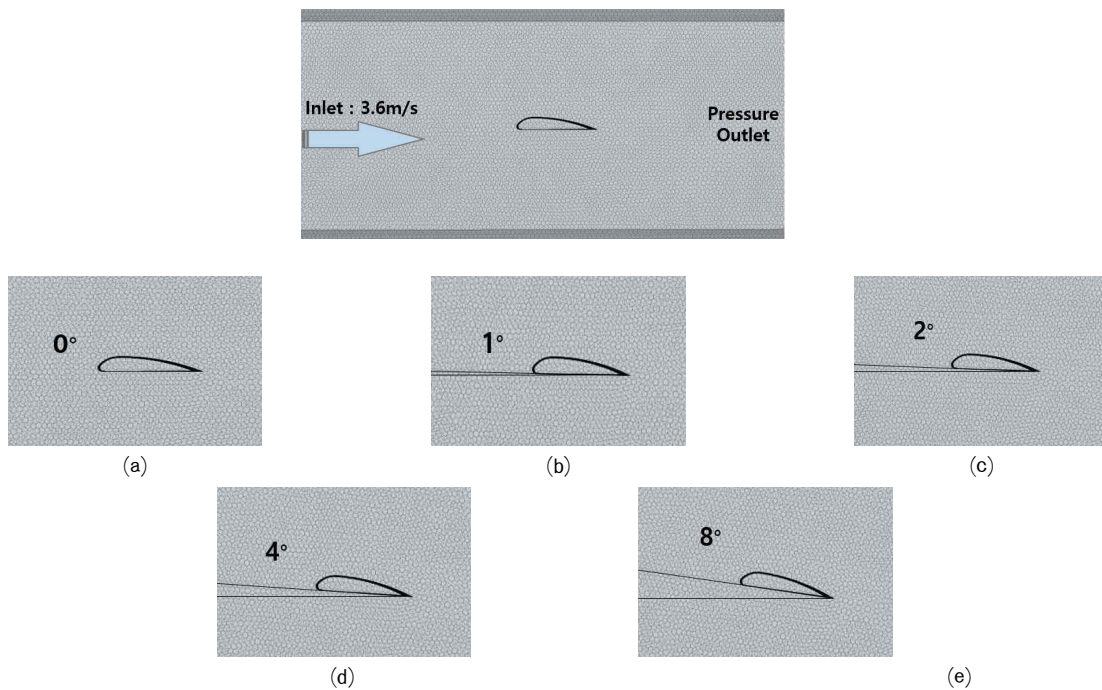
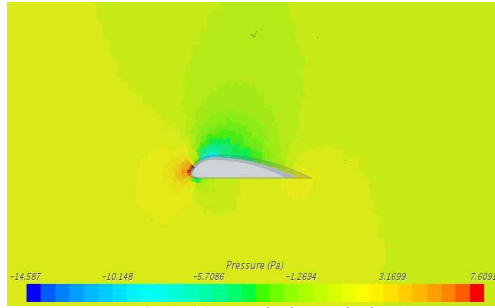
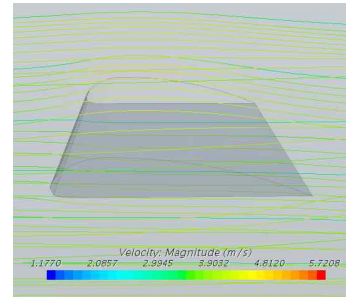


그림 2.23 시뮬레이션 분석을 위한 Clark-Y에어포일의 각도 모델링

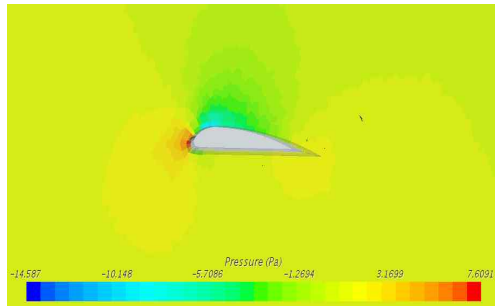
Clark-Y 에어포일 형상 집풍장치의 영각에 따른 기류분석결과는 그림 2.24와 같다. 즉, 영각이 높아질수록 루버의 상부 부압 형성 면적이 넓어지고 이에 따라 풍속이 빨라지는 것을 확인할 수 있다.



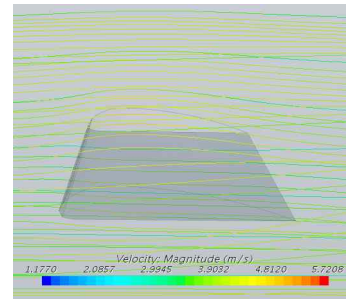
(a) 압력 분포 결과 : 영각 0°



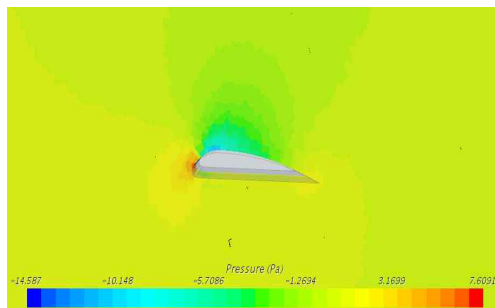
(b) 기류 분석 결과 : 0°



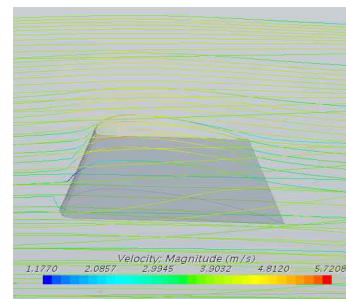
(c) 압력 분포 결과 : 영각 1°



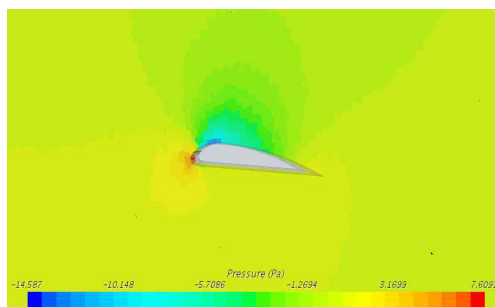
(d) 기류 분석 결과 : 1°



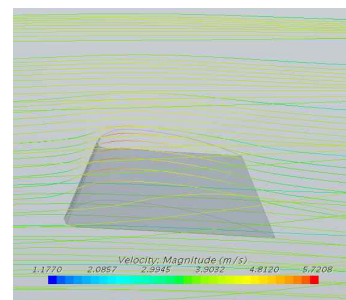
(e) 압력 분포 결과 : 영각 2°



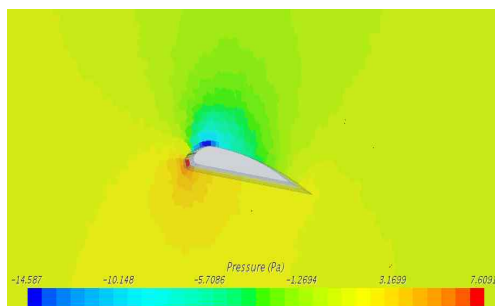
(f) 기류 분석 결과 : 2°



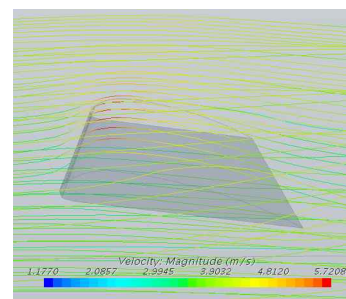
(g) 압력 분포 결과 : 영각 4°



(h) 기류 분석 결과 : 4°



(i) 압력 분포 결과 : 영각 8°



(j) 기류 분석 결과 : 8°

그림 2.24 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 기류분석 결과

(다) Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 제작 및 Mock-up Test

① Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 제작

앞 절의 연구결과를 기본으로 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치를 설계제작하였다. 크기는 길이 1200mm, 너비 220mm, 높이(최고) 30mm 로 취출구를 통해 고압으로 분사된 공기는 집풍장치의 상부 표면을 지나 후미로 흐르며 부압 형성 면적을 증가시키는 효과가 있다(그림 2.25 참조).



그림 2.25 제작된 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치

② 제작된 집풍장치의 Mock-up Test

제작된 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치의 환기성능을 실험하기 위해 Mock-up Room을 구축하였다(서울시 동작구 흑석동 C 대학). Mock-up Room은 동일한 두 개의 실로 구성되어 있으며 각 실의 바닥평면과 높이는 모두 2500mm * 2500mm * 2500mm 이다. Mock-up의 지붕 및 벽의 재질은 100mm 두께의 샌드위치 패널로 되어 있으며 표 2.4와 같이 남향에 가로*세로 2000mm*2000mm의 창호가 배치되어 있다. 이때, 집풍장치는 창호의 상하에 각각 설치하였으며, 외부 공기의 유동이 원활히 이루어지도록 창호에서 50mm 이격시켜 부착하였다.

성능실험은 표 2.4~2.5와 같이 Room1(집풍장치 미적용), Room2(집풍장치 적용)를 비교분석 하였다. 특히 성능실험을 환기효율과 미세먼지 저감효과를 분석하기 위하여 실내에 미세먼지를 발생시켜 농도를 800~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정한 뒤 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 저감되는 시간을 분석하였다.

바람의 방향은 서풍(0°)과 남풍(90°) 두 가지로 설정하였다. 서풍은 대한민국 서울의 주풍향이 며, 남풍은 Mock-up의 창호에 수직으로 유입될 수 있는 각도이다. 풍속은 3.5m/s 로 통일하였다.

측정요소는 미세먼지농도, 기류, 온·습도를 측정하였고, 표 2.6은 실험에 사용된 측정기기의 상세이다.

표 2.4 Mock-up 실험동 개요

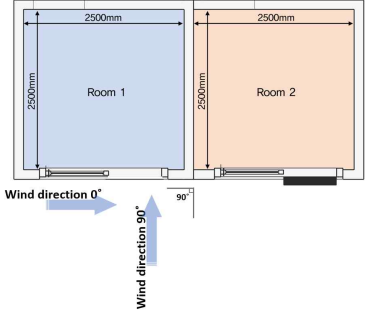
구분		내용	Mock-up 평면
높이		2.5m	
층수		1층	
향		정남향	
층고		2.4m	
바닥면적 (12.5m ²)	Room1	6.25m ²	
	Room2	6.25m ²	
지붕외피	Room1	집풍장치 미적용	
	Room2	집풍장치 적용	

표 2.5 실험방법 및 집풍장치 위치

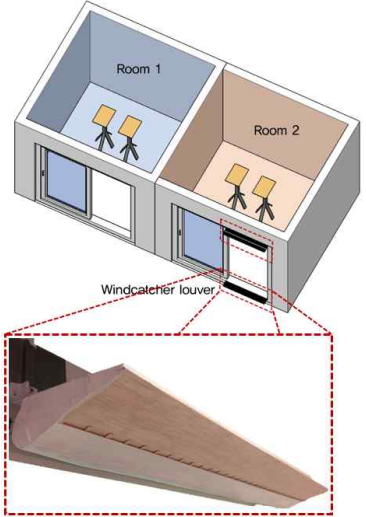
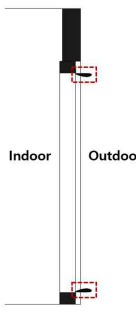
실험 대상	Room	Airfoil	Wind flow	집풍장치 위치	집풍루버 적용 사진
			Wind direction		
Expt. 1	Room1	집풍장치 미적용	3.5 m/s		
			0°		
Expt. 2			3.5 m/s		
			90°		
Expt. 3	Room2	집풍장치 적용	3.5 m/s		
			0°		
Expt. 4			3.5 m/s		
			90°		

표 2.6 실내 환경 요소 측정기기

측정항목		미세먼지 측정기		온·습도계		기류 측정기	
모델명		TSI 社 DUSTTRAK 8530		SATO 社 SK-L200T		KIMO 社 AMI310, SOM900	
측정기기 사양	Range	Concentration (mg/m ³)	0.001~400	Temperature (℃)	-15~65	Temperature (℃)	20~80
		Particle Size (μm)	0.1~10	Humidity (%RH)	10~99.9	Humidity (%RH)	0~100%RH
	Accuracy	±0.5% of factory set point Internal flow controlled (Flow Accuracy)		Temperature (℃)	0.1℃ at -9.9 to 65.0℃ 1℃ at -10℃ or less	Temperature (℃)	±3% Of the leading value ±0.25℃
				Humidity (%RH)	0.1%rh at 15.0 to 99.0%rh 1%rh at less tan 15.0%	Humidity (%RH)	±1.8%RH
						Wind Speed (m/s)	±3% Of the leading value ±0.05m/s
측정기기 사진							

Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 Mock-up 실험 결과 집풍장치를 적용하지 않은 실보다 적용한 실이 미세먼지 저감 성능이 약 37.5% 높게 나타났다. 특히, 서풍일 때 보다는 남풍일 때, 즉 바람의 방향이 0° 보다는 90°의 경우 높게 나타났다(표 2.7, 그림 2.26 참조).

표 2.7 Mock-up 실험 결과 요약

	Window	Time	Concentration of PM10	Particle matter reduction time
Expt. 1	Window open	19:38:39	1001 μg/m ³	6 min (360 sec)
	Window close	19:44:39	29.9 μg/m ³	
Expt. 2	Window open	23:20:16	1007.3 μg/m ³	5 min 20 sec (320 sec)
	Window close	23:25:36	30 μg/m ³	
Expt. 3	Window open	18:32:39	999.9 μg/m ³	5 min (300 sec)
	Window close	18:37:39	30.5 μg/m ³	
Expt. 4	Window open	20:56:16	1005.5 μg/m ³	3 min 20sec (200 sec)
	Window close	20:59:36	29.5 μg/m ³	

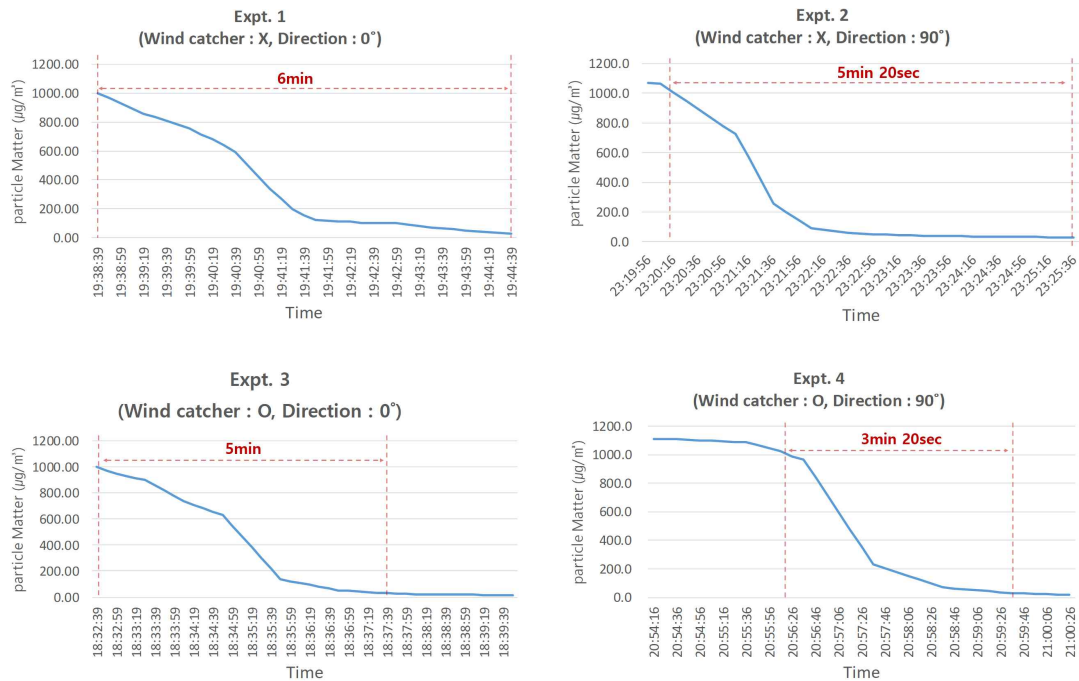


그림 2.26 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치 mock-up 실험 결과

② Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치의 간이 풍동 실험

제작 된 Clark-Y 에어포일 형상의 집풍장치의 간이 풍동실험을 실시하였다. 간이풍동실험 장치는 그림 2.27과 같으며 기류 측정기 설치 위치는 그림 2.28과 같다. 기류의 초기 풍속은 3.4m/s 로 설정하였다.

분석결과, 집풍장치 상단부의 기류 속도는 최고 4m/s까지 증가하는 것을 확인하였으며 그림 2.29는 에어포일의 상·하단부로 흐르는 스모그를 나타낸다.

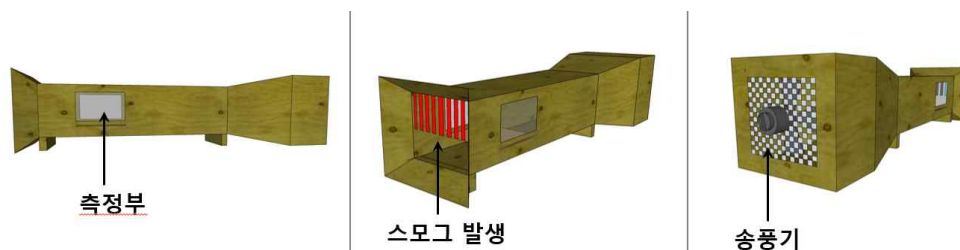


그림 2.27 간이 풍동 실험 장치 개요



그림 2.28 간이 풍동실험에 사용된 Clark-Y 에어포일 형상 집풍장치 단면과 기류 측정



그림 2.29 간이 풍동실험을 통한 Clark-Y 에어포일 형상 집풍장치 기류 분석



그림 2.30 에어글라이드의 베르누이효과 발생유도장치 실물모형

(라) 창호환기시스템 제작

앞절의 창호형 환기시스템(에어글라이드) 설계를 직접 실물제작하였다. 주요 기능으로는 베르누이효과의 에어글라이드, 필터, 열교환기, FAN, 댐퍼, 자동개폐기, 회전형 유로 등을 내장하고 있으며 특히, 실내외 환경변화에 대응한 창호유닛 on-off가 가능한 인공지능 기능등을 포함한다. 그림 2.31은 상세도면 및 개요도를 보여준다.

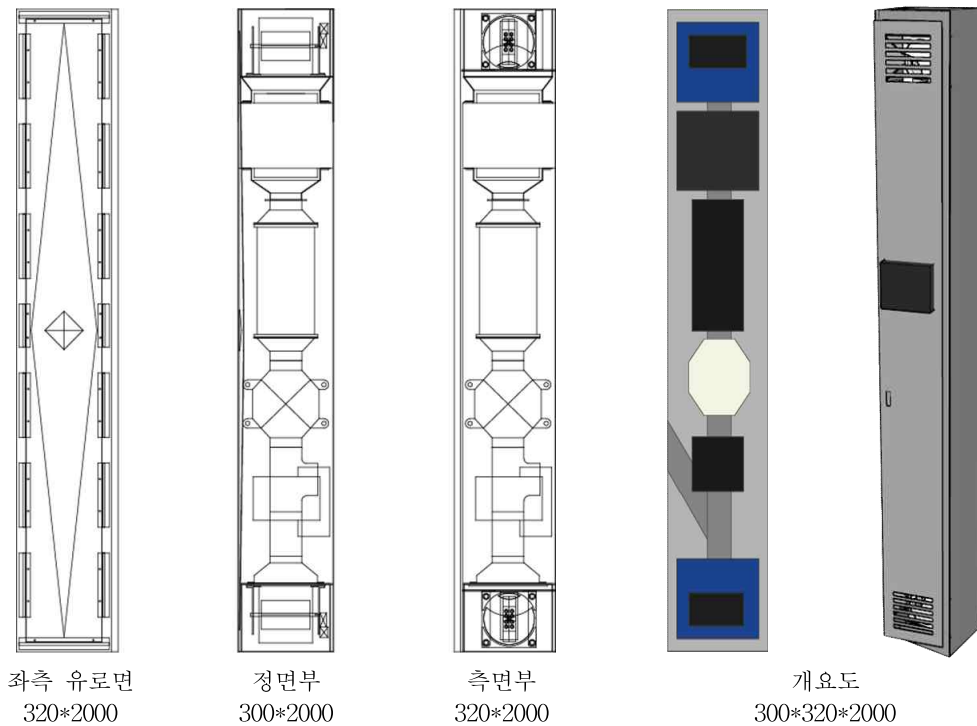


그림 2.31 창호형 환기시스템(에어글라이드)의 상세도면 및 개요도

표 2.8에서 필터는 전문가가 아닌 일반사용자도 손쉽게 탈착이 가능하도록 서랍식으로 구성되어 있기 때문에 유지·관리의 용이성을 높였다. 열교환기는 세라믹재질로써 열교환 효율이 89%이상이며, FAN의 최대풍량은 3.9CMM이며, 최대정압은 37~44mmAq이다. 또한 자동개폐기를 연결하여 자동으로 창호가 개폐될 수 있도록 하였다. 부품별 상세 가격은 한국물가정보원 및 각 제조사의 홈페이지에서 참고하였으며 가격은 다음과 같다. HEPA필터 26,400원(A사), 열교환기 1,000,000원(I사), Fan 71,900원(D사), 자동개폐기 319,000원(H사)이며, 스테인레스스틸(SUS304) 재질의 케이스는 자체 제작으로 464,500원이 소요되었다. 따라서, 창호환기시스템 제작은 총 1,881,800원이다. 본 제품은 개별 생산 시의 단가이며 대량생산 시 생산 가격이 더욱 낮아질 수 있을 것으로 사료된다. 표

표 2.8 창호형 환기시스템(에어글라이드)의 상세 부품 및 사양

	부품명	제조사	성능	사진
	① 필터	-	☐ 여재 : 내수성 유리섬유 ☐ 분리재 : 종이, AL ☐ 프레임 : 합판, AL, SUS ☐ 압력손실 : 25 ~ 50 mmAq ☐ DOP E = 99.97%, 0.3 μ m ☐ 최고사용온도 : 60℃ 이하	
	② 열교환기	inVENTER	☐ 흡기 air 볼륨 : 13.5 ~ 28 m ³ /h ☐ 배기 air 볼륨 : 27 ~ 56 m ³ /h ☐ 효율 : 89% 이상 ☐ 적용온도범위 : -20℃ ~ 50℃ ☐ 표준소음 : 36 ~ 42dB	
	③ Fan (DJF-10)	(주)동건 공업	☐ 220V ☐ 전류 : 0.35 ~ 0.45A ☐ 소비전력 : 75W ☐ 회전수 : 2,710 RPM ☐ 최대풍량 : 3.9 CMM, 250 CFM ☐ 최대정압 : 37 ~ 44mmAq	
	④ 댐퍼 (HM-220VH4)	한일전자	☐ AC 220V 50/60Hz (단상) ☐ 회전력 : 60N·m ☐ 소비전류 - 무부하동작 : 0.5W - 최대부하동작 : 7.2W	
	자동개폐기	(주)한일 배연창	☐ DC 24V 모터 (35N, 100kg) ☐ 소비전류 : - 무부하동작 : 25W - 최대부하동작 : 50W	

표 2.9 각 상세 부품별 가격 조사(한국물가정보원 및 제조사 홈페이지)

부품명	가격
필터	26,400원
열교환기	1,000,000원
Fan (DJF-10)	71,900원
댐퍼 (HM-220VH4)	75,000원
자동개폐기	319,000원
케이스 (SUS 304)	464,500원
합계	1,881,800원

본 연구에서 개발한 장호환기시스템(에어글라이드)의 성능검증을 위해 Mock-up 실험을 실시하였다. 특히 Mock-up 실험을 통하여 실내미세먼지 60%저감 및 인체쾌적지수 30%향상에 대한 정량적 비교·분석 데이터 산출하였다(표 2.11 참조)

구분	내용		Mock-up 평면도
높이	2.5m		
층수	1층		
향	정남향		
층고	2.4m		
지붕면적	총 지붕면적(26㎡)	Room1 : 6.25㎡	
		Room2 : 6.25㎡	
		Room3 : 6.25㎡	
지붕외피	Room1	기초실	
	Room2	일반창호환기	
	Room3	창호환기(에어글라이드)	

⑦ 실험 분석 조건

집풍장치의 성능실험은 실내 미세먼지 저감효과를 Base model 과의 비교·분석을 실시하였다. 미세먼지의 농도 발생을 위해 향을 사용하였으며, Mock-up 실험 시 창호의 개방은 향이 전부 연소 된 후 실의 농도가 약 $1,200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 도달 하였을 때 실시하였고, 초기 배경농도는 약 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 하락하는 시간을 비교하였다. 창호를 개방하였을 때의 실외 풍속은 모두 1.2m/s 로 동일하게 설정하였다(표 2.10 참조).

구분	방법	창호개폐	환기장치 작동	환기 방식	풍속	초기농도/ 분석시작 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
대조군	Base model	X	X	환기 X	1.2m/s	34 / 1170
	10cm open	10cm	X	자연 환기		31 / 1100
	20cm open	20cm	X	자연 환기		32 / 1210
	40cm open	40cm	X	자연 환기		29 / 1100
	80cm open	80cm	X	자연 환기		34 / 1090
실험군	80cm open + 집풍장치	80cm	X	자연 + 기계 환기		32 / 1190

- Base Model과 창호개방면적(Closed, 10cm, 20cm, 40cm, 80cm)에 따른 미세먼지 농도 저감 추세를 확인하였다(그림 2.32 참조). 즉, Closed일 때는 초기 미세먼지 농도에 도달하는데 23시간이 소요되었고, 10cm 개방시에는 2시간 53분, 20cm 개방시 2시간 43분, 40cm 개방시 1시간, 80cm 개방시 12분 순으로 개방면적이 상승할수록 미세먼지 농도가 급격히 저감되고 있었음.

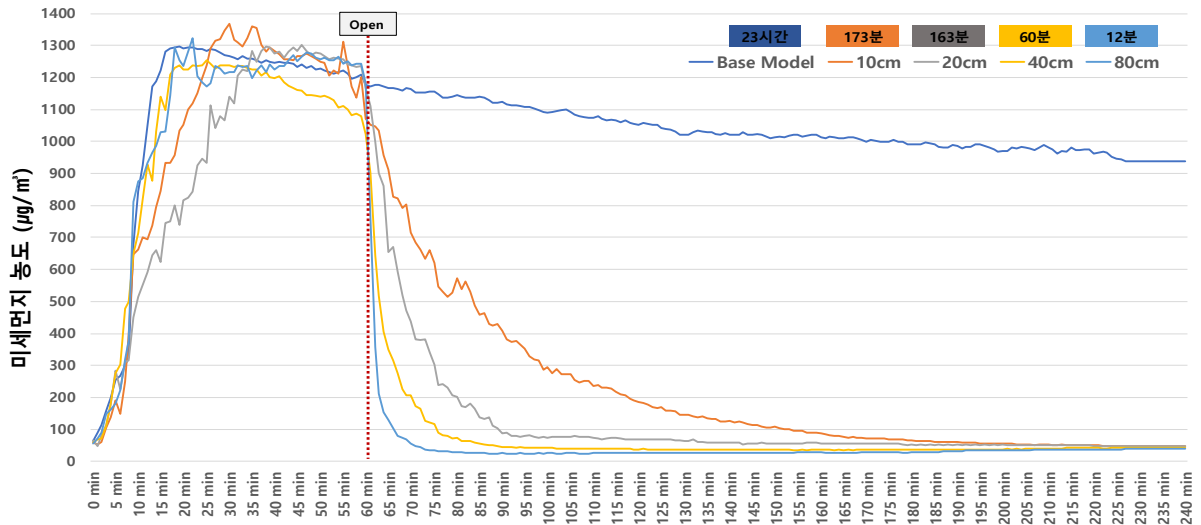


그림 2.32 집풍장치의 창호 개방면적에 따른 실내미세먼지 농도 비교

- 창호환기시스템은 집풍장치를 통해 베르누이 효과가 활용이 가능하며, 이를 작동 시 창호를 모두 개방한 Base Model(12분) 대비 실내미세먼지를 50%(6분) 빠르게 저감하는 성능을 보임(그림 2.33)

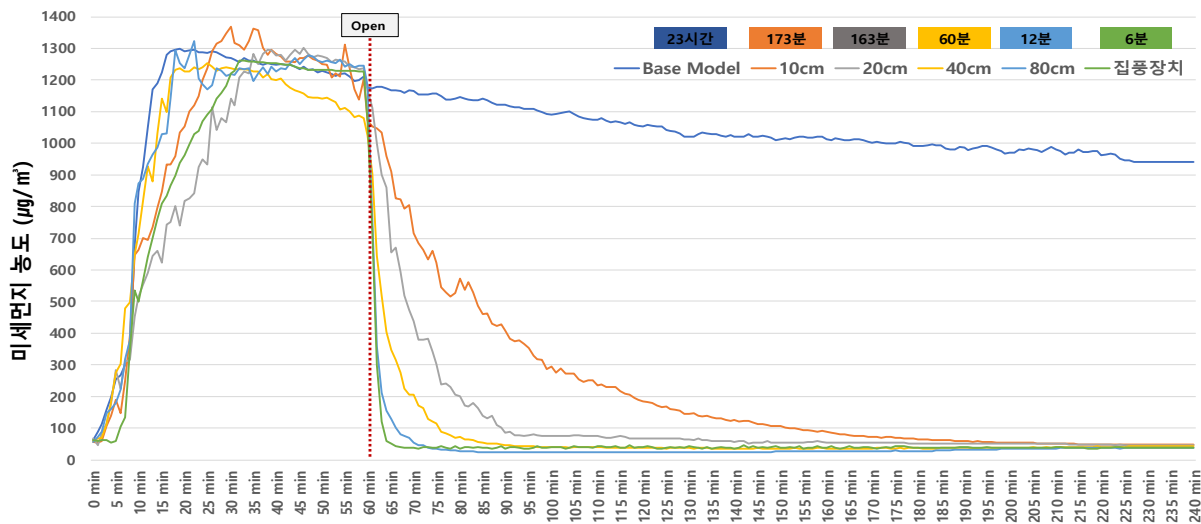


그림 2.33 Base Model과 집풍장치의 성능 비교 실험 결과

② 환기장치의 성능실험

㉠ 실험 분석 조건

Base model 과의 비교·분석을 통해 실내 미세먼지 60% 저감, 열쾌적 30% 향상에 대한 비교·분석 데이터 산출하였다. 실험방법은 그림 2.34와 같이 환기장치가 설치되어 있는 애플 Base model(Room2)과 환기장치가 설치되어 있는 Alternate Model(Room3)에서의 미세먼지 농도와 온·습도를 측정하여 데이터를 비교하는 방식으로 하였다. 미세먼지 발생은 향초 1개 완전연소 시 약 $1200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세먼지농도를 비교하였다(그림 2.35).

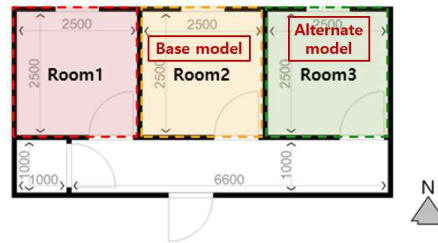


그림 2.34 Mock-up 실험동



2.35 향초 발생(좌) 및 미세먼지 측정(우)

그림 2.36은 창호환기시스템(에어글라이드)의 작동 Mode이다. 즉, 작동 Mode는 총 4단계이며, 『Mode 1』은 실외의 공기를 흡입하여 실내로 유입, 『Mode 2』는 실내의 공기를 순환 및 필터링, 『Mode 3』은 창호를 열고 집풍장치(베르누이효과)에 의한 환기효율 상승, 『Mode 4』는 열교환기 가동(70초).

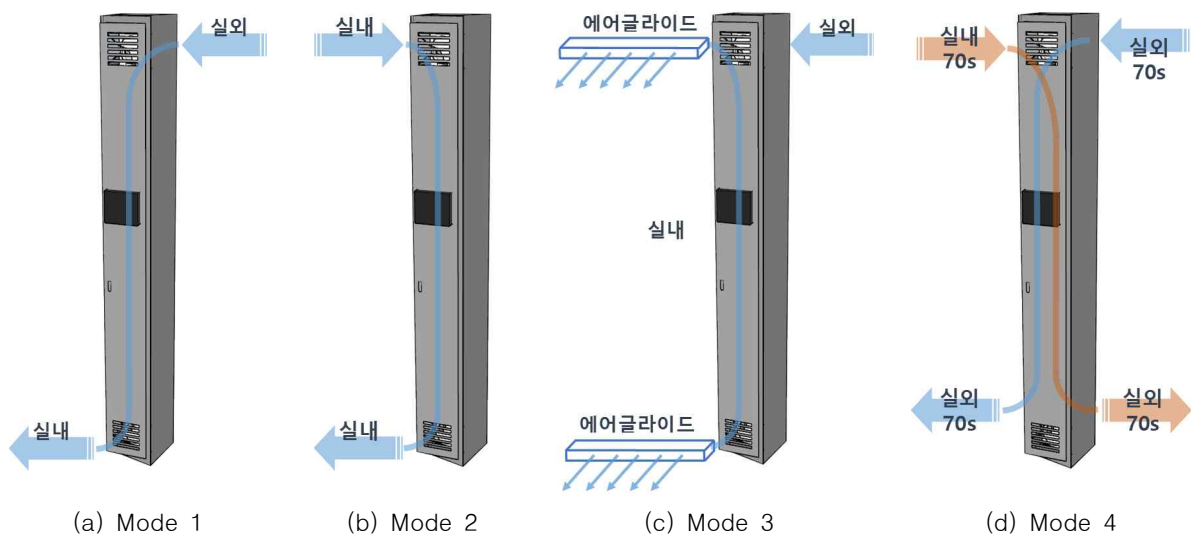


그림 2.36 창호환기시스템(에어글라이드)의 작동 Mode 단계

㉠ 실험 결과

a) 창호환기시스템의 실내미세먼지 60% 저감 성능

Base model 과의 비교·분석을 통해 실내 미세먼지 60% 저감에 대한 비교·분석 데이터

산출하였다. 실험방법은 표 2.11과 같이 환기장치가 설치되어 있는 얇은 Base model과 환기장치가 설치되어 있는 실의 미세먼지 농도를 측정하여 데이터를 비교하는 방식으로 하였다. 미세먼지 발생은 향을 사용하였으며, 약 $1200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세먼지농도 도달 시 분석을 시작하였다.

표 2.12 창호개폐 및 환기장치 작동 유무

구분	방법	창호개폐	환기장치 작동	환기 방식
대조군	Base model	X	X	
실험군	창호환기시스템 Mode 1	X	O	(외부 → 내부)
	창호환기시스템 Mode 2	X	O	(내부 순환 : 필터링)
	창호환기시스템 Mode 3	O	O	(집풍장치)
	창호환기시스템 Mode 4	X	O	(외부 ↔ 내부) 70초 간격 열교환

- Mode 1은 실내가 실외 보다 오염도가 높고 외기와의 온도차가 크지 않아 쾌적도에 영향을 크게 미치지 않을 경우 작동하며, 작동 방식은 실외의 공기가 필터를 걸쳐 실내로 유입되어 실내 공기 정화를 목표로 함.
- 창호환기시스템 Mode 1의 실내미세먼지 초기농도($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) 도달 시간은 25분이 소요됨을 확인하였으며, Base Model 대비 실내미세먼지의 농도가 96.5% 저감 된 것을 확인. (그림 2.37)

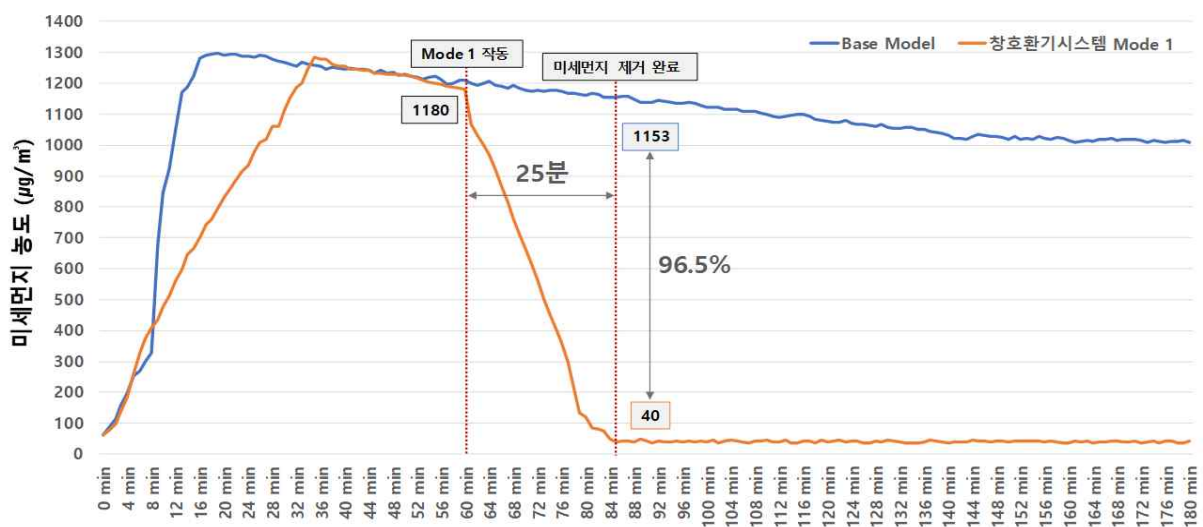


그림 2.37 창호환기시스템 Mode 1 적용 실내미세먼지 농도

- Mode 2는 실외가 실내 보다 오염도가 높고 외기와의 온도차가 실내 쾌적도에 영향을 미칠 경우 작동하며, 실내의 공기를 필터링 하여 순환하는 방식이다.
- 창호환기시스템 Mode 2의 실내미세먼지 초기농도($49\mu\text{g}/\text{m}^3$) 도달 시간은 1시간 56분이 소요

됨을 확인하였으며, Base Model 대비 실내미세먼지의 농도가 95.2% 저감 된 것을 확인. (그림 2.38)

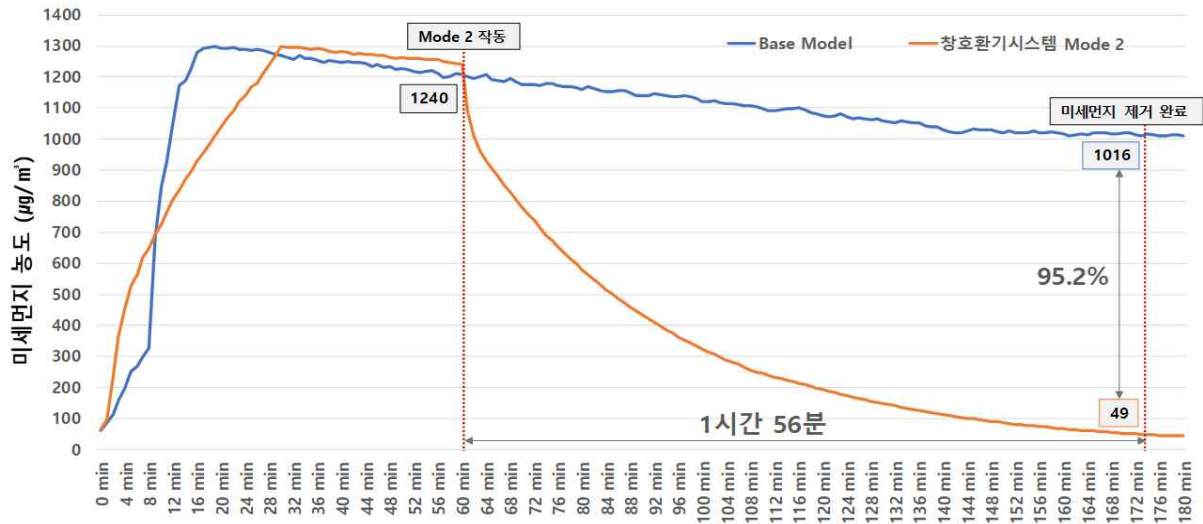


그림 2.38 창호환기시스템 Mode 2 적용 실내미세먼지 농도 비교

- Mode 3는 실내의 오염도가 실외 보다 높고 외기와의 온도차가 쾌적도에 영향을 미치지 않을 경우 작동하며, 창호를 개방하고 집풍장치(에어글라이드)의 베르누이 효과를 활용하여 환기 효율을 향상 시킨다.
- 창호환기시스템 Mode 3의 실내미세먼지 초기농도($48\mu\text{g}/\text{m}^3$) 도달 시간은 6분이 소요됨을 확인하였으며, Base Model 대비 실내미세먼지의 농도가 96% 저감 된 것을 확인. (그림 2.39)

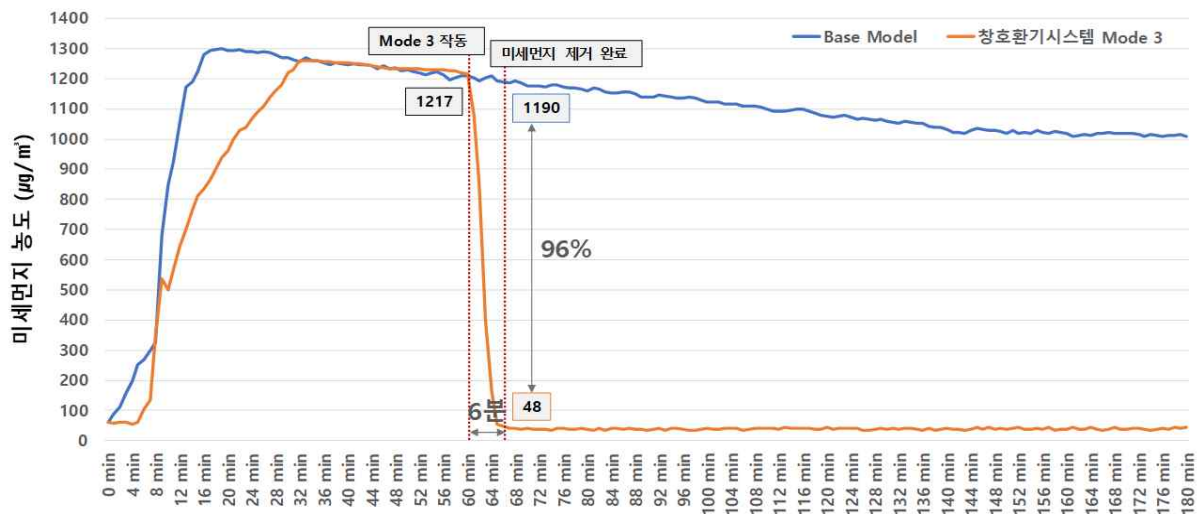


그림 2.39 창호환기시스템 Mode 3 적용 실내미세먼지 농도 비교

- Mode 4는 실내의 오염도가 실외 보다 높으며, 외기와의 온도차가 크기 때문에 실내 열쾌적도에 영향을 미치는 경우 작동하며, 열교환기를 활용하여 실내·외 공기를 70초 간격으로 유입 및 배출한다.
- 창호환기시스템 Mode 4 작동 시 실내미세먼지 초기 농도 도달 시간은 1시간 13분이 소요됨

을 확인하였으며, Base Model 대비 실내미세먼지의 농도가 95.5% 저감 된 것을 확인. (그림 2.40)

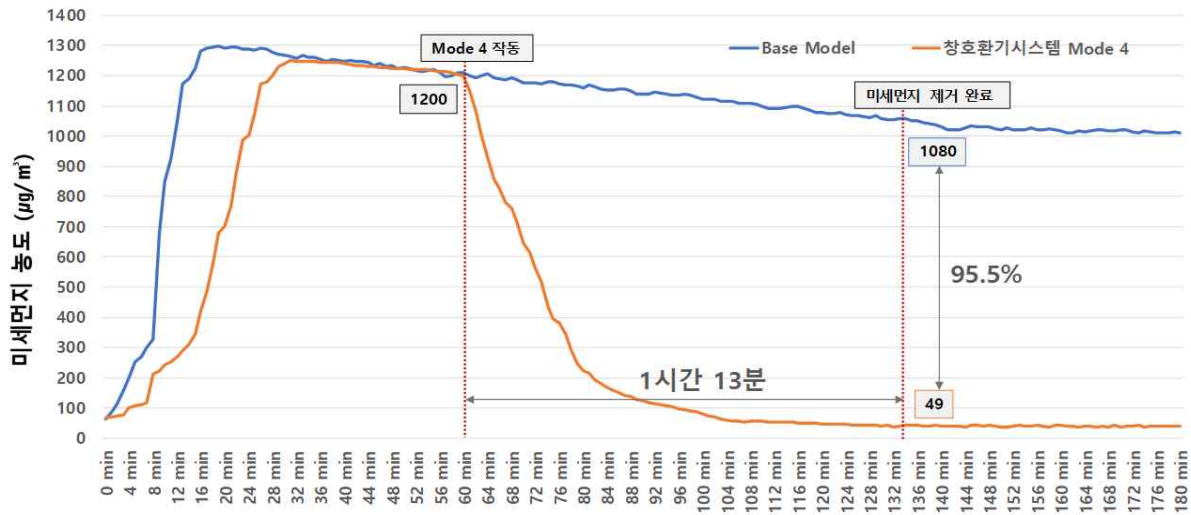


그림 2.40 창호환기시스템 Mode 4 적용 실내미세먼지 농도 비교

- 따라서, 창호환기시스템의 동작 시 Base model 대비 95.2%~96.5% 까지 실내미세먼지의 농도를 저감 성능을 향상 시킬 수 있는 것을 확인하였다.

b) 창호 환기시스템의 열쾌적지수 30% 향상

Base model 과의 비교·분석을 통해 실내 열쾌적 30% 향상에 대한 비교·분석 데이터 산출하였다. 실험방법은 표 2.12과 같이 환기장치가 설치되어 있는 얇은 Base mode과 환기장치가 설치되어 열교환을 할 수 있는 실험군을 비교하는 방식으로 하였다. 열쾌적의 기준은 ASHRAE Standard 55-2010을 활용하여 온·습도 기준으로 선정하였다.(그림 2.41).

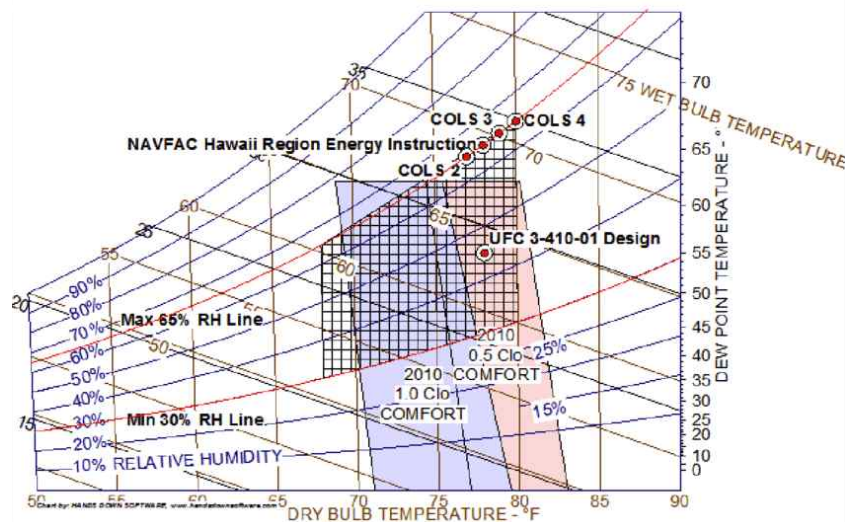


그림 2.41 ASHRAE Standard 55-2010

표 2.13 창호환기시스템 열쾌적지수 향상 성능 실험

구분	방법	상태
대조군	Base model	창호 80cm 개방 - 자연 환기
실험군	창호환기시스템 열교환기 사용	창호 미개방 - 열교환 환기

- Base Model의 의 경우 창호 개방 전 실내 온도는 27.6℃에서 미세먼지 제거 완료 시점의 온도는 15.6℃로 실내 온도는 12℃(43.5%) 하락하였으며, 이는 온·습도 범위 모두 쾌적온도 범위에서 벗어남을 확인하였다(그림 2.42).

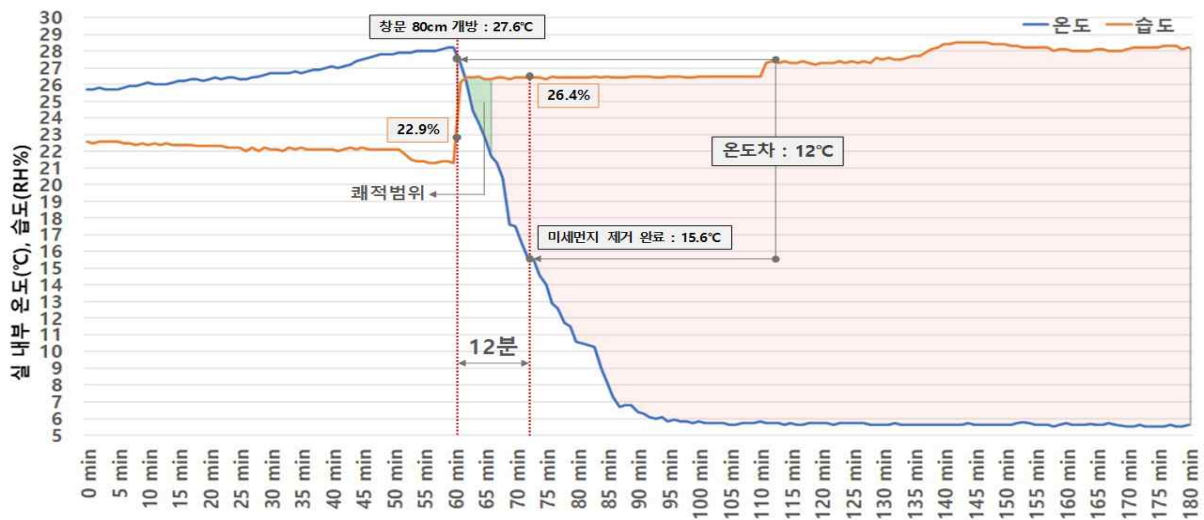


그림 2.42 Base Model 창호 80cm 개방 온도 및 습도 비교

- 창호환기시스템의 열교환기를 사용하였을 때, 시스템 작동 전 실내 온도는 27.6℃였으며, 미세먼지 제거 완료 시점의 실내 온도는 25.5℃로 2.1℃(7.7%) 하락하였으며, 이는 온·습도 모두 쾌적 범위에 해당되는 것을 확인하였다(그림 2.43).

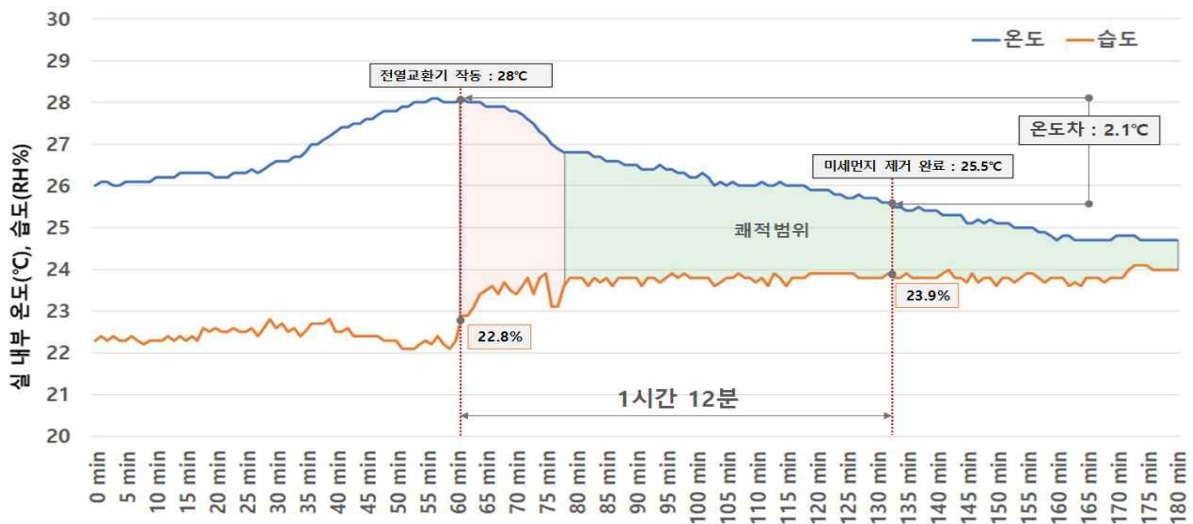


그림 2.43 창호환기시스템 전열교환기 적용 온도 및 습도 비교

따라서 열쾌적지수의 성능 검증 결과 미세먼지를 저감시키기 위해 환기를 하였을 때, Base model의 실내 온도는 12℃ 하락하였고 열교환기 적용 시 2.1℃만 하락하여 두 실의 온도차는 9.9℃이며, 열교환기 사용 시 열쾌적 범위에 해당되지만 Base model은 열쾌적 범위에서 벗어나는 것으로 나타났다. 즉 열교환기를 적용하였을 때 온도 하락에 의한 열손실을 82.5% 보완가능하다.

표 2.14 열교환기 적용 시 온도 하락 비교

Base model (창호 80cm 개방)	열교환기 적용	온도차
12℃	2.1℃	9.9℃

(바) 건물 높이에 따른 풍압 안정성 검토

㉠ 시뮬레이션 분석 조건

- ☐ 건물의 높이 별 풍압을 검토하기 위하여 시뮬레이션 실시. 시뮬레이션 해석 프로그램은 Siemens사의 STAR-CCM+(ver13.04.011)로 실시
- ☐ 상세한 시뮬레이션 입력 경계값은 표 2.14와 같음
- ☐ 풍속값 (평균 : 2.5m/s, 최고 3.4m/s) : 서울의 5년간 평균 및 최고풍속 사용 (기상청 ; 2013~2017)
- ☐ 표 2.15는 서울의 최근 5년간 평균 및 최고 풍속을 보여줌
- ☐ 시뮬레이션 모델링의 지면거칠기(Roughnesslength) 적용
- ☐ 지면거칠기는 중립안정도 조건하에서 대부분 0.1~0.6의 범위를 지니며, 본 시뮬레이션에서는 고층건물이 밀집한 지역과 주택가 등이 밀집한 지역의 평균값 0.25 적용(표 2.16)
- ☐ Deacon 방정식을 통해 높이에 따른 풍속 보정하여 적용(표 2.17, 그림 2.44)

표 2.15 시뮬레이션 물리적 조건

Physics Conditions	
Item	Factor
Space	Three Dimensional
Time	Steady
Material	Gas
Flow	Segregated Flow
Equation of State	Ideal Gas
Energy	Segregated Fluid Temperature
Viscous Regime	Turbulent
Reynolds-Averaged Turbulence	K-Epsilon Turbulence

표 2.16 최근 5년 평균 풍속

서울 5년 월평균 풍속 (m/s)												
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
13년	2.7	2.9	3	3.4	2.9	2.2	3.4	2.8	2.2	2.5	2.7	2.4
14년	2.4	2.7	3	2.8	3.2	2.6	2.8	2.4	2.1	2.4	2.5	2.8
15년	2.6	2.9	3.1	3.1	2.9	2.6	2.8	2.4	2.3	2.3	2.7	2.3
16년	2.5	2.7	2.4	2.4	2.4	2.1	2.1	2.1	2	2.1	2.2	2.2
17년	2.3	2.5	2.4	2.6	2.4	2.4	2	2.3	2	1.9	2.1	1.8
평균풍속 : 2.5 최고풍속 : 3.4												

표 2.17 지면 상태에 따른 P 값

P	지면상태
0.1	해수면등과 같이 표면 상태가 매끈한 지역(지면 거칠기가 매우 작은 지역)
0.2	주택가 등의 저층건물이 산재한 지역(지면 거칠기가 다소 큰 지역)
0.3	초고층건물이 밀집한 지역(지면 거칠기가 매우 큰 지역)

□ 높이별 풍속 분포는 해석영역인 650m x 550m x 250m에 맞춰 10m씩 250m까지 적용 (식1)

$$U_2 = U_1 \times \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^P \quad (\text{식1})$$

U_2 : 고도에서 Z_1 에서의 풍속(m/s)

U_1 : 고도에서 Z_2 에서의 풍속(m/s)

Z_1 : 임의 고도1(m)

Z_2 : 임의 고도2(m)

P : 풍속할증계수(wind shear)

표 2.18 Deacon 방정식 적용 높이별 풍속

높이(m)	평균풍속(m/s)	높이(m)	평균풍속(m/s)
10	2.5	130	4.7
20	2.9	140	4.8
30	3.3	150	4.9
40	3.5	160	5.0
50	3.7	170	5.1
60	3.9	180	5.1
70	4.0	190	5.2
80	4.2	200	5.3
90	4.3	210	5.3
100	4.4	220	5.4
110	4.5	230	5.5
120	4.6		

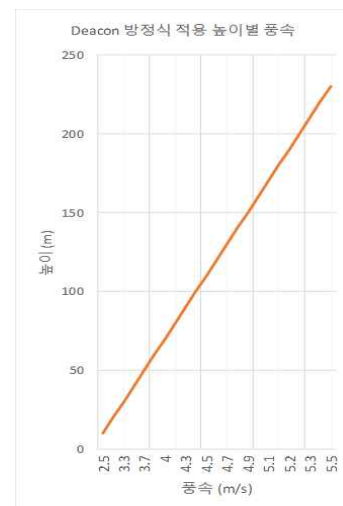


그림 2.44 Deacon 방정식
높이별 풍속

□ 분석에 사용된 제품은 K사의 LS 발코니 창호로, 규격 및 시험성적서 결과는 표 2.18~19와 같다.

표 2.19 창호환기시스템 적용 창호 규격

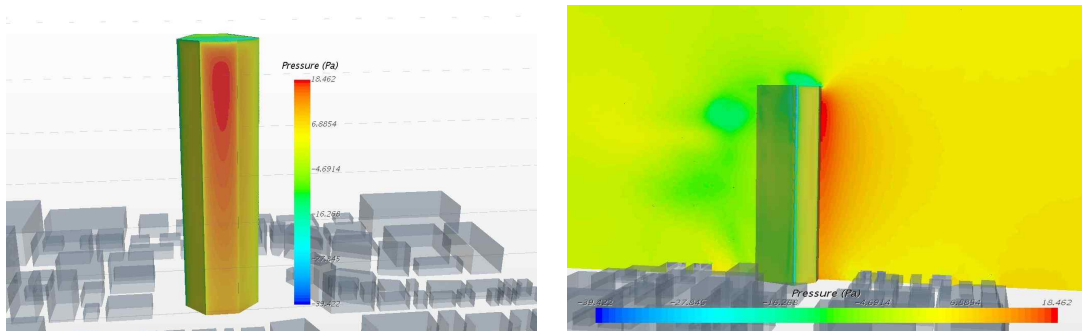
적용 공간	규격(mm)	
	가로	세로
실험실 1	2,050	2,050
실험실 2	2,420	2,050

표 2.20 창호환기시스템 적용 창호 시험성적서

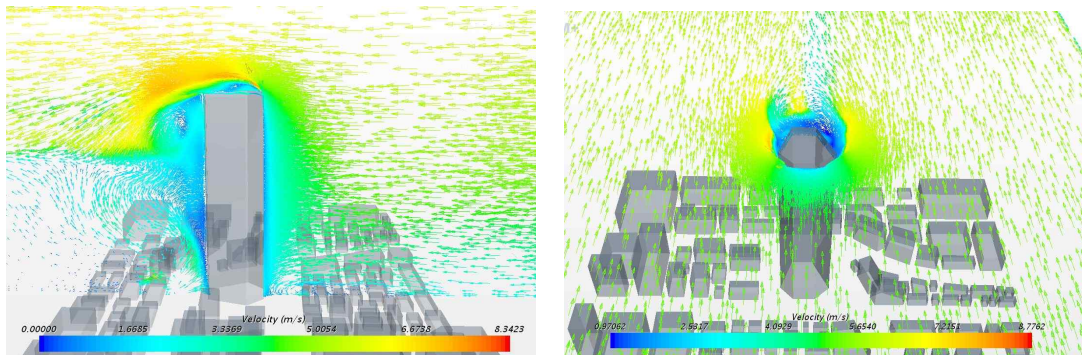
구성재료	합성수지 및 유리			실험환경	온도 : (33.1±1.0)℃ 습도 : (67±5)%R.H.
실험체 크기	높이(mm)			폭(mm)	
	2000			2000	
유리구성	두께(mm)	실내	22	상세	5일반+12공기+5일반
		실외	22		5일반+12공기+5일반
시험등급	80 등급 (최대시험압력 : ±800Pa)				
* 반복시험(80 등급) : 이상 없음				SPEC : 1.785 /100 = 17.87	
* 안전성 시험(80 등급) : 이상없음					
시험결과	80 등급 합격				

㉠ 시뮬레이션 결과

□ 건물의 높이 별 풍압을 검토하기 위하여 시뮬레이션 실시하였다. 분석 결과 건물 외면의 최대 풍압은 18.4Pa로 나타났으며, 다음의 그림 2.45와 같다.



건물 외면 최대 풍압 18.4Pa



건물 외면 최대 풍속 8.7m/s

그림 2.45 5년간 서울 평균풍속 2.5m/s

□ 본 분석에 사용된 제품은 K사의 LS 발코니 창호로, 시험등급80 등급이며 최대시험압력은 $\pm 800\text{Pa}$ 이다. 따라서, 본 연구에서 개발하고자 하는 창호환기시스템은 CFD분석 결과 건물높이가 큰 초고층 주택(55층 175m)의 18.4Pa의 환경에서도 안전하다고 판단된다.

(사) 결로 및 단열에 대한 검토

(A) 창호환기시스템(에어글라이드)에 적용가능한 단열재 분석

표 2.21 단열재별 밀도 및 열전도율

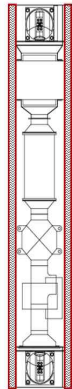
재료		밀도 [kg/m ³]	열전도율 [W/m·°C]
섬유재	유리섬유	200	0.042
	암면	200	0.042
	광질면	180	0.042
	암면성형판	330	0.062
	유리면성형판	100	0.036
	셀룰로오스면	45	0.045
입자형	질석	550	0.116
	퍼라이트	65	0.042
	톱밥	200	0.128
짚	갈대	270	0.090
	밀짚	240	0.070
코르크	코르크판	160	0.044
섬유판	연질	288	0.058
	경질	880	0.116
	파티클	592	0.081
발포수지	페놀발포	30	0.038
	폴리스티렌	15	0.037
	압출발포폴리스티렌	28	0.036
	폴리우레탄	30	0.026
	폴리에틸렌	30	0.035
	경질고무	72	0.033
	우레아폼	10	0.040
	퍼라이트폼	65	0.042
재료		반사율 [%]	평균방사율 [ε]
반사형	알루미늄 호일	92~97	0.05
	알루미늄 시트	80~95	0.12
	알루미늄 코팅 종이	75~84	0.20
	도금 강	70~80	0.25

	알루미늄 페인트	30~70	0.50
--	----------	-------	------

표 2.20 에서 살펴본 바와 같이 창호환기시스템(에어글라이드)에 적용가능한 단열재로는 발포 폴리스티렌(EPS; Expanded Poly Styrene)과 알루미늄 시트가 제안되었다. 특히, EPS는 비드법 단열재로도 불리며, 시공성이 좋고 가격이 저렴하며 시간의 경과에도 단열성능의 변화가 거의 없어 가장 널리 사용되는 단열재 중 하나이다. 또한, 알루미늄 시트는 공기층이 있을 경우 우수한 성능을 나타내며 시공성이 우수하다.

따라서 창호환기시스템의 외부측은 EPS로 단열성을 보완하였으며, 내부의 개구부 측에는 알루미늄시트로 보완하였다. 표 2.21은 창호환기시스템(에어글라이드)에 단열재를 적용 전·후의 열화상 카메라 측정결과이다. 측정에 사용 된 열화상 카메라는 FLIR i5로 외부온도 3.4℃일 때 단열재 적용 후 최대 15.3℃ 평균 11.1℃의 온도 상승효과가 나타났음을 확인하였다. 특히 온도상승으로 결로 발생 위험성도 낮출 수 있을 것으로 판단되었다.

표 2.22 단열재 적용 개요 및 성능

단열재 적용 위치	단열재 적용 전	단열재 적용 후	온도 차
실 외 ↓ EPS  실 내 ← 알루미늄 시트	 11.5℃	 26.8℃	15.3℃
	 11.4℃	 19.8℃	8.4℃
	 12.6℃	 22.2℃	9.6℃

(아) 창호환기시스템의 전기 안전 관리

KC인증에서는 전원코드세트, 스위치, 전기용품 보호용부품, 소켓, 전원용 커패시터 및 전원필

터, 전기설비용 부속품 및 연결부품을 제외하고는 전수검사를 원칙으로 하고 있다. KC인증에서 규정하고 있는 자체검사의 제품 검사 항목은 표 2.22와 같다.

창호환기시스템은 전선, 전원 등 전기용품이 포함되어 있어 ‘전기용품 및 생활용품 안전관리법’에 의해 전기용품 안전 인증이 필요하다. 본 연구에서의 창호환기시스템은 상용화단계가 아닌 원천기술 확보를 위한 기초 연구로써 자체검사 항목에 준하는 검사를 실시한 결과 이상이 없었다.

표 2.23 전기용품 및 생활용품 안전관리법의 자체검사

제품분류	검사항목	적합성
전선 및 전원코드	(1) 재료 및 구조	○
	(2) 물리적 특성	○
	(3) 전기적 특성	○
	(4) 내연성	○
	(5) 표시	○
전기기기용 스위치	(1) 표시사항	○
	(2) 감전에 대한 보호	○
	(3) 접지에 대한 보호	○
	(4) 단자 및 단자부	○
	(5) 구조	○
	(6) 고형물, 먼지와 물에 대한 보호 및 내습성	○
	(7) 절연저항 및 내전압	○
	(8) 온도상승	○
	(9) 내구성	○
	(10) 기계적 강도	○
	(11) 나사 통전부 및 접속부	○
	(12) 연면거리, 공간거리 및 절연물을 통한 거리	○
	(13) 절연재료의 내열, 내화, 내트래킹성	○
	(14) 내부식성	○
전원용 커패시터 및 전원필터	(1) 표시사항 및 구조	○
	(2) 치수	○
	(3) 감전에 대한 보호	○
	(4) 어스 장치	○
	(5) 단자	○
	(6) 내열, 방수 내습성	○
	(7) 절연저항 및 내전압	○
	(8) 어스극의 동작	○
	(9) 온도상승	○
	(10) 개폐용량	○
	(11) 플러그를 제거하는데 필요한 힘	○
	(12) 동작	○
	(13) 케이블의 접속	○
	(14) 기계적 강도	○
	(15) 내열성	○
	(15) 나사 통전부 및 접속부	○
	(16) 연면거리, 공간거리 및 절연물을 통한 거리	○
	(17) 절연재료의 내열성, 내화성 및 내트래킹성	○
	(18) 내부식성	○

(자) 창호환기시스템의 적용을 위한 CFD 시뮬레이션 예측

㉠ CFD 시뮬레이션 조건

창호환기시스템의 적용을 위한 집풍루버 CFD 예측시뮬레이션 프로그램은 Siemens사의 STAR-CCM+ (ver.13.04.011)을 사용하였다. 분석 모델은 Launder와 Spalding가 최초 제안한 에러율이 낮은 표준 K-epsilon모델과 K-omega모델을 사용하였다. mesh는 0.005m로 하였고, 가장 효과적으로 3차원 해석이 구현 가능한 육각형 격자인 polyhedral mesh로 설정하였다.

표 2.24 창호환기시스템(에어글라이드) 적용 CFD 시뮬레이션 조건

Item	Settings
Space	Three Dimensional
Time	Implicit Unsteady
Material	Multi-Component Gas (Air, CO ₂)
Flow	Segregated Flow
Equation of State	Ideal Gas
Viscous Regime	Turbulent
Reynolds-turbulent Flow	k-ε Turbulence
Iteration	120회
Wind Velocity	3.6m/s (West Wind)
Species Mass Fraction	Inlet : 100%(Air), 0%(CO ₂) Outlet : 0%(Air), 100%(CO ₂)
Legend Range	Scalar Field(kg/m ³) : Min.1, Max.2 Vector Field(m/s) : Min.0, Max.Auto Range

사용된 지배하는 방정식은 유체 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식(k), 난류소산 에너지방정식(ε)으로 다음의 식 (1)~(3)과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (1)$$

$$\tau_{ij} = [\mu(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij}]$$

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho) / \rho_p + F_x$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p D_p^2} \frac{C_D Re}{24} \quad (2)$$

$$Re = \frac{\rho D_p |u_p - u|}{\mu}$$

$$C_D = a_1 + a_2 / Re + a_3 / Re^2$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + (1 - C_{3\epsilon}) G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho \sigma_h} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

㉠ 모델링 개요

시뮬레이션에 사용된 모델링은 국내 표준공동주택 중 전용면적 84㎡, 층고 2.8m의 공동주택을 선정하였고, 자연환기의 효과 분석을 위해 창호 개방율을 100%로 하였다. 모델링 조건에 승강기 홀은 제외하였다(그림 2.46 참조). 시뮬레이션에서 대조군은 같은 모델링 조건에 창호개방율 100%를 자연환기, 그리고 비교군은 창호환기시스템(에어글라이드)을 설치하여 오염물질농도 저감(미세먼지 CO₂ 등)을 비교하였다(그림 2.47 참조).

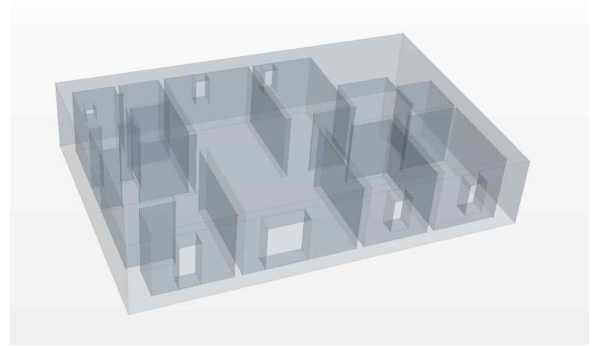
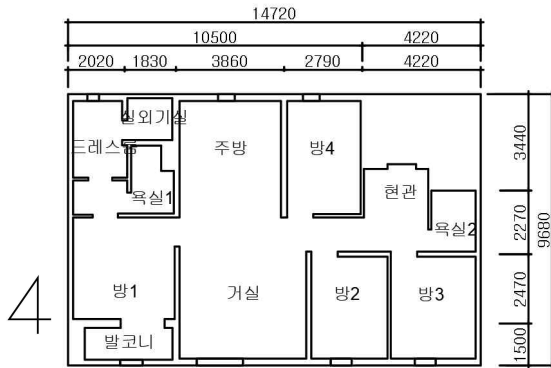


그림 2.46 창호환기시스템(에어글라이드) 적용을 위한 CFD 시뮬레이션 모델링

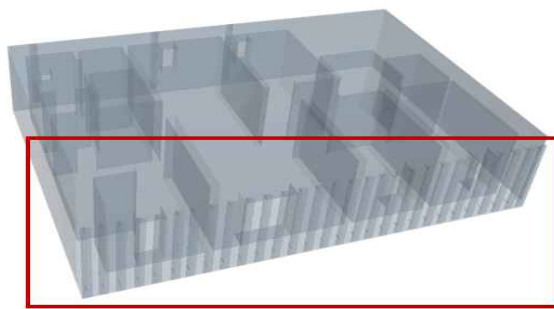


그림 2.47 창호환기시스템(에어글라이드) 적용

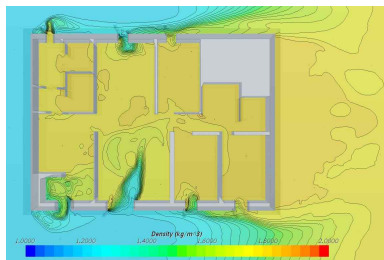
㉠ 시뮬레이션 결과

창호환기시스템의 적용을 위한 집풍루버의 설치 유무에 따른 자연환기성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 활용하여 평가하였다. 분석 간격은 20초, 40초, 80초, 160초, 320초로 하였고 Air와 CO₂ 농도를 분석을 하였다. 결과는 그림 2.47과 같다. 즉, (a), (c), (e), (g), (i) 는 집풍루버를 설치

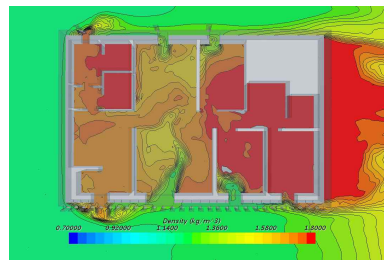
하지 않은 평면이며, (b), (d), (f), (h), (j) 는 집풍루버를 설치한 평면이다.

범례에서는 왼쪽부분의 파란색이 Air 100%, 오른쪽의 붉은색이 CO₂ 100%(3.6 kg/m³)를 의미한다. 분석은 건물 평면 내에서의 농도 분포(픽셀 수) 변화량으로 확인하였으며, 초기농도(CO₂) 100%의 픽셀 수는 총 875,663개이다.

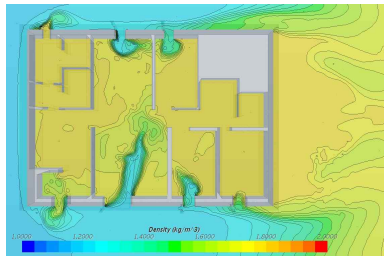
분석결과, 320초 후의 CO₂ 평균농도를 분석한 결과 집풍루버를 설치하지 않은 공간이 1.52kg/m³로 57.8% 감소하였고, 집풍루버를 설치한 경우 1.44kg/m³로 60%감소하였다(표 2.24 그림 2.49 참조). 즉, 루버를 설치한 경우가 CO₂ 농도가 더 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



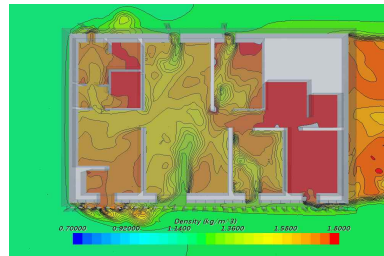
(a) louvers : X
Time step : 20s



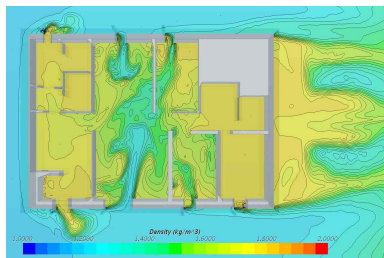
(b) louvers : O
Time step : 20s



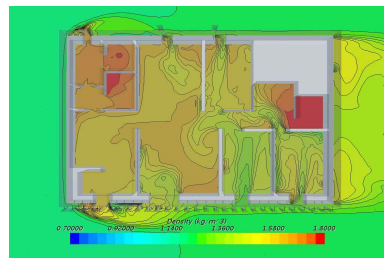
(c) louvers : X
Time step : 40s



(d) louvers : O
Time step : 40s



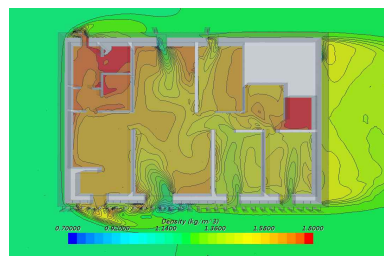
(e) louvers : X
Time step : 80s



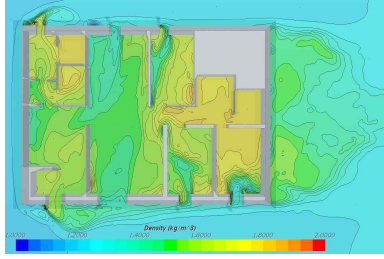
(f) louvers : O
Time step : 80s



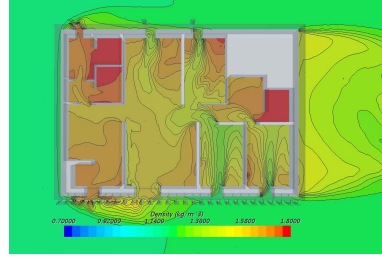
(g) louvers : X
Time step : 160s



(h) louvers : O
Time step : 160s



(i) louvers : X
Time step : 320s



(j) louvers : O
Time step : 320s

그림 2.48 집풍루버 적용 및 미적용의 환기 성능 비교

표 2.25 시간에 따른 농도 변화량

Floor plan without windcatcher louver			Floor plan with windcatcher louver		
Time	Concentration	Number of pixels (Ratio)	Time	Concentration	Number of pixels (Ratio)
0s	1.8kg/m³	875,663(100%)	0s	1.8kg/m³	875,663(100%)
	< 1.8kg/m³	427,447 (48.8%)		< 1.8kg/m³	521,897 (59.6%)
	< 1.6kg/m³	304,951 (34.8%)		< 1.6kg/m³	191,235 (21.8%)
	< 1.4kg/m³	143,265 (16.4%)		< 1.4kg/m³	125,166 (14.3%)
20s	< 1.2kg/m³	0	20s	< 1.2kg/m³	36,993 (4.2%)
	< 1.8kg/m³	109,756 (12.5%)		< 1.8kg/m³	96,953 (11.1%)
	< 1.6kg/m³	302,586 (34.6%)		< 1.6kg/m³	152,015 (17.4%)
	< 1.4kg/m³	463,115 (52.9%)		< 1.4kg/m³	459,042 (52.4%)
320s	< 1.2kg/m³	0	320s	< 1.2kg/m³	167,919 (19.2%)

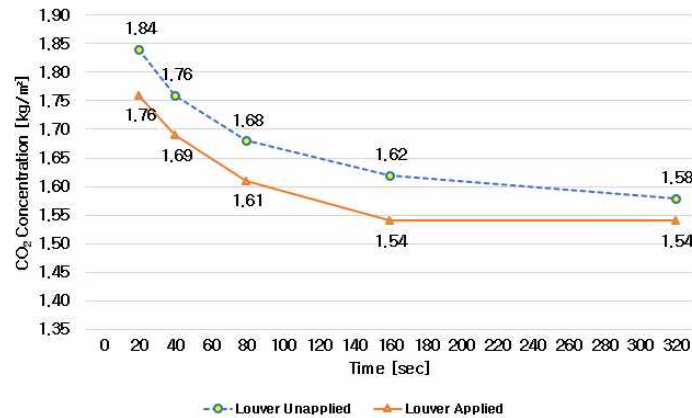


그림 2.49 실내의 CO₂ 농도 변화량

(2) 인공지능(AI) 기반 제어 알고리즘 개발

기존 창호환기시스템은 온도 및 실내공기질의 단순 설정값에 의하여 환기시스템을 작동하기 때문에 실외 미세먼지가 실내로 유입되어 실내공기질이 오히려 더 악화되는 결과를 초래할 가능성이 있다.

그러나, 본 창호환기시스템(에어글라이드)은 기상 및 실내와 외부공기질 정보에 따라 창호환기시스템에 적용하고 이에 대한 결과를 학습하여 인공지능 제어에 활용가능하다.

- 인공지능 기반 창호형 환기시스템 기본 작동 알고리즘
- 창호제어 우선순위 : 1순위 = 미세먼지농도 고려, 2순위 = 실내 열쾌적도
- 실내 미세먼지 농도 저감을 위한 작동이 실내 열쾌적 조성보다 우선적으로 고려
- 알고리즘의 기본 개념 순서 및 상세 알고리즘 (그림 2.50~2.52)

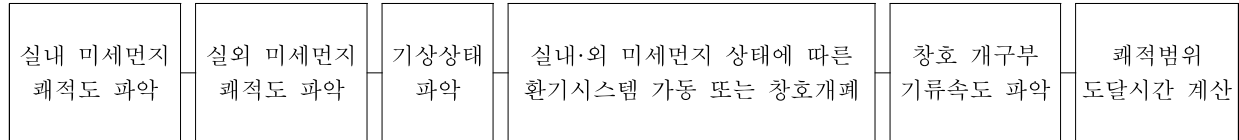


그림 2.50 창호제어 기본 개념 순서

- 창호 개폐에 따른 실내·외 온도차 산출 네트워크(ANN 01)
- 냉방기 및 환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간 계산(ANN 02)

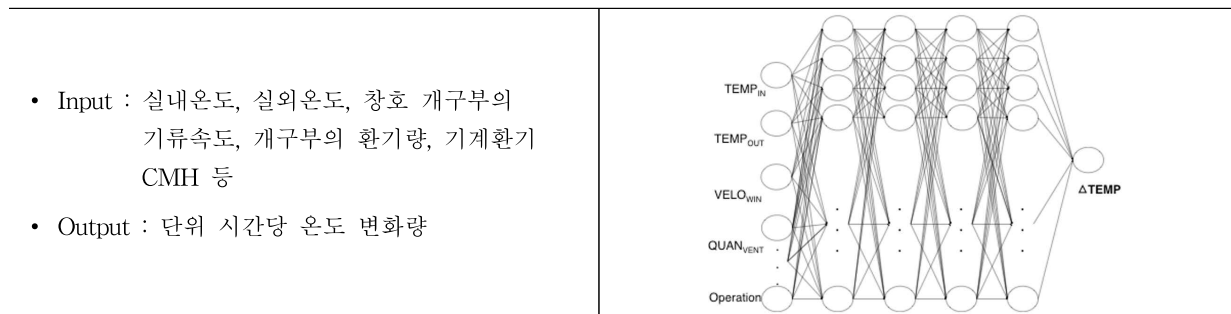


그림 2.51 창호 개폐에 따른 실내·외 온도차 산출 상세 알고리즘

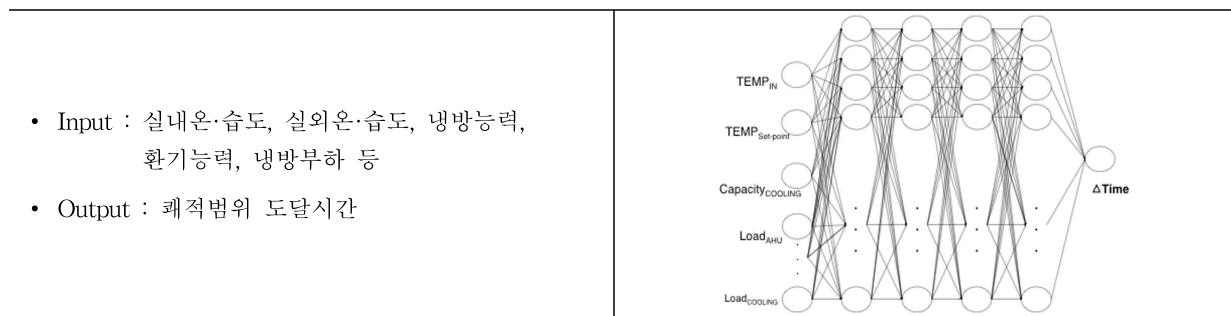


그림 2.52 냉방기 및 환기시스템 가동 시 쾌적범위 도달시간 계산 알고리즘

- 상관관계분석 및 예측 정확도 분석 결과, 창호개폐율, 실외 미세먼지농도, 실내 기류속도 순으로 가장 높은 R2 값이 나타남
- 창호개폐율의 영향이 상대적으로 매우 높기 때문에 창호개폐 또는 환기시스템 on/off 작동 방법 중 최적안 선택
- 학습 및 검증 RAW 데이터 : 측정 요소 별 각 27,361개 / 총 218,888개 중 학습용 100 개, 검증용 100 개 사용

□ MATLAB 결과 파일 폴딩 모듈 : GatewayLink에서 별도 스케줄러를 실행하여 주기적으로 MATLAB 결과 파일을 읽어 GatewayLink 서비스 호출

- MATLAB 결과 파일 형식: json
- MATLAB 결과 파일 저장 주기: 15분 (MATLAB 저장 주기와 GatewayLink 폴딩 주기 동일)
- MATLAB 결과 파일 내용:

```
{  
  finedust: 73,  
  temp: 30,  
  humidity: 25,  
  aircurrent: 센서 측정 값,  
  mode: 1, 2, 3, 4 중 하나  
}
```

□ 창호환기시스템 인공지능 제어 소프트웨어 : 스마트 홈오토메이션 적용을 목표로, 실외 및 실내공기질을 고려하여 쾌적한 실내환경 제공

- 자연환기 및 기계환기 병행사용으로 환기성과 실내공기 정화 효과 상승
- 실내 전자 시스템과의 네트워크망 구축으로 시스템의 적용성 및 확장성 극대화
- GatewayLink(기상청,환경공단) 데이터, IoT 데이터(센서 모듈) 활용을 통한 재실자 행동, 재실 유무, 기후 상태 인지 및 환기시스템 on/off 제어
- 창호환기시스템의 제어 판단은 특정 논리구조로 이루어져 있으며, 실내환경과 실외환경의 상황에 따라 실내를 쾌적하게 유지하는 것을 목표함
- MATLAB 및 IoT 플랫폼과의 연계를 통한 창호환기시스템 구조 도식도 (그림 2.53)
- GatewayLink(기상청,환경공단) 데이터 및 IoT 데이터(센서 모듈), MATLAB 결과 값을 통한 창호환기시스템 제어 논리 구조도 (그림 2.54)

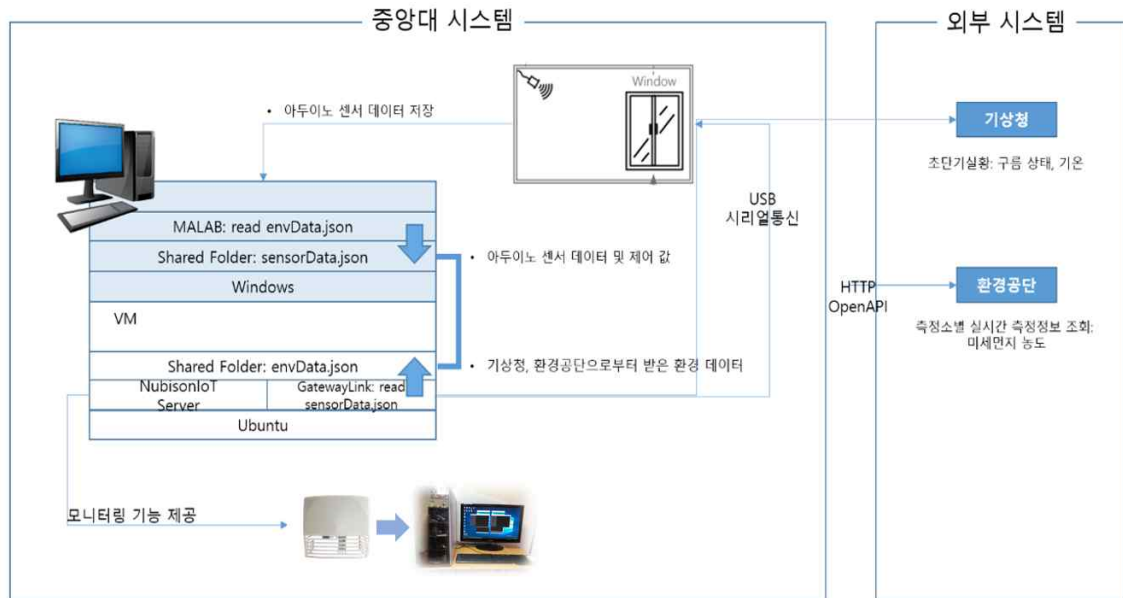


그림 2.53 창호환기시스템 작동 연계 시스템 구조 도식도

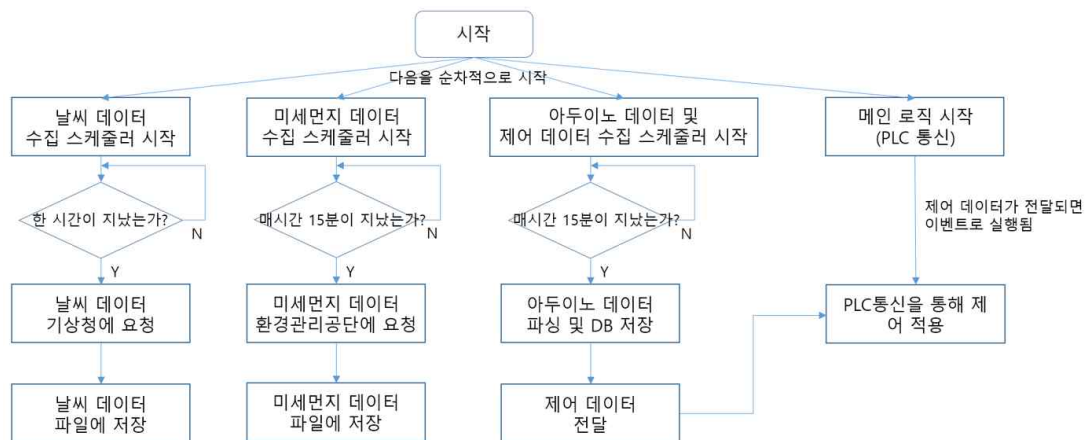
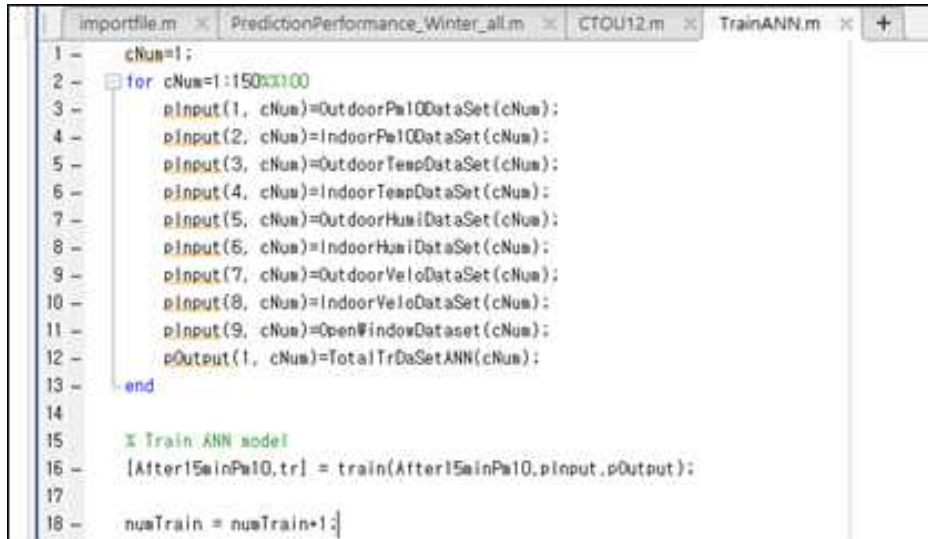


그림 2.54 창호환기시스템 인공지능 제어 논리 구조도

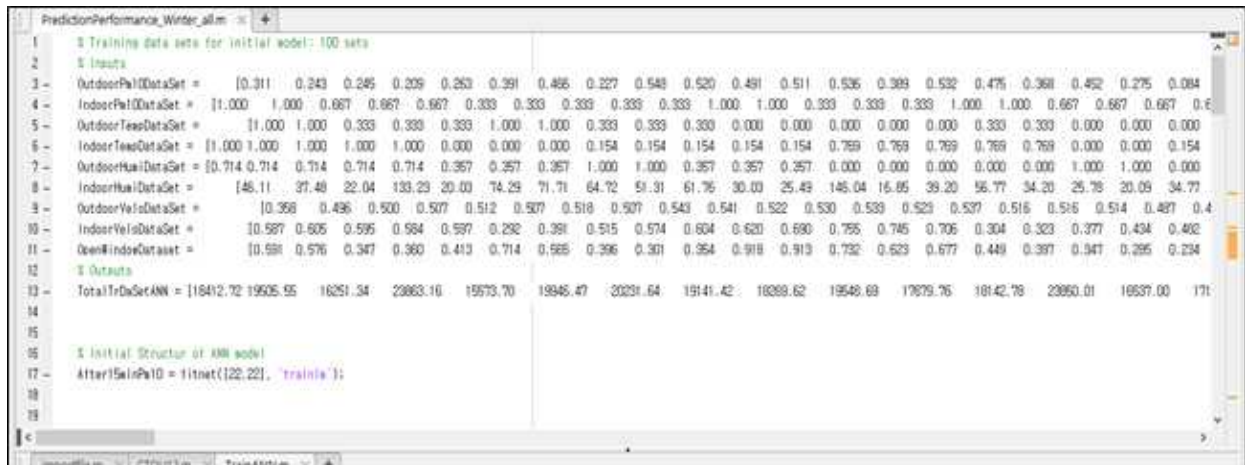


```

1 - cNum=1;
2 - for cNum=1:150:3100
3 -     pInput(1, cNum)=OutdoorPa10DataSet(cNum);
4 -     pInput(2, cNum)=IndoorPa10DataSet(cNum);
5 -     pInput(3, cNum)=OutdoorTempDataSet(cNum);
6 -     pInput(4, cNum)=IndoorTempDataSet(cNum);
7 -     pInput(5, cNum)=OutdoorHumiDataSet(cNum);
8 -     pInput(6, cNum)=IndoorHumiDataSet(cNum);
9 -     pInput(7, cNum)=OutdoorVeloDataSet(cNum);
10 -    pInput(8, cNum)=IndoorVeloDataSet(cNum);
11 -    pInput(9, cNum)=OpenWindowDataSet(cNum);
12 -    pOutput(1, cNum)=TotalTrDaSetANN(cNum);
13 - end
14
15 % Train ANN model
16 - [After15minPa10,tr] = train(After15minPa10.pInput,pOutput);
17
18 - numTrain = numTrain+1;

```

그림 2.55 ANN1 트레이닝 코드 - 창호 개폐 및 환기시스템 작동 15분 후 결과값 예측



```

1 % Training data sets for initial model: 100 sets
2 % Inputs
3 - OutdoorPa10DataSet = [0.311 0.243 0.245 0.209 0.263 0.391 0.486 0.227 0.548 0.520 0.491 0.511 0.536 0.389 0.532 0.475 0.368 0.452 0.275 0.084
4 - IndoorPa10DataSet = [1.000 1.000 0.667 0.667 0.667 0.333 0.333 0.333 0.333 0.333 1.000 1.000 0.333 0.333 0.333 1.000 1.000 0.667 0.667 0.667 0.6
5 - OutdoorTempDataSet = [1.000 1.000 0.333 0.333 0.333 1.000 1.000 0.333 0.333 0.333 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.333 0.333 0.000 0.000 0.000
6 - IndoorTempDataSet = [1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 0.000 0.000 0.000 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.769 0.769 0.769 0.769 0.000 0.000 0.154
7 - OutdoorHumiDataSet = [0.714 0.714 0.714 0.714 0.357 0.357 0.357 1.000 1.000 0.357 0.357 0.357 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 1.000 1.000 0.000
8 - IndoorHumiDataSet = [48.11 37.48 22.04 133.23 20.03 74.29 71.71 64.72 51.31 61.76 30.03 25.49 145.04 16.05 39.20 56.77 34.20 25.78 20.09 34.77
9 - OutdoorVeloDataSet = [0.368 0.436 0.500 0.507 0.512 0.507 0.518 0.507 0.543 0.541 0.522 0.530 0.539 0.529 0.537 0.516 0.516 0.514 0.497 0.4
10 - IndoorVeloDataSet = [0.587 0.605 0.595 0.584 0.597 0.292 0.391 0.515 0.574 0.604 0.620 0.690 0.755 0.745 0.706 0.304 0.323 0.377 0.434 0.402
11 - OpenWindowDataSet = [0.588 0.576 0.347 0.360 0.413 0.714 0.565 0.396 0.301 0.354 0.918 0.913 0.732 0.623 0.677 0.449 0.397 0.347 0.295 0.234
12 % Outputs
13 - TotalTrDaSetANN = [18412.72 19505.55 16251.34 23863.16 19573.70 19345.47 30291.64 19141.42 18389.62 19548.69 17879.76 18142.78 23860.01 16537.00 171
14
15
16 % Initial Structure of ANN model
17 - After15minPa10 = fitnet([22,22], 'trainlr');
18
19

```

그림 2.56 ANN1 학습을 위한 데이터 입력 - MATLAB

- GatewayLink에 저장되는 기상청 Open API 날씨 데이터 수집 코드 일부 (표 2.25)
- 학습 및 검증 RAW 데이터 : 측정 요소 별 각 27,361개 / 총 218,888개 중 학습용 100 개, 검증용 100 개 사용

표 2.26 기상청 Open API 날씨 데이터 수집 코드

```

schedule.scheduleJob("0 * * * *", function () {
  var weatherUrl = "http://newsky2.kma.go.kr";
  var weatherParam = "/service/SecndSrtpdFrctlnfoService2/ForecastTimeData";
  var serviceKeyParam = "XkdsfsdfsdfsEeqAnOusO4DCUk1HdTUrE19leFJ%2Fhs3T4moVq0WclDIaYyQ%2BAnydoas%2Bx
25mnBAsbDXQP9TuSe8lg%3D%3D";
  var baseDateParam = moment().format("YYYYMMDD");
  var baseTimeParam = (function () {
    if (moment().format("mm") > 50) {
      return moment().format("HH00");
    } else {
      return moment().subtract(1, "hour").format("HH00");
    }
  })();
  var nxParam = "60";
  var nyParam = "125";
  var numOfRowsParam = "50";
  var pageNoParam = "1";
  var _typeParam = "json";
  var weatherPath = weatherParam + "?"
    + "serviceKey=" + serviceKeyParam
    + "&base_date=" + baseDateParam
    + "&base_time=" + baseTimeParam
    + "&nx=" + nxParam
    + "&ny=" + nyParam
    + "&numOfRows=" + numOfRowsParam
    + "&pageNo=" + pageNoParam
    + "&_type=" + _typeParam;

  http.get(weatherUrl + weatherPath, function (res) { ...
});

```

- GatewayLink에 저장되는 환경공단 Open API 미세먼지 수집 코드 일부 (표 2.26)

표 2.27 환경공단 Open API 날씨 데이터 수집 코드

```

schedule.scheduleJob("*/15 * * * *", function () {
    var dustUrl = "http://openapi.airkorea.or.kr";
    var dustParam = "/openapi/services/rest/ArpltnInforInquireSvc/getMsrstnAcctoRltmMesureDnsty";
    var serviceKeyParam = "ewrEdsdfnOusO4DCUk1HdTUrE19leFJ%2Fhs3T4moVq0WclDIAYQ%2BAnydoas%2Bx25mnBAsbDX
QP9TuSe8lg%3D%3D";
    var stationNameParam = "동작대로 중앙차로";
    var dataTermParam = "DAILY";
    var numOfRowsParam = "10";
    var pageNoParam = "1";
    var verParam = "1.3";
    var _returnTypeParam = "json";
    var dustPath = dustParam + "?"
        + "serviceKey=" + serviceKeyParam
        + "&stationName=" + encodeURIComponent(stationNameParam)
        + "&dataTerm=" + dataTermParam
        + "&numOfRows=" + numOfRowsParam
        + "&pageNo=" + pageNoParam
        + "&ver=" + verParam
        + "&_returnType=" + _returnTypeParam;
    http.get(dustUrl + dustPath, function (res) {
    });
});

```

- IoT 플랫폼과 창호환기시스템의 연계된 통신 제어를 위한 드라이버 코드 (표 2.27)

표 2.28 창호환기시스템 제어 통신 드라이버 코드

```

var G = require('../config/common');
var async = require("async");
var log = require('log4js').getLogger(__filename.substr(__filename.lastIndexOf("/") + 1));
var driver = {};
var bufferString = "";
var buffer = new Buffer(0);
var bufferCnt = 0;

driver.invoke_mode_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 34 + (parseInt(req[0][1]) - 1);
    var buffer = G.modbusSingleWrite("01", startAddr, req[1]);
    return buffer;
};

driver.invoke_mode_RES=function (req) {
    if (!checkValue(req)) {
        return;
    }
    var retval = {
        returnString: {},
        bufferHex: "",
        isProcessing: true
    };
    retval = G.modbus_single_RES(retval, buffer);
    retval.rettype = "BOOLEAN";
};

```

```

    return retval;
    return createReturn(bufferCnt)
};

driver.query_all_mode_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 34;
    var buffer = G.modbusReadBit("01", startAddr, 3, false);
    return buffer;
};

driver.query_all_mode_RES=function (req) {

    if (!checkValue(req)) {
        return;
    }
    var retval = {
        returnString: {},
        bufferHex: "",
        isProcessing: true
    };

    retval = G.modbus_bit_RES(retval, buffer);
    var result = retval.returnString;
    retval.returnString = {};
    retval.returnString['OP_1_MODE'] = {
        RETVALUE: result[0],
        NAME: 'OP_1_MODE',
        TYPE: 'BOOLEAN'
    };

    retval.returnString['OP_2_MODE'] = {
        RETVALUE: result[1],
        NAME: 'OP_2_MODE',
        TYPE: 'BOOLEAN'
    };

    retval.returnString['OP_3_MODE'] = {
        RETVALUE: result[2],
        NAME: 'OP_3_MODE',
        TYPE: 'BOOLEAN'
    };

    retval.rettype = "BOOLEAN";
    return retval;
    return createReturn(bufferCnt)
};

driver.query_mode_1_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 34;
    var buffer = G.modbusReadBit("01", startAddr, 1, false);
    return buffer;
};

```

```

driver.query_mode_1_RES=function (req) {
    if (!checkValue(req)) {
        return;
    }
    var retval = {
        returnString: {},
        bufferHex: "",
        isProcessing: true
    };

    retval = G.modbus_bit_RES(retval, buffer);
    var result = retval.returnString;
    retval.returnString = result[0];
    retval.rettype = "BOOLEAN";
    return retval;
    return createReturn(bufferCnt)
};

driver.query_mode_2_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 35;
    var buffer = G.modbusReadBit("01", startAddr, 1, false);
    return buffer;
};

driver.query_mode_2_RES=function (req) {
    if (!checkValue(req)) {
        return;
    }
    var retval = {
        returnString: {},
        bufferHex: "",
        isProcessing: true
    };

    retval = G.modbus_bit_RES(retval, buffer);
    var result = retval.returnString;
    retval.returnString = result[0];
    retval.rettype = "BOOLEAN";
    return retval;
    return createReturn(bufferCnt)
};

driver.query_mode_3_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 36;
    var buffer = G.modbusReadBit("01", startAddr, 1, false);
    return buffer;
};

    return null;
return createReturn(bufferCnt)
};

```

```

driver.invoke_mode_1_REQ=function (req) {
    var buffer = null;
    var req = G.checkDriverReqVal(req);
    var startAddr = 34;
    var buffer = G.modbusSingleWrite("01", startAddr, req[1]);
    return buffer;
};

var buffer = null;
var req = G.checkDriverReqVal(req);
return null;
return createReturn(bufferCnt)
};

driver.clear=function () {
    bufferString = "";
    buffer = new Buffer(0);
    bufferCnt = 0;
};

function checkValue(msg) {
    var message = msg.MSG;

    bufferCnt = parseInt(msg.CON_BYTE_LENGTH);
    if (typeof bufferCnt == "NaN") {
        bufferCnt = 0;
    }

    if (typeof message == "undefined" || message.length == 0) {
        return false;
    }

    buffer = Buffer.concat([buffer, message], (buffer.length + message.length));
    return true;
}

function createReturn(bufferCnt) {
    var str = buffer.toString("hex");
    var str_buffer = "";
    for (var i = 0; i < str.length; i++) {
        str_buffer += str[i];
        if ((i % 4) == 3) {
            str_buffer += " ";
        }
    }

    var retval = {
        bufferString: str_buffer,
        buffer: buffer.toString(),
        isProcessing: true
    };

    if (buffer.length == bufferCnt) {
        retval.isProcessing = false;
        bufferString = "";
        buffer = new Buffer(0);
        return retval;
    } else {

```

```

    return retval;
}
}

module.exports.driver=driver;

```

- 창호환기시스템의 예측 제어 성능 검증을 통해 미세먼지 농도 상승을 예측하여 자동 제어
- 미세먼지 기준치($1000\mu\text{g}/\text{m}^3$) 도달 15분전 (약 $600\mu\text{g}/\text{m}^3$) 미리 창호를 열어 실내 미세먼지 정화 (그림 2.57)

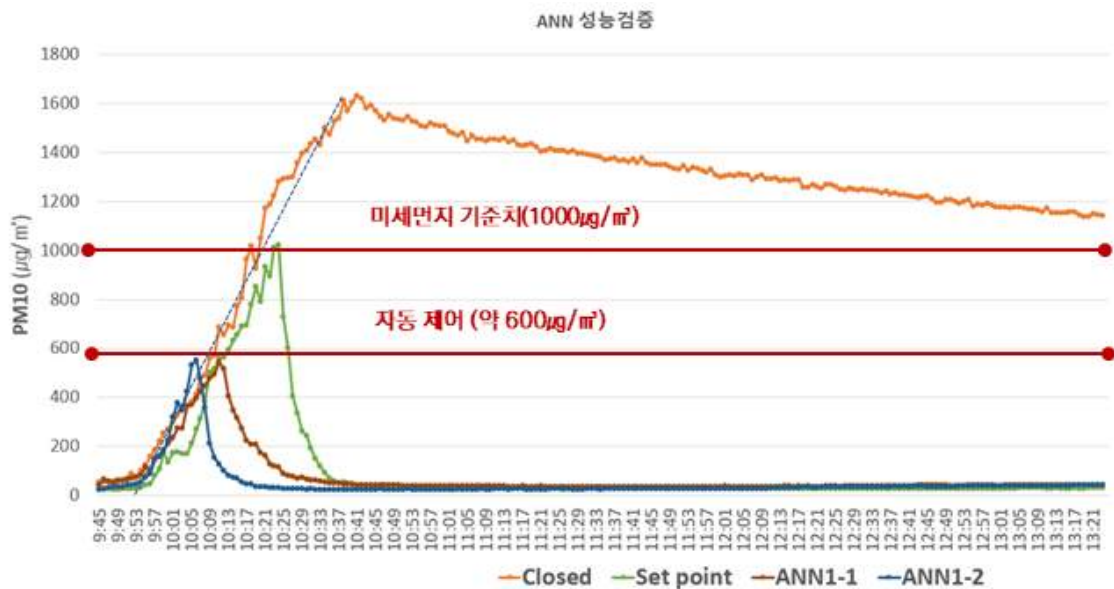


그림 2.57 ANN을 적용한 창호환기시스템 성능 검증

(3) 실내환경 측정 센서 모듈 개발 및 성능 검증

㉓ 센서모듈개발

사물인터넷의 핵심기술로는 센싱(Sensing), 인터페이스(Interface), 네트워킹(Networking) 기술로 나눌 수 있다.

SBC는 컴퓨터의 기능을 하는 기억장치, 입출력 등의 기능, 논리들을 포함하여 단일 회로 기관으로 구성되어 있는 것으로 대표적인 제품으로는 아두이노(Arduino), 라즈베리파이(Raspberry Pi), 바나나파이(Banana Pi), 비글보드(Beagle Board) 등이 있다.

위의 제품들 중 연구에 필요한 관련 부속품들의 접근성이 용이하고 관련 연구가 활발히 이루어지고 있는 대표적인 제품은 아두이노와 라즈베리파이이다.

본 연구에서 사용 된 아두이노는 마이크로 컨트롤러(Micro Controller)가 내장 되어 있는 기관으로 메모리, 프로그램 가능한 입·출력 장치 등으로 구성되어있으며, 스위치(Switch), 센서 등으로부터 입력 값을 받아 외부 전자 장치를 제어하여 환경과 상호작용 가능한 사물을 만들 수 있는

오픈소스(Open Source) 및 컴퓨팅(Computing) 플랫폼(Platform)과 소프트웨어(Software) 개발 환경을 제공한다.

① 센싱 기술

물리량을 다양한 방법으로 측정하는 기술로, 센싱을 통해 수집된 정보를 공유하기 위한 기본적인 신호처리 및 알고리즘 수행이 가능한 모듈 기술

② 인터페이스 기술

IoT 구성요소를 통해 응용서비스와 연동하는 기술로, 다양한 서비스 기능을 구현하여 제공하기 위한 인터페이스 역할의 기능

③ 네트워킹 기술

분산된 환경의 다양한 디바이스들을 물리적으로 연결하는 유무선 네트워킹 기술로 WPAN(Wireless Personal Area Networks), WiFi(Wireless Fidelity), 3G·4G·5G·LTE(Long Term Evolution), Ethernet, 위성통신 등 이용 가능 기술

□ 실내환경 모니터링을 위한 미세먼지, 온·습도, 평균복사온도

□ 센서 모듈은 신호처리부와 연결시켜 열환경 수치 감지 및 제어 가능

□ 센서 모듈과 창호 제어 플랫폼은 상호작용을 통해 신호 처리 및 제어를 위해 명령 수행 가능

□ 아두이노(Arduino)는 센서와 액츄에이터(Actuator)를 이용 가능한 디지털핀과 아날로그핀 탑재되어 간편한 반면, 라즈베리파이(Raspberry Pi) 상대적으로 좀 더 복잡한 설계 및 구성이 요구됨

□ 표 2.28은 센서 모듈에 사용된 센서를 보여주며, 표 2.29은 각 센서별 연결 회로도이다. 그림 2.55는 센서모듈의 하드웨어 전체구성도 이고, 그림 2.56은 센서모듈의 종합 회로도이다.

표 2.29 세부 센서 목록



그림 2.58 실내환경 측정 센서모듈

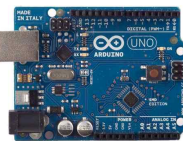
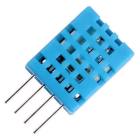
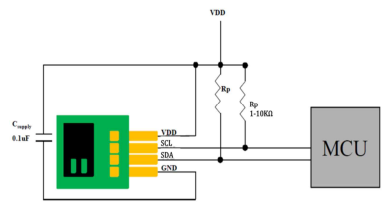
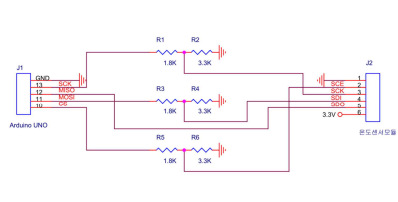
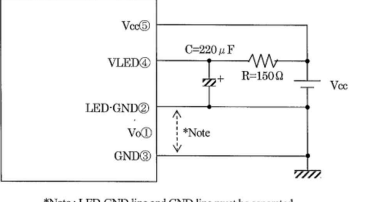
			
Arduino Uno	미세먼지센서 [GP2Y1023AU0F]	기류속도센서 [MD-0550]	온습도센서 [DHT11]
Input voltage(recommend) : 7~12V Input voltage(maximum) : 6~2V System voltage :5V Digital input / output pin : 20 Analog input pin : 6 Digital allowable current : 40mA Flash memory 32KB SRAM : 2KB EEPROM : 1KB Clock speed : 16MHz Size : 68 x 53mm	Operating voltage : 5V (±0.5) Operating electric current : Max 20mA Measuring range : 0 ~ 500 μ g/m ³ Sensing Sensitivity : 1.0V (100 μ g/m ³) Output Type : Digital PWM Signal Operating temperature : -10 ~ 65℃	Supply Voltage : 4 ~ 10V Supply Electric Current : 20 ~ 40mA Measuring range : 0 ~ 60 miles/hour Accuracy : 15% more precision than previous models Output Signal : Analogue	Supply voltage : DC 3.3~5.5V Measuring range (Temperature) : -20~+60℃ Measuring range (Humidity) : 5~95% RH Temperature Accuracy : ±1℃ Humidity Accuracy : ±5% RH

표 2.30 센서별 연결 회로도

		
온습도(DHT11) 센서 연결 회로도	적외선 온도(DTS-SIL300-B) 센서 연결 회로도	미세먼지(GP2Y1023AU0F) 센서 연결 회로도

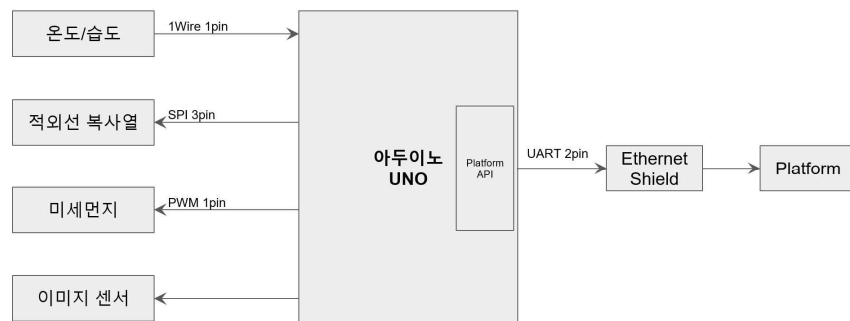


그림 2.59 센서모듈 하드웨어 전체구성도

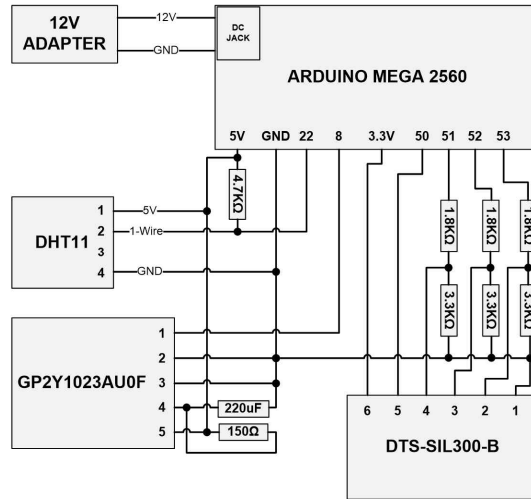


그림 2.60 센서모듈 연결 종합 회로도

㉠ 센서모듈 성능검증

① 성능 검증 방법

본 연구에서 개발한 센서 모듈의 성능 검증을 위해 서울특별시 동작구 흑석동의 C대학건물 옥상에서 성능실험을 실시하였다. 검증에 사용된 데이터는 총 측정데이터 중 에러 값이 적은 2일간의 연속 데이터를 선정하였다. 측정 높이는 바닥면으로부터 1200mm에서 실시하였다.

미세먼지 센서의 측정 데이터는 기상청에서 제공하는 5분 단위 농도 데이터를 기반으로 01월 18일부터 01월 19일 48시간의 데이터를 분석하였다. 온·습도 센서 성능 검증은 센서모듈과 측정기를 동시에 48시간 가동하여 측정값을 비교하였다. 기류 측정 역시 센서모듈과 측정기를 동시에 48시간 가동하여 측정값을 비교하였으며, 모든 측정값은 5분 간격으로 측정하였다.

미세먼지 센서의 성능 검증을 위해 비교된 측정기는 EDT PM10 모델과의 성능 비교를 실시하였다. EDT PM10은 기상청에서 사용하는 PM10 측정기로써, 해당 데이터는 기상자료개방포털 데이터를 사용하였다(Korea Meteorological Administration, KMA, 2018). EDT PM10의 자세한 사양은 표 2.30과 같다. 온·습도 센서의 성능 검증을 위해 비교된 측정기는 ‘KIMO INSTRUMENTS’의 다기능 무지향성 기류 프로브 SOM900이며, AMI310 데이터로거에 연결하여 측정하였다. 기류 측정에 비교된 측정기 역시 SOM900 + AMI310 을 사용하였다. 측정기의 사양은 표 2.31과 같다.

표 2.31 미세먼지 측정기 'DustTrak'의 세부 사양

EDT PM10	Measuring Range
Measured Mass Fraction	PM10
Concentration Range	0-400mg/m ³
Resolution	±0.1% of reading or 0.001 mg/m ³ , whichever is greater
Zero Stability	±0.002 mg/m ³ per 24 hours at 10 sec time constant
Sample Flow Rate	3.0 L/min (±5% of factory set point, internal flow controlled)
Detection Method	Light scattering laser photometer; 90° oA-axis detector
Communications	Wireless: Cloud service capability via Netronix Thiamis 1000 GSM/GPS Modem1 Wired: USB (host and device) and Ethernet
Operating Environment	0° to 50°C standard: extended temperature range capability of -20°to 50° available with optional enclosure heater2; 0 to 100% RH
Sample Inlet	Omni-directional inlet with water trap
Size / Weight	411 x 305 x 311mm (HWD) / 13.6 kg



표 2.32 기류 측정기 'SOM900'의 세부 사양

SOM900	Measuring Range	Accuracy	Angular Resolution
Temperature	-20~+80℃	±3% Of the leading value ±0.25℃	0.1℃
Relative Humidity	0~100%RH	accuracy : ±1.8%RH Calibration Uncertainty : ±0.88%RH	0.1%RH
Wind Speed	0.00~5.00m/s	±3% Of the leading value ±0.05m/s	0.01m/s



② 성능검증 결과

□ 미세먼지 센서

미세먼지 센서 성능검증 결과는 다음과 같다. 01월 18일 기상청 미세먼지 농도는 10 μ g/m³ 범위

에서 농도 변화를, 센서 모듈의 농도 범위는 $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위 내에서 변화를 보였다. 또한, 01월 18일 센서 모듈의 미세먼지 평균 농도는 $57\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기상청 평균 농도 $59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 같은 추세를 보였다. 01월 19일의 기상청 미세먼지 농도는 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$, 센서 모듈은 $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위 내에서 변화를 보였으며, 센서 모듈의 미세먼지 평균 농도는 $64\mu\text{g}/\text{m}^3$, 기상청 평균 농도는 $63\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 같은 추세를 보였다. 두 센서의 오차율은 48시간 동안 5.89%로 나타났다(그림 2.58, 표 2.32).

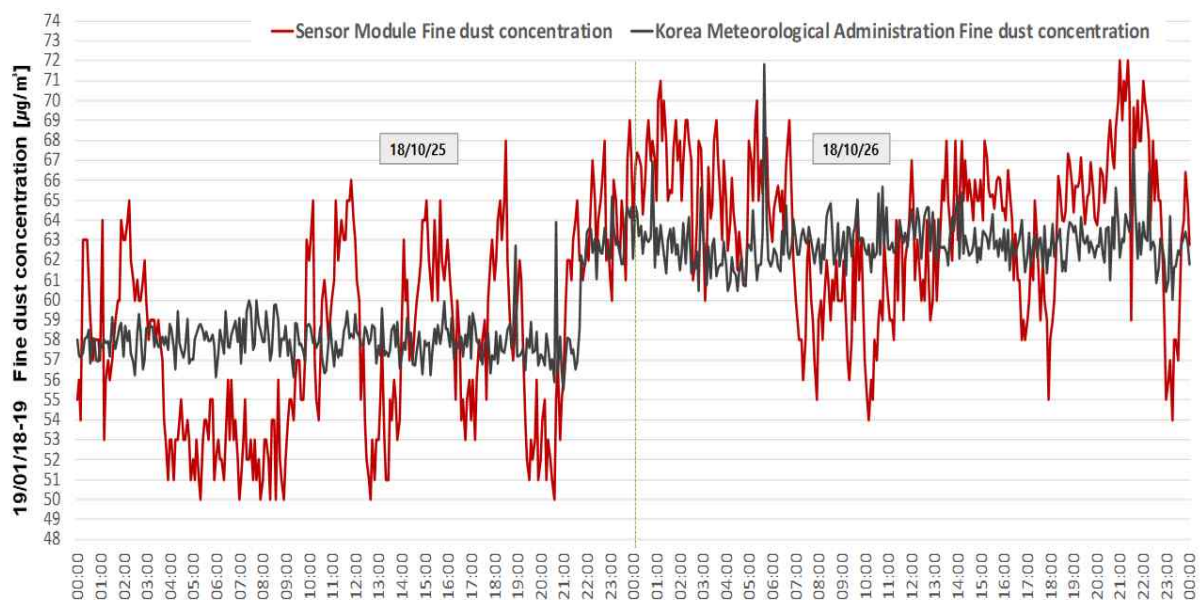


그림 2.61 미세먼지 측정기와 센서의 성능 비교

표 2.33 미세먼지 측정기(기상청)와 미세먼지 센서의 평균 농도

Date	Sensor module	EDT PM10
2019/01/18	57	59
2019/01/18	64	63

□ 온·습도 센서

온·습도 센서의 성능 검증 결과 온도의 평균 오차율은 4.08%, 습도의 평균 오차율은 4.96%로 나타나 온·습도 모두 5% 미만의 오차를 보였다. 비교 그래프는 그림 2.59와 표 2.33과 같다.

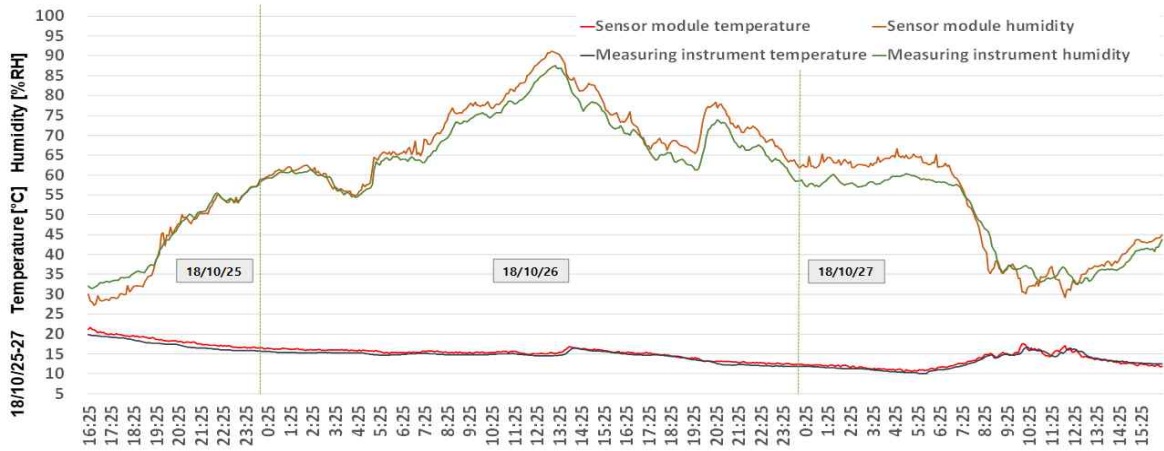


그림 2.62 온습도 측정기와 센서의 성능 비교

□ 기류 센서

기류 센서의 성능 검증 결과 기류의 평균 오차율은 4.58%로 나타나 온·습도 센서와 마찬가지로 5% 미만의 오차를 보였다.(그림 2.60, 표 2.33)

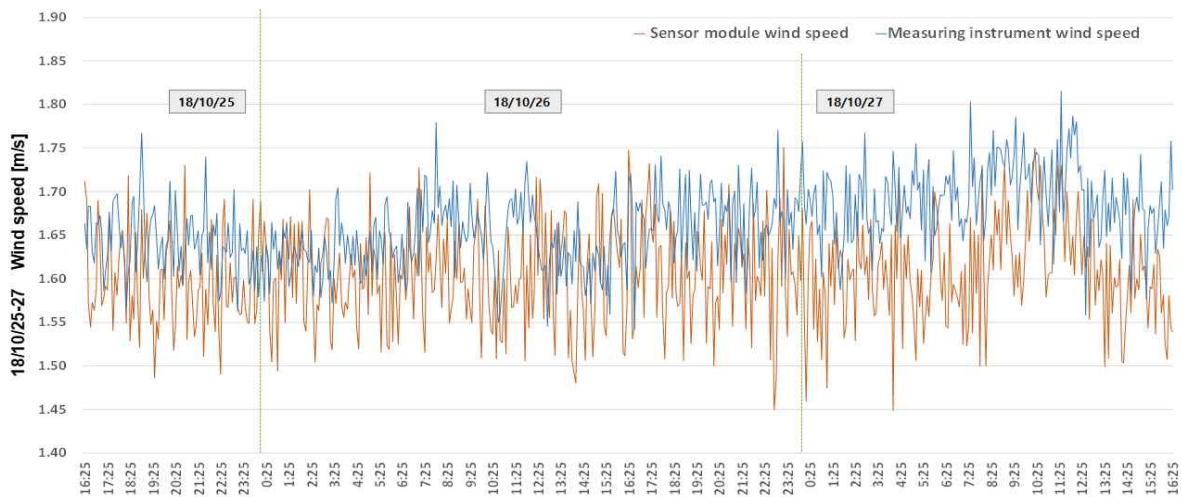


그림 2.63 기류 측정기와 센서의 성능 비교

표 2.34 온·습도 및 기류 측정기의 오차율

Range	Temperature Humidity Sensors		Airflow Sensor
	Temperature	Humidity	
Average	4.08%	4.96%	4.58%
Maximum	12.50%	21.18%	17.07%
Minimum	0.01%	0.04%	0.01%

(4) Open API 및 IoT 활용 플랫폼 및 서버 구축

㉓ Open API(Application Programming Interface) 및 IoT 플랫폼 구축

인터넷 이용자가 일방적으로 웹 검색 결과 및 사용자인터페이스(UI) 등을 제공받는 데 그치지

않고 직접 응용 프로그램과 서비스를 개발할 수 있도록 공개된 Open API 활용

□ 대표적인 API 활용 사례 : 기상 및 미세먼지 정보, 지도 서비스 등

□ 국가 제공 API(2019년 01월 기준) : 3,129건의 Open API 제공(국가 공공데이터포털)

□ 한국환경공단의 ‘대기오염정보조회서비스’, 기상청의 ‘동네예보정보조회서비스’ 활용

(표 2.34~2.36)

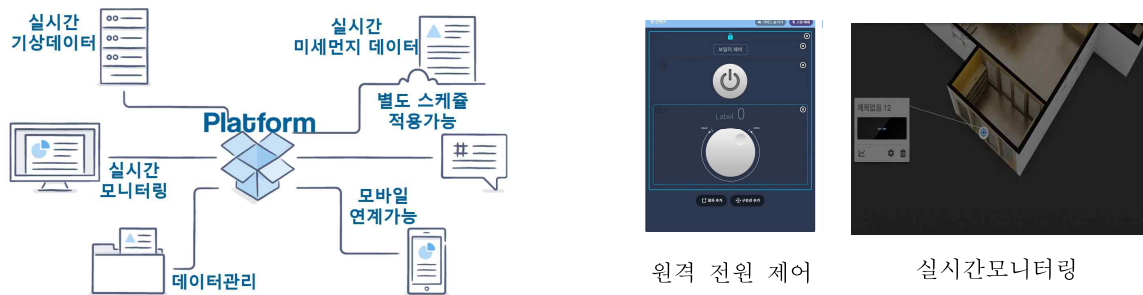


그림 2.64 Open API를 활용하는 플랫폼의 기능 개요 및 주요 기능

표 2.35 한국환경공단에서 제공하는 대기오염 OPEN API 정보 개요

대기오염정보 조회 서비스	
End Point	http://openapi.airkorea.or.kr/
데이터포맷	XML
API 유형	REST
상세기능	· 측정소별 실시간 측정정보 조회 · 통합대기환경지수 나쁨 이상 측정소 목록조회 · 시도별 실시간 측정정보 조회 · 대기질 예보통보 조회 · 시도별 실시간 평균정보 조회 · 시군구별 실시간 평균정보 조회

표 2.36 기상청에서 제공하는 기상데이터 OPEN API 정보 개요

동네예보정보조회서비스	
End Point	https://www.data.go.kr <(신)동네예보정보조회서비스>
데이터포맷	XML
API 유형	REST
심의유형	심의여부 : 자동승인, 신청유형 : 개발계정/활용신청
활용기간	승인일로부터 24개월 간 활용가능
시스템 유형	일반 / 서버구축
상세기능	· 예보버전조회 - 수정된 예보 버전을 파악하기 위해 예보버전을 조회 (트래픽:1000/day) · 동네예보조회 - 동네예보 정보를 조회하기 위해 예보일자, 예보시간, 예보지점X좌표, 예보지점Y좌표의 조회 조건으로 예측일자, 예측시간, 자료구분문자, 예보 값, 예보일자, 예보시간, 예보지점X좌표, 예보지점Y좌표의 정보를 조회 (트래픽:1000/day) · 초단기예보조회 - 초단기예보 정보를 조회하기 위해 예보일자, 예보시간, 예보지점X좌표, 예보지점Y좌표의 조회 조건으로 자료구분코드, 예보값,예보일자, 예보시간, 예보지점X좌표,예보지점Y좌표의 정보를 조회 (트래픽:1000/day) · 초단기실황조회 - 초단기실황정보를 조회하기 위해 예보일자, 예보시간, 예보지점 X좌표, 예보지점 Y좌표의

	조회 조건으로 자료구분코드, 실황 값, 예보일자, 예보시간, 예보지점X좌표, 예보지점Y좌표의 정보를 조회 (트래픽:1000/day)
--	---

① 기상청 데이터 수집

- ☐ GatewayLink에서 별도 스케줄러를 실행하여 주기적으로 날씨 데이터를 수집, 파일로 저장
- ☐ 기존 OpenAPI 키 사용
- ☐ 초단기실황조회 OpenAPI 사용
 - ㉠ 데이터 갱신 주기
 - ㉡ 오퍼레이션명: getForecastGrib
 - ㉢ 하단의 파라미터 값 중 예보지점은 서울 동작구 흑석동 중앙대학교 위치로 고정하여 진행

표 2.37 기상청에서 제공하는 OPEN API 파라미터

메시지명	http://newsky2.kma.go.kr/service/SecndSrtpdFrstInfoService2/ForecastGrib				
항목명(영문)	항목명(국문)	항목 크기	항목 구분	샘플데이터	항목설명
ServiceKey	서비스 키	255	1	SERVICE_KEY	서비스 인증
base_date	발표일자	8	1	20151201	'15년 12월 1일 발표
base_time	발표시각	4	1	0600	06시 발표(정시단위) -매시각 40분 이후 호출
Nx	예보지점 X 좌표	2	0	18	예보지점의 X 좌표값
Ny	예보지점 Y 좌표	2	0	1	예보지점의 Y 좌표값
numOfRows	한 페이지 결과 수	2	0	10	한 페이지 결과 수
pageNo	페이지 번호	5	0	1	페이지 번호
_type	타입			xml, json	xml(기본값), json

② 환경공단 데이터 수집

- ☐ GatewayLink에서 별도 스케줄러를 실행하여 주기적으로 미세먼지 데이터를 수집, 파일로 저장
- ☐ 테스트용 서비스 사용 신청 필요(트랜잭션 500건/day, 상용서비스는 10,000건)
- ☐ 트랜잭션 : 15분 간격으로 호출
- ☐ 측정소별 실시간 측정정보 조회 : OpenAPI 사용
 - ㉠ 데이터 갱신 주기
 - 실시간 정보 : 10분 간격 (시간자료 갱신은 정각 20분 전후로 반영)
 - 대기질 예보 정보 : 22분, 57분 간격으로 발생
 - ㉡ 오퍼레이션명: getMsrstnAcctoRltmMeasureDnsty

㉔ 파라미터

- stationName: 중앙대 위치에 기반한 측정소 고정
- dataTerm: DAILY(1일)

㉕ 센서모듈 데이터 및 창호시스템 제어를 위한 서버 구축

□ GatewayLink

- 결과 파일의 값에 따라 창 컨트롤러 제어 명령어 송신
- 마지막 적용 mode값 저장 후, 새로운 mode값이 상이할 시 제어(안)

□ 창 컨트롤러 드라이버

- 업체명 : 세기전기 (Tel : 010-8980-4125)
- PLC 모델명: XGB XBM-DN32S
- PLC 프로토콜: modbus
- 물리적 연결: RS485, RS232 가능

□ 데이터 저장

- 센서모듈 및 기상데이터, 미세먼지 데이터 저장 : Big data 구축

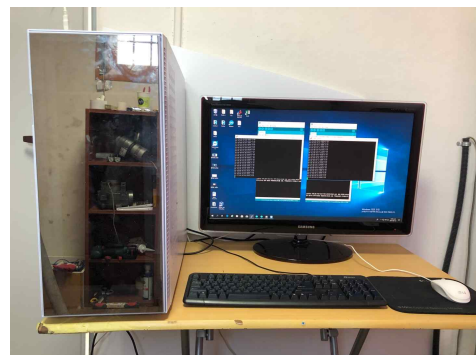
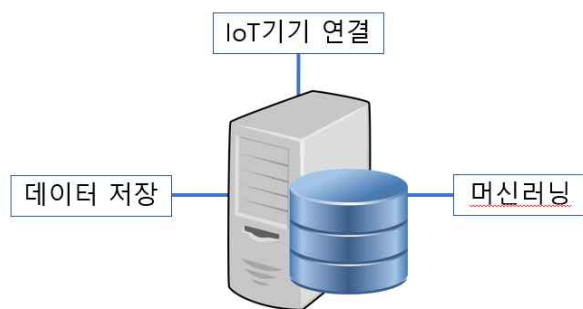


그림 2.65 서버의 주요 기능 및 구축된 모습

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

(1) 연구개발성과 평가

(가) 총괄 성과점검 기준표

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	1	미세먼지 차단 창호 환기시스템	1-2	미세먼지 차단 창호 환기시스템 개발	②	창호시스템 개발	6건	-	특허출원	특허건수	40	특허: 출원 3 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			1-3	창호환기시스템 Mock-up 및 Test Bed 성능평가	③	Mock-up 및 Test Be d 성능평가	1건	-	보고서 & 논문게재	Mock-up 실험을 통해 베이스라인대비 실내 미세먼지 60% 저감 및 인체쾌적지수 30% 향상에 대한 정량적 비교 분석 데이터 산출	5	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	2	쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능 (AI)기반 알고리즘 개발	2-2	인공지능(AI) 기반 알고리즘 개발	②	인공지능(AI) 적용 알고리즘 개발	1건	-	논문게재	논문게재건수	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	3	사물인터넷 (IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발	3-2	사물인터넷 기반 복합 센서모듈 개발	②	복합 센서모듈 개발	1건	-	특허출원	특허건수	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건 디자인: 1 건
	4	OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼 및 서버 구축	4-2	Open API 적용 알고리즘 플랫폼 구축	②	알고리즘 플랫폼 개발	1건	-	논문게재 건수 / 제어 소프트웨 어 개발	논문	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			4-2	IoT 활용 가능 서버 구축		서버 구축	-	-	보고서	보고서	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	계						10건				100	특허: 출원 5 건 등록 1 건 논문: 5 건 시제품: 1 건 SW: 1 건 디자인: 1 건

(2) 연차별 성과점검 기준표

[1차연도]

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증방법	가중치	
주관	1	정전방식 기반 미세먼지 차단 창호환기 시스템	1-1	정전방식 기반 미세먼지 차단 방안 도출	① 정전방식 미세먼지 차단 방안 도출	-	-	보고서	보고서	20	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건
	2	쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능 (AI)기반 알고리즘 개발	2-1	인공지능(AI) 기반 실내환경 조성 방안 도출	① 인공지능(AI) 실내환경 조성 방안 도출	1건	-	논문게 재	논문게재 건수	40	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 1건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건
	3	사물인터넷(Io T)기반 복합 센서 모듈 개발	3-1	센서 모듈 범위 및 방향 도출	① 센서 모듈 방향 도출	1건	-	논문게 재	논문게재 건수	20	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 1건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건
	4	OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼 (Platform) 및 서버 구축	4-1	Open API 데이터 실시간 정보접근 방안 도출	① Open API DB 접근 방안도출	-	-	보고서	보고서	20	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건
계						2건				100	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 2건 시제품: <u> </u> 건 SW: <u> </u> 건

[2차 연도]

구 분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달 성 치	측정방 법	검증방법	가 중 치		
주 관	1	정 전방식 기반 미세먼지 차단 창호환기 시스템	1-2	미세먼지 차단 창호 환기시스템 개발	②	창호시스 템 개발	6건	-	특허출원	특허건수	40	특허: 출원 3 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			1-3	창호환기시스템 Mock-up 및 T est Bed 성능평가	③	Mock-up 및 Test B ed 성능 평가	1건	-	보고서 & 논문게재	Mock-up 실험을 통해 베이스라인대비 실내 미세먼지 6 0%저감 및 인체쾌적지수 3 0%향상에 대한 정량적 비교 분석 데이터 산출	5	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	2	쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능 (AI)기반 알고리즘 개발	2-2	인공지능(AI) 기반 알고리즘 개발	②	인공지능(AI) 적용 알고리즘 개발	1건	-	논문게재	논문게재건수	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논 문: 1건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	3	사물인터넷 (IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발	3-2	사물인터넷 기반 복합 센서모듈 개발	②	복합 센서모듈 개발	1건	-	특허출원	특허건수	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건

											디자인: 1 건
4	OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼 및 서버 구축	4-2	Open API 적용 알고리즘 플랫폼 구축	②	알고리즘 플랫폼 개발	1건	-	논문게제 건수 / 제어 소프트웨어 개발	논문	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
		4-2	IoT 활용 가능 서버 구축		서버 구축	-	-	보고서	보고서	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
계						10건				100	특허: 출원 5 건 등록 1 건 논문: 3 건 시제품: 1 건 SW: 1 건 디자인: 1 건

(3) 핵심연구성과

연 번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과유형 ¹⁾	연구기관	해당 연차	TRL
1	미세먼지차단 창호환기 시스템 개발	- 유지 관리가 쉽고 경제성이 높은 정진필터를 활용하여 (초)미세먼지 차단 - 황사 및 미세먼지 등 외기 상태의 제약 없는 자유로운 환기 가능 - 자연환기 & 기계환기 병행사용으로 환기성능 및 실내공기 정화 효과 상승 - 경제적, 효율적 필터 교체 가능	② 장비·장치	중앙대학교	2	4
2	쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI) 기반 알고리즘 개발	- 인공지능(AI) 기반 미세먼지, 라돈, 이산화탄소 등 실내 유해물질 제거에 있어서 환기, 창호개폐, 냉·난방의 우선순위 결정 알고리즘 - 인공지능의 자가 학습을 통한 재실자 맞춤형 환기 및 실내환경 조성 가능 - 인공지능 및 인공지능, 딥러닝 활용 창호 환기시스템과 사물인터넷 네트워크 구축으로 스마트 홈오토메이션 등 적용성 및 확장성 극대화 - 실내·외 온·습도, 기류, 날씨 등을 고려한 자동 환기 및 창호 개폐 판단	⑤ 소프트웨어	중앙대학교	2	3
3	사물인터넷(IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발	- 재실자의 행동 및 상태, 실내·외 기후 및 온습도 상태 인지를 통한 실내 환경 조성 - 사물인터넷(IoT) 적용 재실자 행동 및 재실 유무에 따른 환기시스템 ON/OFF 및 창호개폐 제어	② 장비·장치	중앙대학교	1	4
4	OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼 및 서버 구축	- Open API 활용 상시 모니터링을 통한 대기환경 및 실내환경 정보 활용 - 실내 각종 전자 시스템과의 네트워크망 구축으로 시스템의 적용성 및 확장성 극대화	② 장비·장치	중앙대학교	1	4

(4) 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1		
정의	정전방식 기반 미세먼지 차단 창호환기 시스템	
목적	유지관리 용이하고 경제성 높은 정전필터 활용으로 (초)미세먼지 차단 및 정화	
성능목표	(기존기술 수준) 외부 미세먼지 차단을 위한 창호 전면 단순 필터 및 방충망 장착으로 창호의 원천적 기능인 시야확보 장애 발생 및 실내·외 환경에 따른 유연한 활용 불가 (개발기술 수준) 유지관리 용이하고 경제성 높은 정전필터로 외기 상태의 제약 없는 자유로운 환기 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	박진철(중앙대학교)	
소요기간	‘17.06 ~ ’18.05(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	미세먼지 차단 창호 환기시스템 개발 특허 출원 및 관련 논문게재, 시작품 제작	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 3건 / 등록 : 1건
	논문	SCI(E) : 건, 학술지 : 2건
	저작	
	S/W	
	신기술	
	기타	1 건

핵심성과 2		
정의	쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI)기반 알고리즘 개발	
목적	인공지능 기반 실내 유해물질의 제거 시 환기, 창호개폐, 냉·난방의 우선순위 결정 알고리즘	
성능목표	(기존기술 수준) 인공지능 기반의 실내환경 조성 알고리즘 부재 (개발기술 수준) 인공지능 기반 실내 유해물질 제거 방안 우선순위 결정 알고리즘으로 자동 환기 및 창호 개폐 판단	
성과달성 책임자 (소속기관)	박진철(중앙대학교)	
소요기간	‘17.06 ~ ’18.12(1년 6개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	인공지능 적용 쾌적 실내환경 조성 알고리즘 구축 관련 논문게재	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	SCI(E) : 1건, 학술지 : 1건
	저작	
	S/W	
	신기술	
	기타	

핵심성과 3		
정의	사물인터넷(IoT)기반 복합 센서 모듈 개발	
목적	재실자 행동 및 상태, 실내·외 기후 및 온습도 상태 인지를 통한 실내 환경 조성	
성능목표	(기존기술 수준) 확일적 실내환경 조성을 통한 실제 거주자 맞춤 제어 불가능 (개발기술 수준) 사물인터넷 기반 실내환경 조성 인자들의 복합 센서 모듈개발로 개인 맞춤 제어 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	박진철(중앙대학교)	
소요기간	'17.06 ~ '18.05(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	사물인터넷 기반 복합 센서 모듈 관련 특허 출원 및 논문게재	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	SCI(E) : 건, 학술지 : 1건
	저작	
	S/W	
	신기술	
	기타	

핵심성과 4		
정의	OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버 구축	
목적	Open API 활용 상시 모니터링을 통한 대기환경 및 실내환경 정보 활용	
성능목표	(기존기술 수준) 단순 Open API 활용으로 IoT 활용 구체적 플랫폼 부재 (개발기술 수준) 플랫폼 및 서버구축으로 홈오토메이션으로의 상호환기시스템 적용 및 확장	
성과달성 책임자 (소속기관)	박진철(중앙대학교)	
소요기간	'18.01 ~ '18.12(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	플랫폼 및 서버구축 여부, 관련 논문게재	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 건
	논문	SCI(E) : 건, 학술지 : 1건
	저작	
	S/W	
	신기술	
	기타	

나. 목표 달성여부

(1) 총 연구 성과 목표 및 달성도

[총괄 최종 달성도]

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	1건	0	
	비SCI	-		
	계	1건	0	심사중 (성과증빙 01-01)
국내 논문 게재	SCI	-		
	비SCI	4건	100	(성과증빙 02-01~04)
	계	4건	100	
특허 출원	국내	5건	100	
	국외	-		
	계	5건	100	5건 출원완료 (성과증빙 04-02~06)
특허 등록	국내	1건		
	국외	-		
	계	1건		1건 등록완료 (성과증빙 04-01)
인력 양성	석사	1건	200	
	박사	-		
	계	1건	200	석사 2명 석사 1명 : 2018년 2월 학위취득 석사 1명 : 2019년 2월 학위취득 예정 (성과증빙 07-04~05)
기술 이전	계약 건수	-		
	계약액	-		
	징수액	-		
국제 표준화	기고서 제출	-		
	기고서 채택	-		
	표준안 채택	-		
국내 표준화	기고서 제출	-		
	기고서 채택	-		
	표준안 채택	-		
등록·기타 대상 성과물	보고서 원문	-		
	연구시설·장비	-		
	기술요약정보	-	-	
	생명 자 원	생명정보	-	-
		생물자원	-	-
		신품종	-	-
	소프트웨어	1건	100	(성과증빙 06-01)
	디자인등록	1건	100	(성과증빙 07-03)
기타	하드웨어	1건	100	(성과증빙 07-02)
	성과 홍보	-	-	
	일자리 창출	-	-	

[1차 연도]

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	-	-	
	비SCI	-	-	
	계	-	-	
국내 논문 게재	SCI	-	-	
	비SCI	2편	100	2편 게재완료 (성과증빙 02-01~02)

구분		목표	달성도(%)	비고
특허 출원	계	2편	100	
	국내	-	-	
	국외	-	-	
특허 등록	계	-	-	
	국내	-	-	
	국외	-	-	
인력 양성	석사	1	100	
	박사	-	-	
	계	1	100	석사 1명 석사 1명 : 2018년 2월 학위취득 (성과증빙 07-04)
기술 이전	계약 건수	-	-	
	계약액	-	-	
	징수액	-	-	
국제 표준화	기고서 제출	-	-	
	기고서 채택	-	-	
	표준안 채택	-	-	
국내 표준화	기고서 제출	-	-	
	기고서 채택	-	-	
	표준안 채택	-	-	
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-	-	
	연구시설·장비	-	-	
	기술요약정보	-	-	
	생명 자원	생명정보	-	-
		생물자원	-	-
		신품종	-	-
	소프트웨어	-	-	
기타	화학물	-	-	
	시제품	1건	100	(성과증빙 07-01)
	성과 홍보	-	-	
	일자리 창출	-	-	

[2차 연도]

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	1	0	심사중 (성과증빙 01-01)
	비SCI	-	-	
	계	1	0	
국내 논문 게재	SCI	-	-	
	비SCI	2편	100	2편 게재완료 (성과증빙 02-03~04)
	계	2편		
특허 출원	국내	5	100	
	국외	-	-	
	계	5	100	5건 출원완료 (성과증빙 04-02~06)
특허 등록	국내	1	100	
	국외	-	-	
	계	1	100	1건 등록완료 (성과증빙 04-01)
인력 양성	석사	1명	200	
	박사	-	-	
	계	1명	200	석사 1명 석사 1명 : 2019년 2월 학위취득 예정

구분		목표	달성도(%)	비고
				(성과증빙 07-05)
기술 이전	계약 건수	-	-	
	계약액	-	-	
	징수액	-	-	
국제 표준화	기고서 제출	-	-	
	기고서 채택	-	-	
	표준안 채택	-	-	
국내 표준화	기고서 제출	-	-	
	기고서 채택	-	-	
	표준안 채택	-	-	
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-	-	
	연구시설·장비	-	-	
	기술요약정보	-	-	
	생명 자원	생명정보	-	-
		생물자원	-	-
		신품종	-	-
	소프트웨어	1건	100	(성과증빙 06-01)
	디자인등록	1건	100	(성과증빙 07-03)
기타	시제품	1건	100	(성과증빙 07-02)
	성과 홍보	-	-	
	일자리 창출	-	-	

(2) 관련 분야 기여도

성과 목표	자체 평가
정전방식 기반 미세먼지차단 창호형 환기 시스템	☐ 기존 단순 미세먼지 차단 필터 장착 창호에 환기 기능 첨가로 더욱 진보한 환기 제어 창호시스템 개발에 활용 ☐ 미세먼지 차단 창호 환기시스템을 제품화 하여 국내·외 시장 실용화 가능 ☐ 황사 및 미세먼지의 영향으로부터 구매받지 않는 환기로 실내 유해인자 차단 및 정화 가능 ☐ Mock-up 및 Test Bed 현장적용 성능평가를 통한 국가적 차원에서 온실가스 감축 효과에 기여 ☐ 주거건물 뿐만 아닌, 모든 용도의 건물 신축 또는 리모델링 시 적용 가능
인공지능(AI) 기반 실내환경 조성 알고리즘 개발	☐ 인공지능(AI)을 기반으로 하여 미세먼지(PM10)외에도 이산화탄소, 라돈 등 실내 유해물질의 제거를 위한 알고리즘 적용 용이 ☐ 실내·외 온·습도, 기류, 날씨 등을 고려한 자동 환기 및 창호 개폐 판단
사물인터넷(IoT)기반 복합 센서 모듈 개발	☐ 다양한 실내 환경 요소를 저비용으로 실시간 취득 할 수 있는 복합 IoT 센서모듈 개발 ☐ SBC기반의 Open-source platform인 Arduino를 활용한 개발로 신속성 및 향후 확장이 수월하여 다양한 IoT 환경에 접근 용이
OPEN API 및 IoT 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버 구축	☐ Open API 활용 상시 모니터링을 통한 대기환경 및 실내환경 정보 활용 ☐ 냉·난방기구, 출입문, 세탁기, 주방기구 등 실내 전자 시스템과의 네트워크망 및 워크스테이션 구축으로 창호환기시스템의 적용성 및 확장성 증대

4. 연구개발성과의 활용 계획

□ 미세먼지 차단 창호환기시스템 개발

- 기존 단순 미세먼지 차단 필터 장착 창호에 환기 기능 첨가로 더욱 진보한 환기 제어 창호시스템 개발에 활용
- 국내·외 시장 실용화를 통한 국가적 차원에서 온실가스 감축 효과에 기여

□ 쾌적한 실내환경 조성을 위한 인공지능(AI)기반 알고리즘 개발

- 인공지능(AI) 적용을 통하여 최적 실내 환경 조성 및 에너지 절약 도모 및 적정 냉난방 기기 용량 산정에 활용
- 재실자 맞춤형 실내환경 조성 시 축적된 Big Data로 향후 국내 실정에 적합한 실내환경 쾌적범위 설정 등 다양한 응용연구로 활용 - 병원, 요양시설 등 약자 맞춤형 창호 환기시스템 적용 가능

□ 사물인터넷(IoT) 기반 복합 센서 모듈 개발

- 실시간 모니터링을 통해 환경 변화에 즉각 대응 가능
- SBC 기반 센서 모듈의 확장성 및 경제성을 활용하여 다양한 연구·개발에 활용

□ Open API 및 활용 가능한 플랫폼(Platform) 및 서버(Server)구축

- 개발 플랫폼 및 서버를 활용하여 스마트 홈 및 홈오토메이션과 연계 활용 가능
- Big data의 축적으로 창호 환기시스템 제어의 정확성 향상 연구에 활용 가능

□ 학교, 병원, 요양시설 등 성장기 어린이 및 신체 노약자 맞춤형 창호 환기시스템 적용

- 재실자 맞춤형 창호 환기시스템 제어를 통해 재실자의 건강, 안전 및 삶의 질 개선이 가능

붙임 1. 참고문헌

1. Park, D. Y., Chang, S. J., 2015, Numerical Analysis on the Coupled Operation of Ventilation Window System and Central Cooling System, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 31(4)
2. Han, H. T., 2000, History of pleasant indoor air environment", Air cleaning technology No. 13
3. The architectural institute of Korea, 2003, Architecture9 Architectural Environment Planning" 176~184pages, Kimoon dang
4. Cha, D. W., 2010, Indoor air pollution, Kimoon dang, pp. 72~210
5. Oregon OSHA, 2014, Technical Manual, Indoor air quality investigations chapter2, pp. 4
6. Kim, J. S., 2008, Architectural Environmental Engineering, SeoWoo Publications, 153page
7. Chun, C. Y., Kim, G. T., Kim, S. D., 2014, A Study of Measurement on Airtightness and Air-Flow Performance of Apartment Housing Adopting Window Frame-Type Natural Ventilation, LHI Journal, Vol. 5, Issue 4, pp. 225-332
8. Lee, E. H., Kim, Y. S., Ji, C. G., 2013, A Study on Window Type Ventilation System Using IT Technology for Energy Saving in Housing Space, Journal of the Korean housing association 24(2)
9. Yang, Y. K., Park, B. R., Choi, E. Ji., Kim, T. W., Moon, J. W., Park, J. C., 2018, Performance Evaluation of Air Glide Window by Computational Fluid Dynamics Analysis, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, KIEAE Journal 18(1), 83-89
10. Yoo, S. J., Kang, J. W., Yang, J. H., 2013, A Study on Evaluation of Ventilation Efficiency from Ventilation System and Volume in the Small Printing Facilities Using CFD, Journal of the architectural institute of Korea planning & design 29(6)
11. Nam, Y. J., Sung, M. K., Song, D. S., 2011, Study on Non-uniform Thermal Comfort in Hybrid Air-Conditioning System with CFD Analysis, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 23(3)
12. Doosan Corporation, 2018, Louver, Doopedia; Cited 2018.08.22., Available from : http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?_method=view&MAS_IDX=101013000697711
13. Yi, C. S., Chin, D. H., 2017, Numerical Analysis on the Development of a Ventilation Opening Louver for Marine, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 16(1), 2017.2, 30-35 pages
14. Seo, J. H., Kim, B. T., Chin, D. H., Yoon, M. C. Kwak. J. S., 2015, Comparison of the Contact Characteristics for Sealing strips of the Tsunami Damper, Journal of KSMPE, Vol. 14, No. 1, 21-28 pages

15. Jang, S. C., Jung, W. B., Yi, C. S., 2015, A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in Marine/Offshore FD Fan, Journal of KSMPE, Vol. 14, No. 2, pp. 7~13.
16. the Fourth Industrial Revolution, 2017
17. Kang, I. S., Moon, J. W., Park, J. C. 2017.4, "Recent Research Trends of Artificial Intelligent Machine Learning in Architectural Field", JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 33(4),
18. Moon, J. W., "Development of Integrated Control Methods for the Heating Device and Surface Openings based on the Performance Tests of the Rule-Based and Artificial-Neural-Network-Based Control Logics", The International Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment 14(3)
19. Kim, J. B., Cho, S. W., Kim, J. M., Jung, J. W., Lim, Y. B., Jung, J. S., 2006.7, "A Study on the Safety against Secondary Disaster due to Submergence of Electrical Equipments In Underground Premises using Fuzzy Theory", The Korean Institute of Electrical Engineers.
20. Shin, D. S., Park, S. K., Park, Y. S., Park J. S., Lee, J. Y., "Night Purge Evaluation Using the RTS-SAREK in Office Buildings", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 27(12)
21. Kim, B. W., 2016, "Trend Analysis and National Policy for Artificial Intelligence", ICT Policy 23(1).
22. Jang, P. S., 2016, "2016 Davos Forum", SCIENCE AND Overseas Innovation Trend of TECHNOLOGY POLICY INSTITUTE.
23. Intelligent Information Industry Development Strategy, 2016
24. Brain Science Development Strategy, 2016
25. Jang, W. S., 2016, "Domestic Artificial Intelligence-based Industrial Inspection", Hyundai Research Institute 16(8).
26. McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., Shannon, C. E., 1955, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955", AI MAGAZINE of Association for the Advancement of Artificial Intelligence 27(4).
27. Nilsson, N. J., 1998, "Artificial Intelligence: A New Synthesis", Morgan Kaufmann Publishers.
28. Charniak, E., McDermott, D., 1985, "Introduction to Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company, 1st edition.
29. Winston, P. H., 1993 "Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company, 3rd edition.
30. Minsky, M., 1961 "Steps toward Artificial Intelligence", Proceedings of the IRE.

31. Callan, R., 2003, "Artificial Intelligence", Palgrave Macmillan.
32. Gartner, 2016, "Artificial Intelligence (AI)", IT Glossary.
33. Technavio, 2014, "Global smart machines market 2014- 2018", Robotics.
34. Moon, J. W., 2015, "The Introduction of Artificial Intelligence Theory", Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 9(4).
35. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015, "Deep learning", Nature 521(7553).
36. Bengio, Y., Courville, A., Vincent, P., 2013, "Representation learning: A review and new perspectives", IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 35(8).
37. Schmidhuber, J., 2015, "Deep Learning in Neural Networks: An Overview", Neural Networks 61.
38. Ahn, S. M., 2016, "Deep Learning Architectures and Applications", Journal of Intelligence and Information Systems 22(2).
39. Moon, J. W., Jeong, Y. H., Seo, Y. J., Ahn, H. S., 2014, "Comparative Analysis on the Thermal Control Performance of the Different Application Level of Artificial Neural Network-Based Methods for the Double Skin Envelope Building", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 14(2).
40. Moon, J. W., Kim, J. J., 2010, "ANN-based thermal control models for residential buildings", Building and Environment 45(7).
41. Holland, J. H., 1975, "Adaptation in natural and artificial systems", The University of Michigan Press.
42. Hong, S. W., Cho, Y. S., 2010, "A Study on Unit Remodeling Space Optimization Using Genetic Algorithm", JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 26(7).
43. Burges, C. J. C., 1998, "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition", Knowledge Discovery and Data Mining 2(2).
44. Lee, J. H., Kwon, H. G., Park, S. H., Kim, D. J., Hong, C. H., 2004, "The Development of VOC Measurement System Using PCA & ANN", J. ENVIRON. TOXICOL, 19(2).
45. Kwon, S. B., Kang, J. G., Ryu, S. W., Namgung, H. G., Park, S. C., Kim, M. H., Kim, J. H., 2017, "Advanced Technology on Indoor Air Quality Management Using the Artificial Neural Network for Smart Train Station", Korean Society for Railway 2017(5).
46. Cheong, H. S., Science Sharing Study Group, 2011, Design and production of small wind turbines, Iljinsa blue books, p.178, ISBN : 978-89-429-1192-9
47. Spera, David, Oct 01, 2008, Models of Lift and Drag Coefficients of Stalled and Unstalled Airfoils in Wind Turbines and Wind Tunnels, NASA Technical Reports Server, 42p; In English; Original contains black and white illustrations

48. Silverstein, Jan 01, 1935, Scale Effect on Clark Y Airfoil Characteristics from NACA Full-Scale Wind-Tunnel Tests, NASA Technical Reports Server, 18p; In English, NACA Technical Report 502
49. Theodore, T., 1933, Ice Prevention on Aircraft by Means of Engine Exhaust Heat and a Technical Study of Heat Transmission from a Clark Y Airfoil, NASA Technical Reports Server, Jan 01, NACA Annual Report 18, p. 91-112
50. Wenzinger, Carl J, Shortal, Joseph A, Jan 01, 1932, The Aerodynamic Characteristics of a Slotted Clark-Y Wing as Affected by the Auxiliary Airfoil Position, NASA Technical Reports Server, NACA Annual Report 17, p. 707-722
51. Bouchahm, Y., Bourbia, F., Belhamri, A., March 2011, Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate, Renewable Energy, Volume 36, Issue 3, pp. 898-906
52. Doosan Corporation, windtower, Doopedia, available from :
<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3588360&cid=40942&categoryId=32340>, accessed 2018.11.22.
53. Hurt, H. H., Jr. (1960). Aerodynamics for Naval Aviators. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.: U.S. Navy, Aviation Training Division. pp. 21 - 22. NAVWEPS 00-80T-80
54. Houghton, E. L.; Carpenter, P.W. (2003). Butterworth Heinmann, ed. Aerodynamics for Engineering Students (5th ed.). p. 17. ISBN 978-0-7506-5111-0
55. Phillips, W. F., (2010). Mechanics of Flight (2nd ed.). Wiley & Sons. p. 27. ISBN 978-0-470-53975-0.
56. Bertin, J. J., Cummings, R. M., (2009). Pearson Prentice Hall, ed. Aerodynamics for Engineers (5th ed.). p. 199. ISBN 978-0-13-227268-1
57. Boric, Marino, Spoilt For Choice, Bayerl, Robby; Martin Berkemeier; et al (editors): 2011-12, World Directory of Leisure Aviation, page 10. WDLA UK, Lancaster UK, 2011. ISSN 1368-485X
58. Beaumont, R.A., 1942,; Aeronautical Engineering, Odhams, Chapter 13, "Airscrews".
59. Bertin, J. J.; Cummings, R.M. (2009). Aerodynamics for Engineers (5th ed.), Prentice Hall ISBN: 013227268.
60. Blackbirds, Leland R. Haynes, Webmaster, SR-71. "Clarence L. Kelly Johnson Biography".
61. Alexander, D.E. (2002) Nature's Flyers, Johns Hopkins ISBN: 0801880599.
62. Hertel, Heinrich (1966) Structure, Form, Movement
63. Fish, F. E.,; Howle, L. E.,; Murray, M. M., (2008). "Hydrodynamic flow control in marine mammals". Integrative and Comparative Biology.

64. Rolls-Royce plc (2005). The Jet Engine (6th ed.) ISBN: 0902121235.
65. Cleynen, O., Wikimedia Commons, 4 December 2011, Examples of Airfoils.
66. A. Lefebvre, B. Dano, W. B. Bartow, M. D. Fronzo, and G. C. Zha., 2016 "Performance and Energy Expenditure of Coflow Jet Airfoil with Variation of Mach Number", Journal of Aircraft, Vol. 53, No. 6 (2016), pp. 1757-1767.
67. Kim, H. Keun., Cho, J. H., Kim, Y. S., 2010, Study of natural ventilation analysis according to the plane section and direction of the wind, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA conference 30(1), 2010, pp. 493-494

주 의

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