

제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 현황 및 시공관리요소 분석

연구기획 2022-051호

제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 현황 및 시공관리요소 분석

지은이 **박정하** · 김길태 · 이병희 · 김선동 · 이봉재 · 김정화

발행인 김홍배

발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원

편 집 박정하 · 김길태 · 이병희 · 김선동

주소 (우)305-731 대전광역시 유성구 엑스포로 539번길 99

전화/전송 042) 866-8421 / 0503-6994-6708

전자우편 jhpark@lh.or.kr

홈페이지 <http://lhi.lh.or.kr>

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

연구기획 2022-051

제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 현황 및
시공관리요소 분석

An Analysis of Status and Construction
Management Factors of Airtightness Performance
for the Realization of Zero Energy Apartment Building



참여연구진

연구총괄

박정하 LH 토지주택연구원 책임연구원

공동연구진

김길태 LH 토지주택연구원 수석연구원

이병희 LH 토지주택연구원 책임연구원

김선동 LH 토지주택연구원 연구원

이봉재 LH 주택기술처 차장

김정화 LH 주택기술처 과장

연구심의위원(가나다순)

김종엽 LH 토지주택연구원 선임연구위원

박병용 국립한밭대학교 교수

오승훈 LH 주택기술처 부장

윤중호 국립한밭대학교 교수

이재혁 LH 건설안전처 차장

이혁진 LH 건설자산관리처 부장

조동준 LH 건설자산관리처 부장

조 수 한국에너지기술연구원 전문연구위원

천영수 LH 토지주택연구원 실장

자문위원(가나다순)

이윤규 한국건설기술연구원 선임연구위원

조재훈 인하대학교 교수

이진오 한국건축기밀협회 회장



연구 요약

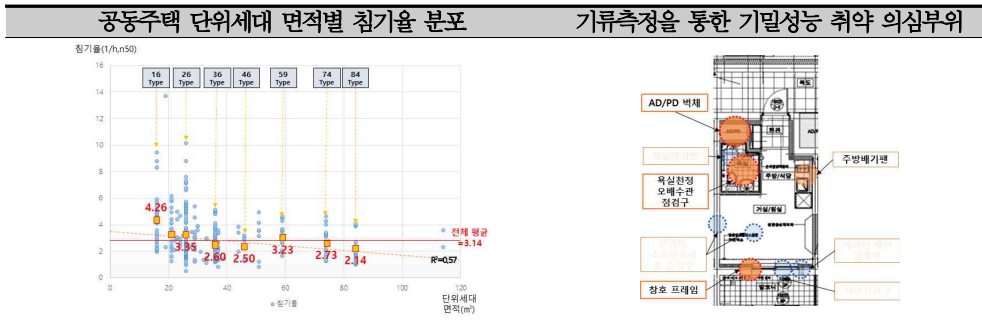
□ 연구의 배경 및 목적

- 2025년부터 신축 공동주택의 제로에너지 건축 의무화가 예정되어 있어, 에너지성능에 큰 영향을 미치는 기밀성능 강화를 위한 공동주택에서의 대책마련 시급
 - 최근 2년간 LH 공동주택의 기밀성능은 평균적으로 3.14회/h(ACH50) 수준으로, 개별 단지와 세대로 보면 적게는 1회에서 크게 10회/h(ACH50)이상으로 나타남
 - 3년 앞으로 다가온 제로에너지 건축물 로드맵 이행에 대비하기 위해서는 기밀성능 차이를 가져오는 현장에서의 기밀시공 현황, 기밀측정방법 등을 포함한 기밀성능 실태에 대한 파악이 시급한 상황임
- 본 연구에서는 제로에너지 공동주택 의무화에 앞서 기밀성능 향상을 위해 취약한 기밀성능을 나타내는 세대를 대상으로 현장 조사를 통한 기밀성능 현황과 실태를 분석하고, 현장에서 기밀성능의 균질한 성능구현이 가능한 시공관리요소 등을 제안하고자 함

□ 공동주택 기밀성능 현황 및 취약부위

- 공동주택의 기밀성능은 2019-2020년 건축물에너지효율등급 본인증시 측정자료에 의하면 평균 3.14회/h(ACH50)으로, 4회/h 이상의 침기율은 소형평형(26A이하)에서 나타나며 소형평형에서의 기밀성능 편차가 큼
- 기밀성능 취약 예상부위는 기존 문헌과 기밀성능 실태조사 대상 단지의 도면을 참고하여 AD/PD 벽체, 욕실배기팬, 욕실천정 오배수관 점검구, 콘센트, 창호 및 프레임, 에어컨 배관 관통부, 자연 환기구, 주방 배기팬 주요 취약 부위로 예상

[표 1] 공동주택 침기율 분포 및 취약부위



□ 공동주택 기밀성능 실태 확인 및 현장에서의 기밀성능 측정방법 확인

○ 기밀성능 측정방법 결정

– 세대 내 기밀성능을 측정하기 위해 압력차 측정법인 ISO 9972 감압법으로 측정

○ 본 연구에서 선정한 기밀성능 취약부위 파악방법에 따라 팬 감압 시 실내외 차압이 50 Pa에서 기류가 발생하는 지점으로부터 기밀성능이 취약한 부위를 파악

○ 기밀성능이 취약한 20세대의 공동주택을 대상으로 침기율(1/h, ACH50)을 측정하고 취약부위를 파악한 결과, 침기율은 본인증시 측정한 경우보다 차이가 발생하는 경우가 있었으며 특히, 2020년 준공세대 26A 6세대의 실태조사 결과는 평균 1.52 회/h로 본인증 평균 4.61회/h와 큰 차이를 보임

– 이는 세대 선정, 측정방법에 대한 오차 및 사용에 따른 기밀부위 발생 등이 추정되며 기밀성능 측정에 있어 단지의 기밀성능을 대표할 수 있도록 보완 필요

[표 2] 준공년도에 따른 본인증 및 실태조사 침기율 측정 결과 비교

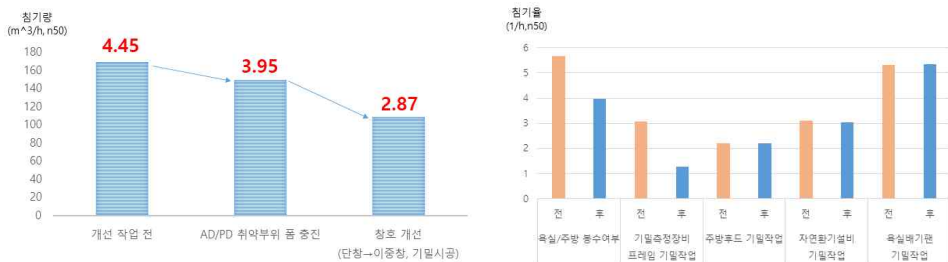
준공년도	침기율(회/h, ACH50)		세대수
	본인증 측정세대	실태조사 측정세대	
2019	6.38	6.47	8
2020	4.93	1.96	12
전체	5.51	3.76	20

□ 기밀 취약부위 보강 시공 및 효과적 기밀성능 향상방안 제안

- 기밀성능 취약부위인 AD/PD 부위의 실내마감재를 철거하여 폼 충전 등 기밀성능의 개선 작업을 수행한 결과와 함께 창호에서의 개선을 고려하면 [그림 1]과 같이 개선 전 4.45회/h에서 3.0회/h 이하 수준까지 기밀성능 개선이 가능
 - 현재 설계기준인 2020년 이후의 발코니 이중창 적용 시공시 창호와 AD/PD에서의 취약부위에 대한 시공관리로 3.0회/h 수준의 기밀성능이 가능할 것으로 판단됨
 - 그 이상의 기밀성능 수준을 확보하기 위해서는 기밀 전용 자재의 적용(테이프, 배관용 자재 등)이 필요할 것으로 판단됨

□ 기밀성능 측정방법을 포함한 현장에서의 기밀시공 관리요소 제안

- 기밀성능 측정시 측정세대의 준비작업(봉수 채움, 기밀측정장비(Blower Door 프레임 기밀작업) 정도에 따른 침기율 차이를 확인([그림 2])



[그림 1] 기밀성능 취약부위 개선에 따른 침기율 향상 [그림 2] 기밀성능 측정 전 준비에 따른 침기율 차이

- 현장에서의 기밀성능 취약부위에 대한 시공관리 필요
 - 기밀성능 취약부위인 창호의 상부 레일 물림 깊이의 준수, AD/PD의 세대전기 단자함 배관 등 취약부위에 대한 설계 및 기준대로 시공
 - AD/PD와 외기 벽체 사이의 단열재 브라켓 부위, 벽체와 틈새 AD/PD를 관통하는 배관 주위에 폼 충전 등으로 틈새가 생기지 않도록 시공
- 필요시 창호 외 주요 기밀취약부위인 AD/PD의 브라켓 등의 틈새, 배관 관통부에 대해 도장도포형 또는 슬리브형 기밀자재의 적용

[표 3] 기밀취약부위(창호, AD/PD) 보완이 필요한 시공사례

			
창호상부 레일 몰림 깊이 미준수	세대전기 단자함 잘못된 시공 사례	AD/PD와 단열재 사이 브라켓 부위 등 틈새	배관관통부위 틈새



[그림 3] 틈새부위에 적용 가능한 도장형 기밀자재 예시 [그림 4] 배관에 적용 가능한 기밀자재 적용 예시

□ 향후 기밀성능 관련 제도개선 및 연구과제 제안

- 현재 건축물에너지 효율등급 본인증 시 기밀성능 측정값을 입력하며, 이때 세대내 대표 측정세대 선정(현재 1세대 → 샘플세대 증가)와 벽식과 기둥식의 구분, 측정 방법의 명시 또는 관리 방법 등 기밀성능의 인증제도 반영방법의 보완
- 향후 기밀성능 측정 시 제도개선에 대한 근거를 뒷받침 하기위한 LH 공동주택의 기밀성능 Data를 구축할 필요가 있으며 동시에 기밀성능 시공을 강화한 세대의 검증이 필요하며 이는 후속연구에 의해 수행되어야 함

주제어 제로에너지, 기밀성능, 기밀시공

차 례

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 내용 및 추진일정	6
제2장 관련 문헌 고찰	9
1. 기밀성능 실태관련 기존 연구 문헌	11
2. 기밀성능 표현 및 측정방법	14
3. 제로에너지 공동주택 관련 기밀성능 평가방법	18
제3장 공동주택 기밀성능 실태 및 취약부위 조사	21
1. 공동주택 기밀성능 현황 분석	23
1.1 단위세대 면적과 기밀성능	23
1.2 건축물에너지 효율등급과 기밀성능	26
2. 측정대상 선정 및 측정방법	27
2.1 기밀성능 측정 방법 검토	27
2.2 실태조사 개요	30
3. 측정내용 및 결과	34
3.1 세대 내 기밀성능 측정 및 취약 예상부위 확인	34
3.2 기밀성능 취약 예상부위 세부 검토	40
제4장 기밀성능 향상을 위한 시공관리요소	51
1. 신축공동주택의 기밀취약부위 시공실태	53

2. 기밀성능 측정 방법 보완	54
2.1 측정 방법 개선	54
2.2 기밀성능 취약부위 보완을 위한 시공관리	56
제5장 결론	59
결 론	61
참고문헌	63
부록	69



표 차례

[표 1-1] 제로에너지 공동주택 구현을 위한 단계적 기밀성능 목표	3
[표 1-2] LH 2030 기술 로드맵의 제로에너지 및 기밀성능 목표	4
[표 1-3] 연구내용 및 추진일정	6
[표 2-1] 공동주택 기밀성능 실태조사 관련 연구	9
[표 2-2] 기밀성능 측정방법 관련 연구	10
[표 2-3] 공동주택 기밀시공 및 기밀성능 개선 관련 연구	10
[표 2-4] 건축물에너지효율등급 인증 시 기밀성능의 반영	16
[표 2-5] 침기율 변화에 따른 제로에너지 인증등급 변화	17
[표 3-1] 공동주택 단위면적(type)에 따른 침기율 값(2019~2020년) ..	21
[표 3-2] 단위세대 면적별 AD/PD 및 발코니 창 면적 비	22
[표 3-3] 단위세대 면적별 AD/PD 및 발코니 창 면적 계산을 위한 평면	23
[표 3-4] 기밀성능 취약부위 파악방법	25
[표 3-5] 공동주택 기밀성능 취약 예상부위	27
[표 3-6] ISO 9972 시험방법	27
[표 3-7] 기밀성능 측정 및 실태조사 대상단지(6개 지구)	28
[표 3-8] 공동주택 기밀성능 측정	29
[표 3-9] 기밀성능 취약부위 파악방법	29
[표 3-10] 실태조사 측정인원과 LHI연구진의 Blower Door 측정값 비교	31
[표 3-11] 기밀성능 측정 결과	33
[표 3-12] 본인증 및 실태조사 측정세대의 침기율 비교	33
[표 3-13] 기밀성능 취약부위의 기류측정	34
[표 3-14] 공동주택 기밀성능 취약 예상부위	34
[표 3-15] 기밀성능 취약부위 파악 결과	36
[표 3-16] 기류측정을 통한 기밀성능 취약 의심부위	37

[표 3-17] 기밀성능 측정 결과에 따른 기밀성능 취약세대 선정	38
[표 3-18] 취약부위 분석을 위한 부위별 기밀화 작업	39
[표 3-19] 기밀 취약부위별 기밀성능 측정 결과	39
[표 3-20] 창호 프레임 상부레일 부위 물림 예시	43
[표 3-21] AD/PD 취약부위 보완 전후 기밀성능 비교	45
[표 3-22] 기밀취약부위 파악 및 보완 후 측정을 위한 실내마감재 철거 위치	46
[표 3-23] 기밀성능 취약부위 철거 및 보완 내용	47
[표 4-1] 신축 공동주택 AD/PD 부위 시공 사진	51
[표 4-2] 기밀성능 측정장비 프레임 기밀작업 전 후 사진	52
[표 4-3] 기밀성능 측정 전 준비(기밀작업)에 따른 침기울 차이	53
[표 4-4] 기밀성능 취약부위 관련 LH 공사시방서 검토내용	54
[표 4-5] 기밀취약부위(AD/PD 세대전기 단자함) 설계 상세 및 잘못된 시공사례	55
[표 4-6] AD/PD 단열재 브라켓 및 배관 관통부 틈새	55



그림 차례

[그림 1-1] LH 건축물에너지효율등급 본인증시 침기울 측정값(2019~2020년)	5
[그림 3-1] 공동주택 단위세대 면적(type)별 침기울 분포(2019~2020년)	22
[그림 3-2] 건축물에너지효율등급별 기밀성능(1/h, ACH50)	24
[그림 3-3] 공동주택의 주요 기밀부위	26
[그림 3-4] 기밀성능 현장 실태조사 순서	28
[그림 3-5] 기밀성능 가압 측정결과(경기 시흥 unit1)	30
[그림 3-6] 기밀성능 감압 측정결과 예시(경기 시흥 unit1)	31
[그림 3-7] 기밀성능 측정 결과 비교	32
[그림 3-8] 기밀성능 측정결과 데이터(광주우산)	40
[그림 3-9] 기밀성능 측정결과 데이터(화성봉담)	41
[그림 3-10] 단창 및 이중창 발코니 창호에 의한 기밀성능 차이 비교	42
[그림 3-11] 기밀 취약부위별 기밀성능 측정 결과 비교	44
[그림 3-12] 기밀성능 부위별 기여도	44
[그림 3-13] 기밀성능 취약부위 개선에 따른 침기울 향상	48
[그림 4-1] 기밀성능 측정 전 준비에 따른 침기울 차이	52
[그림 4-2] 틈새부위에 적용 가능한 도장형 기밀자재 적용 예시	56
[그림 4-3] 배관에 적용 가능한 기밀자재 적용 예시	56
[그림 1] 기밀성능 가압 측정결과(경기 시흥 unit1)	71
[그림 2] 기밀성능 감압 측정결과(경기 시흥 unit1)	71
[그림 3] 기밀성능 가압 측정결과(경기 시흥 unit2)	72
[그림 4] 기밀성능 감압 측정결과(경기 시흥 unit2)	72
[그림 5] 기밀성능 가압 측정결과(광주 우산 unit1)	73
[그림 6] 기밀성능 감압 측정결과(광주 우산 unit1)	73
[그림 7] 기밀성능 가압 측정결과(광주 우산 unit2)	74
[그림 8] 기밀성능 감압 측정결과(광주 우산 unit2)	74
[그림 9] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit1)	75
[그림 10] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit1)	75

[그림 11] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit2)	76
[그림 12] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit2)	76
[그림 13] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit3)	77
[그림 14] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit3)	77
[그림 15] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit4)	78
[그림 16] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit4)	78
[그림 17] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit1)	79
[그림 18] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit1)	79
[그림 19] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit2)	80
[그림 20] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit2)	80
[그림 21] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit3)	81
[그림 22] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit3)	81
[그림 23] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit4)	82
[그림 24] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit4)	82
[그림 25] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit1)	83
[그림 26] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit1)	83
[그림 27] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit2)	84
[그림 28] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit2)	84
[그림 29] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit3)	85
[그림 30] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit3)	85
[그림 31] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit4)	86
[그림 32] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit4)	86
[그림 33] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit1)	87
[그림 34] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit1)	87
[그림 35] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit2)	88
[그림 36] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit2)	88
[그림 37] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit3)	89
[그림 38] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit3)	89
[그림 39] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit4)	90
[그림 40] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit4)	90

제 1 장 서 론

LANDING THE
HONSTUTE
LI

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

□ 제로에너지 의무화와 기밀성능 강화 로드맵

- 2025년부터 정부의 제로에너지 로드맵에 따라 30세대 이상 신축 공동주택은 제로에너지 건축물*로 시공해야 하며, 냉난방 부하에 40%까지¹⁾ 영향을 미치는 에너지 저감에 중요한 기밀성능 강화를 위한 공동주택에서의 대책 마련이 시급
- 우리나라의 제로에너지 건축물은 제로에너지 건축물 인증 5등급 이상을 의미하며, 1차에너지 소요량 90 kWh/m²·년 미만, 에너지자립률 20% 이상의 기준을 충족해야 함²⁾
- LH 공사에서는 이에 대비하고자 `20년 정기과제 「제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 향상방안 연구」에서 향후 제로에너지 구현을 위해 [표 1-1]³⁾과 같이 단계적 기밀성능 목표를 수립하였고, 기밀성능 향상을 위한 기밀기술의 적용방안을 고찰함

[표 1-1] 제로에너지 공동주택 구현을 위한 단계적 기밀성능 목표

단계	1단계(2022년)	2단계(2025년)	3단계(2035년~)
기밀 성능 목표	3.0 회/h	2.0 회/h이하	1.5 회/h 이하
	2022 설계기준에서 시공	주요 기밀부위 기밀시공 및 기밀시공 관리	고기밀 창호적용 등 기밀기술 및 기밀시공관리 고도화, 시공중 기밀성능 점검 등 방안 마련

1) 조재훈 외(2014), '제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS)개발' 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원
2) 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증제도 기준, <https://zeb.energy.or.kr>
3) 박정하 외(2020), '제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 향상방안 연구', 최종보고서, 토지주택연구원

- 한편 LH의 제로에너지 공동주택 성능 확보와 인증제에 대비하여 마련한 「제로에너지 주택 기술기준 가이드라인」에서는 ‘2030 기술 로드맵’에 따라 제로에너지 공동주택 구현을 위한 시기별 세부 기술을 제시⁴⁾하였으며, 이때 2021년~2023년까지의 기밀성능은 평균 3.0회/h 이하, 2023년~2027년까지 3.0회/h 이하로 제시하고 있으며 최종적으로 2030년까지 1.5회/h 이하의 기밀성능을 요구하고 있음([표1-2] 참조)

[표 1-2] LH 2030 기술 로드맵의 제로에너지 및 기밀성능 목표

연도	2021	2023	2025	2027	2030
ZEB 목표	ZEB 선도적 추진 시작	서울시 1,000세대 이상 공동주택 의무	LH 공동주택 ZEB화 100%	LH 공동주택 전체 ZEB 4등급이상	2030년까지 ZEB 69만호 공급
	ZEB5 30%	ZEB5 50%, ZEB4 20%	ZEB5 70%, ZEB4 30%	ZEB4 90%, ZEB3 10%	ZEB4 60%, ZEB3 40%
기밀성능 목표	평균 3.0회/h 이하	3.0회/h이하		1.5회/h 이하	0.7회/h 이하
	시공관리 기준 수립	시공시 현장 품질관리 등 기밀시공 준수		기밀테이프 등 적용	고도화

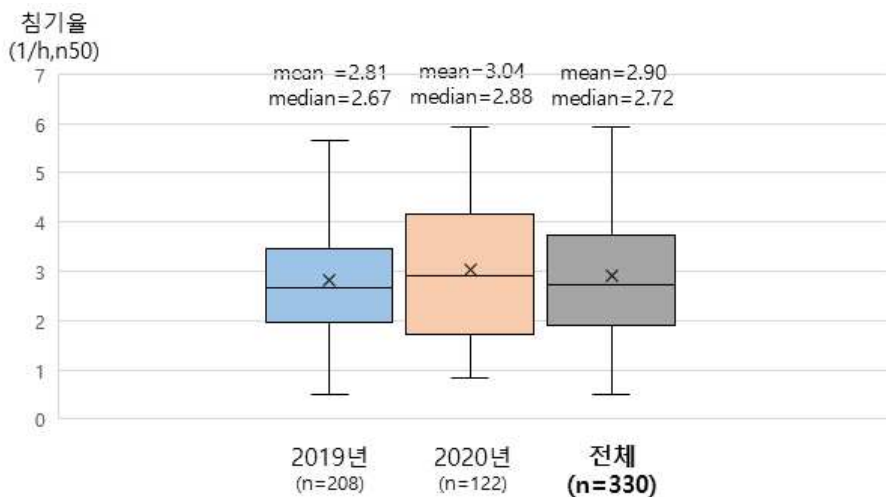
□ LH 공동주택 기밀성능 현황

- 최근 2년간(2019년~2020년) 건축물 에너지효율등급 본인증을 받은 LH 공동주택 68개 단지, 346개 세대의 기밀성능은 평균적으로 3.14회/h@50Pa 수준으로 나타나고 있으나 개별 단자세대의 기밀성능의 차이(1회 ~ 10회/h@50Pa 이상⁵⁾)가 크게 발생하고 있으며, 기밀성능 차이를 가져오는 세대유형, 현장에서의 기밀 시공 현황, 기밀측정 방법 등의 분석 등이 시급한 상황임([그림 1-1] 참조)⁶⁾

4) LH공사(2021), 제로에너지 주택 기술기준 가이드라인 최종보고서

5) 최소 0.5회/h, 최대 13.71회/h

6) [그림 1-1]의 상자수염 그래프에서는 침기율 6회/h 이상인 이상치를 제거한 결과임



[그림 1-1] LH 건축물에너지효율등급 본인증시 침기율 측정값(2019~2020년)

□ 본 연구의 목적

- 2022년 현재 3년 앞으로 다가온 제로에너지 건축물 로드맵을 충실히 이행하기 위한 단계적 기밀성능 목표를 달성하려면 실제 현장에서의 기밀성능 평가방법과 기밀시공에 따라 나타나는 기밀성능 실태의 파악이 중요하며, 현재 이에 관한 자료가 전무한 상황임
- 따라서 본 연구에서는 제로에너지 공동주택 의무화에 앞서 기밀성능 향상을 위해 취약한 기밀성능을 나타내는 세대를 대상으로 현장 조사를 통한 기밀성능 현황과 실태를 분석하고, 현장에서 균질한 기밀성능 구현이 가능한 시공관리요소 등을 제안하고자 함

2. 연구의 내용 및 추진일정

- 상기의 연구 목적을 달성하기 위한 세부 연구 내용은 다음과 같으며, 과제의 추진 일정은 [표 1-3]에 나타냄
- 기밀성능 실태 및 시공 관련 문헌조사
- 기밀성능 취약단지 측정 및 실태조사
- 기밀성능 보강을 통한 성능향상 확인을 통한 효과적인 기밀성능 향상방안 검토
- 기밀성능 측정법을 포함한 현장에서의 시공관리요소 제안

[표 1-3] 연구내용 및 추진일정

주요 연구내용	2021년				2022년				
	9	10	11	12	1	2	3	4	5
기밀성능 실태 및 시공 관련 문헌조사									
측정 준비(현장 섭외 및 기밀성능 측정법 결정)									
기밀성능 취약세대 측정									
기밀시공 실태 및 기밀성능 향상방안 검토									
현장에서의 시공관리요소 제안									
최종보고서 작성									
공 정 누 계(%)					50				100

제 2 장

관련 문헌 고찰

LAND INSTITUTE
HONSTET

제2장 관련 문헌 고찰

1. 기밀성능 실태관련 기존 연구 문헌

- 제로에너지 의무화 추진 등 공동주택에서의 에너지 저감의 중요성이 부각됨에 따라 최근 10여년간 공동주택의 기밀성능과 관련하여 실태조사, 기밀측정방법과 기밀시공에 대한 연구가 주로 진행되어 왔고, 기존연구 수행내용을 [표 2-1],[표 2-2],[표 2-3]에 정리하였음

□ 공동주택 기밀성능 실태조사 관련([표 2-1])

[표 2-1] 공동주택 기밀성능 실태조사 관련 연구

논문명	저자, 연도	내용
Blower Door를 이용한 고기밀 공동주택의 기밀성능 평가	김승철 외, 2011	신축 공동주택(대전 지역)을 대상으로 블로워도어를 이용하여 건물의 기밀성능을 측정하였으며 그 결과 1.96회/h(@50Pa)로 나타남
신축 공동주택의 누기특성 및 기밀성능 분석에 관한 연구	이윤규 외, 2013	신축 공동주택의 기밀성능을 측정한 결과 평균 약 2.8회/h(@50Pa)이며, 블로워도어 팬의 설치 위치에 따라 기밀성능에서 약 33% 정도의 차이가 나타남. 한편 연환기설비가 설치된 경우 상대적으로 기밀성능이 약 25% 낮은 것으로 나타났음
고층 공동주택의 기밀성능 특성 분석 및 누기부위 조사	지경환 외, 2016	공동주택 857세대의 기밀성능을 측정하고 주요 누기부위를 분석하였으며, 그 결과 누기부위는 주로 현관 문의 틈새, 환기 및 배기배관 관통부위, 창호 프레임의 접합위치 등으로 나타남
노후 임대주택의 에너지 성능 향상을 위한 개선방안 연구	김길태 외, 2013	신축 및 노후 공동주택 5개 단지의 기밀성능 측정 결과 노후 공동주택(20여년 경과)의 기밀성능은 약 12.9회/h(@50Pa), 신축주택은 3.24회/h(@50Pa)로 차이가 큼

□ 기밀성능 측정방법 관련 연구([표 2-2])

[표 2-2] 기밀성능 측정방법 관련 연구

논문명	저자, 연도	내용
건물의 기밀성능 측정에서의 가감압법 테스트조건 비교	신현국 외, 2011	블로어 도어 측정시 가압과 감압을 비교한 결과 감압시 침기율 값이 17~23% 높는데, 침기를 차단하는 구조로 된 창호가 이유인 것으로 나타났다으며, 기밀성능의 측정회수에 따라 10회 측정 시 보다 1회만 측정한 경우 최대 17%차이가 나타남
공동주택의 준공 전후 측정 시점에 따른 기밀성능 비교	지경환 외, 2016	ISO9972에 따른 기밀성능 측정시 건물의 준공 전후에 3번의 측정하여 측정시점에 따른 기밀성능을 비교하였으며, Method C(준공 후 외부와 연결된 환기 및 배기의 밀봉)에 따라 측정시 가장 좋은 기밀성능을 나타냄
블로어도어 테스트 결과를 이용한 아파트의 자연상태 침기량(ACH natural) 산출에 관한 연구	문정현 외, 2020	블로어도어 테스트를 이용해 얻은 데이터를 통해 ACHn을 계산하를 방법을 시뮬레이션을 이용해 도출한 결과와 비교하였으며, 자연상태의 풍속과 풍향에 영향을 받는 건물의 침기량은 지역에 따른 차이가 있어 ACHn 산출시 교정상수(N)를 한국의 지역사정에 맞는 값으로 적용하는 것이 필요함

□ 공동주택 기밀시공 및 기밀성능 개선 관련 연구([표 2-3])

[표 2-3] 공동주택 기밀시공 및 기밀성능 개선 관련 연구

논문명	저자, 연도	내용
기밀시공관리에 따른 건물의 기밀도 현황 연구	박선효 외, 2007	단독주택에서 기밀시공 및 관리를 철저히 한 경우 0.67회/h의 좋은 기밀성능을 나타내었고, 공동주택에서 기밀시공 업무지침을 받아 유경험자가 시공한 경우 1.37회/h로 나타난 반면, 관리가 안 된 경우 3.74회/h로 기밀시공관리에 따라 기밀성능의 차이가 있는 것으로 확인함
공동주택 단위 세대의 기밀 품질 시공에 따른 기밀성능 비교	지경환 외, 2021	3개단지 37세대의 실측을 통해 아파트형 공동주택과 주상복합형 공동주택의 기밀성능을 분석하고, 기밀시공 품질 관리에 따른 기밀성능값을 비교하였으며 기밀시공 품질관리가 이루어진 세대(0.80회/h)는 그렇지 않은 세대(2.74회/h)의 30% 수준의 기밀함을 보임.
국내 저에너지 단독주택의 연도별 기밀성능 현황 및 개선 방안	김상준 외, 2021	저에너지 단독주택의 기밀성능은 2020년 현재 평균 0.46회/h 수준으로 나타나며, 기밀성능 유경험자일수록 성능이 향상됨을 확인하였음. 또한, 주요 누기부위는 구조체 접합부, 창호접합부, 설비배관 관통부 등으로 나타났으며 시공관리와 상세설계 작성에 의해 보완 필요

- 기존 연구문헌 조사 분석 결과, 기밀성능 실태와 취약부위를 파악한 연구는 수행되었으나 기밀성능의 측정법, 취약부위 파악 및 보완, 현장에서의 시공관리 방안 등 현재 공동주택의 수준에서부터 기밀성능을 균일하게 발휘하기 위해 종합적인 자료를 제공할 수 있는 연구 수행이 필요함
- LH에서는 제로에너지 공동주택 이행을 대비하여 기밀성능 목표는 단계적인 향상을 계획하고 있으며, 단계적 기밀성능 향상을 위해 현재 수준에서의 균일한 기밀성능 구현을 위한 연구가 시급한 상황임

2. 기밀성능 표현 및 측정방법

1) 건물의 기밀성능 표현방법

- 건물에서의 기밀성능은 건물의 외피 전체 또는 외피를 구성하는 재료의 공기 유출입에 저항하는 정도를 의미함
- 건물의 기밀성능은 다음과 같은 단위를 사용하여 표현이 가능함⁷⁾
 - CFM50(ft³/min) 또는 CMH50(m³/hr) : 실내·외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량을 의미하며 일반적으로 건물 주변에서 약 20 m/h의 바람이 부는 경우 실내·외 차압이 약 50 Pa 정도 발생 가능함
 - ACH50(1/h) : 건물의 내·외부 압력 차가 ± 50 Pa일 때, 공기유동량을 환기 회수로 나타낸 척도이며 크기와 형태가 다른 건물의 기밀성능을 상대적으로 비교하기 위한 지표임
 - EqLA(cm²/m²) : 상당누기면적은 Canadian National Research Council(NRC)에서 제안한 개념으로 실내·외 압력차가 10 Pa일 때의 누기되는 공기량과 상응하는 구멍의 크기임
 - ELA(cm²/m²) : Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL)에서 제안한 누기면적 척도로 실내·외 압력차가 4 Pa일 때의 누기량과 상응하는 구멍의 크기를 Blower door fan의 Inlet과 유사한 노즐 면적으로 환산한 값임
 - NL : AHSRAE Standard 119에서 주거용 건물의 단위 바닥 면적당 누기면적으로 해당 건물의 기밀성을 나타낸 값이며 미국에서는 NL 값에 따라 10단계로 이루어진 누기등급(Leakage class)을 제시함
- 기밀성능 표현방법에 따라 일부 차이가 발생할 수 있으나 전체적으로 실내·외 압력 차에 기인하여 건물의 기밀성능을 표현하는 기본 개념이 유사함
- 일반적으로 미국, 유럽 및 일본 등 주요 선진국에서 사용하고 있는 건물의 기밀성능 평가지표는 기밀성능 측정에 영향을 주는 환경 인자(풍압, 실내·외 온

7) 이윤규, 신철웅(2013), 신축 공동주택의 누기특성 및 기밀성능 분석에 관한 연구, 대한설비공학회 논문집, 25(11), 606-611.

도 차 등)를 최소화하기 위하여 자연 상태보다 큰 압력차(예를 들어 50 Pa 등)에서의 누기량 또는 누기면적에 해당함

2) 건물의 기밀성능 측정방법 및 기준

- 건물의 기밀성능을 측정하기 위한 방법으로 가스추적법과 팬을 이용한 압력차 측정법이 있음
 - 가스추적법(Tracer gas method) : 실내에 주입된 추적 가스를 이용하여 건물의 기밀성능을 측정하는 방법으로 공기 중의 추적 가스 농도 변화를 통해 공기 교환율을 직접 측정할 수 있음
 - 압력차 측정법(Fan pressurization method) : 팬, 블로우 도어(Blower door) 또는 공조 설비를 이용하여 가압 또는 감압을 조성, 내·외부 정압 차이에서 흐르는 기류량을 측정하는 방법임
- 가스추적법의 경우 압력차 측정법에 비해 추적 가스 사용 등에 따른 비용 발생, 장비 설치 문제 등의 이유로 일반적으로 현장에서는 보다 측정이 용이한 압력차 측정법을 사용함
- 국내·외 압력차 측정법을 이용한 건물의 기밀성능 측정 기준으로는 KS L ISO9972, ISO 9972, DIN EN13829, ASTM E779, JIS A 2201, ATTMA TS1, CAN/CGBS-149.15 등이 있음⁸⁾
 - KS L ISO9972 : 건물의 기밀성능 측정 및 팬가압법 기밀성능 시험 기준
 - ISO 9972 : Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings-Fan pressurization method
 - DIN EN13829 : Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings-Fan pressurization method
 - ASTM E799 : Standard test method for determinig air leakage rate by

8) 이동석, 지경환, 조재훈(2014), 대규모 건물의 기밀성능 측정기준 수립에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 34(1), 117-124.

fan pressurization

- JIS A 2201 : Test method for performance of building airtightness by fan pressurization
- ATTMA TS1 : Measuring air permeability of building envelopes
- CAN/CGBS-149.15 : Determination of the overall envelope airtightness of buildings by the fan pressurization method using the building's air handling systems

3) 압력차 측정법

- 압력차 측정법은 건물의 창 또는 문 등의 개구부에 블로우 도어 및 팬을 설치하여 실내 압력을 인위적으로 조절(가/감압), 실내외 압력차를 일정하게 유지시키는 상태에서 팬의 풍량을 측정하여 측정 대상 공간의 공기 누기율을 산정하는 방식임⁹⁾
- 실내외 압력차를 5 ~ 50 Pa 또는 그 이상으로 조성할 수 있기 때문에 외부 환경 인자(풍압 또는 실내외 온도차 등)에 의한 영향을 최소화할 수 있음
 - 측정 시, 실내외 온도차(K)와 측정 위치에서의 건물 높이(m)의 곱이 250 m·K를 초과하거나 지면의 풍속이 3m/s 또는 대기 중 풍속이 6 m/s 이상인 경우 측정 오차가 발생할 확률이 높음¹⁰⁾
- 압력차 측정법을 위한 주요 측정장비 구성은 다음과 같음⁴⁾
 - 기류발생장치(Air-moving equipment) : 실내를 가압 또는 감압하기 위해 사용하는 팬으로 설정 압력별 일정 풍량을 공급할 수 있어야 함
 - 압력측정기(Pressure-measuring device) : 실내외 압력차를 측정하는 장비

9) 웅드람, 송두삼, 김주옥(2019), Blower door를 이용한 건물의 기밀성능 시험 방법의 고찰, 대한설비공학회 논문집, 13(5), 216-226.

10) ISO 9972, Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (2006)

로 0 ~ 100 Pa 범위에서 약 ± 2 Pa 내외의 정확도를 유지하여야 함

– 유량계(Air flow rate measuring system) : 실내외 차압 발생 시, 팬을 통과하는 공기유량을 측정하는 용도임

○ 압력차 측정법에 의한 건물의 기밀성능은 다음과 같이 표현할 수 있음⁴⁾

$$Q = C(\Delta P)^n$$

여기서, Q = 풍량 [m^3/s]

C = 누기계수 [$\text{m}^3/\text{s Pa}^n$]

ΔP = 실내외 압력차 [Pa]

n = 압력지수 [-]

○ 일반적으로 실내외 압력차가 50 Pa, 4 Pa일 때의 값을 사용하며, 4 Pa인 경우 자연 상태에서의 침기량을 나타내는 것으로 알려져 있음

3. 제로에너지 공동주택 관련 기밀성능 평가방법

○ 제로에너지 공동주택의 인정 기준¹¹⁾

- 제로에너지건축물의 정의는 각 국가와 제도에 따라 정의하는 바가 다르나, 우리나라에서는 일반적으로 “녹색건축물 조성 지원법” 제17조와 관련 하위법령¹²⁾에 의거한 제로에너지 건축물 인증을 받은 건축물을 제로에너지 건축물이라 인정
- 제로에너지 건축물은 건축물 에너지효율등급 1++등급¹³⁾ 이상, 에너지 자립률¹⁴⁾ 20% 이상, 건축물에너지관리시스템 또는 원격검침전자식 계량기를 설치하는 것을 기준으로 하고 있음

○ 제로에너지 공동주택 인증과 관련한 기밀성능 평가

- 기밀성능은 건축물의 에너지 성능에 큰 영향을 미치는 요소로 제로에너지 건축물 인증의 주요 평가 항목인 건축물 에너지효율등급의 예비인증과 본인증시 반영([표 2-4] 참조)

[표 2-4] 건축물에너지효율등급 인증 시 기밀성능의 반영

구 분	내 용	기밀성능 반영	비 고
예비인증	설계도서에 반영된 내용만으로 평가된 결과를 토대로 건축물 에너지효율등급을 인증	건축물에너지효율등급 평가 Tool인 ECO2에서 침기율(ACH50) “6”을 입력	
본인증	최종 설계도면을 통하여 평가된 결과와 현장실사를 거쳐 건축물 에너지효율등급을 인증	현장실사 시 압력차측정법(Blower Door Test)으로 측정한 결과를 입력	ISO 9972, ASTM E-779

11) zeb.energy.or.kr, 한국에너지관리공단 제로에너지 건축물 인증 홈페이지

12) 녹색건축물 조성 지원법 시행령, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙, 건축물 에너지효율 제로에너지건축물 인증 기준

13) 주거용 건축물의 경우 냉방/난방/급탕/조명/환기 소요량 및 신재생에너지 생산량 평가한 1차에너지 소요량이 90kWh/m²년 미만

14) 인증신청 건축물의 단위면적당 1차소비량 대비 신재생에너지 설비를 활용하여 생산한 단위면적당 1차에너지 생산량의 비율

○ 건축물 에너지효율등급 기밀성능 측정의 중요성

- 건축물에너지효율등급 예비인증시에는 침기율 6을 입력하기 때문에, 실제 건축물의 기밀성능은 본인증시 측정한 침기율값(ACH50)이 실제 건축물의 기밀성능을 반영한 것이라 할 수 있으며 이 때의 침기율 값은 예비인증시 입력한 값 6과는 차이 발생
- 선행연구인 ‘제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 향상방안 연구’(2020, 박정하 외)에 따르면, [표 2-5]¹⁵⁾에 정리한 바와 같이 침기율값의 입력에 따라 인증등급에 변화를 가져올 수 있으므로 건축물의 에너지성능을 정확하게 평가하기 위한 본인증 현장실사 때 기밀성능 측정의 중요성이 큼

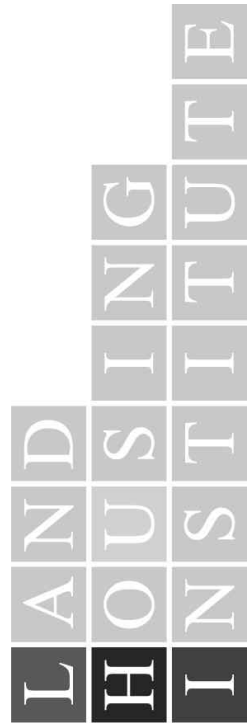
[표 2-5] 침기율 변화에 따른 제로에너지 인증등급 변화

구분 (Type)	기밀성능 (ACH50/회)	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
59m ² Type	등급용 1차에너지 소요량 (kWh/m ² ·년)	101.7	98.6	95.4	92.2	90.8	89.2	84.4	82.8	81.3
	에너지 자립률 (%)	19.4	19.8	20.2	20.7	20.9	21.1	21.8	22.0	22.3
	제로에너지 인증등급	등급외					5등급			
84m ² Type	등급용 1차에너지 소요량 (kWh/m ² ·년)	95.2	92.2	89.3	86.5	85.2	81.6	80.3	79.1	77.9
	에너지 자립률 (%)	20.9	21.3	21.7	22.2	22.4	23.0	23.2	23.5	23.7
	제로에너지 인증등급	등급외		5등급						

15) 2022년 설계기준에 따라, 용적률 147%인 단지에 PV 생산량은 45kWh/m²·년, 개별난방 적용을 조건으로 ECO2 시뮬레이션을 수행한 결과임

제 3 장

공동주택 기밀성능 실태 및 취약부위 조사



&

제3장 공동주택 기밀성능 실태 및 취약부위 조사

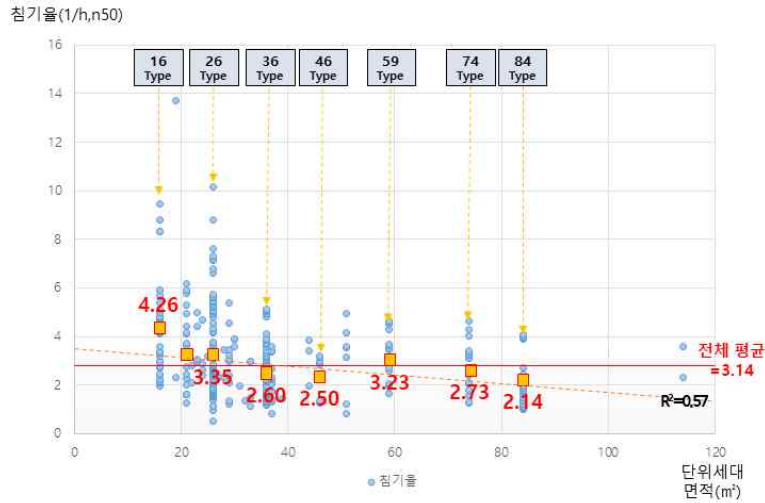
1. 공동주택 기밀성능 현황 분석

1.1 단위세대 면적과 기밀성능

- 일반적으로 침기율(ACH,1/n)은 침기량(Q,m³)을 체적(m³)으로 나눈 값으로, 단위세대 면적이 작을수록 기밀에 취약한 외기에 면한 창호와 AD/PD 의 면적대비 비율 등이 증가하기 때문에 체적이 작을수록 침기율이 불리함
- [표 3-1]과 [그림 3-1]은 2019년부터 2020년까지 68개단지, 346세대의 건축물 에너지효율등급 본인증시 입력한 침기율 데이터에서 단위세대 면적에 따른 기밀성능(침기율)을 정리한 것임
 - 단위세대 면적(Type)과 침기율간의 상관관계는 높지 않으나($R^2=0.57$), 소형 평형(16, 26 Type) 침기율 표준편차가 크고 평균(3.14 회/n)보다 높은 평균을 가짐
 - 특히 4회 이상의 침기율을 나타낸 86개 세대 중 78 %인 69개 세대가 26이하의 소형타입으로, 건축물 에너지 효율등급 예비인증 시 침기율 입력값인 6회 이상의 침기율은 모두 26Type 이하에서 나타남

[표 3-1] 공동주택 단위면적(type)에 따른 침기율 값(2019~2020년)

Type	16	26	36	46	59	74	84
n	48	90	58	8	14	19	26
mean	4.26	3.35	2.60	2.50	3.23	2.73	2.14
median	4.19	2.68	2.39	2.86	3.44	2.60	1.88
stdev.	1.72	1.92	1.10	0.74	1.03	0.93	1.00



[그림 3-1] 공동주택 단위세대 면적(type)별 침기율 분포(2019~2020년)

- 단위세대 면적(Type)별로 AD/PD의 면적대비 비율 및 외기에 면한 발코니 창 면적대비 비율¹⁶⁾을 보면, 59, 84 type이 16~36 type 보다 조적 면적과 창면적이 큰 것을 확인할 수 있었으며, 특히 욕실이 1개인 16~26 type의 경우 평형이 작을수록 조적조(AD/PD)면적의 비율이 큰 것을 확인할 수 있었음

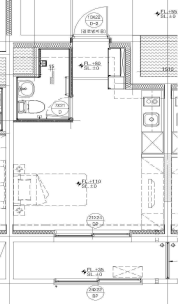
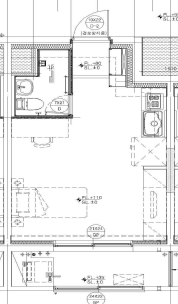
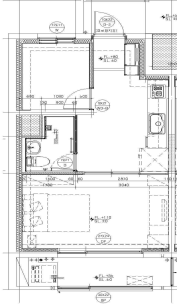
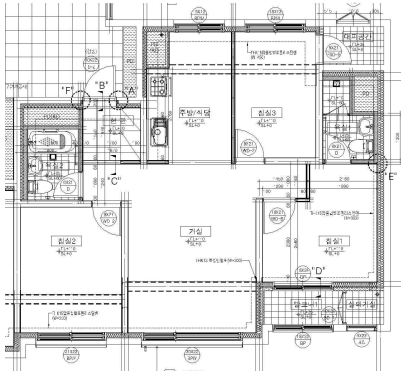
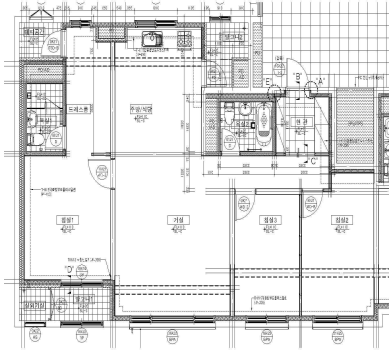
[표 3-2] 단위세대 면적별 AD/PD 및 발코니 창 면적 비

type	바닥 면적*	내력벽 면적	창면적	AD/PD 조적 면적	AD/PD 조적조 바닥 면적	조적 면적 / 벽면적	창면적 / 벽면적	조적 면적 / 전용 면적
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	%	%	%
16	16	42.5	5.0	4.2	0.76	9.9	11.9	4.7
21	21	46.8	5.0	3.5	0.57	7.6	10.8	2.7
24	24	50.0	5.0	3.5	0.57	7.1	10.1	2.4
36	36	62.0	7.8	3.6	0.61	5.9	12.6	1.7
59	59	92.9	21.4	14.1	2.76	15.1	23.0	4.7
84	84	113.4	27.8	15.0	2.70	13.2	24.5	3.2

*전용면적, 안목치수 기준

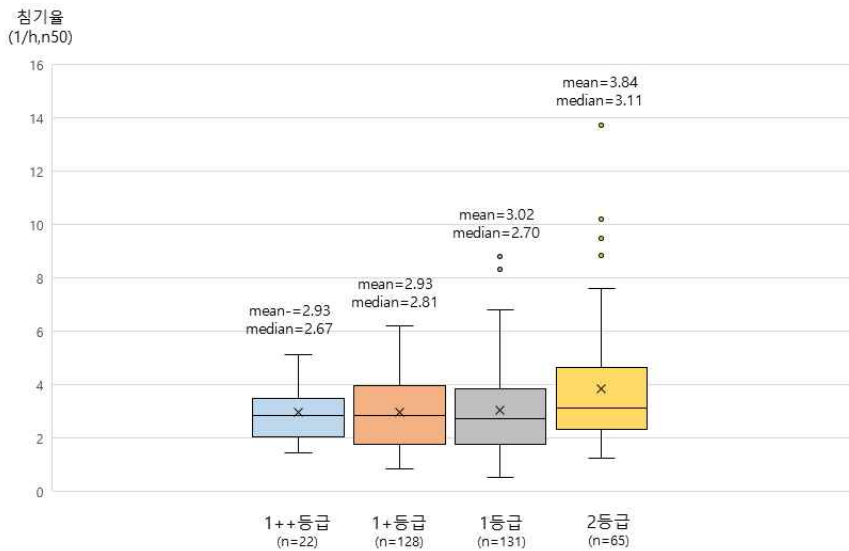
16) 화성봉담 설계 평면 및 LH 주택성능연구개발센터 실증실험동의 평면을 대상으로 함

[표 3-3] 단위세대 면적별 AD/PD 및 발코니 창 면적 계산을 위한 평면

구분	16 Type	21 Type	24 Type	36 Type
평면				
구분	59 Type		84 Type	
평면				

1.2 건축물에너지 효율등급과 기밀성능

- 건축물 에너지효율등급 별로 기밀성능을 나타내면 [그림 3-2]와 같음
- 등급간 중위값의 차이는 크지 않으나(2.67~3.11), 등급이 낮아질수록(1등급, 2등급) 편차가 크며 침기율 6회 이상의 값의 대부분(93%, 13/14(세대))이 1,2등급에서 나타남



[그림 3-2] 건축물에너지효율등급별 기밀성능(1/h,ACH50)

2. 측정대상 선정 및 측정방법

2.1 기밀성능 측정 방법 검토

○ 기밀성능 취약부위 파악 방법 결정

- 준공된 공동주택 단위세대의 기밀성능 취약부위는 쉽게 찾아내기 어려우며, 현장에서의 취약부위 파악방법을 결정하기 위해 지문 및 현장에서 파악방법을 검토
- 검토 결과, 본 연구에서는 측정 일정상황을 고려할 때 침기 예상부위에 열선 유속계로 유속을 측정하여 침기가 발생하는 부위를 파악하는 방법을 사용하는 것으로 결정([표 3-4 참조])

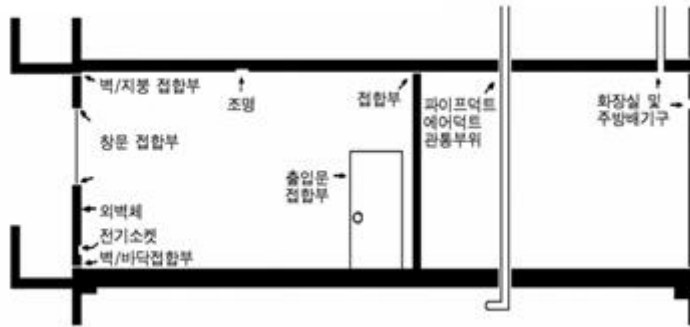
[표 3-4] 기밀성능 취약부위 파악방법

파악방법	선정여부	검토내용
연기발생기	×	실내 가압 시 연기를 발생하여 연기의 흐름을 육안으로 확인 ⇒ 현장에서 확인 시 육안으로 확인이 어려움
열화상 카메라	×	실내 난방 후 실내의 온도차 발생 시 열화상카메라로 온도차가 나는 틈새 확인 ⇒ 공개세대 난방 문제 및 단열취약부위 또는 실내 세대 간 취약부위 파악 어려움
실간 차압측정	×	여러대의 차압계로 실내 가압 시 동시에 실간 차압 비교 ⇒ 보유 장비 및 측정 가용 시간의 한계
열선유속계	○	실내 가압 시 미세한 기류측정이 가능한 열선유속계로 틈새의 기류 확인 ⇒ 정확한 측정은 어려우나 현장에서 빠르고 쉽게 틈새 확인 가능

- 이윤규 외(2011)¹⁷⁾의 연구에서는 공동주택의 주요 기밀부위를 [그림 3-3]과 같이 제시하였으며, 박정하 외(2020)¹⁸⁾의 연구에서 기존 문헌을 정리하여 공동주택의 주요 기밀부위를 창호, 배관 및 콘센트 부위, 조적부위 등 크게 세 부위로 제시

17) 이윤규 외(2011), '건축물 기밀성능 기준 개발 연구' 최종보고서, 국토해양부

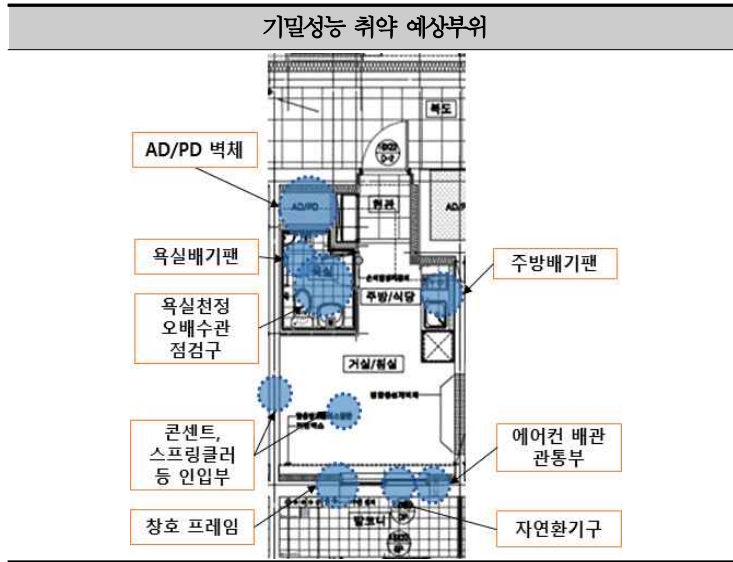
18) 박정하 외(2020), '제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 향상방안 연구', 최종보고서, 토지주택연구원



[그림 3-3] 공동주택의 주요 기밀부위

- 따라서 기밀성능 취약 예상부위는 기존 문헌과 기밀성능 실태조사 대상 단지의 도면을 참고하여 [표 3-5]와 같이 AD/PD 벽체, 욕실배기팬, 욕실천정 오배수관 점검구, 콘센트, 창호 및 프레임, 에어컨 배관 관통부, 자연 환기구, 주방 배기팬을 주요 기밀성능 취약 부위로 예상하고, 본 연구에서 선정한 기밀성능 취약부위 파악방법에 따라 팬 감압시 실내외 차압이 50Pa에서 기류가 발생하는 지점으로부터 기밀성능이 취약한 부위를 파악

[표 3-5] 공동주택 기밀성능 취약 예상부위



○ 기밀성능 측정방법 결정

- 세대 내 기밀성능을 측정하기 위해 입력차 측정법인 ISO 9972 감압법으로 측정
- ISO 9972에서는 시험방법에 따라 측정대상 건물의 준비상태를 [표 3-6]¹⁹⁾과 같이 구분하며, 본 연구에서 실태조사시에는 Method B를 적용함

[표 3-6] ISO 9972 시험방법

시험방법	내 용
Method A (test of building in use)	- 준공 후 냉난방시스템이 가동되는 계절의 건물외피의 기밀성능 측정
Method B (test of the building envelope)	- 준공 전 건물외피의 기밀성능을 측정하며, 외피의 모든 개구부는 닫혀 있거나 밀봉처리 함 - 준공 전 측정방법으로 외피를 통해 누기부위를 확인하고 보수하는 목적으로도 사용 됨
Method C (test of the building in use)	- 준공 후 시점에서 외부와 연결되는 환기 및 배기 배관은 모두 밀봉처리 함

19) 지경환 외(2016), '공동주택의 준공 전후 측정 시점에 따른 기밀성능 비교', 한국건축친환경설비학회 논문집 Vol. 10, No. 1, pp.55~60

2.2 실태조사 개요

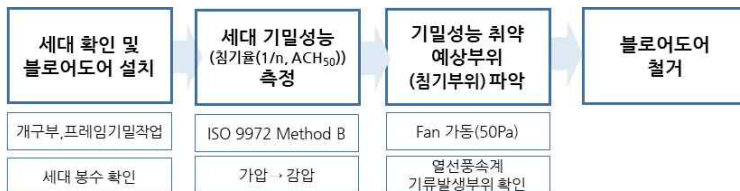
- 신축 공동주택 중 기밀 취약 단지의 기밀성능 측정 및 취약부위 파악
 - [표 3-7]과 같이, 2019~2020년 에너지효율등급 본인증 세대 중 기밀성능 취약(3.0 ACH(1/h)이상)한 단지에서 6개 지구, 총 20세대의 공개세대(16m², 26m², 36m² Type)를 선정함

[표 3-7] 기밀성능 측정 및 실태조사 대상단지(6개 지구)

대상 단지	인증 등급	세대 수	인증 연도	대상 Type	침기율 *평균	비고
시흥은계 공동주택	1	1445	2019	26Am ² (5.06)	4.08	1개타입/ 2세대
광주우산 공동주택	1	361	2019	16Am ² (8.30)	6.82	1개타입/ 2세대
화성봉담 공동주택	1	602	2019	16Am ² (5.38), 26Am ² (6.78)	5.06	2개타입/ 4세대
화성남양 공동주택	1	410	2020	16Am ² (5.69), 26Am ² (5.21)	4.92	2개타입/ 4세대
파주운정 공동주택	1+	580	2020	26Am ² (4.17), 36Am ² (4.09)	4.73	2개타입/ 4세대
아산배방 공동주택	1	250	2020	16Am ² (5.90), 26Am ² (4.54)	4.22	2개타입/ 4세대

* 침기율 :회/h(ACH@50Pa)

- KS-ISO 9972(Method B)세대 별 가압 및 감압식 측정으로 2회 측정
- 세대 내 배관의 봉수가 파괴된 세대는 봉수를 채운 후 측정
- 기밀성능 측정 후 블로어도어가 설치된 상태에서 Fan을 가동하여 실내 50 Pa의 감압상태에서 기밀성능이 취약한 것으로 예상되는 침기부위에 열선풍속계로 기류의 발생을 확인([그림 3-4],[표 3-8],[표 3-9] 참조)

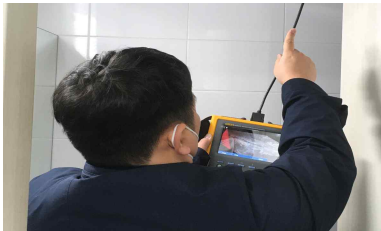
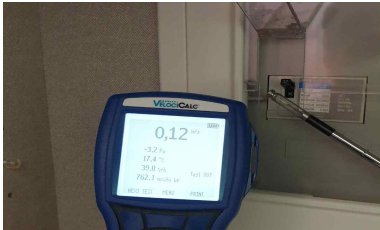


[그림 3-4] 기밀성능 현장 실태조사 순서

[표 3-8] 공동주택 기밀성능 측정

기밀성능 측정사진		
 [자연환기구 기밀화]	 [주방후드팬 기밀화]	 [블로어도어 설치]

[표 3-9] 기밀성능 취약부위 파악방법

 취약부위 유속 확인(창틀주위)	 취약부위 내시경 확인(욕실천장)
 취약부위 열선유속 확인(세대분전반)	 취약부위 열선유속 확인(창틀)

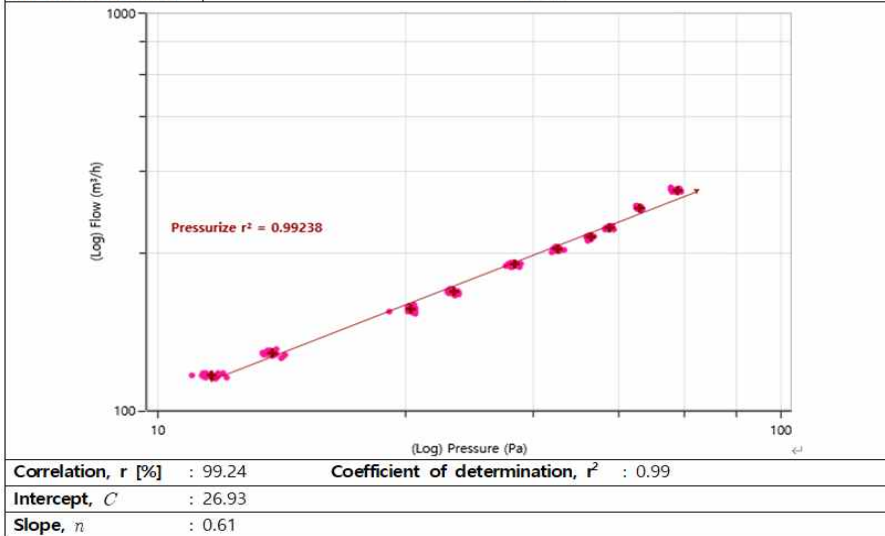
<Building Tightness Report_01_A>

Test Information			
측정기준:	KS L ISO 9972		
측정날짜:	2021-12-23	측정시간:	14 시 33 분
주 소:	경기도 시흥 (26A)		

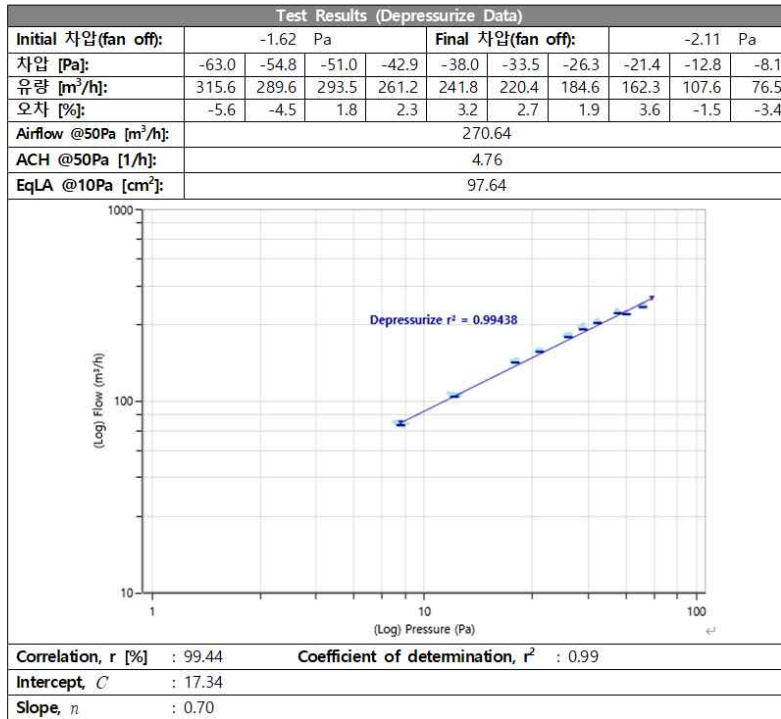
Building Information			
부 피:	56.9 m ³	바닥면적:	24.7 m ²
층 고:	2.3 m		
측정조건:	- 주방후드 밀폐 - 모든 실내문 개방 - 자연환기구 밀폐		

Environmental Conditions			
풍속:	0.1~1.0 m/s		
Initial 온도:	실내: 20.2 °C	실외:	1.1 °C
Final 온도:	실내: 22.1 °C	실외:	1.3 °C

Test Results (Pressurize Data)											
Initial 차압(fan off):	-0.64 Pa				Final 차압(fan off):	-4.15 Pa					
차압 [Pa]:	67.9	59.1	52.9	49.3	43.7	37.2	29.7	25.4	15.2	12.1	
유량 [m ³ /h]:	357.0	322.8	287.9	273.0	254.5	233.3	199.0	180.0	139.5	122.8	
오차 [%]:	5.1	3.5	-1.3	-2.4	-2.0	-1.0	-3.2	-3.5	2.1	3.0	
Airflow @50Pa [m ³ /h]:	290.97										
ACH @50Pa [1/h]:	5.11										
EqLA @10Pa [cm ²]:	122.1										



[그림 3-5] 기밀성능 가압 측정결과 (경기 시흥 unit1)



[그림 3-6] 기밀성능 감압 측정결과 예시(경기 시흥 unit1)

○ 실태조사 측정방법의 평가

- 실태조사 측정값의 신뢰성 판단을 위해 실태조사 대상 세대 1세대를 다른 제조사의 Blower Door 장비로 실태조사 측정자와 다른 측정인원이 측정하여 침기량과 누기면적을 비교하였으며, 결과는 [표 3-10]과 같음

[표 3-10] 실태조사 측정인원과 LHI연구진의 Blower Door 측정값 비교

구 분			측정결과		
측정인원	측정일	측정장비	침기량 (q50, m³/h)	침기율 (ACH50, 1/h)	누기면적 (ELA, cm²)
실태조사	21.12.27.	retrotec Blower Door 5000series	360	10.0	108
LHI	22.04.19.	Minneapolis Blower Door Model 3((TEC社)	367	10.2	112

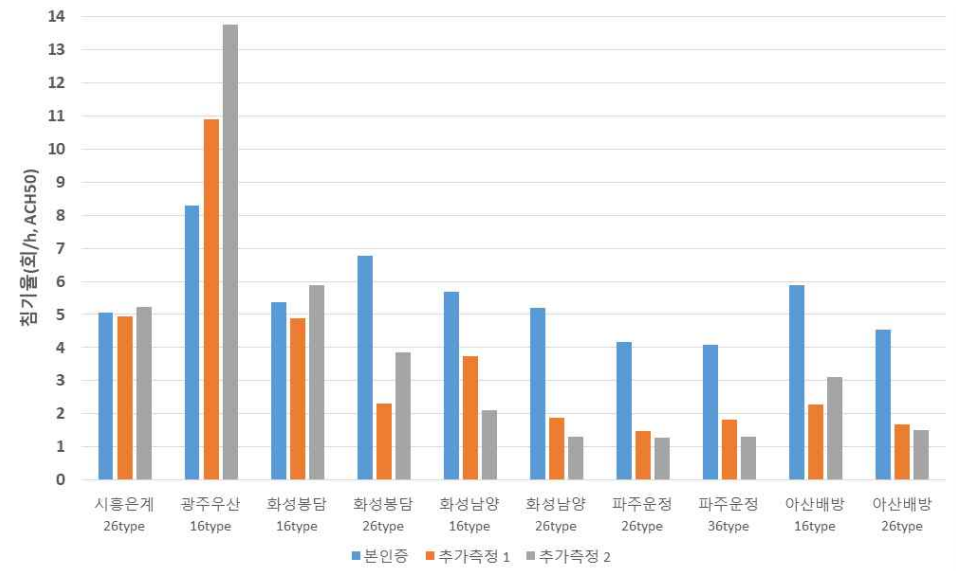
3. 측정내용 및 결과

3.1 세대 내 기밀성능 측정 및 취약 예상부위 확인

□ Blower Door를 활용한 세대 내 기밀성능 측정결과

○ 본인증 측정세대의 침기율 및 실태조사 측정세대 결과 비교

- [그림 3-7],[표 3-11],[표 3-12]와 같이, 본인증 시 침기율 값과 금회 측정한 침기율 차이 발생
- 시흥은계, 광주우산, 화성봉담 16A는 본인증 시와 금회 측정 시의 측정대상 세대가 다르며, 준공 후 세대 거주와 사용에 따른 기밀부위(에어컨 배관 관통부 등) 확대 등에 따른 차이로 기밀성능에 다소 차이가 나는 것으로 추정됨
- 2020년 단지(화성 남양, 파주운정, 아산 배방)에서 본인증 시 측정한 값보다 이번 측정 시 침기율 값이 우수(약 2회~3회/h)하게 나타났으며, 기밀성능 측정 방법에 따른 침기율 차이가 있는 것으로 추정



[그림 3-7] 기밀성능 측정 결과 비교

[표 3-11] 기밀성능 측정 결과

번 호	측정일시	측정단지	준공년도	타 입	침기율(회/h, ACH50)			
					본인증	가압	감압	평균
1	21.12.23.	시흥은계	2019	26 A	5.06	5.11	4.76	4.94
2						5.49	4.93	5.22
3	21.12.27.	광주우산 행복주택	2019	16 A	8.30	11.72	10.03	10.89
4						14.84	12.58	13.76
5	22.01.04.	화성봉담2	2019	16 A	5.38	5.19	4.60	4.89
6						6.12	5.67	5.89
7	22.01.06.			26 A	6.78	2.35	2.27	2.31
8						3.99	3.70	3.84
9	22.01.11.	화성남양	2020	16 A	5.69	3.61	3.86	3.73
10						2.19	2.03	2.11
11	22.01.13.			26 A	5.21	2.12	1.65	1.88
12						1.39	1.25	1.32
13	22.01.18.	파주운정 가람마을	2020	26 A	4.17	1.53	1.41	1.47
14						1.30	1.24	1.27
15	22.01.20.			36 A	4.09	1.91	1.74	1.83
16						1.36	1.25	1.31
17	22.01.26.	아산배방	2020	16 A	5.90	2.36	2.19	2.27
18						3.17	3.03	3.10
19	22.01.27.			26 A	4.54	1.74	1.60	1.67
20						1.50	1.53	1.51

[표 3-12] 본인증 및 실태조사 측정세대의 침기율 비교

준공년도	침기율(회/h, ACH50)		세대수
	본인증 측정세대	실태조사 측정세대	
2019	6.38	6.47	8
2020	4.93	1.96	12
전체	5.51	3.76	20

□ 열선유속계를 활용한 세대 내 기밀성능 취약예상부위 파악

○ 세대 내 기밀성능 취약 예상부위 파악

- 취약부위 파악 방법 : 현관에 블로어도어 프레임 및 팬을 설치하고 감압하여 실내의 50 Pa 압력차 발생 시 기류가 발생하는 지점 확인
- 취약부위 파악 결과, 기밀성능의 주요 취약 부위는 창틀 주위, 세대 분전반, 수도계량기 인입부, 욕실 배기구 및 천정(PD실), 일부 주방배기팬과 벽체사이 틈새(일부) 등으로 나타남([표 3-13],[표 3-14] 참조)

[표 3-13] 기밀성능 취약부위의 기류측정

구분	욕실천정 오배수관 점검구	AD/PD(배전반)	창호 프레임	주방배기팬
사진				

[표 3-14] 공동주택 기밀성능 취약 예상부위

구분	공동주택 기밀성능 취약 예상부위	
AD/PD		
	AD/PD 실내마감재 사이 공간(파주운정)	배관부, 모서리부위 틈새(광주우산)

(계속)

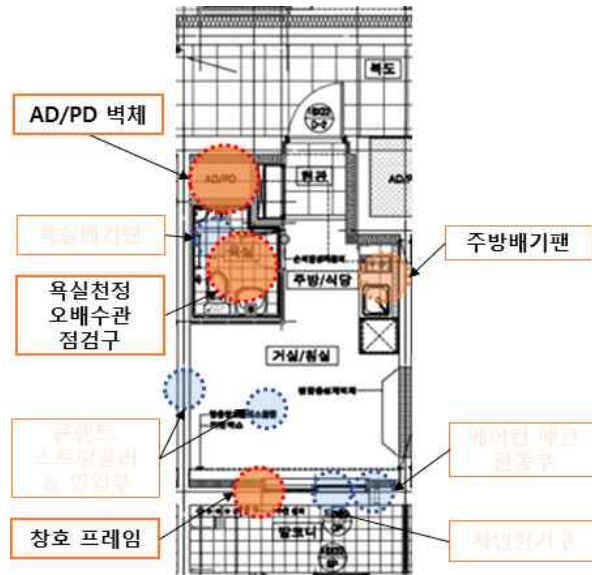
구분	공동주택 기밀성능 취약 예상부위	
창호		
	창틀 상부 물림부위 이격(화성 봉담)	창호 프레임과 벽체사이 틈새(광주 우산)
욕실 천장		
	욕실 천정 오배수관 부위 (광주우산)	
		
	욕실 천장 오배수관 부위 (파주 운정)	

[표 3-15] 기밀성능 취약부위 파악 결과

번호	조사단지 (일시)	타입	조사 세대	기밀성능 취약 예상부위(기류발생 여부)						
				AD /PD	욕실 접점구	욕실 배기팬	콘센트	창호	창호 프레임	주방 배기팬
1	시흥은계 (21.12.23.)	26A	unit1	○	○	○	-	○	○	○
2			unit2	○	○	-	-	○	○	-
3	광주우산 행복주택 (21.12.27.)	16A	unit1	○	○	-	-	○	○	-
4			unit2	○	○	-	-	○	○	-
5	화성봉담2 (22.01.04.~06)	16A	unit1	○	○	-	-	○	-	-
6			unit2	○	○	-	-	○	-	○
7		26A	unit3	○	○	-	-	○	-	-
8			unit4	○	○	-	-	○	-	-
9	화성남양 (22.01.11.~13)	16A	unit1	○	○	-	-	○	-	○
10			unit2	○	○	-	-	○	-	-
11		26A	unit3	○	○	-	-	○	-	-
12			unit4	○	○	-	-	○	-	-
13	과주운정 가람마을 (22.01.18.~20)	26A	unit1	○	○	-	-	○	-	○
14			unit2	○	○	-	-	○	-	○
15		36A	unit3	○	○	-	-	○	-	○
16			unit4	○	○	-	-	○	-	○
17	이산배방 (22.01.26.~27)	16A	unit1	○	○	-	-	○	-	-
18			unit2	○	○	-	-	○	-	○
19		26A	unit3	○	○	-	-	○	-	-
20			unit4	○	○	-	-	○	-	-

[표 3-16] 기류측정을 통한 기밀성능 취약 의심부위

기류측정을 통한 기밀성능 취약 의심부위



3.2 기밀성능 취약 예상부위 세부 검토

□ 누기 예상부위 기밀작업 및 기밀성능 측정

○ 기밀성능 취약 예상세대 선정

- 앞서 실태조사 시 20세대의 기밀성능 측정 결과에 따라 다른 단지에 비해 침기율이 높은 것으로 나타난 16A Type 2세대(광주우산(2세대 평균 12.33 회/h) 화성봉담(2세대 평균 5.39 회/h)), 기밀성능이 우수한 것으로 나타난 아산배방 단지(2세대 평균 의 16A Type 1세대를 선정하여 재측정 및 누기부위 파악하고자 함
- 또한, 2020년 준공세대부터 발코니 창이 이중창으로 바뀌었으며, 광주우산 단지가 기존 기밀성능 실태조사 대상 중 유일한 기동식 경량벽체 구조인 단지임을 감안하여 2022년 준공예정인 기동식 경량벽체 구조 1세대(군산 내흥, 26Type)을 추가 측정하여 비교참고하기 위한 값으로 활용하고자 하였음([표 3-17] 참조)

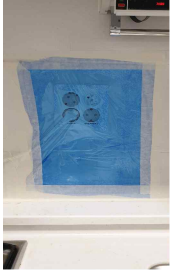
[표 3-17] 기밀성능 측정 결과에 따른 기밀성능 취약세대 선정

측정일시	측정단지	준공년도	타입	구조	침기율(회/h, ACH50)			
					본인측	가압	감압	평균
21.12.27.	광주우산 행복주택	2019	16A	기동식	8.30	11.72	10.03	10.89
						14.84	12.58	13.76
22.01.04.	화성봉담2	2019	16A	벽식	5.38	5.19	4.60	4.89
						6.12	5.67	5.89
22.05.12.	아산배방	2020	16A	벽식	5.90	2.36	2.19	2.27
						3.17	3.03	3.10
22.05.23.	군산내흥	2022	26A	기동식	-	-	-	-

○ 기밀성능 취약 예상부위 기밀작업 후 기밀성 측정

- 기밀성능의 주요 취약 부위로 판단되는 창틀 주위, 세대 분전반, 수도계량기 인입부, 욕실 배기구 및 천정(PD실), 일부 주방배기팬과 벽체사이 틈새(일부) 등을 [표 3-18]과 같이 테이핑 등으로 기밀화 작업 후 기밀화부위를 제거함에 따른 기밀성능 변화(침기율, 침기량, 누기면적) 측정

[표 3-18] 취약부위 분석을 위한 부위별 기밀화 작업

구분	취약 예상부위 기밀화 작업			
사진				
부위	창호 기밀작업	신발장부위 기밀작업	욕실 점검구 (배기장치포함) 기밀작업	콘센트 부위 기밀작업

○ 기밀 취약부위별 기밀성능 측정 결과

[표 3-19] 기밀 취약부위별 기밀성능 측정 결과

구 분 (측정일)	타 입	구 조 (발코니 창호)	기준 값(ACH50,1/h)		기밀취약부위별 기밀성능 측정					
			본인측 (가압, 감압)	실태 조사 (감압)	세대 기밀 성능 (발배 X)	취약 부위 밀폐 작업 후	물딩 부위 제거	콘센트 제거	욕실환 기장치 신발장 제거 (창호만 기밀)	비 고
화성봉담 (22.04.14.)	16 A	벽식구조 (단창)	5.38	4.60 ~5.67	4.45	3.24	3.05	—	3.11	①*
					169	123	116	—	118	②**
					51	37	35	—	36	③***
광주우산 (22.04.19.)		기둥식 구조 (단창)	8.30	10.03	9.66	6.80	—	7.57	8.62	①*
					367	259	—	288	328	②**
					112	79	—	88	100	③***
아산배방 (22.05.12.)		벽식구조 (이중창)	5.90	3.03	2.62	2.47	—	—	2.68	①*
					100	94	—	—	102	②**
					30	29	—	—	31	③***
군산내흥 (22.05.23.)	26 A	기둥식 구조 (이중창)	—	—	5.69	—	—	—	5.50	①*
					324	—	—	—	314	②**
					99	—	—	—	96	③***

*① : 침기율(n50,1/h) **② : 침기량(q50,m/h) ***③ : 누기면적(ELA50, cm²)

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2022-04-19 Test File: 광주 우산_감압(블록38)

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:

q50 : m³/h (Airflow) 367 (+/- 4.9 %)

n50 : 1/h (Air Change Rate) 9.66

qF50 :

qE50 :

Leakage Areas:

ELA 50 : m² 0.0112 (+/- 4.9 %)

ELA F50 :

ELA E50 :

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (C_{env}) = 21.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 22.0 %)

Air Leakage Coefficient (C_L) = 21.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 22.0 %)

Exponent (n) = 0.728 (+/- 0.063)

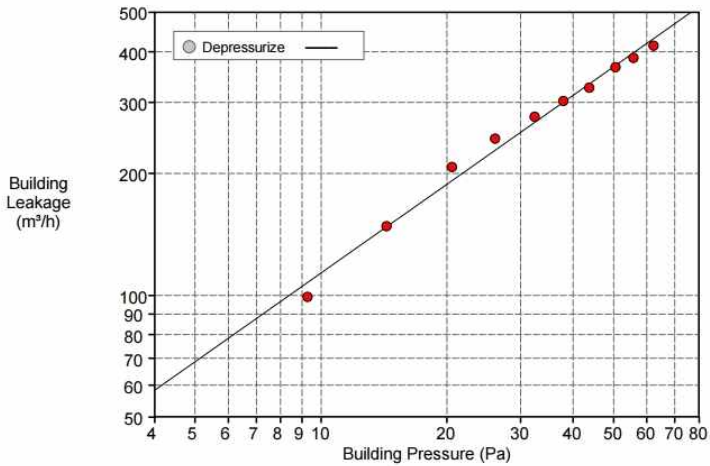
Coefficient of Determination (r^2) = 0.98873

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope

Purpose of Test:

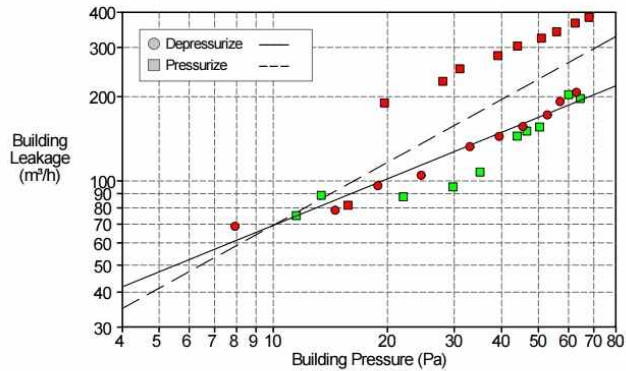


[그림 3-8] 기밀성능 측정결과 데이터(광주우산)

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2022-04-14 Test File: 화성봉담 기본-감압가압1
 Technician: park
 Project Number: 1
 Customer: lh Building Address: bongdam2 4
 hwasung,
 Phone:
 Fax:

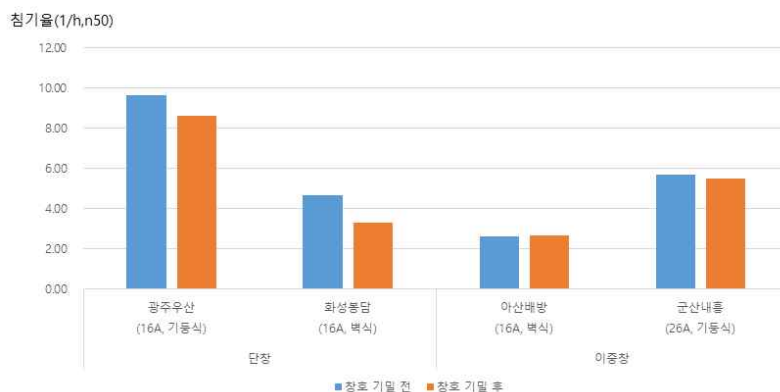
Test Results at 50 Pascals:	Depressurization	Pressurization	Average
q50 : m³/h (Airflow)	169 (+/- 6.6 %)	231 (+/- 21.3 %)	200
n50 : 1/h (Air Change Rate)	4.68	6.42	5.55
QF50 :			
QE50 :			
Leakage Areas:			
ELA 50 : m²	0.0051 (+/- 21.3 %)	0.0070 (+/- 21.3 %)	0.0061
ELA F50 :			
ELA E50 :			
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) m³/(h·Paⁿ)	19.3 (+/- 27.8 %)	12.4 (+/- 120.4 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) m³/(h·Paⁿ)	19.5 (+/- 27.8 %)	12.4 (+/- 120.4 %)	
Exponent (n)	0.552 (+/- 0.080)	0.747 (+/- 0.335)	
Coefficient of Determination (r²)	0.96915	0.54979	
Test Standard:	ISO 9972		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	Method 2 - Test of Building Envelope		
Purpose of Test:			



[그림 3-9] 기밀성능 측정결과 데이터(화성봉담)

○ 기밀성능 취약부위 분석

- [그림 3-10]에 나타난 것과 같이 먼저 발코니 창호에 의한 기밀성능 차이를 보면, 단창인 광주우산, 화성봉담의 경우 창호에서 각각 50 Pa에서의 시간당 침기량 51,39 m³/h로 약 1회~1.3회 정도의 차이 발생
- 반면 이중창인 아산배방의 경우 침기량의 차이가 거의 없었으며, 군산내흥의 경우 침기량 차이 10 m³/h으로 약 0.19 회/h의 차이 발생



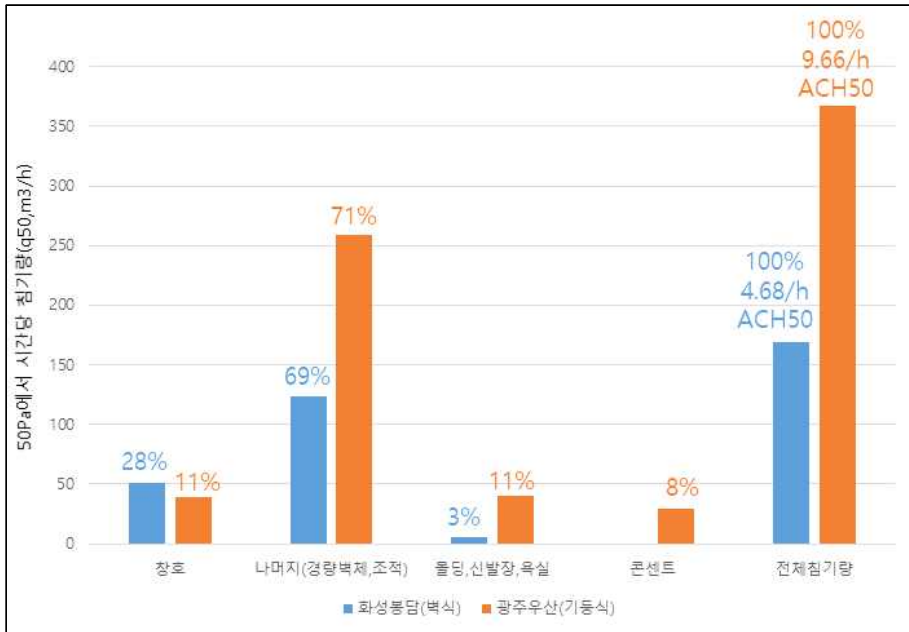
[그림 3-10] 단창 및 이중창 발코니 창호에 의한 기밀성능 차이 비교

- 특히, 창호에서의 기밀성능 차이가 1.4 회/h 로 큰 화성봉담의 경우 [표 3-20]에 나타난 것과 같이 창호설치 시 프레임에 창호를 끼울 때 상부 레일부 위의 물림 깊이가 제대로 되지 않은 것을 확인할 수 있었음

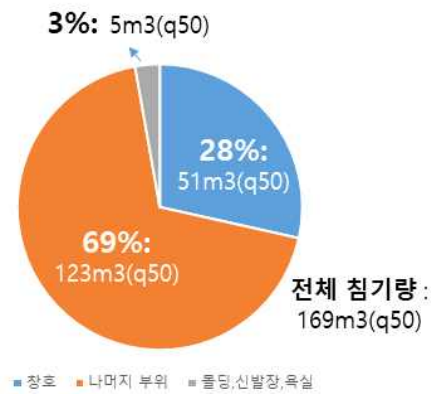
[표 3-20] 창호 프레임 상부레일 부위 물림 예시

	
화성봉담	아산배방

- 한편, 주요 기밀취약부위로 예상했던 욕실천정점검구와 신발장부위의 경우, 기밀작업 전후의 차이가 크지 않았으며, 이는 완공된 주택에서 완전한 침기루트를 밀폐하는 것이 불가능하여 기밀작업의 효과가 예상보다 크지 않은 것으로 나타남. 즉, 기밀작업을 할 수 없었던 천장 내부로의 침기 등 나머지 부분에서의 침기로 나타났을 것으로 사료됨
- 따라서 광주우산과 화성봉담 모두 70%에 이르는 침기량이 기밀작업을 못한 부위로 발생하는 경량벽체 및 조적조의 침기일 것으로 판단됨
- 결과를 종합하면 준공상태에서 기류발생부위의 기밀작업 후 기밀성능 측정으로는 창호(파란색, 28% 영향) 외에 기밀성능에 영향을 미치는 대부분의 누기 부위의 정확한 판단이 어려웠으며(주황색, 69%) 이를 위해 AD/PD 기밀 취약부위 분석을 위한 실내 마감재 철거가 필요함([그림 3-11],[그림 3-12] 참조)



[그림 3-11] 기밀 취약부위별 기밀성능 측정 결과 비교



[그림 3-12] 기밀성능 부위별 기여도

○ AD/PD 기밀 취약부위 분석을 위한 철거 후 분석

– 창호 외에 주요 기밀 취약부위로 판단되는 AD/PD의 경우, 본 연구에서 대상으로 하는 완공 상태의 공동주택은 내부 마감재 시공으로 취약부위의 세밀한 부위의 확인이 어려우므로, 취약부위의 확인과 보완 후 기밀성능의 향상 정도를 파악하기 위해 앞서 측정된 화성봉담의 16A 세대를 대상으로 [표 3-22]와 같이 실내 내부 마감을 철거하고, Blower Door를 가동하여 철거부위 주변의 기류를 확인하여 배관 관통부와 틈새 등에 폼 충전 등으로 취약부위를 보완([표 3-23] 참조)

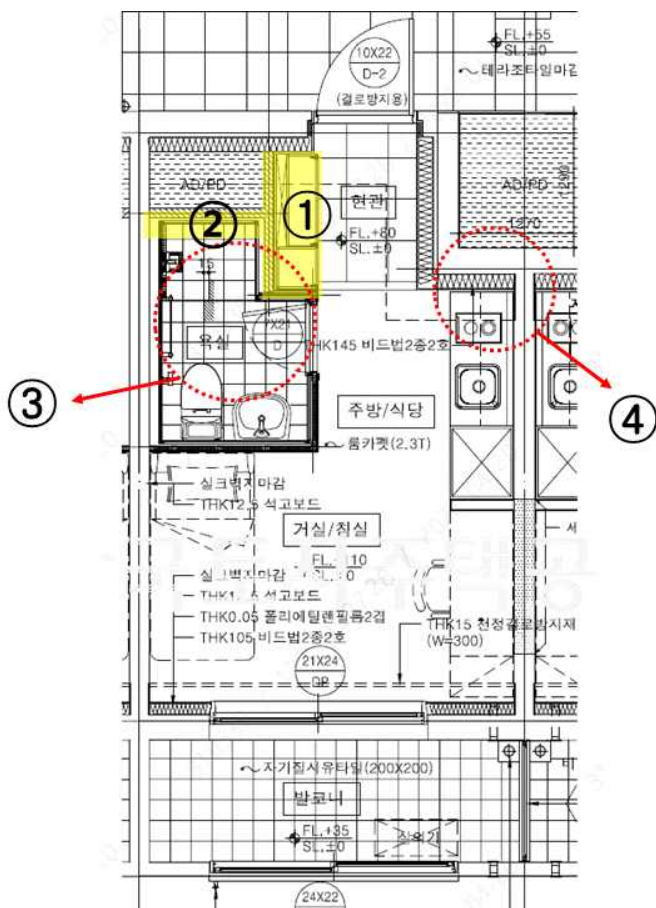
– 취약부위 보완에 의해 개선된 기밀성능의 향상정도를 확인하기 위해 침기율을 측정하였으며 그 결과를 나타내면 [표 3-21]과 같음

[표 3-21] AD/PD 취약부위 보완 전후 기밀성능 비교

구 분	측정 일시	기밀성능 측정 결과			비고
		침기율 (n50, 1/h)	침기량 (q50, m ³ /h)	누기면적 (ELA50, cm ²)	
철거 전	22.04.14.	4.45	169	51	감압법
철거 후	22.05.20.	5.32	202	62	감압법
취약부위 보완 후	22.05.20.	4.80	183	56	감압법

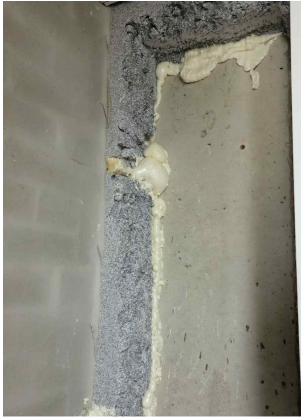
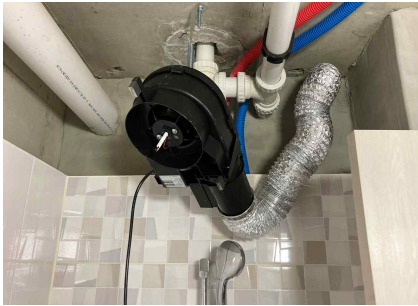
[표 3-22] 기밀취약부위 파악 및 보완 후 측정을 위한 실내마감재 철거 위치

기밀 취약부위 파악 및 보완후 측정을 위한 실내마감재 철거 위치



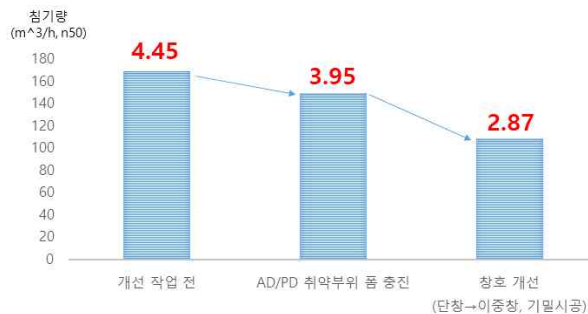
- ① 신발장
- ② 신발장쪽과 욕실에서 AD/PD실이 면한 타일과 실내마감부
- ③ 욕실천정 점검구
- ④ 주방배기장치에서 AD/PD로 배관이 관통하는 부위

[표 3-23] 기밀성능 취약부위 철거 및 보완 내용

기밀성능 취약부위 철거 및 보완 후 사진	
	
신발장 뒤 철거 후 사진	신발장 뒷 부분 보완(폼 충전)
	
주방 환기팬 관통부위	욕실 쪽 AD/PD
	
욕실 배기팬 관통부 보완(폼 충전)	신발장 아래 전선관 관통부 보완(폼 충전)

○ 기밀 취약예상부위 세부검토 결과

- 공동주택의 기밀 취약예상부위의 세부검토 결과, 주요 취약부위인 창호와 AD/PD에서 각각 1.3 회/h(침기량 51m³/h)와 0.5 회/h(침기량 19m³/h) 차이의 기밀성능을 가져오는 것으로 확인
- 창호의 비교측정결과를 보면 현재 설계기준인 이중창으로 설치하고 창호의 기밀한 시공에 의해 침기량 51m³에서 10m³까지 저감 가능
- AD/PD의 경우, 배관 인입부와 단열재 설치 시 틈새, 브라켓 폼 충전 위치에서의 틈새 등이 취약한 부위로 육안으로 확인 가능한 부위를 보완 시 0.5 회/h(침기량 19m³/h)의 개선이 있었으며, 주방에 면한 AD/PD의 배관 관통부 및 현관쪽 AD/PD의 마감재에 의해 가려진 부분 등 완전히 보완하지 못한 부위가 있음을 고려하면 0.5회 이상의 기밀성능 개선이 가능할 것으로 판단됨
- 따라서, 본 연구에서 선정하여 기밀성능 취약부위를 찾고 기밀성능의 개선 작업을 수행한 결과, [그림 3-13]과 같이 개선 전 4.45 회/h에서 3.0 회/h 이하 수준까지 기밀성능 개선이 가능하며, 이는 현재 설계기준인 2020년 이후의 발코니 이중창 설계기준에서 시공 시 창호와 AD/PD에서의 취약부위에 대한 시공 관리로 3.0회/h 수준의 기밀성능 확보가 가능할 것으로 판단됨
- 그 이상의 기밀성능 수준을 확보하기 위해서는 기밀 전용 자재의 적용(테이프, 배관용 자재 등)이 필요할 것으로 판단됨



[그림 3-13] 기밀성능 취약부위 개선에 따른 침기율 향상

제 4 장

기밀성능 향상을 위한 시공관리요소

LANDSLIDE
HIT
GUT
E

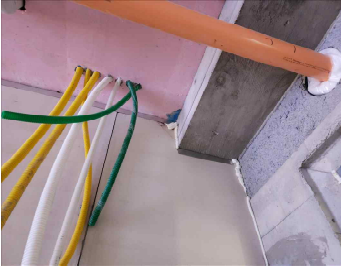
&

제4장 기밀성능 향상을 위한 시공관리요소

1. 신축공동주택의 기밀취약부위 시공실태

- 신축공동주택 현장에서 기밀취약부위에 대한 실태를 확인
 - AD/PD 조적조 또는 경량벽체 시공이 완료된 신축공동주택 현장의 기밀성능 취약부위 시공 실태를 확인하였으며 주요 내용은 [표 4-1]과 같음
 - AD/PD의 조적조 및 경량벽체 시공 시 본 연구에서 파악한 배관 관통부와 접합부 등의 틈새에 대한 기밀시공 및 관리는 별도로 이루어지지 않고 있음

[표 4-1] 신축 공동주택 AD/PD 부위 시공 사진

구분	공동주택 기밀시공 실태조사 주요위치	
사진		
부위	욕실에 면한 AD/PD 조적부	경량벽체 AD/PD 시공
사진		
부위	주방배기부위	경량벽체 AD/PD 시공

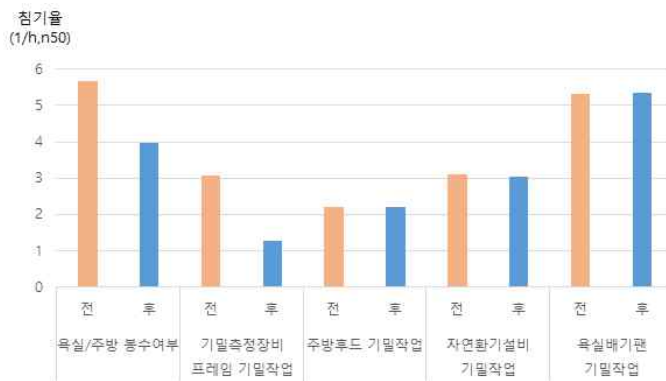
2. 기밀성능 측정 방법 보완

2.1 측정 방법 개선

- 기밀성능 실태조사결과, 기밀성능 측정 전 측정세대의 준비작업(기밀성능 작업)에 따라 침기율 차이가 있을 것으로 판단되며, 침기율에 영향을 줄 것으로 판단되는 화장실과 주방의 봉수 여부, 주방 및 욕실배기, 자연환기장치의 기밀 작업 여부 그리고 [표 4-2]와 같이 세대의 현관에 설치하는 Blower Door의 프레임에 대한 기밀작업 여부에 따른 기밀성능 차이를 확인하였으며, 그 결과를 [표 4-3], [그림 4-1]에 나타냄

[표 4-2] 기밀성능 측정장비 프레임 기밀작업 전 후 사진

구분	프레임 기밀작업 전	프레임 기밀작업 후
설치 사진		



[그림 4-1] 기밀성능 측정 전 준비에 따른 침기율 차이

[표 4-3] 기밀성능 측정 전 준비(기밀작업)에 따른 침기율 차이

내용	측정단지	타입	침기율 측정결과(회/h, ACH50)		
			구분	침기율	비고
화장실/주방 봉수 여부	화성봉담2	16A	봉수 파괴 시	5.67	감압법
			봉수 채운 후 측정	3.97	
기밀측정장비 프레임 기밀작업	과주운정	26A	프레임 기밀작업 전	3.07	가/감압 평균
			프레임 기밀작업 후	1.27	
주방후드 기밀작업	아산배방	16A	배기팬 기밀작업 전	2.22	감압법
			배기팬 기밀작업 후	2.19	
자연환기설비 기밀작업	아산배방	16A	환풍구 기밀작업 전	3.09	감압법
			환풍구 기밀작업 후	3.03	
욕실배기 기밀작업	군산내흥	26A	배기팬 기밀작업 전	5.32	감압법
			배기팬 기밀작업 후	5.34	

- 기밀성능 측정 시 세대 내 기밀작업에 따라 기밀성능 값 차이 발생
 - 특히 화장실/주방의 봉수 여부, 기밀성능 측정장비 프레임의 기밀작업이 큰 영향을 미치는 반면 주방후드, 욕실배기구 및 자연환기설비의 기밀작업은 큰 영향이 없음
- 기존 기밀성능 측정 시 균질한 측정결과를 얻을 수 있는 기밀성능 측정법의 정립 필요
 - 균일한 기밀성능의 확보를 위해서는 취약한 부위(창틀 주위, 세대 분전반, 수도계량기 인입부, 욕실 배기구 및 천정(PD실))의 보강 외에도 기존 기밀성능 측정 시 균질한 측정결과를 얻을 수 있는 기밀성능 측정법의 정립 또한 중요하다고 판단됨(기밀성능 측정에 대한 자체 가이드라인 제시 등)
- 현재 본인증 시 측정방법은 단순히 타입별 1세대 측정 후 측정값을 입력하는 것으로 진행되며, 본인증 시 기밀성능을 대표할 수 있는 세대의 선정, 기밀측정방법 확인 등 신뢰도를 높일 수 있는 방안이 필요

2.2 기밀성능 취약부위 보환을 위한 시공관리

○ 기밀성능 취약부위 관련 시방서 보완

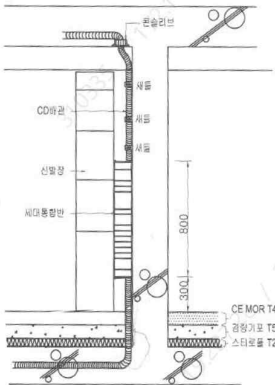
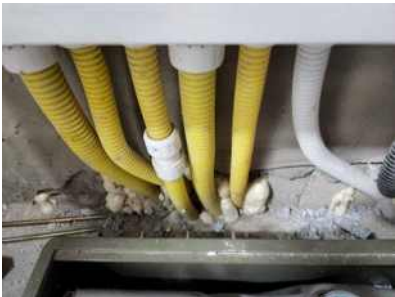
- 기밀성능 관련 공사 시방서 검토 결과, AD/PD 조적조의 미장 등 기밀시공을 위해 특정하여 시방서 반영이 어려움이 있으나 기밀관련 부위의 시방서 반영을 통한 시공관리 필요([표 4-4] 참조)

[표 4-4] 기밀성능 취약부위 관련 LH 공사시방서 검토내용

	시방서	주요내용	비고
건 축	조적공사 일반 (LHCS 41 34 01)	조적조 구조물의 시공시 일 반적이고 구조적인 요구사항	기밀성능이 요구되는 부위에 대한 미장 마감 등의 시방 명시 없음
	블록공사 (LHCS 41 34 05)	건축물의 내외마감 및 구조 벽체를 만드는 블록조적공사 에 대한 규정	"
	창호주위 충전 (LHCS 41 46 20)	창호주위 충전에 대한 모르 타르, 우레탄 자재와 현장요 구사항, 시험, 시공에 관한 사항	충전 모르타르 및 발포우레 탄을 밀실하게 시공 하도록 명시 기밀테이프 등에 대한 사항 없음
	합성수지제 창호 (LHCS 41 55 03)	합성수지제 창호공사에 대한 성능기준, 제작, 시공에 관 한 사항	기밀성능 1등급 적용 명시 됨 현장에서의 창호 기밀성능 확인 방법 또는 고기밀 창호 적용
	시스템 욕실 (LHCS 41 80 08 25)	복합 새니터리 유닛(UBR) 의 부재와 부품에 대한 규정	점검구등 밀실한 구조에 대 한 명시 없음,
기 계	배관설비공사 공통사항 (LHCS 31 20 15 05)	설비배관의 일반사항에 관한 규정	배관의 바닥, 벽 관통시 슬 리브 설치에 대한 명시만 있 으며 기밀에 대한 사항 없음
	주방 배기설비 설치공사 (LHCS 31 25 20 10)	주방공용후드와 개별 주방 레인지후드의 설치에 관한 사항	댐퍼에 관한 사항과 후드의 밀착에 관한 사항은 명시되 어있으나 배관 관통부의 밀 폐에 대한 사항은 없음
	건식 에어덕트 및 파이프덕트 설치공사 (LHCS 31 25 20 35)	건식 에어덕트(AD) 및 파이 프덕트(PD)설치공사에 관한 사항	벽체와 바닥, 조적구조에 관 한 밀폐(미장 등)사항은 없 음

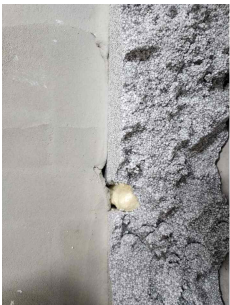
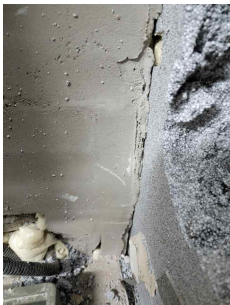
- 현장에서의 기밀성능 취약부위에 대한 시공관리 필요
 - 기밀성능 취약부위로 추정되는 창호의 상부 레일 물림 깊이의 준수, AD/PD의 세대전기 단자함 배관 등 취약부위에 대한 설계 및 기준대로 시공

[표 4-5] 기밀취약부위(AD/PD 세대전기 단자함) 설계 상세 및 잘못된 시공사례

	
세대전기 단자함 설계 상세	잘못된 시공 사례

- AD/PD와 외기 벽체 사이의 단열재 브라켓 부위, 벽체와 틈새 AD/PD를 관통하는 배관 주위에 폼 충전 등으로 틈새가 생기지 않도록 시공

[표 4-6] AD/PD 단열재 브라켓 및 배관 관통부 틈새

		
AD/PD와 단열재 사이 브라켓 부위 등 틈새		배관관통부위 틈새

○ 기밀취약부위에 대한 기밀자재의 적용

- 기밀성능을 향상시키기 위한 기밀자재는 주로 창호 프레임에 적용하는 기밀 테이프가 있으나 자재비용 상승, 시공 난이도 등으로 단독주택이 아닌 공동주택에서 적용이 어려운 점이 있음
- 다만 본 연구과제에서 파악한 창호 외 주요 기밀취약부위인 AD/PD의 브라켓 등의 틈새, 배관 관통부에 대해 [그림 4-2],[그림 4-3],[그림 4-4]²⁰⁾와 같은 도장도포형 또는 슬리브형 기밀자재의 적용은 상대적으로 용이하므로 적용에 대한 검토가 필요하다고 판단됨



[그림 4-4] 틈새부위에 적용 가능한 도장형 기밀자재 적용 예시



[그림 4-5] 배관에 적용 가능한 기밀자재 적용 예시

20) 선행연구과제인 '제로에너지 공동주택 구현을 위한 기밀성능 향상방안 연구'(박정하 외, 2020)의 부록에서 발췌하였으며, 원본은 프로클리마社에서 제공한 자료로부터 작성한 자료임

제 5 장

결론

LANDS
LON
H
I
S
T
O
R
Y
I
N
T
H
E
F
U
T
U
R
E

&

제5장 결론

- 본 연구에서는 2025년 제로에너지 공동주택 의무화에 앞서 기밀성능 향상을 위해 취약한 기밀성능 실태를 분석하고, 현장에서 기밀성능의 균질한 성능구현이 가능한 시공관리요소를 제안하고자 수행하였으며 연구결과는 다음과 같음
- 1. 공동주택의 기밀성능은 2019-2020년 건축물에너지효율등급 본인증시 측정자료에 의하면 평균 3.14회/h(ACH50)으로, 4회/h 이상의 침기율은 소형평형(26A이하)에서 나타나며 소형평형에서의 기밀성능 편차가 큼
- 2. 기밀성능이 취약한 20세대의 공동주택을 대상으로 침기율(1/h, ACH50)을 측정하고 취약부위를 파악한 결과, 다수의 세대에서 본인증시 측정한 침기율값보다 2회이상 적은 값으로 나타나는 경우가 있었으며 특히, 2020년 준공세대 26A 6세대의 실태조사 결과는 평균 1.52회/h로 본인증 평균 4.61회/h와 큰 차이를 보임. 이는 세대 선정, 측정방법에 대한 오차 및 사용에 따른 기밀부위 발생 등이 추정되며 기밀성능 측정에 있어 단지의 기밀성능을 대표할 수 있도록 보완이 필요
- 3. 기밀성능 취약부위에 대한 실태조사 결과 주요 취약부위는 AD/PD 벽체의 조적부위, 창호 자체와 프레임부위, 주방배기팬 배관 관통부 등으로 나타났으며, 취약부위에 대한 보완으로 개선 전 4.55회/h(ACH50) 16A 세대의 기밀성능이 개선 후에는 3.0회/h(ACH50)이하 까지 기밀성능 향상이 가능할 것으로 판단됨
- 4. 본 연구에서 도출한 기밀성능의 취약부위 개선을 위한 시공관리요소는 다음과 같음
 - 1) 기밀성능 시공 시 현장에서의 기밀시공 관리요소
 - 기밀성능 취약부위(AD/PD 조적부위 미장, 배관 관통부, 창호프레임설치) 시공에 관한 작업자 교육실시 및 현장 관리 감독 강화
 - AD/PD의 단열재 브라켓 부위, 단열재와 벽체의 틈, 배관관통부의 틈새가 없

- 도록 폼 충전 등 꼼꼼히 시공하고, 필요시 전용 기밀자재의 적용
- 창호 상부 레일 물림 깊이, AD/PD 세대 전선반 등 기밀 취약부위 대해 설계 및 기준으로 시공 철저히 준수
- 시공 중간시점에서 기밀성능 측정(실내마감 샘플세대 시공 후, 조적 및 창호 설치 시공 후 등)후 취약부위 보완

2) 건축물 에너지 효율등급 인증시 기밀성능 측정에 대한 보완

- 현재 건축물에너지 효율등급 본인증시 타입별 1세대의 기밀성능 측정값을 입력하고 있으며, 세대내 측정세대 선정(현재 대표세대 1세대 → 샘플세대 증가)과 측정 전 기밀작업(봉수채움, Blower Door 프레임 기밀작업) 등 측정방법의 세부사항 명시 및 측정결과와 관리를 통한 실제 건축물 기밀성능의 정확한 반영을 위한 보완 필요
- 또한 예비인증시 입력하는 침기율 6회를 현실적으로 충분히 구현가능한 기밀성능 수준인 3회~4회정도의 수준으로 반영, 기밀성능의 중요성에 대한 인식을 높이고 설계 및 시공단계에서부터 기밀성능을 저하시키는 시공을 방지하고 기밀성능 구현에 대한 관심이 이어지도록 해야 함

5. 향후 기밀성능 향상을 위해서는 LH공동주택의 기밀성능 현황과 관련한 Data를 기본적으로 구축하고 관리할 필요가 있으며, 본 연구에서 제안한 기밀성능 취약부위의 보완과 관련하여 취약부위의 기밀성능 시공을 강화한 세대의 검증이 필요하며 이는 후속연구에 의해 수행되어야 함

- 기밀성능 Database 구축 : 동일단지, 동일타입 세대의 기밀성능 측정 편차 분석, 본인증시 기밀성능값의 지속적인 자체 검증, 동일 시험자의 기밀성능 반복 측정에 따른 측정오차 분석, 가동식 경량벽체 공동주택의 단위세대 기밀성능 측정에 대한 문제점 개선을 위한 비교 Data 등 기밀성능 관련 Data 구축 필요
- 기밀성능 강화한 세대(또는 시범단지)의 기밀성능 검증 : 기밀성능 시공관리 세대와 비관리 세대, 기밀자재가 적용된 세대 등을 적용한 세대에서의 비교를 수행하여, 제로에너지 로드맵에 따른 기밀성능 목표 달성을 위한 기밀기술 적용 및 시공방안에 대한 본격적인 검증이 필요

참 고 문 헌

L
A
N
D
I
N
G
I
N
S
T
I
T
U
T
E
H
O
N
S
T
I
T
U
T
E

&

참고문헌

- 국토교통부 고시 '에너지절약형 친환경주택의 건설기준'
- 국토교통부 고시 '건축물의 에너지절약 설계기준'
- 국토교통부령 '주택건설기준 등에 관한 규칙'
- 한국산업표준 'KS L ISO 9972-2016 단열-건물 기밀성 측정-팬 가압법'
- 한국산업표준 'KS L ISO 12569:2000 건물 열 성능-건물 내 환기 측정-추적 가스 희석법'
- 한국설비기술협회 단체표준 'SPS-KARSE B 0055-6334:2015 역류방지 전동담퍼'
- 한국건축친환경설비학회 'KIAEBS C-1:2013, 건축물의 기밀성능 기준'
- 강기남(2015), '공동주택 기밀수준 확보를 통한 에너지 성능 분석', 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.232-233
- 강기남(2017), '공동주택의 기밀성능 확보에 따른 에너지 요구량 절감률 변화에 관한 연구', 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.220-223
- 강지연(2019), '공동주택 구조 형식에 따른 기밀성능 측정 및 분석', 한국생태환경건축학회 논문집, v.19,n.6, pp.81-86
- 권오현(2010), 'Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀도 실측사례 분석', 대한건축학회 논문집 계획계, v.26,n.7, pp.303-310
- 김길태 외(2013), 「노후 임대주택의 에너지 성능향상을 위한 개선방안 연구」 최종보고서, 토지주택연구원
- 김승철(2011), 'Blower Door를 이용한 고기밀 공동주택의 기밀성능 평가', 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집 v.11,n.1, pp.3-6
- 박선효(2007), '기밀 시공 관리에 따른 건물의 기밀도 현황 연구', 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집 v.7,n.1, pp.81-84
- 신철웅(2012), '환기설비가 적용된 공동주택의 기밀성능 특성 연구', 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.342-345

- 신현국(2011), '건물의 기밀성능 측정에서의 가감압법 테스트조건 비교', 대한건축학회 논문집 계획계, v.27,n.8, pp.279-286
- 신현국(2012), '단위세대 기밀성능 측정 및 에너지 관련 기준 평가', 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 계획계, v.32,n.1, pp.229-230
- 안나(2013), '국내 저에너지주택의 기밀성능 현황 분석', 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, v.33,n.1, pp.334-338
- 옹드람(2019), 'Blower Door를 이용한 건물의 기밀성능 시험 방법의 고찰', 대한설비공학회 논문집, v.31,n.5, pp.216-226
- 유정현 외(2020), 「공동주택의 에너지 자립수준 향상방안 연구」 최종보고서, 토지주택연구원
- 이명주 외(2016), 「공동주택의 제로에너지 설계 가이드라인」, 국토교통부
- 이명주 외(2018), 「제로에너지주택 최적화모델 개발 및 실증단지 구축연구」 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원
- 이수인(2015), '건물 구조 특성에 따른 기밀성능 및 난방 에너지 요구량 분석', 한국생태환경건축학회 논문집, v.15,n.2, pp109-115
- 이수인(2016), '방풍재 적용에 따른 슬라이딩 창호의 부위별 기밀성능 개선도 분석', 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, v.36,n.2, pp.531-532
- 이윤규 외(2011), 「건축물 기밀성능 기준 개발 연구」 최종보고서, 국토해양부
- 이윤규(2013), '신축 공동주택의 누기특성 및 기밀성능 분석에 관한 연구', 대한설비공학회 논문집, v.25,n.11, pp.606-611
- 이지연(2019), '공동주택 타입별 기밀성능 실측 연구', 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, v.39,n.2, pp.341-342
- 이태구(2013), '패시브 디자인을 적용한 주택의 기밀성에 대한 실측 사례 연구', 한국생태환경건축학회 논문집, v.13,n.2, pp.13-20
- 조재훈(2010), '초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가', 대한건축학회 논문집 계획계, v.26,n.10, pp.337-344
- 조재훈 외(2014), 「제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정

방법(KS) 개발」 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원

지경환(2014). '기존 건축물의 기밀성능 진단을 위한 주요 누기부위 조사에 관한 연구', 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, v.34,n.1, pp.241-242

지경환(2015). 'ISO 9972의 측정 준비 단계별 공동주택의 기밀성능 비교', 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, v.35,n2, pp.239-240

지경환(2016). '공동주택의 준공 전후 측정 시점에 따른 기밀성능 비교', 한국건축친환경설비학회 논문집, v.10,n.1, pp.55-60

지경환(2016). '국내 고층 공동주택의 기밀성능 특성 분석 및 누기부위 조사', 한국건축친환경설비학회 논문집, v.10,n.4, pp.307-312

지경환(2018). '건물의 기밀성능 향상을 위한 기밀 관리 프로세스 구축', 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, pp.43-44

홍구표(2013). '공동주택 기밀성 향상을 위한 요소별 기여도 분석', 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, v.33,n.2, pp.315-316

〈인터넷사이트〉

한국에너지공단 <https://www.energy.or.kr>

법제처 홈페이지 <http://www.moleg.go.kr/>

제로에너지 건축물 <https://zeb.energy.or.kr>

&

LAND LONST
H O U S I N G I N S T I T U T E
I N S T I T U T E

10 100

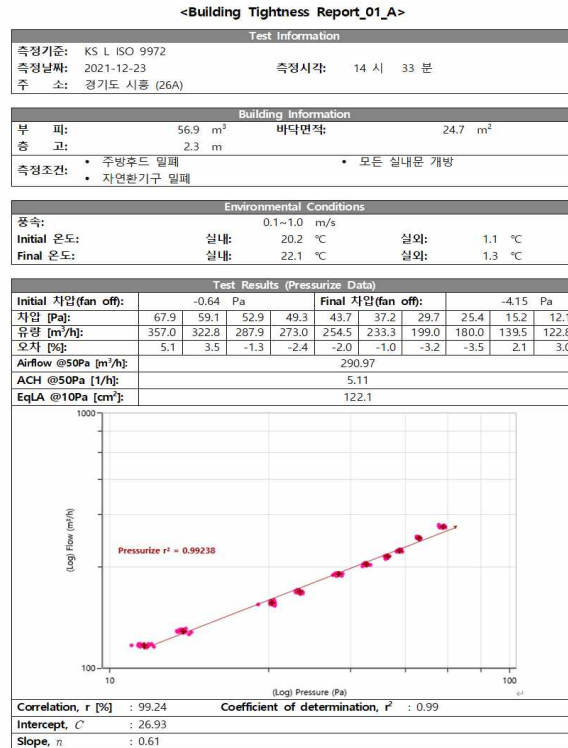
부록 : 공동주택 세대 기밀성능 측정 Data

1. 공동주택 세대 기밀성능 측정 실태조사 결과 요약

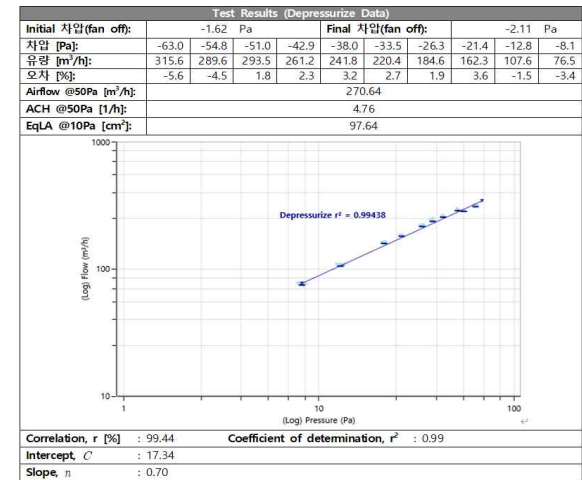
[표 1] 공동주택 세대 기밀성능 측정개요

측정개요						
• LH 2019~2020년 에너지효율등급 본인증 완료한 세대 중 기밀성능 취약(3.0ACH @50Pa 이상) 단지의 세대를 대상으로 기밀성능 측정 • 측정세대: 20세대 (동일평면(Type) 2세대 * 10개 단지)						
번호	인덱스	건물명	유형	ACH50		
				가압	감압	평균
1	01_A	시흥은계	26A	5.11	4.76	4.94
2	01_B			5.49	4.93	5.22
3	02_A	광주우산	16A	11.72	10.03	10.89
4	02_B			14.84	12.58	13.76
5	03_A	화성봉담	16A	5.19†	4.60†	4.89†
6	03_B		16A	6.12†	5.67† (3.97)‡	5.89†
7	03_C		26A	2.35	2.27	2.31
8	03_D		26A	3.99	3.70	3.84
9	04_A	화성남양	16A	3.61	3.86	3.73
10	04_B		16A	2.19	2.03	2.11
11	04_C		26A	2.12	1.65	1.88
12	04_D		26A	1.39	1.25	1.32
13	05_A	파주운정	26A	1.53	1.41	1.47
14	05_B		26A	1.30 (2.88)*	1.24 (3.26)*	1.27 (3.07)*
15	05_C		36A	1.91	1.74	1.83
16	05_D		36A	1.36	1.25	1.31
17	06_A	아산배방	16A	2.36	2.19 (2.22) **	2.27
18	06_B		16A	3.17	3.03 (3.09)∴	3.10
19	06_C		26A	1.74	1.60	1.67
20	06_D		26A	1.50	1.53	1.51

▪ TEST 1(01_A)

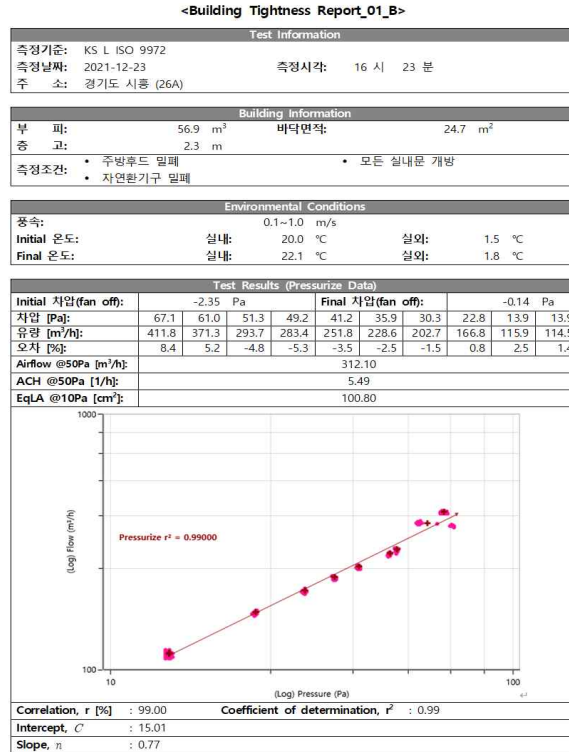


[그림 1] 기밀성능 가압 측정결과(경기 시흥 unit1)

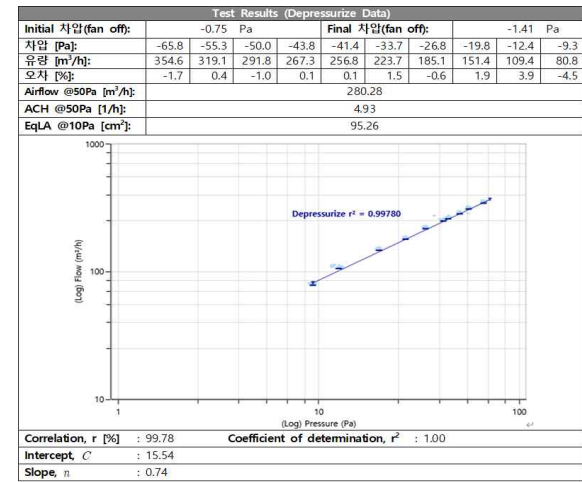


[그림 2] 기밀성능 감압 측정결과(경기 시흥 unit1)

▪ TEST 2(01_B)

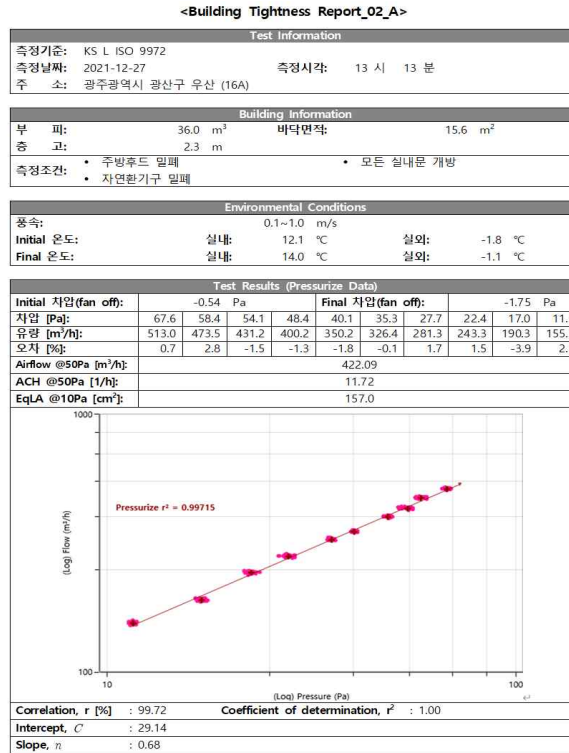


[그림 3] 기밀성능 가압 측정결과(경기 시흥 unit2)

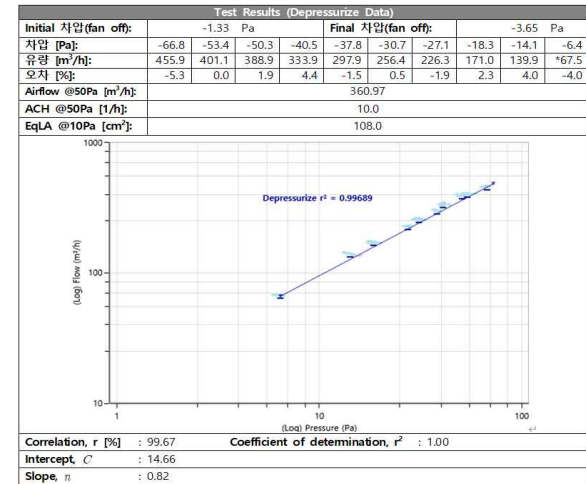


[그림 4] 기밀성능 감압 측정결과(경기 시흥 unit2)

▪ TEST 3(02_A)

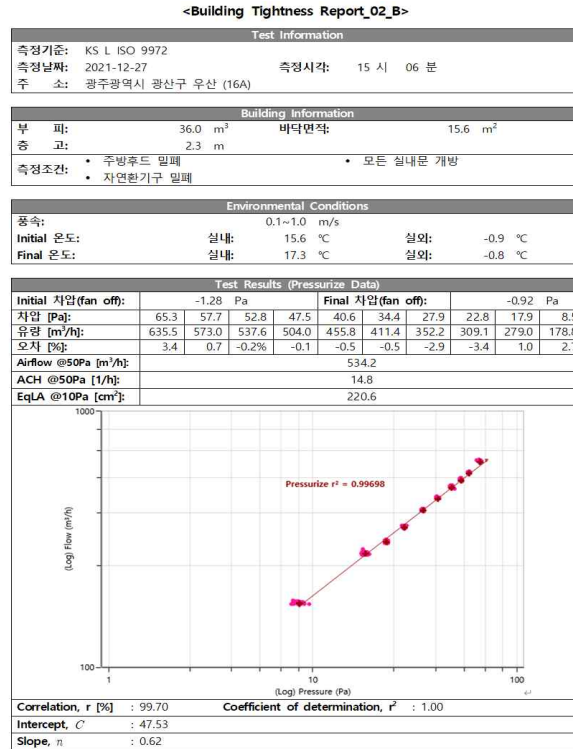


[그림 5] 기밀성능 가압 측정결과(광주 우산 unit1)

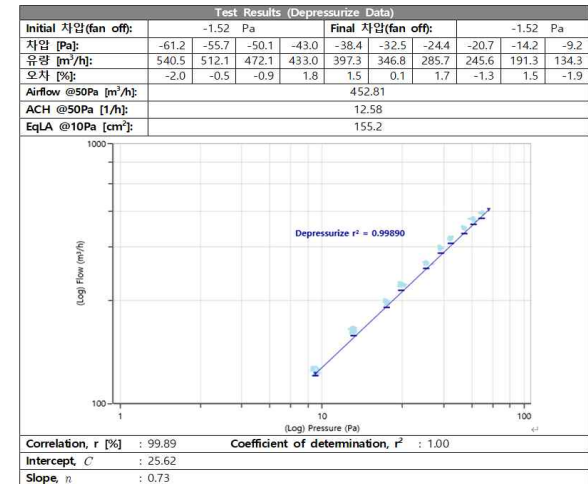


[그림 6] 기밀성능 감압 측정결과(광주 우산 unit1)

▪ TEST 4(02_B)

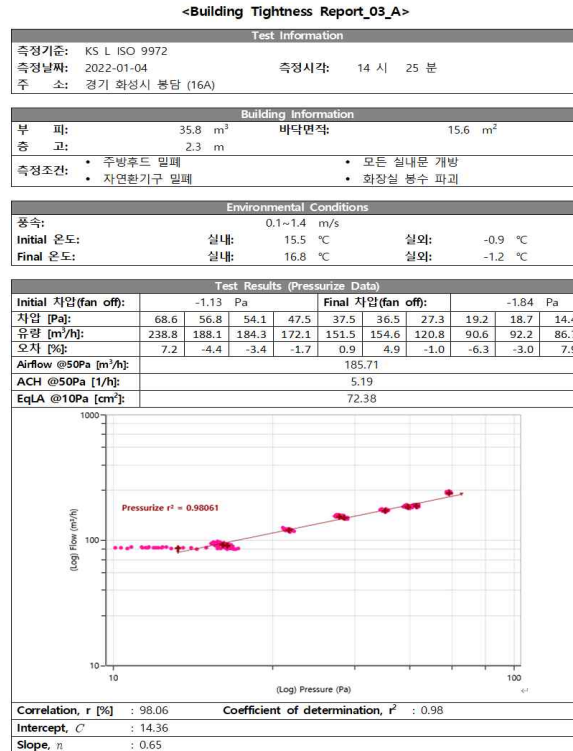


[그림 7] 기밀성능 가압 측정결과(광주 우산 unit2)

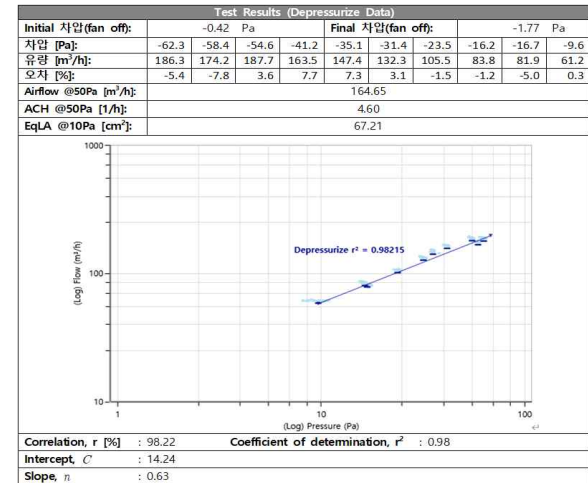


[그림 8] 기밀성능 감압 측정결과(광주 우산 unit2)

▪ TEST 5(03_A)

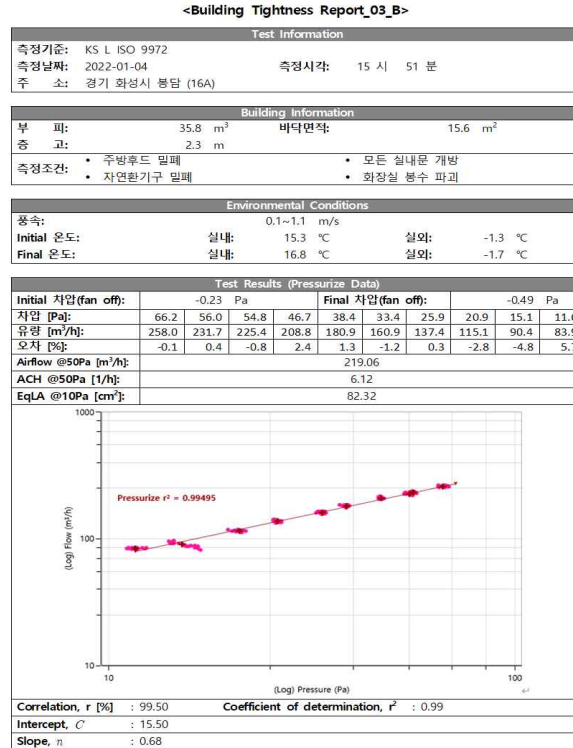


[그림 9] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit1)

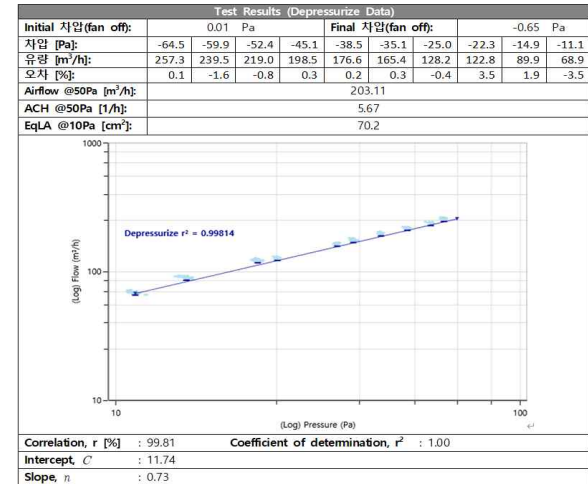


[그림 10] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit1)

▪ TEST 6(03_B)

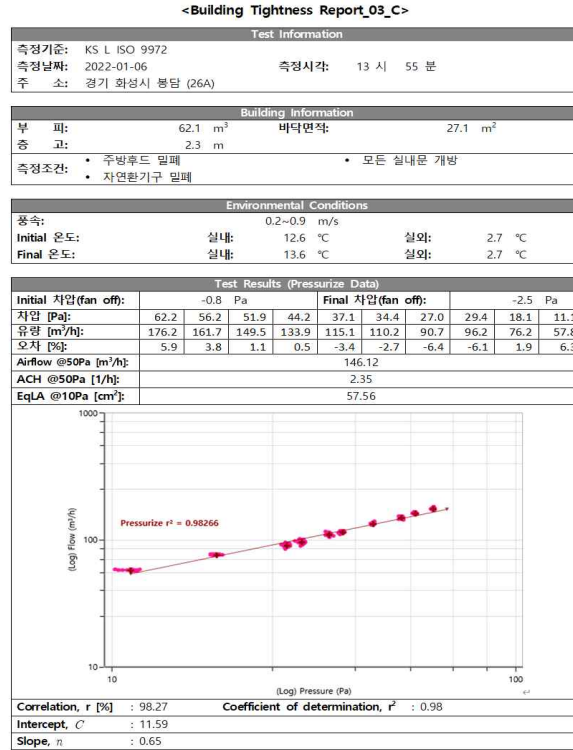


[그림 11] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit2)

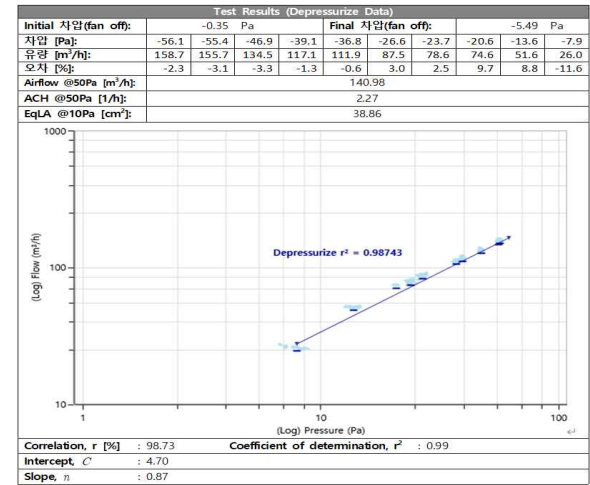


[그림 12] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit2)

▪ TEST 7(03_C)

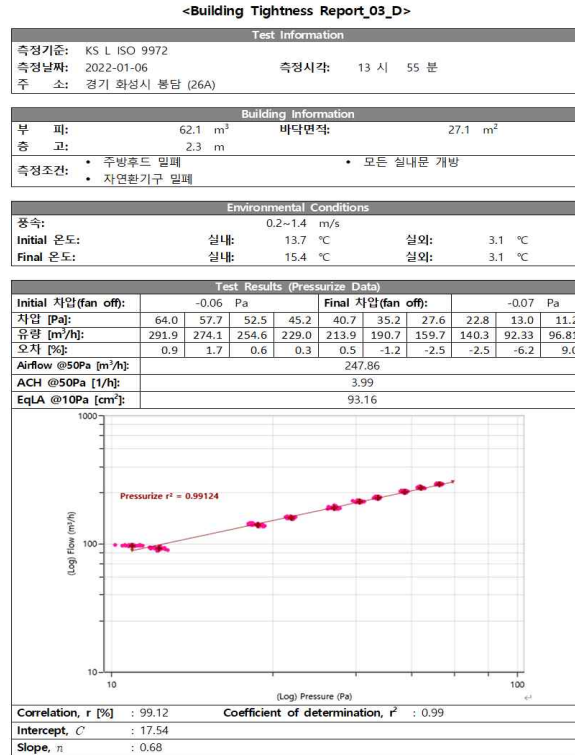


[그림 13] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit3)

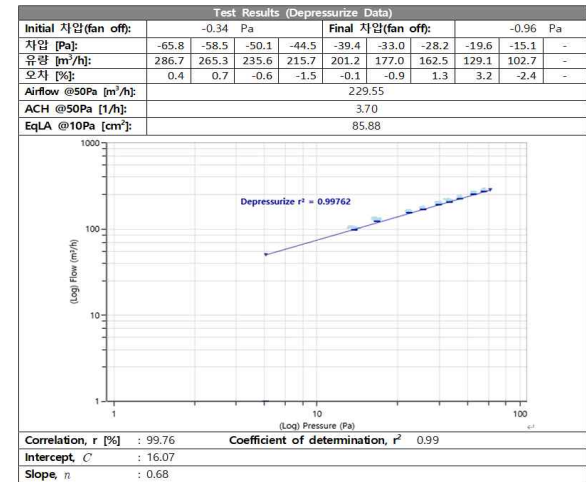


[그림 14] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit3)

▪ TEST 8(03_D)

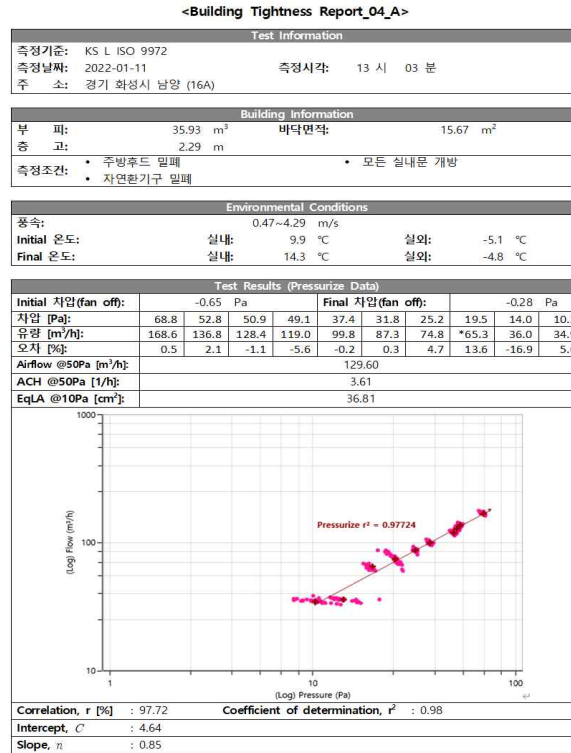


[그림 15] 기밀성능 가압 측정결과(화성 봉담 unit4)

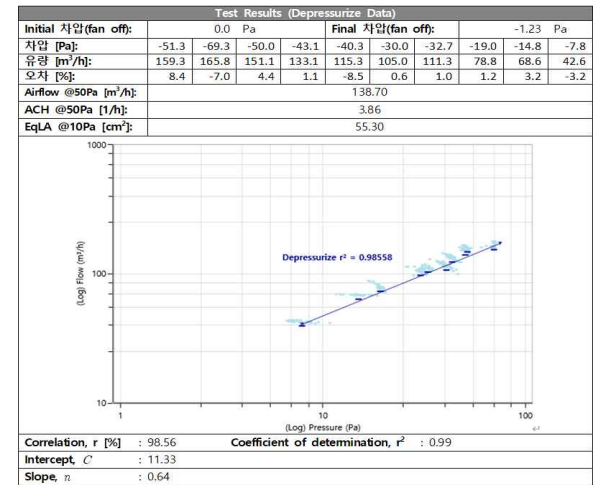


[그림 16] 기밀성능 감압 측정결과(화성 봉담 unit4)

▪ TEST 9(04_A)

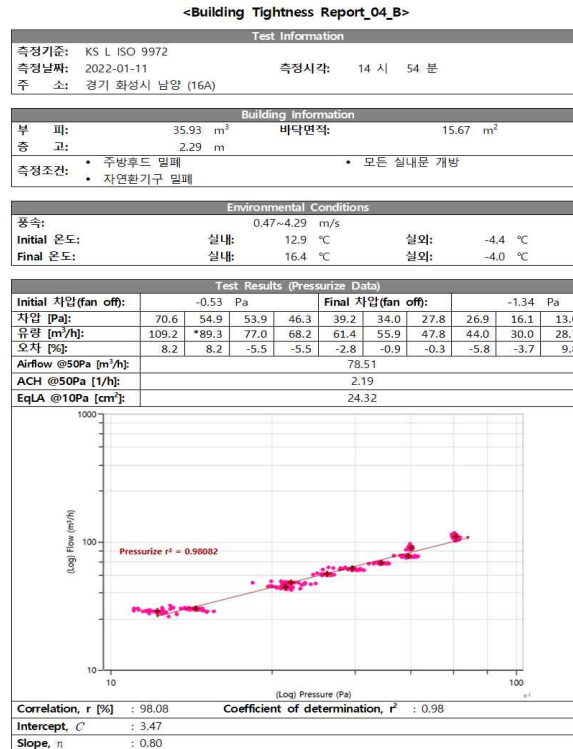


[그림 17] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit1)

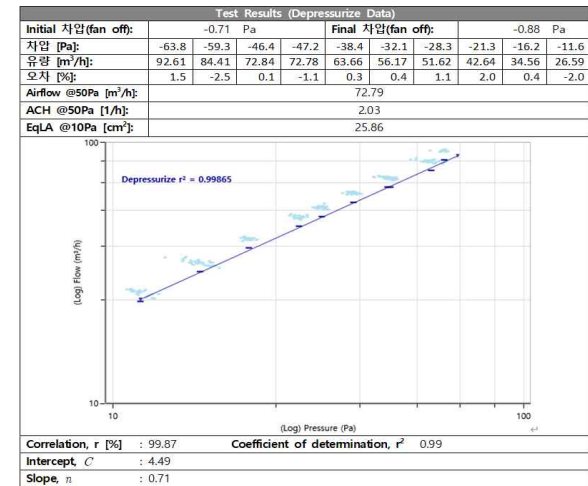


[그림 18] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit1)

▪ TEST 10(04_B)

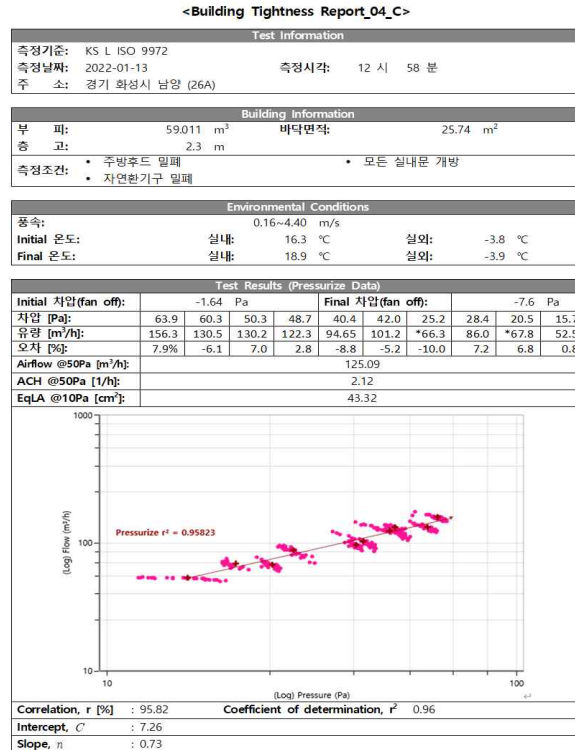


[그림 19] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit2)

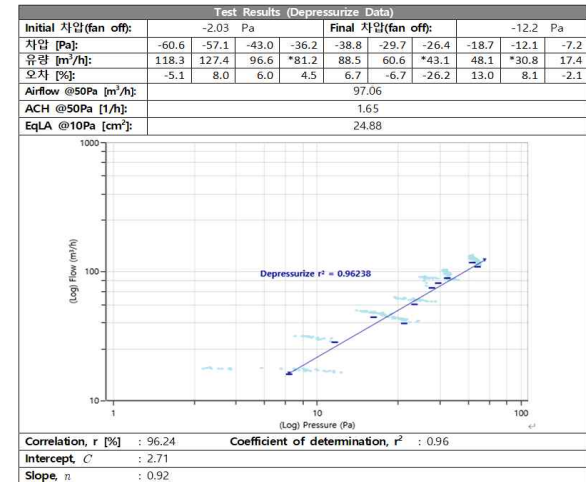


[그림 20] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit2)

▪ TEST 11(04_C)

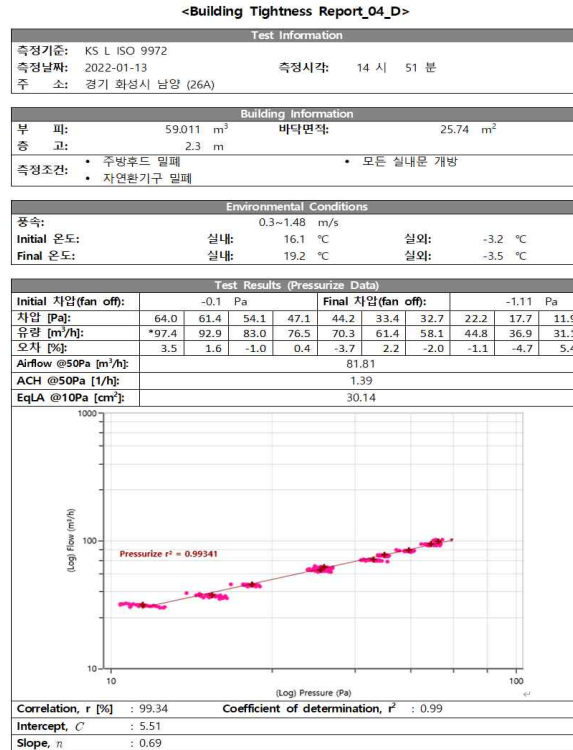


[그림 21] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit3)

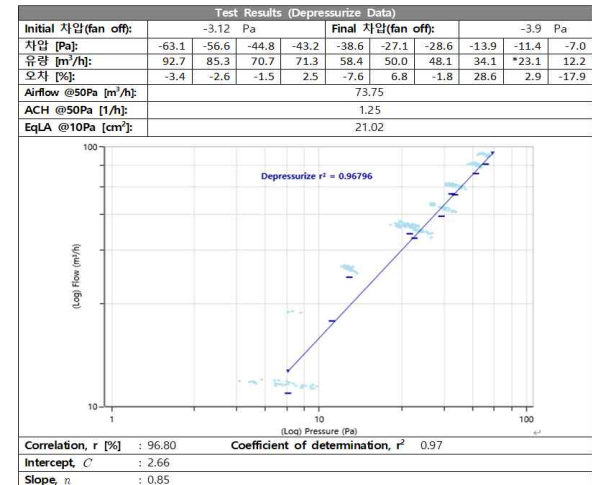


[그림 22] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit3)

▪ TEST 12(04_D)

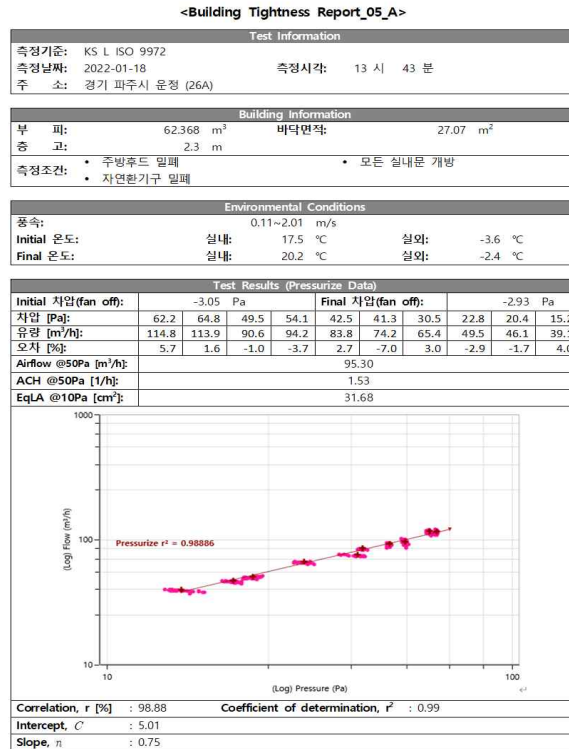


[그림 23] 기밀성능 가압 측정결과(화성 남양 unit4)

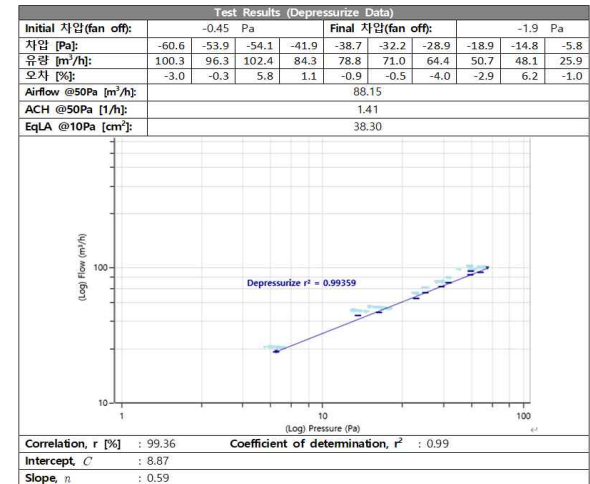


[그림 24] 기밀성능 감압 측정결과(화성 남양 unit4)

▪ TEST 13(05_A)

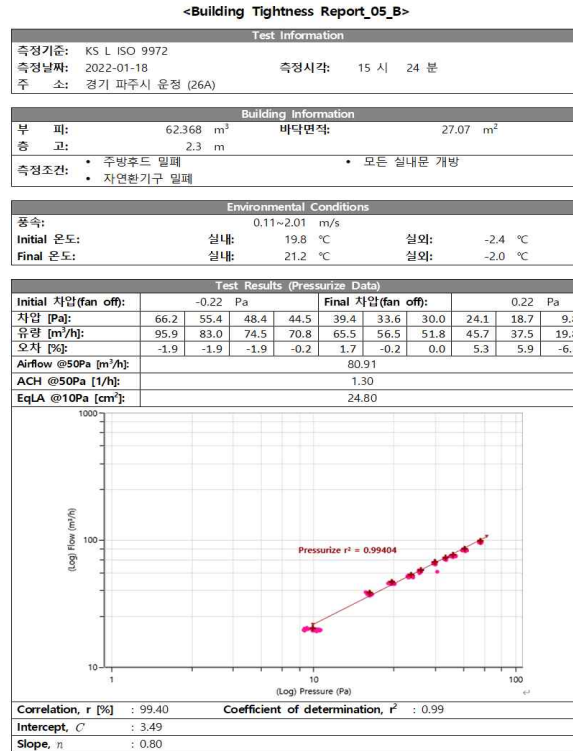


[그림 25] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit1)

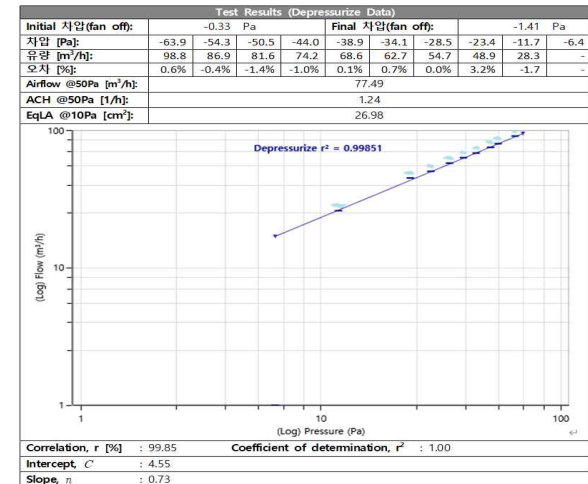


[그림 26] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit1)

▪ TEST 14(05_B)

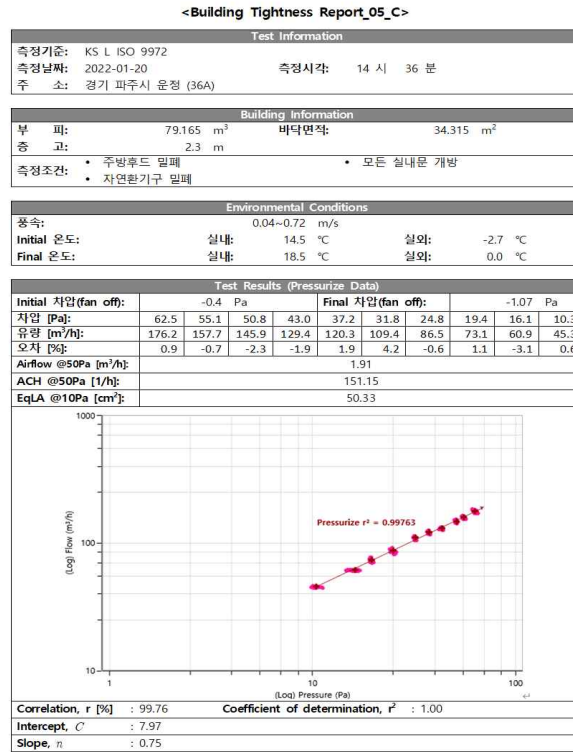


[그림 27] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit2)

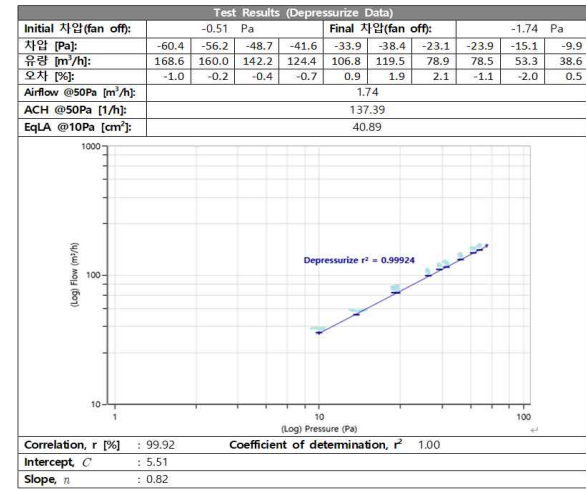


[그림 28] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit2)

▪ TEST 15(05_C)

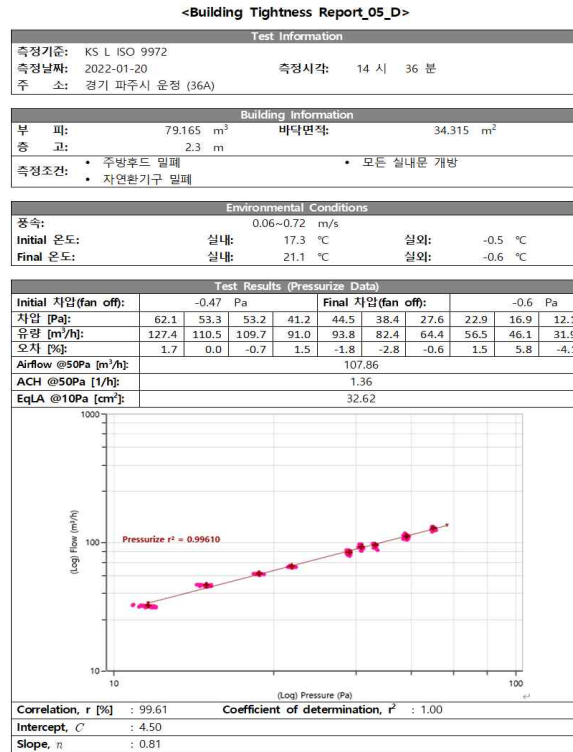


[그림 29] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit3)

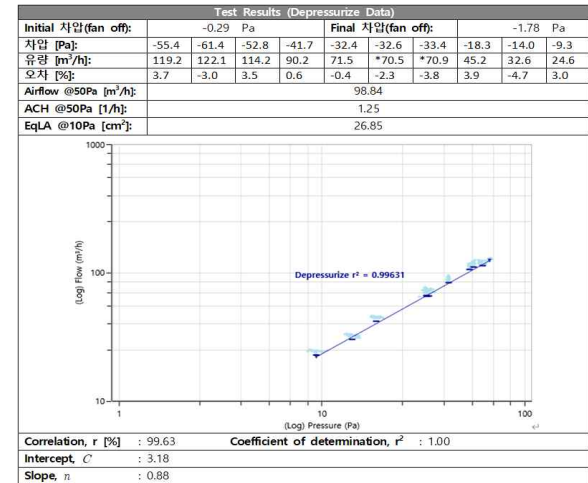


[그림 30] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit3)

▪ TEST 16(05_D)

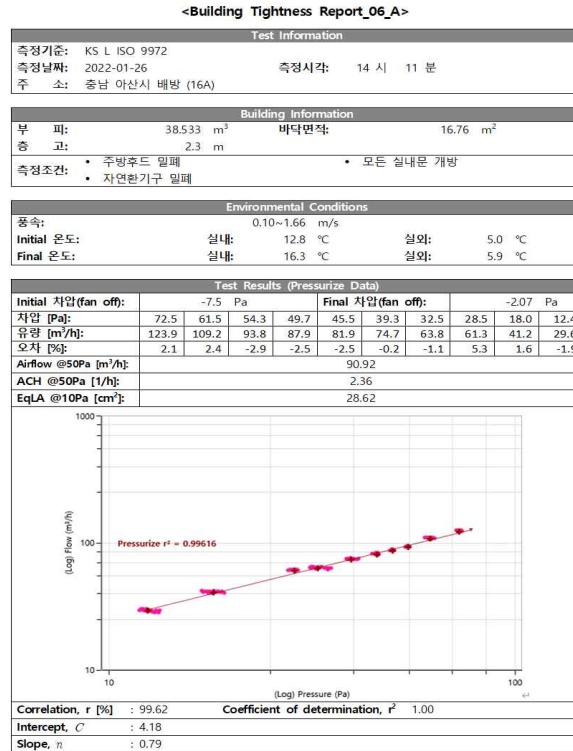


[그림 31] 기밀성능 가압 측정결과(파주 운정 unit4)

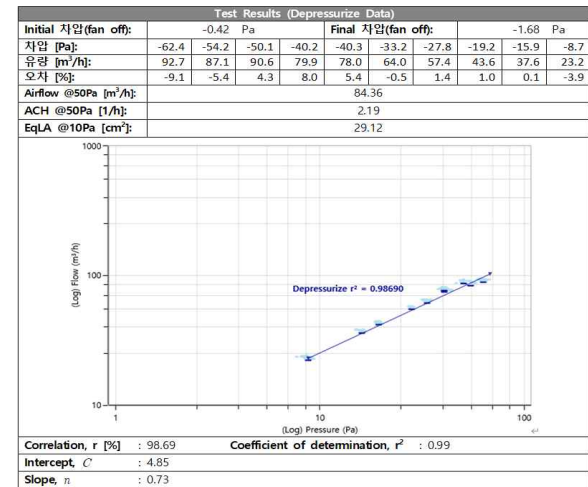


[그림 32] 기밀성능 감압 측정결과(파주 운정 unit4)

▪ TEST 17(06_A)

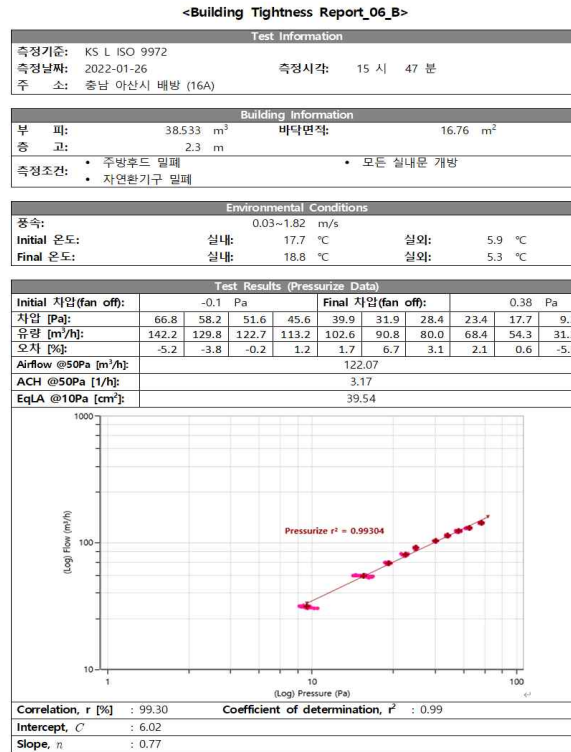


[그림 33] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit1)

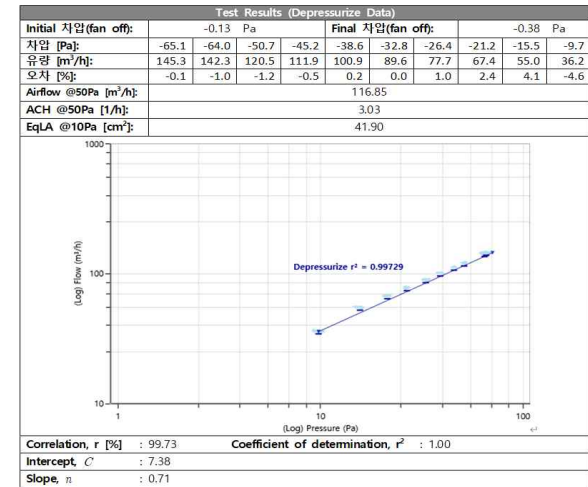


[그림 34] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit1)

▪ TEST 18(06_B)

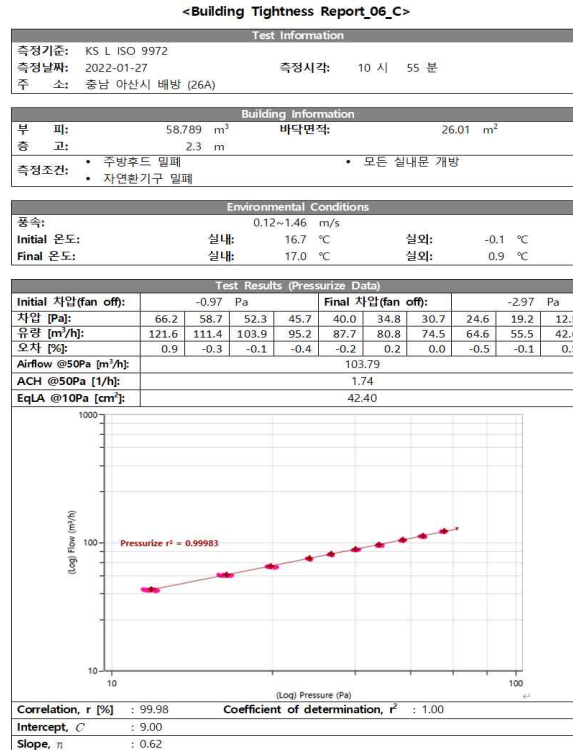


[그림 35] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit2)

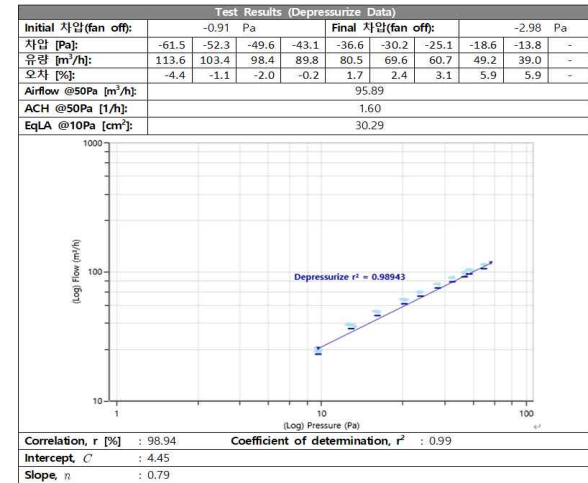


[그림 36] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit2)

▪ TEST 19(06_C)

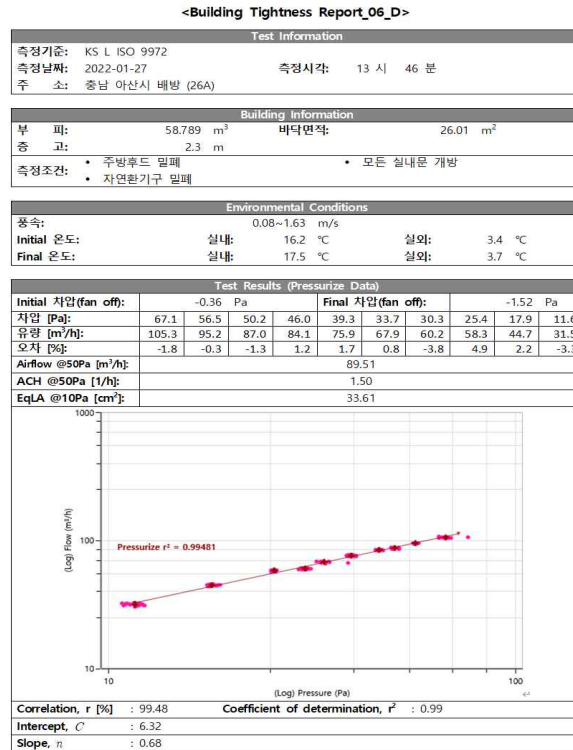


[그림 37] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit3)

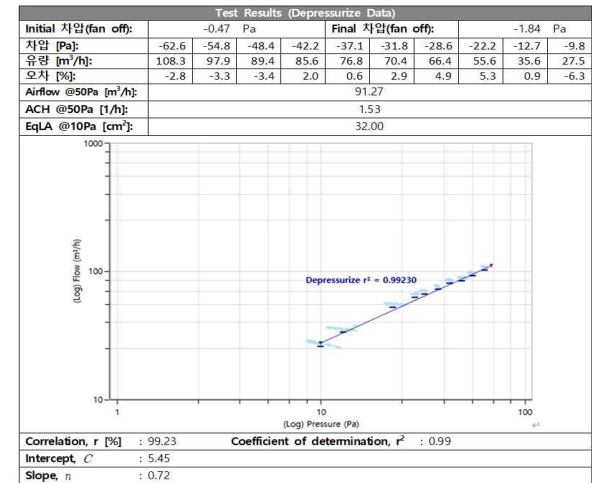


[그림 38] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit3)

▪ TEST 20(06_D)



[그림 39] 기밀성능 가압 측정결과(아산 배방 unit4)



[그림 40] 기밀성능 감압 측정결과(아산 배방 unit4)