

공동주택의 실별 제어 환기시스템 적용 방안

양영권 / 김길태 / 이종건 / 권종호

report

연구기획 2023- 호

공동주택의 실별 제어 환기시스템 적용 방안

지 은 이 양영권, 김길태, 이종건, 권종호
발 행 인 김홍배
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhi.lh.or.kr>

전화번호 042-866-8655

이 메 일 abyss@lh.or.kr

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와
관계가 없습니다.
우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

공동주택의 실별 제어 환기시스템 적용 방안

Evaluation of Applicability for
Individual Room Controlled ventilation system in Apartment

양영권·김길태·이종건·권종호

참여연구진

연구책임

양영권 LH 토지주택연구원 책임연구원

연구진

김길태 LH 토지주택연구원 센터장

이종건 LH 토지주택연구원 연구원

권중호 LH 공공주택설비처 차장

연구심의위원 (가나다순)

이은엽 LH 토지주택연구원 실장(심의위원장 (중간·최종))

진규남 LH 토지주택연구원 실장(심의위원장 (착수))

강혁민 세종특별본부 차장

김종운 LH 공공주택설비처 부장

정지혜 LH 공공주택설비처 대리

김태형 한국건설기술연구원 수석연구원

서성모 한국건설기술연구원 수석연구원

오세민 국토안전관리원 과장

이상준 LH 주택기술단 차장

이정훈 충남대학교 교수

전주영 공공주택연구실 연구위원

정민희 중앙대학교 교수

정수광 숭실대학교 교수

자문위원 (가나다 순)

정민희 중앙대학교 교수

외국사례 외부 필진 (가나다 순)

강인성 텍사스대학교 교수

■ 재실시간 증가에 따른 공동주택 실내공기질 개선(CO₂) 중요

하루의 80% 이상을 실내에서 거주하는 현대인에게 있어서 주거의 실내공기질은 입주민의 건강 확보를 위해 매우 중요

- ‘2050탄소중립’을 위해 제로에너지건물(ZEB), 녹색건축 등 건물에너지 절약을 위한 노력이 지속되면서 건물의 기밀성이 높아졌으며, 이에 따라 자연스럽게 침기를 통한 건물의 환기율이 낮아짐

일반적으로 실내공기질 개선을 위해 「공기청정기」를 사용하지만, 이는 이산화탄소(CO₂)를 제거할 수 없음

- 공동주택 거주자들이 실내공기질 개선을 위해 사용하는 방법의 인식 조사 결과, (1순위) 자연환기, (2순위)공기청정기, (3순위)청소, (4순위)환기시스템사용으로 나타났음
- 하지만, 폭한기, 폭서기, 미세먼지 등으로 외기가 쾌적하지 못한 경우에는 자연환기 실시율이 급격히 낮아져서 공기청정기를 가장 많이 활용하는 것으로 나타남
- 공기청정기는 이산화탄소(CO₂)를 제거할 수 없기 때문에 실내 CO₂ 농도가 2,000 ~ 3,000ppm (기준:1,000ppm) 까지도 상승할 수 있음

■ 공동주택 환기시스템의 입주민 인식 제고

공동주택 환기시스템의 사용률은 20%대로 매우 저조한 실정이며, 주요 원인으로 ‘부족한 환기효율’, ‘소음’, ‘전기료’ 등이 있음

- 이와 같은 문제해결을 위해 ‘실별 제어 환기시스템’이 좋은 대안으로 주목되고 있음
- 실별 제어 환기시스템은 기존의 환기시스템과 같이 공동주택의 세대 전체를 제어하는 것이 아니고 각 실별로 개별 제어를 실시하는 방식임
- 환기가 필요한 실을 선택적으로 제어할 수 있기 때문에 동일한 환기효율 기준으로 기존 시스템대비 에너지 절약적임
- 환기시스템의 사용률 증가시키기 위해서는 환기효율 증가 및 에너지 절약적인 시스템의

도입 및 적용·확산을 통해 인식 제고 필요

- 녹색건축인증기준(G-SEED) 환기성능평가에서도 1등급 환기성능 인정 및 기존 시스템 단점 개선을 위해 ‘실별 자동제어 환기시스템’ 적용 필요

■ 정량적 성능 도출을 통한 실별 제어 환기시스템 적용성 검토

- 환기시스템은 방식에 따라 세대별 제어와 실별 제어로 구분할 수 있음
- 앞서 언급된 세대별 제어환기 시스템의 한계점 극복을 위해 실별 제어 환기시스템 필요
- 실별제어는 세대별 제어와 비교하여 환기효율이 높게 나타남. 특히 부분 환기 시 환기 전체 체적이 낮아질 경우 환기효과는 더욱 높아짐
- 실별제어의 특성 상 각 실마다 이산화탄소 센서를 적용되기 때문에 이를 통해 각 실별로 쾌적한 실내환경 유지 가능
- 전산유체역학(CFD) 분석결과, 덕트내의 기류 속도는 원형덕트가 장방형덕트보다 높게 나타났지만, 세대 전체의 확산 측면에서는 장방형 덕트가 유리한 것으로 분석됨
- 분배댐퍼(6구) 형상에 따른 기류변화 분석 결과, 기류 속도가 낮은 경우 댐퍼내의 와류 발생으로 인해 균일한 기류를 확인하기 어려움. 하지만 기류 속도가 높아지면 균일한 분포가 나타나는 것을 확인함

■ 실별 제어 환기시스템의 공동주택 적용성

- 분배댐퍼 방식과 전동디퓨저 방식 비교결과, 시공비, 시공 편의성, 유지·관리 비용, 유지·관리 편의성, 환기효율, 소음, 결로 평가 항목 중 전열교환기 본체의 소음과 결로는 전동디퓨저방식이 유리하며, 다른 항목은 모두 분배댐퍼 방식이 유리한 것으로 나타남
- 실별 제어 환기시스템이 적용 되기 위해서는 덕트 및 배기구 특성 변화에 따른 차압 손실 개선 필요하며, 실별 제어 특성에 적절한 제어 알고리즘 개발이 필수적으로 필요함
- AI 및 IoT와 연계하여 재실인원수 및 실내활동과 연계하면 더욱 효율적인 환기시스템이 될 것으로 사료됨
- 현재 민간 업체에 적용되고 있는 이산화탄소 센서는 성능에 대한 규제가 별도로 없기 때문에 저가의 센서를 적용한 경우 우수한 제어 성능을 확보하기 어려움. 따라서 센서에 대한 규정 마련 필요

주제어

실내공기질, 실내환기, 기계환기시스템, 실별제어 환기시스템

차례 Contents

제1장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적	1
1.1 연구수행 배경	1
1.2 연구수행 목적	2
1.3 연구내용 및 차별성	2

제2장 선행연구 및 실내공기질 고찰

1. 실내공기질 및 환기시스템	5
1.1 실내공기질 및 오염물질	5
1.2 공동주택 환기시스템 개요	5
1.2 환기방식 및 특징	5
2. 공동주택의 실별 제어 환기	9
2.1 실별 제어 환기시스템 개요	9
2.2 실별 제어 환기시스템 적용 사례	10

제3장 실별제어 환기시스템 유형별 환기 효과

1. 유형별 환기효과 분석 방법	15
1.1 환기효과 분석 개요	15
1.2 분석 방법	15
1.3 세대별 제어 및 실별 제어 효과 비교 분석	18

제4장 전산유체역학(CFD)을 활용한 환기 효과 분석

1. 분석 개요 및 방법	25
1.1 분석 개요	25
1.2 분석 방법	25
2. 전산유체역학(CFD) 분석이론	26
2.1 CFD 개념	26

2.2 전산유체역학의 기술 및 기법	26
2.3 k- ϵ 모델	27
3. 전산유체역학(CFD) 장·단점	28
4. Star-CCM+ 시뮬레이션 프로그램	29
5. CFD 시뮬레이션 해석 조건	31
5.1 공동주택 실별 제어 환기 적용 CO ₂ 농도 및 기류 분석	31
5.2 환기시스템 분배기 기류분석	35
5.3 덕트 형상별 기류분석	37
6. CFD 시뮬레이션 해석 결과	40
6.1 환기시스템 분배기 기류분석	40
6.2 덕트 형상별 기류분석	41
6.3 공동주택 실별 제어 환기 적용 CO ₂ 농도 및 기류 분석 결과	42

제5장 실별 제어 환기시스템 적용성 검토

1. 실내공기질 및 환기	45
1.1 기존(세대별 제어) 환기시스템의 한계	45
1.2 전동디퓨저 방식과 분배댐퍼 방식 비교	45
1.3 실별 제어 환기시스템의 한계 및 개선 필요	45
2. 이산화탄소(CO ₂) 센서	46
2.1 이산화탄소(CO ₂) 센서의 중요성	46
2.2 이산화탄소(CO ₂) 센서 방식 조사	46
2.3 이산화탄소(CO ₂) 센서 시장 조사	47

제6장 결론

1. 결론 및 시사점	49
2. 향후 연구개발 계획	50

참고문헌

참고문헌	51
------	----

표 차례 List of Tables

[표 1.1] 연구 내용 및 프로세스	4
[표 2.1] 실별 제어 환기시스템 현황 조사	10
[표 2.2] 실별 제어 환기시스템 적용 방법	11
[표 2.3] 자이 S&D 시스클라인 상세	11
[표 2.4] 건설사별 적용 사례	12
[표 2.5] 바닥면적 유형 별 공사비 상세	13
[표 3.1] 환기효과 분석 프로세스	15
[표 3.2] Test-bed의 상세 정보 및 도면	16
[표 3.3] Test-bed의 배경환경 측정 결과	17
[표 3.4] Test-bed의 CO ₂ 발생 농도 분석	17
[표 3.5] 가족 구성원 인원 수에 따른 CO ₂ 발생 농도 분석	18
[표 3.6] 환기시스템의 상세 제원 및 성능	18
[표 3.7] 각 단계별 풍량	19
[표 3.8] 단계별 풍량 측정 사진	19
[표 3.9] 세대별 제어 환기시스템 소음 측정 결과	23
[표 3.10] 실별 제어 환기시스템 소음 측정 결과	24
[표 4.1] 세대 기류 분석 셀별 상세 개요	33
[표 4.2] 분배덤퍼 기류 분석 셀별 상세 개요	36
[표 4.3] CFD 기류설정 경계값	36
[표 4.4] 장방형덕트 분석 셀별 상세 개요	38
[표 4.5] 원형덕트 분석 셀별 상세 개요	38

그림 차례 List of Figures

[그림 2.1] 환기시스템 개요	6
[그림 2.2] 정풍량 시스템에 적용된 DCV	7
[그림 2.3] 변풍량 시스템에 적용된 DCV	7
[그림 2.4] 폐열회수 환기시스템 개요	9
[그림 2.5] 세대 환기에어와 실별 환기제어의 조닝 비교	10
[그림 3.1] 세대별 환기제어 CO ₂ 농도 감소	20
[그림 3.2] 실별 환기제어 - 분배댐퍼 CO ₂ 농도 감소	21
[그림 3.3] 실별 환기제어 - 전동디퓨저 CO ₂ 농도 감소	21
[그림 3.4] 각 실에 CO ₂ 센서 설치 시, CO ₂ 농도 그래프 추이	22
[그림 3.5] 거실에만 CO ₂ 센서 설치 시, CO ₂ 농도 그래프 추이	22
[그림 4.1] CFD 분석 방법 Flow chart	30
[그림 4.2] LH 공동주택 표준 평면 (84m ²)	31
[그림 4.3] LH 공동주택 표준 평면 (84m ²) 3D 모델링	32
[그림 4.4] 3D 모델링 Mesh(격자)생성	33
[그림 4.5] 분석을 위한 Plane Section	34
[그림 4.6] 분배댐퍼 형상 및 세대 덕트 배관	35
[그림 4.7] 분배댐퍼 모델링	35
[그림 4.8] 분배댐퍼 모델링 및 메쉬작업	36
[그림 4.9] 덕트 3D 모델링	37
[그림 4.10] 덕트 메쉬(mesh)	38
[그림 4.11] Plane Section	39
[그림 4.12] 분배기 기류분석 결과	40
[그림 4.13] 장방향 덕트 기류분석 결과	41
[그림 4.14] 원형 덕트 기류분석 결과	42
[그림 4.15] 이산화탄소 농도 분석 초기 모델	42
[그림 4.16] 덕트 형상에 따른 실내 이산화탄소 농도 분석 결과	43

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1. 1. 연구수행 배경

1) 재실시간 증가에 따른 공동주택 실내공기질 개선(CO₂) 중요성 대두

- 하루 일과의 80% 이상을 실내에서 거주하는 현대인에게 있어서 주거의 실내 공기질은 입주민의 건강 확보를 위해 매우 중요
- 제로에너지건물(ZEB), 녹색건축 등 건물에너지 절약을 위한 노력이 지속 되면서 건물의 기밀성이 높아졌으며, 이에 따라 자연스럽게 침기를 통한 환기율이 낮아짐
- 실내 이산화탄소(CO₂) 농도는 재실 시간 및 밀도와 비례하게 증가하며, 대다수의 입주민은 실내공기질 개선을 위해 「공기청정기」를 사용하지만, 이와 같은 정화 방법으로는 실내 이산화탄소를 제거할 수 없음
- 공동주택 거주자들이 실내공기질 개선을 위해 사용하는 방법의 인식 조사 결과, (1순위)자연환기, (2순위)공기청정기, (3순위)청소, (4순위)환기 시스템 사용으로 나타남
- 하지만, 흡한기, 흡서기, 미세먼지 등으로 외기가 쾌적하지 못한 경우에는 자연환기 실시율이 급격히 낮아져서 공기청정기를 가장 많이 활용
- 공기청정기는 이산화탄소를 제거할 수 없기 때문에 농도가 2,000 ~ 3,000ppm (기준:1,000ppm) 까지 상승할 수 있음
- 공기청정기는 이산화탄소(CO₂)를 제거할 수 없기 때문에 실내 CO₂ 농도가 2,000 ~ 3,000ppm (기준:1,000ppm) 까지도 상승할 수 있음

2) 기존 세대별 제어 환기시스템의 한계

- 현재의 시스템보다 에너지 절약적이며 환기효율 상승을 위한 차세대 환기시스템 필요
- 대부분의 기존 환기시스템은 센서가 거실에만 있기 때문에 재실시간 및 밀도가 높은 방에서의 농도 변화에 민감하게 반응하지 못함
- 국소적으로 환기가 필요할 경우에도 국소환기를 할 수 없는 시스템으로 되어 있기 때문에 불필요한 에너지 소비 발생
- 녹색건축인증기준(G-SEED) 환기성능평가에서도 1등급 환기성능 인정 및 기존 시스템 단점 개선을 위해 '실별 자동제어 환기시스템' 적용 필요

1. 2. 연구수행 목적

1) 실별 제어 환기시스템의 정량적 데이터 확보

- 선진기술 및 선행연구 사례조사를 통한 기존 환기시스템 분석을 통해 현재 환기시스템의 개선 방안 도출
- 실별 제어 환기시스템 Test-bed 실증을 통한 성능 검증 및 개선점 도출

2) 실별 제어 환기시스템의 개선점 분석 및 적용방안 도출

- 환기시스템 및 분배기의 CFD(전산유체역학) 분석을 통한 개선점 도출
- 실별 제어 환기시스템 적용성 분석

1. 3. 연구내용 및 차별성

1) 연구내용

- 본 과제는 공동주택의 실별 제어 환기시스템 적용에 따른 장·단점 및 세부 정량적 데이터 도출이며, 세부적으로 실별 제어 환기시스템의 성능 검증

(실내공기질, 에너지절감), 환기 성능 향상을 위한 CFD 분석으로 나눌 수 있음

2) 연구 차별성

- 선행연구 및 시장 기술조사 결과, 실별 제어 환기시스템은 상대적으로 환기효과가 우수하고 에너지 절약적이지만, 설치비용 (전동디퓨저 또는 분배댐퍼, 센서 등) 이 증가하는 단점이 있음
- 실별 제어 환기시스템 현황 조사 결과, 실별 제어 방식은 대표적으로 '전동디퓨저' 방식과 '분배댐퍼' 방식이 있으며, 두 방식 비교 결과, 분배댐퍼 방식이 설치비용 측면에서 경제적(기기 단가 및 시공비)이지만, 두 방식의 비교를 위한 효과 및 성능 등에 대한 정량적 데이터가 없기 때문에 현재로서는 명확한 적용성을 판단하기 어려움
- 선행조사 결과, 분배댐퍼는 전동디퓨저 방식보다 상대적으로 경제적이지는 하지만 기존 세대별 환기시스템과 비교할 때는 약 2배의 추가 비용이 발생하는 것으로 조사 되었음. 이와 같은 단점이 있기 때문에 실증 실험 및 분석을 통해 이에 대한 적용성 검토 및 개선방안 마련이 필요함
- 선행연구 검토 결과, 2021년 LHRI에서 수행 된 'IoT 기반 실내환경 통합 제어시스템 개발'과제에서 '실내 환경 통합 시스템 제안'으로 언급되었으나, 실증 등의 실험 및 분석은 수행되지 않았으며, 타 연구기관에서도 실별제어 환기시스템의 실증을 통한 비교·검증 관련 수행 연구는 없음
- 따라서, 실별 제어 환기시스템의 적용성 비교를 위한 정량적 데이터는 없기 때문에 이를 위한 연구 수행은 차별성이 있는 것으로 사료됨

표 1.1 연구 내용 및 프로세스

단계	연구 내용 구성	수행방법
1	환기시스템 선진기술 및 선행연구 사례조사	자료조사 및 분석
	· 환기시스템 관련 법규 및 제도 조사 · 환기시스템 종류별 특징 및 성능 조사 · 실별 제어 환기시스템 특성 분석 · 실별 제어 환기시스템 개선방안 도출	
II	실별 제어 환기시스템 실증을 통한 성능 검증	실증 실험
	· 실증을 위한 테스트베드 구축 · 실별 제어 환기시스템 분석 · 실별 제어 환기시스템 개선방안 도출	
III	환기시스템 및 분배기의 CFD 분석 (부분위탁)	시뮬레이션 분석
	· 덕트 형상에 따른 기류 분석 · 환기시스템 제어방식에 따른 이산화탄소 농도 저감 분석(세대별 제어, 실별 제어) · 실별 제어 분배기 (6구) 기류 분석	
IV	실별 제어 환기시스템 적용성 분석	적용성 분석
	· 현(現) 환기시스템 한계성 검토 및 개선방안 도출	

제2장 선행연구 및 실내공기질 고찰

1. 실내공기질 및 환기시스템

1. 1. 실내공기질 및 오염물질

- 입주자의 실내환경에 영향을 미치는 주요 요소 중 하나인 실내공기질은 거주자의 건강과 직결되기 때문에 쾌적범위를 유지하는 것이 매우 중요함
- 주요 실내공기 오염물질은 일산화탄소, 이산화탄소, 휘발성유기화합물(폼알데하이드), 라돈, 미세먼지 등이 있음

1. 2. 공동주택 환기시스템 개요

- 환기란¹⁾ 실내의 오염물질농도, 습도, 그리고 온도를 제어하기 위한 목적으로 외부 공기를 유입하거나 실내로부터 공기를 제거하는 과정
- 적정 실내공기질은 재실자의 호흡대역(Breathing Zone; 바닥으로부터 75-1800 mm, 벽이나 고정된 공기조화시스템으로 부터 600mm 떨어진 공간)에서 약 80%이상이 공기질에 대하여 쾌적함을 느끼는 정도를 뜻함
- 자연환기는 에너지를 사용하지 않고 환기가 가능하지만 외부공기의 유입이나 실내 공기의 배출을 제어할 수 없음
- 기계환기는 에너지를 사용해 팬을 가동하여 덕트를 통해 쾌적한 외부공기의 유입 및 오염된 실내공기의 배출을 제어할 수 있음

1. 3. 환기 방식 및 특징

- 공동주택 환기 시스템의 제어 전략은 환기시스템의 특정 요구 사항과 목표에 따라 사용될 수 있으며, 저에너지, 쾌적한 실내 공기질 유지를 목적으로 제어되어야 함

1) 미국냉난방공조학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, ASHRAE) Standard 62.1/62.2 – Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality/ Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings

■ 환기시스템의 제어 방식

○ 온/오프 제어방식 (On / Off Control)

- 온/오프 제어 방법은 정해진 일정 또는 수동 스위치를 기반으로 환기 시스템을 활성화 또는 비활성화하는 기본적인 제어 방식

○ 타이머 제어방식 (Timed Control)

- 타이머 제어 방법은 시간 기반 일정에 따라 운영하여 건물 내 재실자가 거주하는 시간이나 야간 특정 시간에 환기시스템을 작동하는 방식

○ 재실자 기반 제어방식 (Occupancy-Based Control)

- 재실자 기반 제어 방법은 모션 감지기 또는 재실자 추적 센서를 사용해 재실자가 존재할 때에만 환기 시스템을 활성화하고 공간이 미사용 중일 때 비활성화 하도록 하여 에너지를 절약하는 방식
- Timed Control은 시간을 기반으로 재실자를 예측하여 환기시스템을 제어하는 방식이나, Occupancy-Based Control은 건물 내 재실자의 규모를 측정하여 환기량을 조절할 수 있는 더욱 발전된 제어 방식
- 그림 2.1은 Occupancy-Based Control에 사용되는 대표적인 Passive Infrared(PIR) 센서를 사용한 재실자 기반 환기 제어시스템의 원리를 나타냄

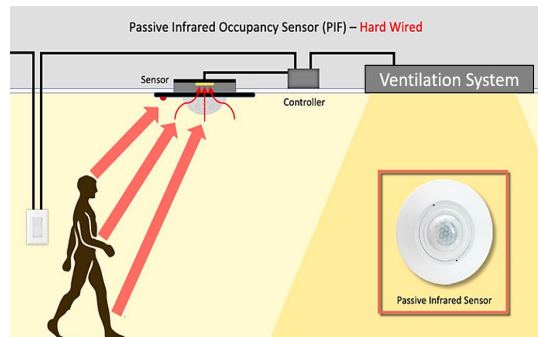


그림 2.1 환기시스템 개요

○ 수요기반 제어방식 (Pollutant-Based Demand-Controlled Ventilation(DCV))

- 수요기반 환기 제어는 실내 인원 및 오염물질 농도 수치에 따라 환기량을 제어
- 이산화탄소(CO₂) 농도는 실내공기질 및 환기량을 나타내는 주요 지표중의 하나이며, 센서를 설치해 이산화탄소 농도가 기준값(임계값)을 초과하면 환기시스템을 가동시켜 신선한 공기를 공급하고 오염된 공기를 배출하는 방식
- CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation 시스템은 Multiple-Zone VAV

Systems에도 적용되어 에너지 저감과 실내공기질 유지를 위해 사용되고 있으며, 정풍량 및 변풍량 시스템에 적용될 수 있음

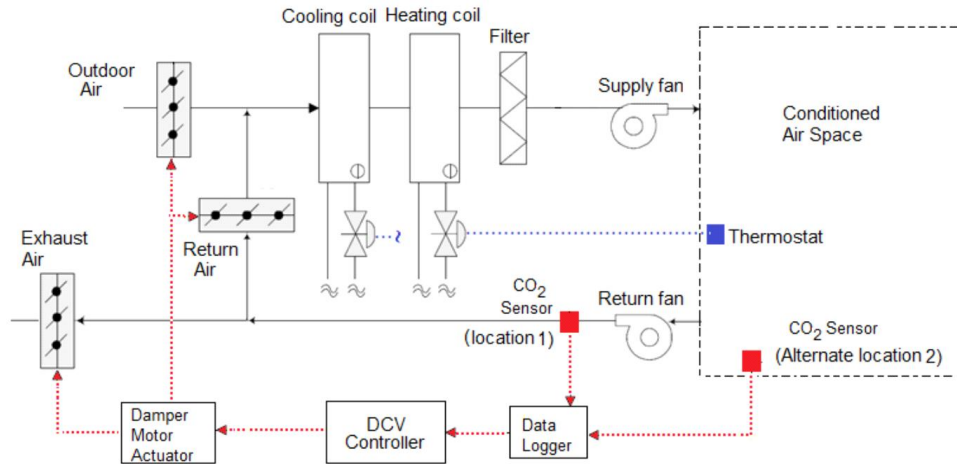


그림 2.2 정풍량 시스템에 적용된 DCV

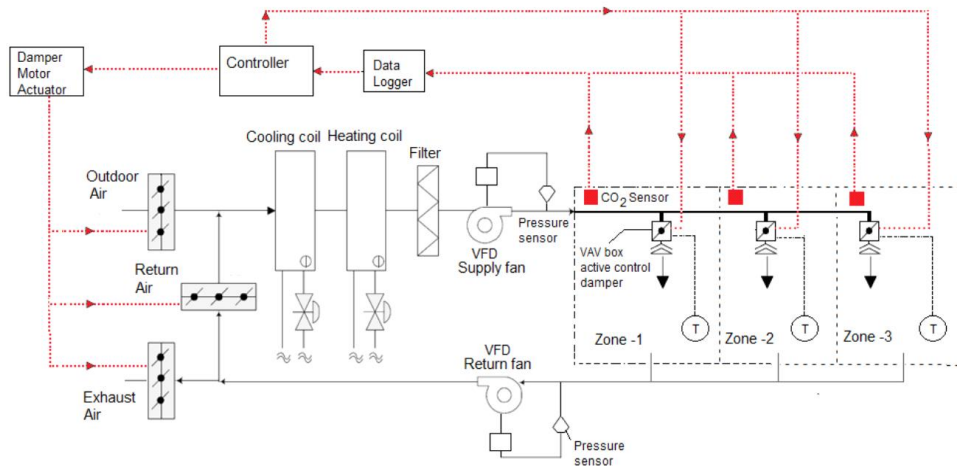


그림 2.3 변풍량 시스템에 적용된 DCV

- 습도기반 제어방식 (Humidity-Based Control)
 - 실내에 습도계를 설치하여 습도가 적정 구간을 벗어나면 최적 수준 유지를 위해 환기시스템을 가동시켜 신선한 공기를 공급하는 방식
- 온도기반 제어방식 (Temperature-Based Control)
 - 실내에 온도계를 설치하여 온도를 모니터링하고 필요한 경우 환기 시스템을 조절하여 편안한 온도를 유지하는 방식

○ 스마트 환기방식 (Smart Ventilation Systems)

- 스마트 환기 제어는 기존의 냉/난방 및 환기시스템 제어의 진보된 제어 방식이며, 온/습도, 공기질 등 학습 데이터와 외부 날씨 조건 및 실시간 센서 피드백을 기반으로 머신러닝(Machine Learning, ML) 및 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 알고리즘을 사용
- 스마트홈에서 최적의 실내 공기질, 에너지 효율성, 그리고 거주자의 편안함을 향상시키기 위해 사용되고 있으며 많은 연구가 진행되고 있다. 스마트 환기 제어는 장점들을 통합시켜 여러 센서들과 데이터를 기반으로 최적의 에너지 효율, 실내공기질, 거주자의 편안함을 제공할 수 있음

■ 우리나라에서는 기계 환기 방식을 크게 제1종(급·배기) 환기, 제2종(급기), 제3종(배기)로 구분하며, 우리나라의 공동주택은 일반적으로 제1종 환기 방식에 열교환기를 적용한 폐열회수 환기 방식 적용

○ 제1종(급·배기) 환기

- 제1종(급·배기) 환기시스템은 건물을 가/감압하지 않으며, 같은 풍량의 외부공기를 실내로 유입시키고 실내 오염된 공기를 외부로 배출
- 따라서, 일반적으로 각각의 팬(Fan)과 덕트(Duct)시스템을 갖추고 있기 때문에, 제2종, 제3종과 비교하여 상대적으로 설치비가 높음

○ 폐열회수 환기

- 폐열회수 환기시스템(ERV, energy recovery ventilation systems)은 배기와 급기 사이에서의 열회수를 통해 냉난방부하를 저감시켜 냉난방 에너지비용을 절감
- 동절기에는 배기의 온기로부터 열을 빼앗아 외기의 냉기 온도를 상승시킬 수 있으며, 하절기에는 배기의 냉기로부터 외기의 온기 온도 감소
- 폐열회수 환기시스템은 열만 교환하는 현열교환기(heat recovery ventilators(HRV))와 열과 습기 모두 교환하는 전열교환기(energy recovery ventilators(ERV))가 있음

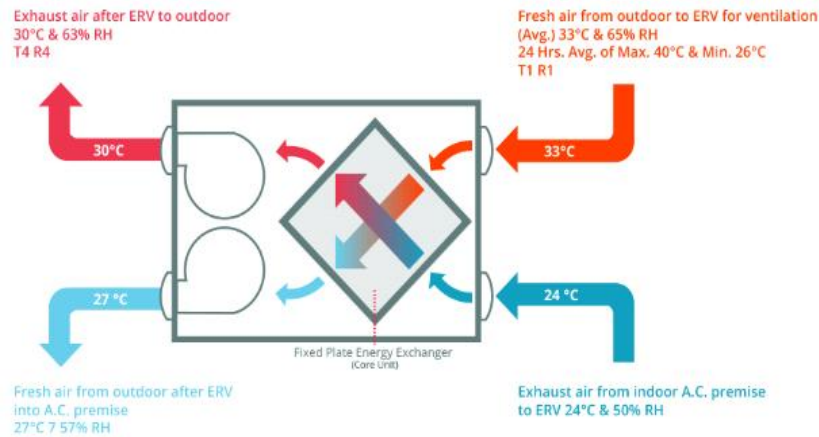


그림 2.4 폐열회수 환기시스템 개요

2. 공동주택의 실별 제어 환기

2.1 실별 제어 환기시스템 개요

- 실별 제어 환기시스템이란, 기존의 세대 전체를 제어하는 방식과 달리 각 실별로 별도 제어가 가능한 시스템을 의미하며, '각 실 제어'로 부르기도 함
- 공동주택의 실별제어 환기시스템은 에너지 효율성, 재실자의 편안함, 실내공기질 향상, 건물 규정과 같은 다양한 장점이 있음
 - 건물 내의 모든 실이 언제나 동일한 환기량을 필요로하지 않기 때문에 실별 제어는 환기가 필요한 실이나 기간에만 공급하여 에너지 사용을 최소화할 수 있음
 - 최근 공동주택은 냉·난방을 각 실별로 조절할 수 있는 시스템이 구축되어 있기 때문에 환기시스템도 각 실별로 제어 가능해야 효과적인 에너지 절약 가능
 - 열교환기가 적용되어 있는 환기시스템이라도 혹한기, 혹서기에는 환기로 인한 외기와의 열 교환이 이루어지기 때문에 각 실별 제어를 통한 열손실 최소화 필요
 - 재실자 별 선호하는 온도, 습도, 실내공기질과 사용 목적에 따라 환기를 제어할 수 있어 더욱 더 편안하고 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있음
- 감염확산 측면에서 COVID-19 바이러스와 같은 팬데믹 상황에 대비할 수 있는 중요한 환기 제어전략

- 그림 2.4와 같이 세대별 제어는 세대 전체를 하나의 조닝으로 구성하여 제어하지만, 실별 제어는 각각의 실을 개별로 조닝하여 제어 가능



그림 2.5 세대 환기에어와 실별 환기제어의 조닝 비교

2. 2 실별 제어 환기시스템 적용 사례

- 실별 제어 환기시스템의 주요 제조 업체 현황
 - 표 2.1과 같이 6개의 대표 제조사가 있는 것으로 조사되었으며, 전동디퓨저 방식을 채택하여 제조하는 업체가 더 많은 것으로 조사됨
 - 실별제어시스템은 일괄적으로 환기되는 기본 시스템과는 다르게 전동디퓨저를 통한 CO₂, 미세먼지, 유기화합물 오염농도를 스스로 감지하여 자동제어하는 방식임
 - 전동디퓨저 방식의 경우 환기 및 냉난방공기를 공급하는 기기로 각 공간에 필요한 양의 공기만을 공급하여 에너지를 절감할 수 있음

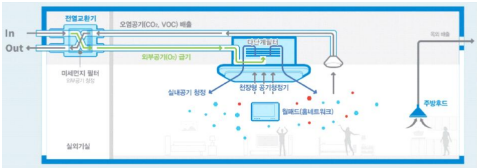
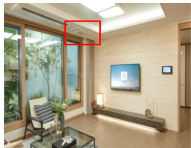
표 2.1 실별 제어 환기시스템 현황 조사

회사명	기술 및 연구명	전동디퓨저	분배댐퍼	설치비용
포스코	각실제어 청정환기 시스템	○		약 250만원/세대
대한피엔씨	각실제어 환기시스템	○		
옴니벤트	스마트 디퓨저	○		
자이스&D	빌트인 공기청정시스템	○		약 270만원/세대
에이올	1등급 환기시스템		○	약 190만원/세대
정우에이앤씨	각 실 제어 전동 공기분배기		○	

■ 공동주택의 실별 제어 적용 사례 조사

○ 주요 적용사항

표 2.2 실별 제어 환기시스템 적용 방법

실별제어 환기시스템		
		
주요 적용 부위		
거실	침실	주방
		

○ 포스코 E&C

- 업 체 명 : 포스코 E&C 및 경동나비엔
- 적용세대 : 약 1,200세대
- 적용금액 : 약 340~350만원(직접비 기준)
- 주요사항 : 공동주택 각실 제어 환기시스템 적용

○ 자이S&D²⁾

- 업 체 명 : GS건설
- 적용지구 : 시공단지 2019년~2023년 140개 이상 단지 대상으로 20만대 이상 적용
- 주요사항 : 각실제어 공기청정시스템 적용, 환기시스템 단일제어 가능(전열교환기/시공사)

표 2.3 자이 S&D 시스클라인 상세

품목	타입	선택안		설치장소	공급가액	공급업체
시스클라인	59,76,84,100	2	선택1	거실주방	1,960,000	자이 S&D
		2	선택1	거실침실1	1,820,000	
		3	선택1	거실주방침실1	2,800,000	
		5	선택1	거실주방침실1,2,3	4,480,000	

2) 판매가(입주자 모집공고 기준/타입별 표준 기본 선택)

대한피엔씨

- 적용지구 : 하남감일 B-1BL (689호 10년 임대)
- 공사기간 : 2018.11.19~2021.03.30 (입주일 : 2021.05.30)
- 업 체 명 : 대한피엔씨(대표자 : 신대건) 특허제10-1008209
- 결과보고 : 공사비 증가 폭 감안 시 사용율 및 기능성 미비로 미확대 결정
- 옴니벤트
 - 적용사례 : 강남구 압구정로 62길 17-4 이그니마(공동주택/단일세대)
- 에이올³⁾
 - 적용사례 : ZEB 공동주택 서울 고덕강일지구(900세대)
- 정우에이앤씨 : Test-bed 적용만 있으며 공동주택 적용 사례는 없음

표 2.4 건설사별 적용 사례

시공 및 시행	개발업체	적용공법	적용현황	비고
포스코건설	포스코E&C/ 경동나비엔	전동디퓨저	시공단지 내 약 1,200세대	2021~현재
GS	자이S&D		140개 이상 단지(20만대이상)	2019~2023
LH	대한피엔씨		하남감일 B-1BL (689호 10년 임대)	2018~2021
-	옴니벤트		공동주택(단일세대)	2018
SH	에이올	전동댐퍼	세곡 2지구 도시형생활주택 (87세대)	2021
			고덕강일지구 (844세대)	2023
-	정우에이앤씨		없음 (Test-bed 단계)	-

3) 에이올, MOF 활용 차세대 청정환기 사업화(khan 2022.02.06)

■ 공동주택 바닥면적 유형 별 공사비 분석

- 바닥면적타입에 따른 공사비는 표 2.3과 같으며, 최저 1,764천원부터 3,073천원으로 조사되었음

표 2.5 바닥면적 유형 별 공사비 상세

바닥면적타입	장비비 (원)	재료비 (원)	노무비 (원)	합계 (원)
46	832,900	668,068	263,680	1,764,648
55	984,350	815,018	404,790	2,204,158
59	1,135,800	905,194	494,400	2,535,394
74	1,155,800	922,550	510,880	2,589,230
84	1,155,800	1,375,760	541,780	3,073,340

■ 실별제어 환기시스템 적용 시 에너지 절약 효과⁴⁾

- 실별제어 환기시스템 적용 시 에너지 소비량 : 연간 665KW 감소
- 냉방에너지 소비량 : 연간 3.4% 감소
- 난방에너지 소비량 : 연간 11.6% 감소

※ 환기시스템(고효율 인증제품) 기준 : 138W, 1일 24시간 가동 시

냉방 에너지소비량 : 에어컨 (탄소배출계수(한국전력공사) 0.424kgCO₂/kWh)

난방 에너지소비량 : 도시가스(LNG;계수 56.1kgCO₂/GJ(연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수)

■ 이산화탄소 배출량 감소 효과 (13.7% 감소)

- 세대별 제어 환기시스템 (시간당 0.5회) : 연간 1,375.97kgCO₂
- 실별 제어 환기시스템 (시간당 0.5회) : 연간 1,187.09kgCO₂

4) 환기시스템분석 보고서, 강원대학교, 홍구표, 2022

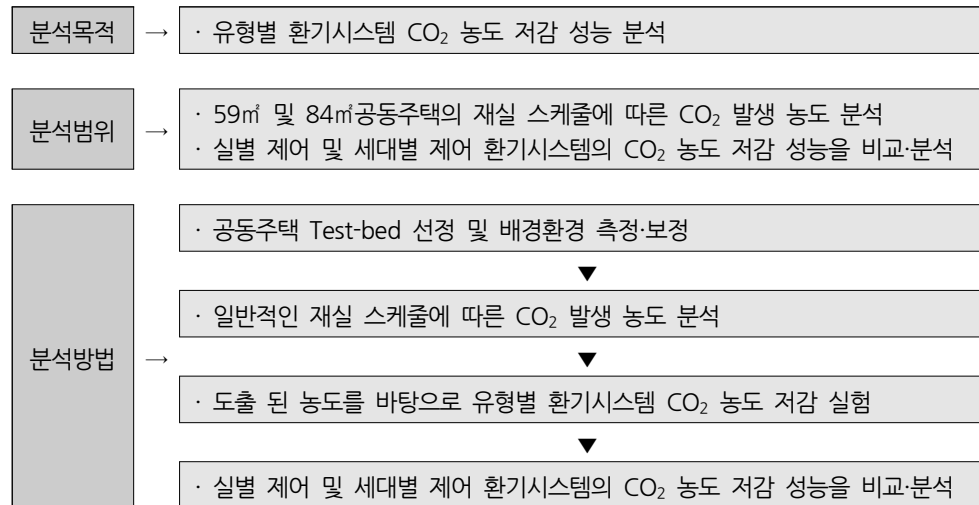
제3장 실별제어 환기시스템 유형별 환기 효과

1. 유형별 환기효과 분석 방법

1. 1 환기효과 분석 개요

- 본 분석의 목적은 실별 제어 환기시스템과 세대별 제어 환기시스템의 CO₂ 농도 저감 능력을 비교 분석하는 것임
- 59㎡ 및 84㎡ 공동주택의 재실 스케줄에 따른 CO₂ 발생 농도를 확인하고, 이를 바탕으로 CO₂ 가스를 활용하여 실험환경 구축
- 주요 이산화탄소 발생지점 설정을 위해 세대 내에서의 주요 실험 장소는 안방(Room1)이며, 해당 측정개소에서의 CO₂ 저감 시간을 분석

표 3.1 환기효과 분석 프로세스



1. 2 분석 방법

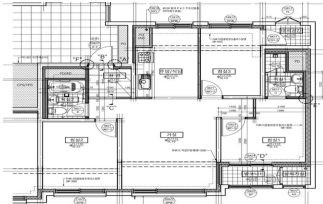
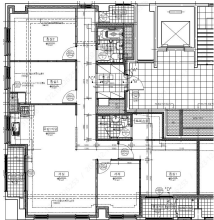
1) Test-bed 선정

- 실제 재실 환경에서의 농도 분석이 목적이기 때문에 59㎡ 및 84㎡ 공동주택 평면

으로 Test-bed 선정

- 위치는 세종특별자치시에 위치한 LH 주택성능연구센터의 실증·실험동 중 3세대를 선정하여 비교군과 대조군으로 설정하여 실험을 진행하였으며, 일반적인 공동주택 거주환경과 동일하게 실내를 구성
- 건물의 향은 남서향으로 배치되어 있으며, 실험지역인 세종특별자치시의 최근 3년간(기상자료개방포털, 2020~2022) 평균 풍속은 1.36m/s, 주풍향은 320(16방위)으로 나타남
- 표 3.2와 같이 59㎡의 평면구성은 거실, 주방, 방1~3, 화장실2로 구성되어 있으며, 84㎡ 평면구성은 거실, 주방, 방1~4, 파우더실, 화장실2로 구성되어 있음

표 3.2 Test-bed의 상세 정보 및 도면

	
1. Test-bed 위치 및 기상정보	2. Test-bed 정면
	
3. Test-bed 평면도 (59타입)	4. Test-bed 평면도 (84타입)

2) 배경환경 측정 및 보정

- 비교 실험의 정확한 실험결과 도출을 위해 우선적으로 Test-bed의 배경환경을 측정하였으며, 배경환경 측정 시 측정기기는 전문기관을 통해 보정 후 실시
- 측정은 2023년 2월 및 2023년 9월에 각 5회 반복 측정하였으며, 평균값을 활용

- 배경환경 측정결과, 재실인원의 없을 때의 Test-bed의 2월 평균온도는 25.9℃, 평균습도는 10%, 평균 CO₂ 농도는 464ppm으로 나타났으며, 9월의 평균온도는 23.8℃, 평균습도는 47%, 평균 CO₂ 농도는 507ppm으로 나타남

- CO₂농도는 특이사항 없이 일반적인 범위 수준으로 나타남

표 3.3 Test-bed의 배경환경 측정 결과

	평균온도	평균습도	평균 이산화탄소
2월	25.9℃ (난방)	10%	464ppm
9월	23.8℃ (냉방)	47%	507ppm

3) CO₂ 발생 농도 분석

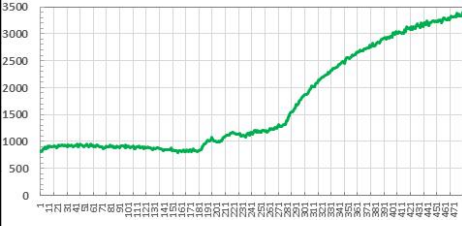
- Test-bed에서의 CO₂ 농도 실험은 1시간동안 재실인원이 있을 경우 인원수에 따른 농도 변화와 취침시간을 가정하여 8시간동안 측정 및 분석하였으며, 세대 전체의 개구부가 모두 Open되어 있는 상황과 개구부가 모두 Close 되어 있는 상황을 측정
- 이와 같은 실험은 실험인의 나이, 신체, MET등을 고려하여 상세히 분석해야 정확한 결과를 얻을 수 있지만 본 실험에서는 Test-bed에 해당되는 개략적인 수치를 취득하기 위함으로 인원수만 고려하여 간단하게 측정
- 개구부가 모두 Open 되어있고 재실인원이 거실에 있는 상황의 농도 측정결과, 1명일 경우의 CO₂ 농도는 717ppm으로 나타났으며, 4명일 때는 1219ppm까지 나타나는 것을 확인
- 개구부가 모두 Close 되어 있는 상황에서 1명일 경우 1247ppm, 2명일 경우 1497ppm까지 높아지는 것을 확인하였다. 재실인원이 높을수록 법정 기준치인 1,000ppm까지의 도달시간은 짧게 나타나는 것을 확인

표 3.4 Test-bed의 CO₂ 발생 농도 분석

개구부	재실인원	1시간 CO ₂ 최고 농도	기준치(1,000ppm) 초과 소요 시간
Open	1명	717 ppm	해당 없음
	2명	1047 ppm	61 min
	3명	1068 ppm	52 min
	4명	1219 ppm	41 min
Close (방1 재실)	1명	1247 ppm	57 min
	2명	1497 ppm	43 min

- 가족 구성원의 취침시간을 가정하여 8시간동안 이산화탄소 농도 변화의 측정결과, 4인가족의 경우 3405 ppm까지 상승

표 3.5 가족 구성원 인원 수에 따른 CO₂ 발생 농도 분석

측정시간	재실인원	1시간 CO ₂ 최고 농도	4인의 경우 이산화탄소 농도 그래프
8시간	1명	1630 ppm	
	2명	2247 ppm	
	3명	2600 ppm	
	4명	3405 ppm	

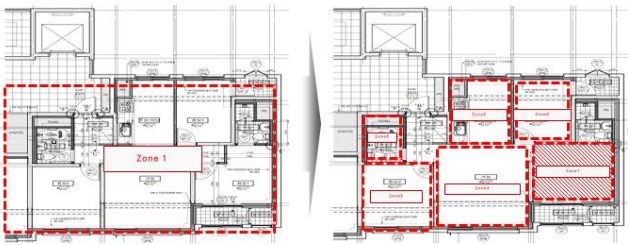
1.3 세대별 제어 및 실별 제어 효과 비교 분석

1) 환기시스템 및 조닝 개요

- 공동주택 환기시스템의 유형에 따른 CO₂ 저감 효과 측정 실시하였으며, '세대별 제어' 환기시스템과 '실별 제어' 환기시스템의 CO₂ 저감 효과 각각 동일한 환경에서 측정
- 실험에 활용 된 환기시스템의 성능 및 제원은 표 3.6과 같음

표 3.6 환기시스템의 상세 제원 및 성능

· 값은 디퓨저 최대 열림 상태에서의 성능이며, 발생소음 20dBA 미만, 정압손실 3Pa 이하는 미표기

	풍량 (CMH)	수치	세대별 제어 및 실별 제어 조닝계획
통과풍속 (m/s)	200	4.3	
	250	5.3	
	300	6.4	
정압손실 (Pa)	200	6	
	250	9	
	300	14	
발생소음 (dBA)	200	-	
	250	-	
	300	20	
도달거리 (m, 0.5m/s)	200	1	
	250	1.1	
	300	2.4	

2) 환기시스템 풍량

- 풍량 측정을 위해 측정 개소의 세대별 환기시스템을 풍량을 3단계로 조절하여(강, 중, 약) 급기구의 풍량 측정 실시

표 3.7 각 단계별 풍량

풍량 제어	풍량측정 개소		풍량(m³/h)
약	세대별 제어 환기		36.4
	실별 제어 환기	모든 디퓨저 OPEN	22.7
		방1 + 방2 + 거실 OPEN	23.9
		방1 + 거실 OPEN	29.9
		방1 OPEN	42.6
중	세대별 제어 환기		64.2
	실별 제어 환기	모든 디퓨저 OPEN	25.1
		방1 + 방2 + 거실 OPEN	24.6
		방1 + 거실 OPEN	32.6
		방1 OPEN	44.1
강	세대별 제어 환기		73.1
	실별 제어 환기	모든 디퓨저 OPEN	26.3
		방1 + 방2 + 거실 OPEN	27.3
		방1 + 거실 OPEN	35.4
		방1 OPEN	46

표 3.8 단계별 풍량 측정 사진

모든 디퓨저 OPEN		
약	중	강
		
방1 + 방2 + 거실 OPEN		
약	중	강
		
방1 + 거실 OPEN		
약	중	강
		
방1 OPEN		
약	중	강
		

3) 이산화탄소(CO₂) 농도 저감 효과

- CO₂ 농도 저감 효과 측정을 위해 '방1'의 이산화탄소 농도를 측정 및 비교하였으며, 차압 발생에 따른 기류 영향을 제거하기 위해 개구부 틈새를 모두 밀봉하여 기류 흐름을 차단하였음. 성능 검증 전 환기시스템은 TAB 실시
- 동일한 실험 조건 조성을 위해 각 모드 (강, 중, 약) 별로 동일한 Fan speed로 실험을 실시하였으며, 실험 시작 이산화탄소 농도는 2500ppm으로 설정하고 1000ppm 까지 저감되는 시간을 측정하였음
- 세대별 제어 방식과 실별 제어 방식 비교 결과, 전반적으로 실별 제어 환기시스템의 농도 저감효과가 우수한 것으로 나타남
- 세대별 환기 제어의 농도 감소 시간 대비, 실별 환기 제어의 두 방식의 평균시간은 풍량 별로 강 7분, 중 1분, 약 12분 으로 나타남⁵⁾

5) 초 단위 생략

■ 방식별, 풍량별 각 3회 측정결과, 실별 제어 방식 간의 이산화탄소 농도 감소 효과는 미미한 차이로 분배댐퍼 방식의 성능이 우수한 것으로 나타남. 하지만 이산화탄소 농도 저감 효과에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 판단됨

○ 세대별 환기 제어

- 세대별 환기의 경우, 1000ppm까지 도달하는데 「강」 29분, 「중」 35분, 「약」 67분 소요되었음

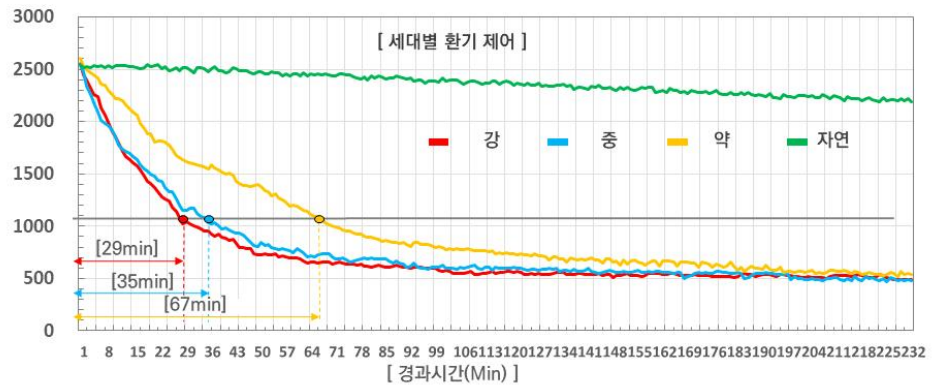


그림 3.1 세대별 환기제어 CO₂ 농도 감소

○ 실별 환기 제어

- 전동디퓨저 방식 : 강 20min, 중 33min, 약 53min
- 전동분배댐퍼 방식 : 강 23min, 중 34min, 약 59min

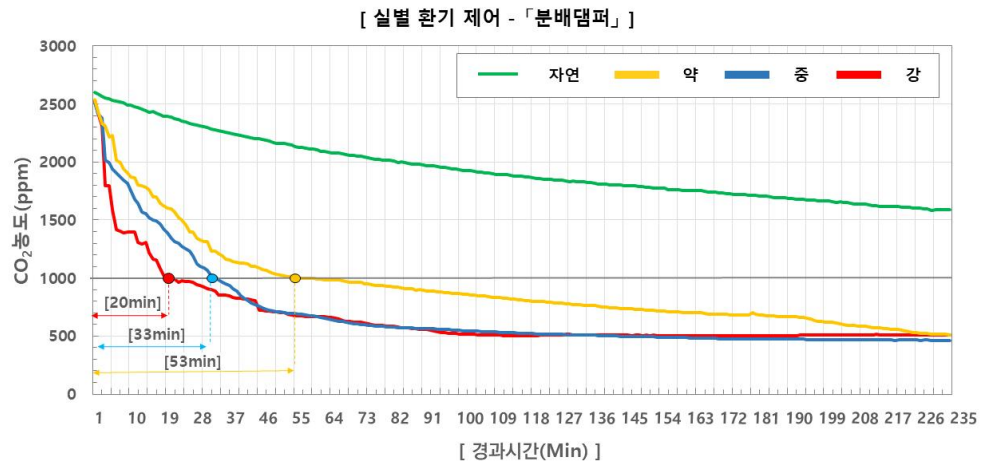


그림 3.2 실별 환기제어 - 분배댐퍼 CO₂ 농도 감소

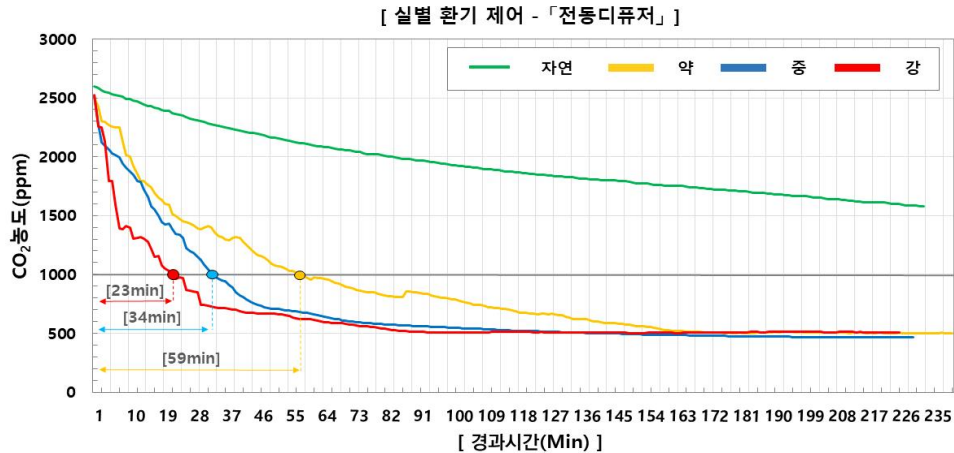


그림 3.3 실별 환기제어 - 전동디퓨저 CO₂ 농도 감소

3) 이산화탄소(CO₂) 센서 위치에 따른 성능 비교

- 실별 제어 방식은 각 실마다 이산화탄소 센서가 설치되어 있기 때문에 개별적인 모니터링이 가능함. 반면에 기존의 세대별제어의 경우 거실에만 센서가 설치되어 있어 세밀한 환경 모니터링이 어려움
- 이에 센서 위치에 따른 이산화탄소 농도 저감 효과 분석을 위해 비교 실험을 실시하였음
- 센서의 위치에 따른 실험조건을 다음과 같이 설정하여 실험 실시
 - 이산화탄소 농도가 700ppm 에 도달 시, 환기시스템이 작동되도록 설정되어 있음
 - 방 1에서 고농도의 이산화탄소(CO₂) 를 지속적으로 발생시켜 농도 변화 추이 분석
 - 방 1의 개구부는 일반적인 방문으로만 닫혀있는 상태였으며, 별도의 밀폐 작업은 실시하지 않고 일반적인 주거환경과 동일하게 설정하였음
 - 실험조건
 - Alt 1 : 각 실에 CO₂ 센서 설치
 - Alt 2 : 거실에만 CO₂ 센서 설치



그림 3.4. 각 실에 CO₂ 센서 설치 시, CO₂ 농도 그래프 추이



그림 3.5 거실에만 CO₂ 센서 설치 시, CO₂ 농도 그래프 추이

- 각 실에 센서가 설치 된 경우(Alt1), 방 1에서 고농도의 CO₂ 가 발생되면 700ppm 도달 시 환기시스템이 가동하여 이산화탄소 농도가 700ppm 내외에서 더 이상 추가 상승 없이 저감 됨
- 반면에 거실에만 CO₂ 센서가 설치 된 경우(Alt2), 방 1에서 고농도의 CO₂ 가 발생되어도 거실의 센서가 기계적으로 모니터링되지 않기 때문에 약 5000ppm까지 상승
- 따라서, 청정한 실내 유지를 위해서는 각 실에 CO₂ 센서를 설치하여 즉각적으로 반응하여 환기시스템이 가동될 수 있는 환경 조성이 필요함

4) 이산화탄소(CO₂) 농도 저감 효과

- 세대별 제어와 실별 제어 방식의 소음측정 비교를 위해, 풍량별 소음을 측정하였으며, 세대별 제어 방식의 경우 세대 내의 다른 실은 모두 닫혀있고 방 1의 급기구만 열려있는 상태에서 방1의 소음을 측정하였음
- 측정 위치는 방 1의 급기구의 수직 하단과 및 실 중앙에서 실시하였으며, 두 측정 지점 모두 바닥면으로부터 120cm의 높이에서 측정하였음
- 소음 측정 결과, 실의 중앙에서의 측정결과를 기준으로 상대적으로 세대별 제어 방식의 소음이 적게 발생하는 것으로 나타났음
- 이와 같은 결과는 동일한 Fan speed에서 개별 실만 측정하게 될 경우 풍속이 빨라지기 때문에 자연스러운 결과로 사료됨
- 특이사항으로는 전동디퓨저 방식의 경우 완전한 밀폐가 이루어지지 않을 시, 매우 큰 소음(50dB 이상)이 발생하는 경우가 있으며, 전열교환기가 설치되어 있는 베란다에서의 측정은 Test-bed의 외부 주변 환경 소음으로 인해 측정을 실시하지 못하였음

표 3.9 세대별 제어 환기시스템 소음 측정 결과

세대별 제어 시 소음					
풍량 (강)		풍량 (중)		풍량 (약)	
급기구	중앙	급기구	중앙	급기구	중앙
38.3(dB)	36(dB)	36.3(dB)	34.4(dB)	35(dB)	33.9(dB)

표 3.10 실별 제어 환기시스템 소음 측정 결과

실별 제어 시 소음					
풍량 (강)		풍량 (중)		풍량 (약)	
급기구	중앙	급기구	중앙	급기구	중앙
44.5(dB)	43.5(dB)	36.9(dB)	35.9(dB)	36.9(dB)	36.2(dB)

제4장 전산유체역학(CFD)을 활용한 환기 효과 분석

1. 분석 개요 및 방법

1. 1 분석개요

- 본 분석은 실별 제어 환기시스템에 따른 환기방식과 분배댐퍼, 덕트 형상에 따른 기류분석을 목적으로 함
- 전산유체역학CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션수행은 실제 환경을 구현하는 컴퓨터 분석 방법으로서, 실제 환경으로 구현하기 어려운 분석에 용이함
- 본 분석에서는 Star-CCM+ (Ver. 2023)을 활용하여 공동주택 실별 제어 환기시스템 적용에 의한 환기량, CO₂ 농도, 기류분석을 위한 시뮬레이션을 수행함
- 실별 제어 환기시스템의 환기 효과, 유지관리 및 효율성, 성능적 장/단점의 사전 검증을 위한 기초 자료로의 활용 가능

1. 2 분석방법

- 공동주택 특정조건 분석을 위한 3D 모델링
 - 공동주택 평면, 환기덕트 평면 참고
- CFD 해석 경계조건 및 Mesh 최적 설정
- 조건별 CFD 시뮬레이션 수행 및 분석
- 실별 제어 환기시스템에 따른 환기량, CO₂ 농도, 덕트 형상에 따른 기류 비교분석

2. 전산유체역학(CFD) 분석이론

2.1 CFD 개념

- 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)은 유체 현상을 기술한 비선형 편미분 방정식인 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes Equations)을 FDM(유한차분법, Finite Difference Method), FEM(유한요소법, Finite Element Method), FVM(유한체적법, Finite Volume Method) 등의 방법들을 사용하여 이산화 하여 대수방정식으로 변환하고, 이를 수치 기법(Numerical Method)의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 풀고 해석
- 컴퓨터를 사용하여 공학 문제에서 유체와 기체의 상호작용을 시뮬레이션 한다. 전산 유체역학은 단상 및 다상 유동(Single-and Multi-Phase flow), 연소(Combustion) 및 화학 반응(Chemical reaction) 등 다양한 문제들을 해석할 수 있도록 개발되고 있음

2.2 전산유체역학의 기술 및 기법

- 전산유체역학에 있어서 가장 기본적인 고려사항은 연속체로 가정한 유체 입자 집합들을 어떻게 컴퓨터상에서 계산이 가능하도록 이산화(discretization) 할 수 있는지가 중요함
- 그중 하나는 공간 도메인(spatial domain)을 매우 작은 공간격자(volume mesh or grid)로 이산화하고, 각각의 격자에 대해 운동 방정식을 세워 적절한 수치 알고리즘을 이용하여 계산하는 것
- 비점성 유동에서는 오일러 방정식을 사용하고 유동에서는 나비에-스톡스 방정식을 사용
- 2차원의 경우 2차원에서 삼각형 격자나 3차원에서 피라미드격자처럼 이산화 된 격자는 일정할 수도 있고 일정하지 않을 수도 있음
- 일반적으로 전산유체역학에서 나비에-스톡스 방정식을 풀기 위해 직접 수치 모사(Direct Numerical Simulation, DNS)와 같이 모든 난류 길이 척도(turbulent

length scale)에 대한 해상도를 가진 격자를 이용하거나, 층류 유동일 경우에는 나비에-스톡스 방정식을 단순화하여 직접 계산하기도 함

- 일반적으로 모든 난류 길이 척도에 대한 해상도를 가진 격자를 계산하는 것은 현존하는 가장 고성능의 컴퓨터를 사용한다 하더라도 매우 어려운 일이다. 이런 경우 난류 유동을 모사하기 위해 난류 모델(turbulent model)이라는 것을 도입
- 난류 모델에는 DES(Detached Eddy Simulations), LES(Large Eddy Simulations), k-ε 모델, k-ω 모델, 레이놀즈 응력 모델(RSM, Reynolds Stress Model)과 같은 RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes)에 기반을 둔 방정식들이 있음
- 난류 모델은 기본적으로 난류 전단 응력과 유동 특성간의 선형 함수 관계를 가정한 부씨네스크 가정(Boussinesq hypothesis)에 기반을 두고 있음

2.3 k-ε 모델

- 난류특성을 평균류만으로 나타내는 것은 비교적 간단한 일부 유동장에 국한되며, V_t 를 난류량으로 부터 구하는 것을 생각하여 난류 특성속도를 $\sqrt{k}$ 로 하고, 특성 길이를 l로 하면 V_t 는 C를 계수로 하여 다음과 같이 표시함

$$V_t = c \sqrt{k} \times l$$

- 위와 같은 표시 식을 Prandtl-Kolmogorov의 난류점성 공식이라 하며, k를 수송 방정식으로, l을 대수식으로 주는 것이 1방정식 모델이며, k와 l을 모두 수송방정식으로 주는 것이 2방정식 모델임
- Navier-Stokes(NS) 방정식을 조직하여 1방정식 모델의 수송방정식을 유도하는 것은 어렵기 때문에 NS 방정식으로부터 유도할 수 있는 다른 양(量)의 수송방정식을 이용하여 모델화함
- 현재 가장 많이 사용되고 있는 것이 소산(消散), ε의 식으로 k-ε모델이며, k-ε모델은 2방정식 모델의 대표적인 모델로 k는 난류의 운동에너지(Kinetic Energy of

Turbulence), ϵ 은 난류소산율(Turbulence Dissipation Rate)을 의미함

- 원래의 ϵ 방정식은 매우 복잡한 형태이며, 미지량을 포함하고 있음. 또한 측정이 어렵기 때문에 참고로 하는 실험데이터도 적으므로 적당한 항을 모아 대류, 확산, 생성, 소멸로 분류하고, 뒤 3항을 차원관계에 입각한 간단한 형태로 모델화 함
- ϵ 의 모델 식은 완전히 경험적인 것으로 그 대표적인 모델 식은 다음과 같음

$$U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = C_1 \frac{v_{T^e}}{k} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_T}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right)$$

- 모델상수의 추천 값은 다음과 같음

$$C_\mu = 0.09, C_1 = 1.45, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

- 2방정식 모델은 속도와 길이 스케일을 모두 난류량으로 취하므로, 그 네 개의 기본적인 효과, 즉 생성, 소멸, 대류, 확산을 동시에 고려할 수 있음

3. 전산유체역학(CFD) 장·단점

3.1 장점

- 저렴한 경비 및 장비
- 소요 시간 절약
- 완벽한 정보
- 실제적인 조건을 모사하는 능력
- 이상적인 조건을 모사하는 능력

3.2 단점

- 수학적으로 모델화 된 내용을 풀이하므로 이론계산의 유용성 한계
- 부적절한 수학적 모델이 사용되면 무의미한 결과 도출

- 특수한 경우 실험적 방법을 통한 해석결과의 타당성 검증 요구

4. Star-CCM+ 시뮬레이션 프로그램

- Star-CCM+는 CAD에서부터 post-processing, single integrated 소프트웨어 환경에서 통합된 CFD 과정을 제공
- CAD나 격자를 자동적으로 만들 수 있어 빠르고, 정확한 결과를 제공하고, 복잡한 비정형 격자에 정확성을 갖고 있으며, 정상 및 비정상 상태의 시뮬레이션에서 효율 또는 해의 정확성을 감소시키지 않고 계산을 수행할 수 있음
- Surface wrapping, 높은 질의 자동 격자(다면체 또는 육면체 격자)와 모델 사이에서 컴포넌트를 복사하고 붙여 넣는 기능을 갖고 있어 항공기나 로켓, 자동차 등의 공기역학설계, 기계의 성능개선, 건축 환경 및 건축설비 분야 등에서 널리 사용
- 프로그램은 경계조건을 설정하는 Pre-processing 부분과 설정된 입력값을 수렴 조건 내에서 반복 계산하는 Solver-processing, 마지막으로 계산된 수치를 가시화 할 수 있는 Post-processing으로 구성
- 분석방법
 - 분석영역 정의: 분석하고자 하는 영역을 정의하고, 분석영역 내 분석결과(기류유동)에 중요한 영향을 주는 것으로 판단되는 일부 구성요소 등을 제외한 나머지 요소들은 단순화 및 제외하여 최종 분석영역을 구성
 - 분석영역의 3차원 모델링: 발주처에서 제공한 평면도를 활용하여 『LH공동주택 표준평면 84m2』을 3차원 모델링으로 구성
 - 경계조건의 입력 및 프로그램 실행: 3차원 모델링 결과를 해석 프로그램 내로 Import(.stl)하여 입력조건(SA & RA Volume, Heat Flux, etc,) 및 경계조건(Boundary Condition)등을 입력한 후 계산 값이 일정 오차범위 내(수렴조건 : 10^{-5})로 수렴 할 때까지 계산
 - 결과의 가시화 및 해석: 계산 결과가 수렴되면 해석 공간 내 기류·유동 등을 가시화 한다. 이상 시뮬레이션 결과로 제시되는 해석공간의 기류·유동 특성을 토대로 분석 공간 내 적용된 공조시스템의 신뢰도를 검증

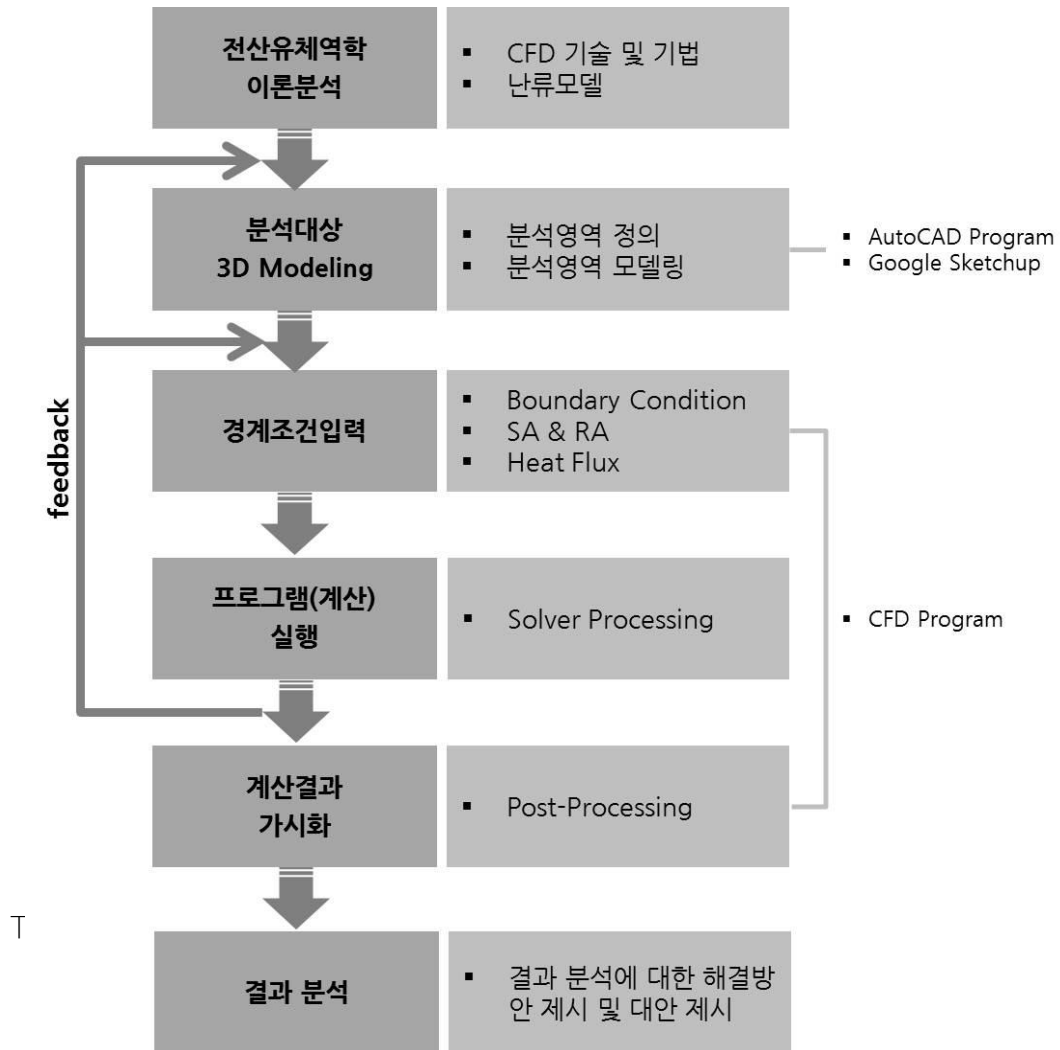


그림 4.1 CFD 분석 방법 Flow chart

5. CFD 시뮬레이션 해석 조건

5.1 공동주택 실별 제어 환기 적용 CO₂ 농도 및 기류 분석

- 분석 대상 세대는 LH공동주택 표준평면 84m² 형을 대상으로 함
- Star-CCM+ 프로그램을 활용하여 CFD 시뮬레이션 수행, 실별 제어 환기시스템 적용에 의한 CO₂ 농도를 분석함

① 분석대상 평면

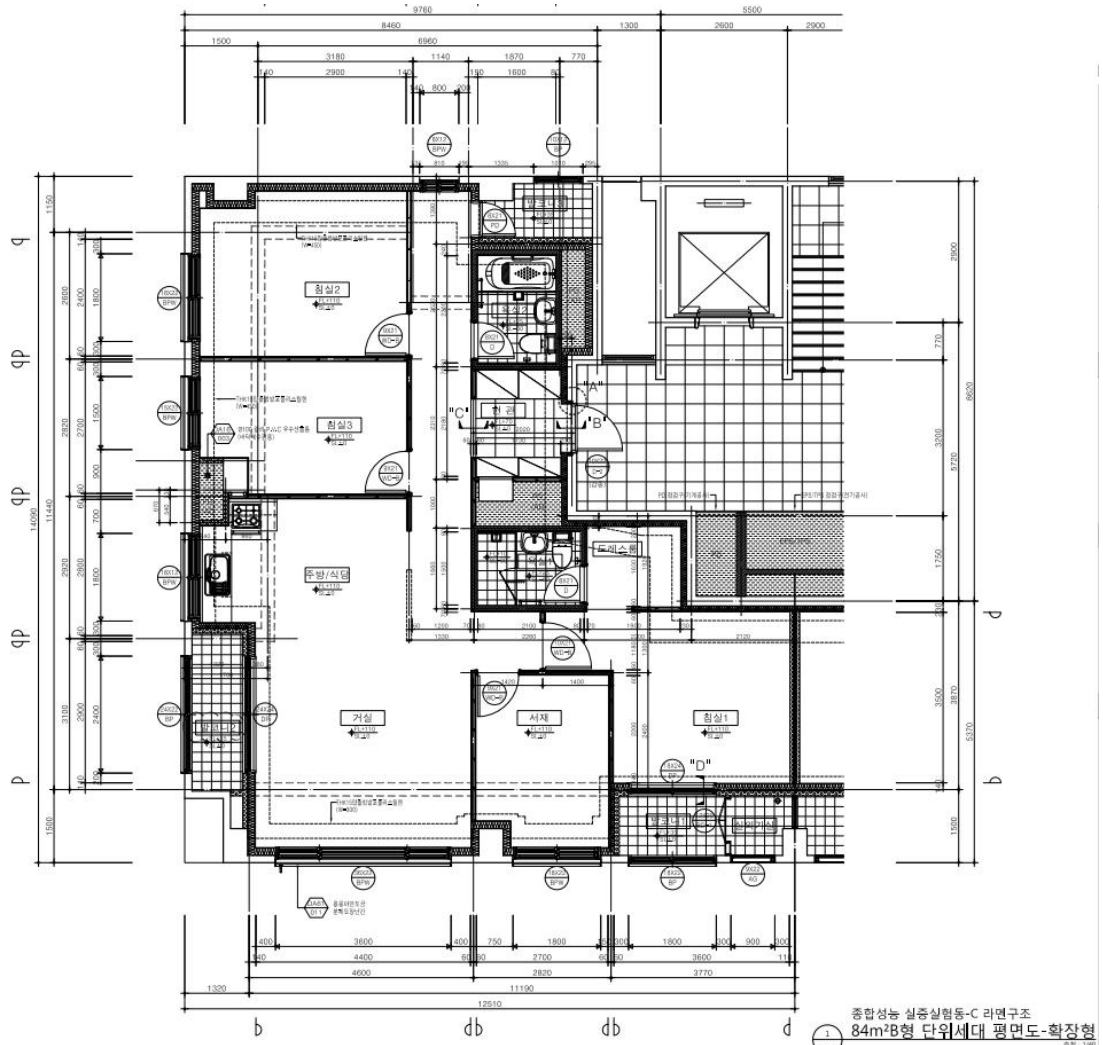


그림 4.2 LH 공동주택 표준 평면 (84m²)

② 모델링

- Star-ccm+ 프로그램에 내장되어 있는 '3D-CAD Models' 을 활용하여 3D 모델링 완료

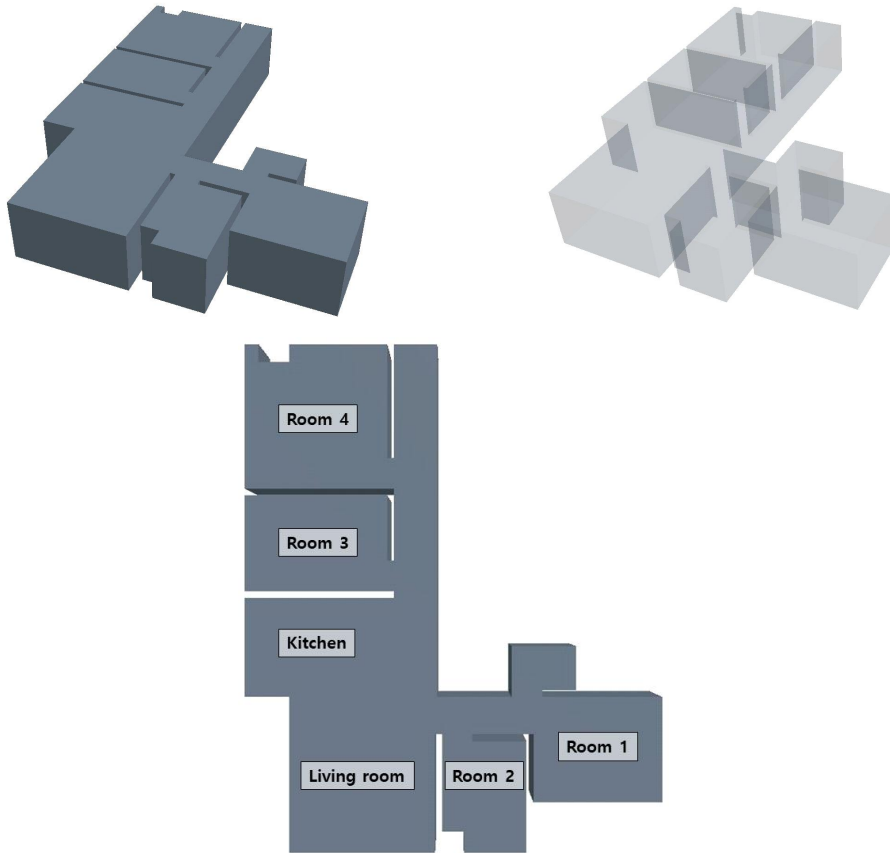


그림 4.3 LH 공동주택 표준 평면 (84m²) 3D 모델링

③ Mesh 설정

- Mesh의 퀄리티 검증을 위한 진단결과, Face Validity는 100% (936,952) 모두 1.0으로 나타났으며, Volume Change는 97.3%(911,589)가 1.0으로 나타났음

표 4.1 세대 기류 분석 셀별 상세 개요

Cell	Count		
tetrahedral	6		
hexahedral	7,043		
wedge	741		
pyramid	3		
polyhedral	929,159		
cells total	936,952		
interior faces	triangular	184,471	4,983,916
	quadrilateral	2,202,263	
	polygonal	2,597,182	
vertices	3,836,585		

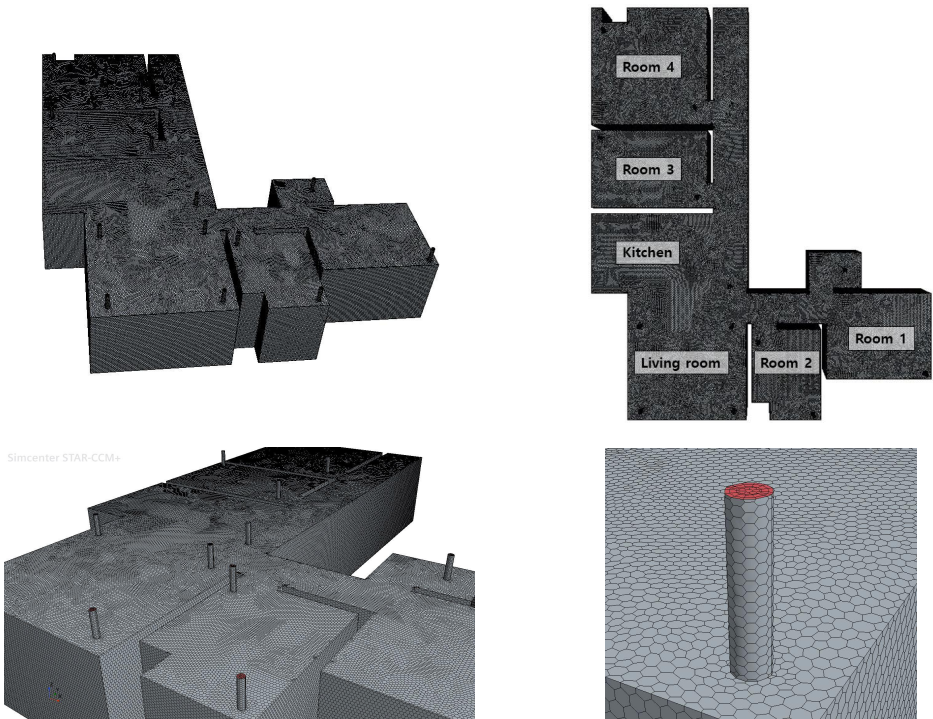


그림 4.4 3D 모델링 Mesh(격자)생성

④ 분석 Section

■ Plane Section을 활용하여 2차원 분석 수행

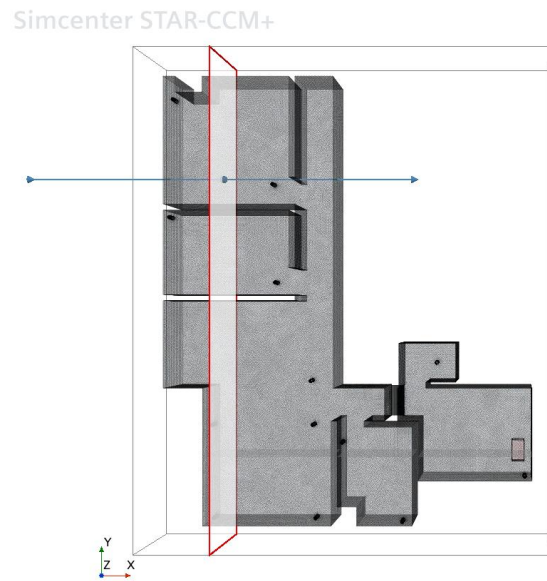


그림 4.5 분석을 위한 Plane Section

⑤ 물리모델

■ 물리모델은 아래와 같이 총 16개의 설정 값 사용

- Gravity
- Adaptive Mesh
- Two-Layer All y^+ Wall Treatment
- Wall Distance
- Realizable K-Epsilon Two-Layer
- K-Epsilon Turbulence
- Reynolds-Averaged Navier-Stokes
- Turbulent
- Segregated Fluid Temperature
- Ideal Gas
- Segregated Flow
- Non-reacting
- Multi-component Gas
- Implicit Unsteady
- Solution Interpolation
- Three Dimensional

⑥ 기류설정

- 기류 설정은 약, 중, 강 모드의 구현을 위해 1m/s, 2m/s, 3m/s로 설정
- 급기구와 배기구 모두 Velocity Inlet : 1m/s, 2m/s, 3m/s 으로 설정
- 초기 조건으로는 실내에 이산화탄소(CO₂)로 설정하여, 청정한공기(O₂)가 유입되는 것을 분석

5.2 환기시스템 분배기 기류분석

- 각 실 제어를 위한 공기분배기는 6구 형태의 분배기를 분석
- 기류 분석은 Star-CCM+ 프로그램을 활용하여 CFD시뮬레이션 수행

① 분배기 형상 상세

- 분배기의 형상은 다음의 그림과 같음

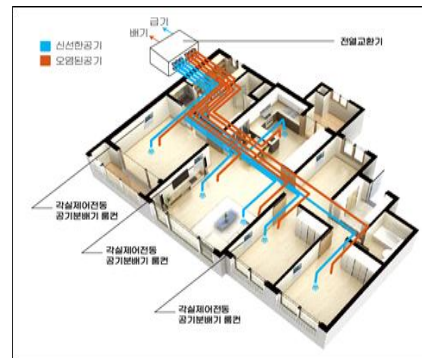
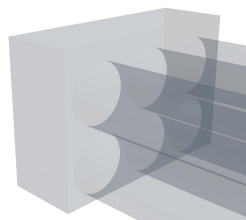


그림 4.6 분배댐퍼 형상 및 세대 덕트 배관

② 모델링



Simcenter STAR-CCM+

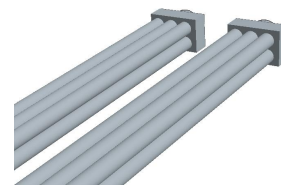
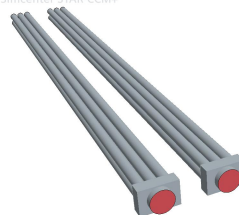


그림 4.7 분배댐퍼 모델링

③ Mesh 설정

- Mesh의 퀄리티 검증을 위한 진단결과, Face Validity는 100%모두 1.0으로 나타났으며, Volume Change는 95.2가 1.0으로 나타났음

표 4.2 분배댐퍼 기류 분석 셀별 상세 개요

Cell	Count		
tetrahedral	2		
hexahedral	2,623		
wedge	1,125		
pyramid	1		
polyhedral	1,253,750		
cells total	1,257,501		
interior faces	triangular	187,007	6,214,624
	quadrilateral	3,102,475	
	polygonal	2,925,142	
vertices	4,627,240		

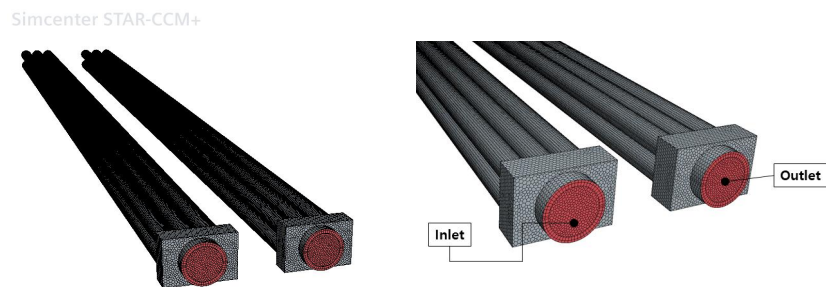


그림 4.8 분배댐퍼 모델링 및 메쉬작업

④ 분석 Section

- Plane Section을 활용하여 2차원 분석 수행

⑤ 기류설정

표 4.3 CFD 기류설정 경계값

항 목	수치	
	분배기 제외	분배기 포함
정 압(Pa)	107	105
유 량(m³/h)	218	185

5.3 덕트 형상별 기류분석

■ 덕트형상에 따른 기류 분석을 위해 장방형덕트와 원형덕트 분석

■ 실별 제어를 위한 분배기의 형상에 따라 원형덕트를 사용해야 하지만, 공동주택은 일반적으로 장방형덕트를 사용하기 때문에 이와 관련하여 각 덕트의 기류 분석을 위해 실시

① 장방형 및 원형덕트 모델링

■ 덕트의 배치는 발주처에서 제공한 84㎡의 평면에 적정한 덕트 배치를 설계하여 모델링

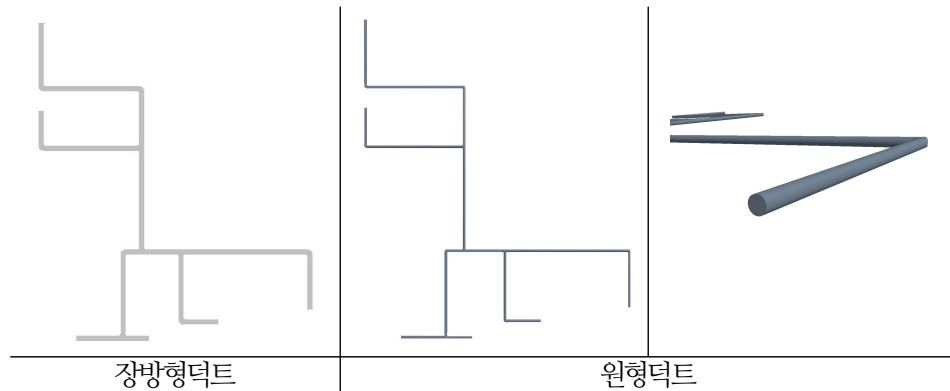


그림 4.9 덕트 3D 모델링

② Mesh 설정

■ 장방형덕트

- Mesh의 퀄리티 검증을 위한 진단결과, Face Validity는 99.99%(52,300) 1.0으로 나타났으며, Volume Change는 95.2%(49,786)가 1.0으로 나타났음

■ 원형덕트

- Mesh의 퀄리티 검증을 위한 진단결과, Face Validity는 100%(405,834) 1.0으로 나타났으며, Volume Change는 90.4%(366,876)가 1.0으로 나타났음

표 4.4 장방형덕트 분석 셀별 상세 개요

Cell	Count		
tetrahedral	4		
hexahedral	7,884		
wedge	159		
pyramid	7		
polyhedral	44,249		
cells total	52,303		
interior faces	triangular	4,202	194,724
	quadrilateral	137,336	
	polygonal	53,186	
vertices	119,682		

표 4.5 원형덕트 분석 셀별 상세 개요

Cell	Count		
tetrahedral	21		
hexahedral	10,310		
wedge	2,065		
pyramid	0		
polyhedral	393,438		
cells total	405,834		
interior faces	triangular	37,060	1,848,332
	quadrilateral	1,019,831	
	polygonal	791,441	
vertices	1,320,537		

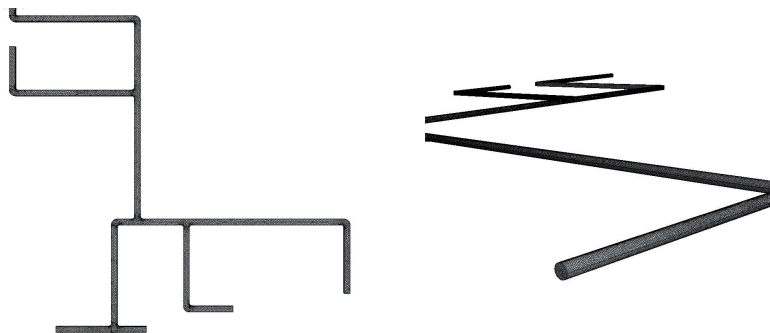


그림 4.10 덕트 메쉬(mesh)

③ 분석 Section

- Plane Section을 활용하여 2차원 분석 수행

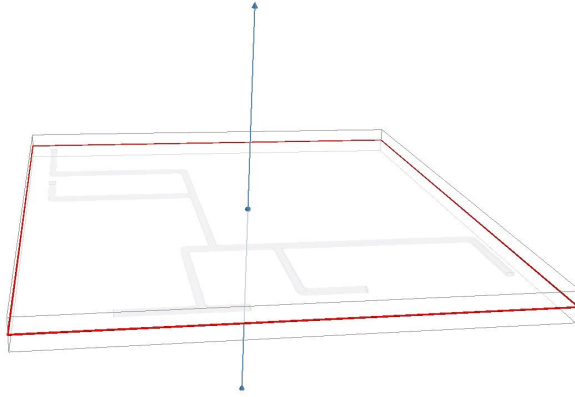


그림 4.11 Plane Section

④ 기류설정

- 덕트 내부의 기류 분석을 위해 1m/s, 2m/s, 3m/s 의 풍속을 설정하여 시뮬레이션 실시
- 팬의 회전수를 반영하여 더욱 명확한 분석 결과를 도출 할 수 있지만, 이에 대한 분석은 시간과 비용, 정밀한 모델링 및 설정값이 필요하기 때문에 본 분석에는 풍속을 설정값으로 입력하여 분석 실시

6. CFD 시뮬레이션 해석 결과

6.1 환기시스템 분배기 기류분석

- 분배기에서의 기류 변화를 분석하기 위해 풍속을 각 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s 로 설정
- 분배댐퍼 기류 분석결과, 저속일 때는 각 덕트의 기류 속도가 일정하지 않음 : 와류에 의한 영향으로 사료됨
- 고속일 때는 마찰에 의한 손실 외에 기류의 불균형은 나타나지 않음

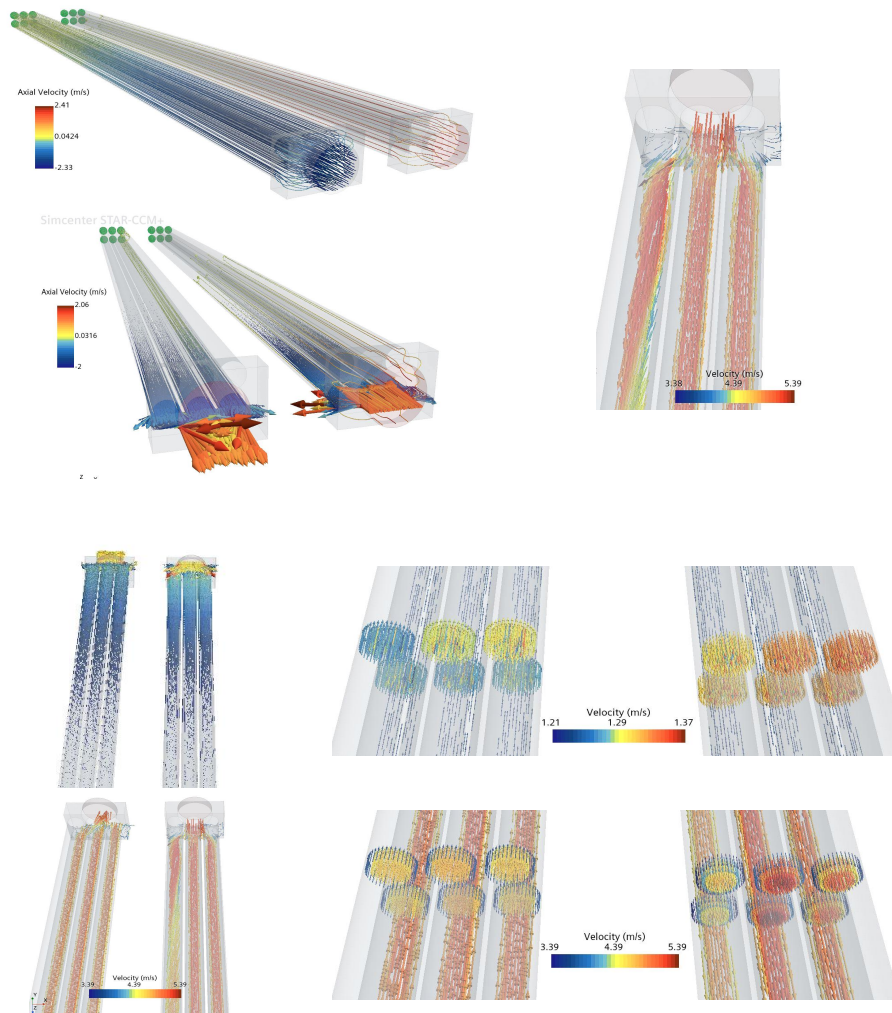


그림 4.12 분배기 기류분석 결과

6.2 덕트 형상별 기류 분석

- 장방형덕트와 원형덕트의 기류 분석결과, 원형덕트의 기류 흐름이 상대적으로 원활하게 나타났지만 분기부에서의 손실 큼

1) 장방형덕트 기류변화

- 덕트내에 기류변화를 시간별로 분석하였으며, 덕트가 굴절되는 부위에서 압력이 발생하며, 이로인한 와류 및 차압이 발생하는 것을 확인 가능

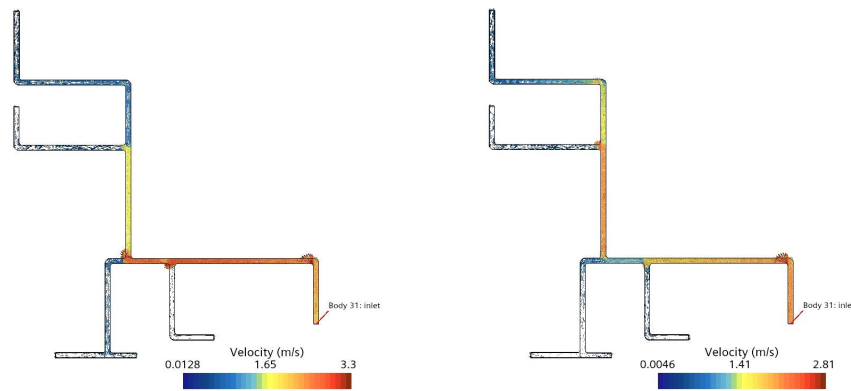


그림 4.13 장방형 덕트 기류분석 결과

2) 원형덕트 기류변화

- 원형덕트는 사각덕트에 비해 상대적으로 기류의 흐름이 원활하지 않은 것으로 분석되었지만, 이는 CFD 분석 결과이기 때문에 원형 덕트가 실제로 장방형에 비하여 기류 흐름이 원활하지 않다고 단정 짓기는 어려움
- 이에 대한 상세 분석을 위해서는 Mock-up 실험 등이 추가 실시되어야 명확한 이유 분석이 가능할 것으로 사료됨
- 이와 관련해서는 자체적으로 향후 연구 진행 시 자문 또는 실험을 통해 지속적으로 분석할 예정
- CFD 결과만으로 분석하면, 기류의 흐름에 있어서 장방형 덕트가 원형덕트 보다 유리한 것으로 나타났음
- 또한 시공측면에서도 플래넘(planum) 공간 활용성을 고려하였을 때 장방형이 유리

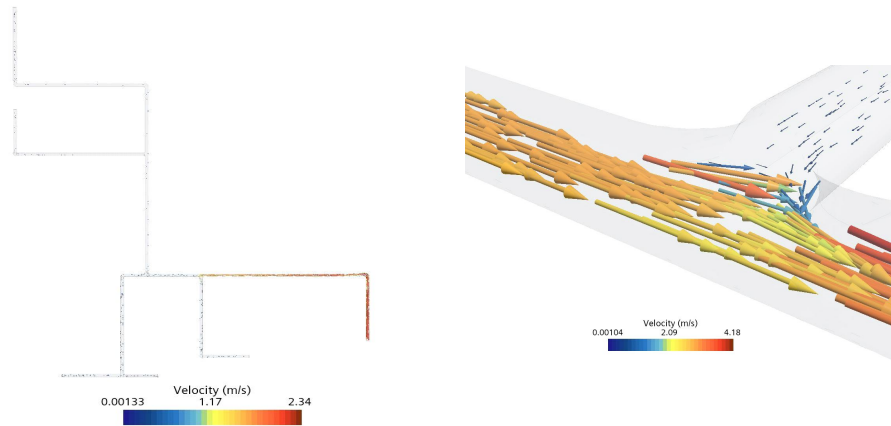


그림 4.14 원형 덕트 기류분석 결과

6.3 공동주택 실별 제어 환기 적용 CO₂ 농도 및 기류 분석 결과

- 초기 설정은 주택 세대 전체에 이산화탄소 100%로 설정을 하였으며, Star-ccm의 경우 일반적으로 사용하는 이산화탄소 농도를 설정하기 어렵기 때문에 농도의 변화를 확인할 수 있는 색상으로 표시
- 급기구를 통해서 깨끗한 공기(산소(O₂))가 유입되는 것으로 설정하였으며, 이로 인해 실내 전체의 이산화탄소 농도는 낮아지고 산소의 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있음

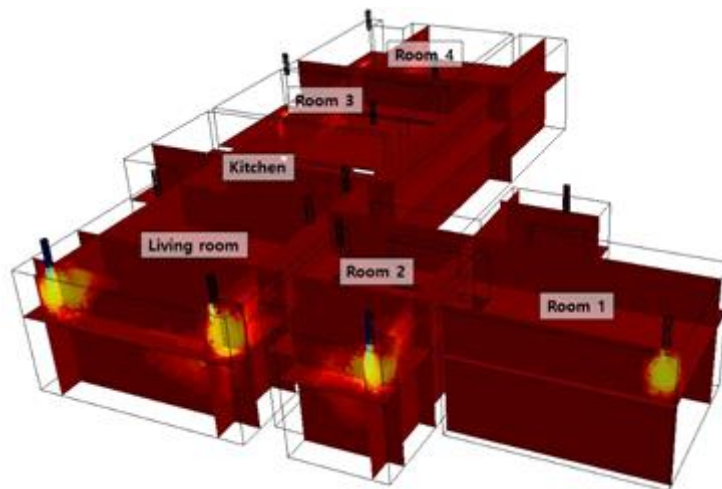


그림 4.15 이산화탄소 농도 분석 초기 모델

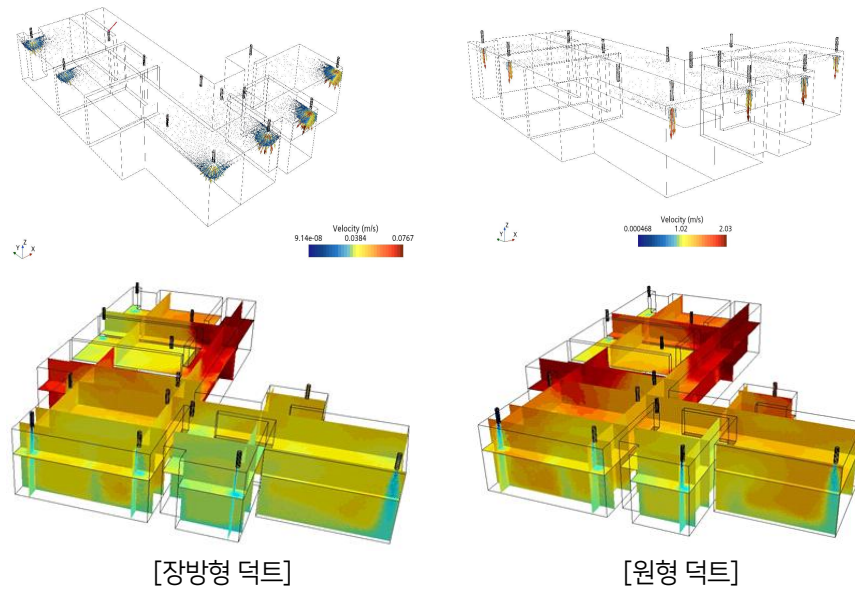


그림 4.16 덕트 형상에 따른 실내 이산화탄소 농도 분석 결과

제5장 실별 제어 환기시스템 적용성 검토

1. 실내공기질 및 환기

1.1 기존(세대별 제어) 환기시스템의 한계

- 세대별 제어 환기시스템도 실내 오염물질 개선에 효과가 있지만 다음과 같은 한계 및 불편함 존재
 - 환기가 필요하지 않은 잉여공간에도 환기 실시 팬(Fan) 가동 에너지, 냉·난방에너지의 에너지과소비 발생
 - 불필요한 팬 속도값(Fan Speed setting)으로 인한 소음 발생
 - 동절기 및 하절기에 냉·난방을 위해 방문을 닫고 취침하는데, 이와 같은 상황에 이산화탄소 제거 어려움
- 각 실 센서 부재 (4인 가족의 경우 3,500 ppm까지 상승)
- 자동모드의 한계 (현재의 시스템 기반으로 상시 가동을 했을 때만 이산화탄소 제거 가능)

1.2 전동디퓨저 방식과 분배댐퍼 방식 비교

- 분배댐퍼 방식 : 시공비, 시공 편의성, 유지·관리비, 환기효율(정압손실), 배기구 소음 측면에서 유리
- 전동디퓨저 방식 : 전열교환기 소음, 결로 측면에서 유리
- 대량 생산 시, 분배댐퍼 방식 경제성은 더욱 높아짐
- 분배댐퍼 형상 변경 시(민간업체 개발 중), 환기효율 향상

1.3 실별 제어 환기시스템의 한계 및 개선 필요

- 덕트 및 배기구 특성 변화에 따른 차압 손실 개선 필요

■ 실별 제어 특성에 맞는 제어 알고리즘 개발 필요

- 필요 체적 감소에 따른 풍량 제어

■ IoT와의 연계를 통한 재실 인원 연계

■ 이산화탄소 센서 개선 필요

2. 이산화탄소(CO₂) 센서

2.1 이산화탄소(CO₂) 센서의 중요성

- 공동주택의 실별제어 환기시스템은 팬(Fan), 전열교환기 등 기본적인 환기시스템도 중요하지만 특히 이산화탄소(CO₂) 센서가 중요함
- 각 실별 CO₂의 농도가 정확하게 모니터링 되어야 이를 바탕으로 환기량을 조절할 수 있기 때문에 필수적인 요소지만, 일반적으로 정확성이 낮은 센서를 활용하기 때문에 이에 대한 조사 및 고찰이 필요함

2.2 이산화탄소(CO₂) 센서 방식 조사

- NDIR 센서 (Non-Dispersive Infrared)
 - NDIR 센서는 CO₂ 농도를 측정하는 가장 보편적인 기술로, CO₂ 분자가 특정 적외선 파장을 흡수하는 원리로 작동한다. 공기의 샘플을 통해 적외선을 방출하고 CO₂ 분자에 의해 흡수된 빛의 양은 CO₂ 농도를 계산하는 데 사용
 - NDIR 센서는 높은 정확성과 안정성으로 알려져 있으며 HVAC 시스템, 산업공정 및 실내공기질 모니터로 주로 사용
- 적외선 방식 센서 (Infrared Gas Analyzers)
 - 적외선 가스 분석기는 파장 가변 레이저를 이용하여 CO₂ 분자에 의한 적외선의 흡수를 측정하는 방식으로 정확도가 매우 높고 정밀한 CO₂ 측정을 요구하는 연구 및 산업 분야에서 주로 사용
- 광음향센서 (Photoacoustic Sensors)
 - 광음향센서는 CO₂ 분자가 적외선을 흡수할 때 압력파나 음향 신호를 발생시켜 CO₂

농도를 측정하며, 음향 신호의 세기는 CO₂ 농도에 비례

- 정밀한 CO₂ 측정을 요구하는 연구 및 산업 분야에서 사용

■ MOS 센서 (Metal Oxide Semiconductor Sensors)

- MOS 센서는 CO₂가 금속 산화물 표면과 반응할 때 전기 전도도의 변화에 의해 CO₂를 감지하며, NDIR 센서에 비해 정확성과 안정성이 떨어짐

■ TDLAS센서 (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)

- TDLAS 센서는 가변 다이오드 레이저를 사용하여 CO₂ 분자에 의한 특정 적외선 파장의 흡수를 측정
- 높은 감도를 제공하여 산업용 모니터링을 포함한 고정밀 응용 분야에 사용

■ 정전용량식 센서 (Capacitive Sensors)

- 정전용량식 CO₂ 센서는 CO₂가 유전체 물질에 흡수될 때 정전용량의 변화를 측정하여 농도 측정

2.3 이산화탄소(CO₂) 센서 시장 조사

■ 환기 제어시스템에 주로 사용되는 이산화탄소 센서의 종류 및 예시

- Honeywell C7232A1008 CO₂ Sensor
- Johnson Controls NS-BH350-0 CO₂ Sensor
- Siemens QPA CO₂ Sensors
- Aeroqual Series 200, 300, and 500 CO₂ Sensors
- Sensirion SCD30 CO₂ Sensor
- Vaisala CARBOCAP GM70 CO₂ Transmitter
- Veris Industries E30 Series CO₂ Sensors
- Telaire T3032 Series CO₂ Sensors
- Onset HOBO MX CO₂ Data Logger
- Trane CO₂ Duct Sensors

제6장 결론

1. 결론 및 시사점

- 본 연구는 하루 일과의 80% 이상을 실내에서 거주하는 현대인에게 있어서 매우 중요한 실내 공기질 개선을 위해 공동주택의 「실별 제어 환기시스템」의 적용성에 관련 연구를 실시하였음
- 녹색건축인증기준(G-SEED) 환기성능평가에서도 1등급 환기성능 인정 및 기존 시스템 단점 개선을 위해 '실별 자동제어 환기시스템' 적용 필요
- 연구의 주요 내용 및 범위는 다음과 같음
 - 선행연구 및 실내공기질 고찰
 - 공동주택의 실별 제어 환기 개요 및 사례 조사
 - 실별제어 환기시스템 유형별 환기 효과 분석
 - 전산유체역학(CFD)을 활용한 환기 효과 분석
 - 실별 제어 환기시스템 적용성 검토
- 선행연구 및 실내공기질 관련 문헌 고찰 결과, 실별 제어 환기시스템은 기존 세대별 제어 환기시스템 대비 50~70%의 에너지절감 효과가 있으며, 실별제 환기제어가 가능하기 때문에 유해물질의 노출 위험이 더 낮은 것으로 나타남
- 공동주택의 실별 제어 환기 시장 분석 결과, 실별 제어 환기시스템 관련 민간 업체는 6개이며, 설치비용은 세대 당 250~270만원 선으로 나타났음. 하지만 현장 여건(바닥 면적, 시공환경 등)에 따라서 300만원 중반까지도 상승할 수 있는 것으로 나타남
- 공동주택의 실별 제어 환기 적용 사례 분석 결과, Test-bed를 제외한 적용사례는 5개소이며, GS에서 가장 많은(20만 세대 이상) 세대에 적용을 하였지만 공기청정기 능만 탑재되어 있고 환기 기능은 없음
- 환기시스템으로서의 기능적인 측면에서 「실별제어 환기시스템」으로 분류 가능한

사례 중 가장 높은 적용 사례는 포스코건설로 조사됨

- 실제 환경에서 가족 구성원의 인원 수에 따라 CO₂의 발생농도 확인을 위해 실험한 결과, 4인 가족이 방문을 닫고 취침 시 CO₂ 농도가 3405 ppm까지 상승함
- 환기시스템의 유형별 환기효과 분석결과, 실별 제어 환기시스템이 세대별 제어 환기 시스템보다 실내 CO₂농도 제거 효과 측면에서 미미하게 우수한 것으로 나타남
- 하지만 CO₂ 센서의 위치에 따라 CO₂ 제거 효과가 매우 큰 차이가 나타나는 것을 확인하였는데, 거실에만 CO₂ 센서가 설치 된 경우 CO₂ 가 약 5000ppm까지 상승할 수 있지만, 각 실마다 CO₂ 센서가 적용되어 있는 실별 제어의 경우 700ppm 내외에서 더 이상 추가 상승 없이 저감되는 것을 확인함
- 따라서, 건물에너지 절약 및 개인 프라이버시(Privacy) 등의 이유로 방문을 닫고 재실하는 경우에는 청정한 실내 유지를 위해 각 실에 CO₂ 센서 및 실별 제어 설치가 필수적임
- 소음 측정 결과, 실의 중앙에서의 측정결과를 기준으로 상대적으로 세대별 제어 방식의 소음이 적게 발생하는 것으로 나타났음
- CFD 분석 결과, 실별 제어 환기시스템이 세대별 제어 환기시스템보다 실내 유해물질 제거에 유리한 것으로 나타났으며, 덕트의 형상은 장방형 덕트가 원형덕트 보다 기류의 흐름에 있어서 유리한 것으로 나타났음

2. 향후 연구개발 계획

- 환기덕트 및 급기구의 특성 변화에 따른 차압의 추가 분석 및 개선을 통해 손실 개선 필요
- 실별 제어 환기시스템은 각 실의 개폐 유무에 따른 많은 환경 변수가 발생하기 때문에 이에 적절한 제어 알고리즘 개발 필요
- 재실인원의 유무 및 인원수, 실내활동 특성을 고려하여 세밀하게 작동할 수 있도록 인공지능(AI) 및 사물인터넷(IoT)와의 연계를 통한 최적 환기 제공 필요
- CO₂ 센서 성능규정 및 실별제어 환기 관련법 개정 필요

참고문헌 Reference

- 조경주, 정혁준, 조동우(2022), “실별제어 시스템을 적용한 주거용 환기장치의 팬 에너지 절감 효과 실증 연구”, 한국건축친환경설비학회 논문집 16(6): 486-496
- 박소우, 송두삼(2022), “코로나 바이러스(COVID-19) 공기 감염방지를 위한 실내환기 성능 지표로 CO₂ 적정 농도의 제안”, 대한설비공학회 논문집 221 ~ 224
- 김동현, 김태연(2022) “실별 제어 방식을 적용한 기계환기설비 가동방안 성능 평가”, 한국생태환경건축학회 논문집 22(2) : 44
- 안중석, 엄예슬, 강동화(2022), “공동주택 기계환기설비의 급배기 유형에 따른 미세먼지 제거성능 분석”, 대한건축학회 논문집 38(12)
- 성남철, 심찬형, 김정우, 홍구표(2022), “주거용건물에서 각 실 환기시스템 적용에 따른 에너지 절약 효과”, 대한설비공학회 논문집 1274~1277
- 조경주, 조동우, 김태연(2020), “다양한 필터의 성능에 따른 주거건물용 열회수환기장치의 풍량 변화 실험 분석”, 한국건축친환경설비학회 논문집 14(5): 475-483
- 이진현, 조영흠(2021), “실내 공기질을 고려한 환기 시스템의 장압제어”, 한국태양에너지학회 논문집
- 박승훈, 조재훈, 김의종(2021), “실내 무덕트형 열회수 환기장치가 구비된 대학 강의실의 위치별 환기 효과 분석”, 한국건축친환경설비학회 논문집 15(6): 818-828
- 윤요선, 조경주(2021), “주거용 건축물의 환기시스템 관련 제도 분석 및 개선 방향 제안 - 기계 환기 시스템의 팬 에너지 절감을 중심으로”, 한국건축친환경설비학회 논문집 15(5): 487-498
- 조경주, 조동우(2021), “거주자 재실 스케줄을 고려한 주거용 열회수 환기유닛 팬에너지 저감 가능성에 대한 실험 연구 -바이패스 모드와 실별제어 모드가 적용된 현열교환 환기유닛의 케이스를 중심으로”, 한국건축친환경설비학회 논문집 21(6) : 39-45
- 현규섭, 강영일, 임선식(2021), “코로나시대 공동주택 최적 환기방식”, 대한설비공학회 논문집 120~124
- 최영재, 박보랑, 송용우, 최은지, 문진우(2021), “학교시설 최적 실내공기질 재공을 위한 환기시스템 및 제어 방법 분석”, 한국생태환경건축학회 논문집 20(2) : 131~137

- 이준섭,박상태,조성민(2020),“재실자 밀집도에 따른 각실 제어 최적 환기 연구”,대한설비공학
학회 논문집 312~315
- 조두호, 현규섭, 강영일, 김종욱, 김종법(2019), “공기청정기능이 있는 각 실 제어 환기시스
템”, 대한설비공학학회 논문집 113~116
- 최연희, 송두삼(2019),“실내외 미세먼지 및 실내 CO₂ 농도를 고려한 주거건물 환기시스템
제어전략”, 대한설비공학학회 논문집 101~104
- 최연희, 송두삼(2019),“실내외 미세먼지 및 실내 CO₂ 농도를 고려한 주거건물 환기시스템
제어전략”, 대한설비공학학회 논문집 101~104
- 송수원, 유정연, 조정식, 이윤규(2019),“자연환기 및 공기청정기 가동에 따른 실내공기질
분석”, 대한설비공학학회 논문집 442~445
- 임홍빈, 이경호, 공민석(2018),“저에너지주택 CO₂ 기반 환기모델예측제어를 위한 실내오염
도 학습모델”,대한설비공학학회 논문집 9~12
- 홍성민,윤동원(2012) “공동주택 실내오염농도 평가에 의한 CO₂와 TVOC 센서기반 환기제
어방법 특성 연구 대한건축학회 논문집 28(1) : 279
- 조현,이명준,방승기(2010),“실별 환기량 제어 환기시스템 적용에 따른 공동주택 전력 및 에
너지소비 특성 연구”, 대한건축학회 논문집 30(1)
- 조현,방승기(2011) “CFD를 이용한 실별 환기시스템 적용 공동주택의 실내 환기성능 예
측”, 대한건축학회 논문집 31(1) : 55
- 조현,최인창,방승기(2011),“실별 환기시스템 적용에 따른 공동주택 에너지 소비량 및 환기
성능 예측”,한국생활환경학회지 18(4) : 411~418
- 홍성민,윤동원,김성수(2010),“전동식 댐퍼가 장착된 공동주택용 다분기 챔버에 의한 실별
환기풍량 제어 성능평가”, 한국생활환경학회지 17(5) : 634~641
- 홍봉재(2007),“환기방식 및 급배기구의 위치에 의한 실내 환기특성 평가”, 한국건축친환경
설비학회 논문집 1(3)
- 김석근, 이정재(2007), “공동주택에서 환기장치류 가동특성에 따른 실내공기질 변화특성에
관한 연구”, 설비공학학회 논문집 19(2): 142~148
- 고현준,송두삼,조왕희,이명규,윤인철,주의성(2005), “공동주택용 환기시스템의 실내공기질
개선효과”, 대한설비공학학회 논문집 153

