

주거성능등급향상을 위한 다기능 통합 온돌시스템 개발 및 실용화 연구

2008. 8. 29

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
협동연구기관/ 이노드시스템(주)
승일오이에스(주)

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “주거성능등급 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템 개발 및 실용화 연구”의 최종보고서를 제출합니다.

2008. 8. 29.

주관연구기관 : 한국건설기술연구원

원장대행 우 효 섭

협동연구기관 : 이노드시스템(주)

대표이사 손 영 준

협동연구기관 : (주)승일오이에스

대표이사 김 재 응

■ 총괄연구책임자	/ 책임연구원	조 동 우	연구총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	양 관 섭	음환경성능평가
	/ 선임연구원	유 기 형	온돌시스템 개발
	/ 연구원	유 정 연	성능실험 및 분석
	/ 연구원	정 해 권	성능실험 및 분석
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 수석연구원	손 영 준	연구총괄
	/ 수석연구원	전 창 순	현장시공성 평가
	/ 선임연구원	정 원 우	현장시공성 평가
	/ 선임연구원	정 경 화	성능실험 및 분석
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 수석연구원	김 재 응	연구총괄
	/ 수석연구원	김 길 영	온돌시스템 개발
	/ 수석연구원	정 재 호	현장시공성 평가
	/ 선임연구원	정 규 남	현장시공성 평가
	/ 선임연구원	김 의 도	성능실험 및 분석

요 약 문

I. 제 목

주거성능등급 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템 개발 및 실용화 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구에서는 거주자의 생활환경(열환경, 음환경, 공기환경) 측면에서 에너지 효율적이고, 층간소음을 저감시킬 수 있으며, 쾌적한 공기환경을 제공할 수 있을 뿐 아니라 향후 동적 여건이 바뀌더라도 변경이 용이한 신공법인 “다기능 통합온돌시스템”을 개발하여 현장 검증 및 실용화를 목표로 하고 있다.

이와 같은 주거성능 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템의 개발목표를 달성하기 위해 아래와 같이 연구목표 및 핵심기술 목표를 설정하여 실용화가 이루어질 수 있도록 한다.

현재 주거성능등급 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템의 연구개발을 통해 현장에 적용기 위한 필요성은 다음과 같다.

- 현장 실무자들이 새로운 시스템에 대한 기술검증 필요
- 아파트현장에서 대량시공과 관련된 실증자료 필요
- 국가연구개발사업으로 개발된 온돌시스템에 대한 보급확대를 위한 보급형기술 개발 필요
- 주거성능등급 표시제 시행에 따른 주거성능 향상을 위한 다기능 통합 온돌시스템 개발의 필요
- 원가절감을 위한 온돌시스템 개발 필요
- 열환경, 음환경, 공기환경을 동시에 충족하면서 경제성있는 통합온돌시스템 개발 필요
- 우리의 전통기술인 온돌시스템을 세계화하기 위한 Global 온돌시스템 개발 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 층간소음문제 해결을 위한 차음형 온돌시스템 개발
- 방열효율 향상을 위한 에너지절약형 온돌시스템 개발
- 자연환기기능을 갖는 건강조절형 온돌시스템 개발

- 수평배관 및 네트워크 통신배선이 자유로운 바닥구조 개발
- 주거성능등급제 시행에 따른 주거성능 향상을 위한 온돌시스템 개발
- 구조하중 및 층고 절감이 가능한 자원절약형 온돌시스템 개발

IV. 연구개발결과

- EO2 System, XO2 System 및 보급형 다기능온돌시스템의 주요부품 및 개발성능기준에 따른 프로토타입 도출
- 이중바닥구조 난방패널시스템의 주요부품 및 개발성능기준에 따라 금형설계 및 제작
- 온돌실험동에서의 층간소음 및 하이브리드 환기시스템 실물실험 및 평가
- 아파트 현장의 샘플시공을 통한 적용성 및 시공성 평가
- 바닥충격음 차단구조 성능 인정 취득
 - 경량충격음 1등급, 중량충격음 3등급 인정 취득 (150mm 슬래브구조 조건)
 - 경량충격음 1등급, 중량충격음 2등급 인정 취득 (180mm 슬래브구조 조건)
- 700세대 아파트 건설현장에 공사 시공 및 완료

V. 연구개발결과의 활용계획

- 공동주택의 바닥충격음 저감을 위한 구조로 활용
- 주상복합건물의 차음형 온돌구조로 활용
- 공동주택의 열교방지 및 에너지절약을 위한 온돌구조로 활용
- 공기단축을 필요로 하는 아파트 현장에 활용
- 1개층 추가에 의해 사업성을 꾀하고자 하는 현장에 활용
 - ☞ 20층 기준으로 200cm (10cm x 20층)의 건물 높이 절감 가능
- 리모델링 현장에 온돌대체공법으로 활용
 - ☞ 기존 120mm의 슬래브에서도 충분한 바닥충격음 차단성능 발휘
- 정숙을 요하는 기타 용도의 건축물 바닥구조로 활용
- IT 기반 지능형 아파트의 통신망 기반구조로 활용
- 건강하고 쾌적한 주거환경을 제공하는 아파트 건설

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성	1
제 2 절 연구의 내용 및 범위	6
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
제 1 절 국내기술 현황	12
제 2 절 국외기술 현황	22
제 3 절 국내외 기술동향 분석	32
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	34
제 1 절 연구개발 수행 내용	34
제 2 절 아파트현장에서의 샘플시공 및 평가	47
제 3 절 다기능 온돌시스템의 방열성능 분석 및 평가	69
제 4 절 온돌시스템을 이용한 환기시스템 개발	80
제 5 절 이중바닥온돌시스템의 아파트현장 시공	112
제 6 절 경제성 분석	125
제 7 절 보급형 다기능온돌시스템 개발	127
제 8 절 일본 주택으로의 적용 가능성 분석	139
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	188
제 1 절 연구성과 요약	188
제 2 절 연구성과	189
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	196
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	201
제 1 절 일본 기술정보	201
제 2 절 독일 기술정보	206
제 3 절 미국 ASHRAE 기술정보	215
제 7 장 참고문헌	217

그림 목차

[그림 1.1.1] 주택성능등급 표시제도 관련 삽화(조선일보)	1
[그림 1.1.2] 최근에 제정된 주거성능관련 제도	2
[그림 1.1.3] 1등급 인정을 받은 환경친화형 이중바닥 온돌시스템	4
[그림 1.2.1] 다기능 통합온돌시스템의 설치 개념도	7
[그림 1.2.2] 급기구 및 배기구의 위치에 따른 실내공기의 환기효율	8
[그림 1.2.3] 환기효율과 공기나이의 관계	8
[그림 1.2.4] 이중바닥온돌시스템을 이용한 무덕트슬림형 자연환기시스템 개념도	10
[그림 1.2.5] 최근 신문에 게재된 관련 기사	11
[그림 2.1.1] 시대변천에 따른 온돌공법의 변화	14
[그림 2.1.2] 표준바닥구조	18
[그림 2.1.3] 공동주택에 설치되는 덕트형 급배기 환기시스템	21
[그림 2.2.1] 일본의 조립식 온돌패널 시스템의 예	22
[그림 2.2.2] 독일의 온수 바닥난방시스템의 단면 구조의 예	23
[그림 2.2.3] 독일의 온수 바닥난방시스템의 설치 예	23
[그림 2.2.4] 일본에서 일반적으로 적용되고 있는 건식 이중바닥구조	25
[그림 2.2.5] 일본에서 최근 개발된 충격음 저감용 이중바닥구조	25
[그림 2.2.6] LL-40, LH-50을 실현한 건식차음 이중바닥의 예	26
[그림 2.2.7] 유리섬유를 사용한 특수 구조의 방진재	26
[그림 2.2.8] 슬래브두께를 225~375mm까지 조절가능한 볼보이드 중공슬래브공법	26
[그림 2.2.9] 바닥충격음차단성능 향상을 위한 사일런트보이드 중공슬래브 공법	27
[그림 2.2.10] 일본 공동주택의 평면구조와 국소환기설비 설치 사례	28
[그림 2.2.11] 통풍을 고려한 출입문 구조	28
[그림 2.2.12] 일본에서 새집증후군에 대한 환기대응방법	29
[그림 2.2.13] 일본 주택에서의 환기시스템 설치 예	30
[그림 2.2.14] 환기효율이 높은 바닥급기-천장배기방식의 환기시스템	31
[그림 2.3.1] 다기능 통합온돌시스템의 SWOT	33
[그림 3.1.1] 연구개발을 위한 기술체계	34
[그림 3.1.2] 다기능통합온돌시스템의 목표	37
[그림 3.1.3] 다기능 통합온돌시스템의 구성도	38
[그림 3.1.4] 다기능 통합온돌시스템 개념도	39
[그림 3.1.5] 다기능 통합온돌시스템 개념도	40
[그림 3.1.6] 걸레받이를 이용한 자유로운 콘센트 연결	41
[그림 3.1.7] EO ₂ System의 설치공정	43

[그림 3.1.8] XO ₂ System의 설치공정	44
[그림 3.1.9] 다기능 통합온돌시스템의 개발 모델	46
[그림 3.2.1] 이중바닥 시스템 설치도	48
[그림 3.2.2] 샘플시공 아파트 전경	50
[그림 3.2.3] 이중바닥온돌시스템 설치	50
[그림 3.2.4] 모르터 시공	50
[그림 3.2.5] 양생 단계	50
[그림 3.2.6] 충격음 시험 장면	51
[그림 3.2.7] 충격음 실험장면	51
[그림 3.2.8] 다기능 온돌시스템의 바닥충격음 타격점	52
[그림 3.2.9] 기존 습식온돌시스템의 바닥충격음 타격점	52
[그림 3.2.10] 바닥충격음 차단성능 비교(1차 실험)	54
[그림 3.2.11] 바닥충격음 차단성능 비교(2차 실험)	55
[그림 3.3.1] 분석 기본모델 설정	57
[그림 3.3.2] 해석모델 격자계	58
[그림 3.3.3] 150mm 슬래브 두께 온돌구조의 온도분포(마루마감재)	60
[그림 3.3.4] 150mm 슬래브 두께 온돌구조의 온도분포(비닐마감재)	60
[그림 3.3.5] 층간소음 기준적용에 따른 방열량 변화(마루마감재)	62
[그림 3.3.6] 층간소음 기준적용에 따른 방열량 변화(비닐마감재)	62
[그림 3.3.7] 표준바닥구조 1의 단면도	64
[그림 3.3.8] 표준바닥구조 1의 온도분포	64
[그림 3.3.9] 표준바닥구조 2의 단면도	65
[그림 3.3.10] 표준바닥구조 2의 온도분포	65
[그림 3.3.11] 표준바닥구조 3의 단면도	66
[그림 3.3.12] 표준바닥구조 3의 온도분포	66
[그림 3.3.13] 표준바닥구조 4의 단면도	67
[그림 3.3.14] 표준바닥구조 4의 온도분포	67
[그림 3.3.15] 표준바닥구조 5의 단면도	68
[그림 3.3.16] 표준바닥구조 5의 온도분포	68
[그림 3.3.17] EO ₂ System의 단면도	69
[그림 3.3.18] EO ₂ System의 온도분포	69
[그림 3.3.19] XO ₂ System의 단면도	70
[그림 3.3.20] XO ₂ System의 온도분포	70
[그림 3.3.21] 실험시공된 다기능 온돌시스템(XO ₂)의 구성도	72
[그림 3.3.22] XO ₂ System이 설치된 실험실 평면도	72
[그림 3.3.23] 음성 실험실의 다기능 온돌시스템(XO ₂) 시공장면	73
[그림 3.3.24] 다기능 통합 온돌시스템의 열성능 측정 장면 및 바닥표면온도 센서 설치 위치 ..	74

[그림 3.3.25] 다기능 통합 온돌 시스템 구조체 내부 온도 측정 위치	75
[그림 3.3.26] 실온 24℃ 설정시 다기능 통합 온돌시스템의 바닥표면온도 분포	76
[그림 3.3.27] 다기능 통합 온돌시스템이 설치된 실물실험실의 바닥표면온도 분포 ..	77
[그림 3.3.28] 다기능 통합 온돌시스템이 설치된 실물실험실의 배관직상부와 배관과 배관사이 중심부의 바닥표면온도차	78
[그림 3.3.29] 온돌시스템 구조체 단면의 온도분포	79
[그림 3.4.1] 이중바닥 온돌시스템의 하부공간을 이용하는 환기개념	80
[그림 3.4.2] 다기능 온돌시스템에서의 자연환기 개념도	81
[그림 3.4.3] 다기능 온돌시스템의 구성도	83
[그림 3.4.4] 실물실험실의 평면도	85
[그림 3.4.5] 실물실험실내 급기그릴 및 천장 배기구	86
[그림 3.4.6] 실물실험실내에서의 환기실험 장면	86
[그림 3.4.7] 실험주택 2층 평면도	87
[그림 3.4.8] 실험주택 전경 및 단위세대내 측정 장면	87
[그림 3.4.9] 실험주택내 급기그릴 및 천장 배기구	88
[그림 3.4.10] 자연환기 시 기류속도 및 온도분포(2007.03.06 일평균값)	91
[그림 3.4.11] 기류속도 및 온도분포 (자연환기 1)	94
[그림 3.4.12] 기류속도 및 온도분포 (자연환기 2)	94
[그림 3.4.13] 기류속도 및 온도분포 (강제배기)	95
[그림 3.4.14] 기류속도 및 온도분포 (강제배기-전열교환)	95
[그림 3.4.15] 추적가스농도 분포 (자연환기 1)	96
[그림 3.4.16] 추적가스농도 분포 (자연환기 2)	97
[그림 3.4.17] 추적가스농도 분포 (강제배기)	97
[그림 3.4.18] 추적가스농도 분포 (전열교환)	98
[그림 3.4.19] 3차년도 급기그릴위치 및 바닥하부공간높이 개선	101
[그림 3.4.20] 실물실험실 평면도	102
[그림 3.4.21] 외기도입덕트(하부)및 배기덕트(상부)와 전열교환기 모습	103
[그림 3.4.22] 실내 급기그릴 및 실험 모습	103
[그림 3.4.23] 07~08년 동계 실험 결과: 실내외온도차와 환기횟수의 상관관계 ..	104
[그림 3.4.24] 자연환기 시 기류속도 및 온도분포(2008.01.01 일평균값)	105
[그림 3.5.1] 아파트 조감도 및 현장조건	112
[그림 3.5.2] 단위세대 평면 및 평형정보	112
[그림 3.5.3] 생산된 패널시스템	115
[그림 3.5.4] 생산자재	115
[그림 3.5.5] 분합문 부분 상세	120
[그림 3.5.6] 일반벽체 부위 상세	120
[그림 3.5.7] 출입문 부위	120

[그림 3.5.8] 거실에 설치된 이중바닥 온돌시스템 및 배관재 설치 모습	121
[그림 3.5.9] 침실과 주방에 설치된 이중바닥 온돌시스템 및 배관재 설치 모습 ...	121
[그림 3.5.10] 이중바닥온돌시스템 시공 순서	121
[그림 3.5.11] 단지전경	123
[그림 3.5.12] 최종 완성된 주방 모습	123
[그림 3.5.13] 최종 완성된 거실 모습	123
[그림 3.5.14] 최종 완성된 복도 모습	123
[그림 3.5.15] 최종 완성된 침실 모습	123
[그림 3.5.16] 최종 완성된 복도 모습	124
[그림 3.5.17] 최종 완성된 침실 모습	124
[그림 3.6.1] 환기+기존온돌시스템과 다기능통합온돌시스템의 예상가격 비교	125
[그림 3.7.1] 보급형 다기능온돌시스템의 구성	131
[그림 3.7.2] 보급형 다기능온돌시스템의 설치 단면	131
[그림 3.7.3] 보급형 다기능온돌시스템의 단위패널 상세도	132
[그림 3.7.4] 보급형 다기능온돌시스템의 단위패널 시공순서	138
[그림 3.8.1] 기존 바닥 위에 설치 - 목조 단독주택 플로링 마감	141
[그림 3.8.2] 기존 바닥 위에 설치 - 목조 단독주택 플로링 마감	141
[그림 3.8.3] 기존 바닥 위에 설치 - 공동주택 플로링 마감	142
[그림 3.8.4] 기존 바닥 위에 설치 - 단독/공동주택 다다미 마감	142
[그림 3.8.5] 기존 바닥 위에 설치 - 단독/공동주택 카펫 마감	143
[그림 3.8.6] 신축 설치 - 목조 단독주택 (바닥난방 온수시트)	145
[그림 3.8.7] 신축 설치 - 목조 단독주택 (맷트부착 작은 지지부재 들어간 온수매트)	145
[그림 3.8.8] 신축 설치 - 목조 단독주택 (작은 지지부재 들어간 온수매트)	145
[그림 3.8.9] 신축 설치 - 목조 단독주택 (콘크리트매설공법 바닥난방)	146
[그림 3.8.10] 신축 설치 - 공동주택 (직접 붙이는공법 바닥난방)	146
[그림 3.8.11] 신축 설치 - 공동주택 (이중바닥공법 바닥난방)	146
[그림 3.8.12] 신축 설치 - 바닥마감재 종류	147
[그림 3.8.13] 일본 공동주택의 평면구조와 국소환기설비 설치 사례	148
[그림 3.8.14] 통풍을 고려한 출입문 구조	148
[그림 3.8.15] 일본에서 새집증후군에 대한 환기대응방법	149
[그림 3.8.16] 일본 주택에서의 환기시스템 설치 예	150
[그림 3.8.17] 열교환 환기시스템	151
[그림 3.8.18] 급기슬릿	151
[그림 3.8.19] 걸레받이용 급기슬릿	151
[그림 3.8.20] 벽면형 급기슬릿	151
[그림 3.8.21] 바닥 급기구	153
[그림 3.8.22] 구조체(벽체) 일체형 단열 패널	154

[그림 3.8.23] 걸레받이 부분의 배기슬릿	154
[그림 3.8.24] 환기 자동제어 개념도	154
[그림 3.8.25] 센서유닛 및 급기구	154
[그림 3.8.26] 일본 주택의 구조적 분류	155
[그림 3.8.27] 2007년도 일본 주거형태	155
[그림 3.8.28] 일본 목조 단독주택의 단면도	157
[그림 3.8.29] 일본 목조 단독주택 1층 바닥에 다기능통합온돌시스템을 삽입한 모습	157
[그림 3.8.30] 목조 단독주택 욕실 단면도	158
[그림 3.8.31] 철근콘크리트조 공동주택 단면도(1)	159
[그림 3.8.32] 철근콘크리트조 공동주택의 다양한 바닥단면도	160
[그림 3.8.33] 철근콘크리트조 공동주택 단면도(2)	160
[그림 3.8.34] 일본 철콘조 공동주택 바닥에 다기능통합온돌시스템을 삽입한 모습	161
[그림 3.8.35] 주택 종류별 새집증후군 대응법	163
[그림 3.8.36] 바닥난방시스템의 초기설치비용 및 유지비용	166
[그림 3.8.37] 기존바닥 위 설치비용(1)	167
[그림 3.8.38] 기존바닥 위 설치비용(2)	167
[그림 3.8.39] 기존바닥 위 설치비용(3)	167
[그림 3.8.40] 바닥공사 설치비용	168
[그림 3.8.41] 파나홈 전기식 바닥난방시스템	180
[그림 3.8.42] P 홈 환기시스템의 개념도	181
[그림 3.8.43] 주택 베이스공간 온도와 외기온도와의 관계	182
[그림 3.8.44] 주택 베이스공간을 통하여 실내로 유입되는 청결한 공기	182
[그림 3.8.45] P 홈 주택의 바닥충격음차단성능	183
[그림 3.8.46] P 홈 모델하우스의 환기시스템	184
[그림 6.2.1] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	206
[그림 6.2.2] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	207
[그림 6.2.3] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	207
[그림 6.2.4] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	207
[그림 6.2.5] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	208
[그림 6.2.6] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예	208
[그림 6.2.7] 일반적인 주택의 바닥난방을 위한 레이아웃	209
[그림 6.2.8] 거주존에 대한 바닥난방배관 설치방법(1)	209
[그림 6.2.9] 거주존에 내외주부를 구분하여 바닥난방배관 설치	210
[그림 6.2.10] 거주존에 대한 조합 바닥난방배관 설치(1)	210
[그림 6.2.11] 거주존에 대한 조합 바닥난방배관 설치(2)	210
[그림 6.2.12] 내외부 마감공사중인 주택	212

[그림 6.2.13] 콘덴싱보일러 설치	212
[그림 6.2.14] 바닥 난방용 분배기 설치	212
[그림 6.2.15] 바닥 난방 방수포 설치	212
[그림 6.2.16] 바닥 난방 단열/배관준비	212
[그림 6.2.17] 바닥 난방배관 설치	213
[그림 6.2.18] 시멘트 모르터 마감 완성	213
[그림 6.2.19] 기계실 가스 콘덴싱보일러와 분배기 설치	213
[그림 6.2.20] 시멘트모르터 및 마감재 균열방지를 위한 신축줄눈 설치	213
[그림 6.2.21] 압력검사에 의한 배관누수 상태 및 난방성능 확인	214
[그림 6.2.22] 거실 타일바닥과 팽창줄눈	214
[그림 6.2.23] 거실과 복도의 바닥마감재	214

표 목차

<표 2.1.1> 표준바닥구조(제26조 관련)	15
<표 3.1.1> 다기능 통합온돌시스템의 구성품	40
<표 3.1.2> 개발기술 평가를 위한 항목 및 기준	45
<표 3.2.1> 충격음 차단성능 측정 및 평가방법	51
<표 3.3.1> 온돌구조의 설정 조건	59
<표 3.3.2> 시뮬레이션을 위한 설정 조건	59
<표 3.3.3> 평가모델의 방열성능 및 평균온도	71
<표 3.4.1> 기류속도 및 온도 측정위치	85
<표 3.4.2> 샘플러 측정 위치	85
<표 3.4.3> 환기성능 평가 결과	93
<표 3.4.4> 추적가스 실험 결과	98
<표 3.4.5> 환기성능 평가 결과	99
<표 3.4.6> 환기성능 평가실험 결과	106
<표 3.4.7> 그릴 및 필터의 영향에 대한 조건별 실험 결과	107
<표 3.4.8> 강제배기 및 강제급기 모드의 경우 조건별 실험결과	108
<표 3.4.9> 강제급배기(전열교환) 모드의 경우 팬속도에 따른 조건별 실험결과 ...	109
<표 3.5.1> 구성 재료의 재질 및 성능기준(MAIN SYSTEM)	113
<표 3.5.2> 구성 재료의 재질 및 성능기준(SUB SYSTEM)	114
<표 3.5.3> 발체검사 시 시료개수	114
<표 3.5.4> 측정 검사 항목 및 허용오차	115
<표 3.5.5> 제품 부품의 포장단위 산정 예	116
<표 3.6.1> 기존온돌공법과 다기능온돌시스템의 예상가격 비교	125
<표 3.7.1> 인정구조의 온돌구조 구성형식	127
<표 3.7.2> 시스템별 인정서 발급 현황(중량충격음기준)	127
<표 3.7.3> 인정구조의 시스템형식별 특성 비교	128
<표 3.8.1> 경량바닥충격음 기준치	164
<표 3.8.2> 중량바닥충격음 기준치	165
<표 3.8.3> 일본 바닥난방 총비용 사례(千葉에어컨 서비스)	169
<표 3.8.4> 일본 바닥난방시스템과 다기능통합온돌시스템의 초기설치비용 비교 ..	170
<표 3.8.5> I-III지역의 바닥난방시스템 관련 건설회사 목록	172
<표 3.8.6> 바닥난방시스템 비교표(1)	174
<표 3.8.7> 바닥난방시스템 비교표(2)	175
<표 3.8.8> 바닥난방시스템 비교표(3)	177
<표 3.8.9> 일본 내 주택 적용시 향후 과제	186

<표 4.2.1> 다기능 통합온돌시스템의 구성품	189
<표 4.2.2> 연구개발 목표의 달성도	195
<표 6.1.1> 중량바닥충격음 대책	204
<표 6.1.2> 경량바닥충격음 대책	205

Summary

I . Subject

Development & practical use of the multi-functional Ondol system
to improve the grade for Housing Performance Indication System

II. Purposes and necessities

One purpose of this study is to develop the new Ondol system, from the viewpoint of indoor environment quality like a thermal environment, sound environment, and indoor air environment. The multi-functional Ondol technology with double floor can be the excellent system for energy efficiency and reduction of floor impact sound performance and ventilation performance. Another purpose is to progress this system to practical use on site.

The necessities of this study are as follows.

- Necessity of development of economical Ondol system as well as indoor environment quality(thermal environment, sound environment, and indoor air environment)
- Necessity of many application works for the new system at construction site
- Necessity of technical verification for the new multi-functional Ondol system on site
- Necessity of development of the multi-functional Ondol system for high grade of a housing performance
- Necessity of development of the new kind of Ondol system for globalization of Ondol system

III. Contents and scopes

- Development of Ondol system to reduce noise against impact sound problems of floor to floor
- Development of Ondol system to improve radiant floor heating efficiency
- Development of healthy Ondol system with natural ventilation function

- Development of Ondol system with flexibility for piping and network wire works
- Development of Ondol system to improve the housing performance grade
- Development of resources saving Ondol system enable to reduce structure load and floor height

IV. Results

- Prototypes of EO2 System and XO2 System is developed for distribution of the multi-functional Ondol system
- Unit components of floor heating panel system with the raised floor is designed and produced
- The floor impact sound and hybrid ventilation performance is tested and evaluated in the mock-up room and the experimental house.
- Ondol works are evaluated and applied in the field for construction performance.
- Floor impact insulation classes is acquired as follows.
 - Class1 in light weight impact sound, Class3 in heavy weight impact sound (150mm slabe)
 - Class1 in light weight impact sound, Class2 in heavy weight impact sound (180mm slabe)
- The apartment house with 700 units in the field is applied and completed as construction work by the multi-functional Ondol system.

V. Application schemes

- Application as structure for reduction of floor impact sound in apartment houses
- Application as noise insulation Ondol system for residential complex buildings
- Application as Ondol system to sav energy and to prevent thermal bridge in apartment houses
- as new Ondol system for construction work for remodeling apartments
- Application for a comfortable indoor environment and a flexible floor system
 - New hybrid ventilation system for the Housing Performance Indication System
 - New floor system with flexibility for piping and network wire works

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Necessities of Research	1
1.2 Contents and scopes of Research	6
Chapter 2 Research & Development status at home and abroad	12
2.1 Research & Development status at home	12
2.2 Research & Development status abroad	22
2.3 Analysis of Research & Development at home and abroad	32
Chapter 3 Contents and results of Research & Development	34
3.1 Contents and results of Research & Development	34
3.2 Evaluation and application of construction work in apartment house sites	47
3.3 Evaluation and analysis of radiant floor heating performance for the multi-functional Ondol system	69
3.4 Development of the ventilation system using the raised floor Ondol system	80
3.5 Application of the double raised floor system in apartment house sites	112
3.6 Economic analysis	125
3.7 Development of the multi-functional Ondol system for wide-spread model	127
3.8 Analysis and application of the multi-functional Ondol system to Japan's housing markets	139
Chapter 4 Achievement and contribution for Research & Development	188
4.1 Summary	188
4.2 Research results	189
Chapter 5 Application scheme of Research & Development	196

Chapter 6 Information on Science & Technology	201
6.1 Information on Science & Technology from Japan	201
6.2 Information on Science & Technology from Germany	206
6.3 Information on Science & Technology from the U.S.A	215
 Chapter 7 Reference	 217

제 1 장 서 론

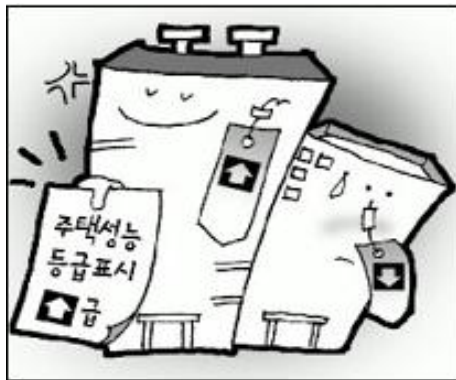
제 1 절 연구의 필요성

우리나라 주거용 건물중 공동주택이 차지하고 있는 비중이 날로 커지고 있으며 그 규모도 대형화, 고층화 되어 가고 있다. 공동주택의 양적 팽창과 더불어 공동주택 내에 거주하고 있는 거주자의 실내환경 수준에 대한 질적 요구가 점차 높아지고 있다. 특히 최근에는 높은 삶의 질과 건강을 추구하기 위해 환경친화적인 공동주택들이 출현하고 있기도 하다.

이와 같은 환경친화형 공동주택을 실현하기 위해 실내환경과 관련된 주거성능, 특히 온열환경, 음환경, 공기환경과 같이 거주자의 건강과 관련이 깊은 부분들이 매우 중요한 요소로 부각되고 있다. 최근에는 정부에서도 최근 사회적으로 이슈가 되고 있는 주거성능과 관련하여 소비자의 주거만족도를 높여 주기 위해 아래와 같은 관련제도들을 마련하여 시행하고 있다.

2006년 1월부터 실시하고 있는 주택성능등급 표시제도'는 소비자가 주택성능에 대하여 품질로 평가된 아파트를 구입할 수 있는 객관적인 자료를 확보할 수 있게 됐다.

아파트에 대한 품질 등급이 곧바로 매겨짐에 따라 주택건설사들도 품질을 획기적으로 개선하지 않고서는 수요자들의 욕구를 충족시킬 수 없게 된다. 이에 따라 건설사들은 아파트 품질에 있어서 높은 등급을 받는데 심혈을 기울여야 할 상황이다.



[그림 1.1.1] 주택성능등급 표시제도 관련 삽화(조선일보)



[그림 1.1.2] 최근에 제정된 주거성능관련 제도

우리나라의 모든 공동주택에는 쾌적한 온열환경 조건을 충족시키기 위한 수단으로 온돌 바닥난방 구조가 설치되어 사용되고 있다. 이와 같은 온돌 난방시스템은 난방열을 공급하여 실내에서 쾌적한 열환경을 제공 해 주는 역할을 할 뿐 아니라 그 구성층에 의해 아래층으로 전달되는 층간소음을 차단시켜주는 역할을 하고 있기도 하다.

건설교통부에서는 2001년 공동주택의 온돌구조에 대한 층간 단열기준 제정을 비롯하여 2003년에는 층간 소음에 대한 사회적인 문제를 해결하기 위해 주택건설기준등에관한규정에 바닥충격음 차단성능기준(경량충격음¹⁾ 58 dB 이하, 중량충격음²⁾ 50dB 이하)을 2004년 4월 22일부터 시행하는 것으로 기준을 신설하였다.

그러나 우리나라 공동주택에서 현재의 공법과 기술수준으로 층간소음을 거주자가 원하는 수준으로 차단하기 어려운 일이다. 현행 대부분의 공동주택에서 바닥판슬래브의 두께 150mm를 240mm로 늘리더라도 침실과 같은 작은 공간의 경우 중량충격음 기준 50dB를 충족시키기 어렵다는 시험결과(55dB 이상)가 나오고 있다.³⁾

이와 같은 어려움으로 인해 주택건설기준등에관한규정에 있는 경량충격음 차단성능기준 58dB와 중량충격음 차단성능기준 50dB를 2004년 4월부터 시행코자 하였으나, 중량충격음 차단을 위한 적절한 구조가 제시되지 못해 우여곡절 끝에 경량충격음기준은 당초('04.4.22)대로 시행하기로 하고 중량충격음기준은 2005년 7월 1일부터 시행하는 것으로 재개정을 하여 일정을 연기시켰다.

2004년 3월 30일에 고시된 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에서는 공동주택 바닥충격음중 경량충격음의 최소기준인 58dB이하를 만족하는 바닥구조 5종을 정하고, 중량충격음기준 시행시기가 2005년 7월로 연기되는 점을 감안하여 동 기준시행 이전인 2004년 4월 23일부터 중량충격음도 완화할 수 있도록 벽식구조 아파트의 경우 바닥두께를 **현행 135mm에서 180mm 이상으로 강화**하도록 하였다.⁴⁾

2004년 3월 24일 건설교통부에서 발표한 보도자료에 의하면 “국민주택규모(34평형)의 경우 세대당

1) 경량충격음: 가볍고 딱딱한 소리(식탁을 끌거나, 마늘 쪼는 소리, 물건이 떨어지는 소리)로써 발생시 사람을 놀라게 하지만 잔향이 없어 불쾌감이 적다.

2) 중량충격음: 무겁고 부드러운 소리(아이들이 뛰어 다니는 소리)로써 발생시 잔향이 남아 사람으로 하여금 심한 불쾌감을 갖게 하며, 심하면 정신적 고통을 일으키게 한다.

3) 건설교통부보도자료, 공동주택 바닥충격음기준 경량충격음 시행, 중량충격음 '05.7.1로 연기

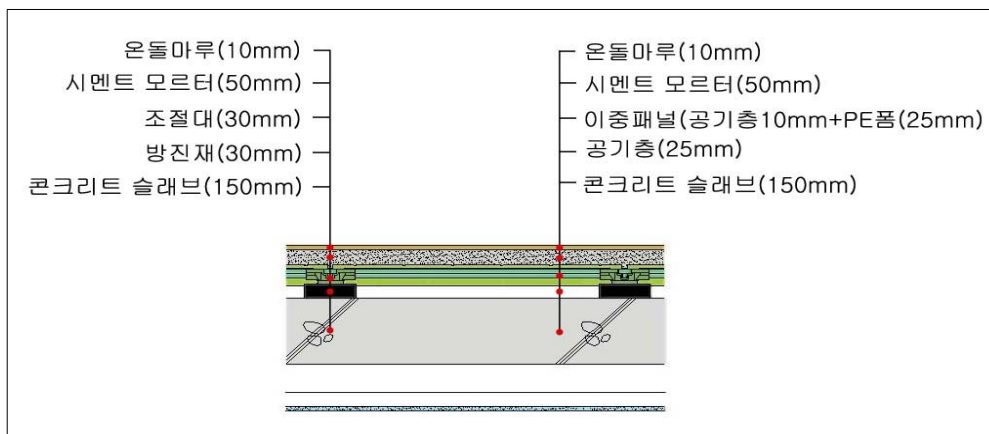
170만원(바닥두께 135→180mm기준)정도의 공사비가 증가되는 것으로 발표하였다. 한편, 여기에는 층고 증가에 따른 세대수 감소로 인한 사업손실 감소분을 포함하지 않은 금액이다.⁵⁾ 그러나 슬래브 바닥두께를 180mm 이상으로 강화한다고 하더라도 현재 중량충격음 기준인 50 dB에는 못미치는 수준인 것으로 나타나 있었다.

이와 같은 몇차례의 과정을 거쳐 2005년 7월 벽식구조 아파트에 표준바닥구조를 사용하는 경우 바닥두께를 210mm 이상으로 강화토록 하고 중량충격음 차단성능등급 기준을 확정하였다.

이에 한국건설기술연구원에서는 2002년도 건설기술연구개발사업을 통하여 거주자의 주거환경 측면에서 에너지 효율적이면서 층간소음을 저감시키고, 자원절약을 도모하기 위한 “환경친화형 이중바닥 온돌시스템 개발”연구를 수행하였다.

“환경친화형 이중바닥 온돌시스템 개발”연구에서는 거주자의 주거환경 측면에서 층간소음 저감을 위해, 이중바닥구조 난방패널시스템을 개발하는 것이다.

이중바닥구조 온돌시스템에 대하여 한국건설기술연구원 내의 바닥충격음시험동에서의 충격음실험을 실시한 결과, 경량충격음 차단성능 39~41dB를 달성하여 건설교통부 고시에 의거“공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”에서 정하는 경량충격음 성능등급중 최우수 등급인 **1등급 인증을 최초로 취득**하였다. 이때 중량충격음 차단성능도 43~44dB로 현존하는 시스템중 최고의 성능을 달성하여 그동안 불가능하게만 여겨졌던 중량충격음 성능(기준치 50 dB 이하)을 크게 감소시켰다.



[그림 1.1.3] 1등급 인증을 받은 환경친화형 이중바닥 온돌시스템

4) 건설교통부고시 제2004-71호 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 (2004. 3. 30)

5) 건설교통부 층간소음 보도자료 (2004. 3. 23)



[그림 1.1.4] 바닥(경량)충격음 차단구조 성능인정서

특히 이와 같은 성능은 바닥슬래브 조건 150mm두께에서 달성한 것이어서 그 의미가 더욱 크다고 할 수 있다. 현행 규정에서는 의무적으로 슬래브두께를 210mm로 건설해야 하지만, 아파트 건설업체에서 본 시스템을 채택하여 사용할 경우에는 슬래브두께를 150mm로 건설할 수 있다.

또한, 개발된 본 이중바닥 온돌시스템에 대하여 하중을 계산해 본 결과, 단위면적당 하중이 96 kg/m²로 유지되어 현재 습식온돌공법 보다 단위면적당 8%의 구조하중의 절감이 가능한 것으로 나타났다.(KS기준에 의거 기포콘크리트 비중 0.5품 기준)

본 시스템은 150mm두께에서 충격음 기준을 최고의 성능으로 만족하고 있으므로 이를 기존 온돌공법에 적용되는 210mm 슬래브에 적용되는 표준온돌 바닥구조와 비교하여 하중을 계산하면 약 170kg/m²의 구조하중을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 더 나아가 기존 대부분의 공동주택 슬래브가 120mm 두께로 되어 있어 층간소음 문제에 취약하므로 리모델링 대상이 되는 공동주택에서도 적용가능성이 충분히 높은 것으로 검토될 수 있다. 그러나 공동주택에 적용되기 위해서는 대량공사가 수반되기 때문에 온돌시스템과 관련된 주요 구성품 뿐 아니라 자투리공간 시공을 위한 부자재가 완벽히 갖추어져야 하고 시공프로세스가 확립되어 있어야 한다.

현재 개발하고 있는 다기능 통합온돌시스템이 연구개발을 통해 현장에 적용키 위한 필요성은 다음과 같다.

- 현장 실무자들이 새로운 시스템에 대한 경계심을 불식시키기 위한 기술검증 필요
- 아파트현장에서 대량시공과 관련된 실증자료 필요
- 보다 많은 샘플시공을 통해 신뢰성 제공의 필요
- 대량생산·대량시공을 위한 부속자재 구성품의 추가개발 필요
- 국가연구개발사업으로 개발된 온돌시스템에 대한 보급확대를 위한 보급형기술 추가 개발 필요
- 주거성능등급 표시제 시행에 따른 주거성능 향상을 위한 다기능 통합 온돌시스템 개발의 필요
- 열환경, 음환경, 공기환경을 동시에 충족하면서 경제성있는 통합온돌시스템 개발 필요
- 우리의 전통기술인 온돌시스템을 세계화하기 위한 Global 온돌시스템 개발 필요

제 2 절 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 “다기능통합온돌시스템”에 대한 상품성을 갖추어 바로 아파트 건설현장에 적용될 수 있도록 아래와 같은 온돌시스템을 개발코자 한다.

- 중간소음문제 해결을 위한 차음형 온돌시스템 개발
- 방열효율 향상을 위한 에너지절약형 온돌시스템 개발
- 환기기능을 갖는 건강형 온돌시스템 개발
- 수평배관 및 네트워크 통신배선이 자유로운 바닥구조 개발
- 주거성능등급제 시행에 따른 주거성능 향상을 위한 온돌시스템 개발

본 연구에서는 주택성능과 관련된 응용기술을 추가로 접목하여 상품성을 갖추어 현장에 바로 적용될 수 있도록 『주거성능등급 향상을 위한 다기능 통합 온돌시스템』을 개발하고 현장 검증 및 보급·확산을 위한 실용화 연구를 아래와 같은 방법으로 진행한다.

- ① 1단계로 다기능 통합온돌시스템을 현장에 적용하기 위하여 각종 주부자재(main & sub system)를 설계·제작한다.
- ② 2단계로 시공현장에 샘플시공을 하고 각종 성능실험 및 평가를 위해 현장기술자에 의해 기술검증을 받는다.
- ③ 추가적인 응용기술의 접목을 위한 부자재 개발 및 성능평가를 수행한다.
 - 자연환기방식(바닥급기 + 천장배기)의 기술
 - 수평배관 배선 및 홈네트워크 통신배선이 가능한 점검구 제작
- ④ 모든 기술검증이 완료된 후인 3단계에서는 시스템의 주·부자재 생산을 위한 본 금형을 제작하여 생산체계를 구축한다.
- ⑤ 5단계에서는 시스템화된 제품으로 현장에서 사용될 수 있는 체계를 구축한다.
- ⑥ 6단계에서는 이중바닥구조의 하부공간을 전기배선 및 통신배선의 자유로운 이동과 재설치를 위한 경로를 확보하고 리모델링시 적절히 대응이 가능하도록 정보통신 및 홈네트워크 배선통로 및 이에 대한 outlet을 구축하는 등의 이중바닥구조 온돌시스템 기능성을 부가하는 기술들을 접목한다.
- ⑦ 7단계에서는 본 개발 시스템을 조속히 실용화할 수 있도록 설치부위별 상세설계도 작성, 시스템 제작공정 및 품질관리 프로세스를 확립한다.
- ⑧ 마지막 단계에서는 다기능 통합 온돌시스템이 국내외 건설시장에서 상품화될 수 있도록 사업화 방안을 수립한다.

특히, 위의 개발단계에서 음환경, 열환경 뿐 아니라 통합시스템으로서의 목적을 달성하기 위해 실내공기질 (IAQ)을 향상시키기 위해 온돌시스템에 추가적으로 환기시스템을 접목하고자 한다.

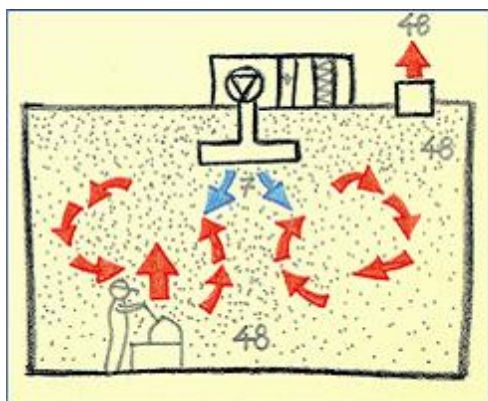


[그림 1.2.1] 다기능 통합온돌시스템의 설치 개념도

2006년부터 환기시스템의 의무화 설치로 인해 우리나라의 기존 공동주택들은 천장에 급기와 배기를 위한 환기장치를 설치하게 되면 천장이 높아지고 비용이 증대되어 실질적으로 환기장치의 적용이 불가능해질 수 있다.

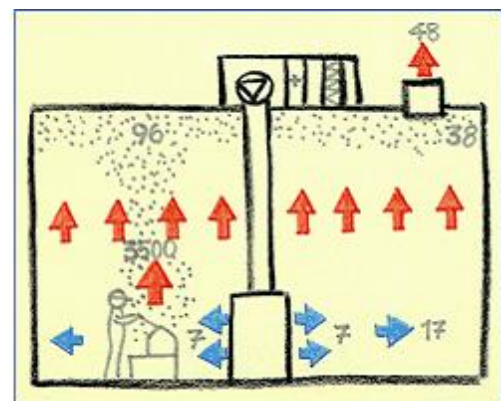
본 연구에서는 층고가 증가되지 않으면서 효율적인 환기시스템이 접목되도록 계획하는 것이다.

아래 그림에서 보는 바와 같이 동일한 급기량이 실내공간에 들어온다고 할지라도 급기구와 배기구의 위치가 가까운 경우에는 급기된 신선한 공기가 실내공기와 충분히 혼합되기 전에 배기구로 배출되어 환기의 효과가 감소될 수 있다. 또한, 실내오염물질의 발생위치가 배기구 부근이면 오염물질은 빠르게 외부로 배출되기 위해 급기와 실내공기와는 혼합되지 않도록 계획하는 것이 바람직하다.



(a) 환기효율이 낮은

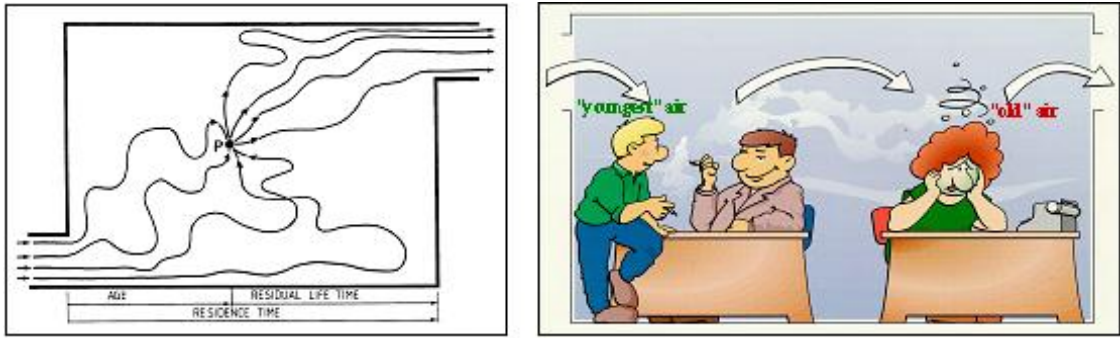
천장급기-천장배기방식



(b) 환기효율이 높은

바닥급기-천장배기방식

[그림 1.2.2] 급기구 및 배기구의 위치에 따른 실내공기의 환기효율



[그림 1.2.3] 환기효율과 공기나이의 관계

[그림 1.2.3]은 환기효율에 대한 개념을 나타내는 것으로 창측에 있는 사람은 담배를 피우고 있더라도 신선한 공기를 호흡하게 되고 실내측에 있는 사람은 오염된 공기를 호흡하게 된다. 즉, 동일한 실내공간이라 할지라도 급배기의 배치계획, 급배기구의 구성과 위치, 풍량과 기류속도 등에 의해 공기가 실내공간에 머무르는 시간(공기나이: the age of air)이 달라지게 된다. 따라서 적절한 환기가 이루어지도록 실내공간에서 효율적인 환기설계가 이루어져야 한다.

현재, 실내공기 정화 및 환기를 위한 여러 가지 형태의 설비시스템이 개발 상품화되어 있고 일부 공동주택에서 선택사항으로 실험적용하고 있는 실정이다.

이러한 환기 설비시스템 설비에 대한 특징을 살펴보면, 실내공기의 배출과 유입이 환기팬에 의하여 이루어지는 강제 환기시스템으로, 실내 공간 각 실까지 골고루 효율적으로 환기가 되도록 하려면 추가로 그곳까지 공기전용 유통통로인 덕트나 배관 설치가 기본적으로 필요하게 되어있고 이를 위한 별도의 설치공간도 필요하게 되어있다.

본 연구에서는 상기의 문제를 개선하기 위하여 착안한 것으로서, 이중바닥구조를 갖는 통합온돌시스템을 이용하여 효율적인 환기시스템을 구축코자 한다.

즉, 이중바닥 온돌 시스템의 시공공법상 형성되는 하부공간인 온돌 구조체의 하부와 슬래브 사이의 공간(약30~50mm)을 급기유통로, 천장 내부공간의 일부를 배기유통로로 전환시켜 주거 공간 전체에 자연환기가 이루어지게 하는 시스템을 제공코자 하는 것이다. 이와 같은 방법은 주거 공간 실내의 자연환기를 위한 공기유통경로를 별도 공정이 아닌 기존공정의 부속공정으로 실행하면서 환기시스템을 위해 추가로 발생하는 비용을 최소화할 수 있는 장점을 갖는다.

이중바닥온돌시스템을 이용하여 높은 환기효율에 의해 경제적인 방법으로 자연환기를 유도하는 방법은 다음과 같다.

슬래브와 온돌시스템간에 형성된 하부공간은 그 전체가 급기챔버의 역할을 하고, 천장반자와 슬래브간에 형성된 천장공간은 배기챔버의 역할을 하게 됨으로써 무덕트(ductless) 슬립형 환기시스템이 구성되는 것이다.

즉, 외부에서 발코니공간을 거쳐 이중바닥 하부를 통해 실내로 들어오는 신선한 공기는 실내공기와 충분히 혼합되어 배출될 수 있도록 걸레반이 부근의 내벽면 하부에 공기유통을 위한 급기그릴을 설치하고 배기는 천장의 우물천장, 반자틀 또는 커튼박스 등의 틈새나 배기그릴을 이용하여 배기가 자연스럽게 이루어지도록 구성하는 것이다.



[그림 1.2.4] 이중바닥온돌시스템을 이용한 무덕트슬림형 자연환기시스템 개념도

또한 주방의 가스레인지와 화장실에 이미 기 설치되어 있는 공동배기관로와 배기팬을 이용하여 천장내 배기공기 유통로를 분할 접속시켜 이 곳으로 유입된 공기가 외부로 자연스럽게 배출되도록 하는 것이다. 이와 같은 방법은 거주자가 앉아 있는 거주역에 신선한 공기(young air)를 공급해주고 천장부근에서 오염된 공기(old air)가 배출되는 특성을 갖게 된다.

환기시스템은 급기와 배기가 동시에 이루어져야 가장 효과적이며 환기효율도 증대될 수 있다. 이와 같은 하부급기-천장배기의 자연환기 유도방식은 유입된 외기가 실내공간을 거쳐 부력에 의해 천장부근과 천장 내부에 존재하고 있는 휘발성유기화합물이 실내로 들어오지 않고 밖으로 배출되는 특성을 갖기 때문에 기존 방식과 비교해 볼 때, 환기효율이 높아지게 된다.

또한, 현재의 층고나 천장고를 높이지 않고 현행 구조를 그대로 유지하면서 환기시스템을 자연의 원리에 의해 효율적으로 이용함으로써 환기장치를 위한 추가비용이 소요되지 않고 원가절감 및 유지관리에 있어서도 유리한 방법이라 할 수 있다. 또한, 겨울철에 발코니 공간에서 유입된 공기는 온돌시스템의 하부공간을 거쳐 실내로 유입되는 과정에서 온도가 약간 상승하기 때문에 실내로 유입되는 공기는 비교적 적정온도조건을 확보할 수 있게 된다.



[그림 1.2.5] 최근 신문에 게재된 관련 기사

따라서 본 다기능 통합온돌시스템은 사회적으로 이슈가 되고 있는 층간소음 문제와 실내공기질과 같은 새 집증후군 문제를 동시에 해결할 수 있는 최선의 대안이 될 것으로 기대하고 있다.

본 시스템은 주거생활의 유형이 우리나라와 유사한 일본에서도 사회적으로 이슈가 되고 있는 바닥충격음 문제와 새집증후군 문제를 동시에 해결할 수 있는 최선의 대안이 될 것으로 기대하고 있다. 최근 일본에서도 우리나라 온돌구조와 같은 바닥복사난방시스템에 대한 관심이 높아가고 있으나 대부분 건식으로 비용이 높아 보급이 어려웠으나, 본 시스템을 이용하는 경우 최소의 비용으로 최적의 난방시스템과 최고성능의 바닥충격음을 차단시킬 수 있는 시스템을 쉽게 도입할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서 도출되는 다기능 통합온돌시스템은 우리나라의 바닥난방시스템 기술을 상품화하여 해외로 수출하는 데에 큰 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내기술 현황

1. 열환경 부문

공동주택의 온돌시스템은 건축 및 설비기술의 발달에 따라 다양하게 변화하여 왔으며 지역별 기후특성, 건물구조체의 열적 특성, 생활방식, 열원시스템 및 제어방법 등은 주요한 영향을 미치는 인자로 작용하고 있다.

국내에서 공동주택의 열원시스템은 보급 초기에 개별식 보일러(연탄), 중앙보일러(유류) 난방방식을 위주로 발전하여 최근에는 천연가스를 열원으로 하는 개별보일러(천연가스)와 대규모 지역난방방식 등으로 발전하여 왔다.

세대내에 설치되어 있는 온돌시스템은 온수를 열원으로 사용하고 온수배관을 바닥구조체내에 매설하는 온수식 온돌시스템이 일반적인 난방시스템으로 정착·보급되어 현행 모든 공동주택에서 이를 채택하고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 공법들은 그 구성이나 형태, 재료 및 성능 등의 측면에서 볼 때, 기술적인 뒷받침이 없이 시공의 편리성과 경제성 위주로 변화되어 가고 있으며 우리나라 여건에 맞는 충분한 자료의 검토없이 당면한 기능만을 만족시키기에 급급한 상태로 변화되어 왔다.

온돌시스템에 대한 국내의 기술개발 현황을 살펴보면, 80년대를 기점으로 바닥난방구조에 대한 다양한 연구와 기술개발이 활발하게 진행되었다. 그러나 지난 20여년의 기술개발에 대한 연구결과가 현장적용 시 발생한 당면 문제점을 해결하는 측면에서 이루어진 사례들은 있으나 새로운 온돌시스템이 실제 현장에 적용된 사례는 많지 않다.

1990년대 초반에는 기존의 습식온돌공법 대신에 조립식난방시스템에 대한 개발이 활발히 이루어진 바 있다. 이와 같은 조립식 온돌시스템은 기존의 습식 온돌공사가 지닌 공정의 복잡함과, 동절기 시공의 한계, 그리고 기능인력의 부족과 인건비 상승 등의 요인으로부터 경량화, 규격화, 시공의 용이성 등을 보완한 방식이라고 하겠다. 따라서 조립식 온돌시스템은 일정한 규격으로 공장에서 생산되어 현장에서 일부 조립 또는 접합만으로 시공할 수 있도록 고안되었다. 조립식 온돌시스템의 구성은 기본적으로 방열판, 배관재, 전열판 그리고 단열층으로서 구성되며, 실내측에 면하여 실내로 열량을 전열하는 방열판은 일반적으로 아연도강판이나 갈바륨강판 등의 금속재로 구성되고, 방열판의 열량을 방열판으로 전열시키는 전열판은 알루미늄박판 등이 사용된다.

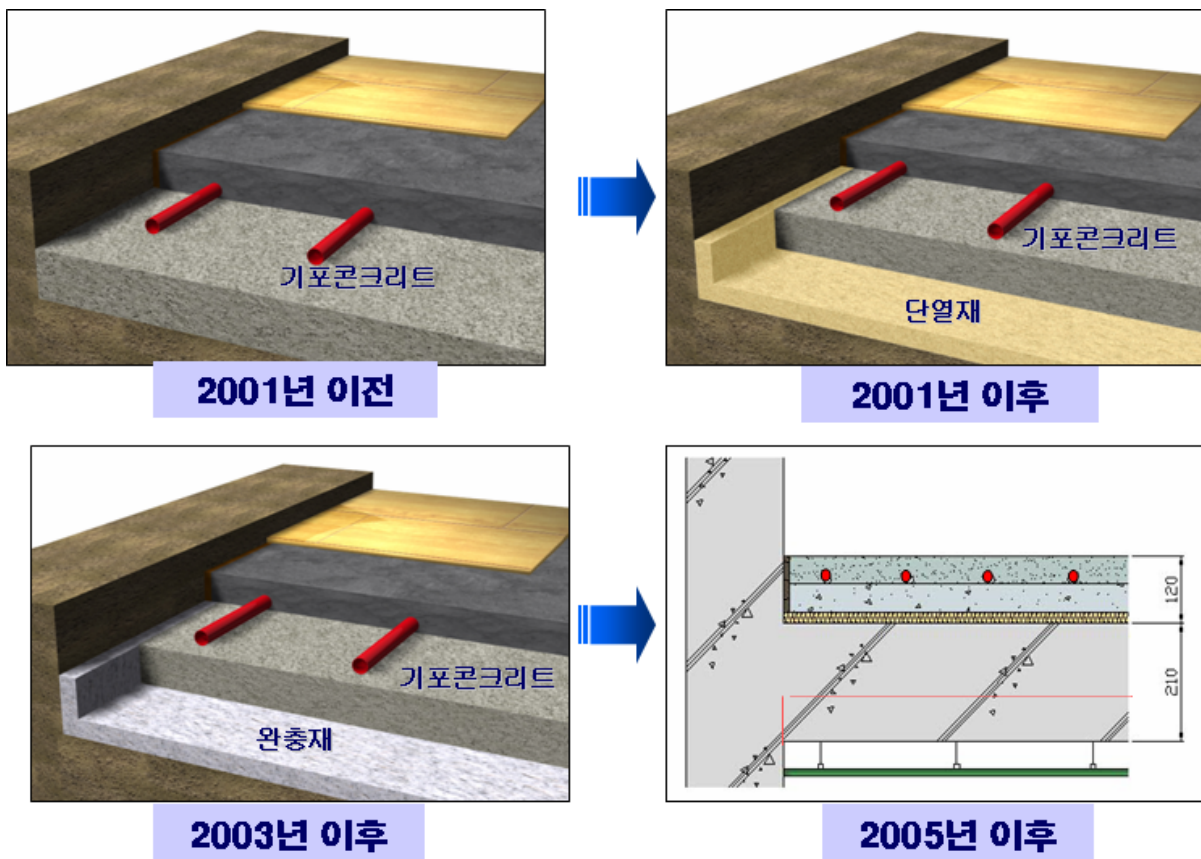
한편, 배관재는 매립방식과 마찬가지로 여러 종류가 사용될 수 있겠으나 일반적으로 플라스틱관이나 동관이 사용된다. 단열층으로는 폴리스틸렌과 우레탄폼이 가장 일반적인 단열재로서 사용되나 일부 제품에서는 공기층과 열반사형 은박에티론을 설치하여 단열성능을 확보하는 사례도 있다.

조립식 바닥난방방식은 공장에서 주요 부품을 생산하기 때문에 제품의 품질 확보가 가능하다는 장점이 있다. 또한 기존의 매립방식에 비하여 중량이 가볍고, 규격화, 표준화된 제품생산이 가능하기에 현장시공성이 우수하고 공정단축이나 조정이 가능하다는 이점을 지닌다. 이와 함께 바닥구조체의 전체적인 단면두께를 낮출 수 있어 층고의 저감과 건물하중의 감소측면에서도 유리한 방식이다. 한편 부분적인 개보수가 용이하고, 바닥구조체내의 단열성능 향상과 난방방식에 따른 축열성능의 조절이 용이한 방식의 제품도 생산되고 있다. 그러나 이와 같은 많은 장점에도 불구하고 기존 공법보다 건설단가가 매우 높으며, 최종 마감면에서의 처리가 기존의 습식공법에 비해 성능이 떨어지고 하자가 발생하는 사례들

이 나타났다. 이와 같은 문제점으로 현재는 아파트 공사에는 적용되고 있지 않으며, 식당이나 소규모 숙박시설을 중심으로 일부 사용되고 있다.

1990년대 초반부터 경량기포콘크리트가 아파트공사에 사용되기 시작하면서 온돌시스템의 건설단가는 점점 낮아져서 기술개발을 통해 더 이상 새로운 시스템이 현장에 적용되기 어려운 상황이 되었다.

한편, 2001년 6월부터 건축법의 단열규정 강화로 공동주택의 층간 바닥에도 $0.81\text{W/m}^2\text{K}$ 이하로 열관류율을 확보해야 함에 따라 기존 온돌구성층의 경량기포콘크리트층에 단열재가 도입되기 시작하였다. 건축법에서 정하고 있는 단열성능을 확보하기 위해 경량기포콘크리트 또는 발포 폴리스티렌 폼(속칭 스티로폼) 등의 단열재가 사용되고 있다. 온돌공법에 설치되는 단열층은 공기단축, 시공성 등의 이유로 경량기포콘크리트만을 타설하는 경우와 발포 폴리스티렌 폼을 슬래브 위에 깔고 그 위에 경량기포콘크리트를 타설하는 경우로 나눌 수 있으나 후자보다는 전자 쪽으로 온돌층의 구조가 단순화되고 있는 것으로 나타나고 있다. 경량기포콘크리트만을 단열재로 사용하는 경우의 두께는 70mm 전후이며, 경량기포콘크리트와 발포 폴리스티렌 폼을 함께 사용하는 경우에는 슬래브 위에 폴리스티렌 폼을 20mm 또는 25mm를 깔고, 그 위에 경량기포콘크리트를 50mm 전후로 타설을 한다. 최근에는 바닥충격음에 대한 문제가 대두됨에 따라 기존의 온돌구성층에 단열재 대신에 충격음 차단재인 완충재를 설치하여 이것이 단열기능과 충격음 차단기능을 갖도록 하고 있다.



[그림 2.1.1] 시대변천에 따른 온돌공법의 변화

2. 음환경 부문

우리나라 주택의 바닥은 온돌이라는 바닥난방방식으로 인해 하중을 부담하는 슬래브, 열손실 방지를 위한 단열재, 열을 저장하고 방출하는 축열재 및 마감재 등 크게 3개 부위로 구성되어 있다. 공동주택의 슬래브는 대부분 철근콘크리트로 되어 있으며, 기존 공동주택의 슬래브 두께는 시공업체마다 다소 다르나 125~150mm 정도인 것으로 조사되고 있다. 그러나 바닥충격음 문제가 대두됨에 따라 건설업체에서는 신축 공동주택에 대하여 슬래브의 두께를 210mm로 적용하고 있다.

벽식 및 혼합구조, 무량판 구조, 라멘구조의 습식온돌구조에 대한 표준바닥구조를 건설교통부고시 제 2006-435호에서 정하여 고시하고 있는데 벽식구조 및 혼합구조에 대한 표준바닥구조는 아래 표 및 그림과 같다.

<표 2.1.1> 표준바닥구조(제26조관련)

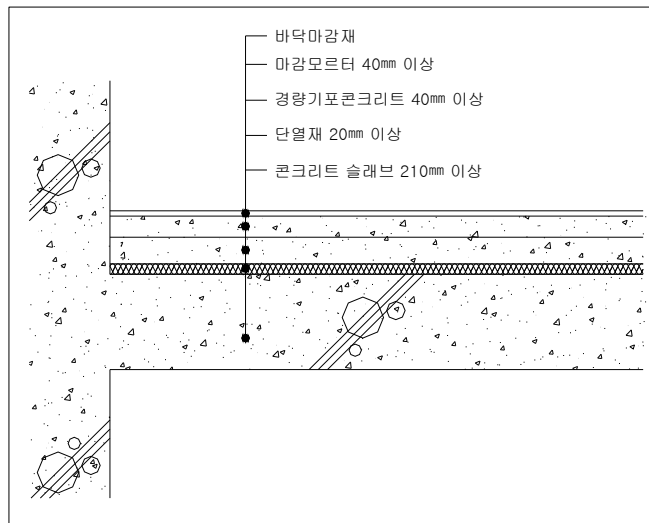
구분	표준바닥구조 단면상세 ¹⁾	바닥마감재의 종류
1	콘크리트 ²⁾ 슬래브 두께 210mm 이상+단열재 20mm이상+경량기포콘크리트 40mm이상+마감모르터40mm이상	가중 바닥충격음레벨 감쇠량이 13dB 이상인 바닥마감재 ³⁾
2	콘크리트 ²⁾ 슬래브 두께 210mm 이상+완충재 20mm이상 ⁴⁾ +경량기포콘크리트 40mm이상+마감모르터 40mm이상	바닥마감재 사용제한 없음
3	콘크리트 ²⁾ 슬래브 두께 210mm 이상+경량기포콘크리트 40mm이상+단열재 20mm이상+마감모르터40mm이상	가중 바닥충격음레벨 감쇠량이 13dB 이상인 바닥마감재 ³⁾
4	콘크리트 ²⁾ 슬래브 두께 210mm 이상+경량기포콘크리트 40mm이상+완충재20mm이상 ⁴⁾ +마감모르터40mm이상	바닥마감재 사용제한 없음
5	콘크리트 ²⁾ 슬래브 두께 210mm 이상+완충재40mm이상 ⁴⁾ +마감모르터50mm이상	바닥마감재 사용제한 없음

주1) 단열재, 완충재 및 기타 구성층은 위에서 정하고 있는 각 구성층의 두께 이상으로 시공하되, 건축물의설비기준등에관한규칙 제21조에서 정하고 있는 단열기준에 적합하도록 두께를 정하여야 한다.

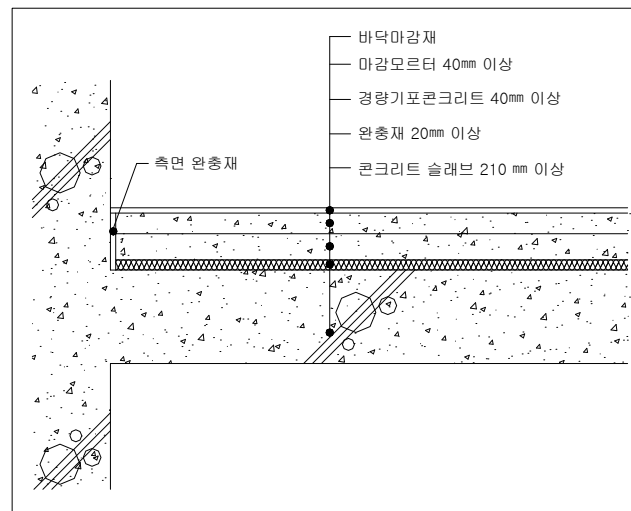
주2) 콘크리트 슬래브 두께는 콘크리트로 구성된 두께만을 말하며 콘크리트의 표준설계기준강도는 210kg/m³의 보통 콘크리트를 기준으로 한 것임

주3) KS F 2865에서 규정하고 있는 방법으로 측정한 바닥마감재의 바닥충격음 감쇠량을 KS F 2863-1의 '6. 바닥충격음 감쇠량 평가방법'에 따라 평가한 가중 바닥충격음 레벨 감쇠량을 말한다.

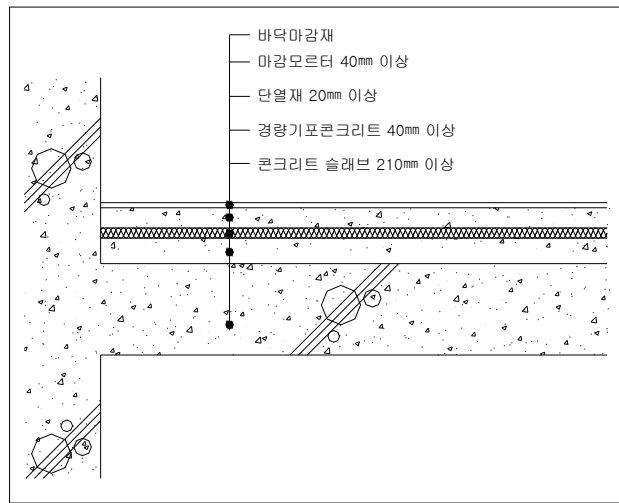
주4) 온돌층이 벽체와 접하는 부위에는 측면완충재를 적용한다.



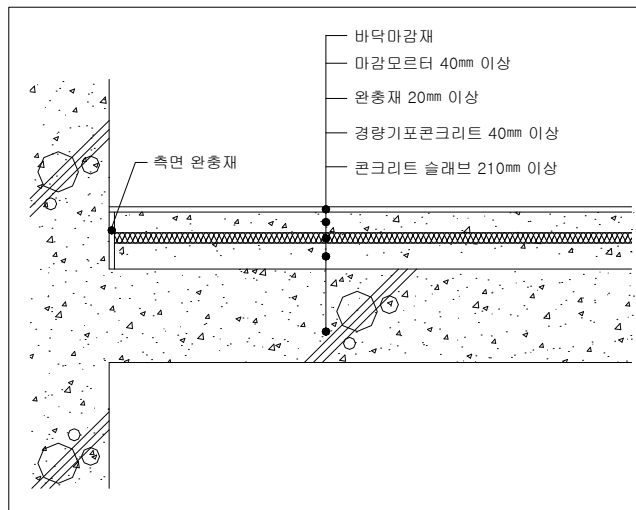
(a) 표준바닥구조 1



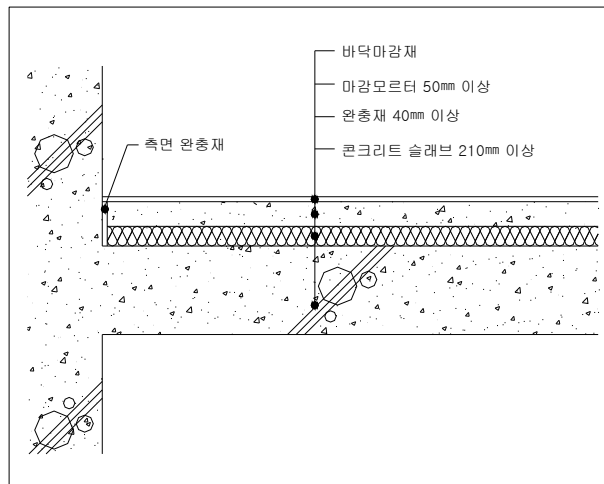
(b) 표준바닥구조 2



(c) 표준바닥구조 3



(d) 표준바닥구조 4



(e) 표준바닥구조 5

[그림 2.1.2] 표준바닥구조

1) 경량충격음

공동주택에서의 바닥충격음 문제는 가볍고 단단한 물건이 떨어져서 발생하는 경우와 무겁고 유연한 물건이 떨어져서 발생하는 경우 등 크게 두 가지로 나눌 수 있으며, 이 중 가볍고 단단한 물건은 바닥 마감재의 종류에 따라 그 충격특성이 변화한다. 따라서 우리나라와 같이 2가지의 바닥 마감재(종이 장판지: 방 등 사적공간에 사용, 발포 비닐계 장판지: 거실 등 공용공간에 사용)가 실의 용도에 따라 달리 사용되는 경우에는 바닥 마감재의 종류에 따라 경량충격음에 대한 차단성능이 달라지기 때문에 경량충격음의 경우에는 바닥 마감재의 종류에 따라 충격음 차단성능을 나누어 평가해야 하며, 그 결과 또한 마감재별로 구분하여 표시하는 것이 필요하다.

바닥충격음을 줄이기 위한 충격진동방지 바닥시스템을 적용하지 않고, 바닥마감재로 종이장판지를 사용하고 있는 우리나라 기존 바닥구조의 경량충격음 차단성능은 L-65~L-80 정도로 나타나고 있으며, 주로 중·고주파수대역에서 차음등급이 결정된다. 이 측정결과를 일본건축학회의 공동주택에 대한 권장기준과 단순 비교하면, 최소등급인 L-60도 만족하지 못한다. 그리고 바닥마감재로 탄력성이 있는 발포 비닐계통을 깔 경우에는 깔지 않은 경우에 비해 1등급(5dB) 정도의 개선효과가 있는 것으로 나타났으나 500Hz이하의 주파수대역보다는 그 이상의 주파수대역에서 효과가 큰 것으로 나타났다.

완충재를 적용한 바닥구조의 경량충격음 차단성능은 미적용 바닥구조에 비해 최소 1등급(5dB)에서 최대 3등급(15dB)까지 충격음 차단성능이 개선되는 것으로 나타나, 저주파수대역보다는 중·고주파수대역에서 저감효과가 크다. 이를 일본건축학회에서 제안하고 있는 평가곡선으로 평가할 때에는 L-60~L-70 정도인 것으로 평가되고 있다.

2) 중량충격음

우리나라의 바닥은 온돌이라는 난방방식으로 인하여 슬래브 위에 별도의 온돌층이 구성되기 때문에 슬래브만으로 구성되는 바닥구조보다 그만큼 바닥의 중량이 커진다고 할 수 있으며, 실제의 측정결과에서도 이러한 결과가 나타난다. 이러한 결과를 일본건축학회의 L곡선으로 평가하면 L-55~L-60 정도

로서 최소등급인 3급 안에 속하는 수준이라 할 수 있으며, 주로 저주파수대역에서 차음등급이 결정되고 있다. 그러나 이러한 경향인데도 불구하고 많은 거주자들은 여전히 바닥충격음에 대한 불만을 제기하고 있는 실정이다.

바닥충격음 저감용 완충재를 적용한 공동주택의 경우 중량충격음 차단성능은 미적용 바닥구조와 유사하거나 1등급(5dB) 정도의 충격음 차단성능이 있는 것으로 나타나고 있다. 이를 일본건축학회에서 제안하고 있는 평가곡선으로 평가할 때에는 L-55~L-60 정도인 것으로 평가된다.

3) 현행 바닥충격음 저감대책의 문제점

재료의 특성상 콘크리트면에 직접 충격이 가해짐에 따라 발생하는 충격음은 인접세대에 쉽게 전달되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 공동주택에 사는 사람이라면 수시로 경험하는 일로서 대표적인 것이 윗층에서 뛰는 소리, 물건 떨어뜨리는 소리 등이며 발생빈도가 높지 않다 하더라도 귀에 거슬리는 소음원으로 인식되고 있다. 이러한 바닥충격음은 현행 우리 나라에서 적용되고 있는 일반적인 바닥구조로서는 근본적으로 해결하기가 쉽지 않다. 이러한 바닥충격음 문제를 해결하기 위해 독일이나 프랑스 등에서는 오래 전부터 뜬바닥(floating floor)구조를 채용하고 있으며, 이 뜬바닥 구조는 슬래브 위에 유리면과 같은 방진용 완충재를 깔 후 적절한 방법으로 내장바닥(온돌층)을 구성하여 그곳에 가해지는 충격에너지가 직접 구조체(슬래브)에 전달되지 않도록 하기 위한 것으로서 효과가 매우 좋은 것으로 알려져 있다.

최근 우리 나라에서도 이와 같은 원리를 이용하여 바닥충격음을 줄이기 위한 노력이 대형 건설업체와 자재회사 등을 중심으로 활발히 이루어지고 있다.

3. 공기환경부문

우리나라 공동주택은 에너지절약을 위한 일환으로 기밀성 및 단열성이 강화된 창호를 사용하고 있으며, 이로 인하여 자연환기가 어려워지고 환기량이 부족하게 되어 결과적으로 실내의 공기질이 악화되고 있다.

우리나라 대부분의 공동주택에는 별도의 급기장치는 갖추어져 있지 않고 주방과 화장실을 위주로 배기장치가 설치되어 있다.

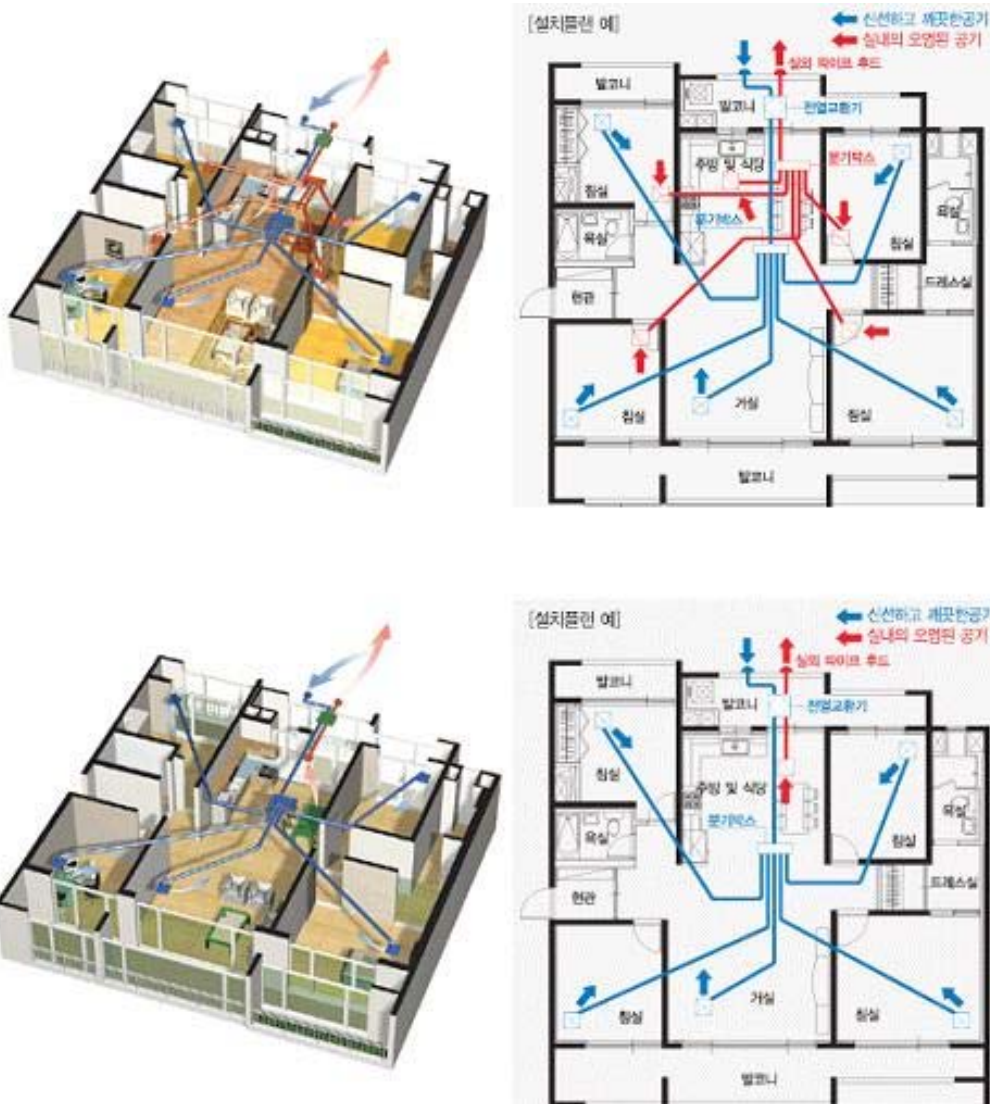
공동주택의 환기방식을 크게 구분해보면 각 세대의 외벽면에 배기가 있는 개별방식과 공용 수직샤프트를 통하여 배기를 행하는 중앙배기방식이 있다. 최근에는 주상복합건축물에는 중앙환기방식, 아파트에는 개별환기방식이 많이 사용되고 있다.⁶⁾

주방에서 조리를 하거나 화장실을 사용할 때에만 필요에 따라 기계환기가 국부적으로 이루어지며, 자연환기는 의도적으로 창호를 개방하는 경우에만 가능하다. 국부적인 환기에 의한 환기량은 일반적으로 필요환기량에 비하여 부족하게 되어 공동주택에서 결국 실내공기질이 점차 악화되고 있다.

또한 우리들의 생활습관상 취침시에는 일반적으로 문을 닫기 때문에 취침시 인체로부터 발산되는 이산화탄소는 취침중에는 전혀 환기가 되지 않아 실내에 계속 정체하게 된다.

이러한 이유로 취침시 실의 이산화탄소 농도는 오염허용농도보다 심하게는 5~10배를 높게 나타나는 경우가 많다. 실내에서 이산화탄소는 단시간에 건강에 영향을 미치지 않으나 장시간에 걸쳐 노출된 경우에는 영향을 미친다고 의학적으로 알려져 있으며, 이산화탄소 농도가 4% 이상이 되는 경우에는 호흡장애가 일어나는 등의 문제가 발생하게 된다.

6) 백용규, 실내공기질을 고려한 친환경 공동주택, 그린빌딩, 2003. 12



[그림 2.1.3] 공동주택에 설치되는 덕트형 급배기 환기시스템

주택에서의 환기는 거실에서 급기와 주방, 화장실의 배기가 있어 급기와 배기의 밸런스가 매우 중요하다. 현재는 거실과 침실에서 급기를 창문을 통해 외기의 자연 유입하는 방법으로 이루어지고 있으나, 최근에는 소음과 배기가스의 영향을 차단하기 위해 거실과 침실의 창을 닫은 상태에서 환기가 이루어질 수 있도록 급기팬이 부착된 강제급기방식을 채용하는 경향으로 변화하고 있다. 이 경우 전열 또는 현열교환기를 사용하여 배기와 열교환을 행하여 도입외기의 온도를 실내온도에 근접하게 조정하고 있다. 특히 주상복합건물에는 상대적으로 환기가 취약하기 때문에 전체 환기방식을 취하면서 급배기에 전열교환기를 설치하고 있다. 그러나 아직 전열교환기의 가격이 높고 효율도 떨어져 실효성 측면에서는 의문이 제기되고 있다.

공동주택에서 효과적이며 에너지절약적인 면을 고려하면서 필요시 실별로 환기가 가능한 환기시스템에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

2003년에는 공동주택에 대하여 시공자로 하여금 주민이 입주하기 전에 유해물질 오염도를 측정·공고하

도록 의무화하였으며, 2006년부터는 환기장치의 설치를 의무화 하였다. 따라서 공동주택에서 실내공기 질의 향상을 위해 우리나라의 특성에 적합한 환기시스템의 개발이 시급히 요청되고 있다.

제 2 절 국외기술 현황

1. 열환경 부문

외국에서는 온돌시스템이 복사열을 이용하여 쾌적환경을 조성하는 고급난방방식으로 인식하고 있다. 일본의 온돌시스템은 주로 조립식 패널방식으로 구성되어 있다. 조립식 난방패널은 1973년 처음 시판된 이후, 시공의 간편성, 설비비의 절감, 쾌적난방방식이라는 장점에 의하여 일반주택, 맨션, 보육원, 양로원 등의 시설을 중심으로 고가의 조립식 난방패널의 보급이 증가되고 있는 추세이다. 따라서 온돌시스템이 일본의 전통적인 난방방식과는 근본적으로 차이가 있음에도 불구하고 그 보급실적은 매년 증가하고 있다. 특히, 최근에는 난방패널간의 연결배관이 착탈이 가능하도록 하여 재이용할 수 있는 환경친화적인 조립식 온돌시스템도 개발되어 있다. 일본에서 온돌시스템에 대한 성능기준은 床暖房工業會의 지침과 BL(Better Living) 인정제도가 마련되어 온돌시스템에 대한 품질 및 성능을 확보하고 있다.

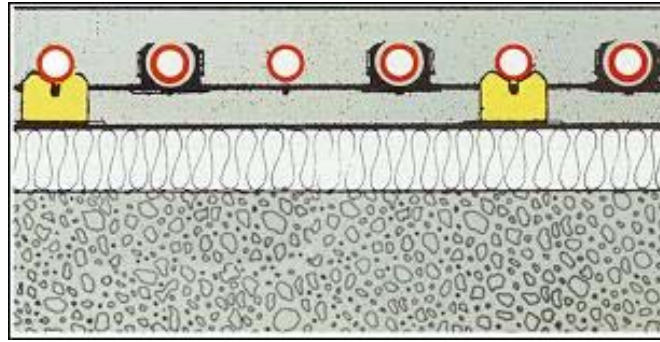


[그림 2.2.1] 일본의 조립식 온돌패널 시스템의 예

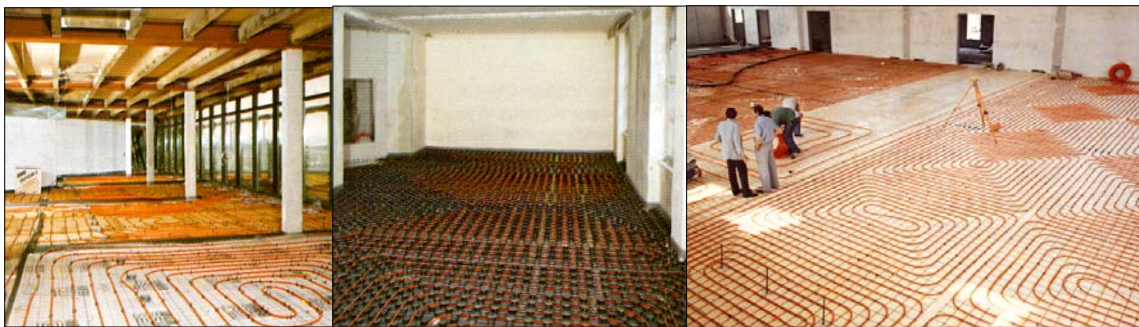
한편 유럽에서는 1970년대에 고강도 플라스틱파이프의 개발과 함께 이에 대한 실용화로 온돌시스템(온수식 바닥난방시스템)에 대한 관심이 매우 높아졌다. 특히, 독일과 스웨덴을 중심으로 온돌시스템의 사용이 급격한 증가 추세를 보이면서 이에 대한 성능기준이 마련되어 있고 많은 연구개발과 제품이 생산되고 있다.

독일에서는 DIN 4725 기준에 온수식 바닥난방시스템의 성능평가 및 설치기준을 규정하여 바닥난방시스템의 설계, 시공, 개발제품의 성능평가 등에 활용하고 있으며, 또한 이 기준은 유럽기준으로도 채택이 되었다. DIN 4725를 이용할 경우 온돌구성층의 조건, 온수배관의 종류 및 배치 등에 따라 방열량을 산출할 수 있어 온돌시스템을 에너지효율적인 구조로 설치할 수 있게 된다.

이와 같이 외국에서는 온돌시스템을 쾌적한 실내환경을 제공해주는 고급난방방식으로 인식을 하고 있어, 온돌시스템에 사용되는 부품, 재료 및 구성품도 고급소재를 사용하고 있다.



[그림 2.2.2] 독일의 온수 바닥난방시스템의 단면 구조의 예



[그림 2.2.3] 독일의 온수 바닥난방시스템의 설치 예

2. 음환경 부문

바닥충격음 문제를 해결하기 위해 일본 및 독일이나 프랑스 등에서는 오래 전부터 뜬바닥(Floating Floor)구조를 채용하고 있다. 이 뜬바닥구조는 슬래브 위에 유리면과 같은 방진용 완충재를 깔 후 적절한 방법으로 내장바닥(온돌층)을 구성하여 그 곳에 가해지는 충격에너지가 직접 구조체(슬래브와 벽)에 전달되지 않도록 하기 위한 것으로서 효과가 매우 좋은 것으로 알려져 있다.

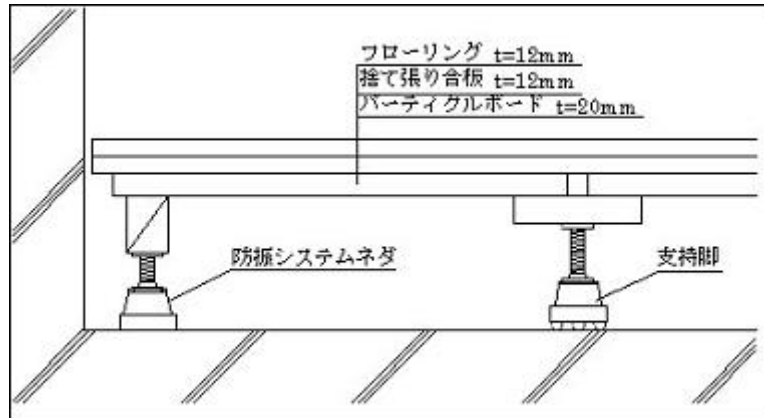
일본에서는 JIS에서 정하고 있는 차음기준과의 대응을 고려하여 공동주택의 뜬바닥에는 적어도 25 mm 이상을 사용하도록 규정하고 있다. 만일 두께가 12mm 정도로 얇으면 완충재의 스프링정수가 크게 될 뿐만 아니라 슬래브 위에 깔아 뜬바닥으로 할 때에는 횡으로 공기가 빠져나가기 때문에 일반적으로 공기의 스프링정수가 부가되나 그 공기의 스프링정수가 12mm에서는 크게 되기 때문에(두께가 반절이면 2배) 특히 저음역에서 뜬바닥 효과가 전혀 나타나지 않는다는 것에 주의해야 한다.

뜬바닥공법의 효과는 바닥슬래브, 벽 등 구조체와 뜬바닥층을 절연해주는 완충재의 역할이 상당히 중요하다. 이러한 중요성 때문에 오래 전부터 뜬바닥공법을 적용해 오고 있는 독일 등 유럽 각국이나 일본 등에서는 뜬바닥용 완충재의 종류, 크기, 품질, 시험방법, 시공방법 등을 정하여 그 규정에 적합한 재료를 사용하도록 하고 있다.⁷⁾ 독일에서는 DIN에 섬유질 절연재료(뜬바닥용 완충재)에 대한 기준을 규정하고 있다. 절연재료는 하중을 가하지 않은 상태에서 이용하는 것(흡음, 단열용)과 하중을 가한 상태로 이용하는 것(뜬바닥용)으로 구별하고 있다.

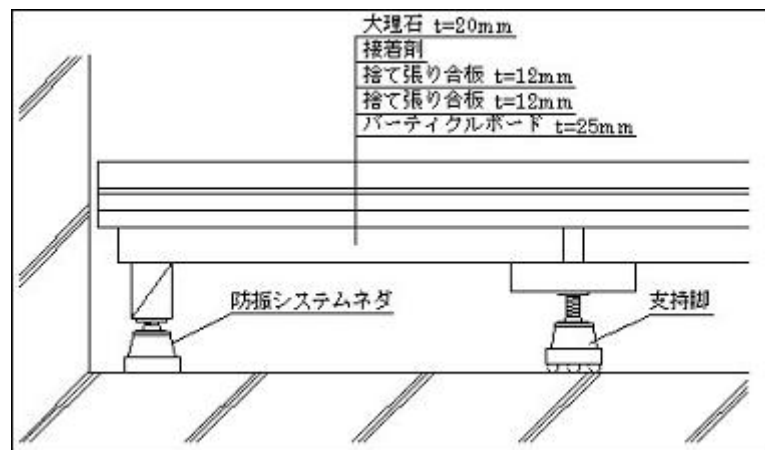
일본에서는 건식 이중바닥구조를 이용한 공법이 많이 적용되고 있으나, 건식 이중바닥구조가 맨 슬래

7) 日本工業規格, JIS A 6321(浮き床用ロックウール緩衝材), JIS A 6322(浮き床用グラスウール緩衝材)

브조건보다 바닥충격을 성능에서 불리한 것으로 밝혀져 최근에는 20,000엔대 고가(高價)의 건식 이중 바닥구조가 개발되어 사용되고 있는 실정이다.

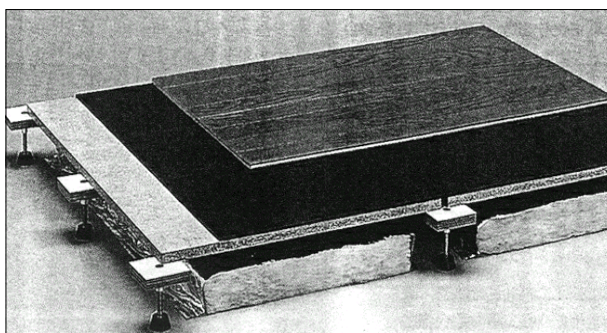
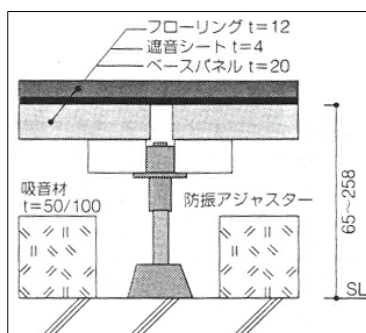


[그림 2.2.4] 일본에서 일반적으로 적용되고 있는
건식 이중바닥구조

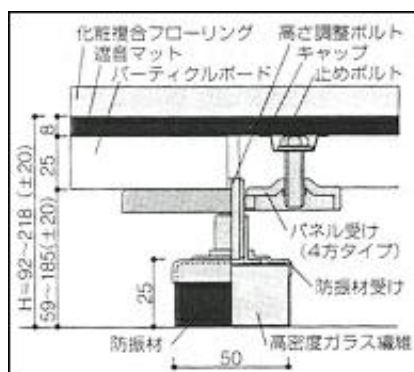


[그림 2.2.5] 일본에서 최근 개발된 충격음 저감용
이중바닥구조

(石貼りNSフローのコスト: 16,800円 / m² -
高さ150mm、大理石 費用 除く)



[그림 2.2.6] LL-40, LH-50을 실현한 건식차음 이중바닥의 예⁸⁾



[그림 2.2.7] 유리섬유를 사용한 특수 구조의 방진재⁹⁾

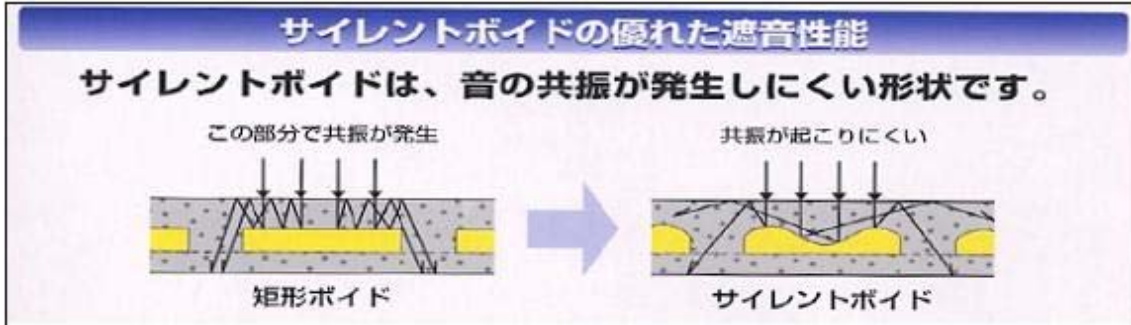
또한, 사회적으로 문제가 되고 있는 중량충격을 감소시키기 위해 아래 그림과 같이 중공슬래브를 구성하고 슬래브두께를 225~270mm까지 늘리는 방법에 의해 층간소음을 줄이고 있는 실정이다.



[그림 2.2.8] 슬래브두께를 225~375mm까지 조절가능한 볼보이드 중공슬래브공법

8) 建築技術編輯部, 乾式遮音二重床の動向, p. 183, 建築技術, 2001. 3

9) 建築技術編輯部, 乾式遮音二重床の動向, p. 183, 建築技術, 2001. 3



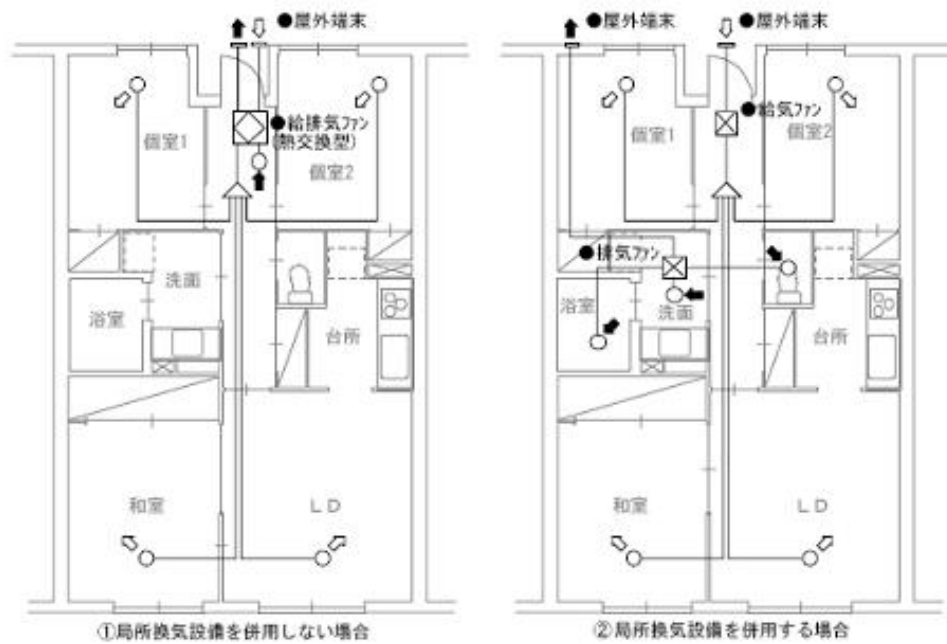
[그림 2.2.9] 바닥충격음차단성능 향상을 위한 사일런트보이드 중공슬래브 공법

3. 공기환경부문

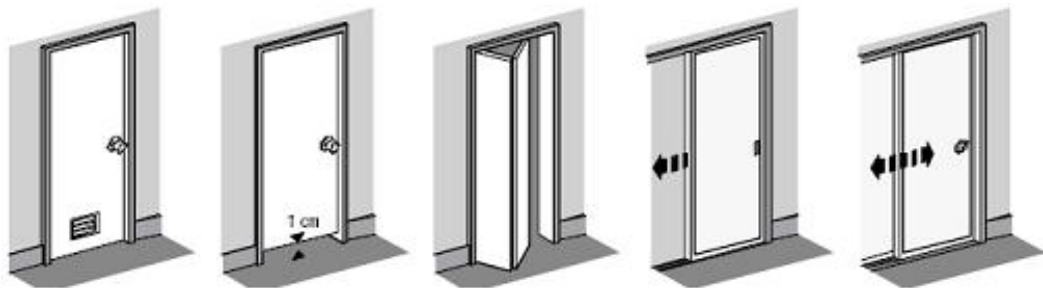
3.1 환기시스템

일본에서는 새집증후군에 대한 문제가 사회적으로 이슈가 되면서 내장마감재에 대한 사용제한하거나 의무적으로 환기장치를 설치토록 하는 규정이 건축기준법에 마련되었다.

우리나라와 주거문화가 비슷한 일본의 공동주택의 단위세대는 상대적으로 장방형으로 길게 구성되어 있어 중간에 위치한 실이나 주방과 화장실은 외기와 접해있지 않은 공간으로 이루어지는 경우가 많다. 따라서 이와 같은 공간의 출입문은 아래 그림과 같이 문틈에서 기류가 형성될 수 있는 구조를 제안하고 있다.



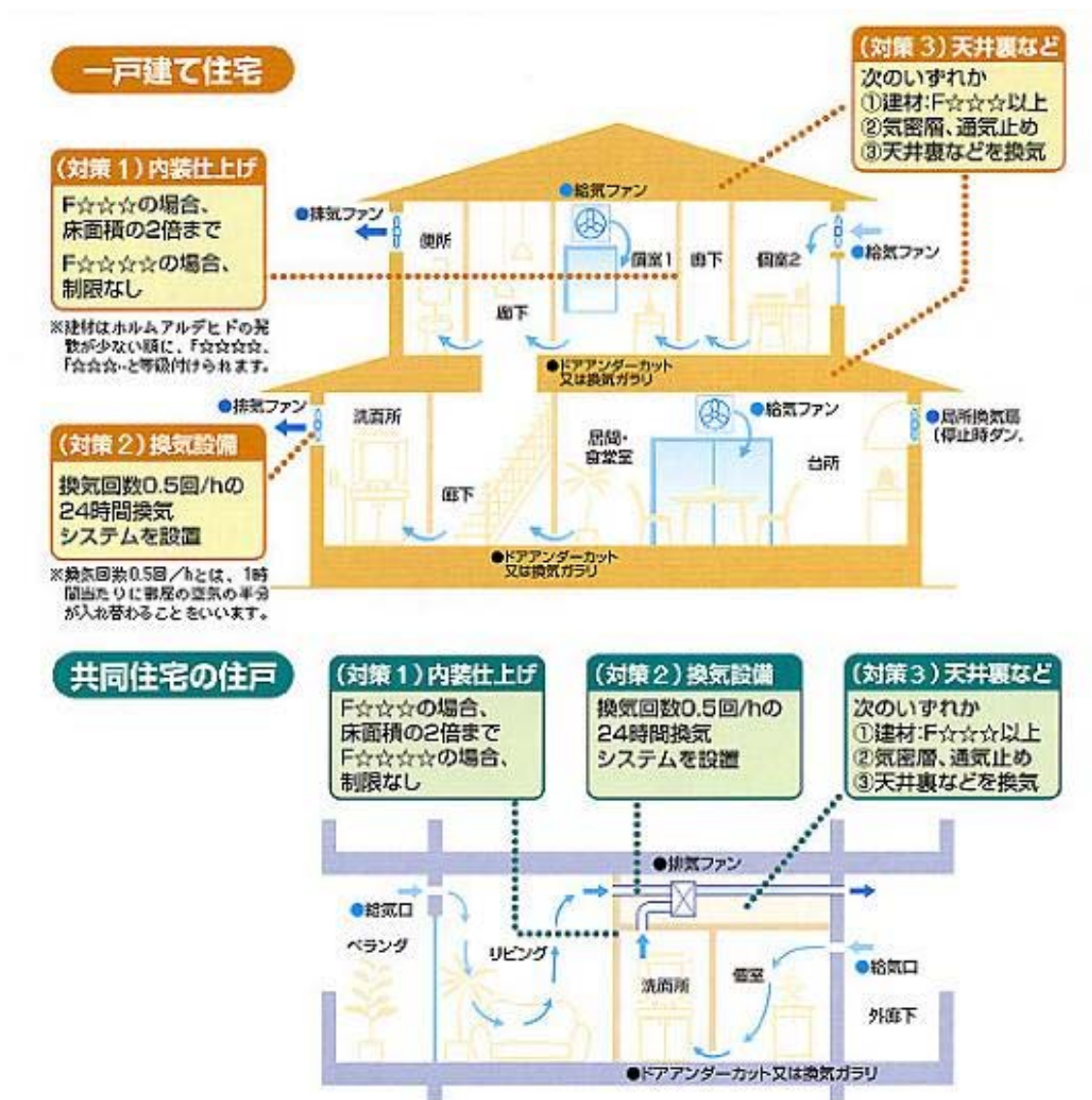
[그림 2.2.10] 일본 공동주택의 평면구조와 국소환기설비 설치 사례



[그림 2.2.11] 통풍을 고려한 출입문 구조

일본에서 각 세대내의 환기방식에는 주방과 화장실 등을 개별로 배기하여, 거실의 외벽에 면한 급기구에서 외기를 자연적으로 유입되도록 국소배기방식과, 거실, 주방, 화장실 등을 대상으로 하여 전체적으로 급배기를 하는 전반 환기방식이 있다. 최근에는 건축기준법에 의해 최소 환기방식이 채용되고 있고 최소한도의 환기량에서 24시간 연속 환기하는 방식에서 적어도 0.5회/h 정도의 환기회수를 확보하도록 규정하고 있다.

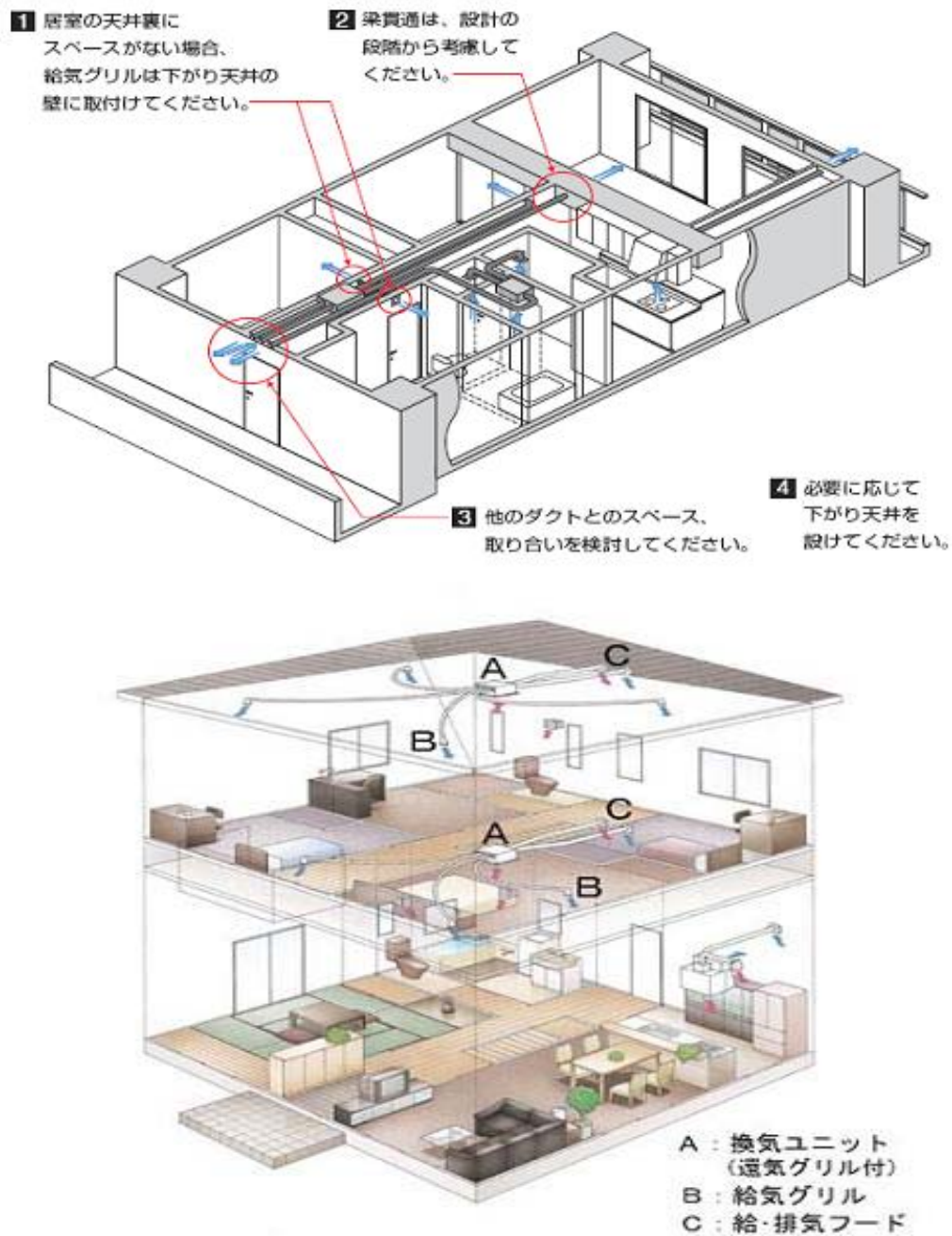
[그림 2.2.12] 일본에서 새집증후군에 대한 환기대응방법



주방의 환기는 레인지후드팬에 의해 강제적으로 배기하는 것으로 행해진다. 주방은 화기를 사용하는 장소로서 건축기준법에 의거하여 환기풍량을 만족할 필요가 있고 세대내에서는 배기풍량이 많도록 급기량과의 밸런싱을 충분히 고려할 필요가 있다. 2대의 팬을 동시에 급배기를 행하는 레인지후드팬이 채용되는 것도 있다.

공동주택에는 욕실, 화장실 등은 외기에 면하는 창이 없는 경우가 많아 통상 천장팬과 천장내의 덕트 팬 등에 의해 강제배기가 행해진다. 배기덕트를 공통으로 이용하는 것이 단순하지만 교차오염을 방지하는 의미에서는 단순한 것이 바람직한지 비용면과 천장내의 공간 유무에 의해 선택할 필요가 있다.

욕실 건조기가 설치된 경우는 욕실에 단독배기되는 경우가 많다. 일반적인 환기량으로서는 욕실에서 80m³/h(환기회수 10~20회/h), 세면소는 60m³/h(환기회수 10회/h), 변소는 30m³/h(환기회수 10회/h) 정도가 되고 있다.



[그림 2.2.13] 일본 주택에서의 환기시스템 설치 예

대류식 냉난방을 하고 미국주택에서는 천장급기 및 천장배기의 환기방식이 일반적이지만 바닥에서 급기를 하고 천장에서 배기를 하는 방식도 최근 일반화되어 가고 있다.

또한, 이와 같은 바닥 급기 천장배기 방식은 이미 선진국의 첨단사무소건물에 실내공기질(IAQ)의 향상을 위해 사용되고 있으며, 이와 같은 시스템을 채택하였을 경우 시스템의 제어성과 환기효율성 측면에서 우수하기 때문에 실내공기질을 높이기 위한 친환경 건물(green building)에 많이 채택하고 있다.



[그림 2.2.14] 환기효율이 높은 바닥급기-천장배기방식의 환기시스템

제 3 절 국내외 기술동향 분석

온돌시스템은 우리나라의 모든 주거용 건물에서 사용하고 있기 때문에 그 보급규모 및 물량을 살펴볼 때, 현행 온돌시스템에 대한 문제점 및 개선방안, 온돌시스템 관련 기술자료 마련, 그리고 새로운 개념의 온돌시스템 개발을 위해서 매우 중요한 분야로 지속적인 연구와 지원이 필요한 것으로 생각된다. 우리나라의 온돌시스템은 설계, 시공, 관리의 단계에서 기술적 근거나 자료에 의해 진행되지 못하고 경험과 가격적인 판단에 의해 이루어져 보급규모에 비해 실상 기술수준은 매우 낙후되어 있는 실정이다. 에너지를 필요로 하는 모든 기기 및 장치는 사용자의 경제적 입장뿐만 아니라 국가정책상 그 효율성(에너지 사용에 대한 경제성)을 그 제품의 상품성 평가기준으로 적용할 만큼, 검사기준을 세밀하게 또한 엄격히 설정하고 있다. 그런데, 동일한 에너지(열)를 사용하고 보유수량과 크기가 가장 큰 “온돌”이라는 기기 구조물 제품에는 이에 상응하는 기준이 없다.

한편, 최근 사회적 문제로 대두되고 있는 공동주택의 상하층간 층간소음으로 인한 거주자들의 불만이 심화되고 있으나 이에 대한 대책이 아직 마련되고 있지 못하다. 따라서 조속한 시일내에 층간소음을 평가할 수 있는 적절한 기준 및 이에 적합한 온돌구조가 개발·제시되어야 할 것이다.

향후 실용화된 온돌시스템으로 상품성을 갖추 건설시장에 진입하기 위해서는 앞에서 검토된 바와 같

이, 습식공법 수준의 공사비용, 개정된 단열규정에 적합한 열관류율 확보, 바닥충격음에 대한 차단성능 인증구조 취득 등의 현안 문제를 동시에 해결하는 관점에서 기술개발을 방향이 설정되어야 할 것이다. 또한 온돌시스템이 갖추어야 할 기본 기능 이외에도 환기와 같은 부가기능이 추가됨으로써 경제적인 시스템이 이루어진다면 시장진입이 보다 용이하게 이루어질 것이다.

본 연구에서 추진하는 다기능 통합온돌시스템은 앞에서 제시된 문제점들을 종합적으로 검토하여 해결안을 도출코자 하는 것이다.

본 연구진은 핵심기술의 확보와 풍부한 R&D, 마케팅 및 시공능력 확보, 그리고 기존에 바닥충격음 차단성능 1등급을 획득한 경험을 바탕으로 충분히 다기능 통합온돌시스템 개발이 가능할 것이다. 또한, 주거성능과 관련된 제반 규정이 점차 강화됨에 따라 시스템 적용을 위한 기회요인이 발생하게 된다.

다만, 기존 습식온돌공법에 익숙한 건설공정에 새로운 시스템에 대한 진입 거부감으로 인해 기술검증을 위한 현장적용 자료 준비와 대량시공을 위한 충분한 현장 샘플시공 경험이 필요하다고 본다.

본 연구에서는 이와 같은 측면에서 충분한 사전검토와 기술개발을 통해 공동주택에 이중바닥구조 형태의 통합온돌시스템을 아파트 건설현장에 실제 보급하는 것으로 기술개발의 방향을 설정하고 있다.



[그림 2.3.1] 다기능 통합온돌시스템의 SWOT

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행 내용

1. 개요

본 연구에서는 거주자의 생활환경(열환경, 음환경, 공기환경) 측면에서 에너지 효율적이고, 층간소음을 저감시킬 수 있으며, 쾌적한 공기환경을 제공할 수 있을 뿐 아니라 향후 동적 여건이 바뀌더라도 변경이 용이한 신공법인 “다기능 통합온돌시스템”을 개발하여 현장 검증 및 보급·확산을 위한 실용화를 목표로 하고 있다.

이와 같은 주거성능 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템의 개발목표를 달성하기 위해 아래와 같이 연구목표 및 핵심기술 목표를 설정하여 실용화가 이루어질 수 있도록 한다.



[그림 3.1.1] 연구개발을 위한 기술체계

연구 목표

- 다기능 통합온돌시스템의 실용화를 위한 현장적용 및 검증
- 다기능 통합온돌시스템의 기능부가를 위한 응용기술 개발
(음환경, 열환경, 공기환경 향상 기술)
- 시스템화된 난방패널상품 개발 및 보급을 위한 실용화 추진



- 주거성능등급 향상을 위한 다기능 통합형 온돌시스템 개발 -

핵심기술목표

- 다기능 통합온돌시스템의 프로토타입 도출
- 다기능 통합온돌시스템의 주부자재(main & sub system) 제작
- 건설교통부고시 - 성능인정구조 취득
- 기능접목을 위한 응용기술 개발
 - 이중바닥 하부공간을 활용한 자연환기조절시스템 개발
 - 배선배관의 융통성 증대를 위한 하부공간 이용 기술 개발
- 현장 시공에 의한 기술검증 및 각종 성능실험 평가
- 현장적용을 위한 공정계획, 공사시방기준 마련
- 시스템공정 및 프로세스를 고려한 시공체계 구축
- 아파트공사 건설현장 적용을 위한 실용화

2. 연구내용 및 범위

① 다기능 통합온돌시스템의 프로토타입 도출

- 다기능 통합온돌시스템의 프로토타입 도출
- 주요 부품에 대한 금형설계 및 제작
- 통합온돌시스템의 주요부품(main/sub system)제작

② 현장 실물실험을 통한 다기능 통합온돌시스템의 성능평가

- 건설업체 현장설치 및 시공성 평가
- 바닥충격음 차단성능 실험

③ 자연환기방식(바닥급기+ 찬장배기)을 위한 프로토타입 도출

- 다기능 통합온돌시스템 하부공간을 이용한 급기망 구축 및 급기 실험
- 찬장내부공간을 이용한 배기망 구축 및 배기실험
- 현장에서의 실물실험 및 환기효율 성능평가

④ 현장 시공을 통한 성능평가

- 단위세대내 설치부위별 상세설계도 작성
- 현장적용을 위한 공정계획, 품질관리체계, 공사시방기준 마련
- 주택건설 현장에서의 기술검증
- 기술검증 결과에 대한 자료집 작성

⑤ 다기능 통합온돌시스템의 현장시공을 통한 성능평가

- 이중바닥구조 하부공간을 이용한 급기챔버 및 급기시스템 개발
- 벽면 급기그릴 및 outlet 기능 통합을 위한 시스템 설계
- 수평배관배선 및 홈네트워크용 배선의 증설을 위한 하부공간 이용기술 개발

⑥ 건교부고시관련 성능인정

- 건설교통부고시 바닥충격음 차단성능 인정구조 신청 및 제작
- 중량충격음 차단성능 인정구조 취득

⑦ 다기능통합온돌시스템의 목표성능과 주거성능등급의 결과 검증

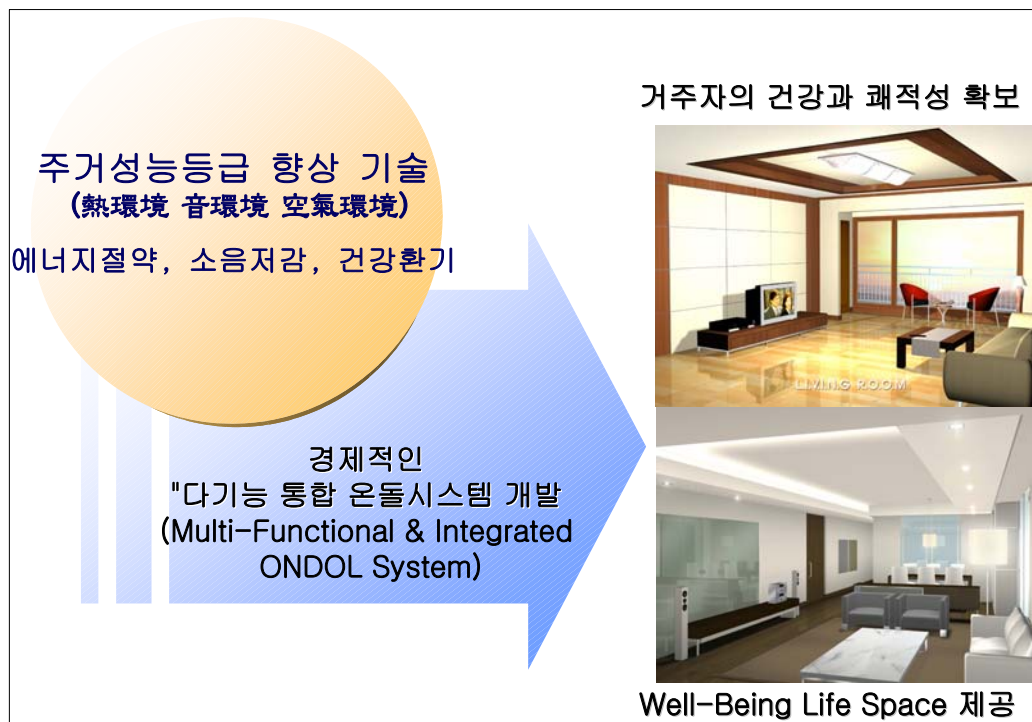
- 다기능통합온돌시스템의 목표성능 분석
- 목표성능과 주거성능등급의 성능 결과 검증

⑧ 시스템의 부자재 및 통신배선을 위한 하부공간의 구성계획

- 시스템의 표준 부자재(sub system) 제작
- 수평배관배선을 위한 하부공간의 부자재 개발

⑨ 다기능 통합온돌시스템의 실용화 추진

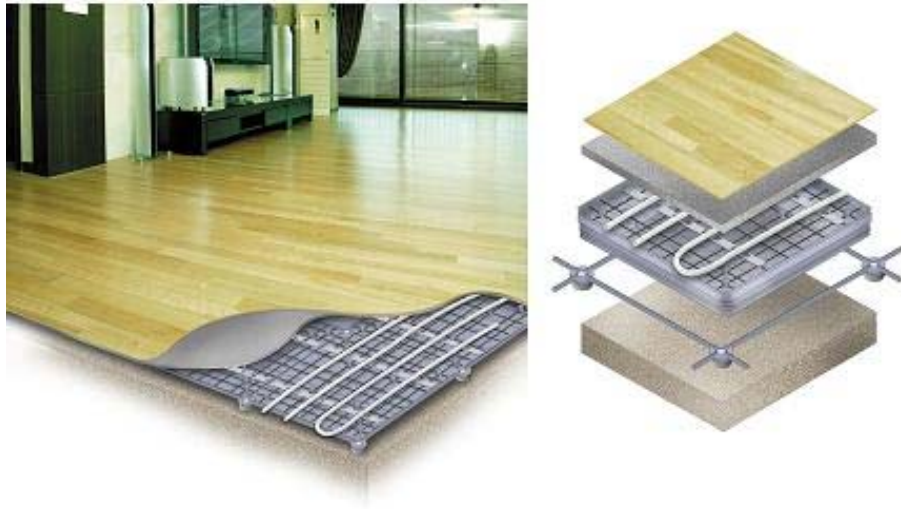
- 다기능 통합온돌시스템의 성능 및 품질관리를 위한 지침서 작성
- 실용화를 위한 공정 분석
- 생산 및 마케팅을 위한 운영체제 구축



[그림 3.1.2] 다기능통합온돌시스템의 목표

4. 다기능통합온돌시스템 개발

[그림 3.1.3]은 본 개발기술이 조립된 개념도를 나타낸 것이다. 본 개발기술은 방진재가 부착된 높이 조절용 지지대 위에 복합수지패널(600mm×600mm)을 설치하여 수평성을 확보한 후, 온수배관을 설치하고 최종 미장모르터로 마감하는 공정으로 이루어져 있다.



(a) EO₂ System



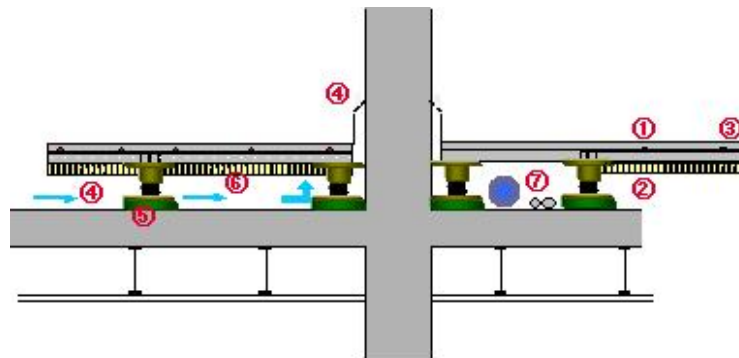
(b) XO₂ System

[그림 3.1.3] 다기능 통합온돌시스템의 구성도

여기서 본 기술은 최종 미장모르터를 제외한 모든 부품이 공장에서 제작되고 현장조립에 의해 시공이 이루어지기 때문에 시공이 간편하며 온돌공사의 전체적인 품질관리를 확보할 수 있게 된다. 또한 본 시스템에서 사용되는 높이조절용 받침대에는 특수방진재가 기 부착되어 있어 층간 소음을 차단하기 위한 별도의 추가공정이 필요치 않게 된다.

본 연구에서는 이중바닥형 난방패널시스템에서의 층간 소음을 감소시키기 위해 1) 시스템에 적합한 방진재의 도출, 2) 수평조절 지지대의 처리방법, 3) 단부를 밀폐하지 않고 개방하기 위한 마감처리기술 등에 대하여 기술개발을 완료하였다.

[그림 3.1.4]는 본 다기능 통합온돌시스템으로 방열효율 향상, 층간소음 향상, 환기효율 향상을 통해 열환경, 음환경, 공기환경 성능을 개선시키기 위한 기술적인 시스템 개념도를 나타낸 것이다.

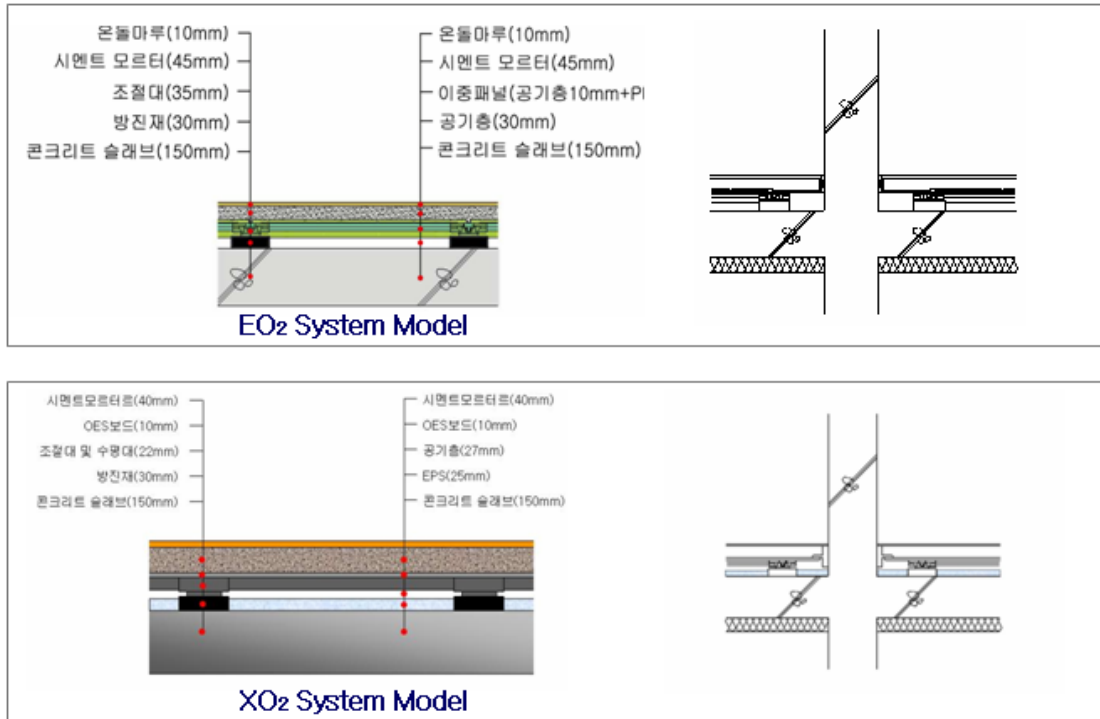


- ① 배관지 주변으로 모르타가 충전된 열효율적인 구조
- ② 공기층에 의한 하부의 방열손실 차단 및 보온성 확보
- ③ 피넬 및 온수배관의 수평성 확보로 효율적인 온수순환체계 확보
- ④ 하부공간을 이용하여 자연환기 유입통로로 활용
- ⑤ 받침대에 방진재를 부착하여 고정전달을 차단성능 증대
- ⑥ 피넬의 하부에 차음형 단열재를 설치하여 공명현상을 감소
- ⑦ 니벽부분으로 전기,통신배선공간 확보

[그림 3.1.4] 다기능 통합온돌시스템 개념도

<표 3.1.1> 다기능 통합온돌시스템의 구성품

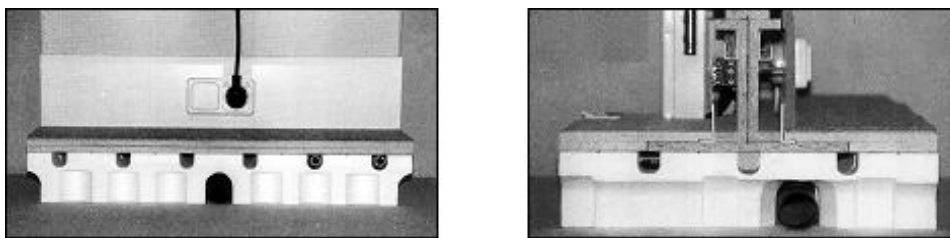
구성부품	규격	구 성 디 테 일
방진재	Type: Model #1, Model#2, Model#3 지름 : 105mm 높이 : 30mm	
조절대 (복합수지)	(小)지름 : 100mm (높이조절 : 최대30mm) (大)지름 : 100mm (높이조절 : 최대60mm)	
수평대 (복합수지)	600(26mm*542mm), 450(26mm*392mm)	
이중패널 (복합수지)	600x600 (589.5mm * 589.5mm), 600x450 (589.5mm * 439.5mm)	



[그림 3.1.5] 다기능 통합온돌시스템 개념도

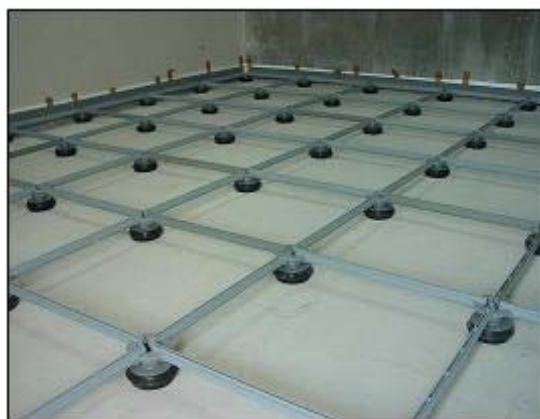
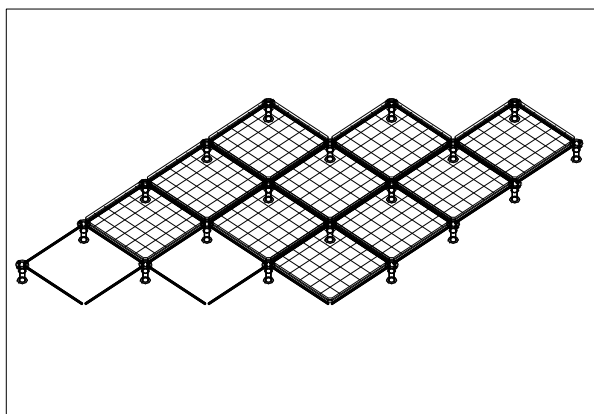
본 연구에서는 다기능 통합온돌시스템으로 [그림 3.1.5]와 같이 2가지의 모델을 개발하여 실용화를 위한 가능성을 높이하고자 하였다.

한편, [그림 3.1.6]과 같이 콘센트를 본 시스템과 결합하여 설치하는 경우 걸레받이 단부가 개방이 되어 온돌시스템이 전체적으로 뜯바닥의 형태를 이루게 됨으로써 층간 바닥충격음을 완화시킬 수 있는 구조가 된다. 또한 전기배선 및 정보통신용 배선이 필요한 곳에서 자유롭게 콘센트가 연결될 수 있게 됨으로써 거주공간에서의 융통성을 부여하는 기능도 제공할 수 있을 것이다.

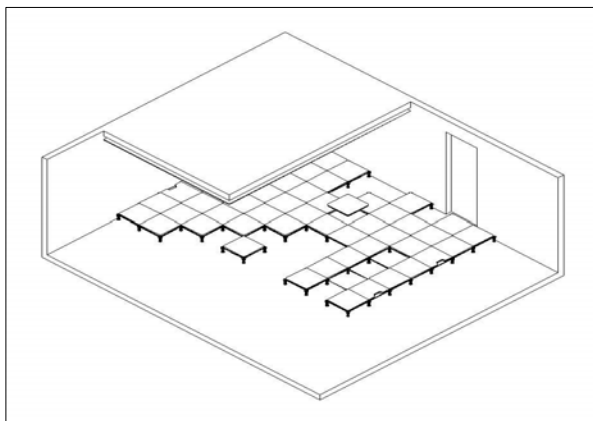


[그림 3.1.6] 걸레받이를 이용한 자유로운 콘센트 연결¹⁰⁾

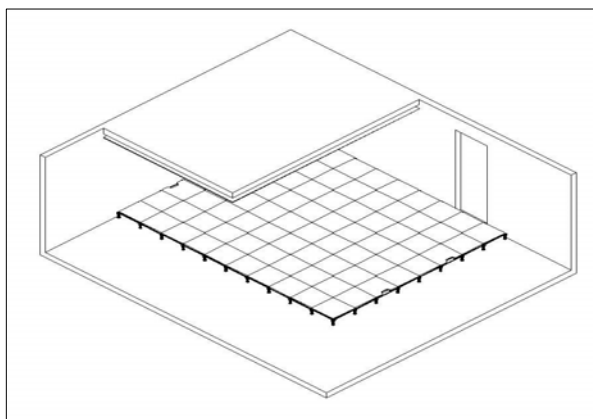
10) 건설교통부 지침 2001년 제 1호, 리모델링을 고려한 건축물 설계기준 및 해설서, 2001. 12



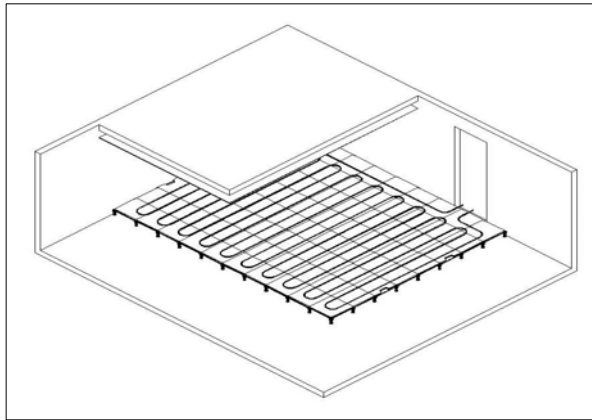
(a) 방진받침대 및 수평대 설치



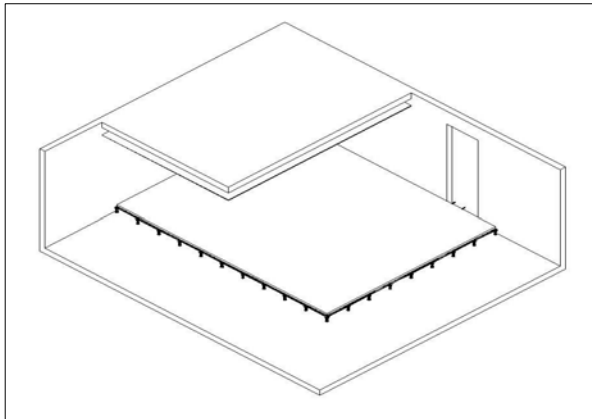
(b) 난방패널 설치공정



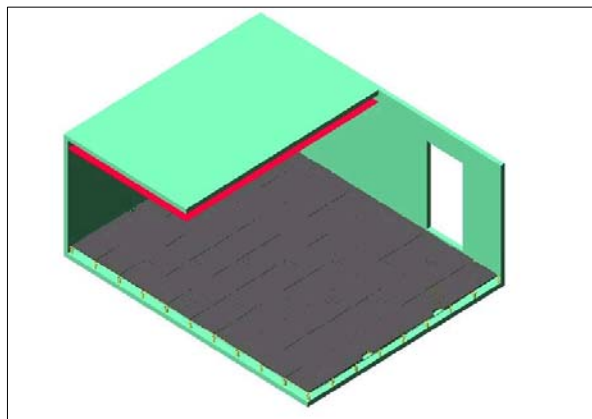
(c) 난방패널이 설치된 상태



(d) 온수배관 설치 및 마감모르터 타설 공정



(e) 미장 모르터 마감공정



(f) 온돌시스템의 완성된 모습

[그림 3.1.7] E02 System의 설치공정



a) 단열재 및 측면완충재 설치 공정



b) 방진재 및 조절대 설치 공정



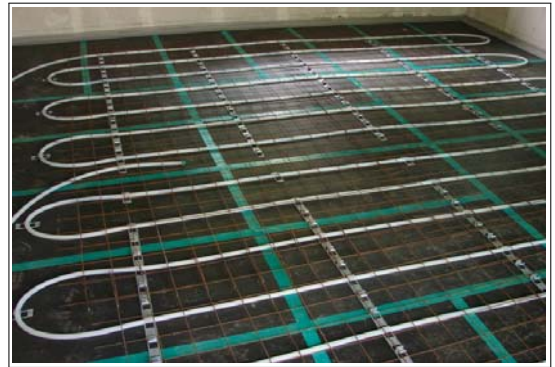
c) 수평대 설치 공정



d) OES보드 설치 공정



e) 보드 배치 / 테이핑 및 가장자리 틈새 마감



f) 크립바 및 온수배관 설치 공정 / 보강작업



g) 온수배관 위 마감모르터 미장공정



h) 양생공정

[그림 3.1.8] X02 system의 설치공정

본 연구에서는 주부자재 해당 부품(main & sub system)들을 개발하고 표준사양을 확정하여 현장시공을 실시하였다. 검증된 주부자재에 대하여 생산체계를 확정함과 동시에 기능성을 부가하기 위하여 바닥급기 + 천장배기 방식이 접목된 환기조절시스템을 포함하였다.

<표 3.1.2> 개발기술 평가를 위한 항목 및 기준

성능항목	성능기준
건축법 층간바닥 단열 기준 확보 및 기존공법 대비 전열효율 비교	KSF 2277에 따라 온돌구성층의 열관류율 $0.7\text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 이하 기존공법 대비 본 개발기술공법에 대한 에너지절약 성능 및 전열효율 비교
층간소음 차단성능 확보	KSF 2810-1,2부(2001)에 따라 잔향실 및 현장 측정을 실시하여 국내 바닥충격음 차단성능 기준(안)에 합당한 성능이상
환기효율	ASHRAE 127-1999에 따라 유입된 공기와 배출된 공기의 환기효율이 1.0 이상인지를 시험을 통해 평가
내하중성 확보	KS F 4760에 따라 제한된 면적에 가해지는 집중하중 (300Kgf/cm^2)에 대하여 내력상 및 사용상 유해한 손상이 생기지 않을 것.
현장시공성	건설기술연구원 온돌실험동 현장 시공성 평가 주택건설업체 현장 시공성 평가 등



EO₂ System

XO₂ System

[그림 3.1.9] 다기능 통합온돌시스템의 개발 모델

제 2 절 아파트현장에서의 샘플시공 및 평가

1. 개 요

현재의 바닥충격음 차단성능 시험은 대상 장소와 면적의 형태가 단위 주거공간 면적에 적용할 경우 단순한 “방” 하나 모양의 사각형태에 불과하므로 실제 현장의 조립 및 시공에 대한 효율성 및 능률 점검의 필요성이 제기되고 있다. 이에 본 연구에서는 신축 아파트 현장에서 현장적용 실험시공 및 이에 대한 성능평가를 실시하였다.

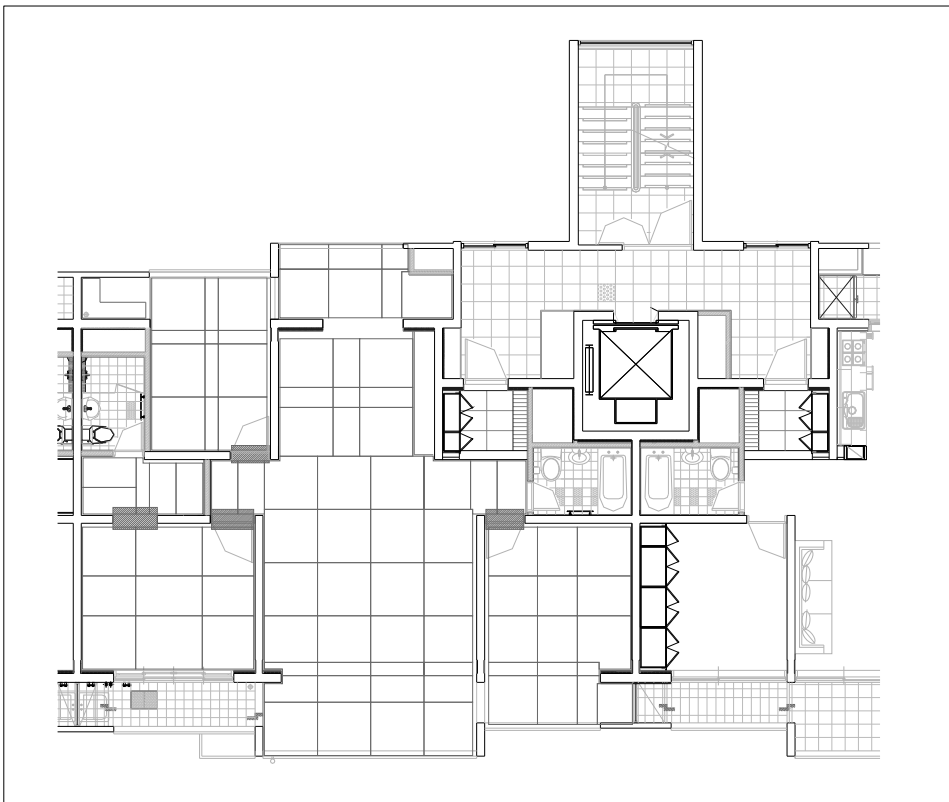
다기능 통합온돌 시스템에 대하여 공동주택에서 기존온돌공법과의 비교를 위해 2층의 2개 세대에 대하여 1호 세대에는 기존 습식온돌시스템을 설치하고 2호 세대에는 다기능 통합온돌 시스템을 설치하여 설치단계에서부터 시공, 양생, 관찰단계까지 두 시스템에 대한 동시 비교를 실시하였다.

또한 2 세대에 대하여 바닥충격음 차단성능 테스트를 통하여 개선된 시스템에 대한 성능 향상 및 기존 온돌시스템에 대한 비교결과를 살펴보았다.

2. 아파트 현장 샘플시공

1) 현장 평면도 및 모듈패널 배치 계획도

샘플시공을 위한 단위세대 평면 및 패널배치계획은 아래 [그림 3.2.1]과 같다.



[그림 3.2.1] 이중바닥 시스템 설치도

2) 시공방식

- ① 이중바닥 하부구조틀 시스템 완성 : 연구팀에서 시행
- ② 온수관 배관 및 모르타르 마감완성 : 시공사측에서 시행

3) 시공순서

- ① 소요자재 반입 및 시공 현장 정리
- ② 시스템 조립 완성
- ③ 현장 정리 및 마감
- ④ 난방 배관 공사
- ⑤ 모르타르 타설 및 표면 마감 고르기 완료

4) 시공공정

단위세대 내에서의 시공공정은 아래와 같은 순서로 진행하였다.

【제 1단계】

- (1) 세대내에 돌출된 철근이나 현장쓰레기 등을 정리하고 및 조절대 등의 부품 출발위치를 표시한다. 하부공간의 활용성을 높이기 위해 바닥면에 정보통신용 배선 구축을 위한 전처리 작업을 실시한다.
- (2) 시공작업 동선을 고려하면서 타공정/후속공정에 방해가 되지 않도록 소요부품을 반입하여 적절한 공간(예; 발코니 공간)에 적재한다.
- (3) 레이저레벨러(laser leveler)를 이용하여 기준선을 설정한다.
- (4) XO2 System의 경우 단열재를 바닥에 설치하고 벽면 완충재를 설치한다.
- (5) 벽면 기준선에서 패널이 설치되는 조절대 높이에 레이저레벨러 기준선을 설정한다.
- (6) 레이저레벨러(laser leveler)의 반사판을 이용하여, 조절대(Bolt&Nut)높이를 조절하면서 전체적인 수평을 맞추면서 개략적으로 패널모듈간격에 따라 설치한다.
- (7) 수평대를 조절대 상부에 끼워 수평대 결합 받침틀을 조립한다.
- (8) 사방으로 조립된 받침틀 사이에 이중패널을 설치한다.

【제 2단계】

- (1) 설치단위 구획면적 별 이중패널 단위모듈(module) 간의 이형공간에 이형판재를 이용하여 조립 마감한다.(주 : 주방, 식당, 거실 및 연결통로 부위)
- (2) 벽면완충재와 둘레패널을 이용하여 자투리공간을 마무리를 한다.

【제 3단계】

- (1) 이중패널이나 보드 상부면에 용접철망을 일정간격으로 설치한다.
- (2) 난방배관을 배관클립(clip)에 일정간격으로 고정시키면서 설치한다.

【제 4단계】

- (1) 아파트 현장에 사이로를 설치하고 세대내로 펌핑을 하면서 모르터를 타설한다.
- (2) 기존 습식온돌구조가 설치된 세대에 모르터를 타설하고 바로 이어서 이중바닥온돌시스템이 설치된 세대에 타설한다.
- (3) 모르터를 고르게 타설하면서 고름작업을 한다.
- (4) 난방배관 위에 모르터의 피복두께가 20mm 이상 되도록 타설한다.
- (5) 난방배관을 따라 발생하는 침하균열을 방지하기 위해 난방배관 밀부분에 모르터를 치밀히 채운다.
- (6) 바닥 미장작업은 모르터가 치밀해지도록 쇠퇴손을 이용하여 미장을 한다.
- (7) 바닥용 모르터는 시공 후 표면이 습윤한 상태로 충분히 양생한다.



[그림 3.2.2] 샘플시공 아파트 전경



[그림 3.2.3] 이중바닥온돌시스템 설치



[그림 3.2.4] 모르터 시공



[그림 3.2.5] 양생 단계

5) 바닥충격음 현장성능 평가

(1) 아파트 현장에서의 샘플시공

아파트 현장에 시공된 이중바닥온돌시스템에 대한 성능을 파악하기 위해 기존온돌시스템이 설치된 세대와 이중바닥 온돌시스템이 설치된 세대에 대하여 KS F 2810-1/2의 바닥충격음 현장측정 방법에 따라 태핑머신을 이용한 경량충격음 실험과 뱅머신을 이용한 중량충격음에 대한 실험을 실시하였다.

측정은 150mm 구조체가 설치된 아파트 조건에서 단위세대에 대한 마감공사가 이루어지기 이전의 상태에서의 실험(1차 실험)과 마감공사가 이루어진 이후에 상태에서의 실험(2차 실험)으로 구분하여 2차례 실시하였다.

아래 그림은 2차 실험조건에서 현장에서 바닥충격음을 측정하고 있는 장면을 나타낸 것이다.

<표 3.2.1> 충격음 차단성능 측정 및 평가방법

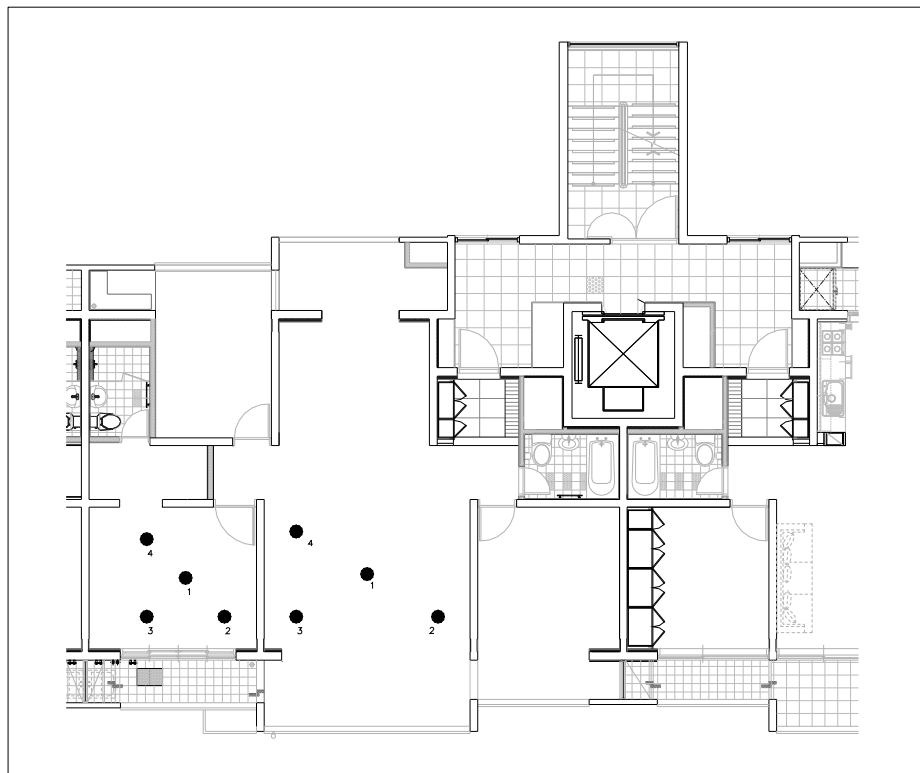
구분	경량충격음	중량충격음
측정방법	KS F 2810-1, “바닥충격음 현장측정방법, 제 1부 : 표준경량 충격원에 의한 방법”	KS F 2810-2, “바닥충격음 현장측정방법, 제 1부 : 표준중량 충격원에 의한 방법”
평가방법	충격음 차단성능 기준곡선(역 A특성 곡선)	



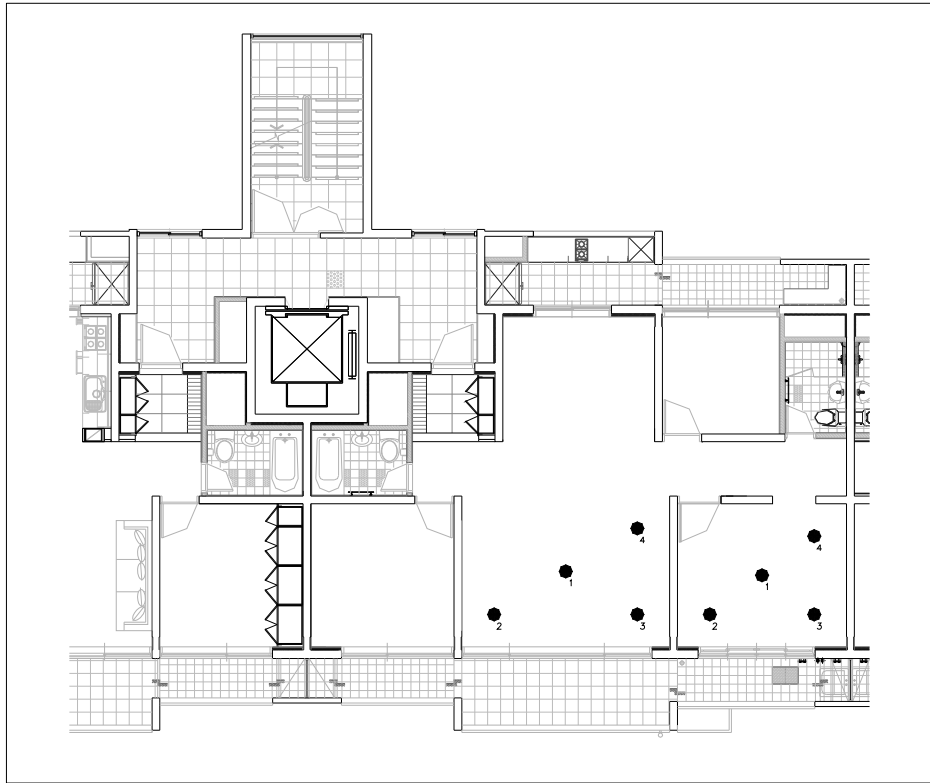
[그림 3.2.6] 충격음 시험 장면



[그림 3.2.7] 충격음 실험장면



[그림 3.2.8] 다기능 운동시스템의 바닥충격음 타격점



[그림 3.2.9] 기존 습식온돌시스템의 바닥충격음 타격점

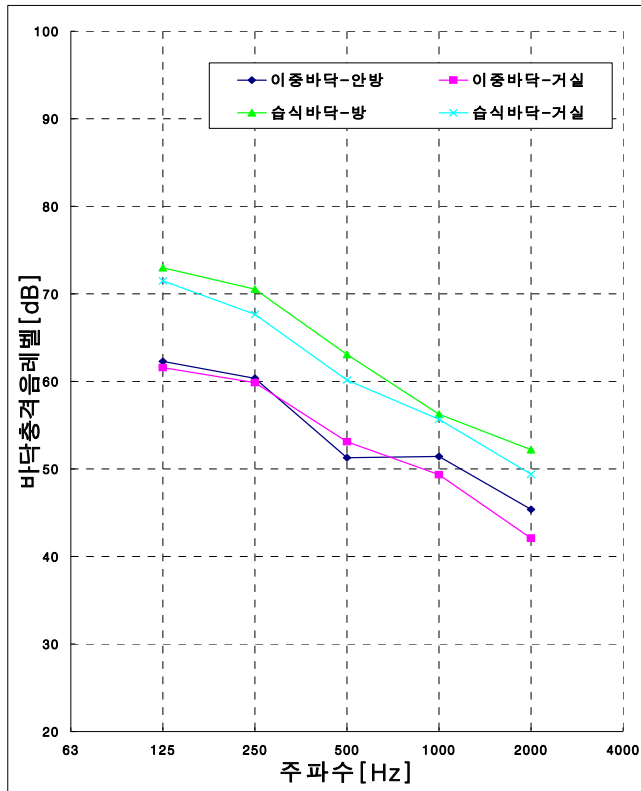
6) 1차 실험 평가

1차 실험은 150mm 구조체가 설치된 아파트 조건에서 단위세대에 대한 마감공사가 이루어지기 이전의 상태(온돌마루 및 내장마감 설치 안 됨)에서 실시하였다.

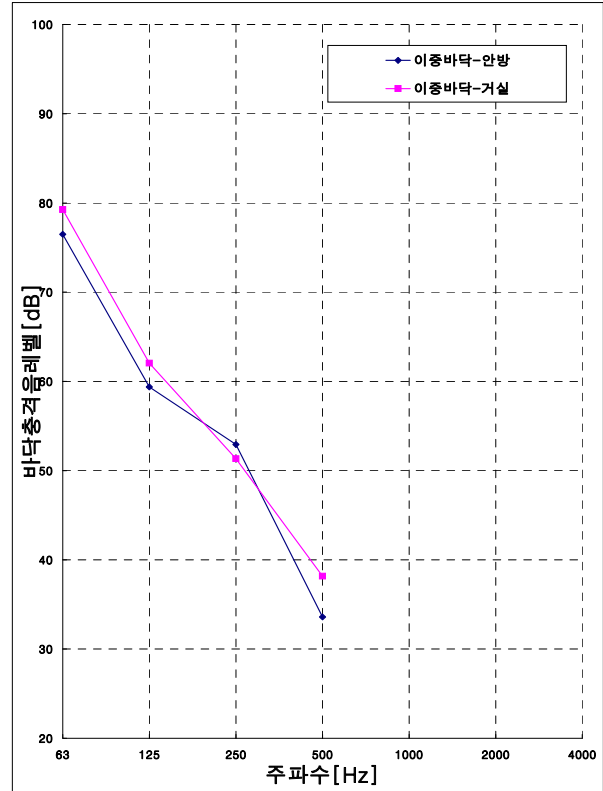
먼저 기존 습식온돌시스템이 설치된 세대에 대한 바닥충격음 차단성능 측정결과, 경량충격음 차단성능은 안방에서 56dB, 거실에서 54dB를 나타내었다. 다기능 온돌시스템이 설치된 세대에 대한 바닥충격음 차단성능 측정결과, 경량충격음 차단성능은 안방에서 47dB, 거실에서 47dB를 나타내었다.

두 세대간의 경량충격음 성능 차이는 7~9 dB를 나타내었으며, 청감상에서도 차이가 뚜렷이 나타났다. 주파수 대역별로도 전체적으로 일정한 차이를 나타내고 있어 다기능 온돌시스템이 성능향상에 충분한 기여를 한 것으로 평가되고 있다.

한편, 1차 실험에서 중량충격음 차단성능에 대하여 다기능 온돌시스템이 설치된 세대에서만 측정이 이루어졌다. 다기능 온돌시스템이 설치된 세대에서 안방에서 47dB, 거실에서 49dB로 측정되어 150mm 바닥구조체의 조건에서도 기준치 50dB를 충분히 만족하고 있는 것으로 분석된다.



(a) 경량충격음 차단성능



(b) 중량충격음 차단성능

[그림 3.2.10] 바닥충격음 차단성능 비교(1차 실험)

7) 2차 실험 평가

실험(1차 실험)과 마감공사가 이루어진 이후에 상태에서의 실험(2차 실험)으로 구분하여 2차례 실시하였다.(운동마루 및 내장마감 설치 완료)

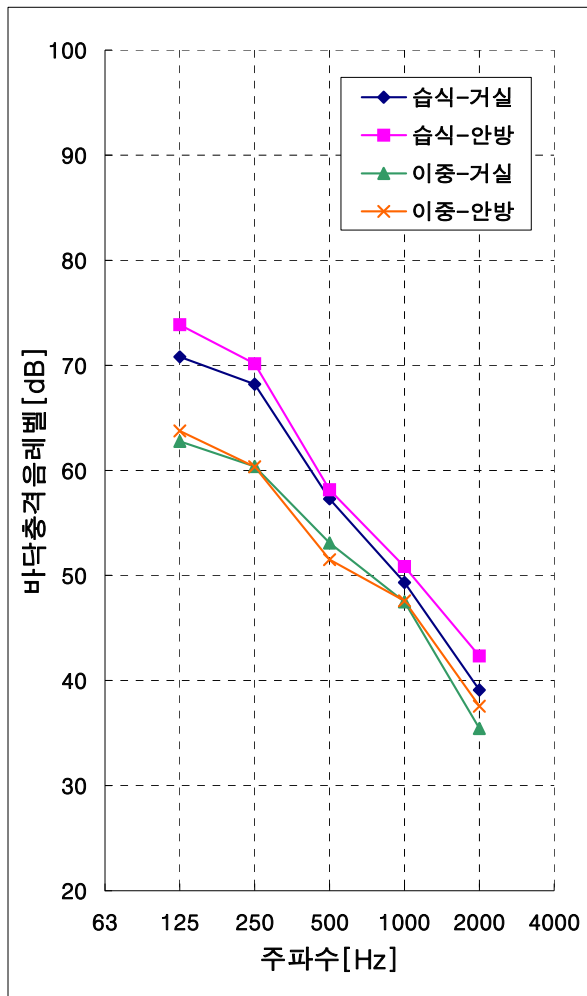
먼저 기존 습식운동시스템이 설치된 세대에 대한 바닥충격음 차단성능 측정결과, 경량충격음 차단성능은 안방에서 58dB, 거실에서 56dB를 나타내었다. 다기능 통합운동시스템이 설치된 세대에 대한 바닥충격음 차단성능 측정결과, 경량충격음 차단성능은 안방에서 52dB, 거실에서 48dB를 나타내었다.

두 세대간의 경량충격음 성능 차이는 6~8 dB를 나타내었으며, 1차 측정에서와 같이 청감상에서도 차이가 뚜렷이 나타났다. 주파수 대역별로도 전체적으로 일정한 차이를 나타내고 있어 다기능 통합운동시스템이 성능향상에 충분한 기여를 한 것으로 평가되고 있다.

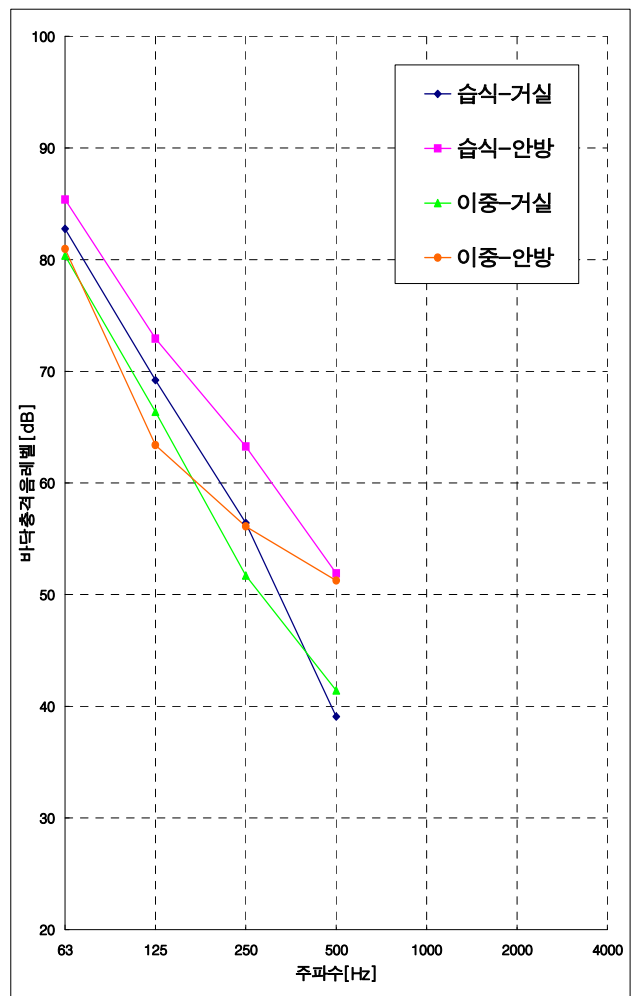
한편, 중량충격음 차단성능은 기존 습식운동시스템이 설치된 세대에 대한 바닥충격음 차단성능 측정결과, 중량충격음 차단성능은 안방에서 58dB, 거실에서 54dB를 나타내어 기준치 50dB를 상회하고 있다.

다기능 통합운동시스템이 설치된 세대에서 중량충격음 차단성능은 안방과 거실에서 각각 50dB로 측정되어 기준치 50dB를 만족하고 있다. 중량충격음 차단성능에서도 두 세대 간의 성능 차이는 4~8 dB를 나타내었으며, 1차 측정에서와 같이 청감상에서도 차이가 뚜렷이 나타났다.

따라서 본 다기능 통합운동시스템의 바닥충격음 차단성능은 기존 운동시스템과 비교해서 현장에서도 성능차이를 충분히 나타내고 있는 것으로 평가된다.



(a) 경량충격음 차단성능



(b) 중량충격음 차단성능

[그림 3.2.11] 바닥충격음 차단성능 비교(2차 실험)

제 3 절 다기능 온돌시스템의 방열성능 분석 및 평가

1. 개 요

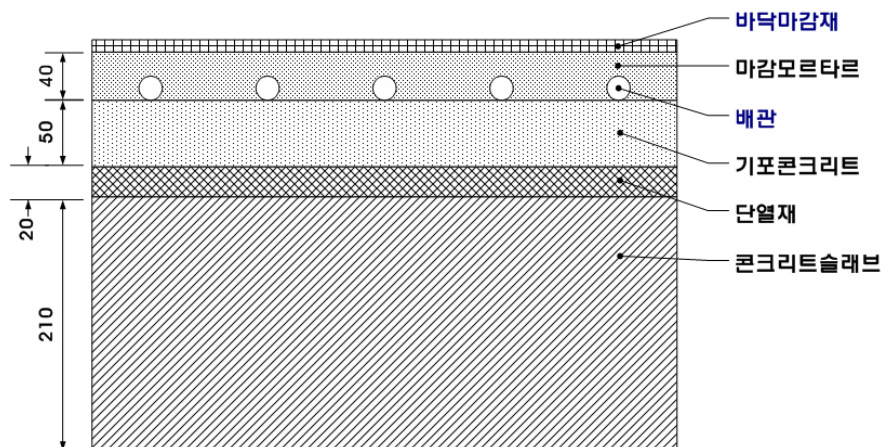
온돌시스템은 건물에서 손실되는 열을 공기로 덥히는 난방방식과는 다르게 바닥구조체에 열을 전달하여 바닥구조체를 가열시켜 실내를 난방하는 간접 난방방식이다. 따라서 온돌시스템은 구조체내에서 전열·축열 및 방열현상이 복잡하게 일어나기 때문에 이에 대한 정확한 해석이 필요하다.

온돌구조는 설계 및 시공에 있어 재료 및 단면구성 형태 등에 따라 실내 방열성능 및 하부 열손실량의 차이가 발생하기 때문에 보다 효율적인 설계를 위해서는 구성재료 및 단면 구성 등에 따른 분석이 선행되어야 한다.

본 절에서는 공동주택 층간바닥 단열규정이 적용됨에 따라 실내 방열 및 하부 열손실에 대한 비교와 층간 소음 차단기준 개정에 따른 구조체 슬래브 두께 변화 및 표준바닥구조의 방열특성을 시뮬레이션을 통해 다기능온돌시스템과 비교 분석코자 한다. 또한 이와 더불어 실험실에서의 실험시공을 통해 본 시스템의 방열성능을 평가하고자 한다.

1) 분석 모델의 설정

본 연구에서 분석모델은 공동주택에서 일반적으로 사용하고 있는 전형적인 온돌단면구조를 대상으로 한다. 2001년에 마련된 층간바닥 단열규정과 2005년에 마련된 층간소음 차단기준에 의하여 공동주택 기준층 슬래브 두께를 210mm로 설정하고, 표준바닥구조중 타입 I에 대하여 분석 기본모델로 구성하였다.



[그림 3.3.1] 분석 기본모델 설정

또한 표준바닥구조 5개 타입과 다기능통합온돌시스템 구조의 2개 타입에 대하여 케이스별로 분석하여 상부 방열량 및 하부 열손실량을 산출하였다.

2) 시뮬레이션 조건 설정

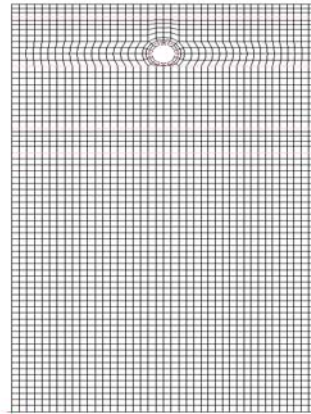
본 연구에서 사용된 열해석프로그램은 국내에서 기류해석에 많이 사용되는 FLUENT 프로그램을 사

용하였다. FLUENT 프로그램은 유체의 복사, 대류 성분을 해석할 수 있을 뿐만 아니라, 고체의 열전도 성분도 계산할 수 있는 상용프로그램이다. 이중바닥구조와 같이 고체의 열전도 성분과 공기층의 대류 성분을 같이 해석하는데 효율적인 프로그램으로 판단된다.

해석 프로그램에서 사용된 전도 해석 방법은 단순전도방정식(simple conduction equation)으로 계산식은 다음과 같다.

$$-\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S_h$$

해석모델은 약 5,000개의 격자를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 해석 모델 격자계 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.2] 해석모델
격자계

본 연구의 분석모델은 다음과 같은 기본 가정조건을 설정하여 해석하였다.

- 각 층에 설정된 재료의 물성은 동일층내에서 일정하다.
- 온수 및 온수관 표면의 온도는 동일하며 온수관 자체의 열저항 및 축열 능력은 무시한다.
- 온수관은 평행하게 일렬 배치되어 있고 온수온도는 설정조건에 따라 일정하다.
- 실내공간과 접해있는 온돌단면구조의 상부와 하부로 열전달은 대류 및 복사의 총열전달계수 형태로 이루어진다.
- 모델에서 측면으로의 열취득 및 손실은 없다.
- 실내온도는 공급된 열량에 관계없이 일정하다.

<표 3.3.1>은 온돌 구조 방열 특성 분석을 설정조건을 나타낸 것이고 <표 3.3.2>는 시뮬레이션을 위한 설정조건을 나타낸 것이다.

<표 3.3.1> 온돌구조의 설정 조건

항 목	설정값
마감재 종류	비닐마감재(R:0.02m ² K/W, d:5mm)
단열재	마루마감재(R:0.10m ² K/W, d:10mm)
배관재종류 및 외경	비드법보온관 2호(λ :0.037W/mK)
배관재의 간격	플라스틱배관(λ :0.377W/mK, d:20mm) 200mm

<표 3.3.2> 시뮬레이션을 위한 설정 조건

항 목	설 정 조 건
실 내 온 도	22 ℃
온 수 온 도	40 ℃
표면 열전달율	상면 : 11.0 W/m ² K ¹¹⁾ 하면 : 6.5 W/m ² K ¹²⁾
온수관 외경	15.88 mm

11) DIN 4725 : 바닥난방시스템의 열전달계수

상부 열전달계수 : $\alpha_{\text{upward}} = 8.92(t_{\text{FM}} - t_i)^{0.1}$ (W/m²K)

12) W. Kast and H. Klan, Berechnung von F_u bodenheizsystemen,

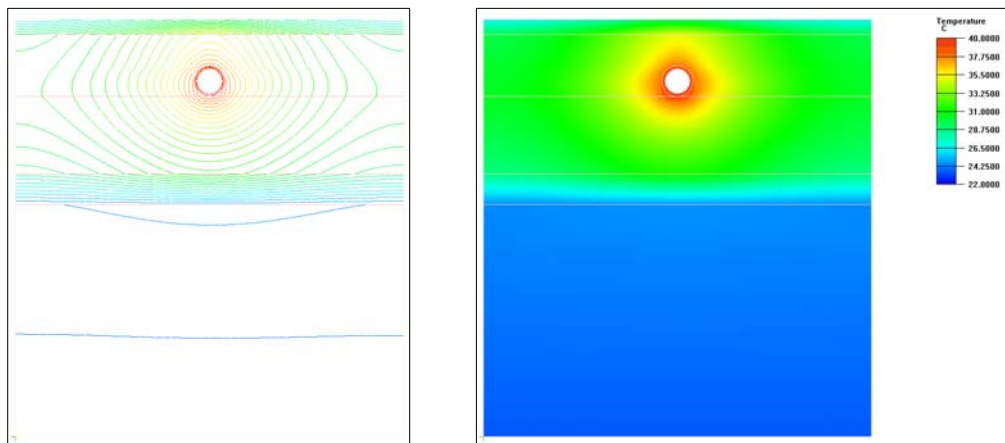
Haustechnik Bauphysik Umwelttechnik, 1984

하부 열전달계수 : $\alpha_{\text{downward}} = 6.5$ (W/m²K)

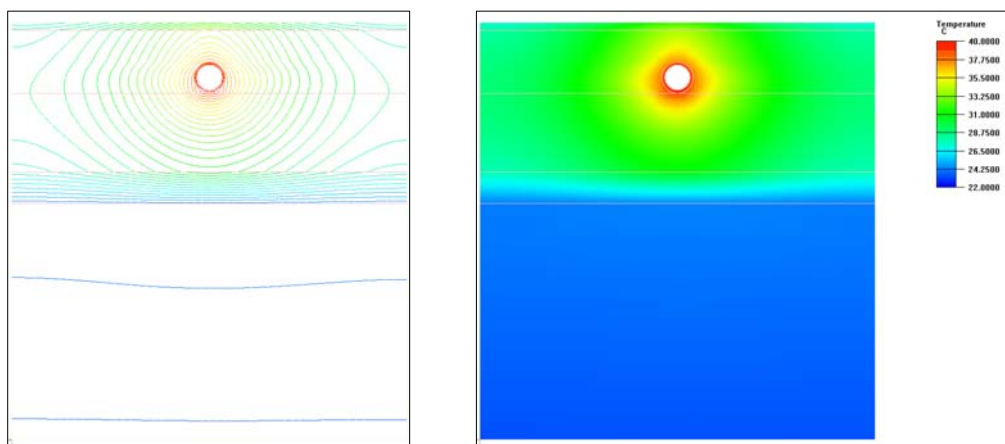
2. 공동주택 표준바닥구조에 대한 방열 성능 특성 분석

1) 슬래브 두께 변화에 따른 방열특성

공동주택의 경우 층간 소음에 의한 민원 발생이 급증하는 추세에 따라, 정부에서도 층간소음 문제를 줄이기 위하여 표준바닥구조를 제정하는 등의 관련기준을 마련하였다. 구조적으로는 슬래브 두께를 150mm로 시공해도 문제가 없지만 주택건설기준 등에 관한 규정에서 제시하고 있는 표준바닥구조는 슬래브두께가 60mm 늘어난 210mm 이상을 요구하고 있다.



[그림 3.3.3] 150mm 슬래브 두께 온돌구조의 온도분포(마루마감재)



[그림 3.3.4] 150mm 슬래브 두께 온돌구조의 온도분포(비닐마감재)

층간 소음 차단기준 개정 이전의 온돌구조에서 평균온수온도를 40℃로 설정하였을 경우, 마루마감재에서는 상부 방열량이 62.18 W/m², 하부 열손실량이 10.29 W/m²로 나타났으며, 비닐마감재에서는 상부 방열량이 75.97 W/m², 하부 열손실량이 9.27 W/m²로 계산되었다.

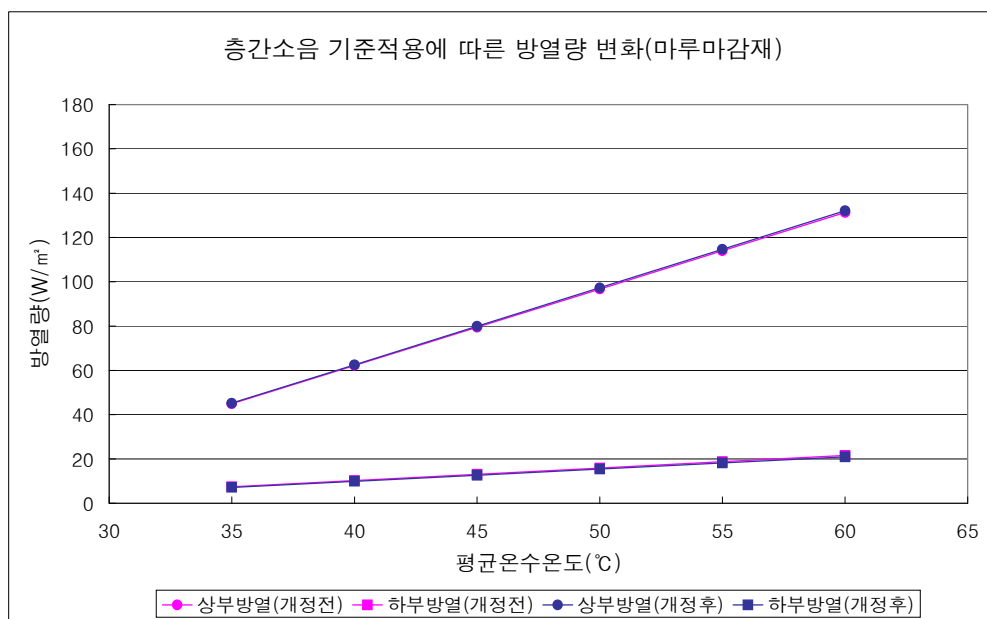
평균온수온도를 60℃로 설정하였을 경우, 마루마감재에서는 상부 방열량이 131.27 W/m², 하부 열손실량이 21.59 W/m²로 나타났으며, 비닐마감재에서는 상부 방열량이 160.39 W/m², 하부 열손실량이 19.47 W/m²로 계산되었다.

층간 소음 차단기준에 의거한 210mm의 슬래브두께 온돌구조에 따라 평균 온수온도를 40℃로 설정할 경우, 마루마감재의 상부 방열량은 0.58% 증가하였으며, 하부 열손실량은 3.54% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 비닐마감재의 경우는 상부 방열량은 0.61% 증가하였으며, 하부 열손실량은 3.51% 감소하는 것으로 나타났다.

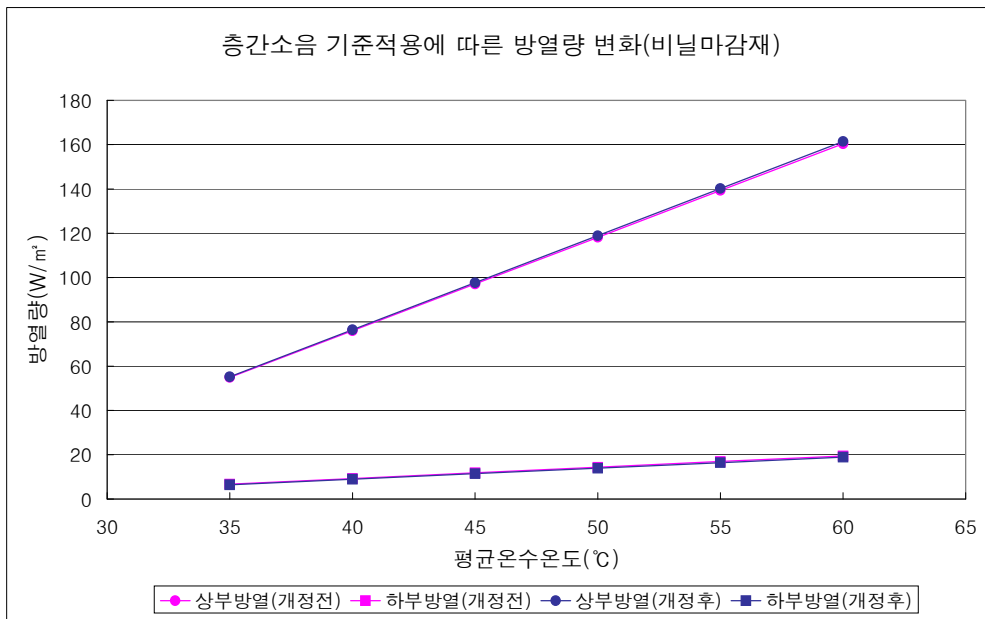
평균 온수온도를 60℃로 설정할 경우, 마루마감재의 상부 방열량은 0.58% 증가하였으며, 하부 열손실량은 3.05% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 비닐마감재의 경우는 상부 방열량은 0.62% 증가하였으며, 하부 열손실량은 2.89% 감소하는 것으로 나타났다.

층간 소음 차단기준이 적용됨에 따라 상부 방열량은 0.6% 정도 증가하고 하부 열손실량은 약 3% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 슬래브 두께는 방열량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가된다. 층간소음 차단기준 개정후 표준바닥구조에 따른 방열성능을 보면 다음과 같다.



[그림 3.3.5] 층간소음 기준적용에 따른 방열량 변화(마루마감재)



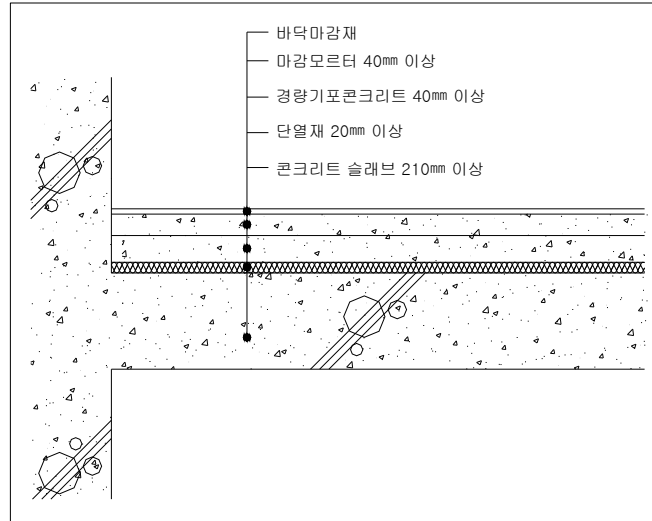
[그림 3.3.6] 층간소음 기준적용에 따른 방열량 변화(비닐마감재)

2) 표준바닥구조에 대한 방열특성

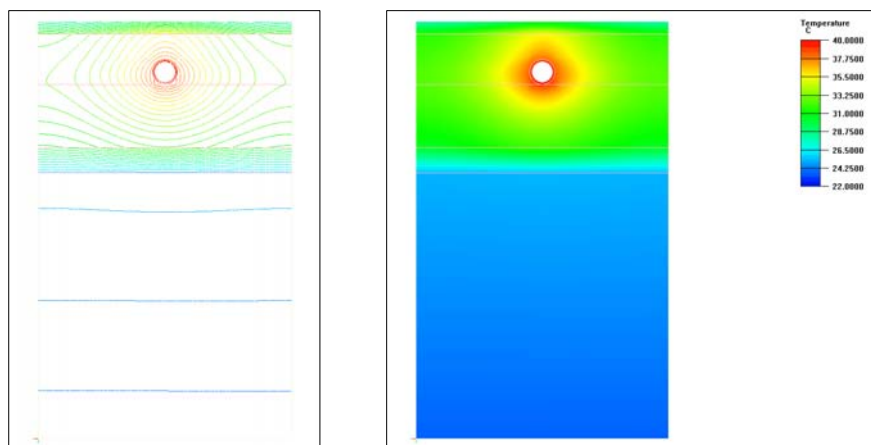
다음은 건설교통부고시 제2006-435호 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에 정의되어 있는 5종류의 표준바닥구조들의 상부방열량 및 하부 열손실량을 산출하여 각 구조들의 열성능의 차이를 비교해보았다. 지역난방방식을 고려하여 평균온수온도는 40℃로 설정하였으며, 실내온도는 22℃, 배관간격은 200mm, 바닥마감재는 마루마감재로 설정하였다.

(1) 표준바닥구조 1

표준바닥구조 1은 콘크리트 슬래브의 두께가 210mm이상 + 단열재 20mm이상 + 경량기포콘크리트 40mm이상 + 마감모르터 40mm이상으로 정의되어 있으며 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.7] 표준바닥구조 1의 단면도

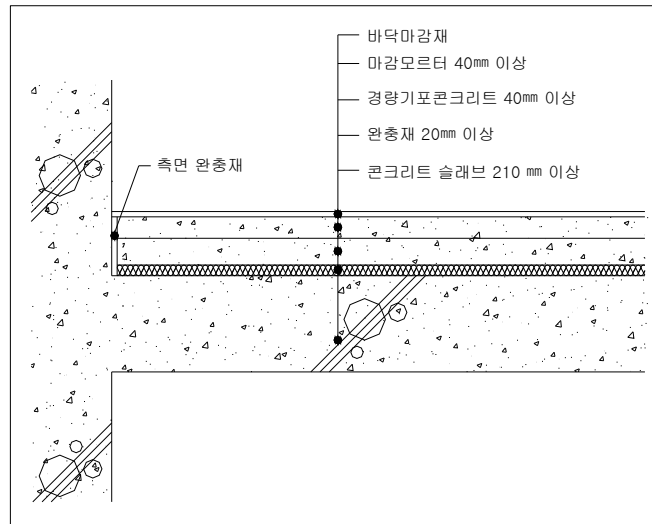


[그림 3.3.8] 표준바닥구조 1의 온도분포

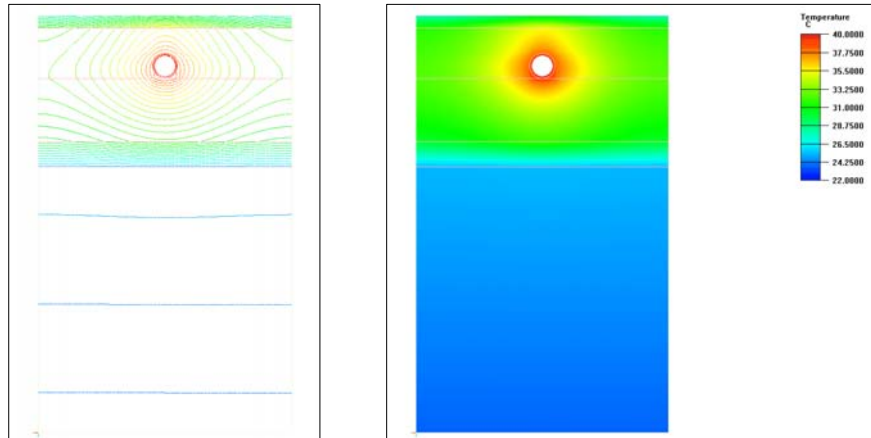
시뮬레이션 결과, 표준바닥구조 1의 상부방열량은 71.04 W/m^2 , 하부 열손실량은 11.26 W/m^2 , 평균 바닥표면온도는 28.45°C 로 나타났다.

(2) 표준바닥구조 2

표준바닥구조 2는 콘크리트 슬래브의 두께가 210mm이상 + 완충재 20mm이상 + 경량기포콘크리트 40mm이상 + 마감모르터 40mm이상으로 정의되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.9] 표준바닥구조 2의 단면도

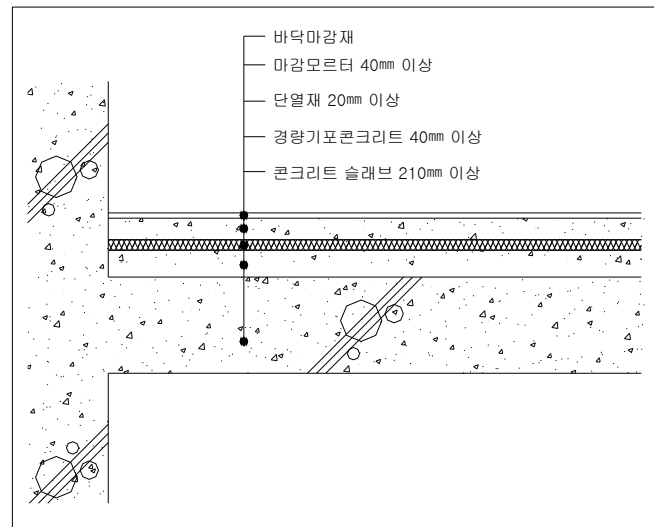


[그림 3.3.10] 표준바닥구조 2의 온도분포

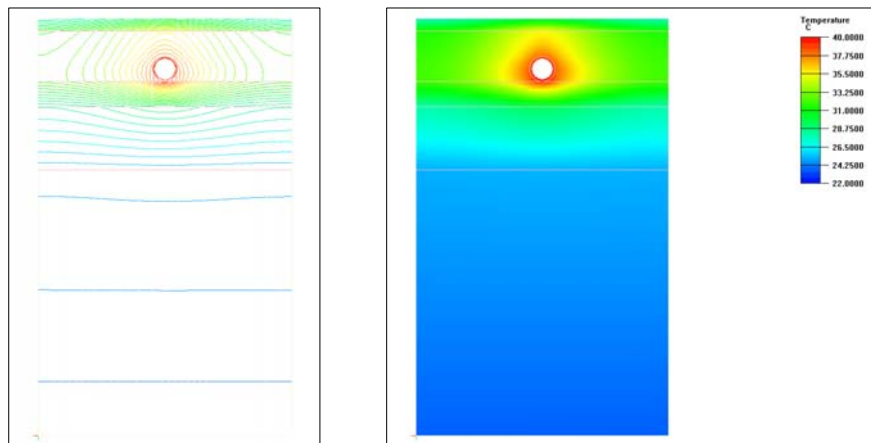
시뮬레이션 결과, 표준바닥구조 2의 상부방열량은 70.97 W/m^2 , 하부 열손실량은 11.52 W/m^2 , 평균 바닥표면온도는 28.45°C 로 나타났다.

(3) 표준바닥구조 3

표준바닥구조 3은 콘크리트 슬래브의 두께가 210mm이상 + 경량기포콘크리트 40mm이상 + 단열재 20mm이상 + 마감모르터 40mm이상으로 정의되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.11] 표준바닥구조 3의 단면도

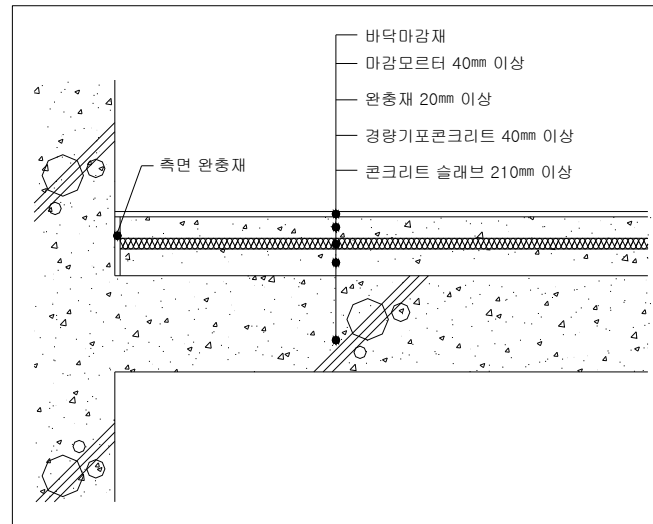


[그림 3.3.12] 표준바닥구조 3의 온도분포

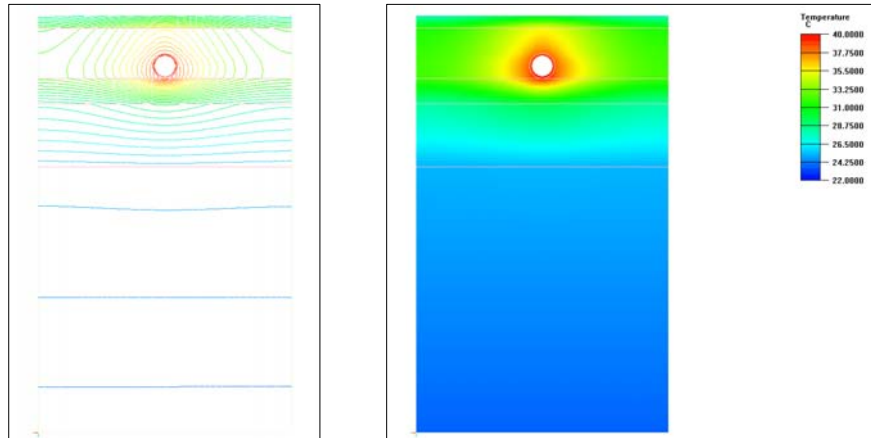
시뮬레이션 결과, 표준바닥구조 3의 상부방열량은 69.96 W/m^2 , 하부 열손실량은 11.06 W/m^2 , 평균 바닥표면온도는 28.36°C 로 나타났다.

(4) 표준바닥구조 4

표준바닥구조 4는 콘크리트 슬래브의 두께가 210mm이상 + 경량기포콘크리트 40mm이상 + 완충재 20mm이상 + 마감모르터 40mm이상으로 정의되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.13] 표준바닥구조 4의 단면도

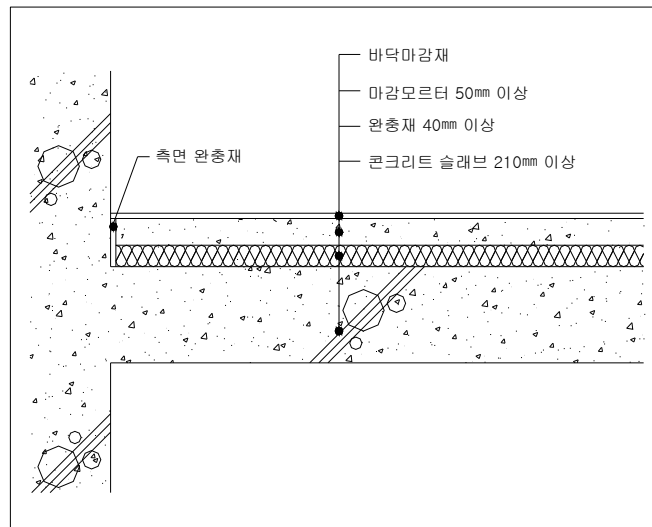


[그림 3.3.14] 표준바닥구조 4의 온도분포

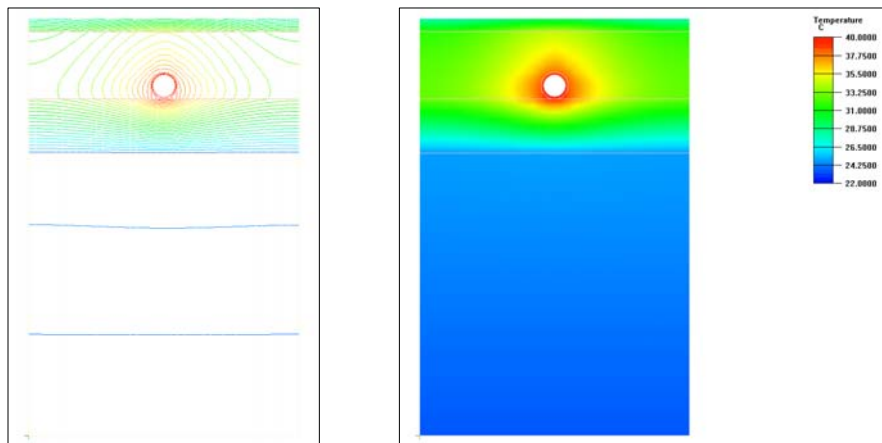
시뮬레이션 결과, 표준바닥구조 4의 상부방열량은 69.91 W/m^2 , 하부 열손실량은 11.32 W/m^2 , 평균 바닥표면온도는 28.35°C 로 나타났다.

(5) 표준바닥구조 5

표준바닥구조 5는 콘크리트 슬래브의 두께가 210mm이상 + 완충재 40mm이상 + 마감모르터 50mm이상으로 정의되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.15] 표준바닥구조 5의 단면도



[그림 3.3.16] 표준바닥구조 5의 온도분포

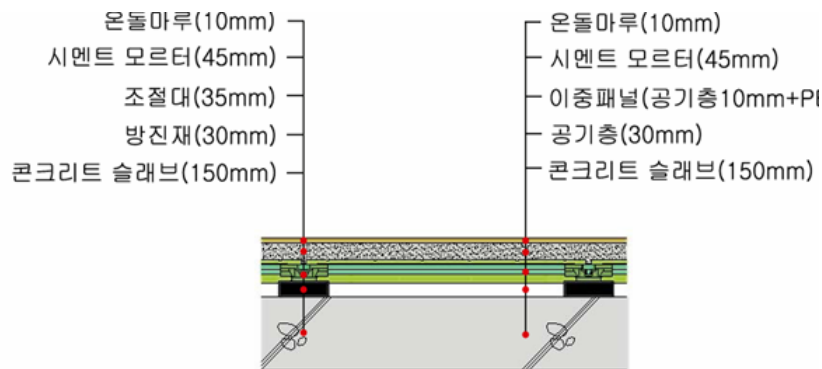
시뮬레이션 결과, 표준바닥구조 5의 상부방열량은 69.91 W/m^2 , 하부 열손실량은 9.95 W/m^2 , 평균바닥표면온도는 28.28°C 로 나타났다.

3. 다기능 통합온돌시스템에 대한 방열 성능 특성 분석

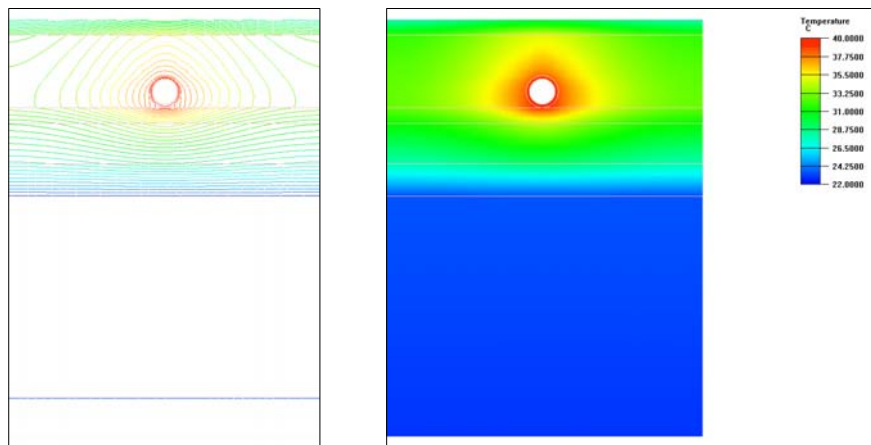
본 연구에서 바닥구조 차임구조로 인정을 받은 다기능 통합온돌시스템의 2가지 모델에 대하여 상부 방열량 및 하부 열손실량을 산출하였다. 본 시뮬레이션에 대한 조건은 표준바닥구조와 동일하게 설정하여 방열량을 산출하였다.

1) EO₂ System

EO₂ System은 시멘트 모르터 하부에 있는 패널에 단열재를 밀착하여 부착하고 하부에 공기층을 두어 열손실을 줄이는 구조로 구성되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.17] EO₂ System의 단면도

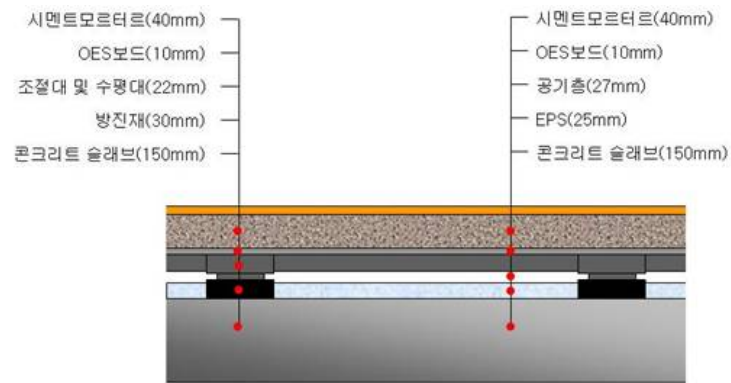


[그림 3.3.18] EO₂ System의 온도분포

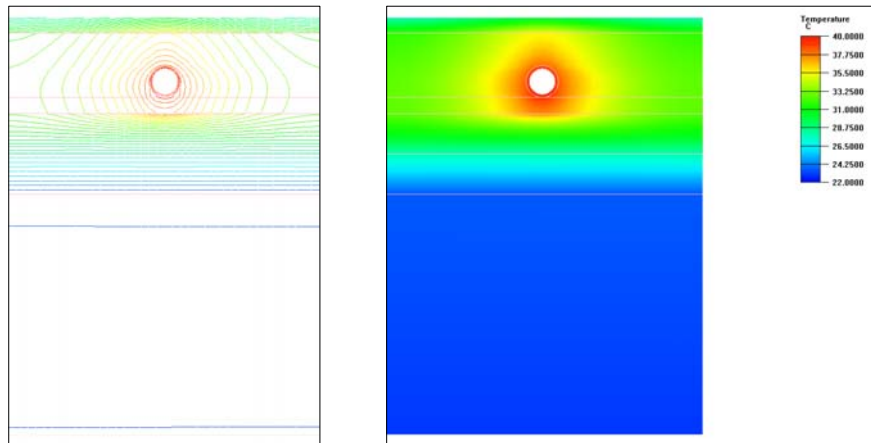
시뮬레이션 결과, EO₂ System의 상부방열량은 70.80 W/m², 하부 열손실량은 5.92 W/m², 평균바닥 표면온도는 28.43℃로 나타났다.

2) XO₂ System

XO₂ System은 콘크리트 슬래브 위에 단열재를 설치하고 마감모르터와 슬래브 사이에 공기층을 두어 열손실을 줄이는 구조로 구성되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.19] X0₂ System의 단면도



[그림 3.3.20] X0₂ System의 온도분포

시뮬레이션 결과, X0₂ System의 상부방열량은 71.84 W/m², 하부 열손실량은 6.37 W/m², 평균바닥 표면온도는 28.53℃로 나타났다.

표준바닥구조 및 다기능 통합온돌시스템의 방열성능 및 평균온도는 다음과 같이 정리할 수 있다.

<표 3.3.3> 평가모델의 방열성능 및 평균온도

평가 모델	상부 방열량(W/m ²)	하부 손실량(W/m ²)	평균바닥온도(℃)
표준바닥구조 1	71.0	11.2	28.45
표준바닥구조 2	70.9	11.5	28.45
표준바닥구조 3	69.9	11.0	28.36
표준바닥구조 4	69.9	11.3	28.35
표준바닥구조 5	69.9	9.9	28.28
EO ₂ system	75.4	6.0	28.86
XO ₂ system	75.9	6.4	28.90

표준바닥구조 5개와 이중바닥구조 2개를 비교한 결과, 표준바닥구조의 상부 방열량은 70~71 W/m²로 나타났으며, 다기능온돌시스템은 75~76 W/m²로 나타났다.

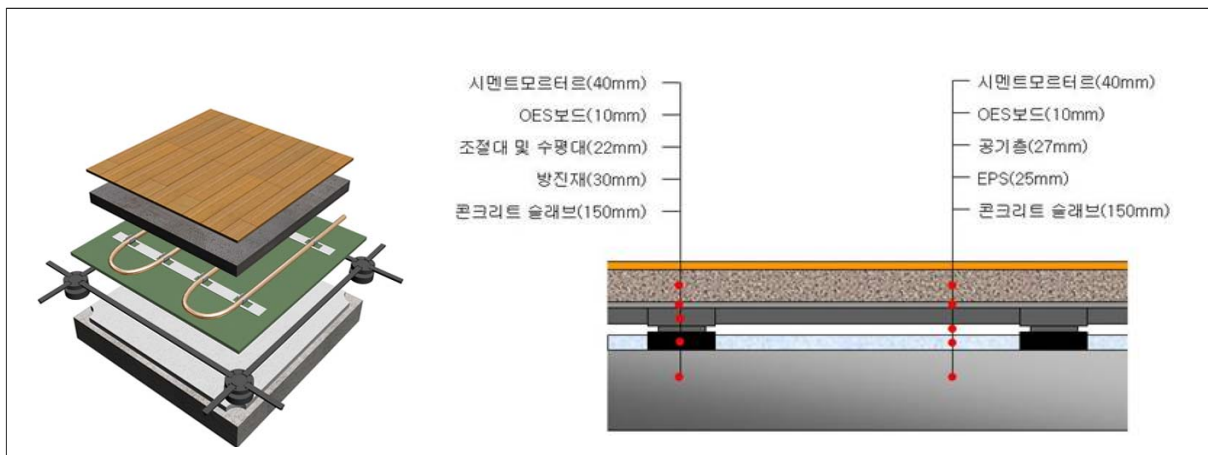
실내로 공급되는 상부방열량의 산출결과를 표준바닥구조와 비교해 보면 6~7% 정도 다기능 온돌시스템이 유리한 것으로 평가된다.

하부 열손실량은 표준바닥구조의 경우 10~11 W/m² 정도로 나타났으며, 다기능 온돌시스템의 경우 6~6.4 W/m²로 나타나 표준바닥구조보다 하부 열손실량이 40% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

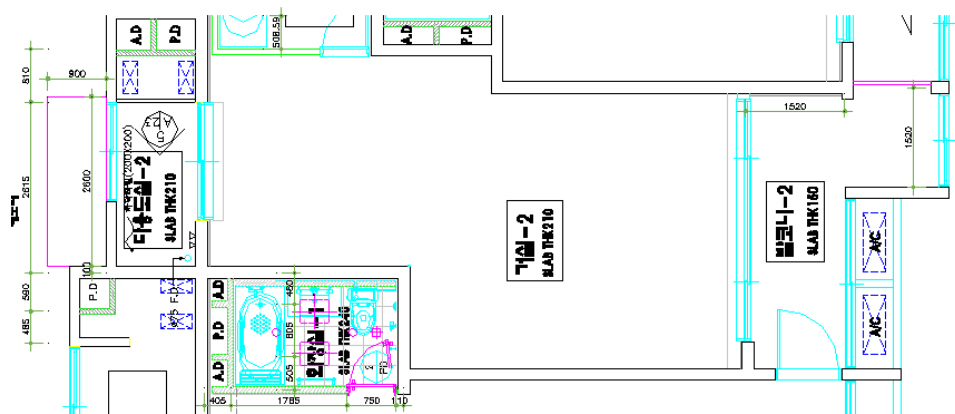
4. 공동주택 실물실험실에서의 열성능 평가

1) 실험실 개요

다기능 온돌 시스템의 방열성능을 평가하기 위하여 음성에 위치한 공동주택 형태의 시험동 2층에 거실을 구현한 실물실험실에서 2차년도에 개발된 X02시스템을 실험시공하고 동계 난방조건에서 실험을 수행하였다. X02 System은 콘크리트 슬래브 위에 단열재를 설치하고 마감모르터와 슬래브 사이에 공기층을 두어 열손실을 줄이는 구조로 구성되어 있으며, 단면 그림은 다음과 같다.



[그림 3.3.21] 실험시공된 다기능 온돌시스템(X0₂)의 구성도



[그림 3.3.22] X0₂ System이 설치된 실험실 평면도

[그림 3.3.23]은 본 시스템의 시공모습을 나타낸다. 먼저 슬래브 상부에 단열재를 배치하고 방진재 및 조절대를 설치한 후 수평대로 전체 하부 구조체의 수평을 맞춘다. 그 위에 OES보드를 설치한 후 테이핑으로 마감하고 외경 20mm의 온수배관을 배치하였다. 최종적으로 40mm의 마감모르터 시공을 하였으며, 최종마감은 온돌마루재로 마무리를 하였다.



(a) 단열재 및 방진재 · 조절대 설치 공정



(b) 수평대 설치 공정



(c) 보드 및 테이핑 공정



(d) 크립바 및 온수배관 설치 공정



(e) 마감모르터 공정



(f) 온돌마루로 마감된 실내공간

[그림 3.3.23] 음성 실물실험실의 다기능 온돌시스템 (XO₂) 시공장면

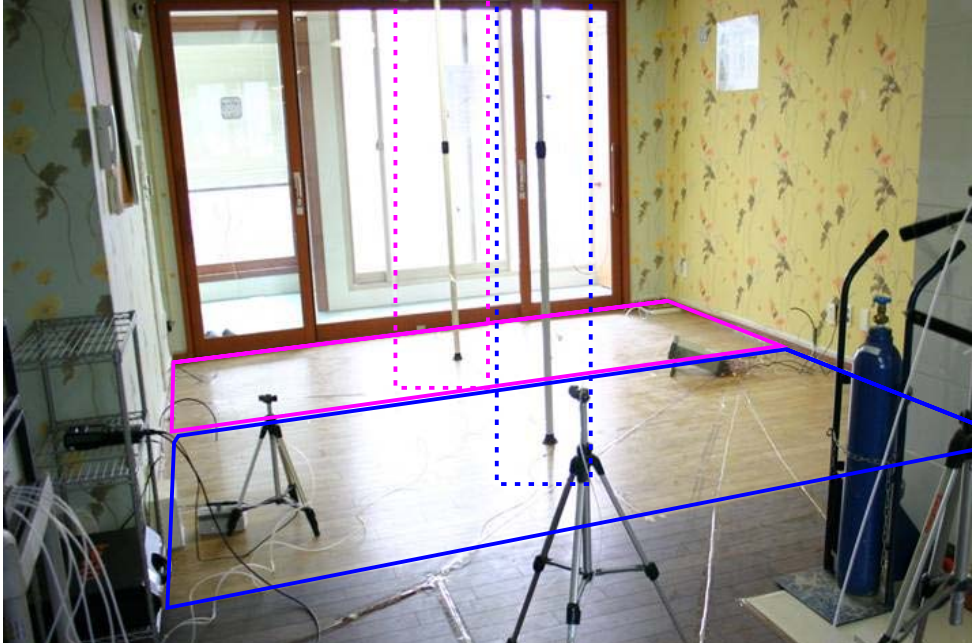
다기능 통합 온돌시스템의 열성능을 평가하기 위하여 실내에는 [그림 3.3.24]와 같이 거실을 발코니 측과 주방측으로 2개의 존으로 나누어 각각의 바닥표면에 60cm 간격으로 직 · 수평방향으로 온도센서 (thermocouple)가 부착되어 바닥표면온도가 측정되었으며 각각의 중심부에 수직높이 50cm, 100cm, 150cm에 온도센서(thermocouple)가 설치되어 실내공기온도가 측정되었다. 또한, [그림 3.3.25]와 같이 콘크리트 슬라브 표면 및 단열재, 공기층, 시멘트 모르타르, 온수배관 등 본 시스템의 구조체 각 지점의 온도분포가 측정되었다.



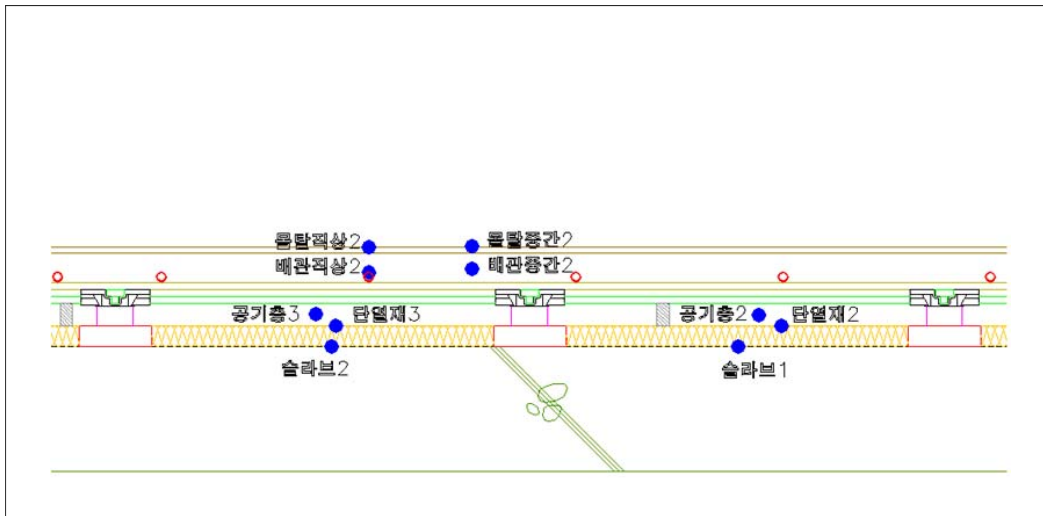
말고니측 수직높이별 실온 및
바닥표면온도 측정
바닥표면온도센서 설치



주방측 수직높이별 실온 및
바닥표면온도 측정
바닥표면온도 센서 설치



[그림 3.3.24] 다기능 통합 온돌시스템의 열성능 측정 장면 및
바닥표면온도 센서 설치 위치



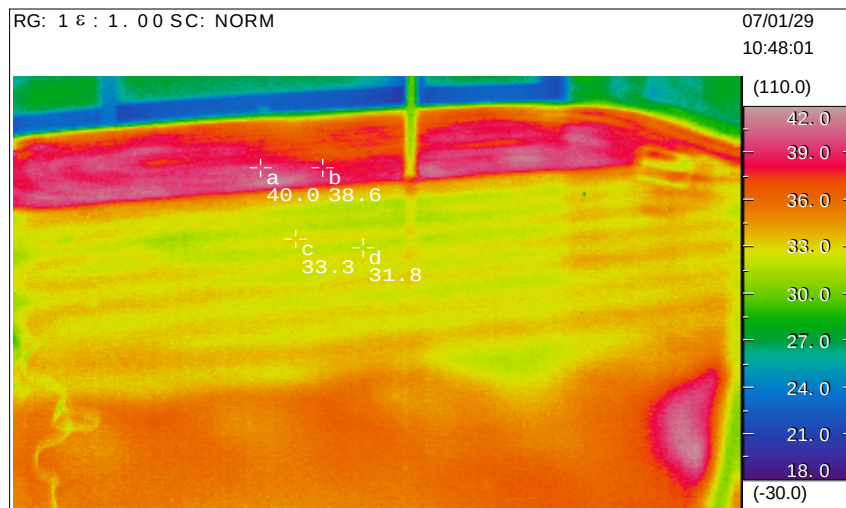
[그림 3.3.25] 다기능 통합 온돌 시스템 구조체 내부 온도 측정 위치

본 시스템의 열성능 평가 실험시 실내 설정온도는 24℃이었으며 공급된 온수는 보일러 가동시 최고 80℃로 공급되었다. 본 실험실은 거실공간을 발코니측과 주방측이 각각 구분하여 온수배관을 구성되어있으며 발코니측의 배관 간격은 100~150mm 이고 주방측의 배관 간격은 300mm이다. 또한 발코니측과 주방측의 실온제어기도 각각의 존 중심부에 따로 설치되어 이에 따라 각 존의 부하에 따라 난방이 공급된다.

2) 실험 결과

가) 바닥표면온도 분포

다기능 통합 온돌시스템이 설치된 실험실의 바닥표면온도 분포를 상세하게 분석하기 위하여 실험에 앞서 적외선 카메라를 이용하여 바닥온도분포를 촬영한 결과 실내온도를 24℃로 설정하고 제어할 경우 [그림 3.3.26]에서와 같이 배관간격 150mm로 구성된 발코니측 배관직상부의 바닥표면온도는 40.0℃([그림 3.3.26]의 a지점), 배관사이 중심부의 바닥표면온도는 38.6℃([그림 3.3.26]의 b지점), 배관간격 300mm로 구성된 주방측 배관직상부의 바닥표면온도는 33.3℃([그림 3.3.26]의 c지점), 배관사이 중심부의 바닥표면온도는 31.8℃([그림 3.3.26]의 d지점)을 나타내어 거실의 발코니측 및 주방측 모두 바닥표면온도 편차가 1.5K 내외로 균일한 바닥온도 분포를 나타내었다.

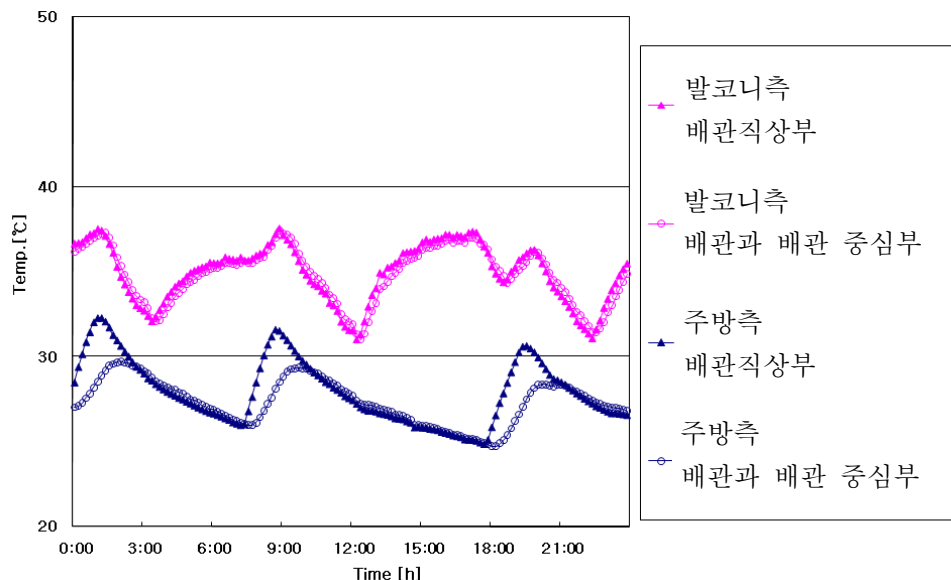


[그림 3.3.26] 실온 24℃ 설정시 다기능 통합 온돌시스템의
바닥표면온도 분포

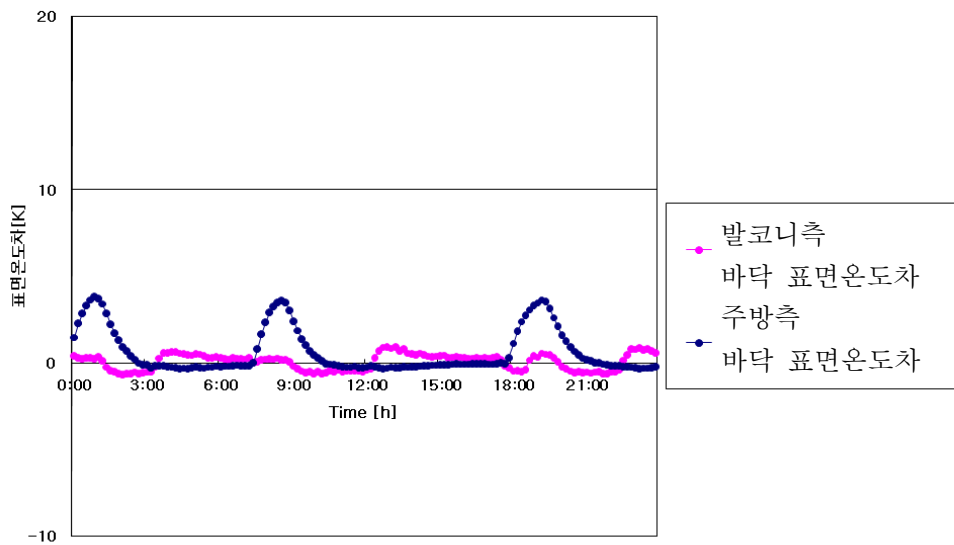
다기능 온돌 시스템의 동계 열성능 평가 실험 결과는 다음과 같다.

열성능 평가를 위한 측정은 3일 동안 연속해서 측정되었으며 실험결과는 그 중 24시간 동안의 데이터를 추출하였다. 실험결과 실내온도는 평균 23.8℃를 나타내었으며 평균 외기온도 5.2℃를 나타내었다. [그림 3.3.27]는 거실의 주방측과 발코니측에서 각각의 배관직상부의 바닥표면온도와 배관과 배관사이 중심부의 바닥표면온도 분포를 나타내며, [그림 3.3.28]은 거실의 주방측과 발코니 측에서 각각 배관직상부의 바닥표면온도와 배관과 배관사이 중심부 바닥표면온도의 편차를 나타낸 그래프이다. 주방측의 경우 배관 직상부와 배관과 배관사이 중심부와와의 바닥표면온도가 거의 유사한 값을 나타내었으며 둘간의 온도편차는 약 $\pm 1.5K$ 를 었다. 발코니측의 배관직상부와 배관과 배관사이 중심부의 바닥표면온도는 분포는 전체 시간 중 약 1/4정도의 시간동안에는 온도편차는 가장 클 때 약 +4K정도를 나타내었으며 나머지 시간동안에는 거의 동일한 값을 나타내었다.

이와 같은 결과를 통해 볼 때, 다기능 통합 온돌 시스템은 바닥표면온도가 매우 균일한 형성되는 쾌적 바닥난방이 가능한 바닥온돌시스템인 것으로 평가되었다.



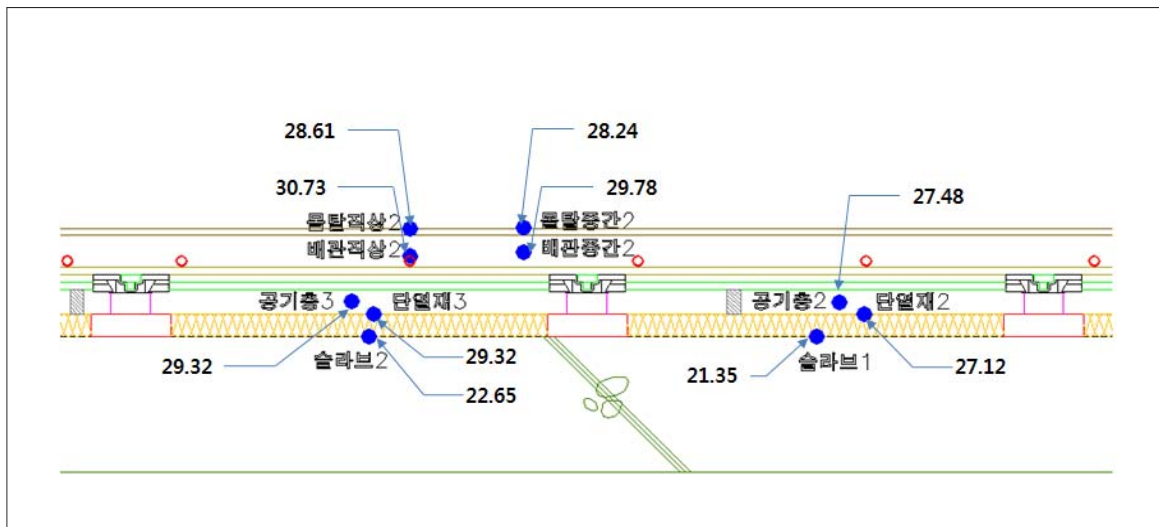
[그림 3.3.27] 다기능 통합 온돌시스템이 설치된 실물실험실의 바닥표면온도 분포



[그림 3.3.28] 다기능 통합 온돌시스템이 설치된 실물실험실의 배관직상부와 배관과 배관사이 중심부의 바닥표면온도차

나) 온돌시스템 구조체 내부 온도 분포

다기능 온돌 시스템의 열성능을 평가하기 위하여 온돌시스템 구조체 내부의 온도 분포를 측정하였다. [그림 3.3.29]는 동계 난방이 가동되는 조건에서 거실의 주방측의 온돌시스템 구조체 단면에서의 온도분포를 나타낸다. 이때, 실내온도는 22.2°C 였으며 외기온도는 -5.5°C 였다. 온돌시스템에서 열을 공급하는 온수배관(배관직상2)의 온도가 30.7°C 를 나타낼 때, 상부에 위치한 바닥온돌표면(모르터 직상2)의 온도는 28.6°C 를 나타내어 온수배관과 바닥온돌 표면과의 편차가 약 2K를 형성하였으며 이 때, 하부 공기(공기층3)의 온도와 단열재(단열재3)의 표면온도는 동일하게 29.3°C 를 나타냈었다. 최종적으로 하부의 바닥슬라브(슬라브2)의 온도는 22.6°C 를 나타내어 온수배관과의 온도차는 약 8K를 나타내었다. 이를 통해 볼 때, 다기능 통합 온돌 시스템은 상부로의 열전달 성능과 하부로의 단열 성능이 매우 우수한 것으로 평가되었다. 또한 배관직상부와 배관과 배관사이 온도차도 온수배관 레벨에서는 1K(배관직상2와 배관중간2 사이의 온도차)를 나타내고 바닥온돌 표면에서는 0.4K(모르터 직상2와 모르터 중간2 사이의 온도차)를 나타내어 바닥온도분포가 매우 균일하게 형성되는 것으로 평가되었다.



[그림 3.3.29] 온돌시스템 구조체 단면의 온도분포

3) 실험결과 분석

다기능 통합 온돌시스템의 실물실험실에서의 열성능 평가 결과 본 이중바닥온돌시스템은 온돌바닥표면에서 배관직상부와 배관과 배관사이의 온도차를 크게 형성시키지 않는 균일한 온도분포를 갖는 쾌적한 바닥온돌시스템인 것으로 평가되었다.

또한, 방열성능을 분석한 결과 상부로는 바닥표면온도가 온수배관과의 온도차 2K를 형성하고 하부로는 슬라브와 온수배관과의 온도차 8K를 형성하여 상부로의 열전달 성능이 우수하고 하부로의 단열성능이 양호한 시스템인 것으로 평가된다.

제 4 절 온돌시스템을 이용한 환기시스템 개발

1. 개요

본 이중바닥온돌시스템은 온돌시스템 하부에 공간층을 형성하고 이를 지지하는 지지점에 방진재를 설치하여 층간소음을 저감시키는 구조로 되어 있다.

이중바닥온돌시스템에서 하부에 형성된 공간을 이용하여 다양한 용도로 활용이 가능할 것이다. 즉, 이중바닥 온돌 시스템의 시공공법상 형성되는 하부공간인 온돌 구조체의 하부와 슬래브 사이의 공간(약 30~50mm)을 급기유통로, 천장 내부공간의 일부를 배기유통로로 전환시켜 주거 공간 전체에 자연환기가 이루어지게 하는 시스템을 제공할 수 있다 이와 같은 방법은 주거 공간 실내의 자연환기를 위한 공기유통경로를 별도 공정이 아닌 기존공정의 부속공정으로 실행하면서 환기시스템을 위해 추가로 발생하는 비용을 최소화할 수 있는 장점을 갖는다.

이중바닥온돌시스템을 이용하여 높은 환기효율에 의해 경제적인 방법으로 자연환기를 유도하는 방법은 다음과 같다.

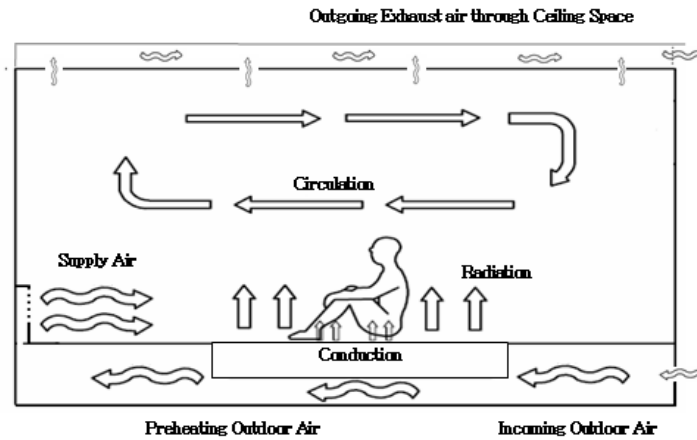


[그림 3.4.1] 이중바닥 온돌시스템의 하부공간을 이용하는 환기개념

슬래브와 온돌시스템간에 형성된 하부공간은 그 전체가 급기챔버의 역할을 하고, 천장반자와 슬래브간에 형성된 천장공간은 배기챔버의 역할을 하게 됨으로써 무덕트(ductless) 슬림형 환기시스템이 구성되는 것이다.

즉, 외부에서 발코니공간을 거쳐 이중바닥 하부를 통해 실내으로 들어오는 신선한 공기는 실내공기와 충분히 혼합되어 배출될 수 있도록 걸레받이 부근의 내벽면 하부에 공기유통을 위한 급기그릴을 설치하고 배기는 천장의 우물천장, 반자틀 또는 커튼박스 등의 틈새나 배기그릴을 이용하여 배기가 자연스럽게 이루어지도록 구성하는 것이다. 또한 주방의 가스레인지와 화장실에 이미 기 설치되어 있는 공동 배기관로와 배기팬을 이용하여 천장내 배기공기 유통로를 분할 접속시켜 이 곳으로 유입된 공기가 외부로 자연스럽게 배출되도록 하는 것이다.

이와 같은 방법은 거주자가 앉아 있는 거주역에 신선한 공기(young air)를 공급해주고 천장부근에서 오염된 공기(old air)가 배출되는 특성을 갖게 된다.



[그림 3.4.2] 다기능 온돌시스템에서의 자연환기 개념도

환기시스템은 급기와 배기가 동시에 이루어져야 가장 효과적이며 환기효율도 증대될 수 있다. 이와 같은 하부급기-천장배기의 자연환기 유도방식은 유입된 외기가 실내공간을 거쳐 부력에 의해 천장부근과 천장내부에 존재하고 있는 휘발성유기화합물이 실내로 들어오지 않고 밖으로 배출되는 특성을 갖기 때문에 기존 방식과 비교해 볼 때, 환기효율이 높아지게 된다.

또한, 현재의 층고나 천장고를 높이지 않고 현행 구조를 그대로 유지하면서 환기시스템을 자연의 원리에 의해 효율적으로 이용함으로써 환기장치를 위한 추가비용이 소요되지 않고 원가절감 및 유지관리에 있어서도 유리한 방법이라 할 수 있다. 또한, 겨울철에 발코니 공간에서 유입된 공기는 온돌시스템의 하부공간을 거쳐 실내로 유입되는 과정에서 온도가 약간 상승하기 때문에 실내로 유입되는 공기는 비교적 적정온도조건을 확보할 수 있게 된다.

2. 다기능온돌시스템의 개요

다기능 온돌시스템은 기본적으로 층간소음 차단을 위해 개발된 시스템으로 기존의 온돌시스템에 대하여 엑세스플로어(access floor)와 같은 뜬바닥구조 형태로 온돌구조가 구성되어 있다. 뜬바닥 구조에 의해 형성된 하부공간에 대하여 외부공기를 유도하기 위한 환기통로로 본 시스템을 이용하는 것이다. 동계에 실내외 온도차에 의한 부력현상을 이용하여 무동력 자연환기를 가능케 하는 시스템으로 개발이 되었으며 중간기 및 하계의 실내환기를 위하여 강제배기 및 강제급배기 또한 가능하도록 설계 되었다. [그림 3.42]와 같이 본 시스템의 자연환기 원리는 바닥 난방 시스템이 난방을 위해 가열되면서 내외온도차가 크게 나타나면서 시스템의 하부 공간으로 외기가 도입되고, 그 공기가 실내로 유입되어 환기가 이루어진 후, 천장으로 배기가 이루어진다.

1) 자연환기 모드

본 다기능 온돌시스템은 동계 실내외 온도차로 인해 발생하는 부력효과로 자연환기가 이루어지는 방식으로 별도의 동력을 요하지 않는 환기시스템이다. [그림 3.43]과 같이 1차적으로 실내외 온도차에 의해 차가운 외기가 외기도입부를 통해 20mm 높이의 바닥 난방 시스템 하부 공간으로 유입된다. 이렇게 유입된 신선 외기는 바닥 난방 시스템 하부 공간에서 난방배관을 통해 열을 공급받아가열된 후 급기그릴을 통해 실내로 유입된다. 실내 급기그릴을 통해 유입된 공기는 실내 공간에서

실내 공기를 환기 시킨 후 천장의 배기그릴로 빠져나가 천장배기관을 지나고 외부 배출구로 빠져나가게 된다.

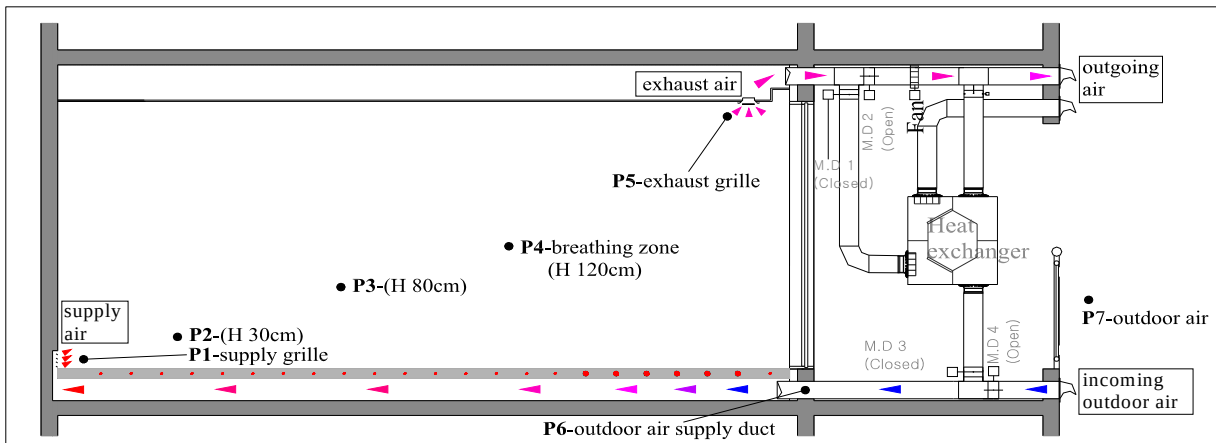
이때, 공기를 유동시키는 원동력은 실내공기온도와 외기온도, 그리고 바닥 난방 시스템 하부 공간에서 가열된 공기의 온도차로 인해 발생한 압력차에 의해 형성된다. 따라서 별도의 동력을 요하지 않는 에너지 절약형 환기 시스템이다. 또한 외기가 바닥 난방 시스템 하부 공간의 잉여열을 통해 실온보다 높은 온도로 가열된 후 실내로 도입되므로 외기 도입시 발생할 수 있는 냉감(cold draft) 현상을 막을 수 있다.

2) 배기팬 가동 모드

본 시스템의 강제배기 모드는 외기가 바닥 난방 시스템 패널 하부 공간을 지나 실내 급기그릴을 통해 실내로 유입되는 경로는 자연환기 모드와 동일하나 [그림 3.43]에서 천장의 배기 그릴 후반부에 설치된 팬을 가동시켜 강제 배기를 하는 것이다. 강제배기 모드는 봄 가을철 실내외 온도차가 크지 않고 바닥난방이 이루어지지 않는 기간에 환기를 시키기 위한 방식이다.

3) 급배기팬 가동 모드

본 시스템의 강제급배기 모드는 전열교환기를 이용하여 강제급배기를 적용하는 방식으로 동계에 전열교환기능을 이용하여 배기열을 회수하여 급기온도를 일정부분 상승시켜 cold draft 현상을 줄일 수 있는 장점이 있다.



[그림 3.4.3] 다기능 온돌시스템의 구성도

3. 다기능 통합 온돌 환기 시스템 실험시공 및 성능 평가

가. 성능평가 실험 개요

본 시스템의 환기 성능은 본 과제 2차년도에는 1곳의 실물실험실과 1곳의 실험주택에서의 동계 실험을 통해 평가 되었으며 3차년도에는 본 시스템의 환기 성능을 개선하여 1곳의 실물실험실에 적용하여 동계 실험을 수행하였다.

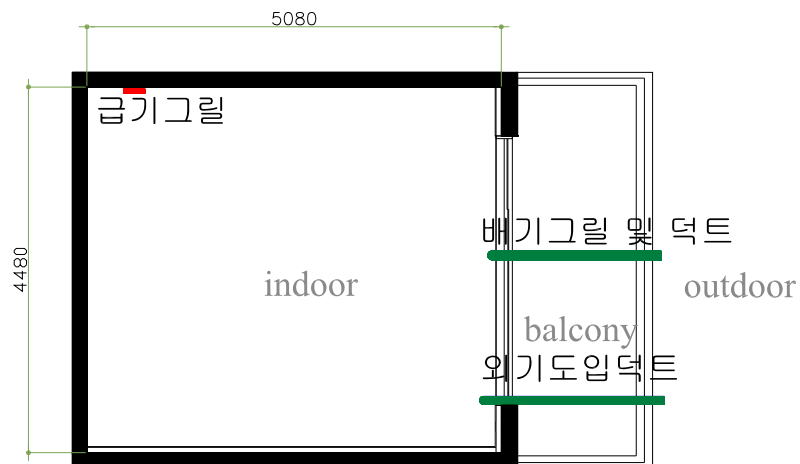
나. 2차년도 다기능 통합온돌시스템 환기 성능평가 실험

(1) 실험실 개요

2차년도에 수행된 실험의 실험실은 [그림 3.4.4]와 같이 공동주택의 거실규모로 면적 22.4㎡, 천장고 2.3m의 공간으로 구성되어 있으며, 분합문 측에 발코니 공간으로 구획되어 있다. 이와 같은 실내공간에 다기능온돌시스템을 설치하고 실험실 공간으로 외기가 유입될 수 있도록 지름 100mm의 덕트를 분합문 측에서 다기능 통합온돌시스템의 하부에 연결시키었다. 다기능 통합온돌시스템의 하부공간의 높이는 약 20mm정도를 확보하고 이 공간으로 외기가 유입되도록 하였다. 한편, 외기가 다기능 통합온돌시스템에 의해 충분히 가열될 수 있도록 분합문 반대측의 실내에 [그림 3.4.5]와 같이 1개의 급기그릴을 설치하여 외기 유입이 이루어지도록 하였다. 한편, 실내로 유입되면서 가열된 공기가 실내공기와 혼합된 후에 배기가 이루어질 수 있도록 분합문 상부측에 있는 벽체에 지름 100mm의 배기구를 설치하였다. 난방을 위해 가정용 기름보일러를 설치하여 80℃의 온수가 공급되도록 하였다.

이와 같은 단위실험실에 각 부위별로 온도센서와 기류센서를 설치하여 온돌난방을 통해 발생하는 실내외 온도차, 그리고 이에 따른 압력차에 의한 기류형성, 최종적으로 나타나는 자연환기율의 특성을 파악하였다. 또한, 추적가스 실험을 위해 <표 3.4.1>과 <표 3.4.2>에 각각 CO₂ 가스 샘플러 측정위치와 기류속도 및 온도 측정 위치가 설명되어 있다.

실험주택의 경우 [그림 3.4.8]과 [그림 3.4.9]와 같이 전면발코니에는 강제배기를 위해 배기용 팬이 설치되어 있고, 실의 후면발코니에는 전열교환기가 설치되어 있으며 실내에는 2개의 급기그릴이 설치되어 있다.



[그림 3.4.4] 실험실의 평면도

<표 3.4.1> 기류속도 및 온도 측정위치

No.	측정위치
P1	supply grille
P4	breathing zone 바닥에서 120cm높이
P5	return grille
P6	outdoor air supply duct
P7	outdoor air

<표 3.4.2> 샘플러 측정 위치

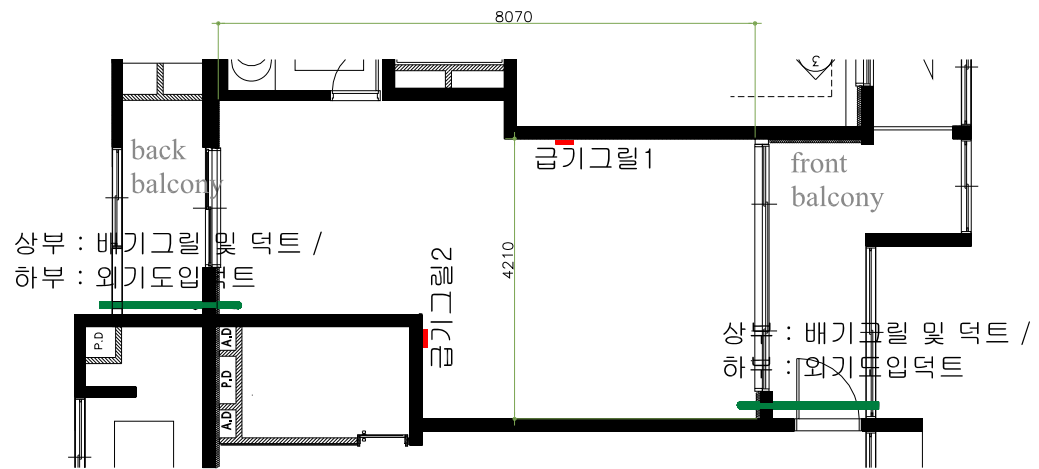
No.	샘플러 위치
S1	supply grille
S2	바닥에서 30cm높이
S3	바닥에서 80cm높이
S4	breathing zone 바닥에서 120cm높이
S5	return grille



[그림 3.4.5] 실물실험실내 급기그릴 및 천장 배기구



[그림 3.4.6] 실물실험실내에서의 환기실험 장면



[그림 3.4.7] 실험주택 2층 평면도



[그림 3.4.8] 실험주택 전경 및 단위세대내 측정 장면



[그림 3.4.9] 실험주택내 급기그릴 및 천장 배기구

(2) 공기령 (Age of air)과 환기효율 (air change effectiveness)의 측정 및
환기횟수 (air change rate) 산출

본 다기능 온돌시스템의 환기 성능 평가를 위하여 추적가스농도 실험 및 주요지점에서의 기류속도 및 온도가 측정하여 위치별 공기령 (Ai)과 환기효율 (Ei)을 산출하였다. 또한, 명목시간상수 (tn)를 통해 환기횟수가 산출되어 해당 지표를 통해 본 시스템의 환기성능이 평가되었다.

공간내 지점 i에서의 공기령 (Ai)를 계산하는 식은 다음 식(1)과 같다.

$$A_i = (1/C_o) \int_0^{\infty} C_i \delta t \quad (1)$$

추적가스 감소법에 의해 공기령은 다음 식으로 계산한다.

$$A_i = (t_{stop} - t_{start}) C_{i,avg} / C_i(t_{start})$$

여기서,

A_i = 위치 i에서의 공기령

t_{stop} = 위치 i에서의 최종 추적가스 측정시간

t_{start} = 외기 풍량이 공급될 때의 시간

$C_{i,avg}$ = t_{start} 와 t_{stop} 간의 가중평균 농도

$C_i(t_{start})$ = 시간 t_{start} , 위치 i에서의 가스농도

$$C_{i,avg} = \frac{\sum_{n=first}^{n=last-1} [\frac{C_{i,n} + C_{i,n+1}}{2} (t_{n+1} - t_n)]}{(t_{last} - t_{first})}$$

환기성능을 평가하는 지표인 명목환기횟수 (the nominal air-change rate) 는 명목시간상수 (the nominal time constant)의 역수로 산출 (ASHRAE)되는데, 명목시간상수 (τ_n)는 외부 공기가 해당 존 또는 공간에 머무르는 시간을 대표하는 값으로 식 (2)와 같으며 외부 공기에서 유입된 공기가 최종적으로 빠져나가는 배기구에서의 총 배기량과 공기나이를 통하여 산출된다.

$$\tau_n = \frac{\sum_m (Q_{ex,m} A_{ex,m})}{\sum_m Q_{ex,m}} \quad (2)$$

여기서,

τ_n = 명목 시간상수

$Q_{ex,m}$ = 배기구에서의 풍량

$A_{ex,m}$ = 배기구에서의 공기령

환기효율은 다음 식 (3)으로부터 계산된다.

$$E = \tau_n / A_{avg} \quad (3)$$

여기서,

E = 환기효율

A_{avg} = 테스트 공간에 채실자 호흡기 부근에서 측정된 공기량의 평균

어 효율적인 자연환기비용 온돌시스템이 가능한 것으로 평가된다.

2차 자연환기 실험시 실온은 평균 22.8℃, 외기온도는 평균 -4.7℃로 실내외 온도차 27.5K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 49.2m³/h로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 30.0℃로 실온보다 약 7K, 외기보다는 약 33K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

본 실험 결과 급기 급기그릴에서의 CO₂ 농도(그림 3.56)) 및 풍량(그림 3.52)의 변화폭이 다소 크게 나타나는데 이것은 외기도입부 및 배출구가 위치한 북서쪽에서 외기풍속의 증가가 그 원인인 것으로 분석된다.

강제배기 실험시 실온은 약 22.5℃, 외기온도는 평균 8.5℃로 실내외 온도차 14.0K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 41.34m³/로 자연환기시와 유사한 량으로 공급되었다. 이때, 급기기류의 온도는 평균 29.2℃로 실온보다 약 7K, 외기보다는 약 21K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다. 강제급배기 실험시 실온은 약 22.9℃, 외기온도는 평균 -4.4℃로 실내외 온도차 27.3K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 91.48m³/h로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 31.9℃로 실온보다 약 9K, 외기보다는 약 36K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

<표 3.4.3> 환기성능 평가 결과

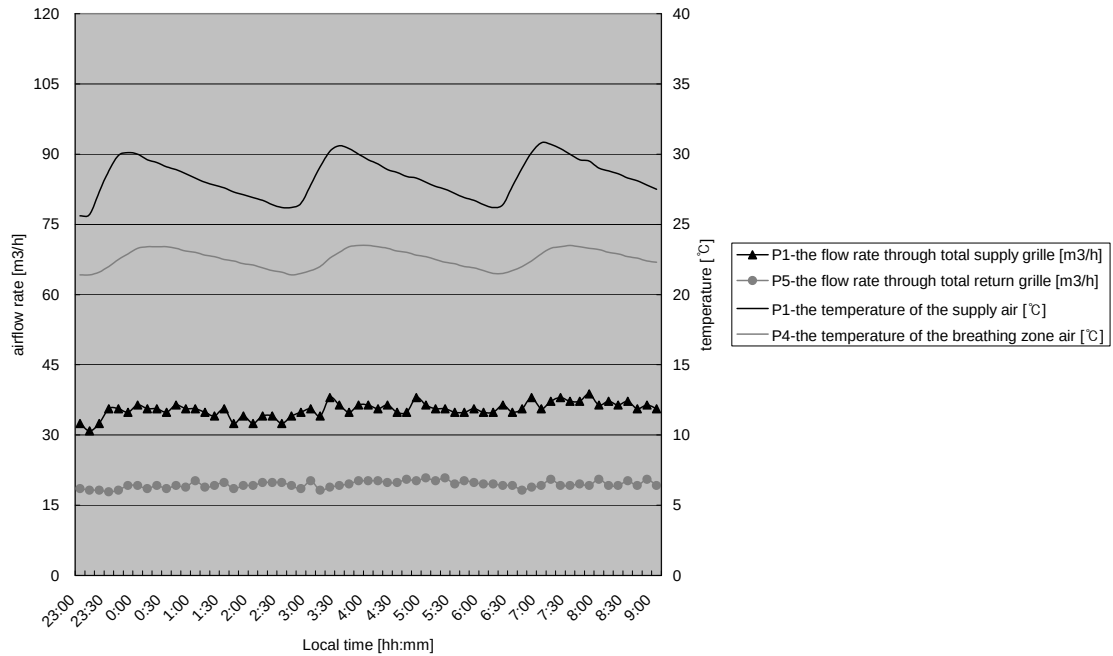
		자연1	자연2	강제배기	강제급배기
외기	온도	4.3	-4.7	8.5	-4.4
	풍속	1	4.4	0.7	2.1
	풍향	남서	북서	남서	서
실내온도		22.6	22.8	22.5	22.9
실내외온도차[K]		18.8	28.5	14.1	27.3
급기량[m ³ /h]		35.47	49.21	41.34	91.48
배기량[m ³ /h]		19.42	23.91	74.83	81.67
환기횟수[회/h]		0.42	0.79	1.56	1.79

실험결과, 자연환기시 환기횟수0.42회/h, 0.79회를 나타내어 환기 성능을 충분히 나타내는 것으로 평가되었다. 2차 자연환기실험은 1차 자연환기 실험조건보다 외기온도가 낮아져 실내외 온도차가 6K 정도 더 증가하자 환기횟수가 시간당 평균0.42회에서 0.79회로 약 2배 가까이 증가하는 것으로 나타났다. 실내외 온도차에 의해 환기가 이루어지는 자연환기는 외기온도의 영향을 매우 크게 받는 것을 알 수 있다.

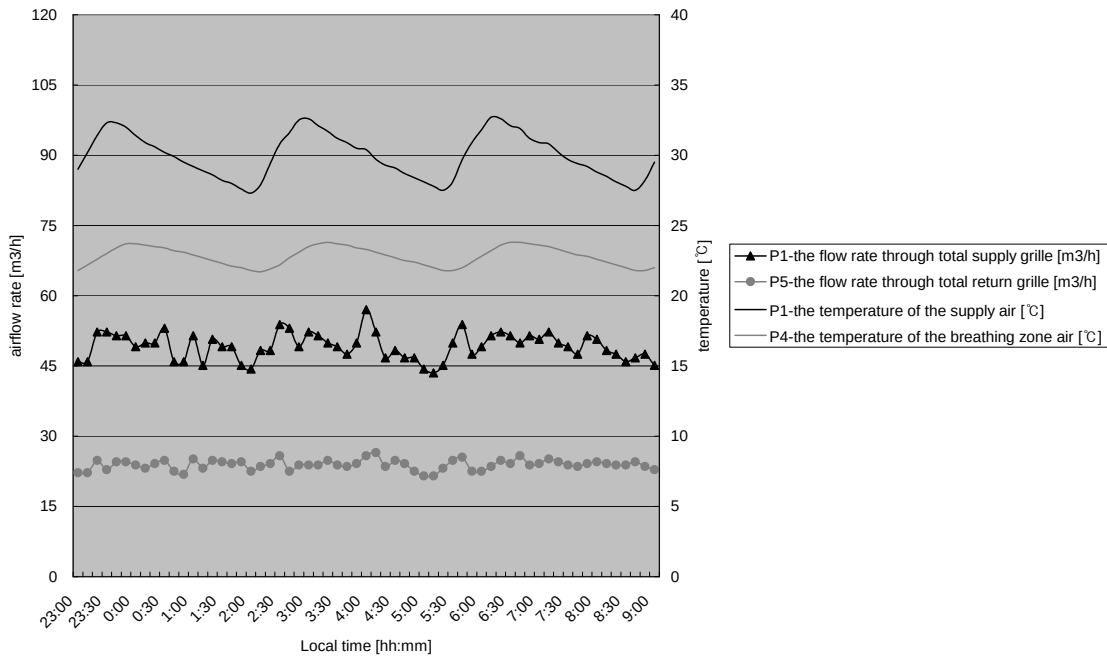
또한, 강제배기와 강제급배기의 경우 추적가스 실험 결과 둘 다 시간당 환기횟수 1.5회 이상으로 충분한 환기가 이루어지는 것을 알 수 있었다. 강제배기의 경우 외기조건이 평균 8.9℃임에도 불구하고 충분한 환기가 이루어져 동계는 물론 간절기의 환기시스템으로 충분한 환기 효율을 나타내는 것으로 평가되었다.

또한 모든 경우에 있어서 급기그릴의 풍량이 실내온도와 유사한 패턴으로 변동되는 것을 알 수 있었는데, 이는 바닥 난방 시스템하부의 공기 온도가 난방의 가동패턴에 따라 변동하기 때문이다.

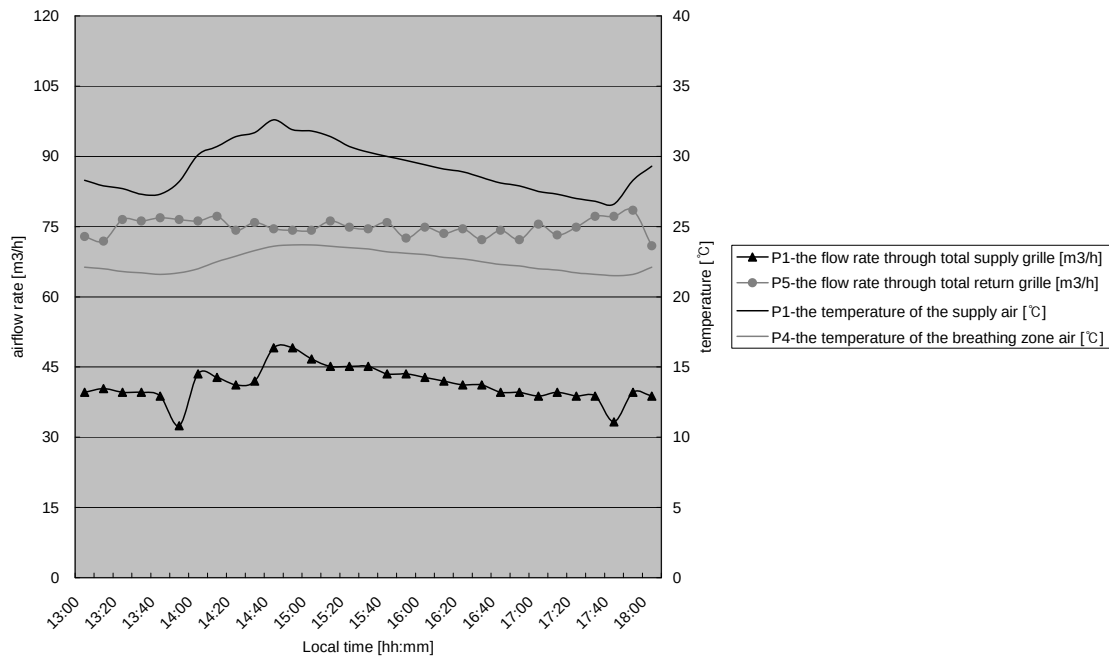
난방 가동시 온수 공급에 의해 바닥 난방 시스템하부의 공기가 가열되게 되면 실내공기와의 온도차에 의해 압력차가 발생하여 급기그릴의 풍량이 증가하게 되고, 난방 정지시 바닥 난방 시스템하부의 온도가 낮아지게 되면 마찬가지로 취출부의 풍량도 줄어들게 되는 것이다.



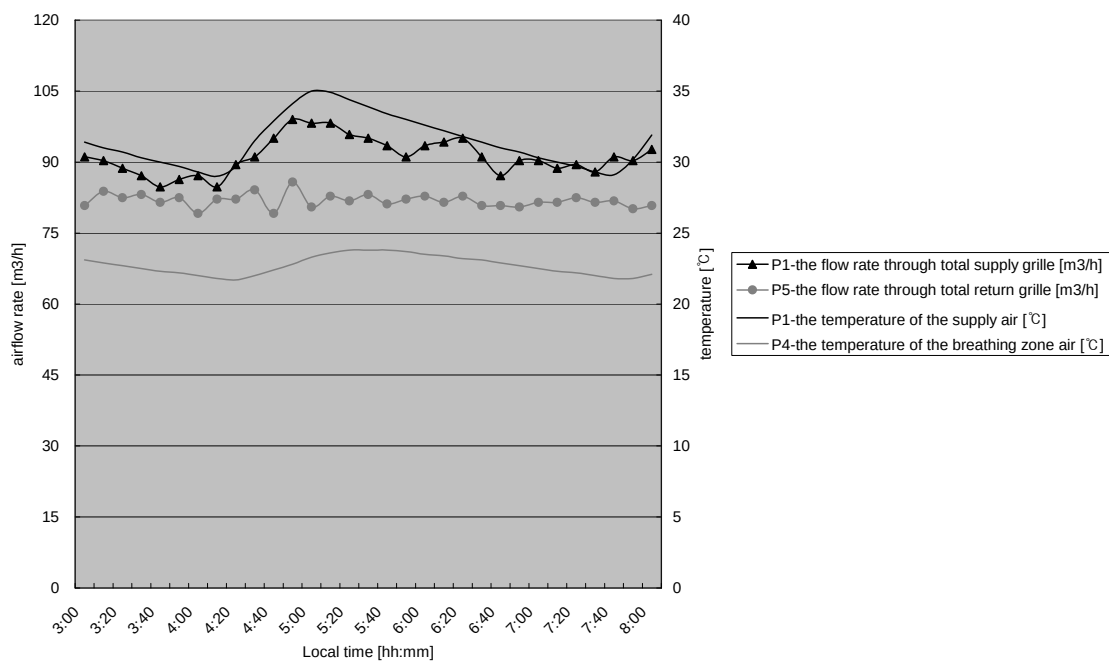
[그림 3.4.11] 기류속도 및 온도분포 (자연환기 1)



[그림 3.4.12] 기류속도 및 온도분포 (자연환기 2)



[그림 3.4.13] 기류속도 및 온도분포 (강제배기)



[그림 3.4.14] 기류속도 및 온도분포 (강제급배기-전열교환)

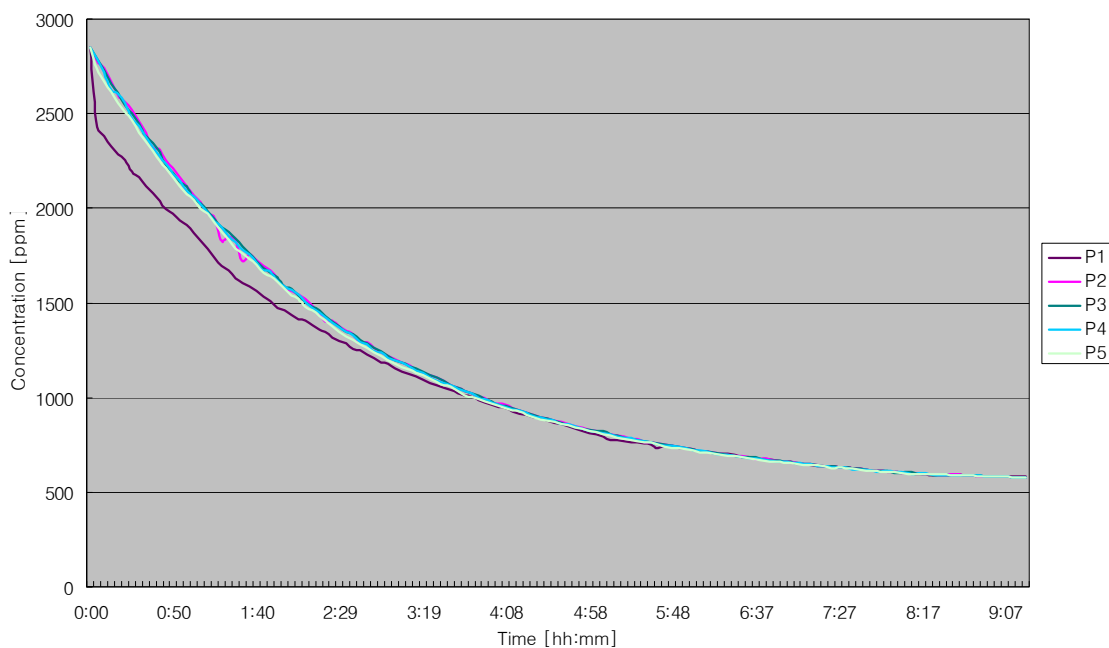
실물실험실에서의 추적 가스 실험 결과는 [그림 3.4.15]에서 [그림 3.4.18]과 같으며 각 경우의 실내 환기효율 및 위치별 공기량은 <표 3.4.4>과 같다.

자연환기 1의 경우 위치 P1에서의 공기량은 128분을 나타내었고, 기타 지점에서는 143분에서

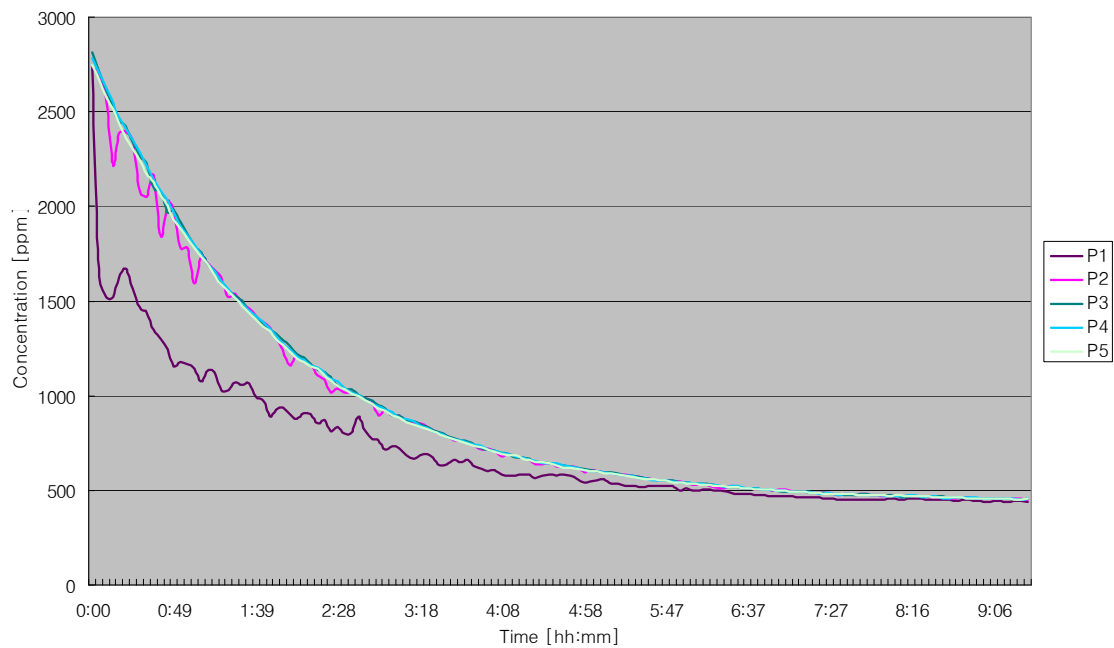
146분정도를 나타내고 있다. 한편 자연환기 2에서는 P1의 위치에서 43분 정도로 매우 짧은 공기령을 나타내었으며, 기타지점에서 72분에서 76분정도를 나타내고 있다.

강제배기와 강제급배기 조건에서 P1에서의 공기령은 14분과 6분 정도로 나타났으나 P2지점에서는 다른 지점보다 오히려 공기령이 길게 나타났다. 이것은 자연환기에 의해 실내로 유입되는 공기는 부력에 의해 안정적으로 공기가 전파되어 나가는 반면에 기계환기방식에서는 실내로 유입된 공기가 바로 혼합되는 현상을 보이는 것으로 분석된다.

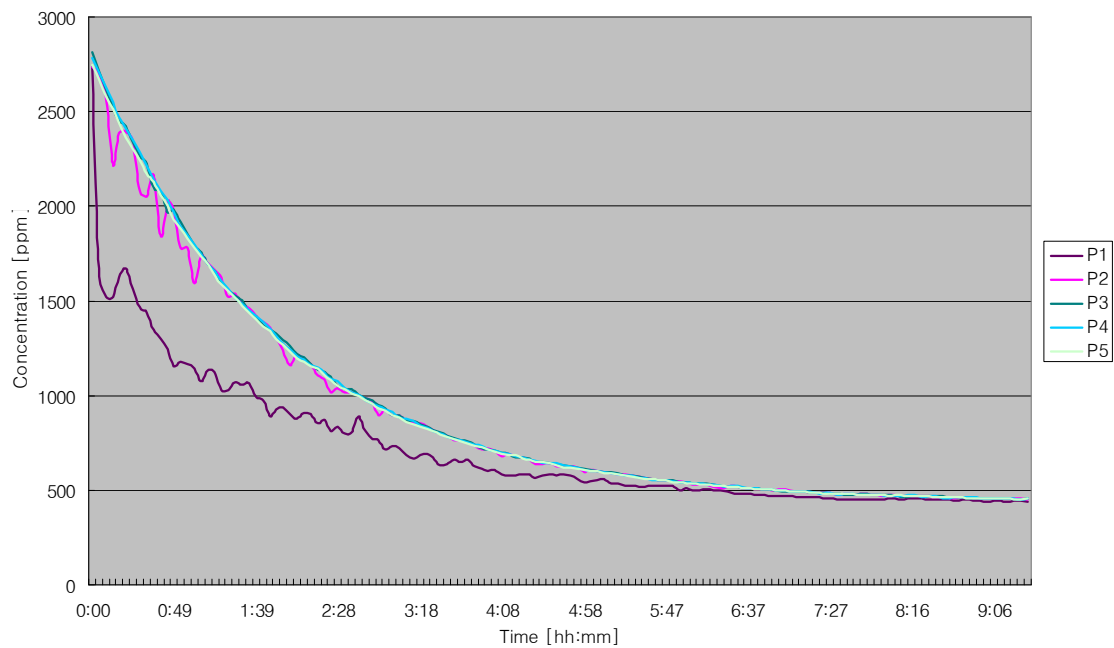
추적가스법에 의해 측정된 실내환기율은 강제급배기방식이 1.78회, 강제배기 방식이 1.63회, 자연환기 2 모드에서 0.79회, 자연환기 1 모드에서 0.42회의 순으로 나타났다. 이러한 측정치는 배기 그릴에서 측정한 기류속도를 풍량으로 환산한 표1과 유사한 결과를 나타내고 있다.



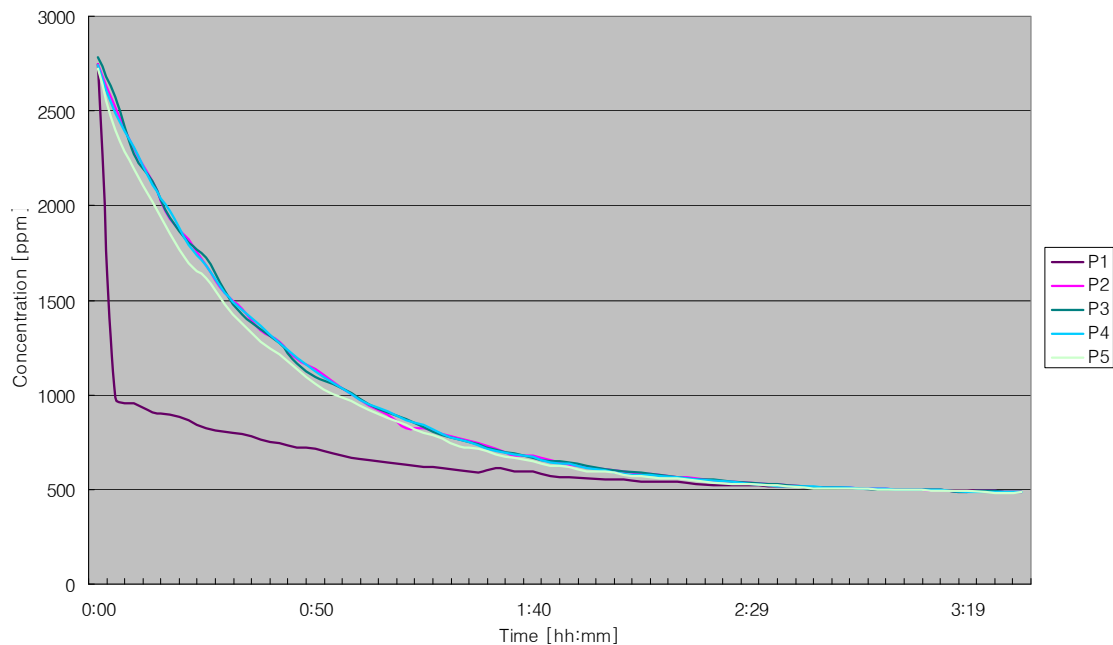
[그림 3.4.15] 추적가스농도 분포 (자연환기 1)



[그림 3.4.16] 추적가스농도 분포 (자연환기 2)



[그림 3.4.17] 추적가스농도 분포 (강제배기)



[그림 3.4.18] 추적가스농도 분포 (전열교환)

<표 3.4.4> 추적가스 실험 결과

	자연환기1		자연환기2		강제배기		강제급배기	
	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei	Ai (min)	Ei
P1	128.7	1.11	43.0	1.76	14.8	2.44	5.3	6.22
P2	146.5	0.98	72.1	1.06	39.3	0.94	36.0	0.93
P3	146.5	0.98	75.9	1.01	38.7	0.95	32.9	1.02
P4	145.4	0.98	76.0	1.00	39.3	0.94	33.8	1.00
P5	142.9	1.00	76.3	1.00	36.8	1.00	33.8	1.00

(나) 실험주택에서의 실험 결과

실험주택에서의 환기성능 평가 결과는 <표 3.4.5>과 같다. 자연환기 실험시 실온은 평균 22.9℃, 외기온도는 평균 5.6℃로 실내외 온도차 17.3K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 34.6m³/h로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 29.7℃로 실온보다 약 7K, 외기보다는 약 24K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

강제배기 실험시 실온은 약 22.8℃, 외기온도는 평균 4.9℃로 실내외 온도차 17.9K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 46.8m³/h로 자연환기시와 유사한 양으로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 29.1℃로 실온보다 약 6K, 외기보다는 약 24K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

강제급배기 실험시 실온은 약 23.1℃, 외기온도는 평균 4.6℃로 실내외 온도차 18.5K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 74.8m³/h로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 32.6℃로 실온보다 약 9K, 외기보다는 약 28K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다.

실험주택에서의 실험결과, <표 3.4.5>에서와 같이 자연환기시 외기온도 5.6℃에서 시간당 환기횟수 0.52회를 나타내어 실물실험실 결과를 토대로 추정해 볼 때, 동계 환기시스템으로서의 환기 성능을 충분히 나타내는 것으로 평가되었다. 또한, 강제배기와 강제급배기의 경우 추적가스 실험 결과 각각 시간당 환기횟수 1.91회와 3.08회로 충분한 환기가 이루어지는 것을 알 수 있었다. 두 경우 모두 외기조건이 4.5℃ 이상임에도 불구하고 충분한 환기가 이루어져 동계는 물론 봄, 가을과 같은 중간기의 환기시스템으로 충분한 환기 효율을 나타낼 수 있는 것으로 평가되었다.

<표 3.4.5> 환기성능 평가 결과

항 목		자연환기	강제배기	강제급배기
외기	온도	5.6	4.9	4.6
	풍속	0.8	1.0	0.7
	풍향	북서	북서	북서
실내온도		22.9	22.8	23.1
실내외온도차[K]		17.3	17.9	18.5
급기량[m ³ /h]		34.75	46.78	74.8
배기량[m ³ /h]		38.0	140.3	226.5
환기 횟수[회/h]		0.52	1.91	3.08

(다) 분석 결과

본 연구에서는 2곳의 실물실험공간에서 하부공간을 이용한 바닥 난방 시스템을 설치한 후 시스템의 동계 환기성능 평가를 실시하였다.

현장실측 결과 외기온이 -5℃인 조건에서 외기를 도입하였을 때, 실내 급기온도가 약 30℃까지 상승하여 온도차가 33K로 형성되었다. 이것은 실내에 자연환기가 유지될 수 있는 조건으로 작용하였으며, 이러한 온도차는 자연환기를 유도시키는 패시브적인 수단으로 이용 가능하다.

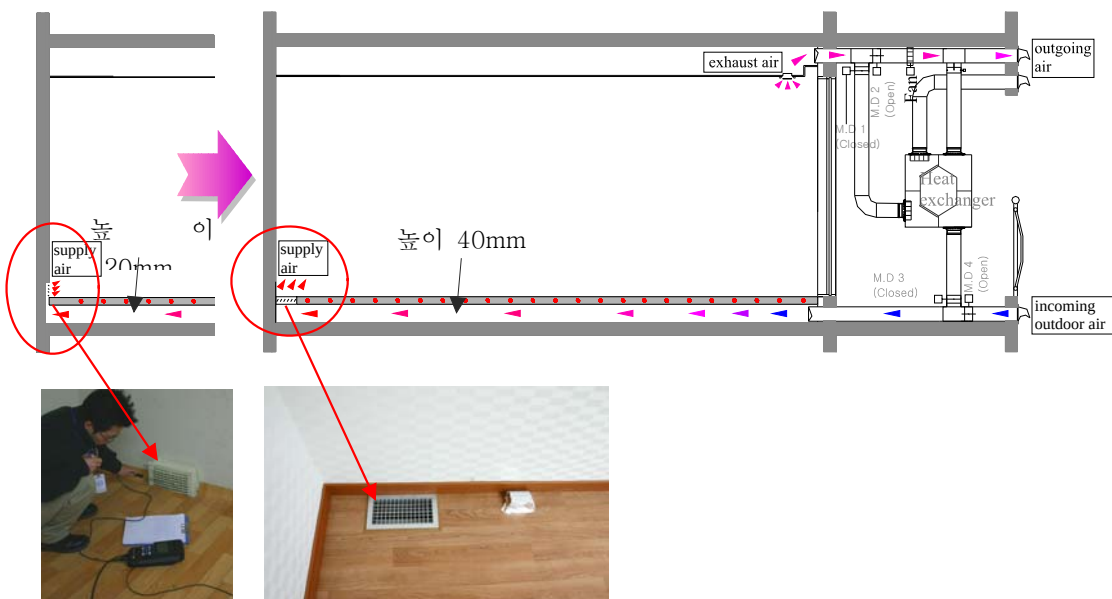
본 시스템 적용 시, 전체적으로 외기온 -5℃~5℃인 조건에서 자연환기시 환기 회수 시간당 0.8~0.4회를 만족하였으며, 강제배기나 강제급배기 시스템과 결합한 하이브리드 자연환기의 경우 외기온에 상관없이 시간당 0.7회 이상을 만족하여 한국의 동계 외기온이 가장 추운 달인 1월에 -6~7℃이므로 본 시스템은 자연환기를 이용한 하이브리드 환기시스템으로 활용 가능성이 높은 것으로 평가되었다. 또한 실내로 유입되는 공기의 온도가 실내온도 이상으로 유지됨으로써 cold draft현상도 차단할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나, 자연환기의 경우 실내외 온도차 뿐만 아니라 외풍의

변화에 큰 영향을 받는 것으로 분석되어 이에 대한 대안이 필요하다.

다. 다기능 통합 온돌시스템 환기 성능 향상 및 평가 실험

2차년도에 수행된 다기능 통합 온돌시스템 환기성능 평가 실험결과, 자연환기에서 시간당 0.4~0.8회를 나타내었으나, 환기횟수가 시간당 0.8회를 나타낸 자연환기2의 경우 외기온도 약 -5°C 로 실내외 온도차가 크게 형성되었으나 이때, 외기 풍속이 4m/s 였으며 [그림 3.4.12]와 같이 급기그릴의 기류속도분포 및 [그림 3.4.16]의 추적가스 농도 분포를 볼 때, 외풍의 영향을 크게 받는 것으로 분석되었다.

이에, 3차년도에는 외풍의 영향을 감소시키고 안정적인 환기성능을 확보할 수 있도록 본 시스템의 외기도입부 및 배기덕트의 말단부에 외풍방지캡을 설치하였다. 또한 외기덕트 및 배기덕트의 관경을 100mm 에서 120mm 로 늘려 환기량을 증가시켰으며 외기도입덕트를 통해 유입된 신선공기가 본 온돌시스템의 바닥하부 공기층에서 저항을 적게 받도록 바닥하부 공기층 공간을 더 확보하였고 바닥하부에서 실내로 가열된 공기를 공급하는 실내급기그릴의 개수를 증가시켜 실내로의 신선공기 공급량을 늘렸다. [그림 3.4.19]에서와 같이 2차년도에 시공된 온돌시스템의 바닥하부 공간 높이는 20mm 이고 실내의 급기 그릴의 개수는 1개였으나, 3차년도에 시공된 온돌시스템은 바닥하부 공간 높이 40mm 에 실내측 급기그릴의 개수는 총 2개소로 2배 더 큰 공기유동 공간을 확보 하였다. 또한, 급기그릴의 위치를 벽면에서 바닥으로 변경하여 취출구의 저항을 크게 감소시켰다.



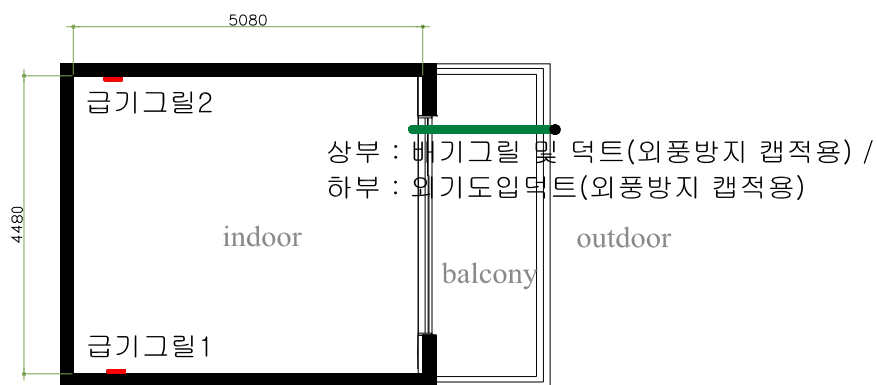
[그림 3.4.19] 3차년도 급기그릴위치 및 바닥하부공간높이 개선

(1) 실험 개요

3차년도에 실험 시공된 실험실은 [그림 3.4.20]와 [그림 3.4.21]에서와 같이 공동주택의 거실규모로 면적 22.4m^2 , 천장고 2.2m 의 공간으로 구성되어 있으며, 분합문 측에 발코니 공간으로 구획되어 있다. 이와 같은 실내공간에 다기능온돌시스템을 설치하고 실험실 공간으로 외기가 유입될 수 있도록 [그림 3.4.21]과 같이 지름 120mm 의 외기도입덕트를 분합문 측에서 다기능 통합온돌시스템의 하부에 연결시켰다. 다기능 통합온돌시스템의 하부공간의 높이는 약 40mm 정도로 기존보다 2배의 높이를 더 확보하고 이 공간으로 외기가 유입되도록 하였다. 한편, 외기가 다기능 통합온

돌시스템에 의해 충분히 가열될 수 있도록 분합문 반대측과 대각선 방향에 [그림 3.4.22]와 같이 2개의 급기그릴을 설치하여 외기 유입이 이루어지도록 하였다. 한편, 실내로 유입되면서 가열된 공기가 실내공기와 혼합된 후에 배기가 이루어질 수 있도록 분합문 상부측에 있는 벽체에 지름 120mm의 배기구 및 배기덕트를 설치하였다. 외기와 접하는 외기도입덕트 및 배기덕트의 외측에는 외풍의 영향을 방지하기 위하여 [그림 3.4.21]과 같이 외풍방지캡을 설치하였다. 난방을 위해 가정용 기름보일러를 설치하여 70℃의 온수가 공급되도록 하였다.

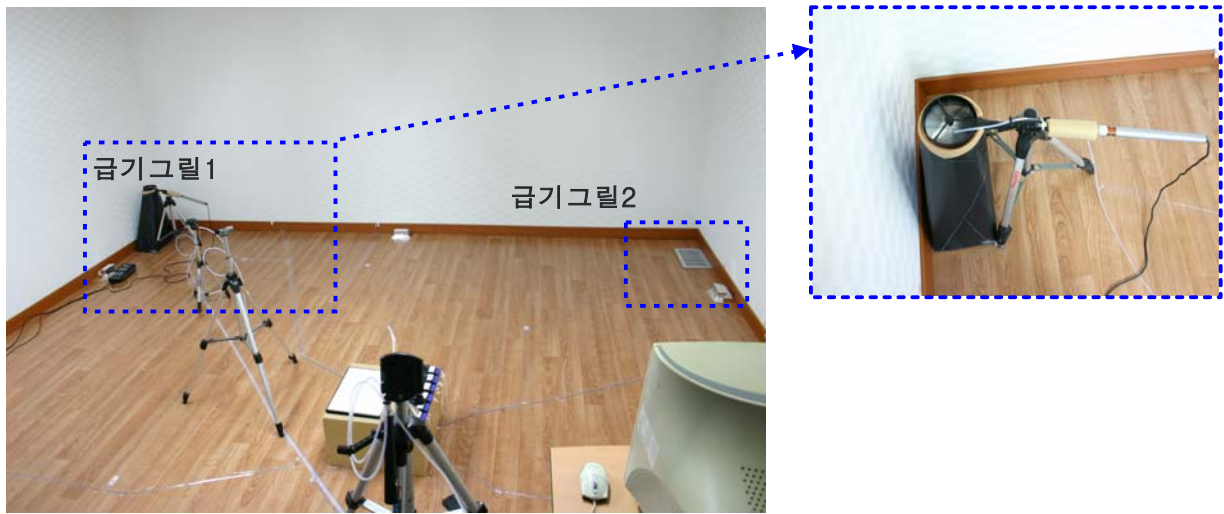
이와 같은 단위실험실에 각 부위별로 온도센서와 기류센서를 설치하여 온돌난방을 통해 발생하는 실내외 온도차, 그리고 이에 따른 압력차에 의한 기류형성, 최종적으로 나타나는 자연환기율의 특성을 파악하였다.



[그림 3.4.20] 실험실 평면도



[그림 3.4.21] 외기도입덕트(하부) 및 배기덕트(상부)와 전열교환기 모습



[그림 3.4.22] 실내 급기그릴 및 실험 모습

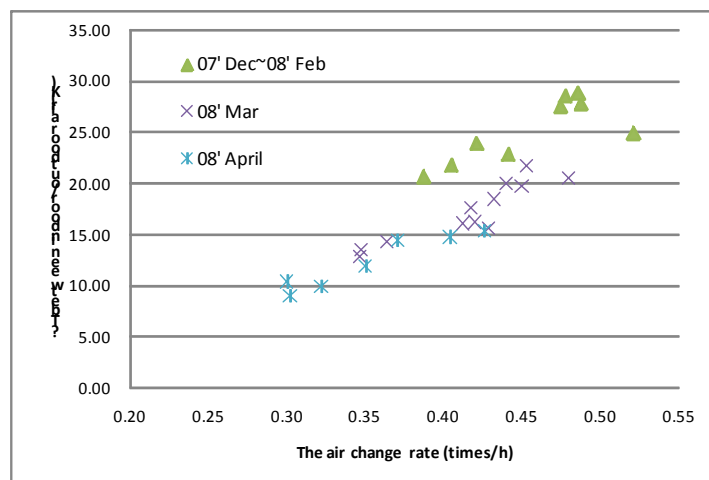
(2) 실험 결과 및 평가

(가) 실험 결과

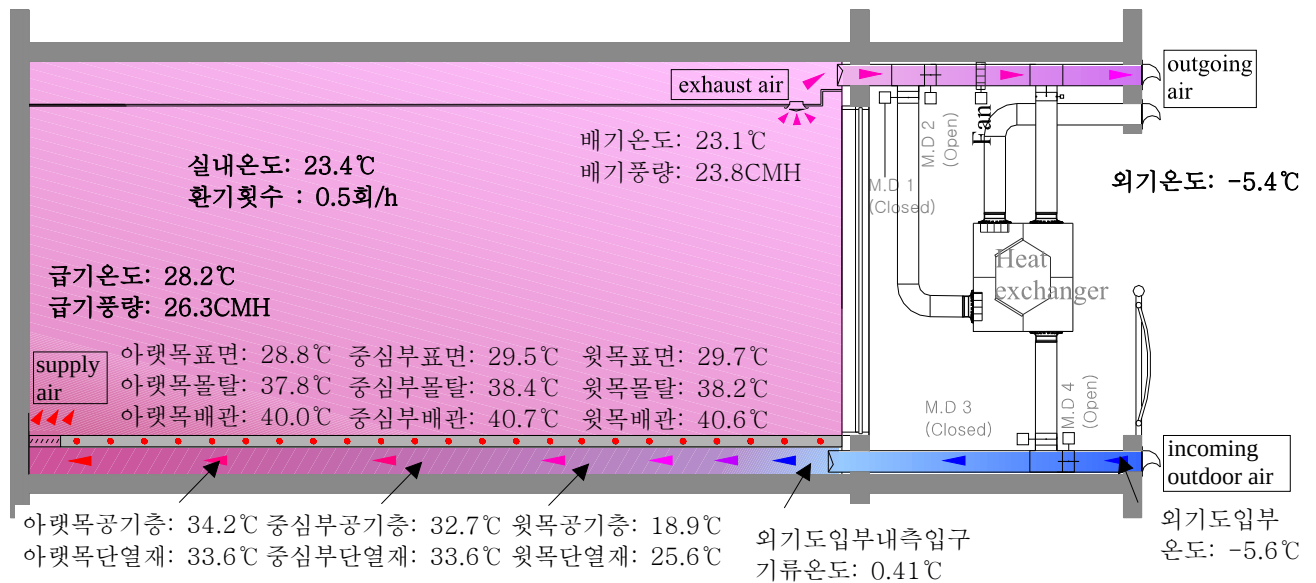
3차년도 실물실험실에서의 환기성능 평가실험은 자연환기 모드, 강제배기모드, 강제급배기 모드로 2007년 12월부터 2008년 4월까지 연속적으로 측정 되었으며 그 결과는 <표 3.4.6> 및 [그림 3.4.23]과 같다.

본 다기능 온돌 환기 시스템의 성능은 다음과 같다. 자연환기의 경우, [그림 3.4.23]과 같이 2007년 12월부터 2008년 2까지 동계 실험결과를 분석한 결과, 외기온도 2.48~-5.44℃의 조건에서 실내외 온도차는 20.61~28.84℃를 형성하였고 시간당 환기횟수는 0.39~0.52회를 나타내었다. 2008년 3월의 실험결과에는 외기온도 10.25~1.84℃의 조건에서 실내외 온도차는 13.54~21.64℃를 형성하였고 시간당 환기횟수는 0.35~0.48회를 나타내었다. 2008년 4월 춘계 실험결과에는 외기온도 13.67~7.62℃의 조건에서 실내외 온도차는 8.98~15.36℃를 형성하였고 시간당 환기횟수는 0.30~0.43회를 나타내었다.

본 시스템의 경우 실내외 온도차에 기인하는 부력으로 자연환기가 이루어지게 되며 본 실험 결과는 해당 가설을 잘 보여주고 있다. 3차년도 동계 실험에서는 외기도입부 및 배기덕트 외측 입구에 외풍방지캡을 설치하여 자연환기시 외풍의 영향을 최소화 시켰으며 그로인해, 2차년도의 결과와 비교해 볼 때, 실내외 온도차에 비례하여 안정적인 환기성능을 나타내게 되었다.



[그림 3.4.23] 07~08년 동계 실험 결과: 실내외온도차와 환기횟수의 상관관계



[그림 3.4.24] 자연환기 시 기류속도 및 온도분포(2008.01.01 일평균값)

[그림 3.4.24]는 동계 자연환기 실험시 2008년 1월 1일의 일평균값을 나타낸다. 실온은 평균 23.4℃, 외기온도는 평균 -5.4℃로 실내외 온도차 28.8K인 조건에서 실내 급기그릴의 풍량이 평균 26.3m³/h로 공급되었으며 이때, 취출기류의 온도는 평균 28.2℃로 실온보다 약 5K, 외기보다는 약 34K가량 높은 온도로 가열되어 실내로 공급되었다. 건물내로 도입되는 외기도입부의 최초공기온도는 -5.6℃를 나타내나 외기도입부의 내측입구에 도달하면 0.41℃로 약 5℃가량 상승하고 본 시스템의 바닥공한 하부에 도달하면 빠르게 온도가 상승하여 18.9℃를 나타내었다. 차가운 신선 외기는 바닥온돌 하부공간에서 35℃가까이 온도가 상승하였다가, 실내측 취출구 부근에서 실내공기와 혼합되면서 최종적으로 약 28℃정도의 온도로 실내로 공급된다.

본 시스템에서 바닥온돌하부 공간으로 방열되는 열은 슬라브 상부의 단열재로 차단되어 아래층으로 전달되는 것을 막고 있으나, 본 동계 실험시 바닥 슬라브의 온도가 평균 29℃ 정도를 나타내는 것을 볼 때, 많은 양의 열이 아래층으로 빠져나가고 있음을 보여준다. 본 다기능 통합온돌 환기 시스템은 바닥난방시 아래층으로 빠져나가는 잉여열을 다시 회수하여 차가운 외기를 가열하여 실내로 공급할 수 있는 에너지 절약적인 시스템이다.

<표 3.4.6> 환기성능 평가실험 결과

환기방식	자연환기						강제 급기	강제급 배기
측정일자	07.12.24	08.01.01	08.03.06	08.03.12	08.04.03	08.04.06	08.02.28	08.02.16
외기온도(℃)	0.45	-5.44	3.89	9.71	7.62	12.31	1.67	-4.19
실내공기온도(℃)	23.34	23.41	23.58	23.25	22.98	22.69	22.27	23.60
실내외 온도차 (K)	22.79	28.84	19.70	13.54	15.36	10.38	20.61	27.79
급기그릴기류속도(m/s)	0.54	0.62	0.59	0.44	0.53	0.38	1.28	2.27
급기그릴기류온도(℃)	26.46	28.25	28.97	24.34	26.35	23.17	30.70	32.22
환기횟수(회/h)	0.44	0.49	0.45	0.35	0.43	0.30	3.14	3.58

<표 3.4.6>는 3차년도 동계 실험결과를 나타낸 것이며 자연환기의 경우 각 월별 대표일을 선정하여 그날의 일평균값을 나타내었다. 본 시스템의 경우 자연환기 모드에서 동계에는 시간당 0.4~0.5회 정도의 환기횟수를 나타내었고, 3월, 4월경에는 시간당 0.3~0.4회의 환기횟수를 나타내어 자연환기 성능이 매우 우수한 것으로 평가된다.

자연환기와 더불어 배기팬을 이용한 강제급기 모드, 전열교환기를 이용한 강제급배기 모드가 가능한데 <표 3.4.6>에서와 같이 강제급기모드에서 시간당 3.14회, 강제급배기 모드에서 시간당 3.58회를 나타내었으며 이러한 환기성능은 실내외 온도차에 거의 영향을 받지 않는다. 이러한 하이브리드 자연환기 모드에서 본 시스템은 외기온의 변화에 상관없이 시간당 0.7회 이상의 충분한 환기가 가능한 시스템인 것으로 평가되었다.

(나) 조건별 실험 결과

3차년도에는 본 시스템의 환기 성능을 향상하게 위하여 실내 급기 취출구의 개수를 기존 1개소에서 2개소로 증가시키고 외기도입부 및 실내 취출급기그릴에 필터를 적용하였다. 본 시스템은 자연환기 뿐만 아니라 강제배기 모드, 강제급기 모드, 강제급배기(전열교환) 모드가 가능하다.

이에 각각의 조건에 따른 본 시스템의 환기성능 평가실험이 각각 수행되었다.

(1) 급기 그릴 및 필터의 영향에 따른 환기성능 평가 실험

먼저, 3차년도에 수행된 본 시스템에서 실내 급기 그릴의 위치 및 개수, 필터 적용에 대한 환기 성능 평가 실험 결과는 <표 3.4.7>과 같다. 실험시 실내온도는 23℃, 외기온도는 3~4℃를 나타내었다.

<표 3.4.7> 그릴 및 필터의 영향에 대한 조건별 실험 결과

조건			실험 결과							
			그릴 1	그릴 1	그릴2	그릴2	급기	급기	배기	배기
환기방식	그릴 1	그릴2	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)
자연환기	Open	Closed	0.62	28.30			0.38	4.40	0.59	23.20
	Closed	Open			0.51	27.00	0.36	5.10	0.54	22.70
	Open	Open	0.52	26.40	0.27	20.50	0.38	5.10	0.59	22.50
자연환기+필터 (외기도입부)	Open	Closed	0.59	26.90			0.28	5.90	0.54	23.20
	Closed	Open			0.46	27.40	0.27	5.30	0.54	23.20
	Open	Open	0.48	25.60	0.25	22.00	0.26	5.30	0.53	23.20
자연환기+필터 (실내그릴)	Open	Closed	0.23	27.90			0.38	5.50	0.49	22.80
	Closed	Open			0.24	22.40	0.37	4.90	0.51	22.70
	Open	Open	0.17	25.50	0.14	25.10	0.36	4.70	0.52	22.70

* 측정지점 : 급기(바닥온돌 하부 외기도입부의 내측입구), 배기(실내 배기구)

실내그릴의 위치는 외기도입부에서 상대적으로 더 멀리 떨어진 그릴1에서 급기 속도 및 급기 온도가 그릴2에서의 급기속도 및 급기온도보다 더 높았다. 이는 그릴1을 통해 나오는 공기가 바닥하부공간을 지나는 경로가 더 길기 때문에 더 높은 온도로 가열되었고 이렇게 가열된 공기와 실내공기와의 온도차가 취출그릴에서의 급기속도에 영향을 미치기 때문인 것으로 분석된다. 또한 그릴1과 그릴2를 둘 다 개방한 경우 각각의 급기속도가 다소 줄어들어 각각을 개방한 경우의 합보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

자연환기 시 필터를 적용하는 경우와 필터가 없는 경우를 비교한 결과 (이때, 실내그릴은 2개 모두 개방된 경우) 필터의 위치가 외기도입부에 위치했을 때 급기(외기도입부의 내측입구)의 급기 속도는 0.38m/s에서 0.26m/s로 기존대비 약 32%로 크게 감소하였으나 실내 그릴1에서의 급기 속도는 0.52m/s에서 0.48m/s로 약 8%로 정도 감소하였다. 그러나 필터를 실내그릴에 바로 설치하는 경우에는 급기(외기도입부의 내측입구)부분의 기류속도의 감소비는 약 5% 이내로 작게 나타나나 실내 급기그릴에서의 급기속도는 0.52m/s에서 0.17m/s로 기존대비 68% 가량 크게 감소한다.

그러나 두 경우 모두 배기의 기류속도는 약 10%정도의 감소를 나타내므로 실내 환기 성능의 측면에서의 유사한 성능을 보인다고 할 수 있겠다. 그러나 실내 급기량의 측면에서 보면 바닥온돌하부에서 따뜻해진 공기가 실내측으로 많이 유입되는 경우가 실내측의 온열환경에 더 유리하므로 필터의 위치는 외기도입부에 바로 설치하는 것이 적당한 것으로 평가되었다.

(2) 강제급기 및 강제배기 모드 시 환기성능 평가실험

다음으로 강제배기 및 강배급기 모드에서의 조건별 실험결과이다. <표 3.4.8>에서와 같이 실험시 실내온도는 23℃, 외기온도는 3~4℃를 나타내었다.

<표 3.4.8> 강제배기 및 강배급기 모드의 경우 조건별 실험 결과

조건			실험 결과					
			그릴 1	그릴 1	그릴2	그릴2	급기	배기
환기방식	그릴 1	그릴2	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	속도 (m/s)
강제 배기	Open	Closed	1.45	29.50			1.28	3.78
	Closed	Open			1.35	26.90	1.44	3.67
	Open	Open	0.83	30.60	0.70	23.30	1.29	3.72
강제 급기	Open	Closed	1.92	30.50			2.35	1.72
	Closed	Open			1.82	25.00	2.26	1.69
	Open	Open	1.07	29.80	1.05	25.70	2.24	1.70

<표 3.4.8>에서와 같이 강제배기 모드나 강제급기 모드 둘다 자연환기의 경우와 마찬가지로 그릴의 개수와 위치에 대한 영향을 동일한 것으로 나타났으며 강제급기를 하는 경우보다 강제배기를 실시하는 경우가 실내 취출 그릴에서의 급기량이 더 많은 것으로 나타났다.

(3) 강제급배기(전열교환) 모드에서 팬속도에 따른 환기성능 평가 실험

다음은 전열교환기를 이용한 강제급배기 모드에서 팬속도에 따른 환기성능 평가 실험을 수행하였다.

<표 3.4.9> 강제급배기(전열교환) 모드의 경우 팬속도에 따른 조건별 실험 결과

조건			실험 결과											
			그릴 1	그릴 1	그릴2	그릴2	급기	급기	배기	배기	급기 외부	배기 외부	외기	실온
환 기 방 식 (팬속도)	그릴 1	그릴2	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	속도 (m/s)	온도 (℃)	온도 (℃)	온도 (℃)	온도 (℃)	온도 (℃)
강제 급배기 (High)	Open	Closed	2.33	31.70			2.90	19.90	3.60	24.30	4.60	8.10	5.10	24.10
	Closed	Open			2.20	29.90	2.82	20.00	3.63	24.20	4.10	8.10	5.20	24.20
	Open	Open	1.33	31.40	1.31	30.60	2.90	19.90	3.61	24.20	4.50	8.00	5.20	24.00
강제 급배기 (middle)	Open	Closed	1.94	30.00			2.35	19.50	3.05	23.30	4.60	7.90	4.80	23.30
	Closed	Open			1.78	28.60	2.33	19.40	3.01	23.20	4.80	7.90	4.70	23.10
	Open	Open	1.15	30.00	1.12	29.10	2.36	19.40	3.02	23.20	4.60	7.80	4.80	23.20
강제 급배기 (Low)	Open	Closed	1.75	30.00			2.02	18.20	2.73	22.10	3.70	3.90	3.10	21.80
	Closed	Open			1.64	26.30	2.01	18.10	2.67	22.00	3.80	3.80	3.10	21.80
	Open	Open	1.01	27.20	1.03	26.40	2.02	18.10	2.66	22.00	3.90	4.10	2.90	21.80

실험결과는 <표 3.4.9>에서와 같이 강제급배기의 경우에서도 그릴의 개수나 위치에 대한영향을 동일하게 나타냈으며 강제급배기 시 팬속도가 낮을수록 전열교환기에서 효율이 높은 것으로 나타났다. 팬 속도가 높은 경우(High) 전열교환기에서 버려지는 배기온도(배기외부)와 전열교환기를 통해 유입되는 외기온도(급기외부)의 차이는 약 3.5K를 나타내고 있으나 팬속도가 낮은(Low)인 경우 배기온도와 외기온도가 거의 유사해져 전열교환기의 열교환 성능이 90%이상을 나타내고 있었다.

외기도입부에서 전열교환기를 지나가는 동안 신선외기는 전열교환을 통해 약 15K 정도 온도가 상승하여 바닥온돌 하부 공간으로 유입되며 바닥온돌 하부 공간에서 다시 10K 가량 온도가 더 상승하여 실내공기보다 높은 온도로 실내로 공급되었다.

라. 다기능 통합온돌시스템 환기 성능 평가 결과

2차년에 걸친 다기능 통합 온돌시스템의 환기 성능 향상 연구 결과, 본 시스템은 동계 시간당 0.4~0.5회 수준의 자연환기 성능을 확보하게 되었으며 하이브리드 자연환기 모드의 경우 외기온에 상관없이 연중 시간당 0.7회 이상의 환기 성능을 확보할 수 있게 되었다.

본 환기 시스템의 장점은 다음과 같다.

본 시스템은 겨울철 실내외 온도차를 이용한 무동력 자연환기 시스템으로 별도의 에너지 소비가 없으며 팬 가동으로 인한 소음이 없다. 외풍의 영향을 크게 받지 않으며 안정적인 환기성능을 나타낸다.

본 시스템은 차가운 신선외기가 가열되어 실내온도보다 5K 정도 높은 온도로 실내로 공급되므로 실내에서는 환기뿐만 아니라 공기식 난방시스템과 같은 역할을 하게 된다. 이때, 외기를 가열하는 열은 바닥하부공간에서 아래층으로 빠져나가는 잉여열을 실내로 다시 회수 하는 것이므로 에너지 절약적인 난방·환기 병용 시스템이라 하겠다.

본 시스템의 환기 성능을 효과적으로 구현하기 위한 조건은 다음과 같다.

본 시스템은 실내외 온도차로 인해 발생하는 부력을 구동력으로 하는 자연환기 시스템이므로 차가운 공기가 유입되는 외기도입부의 위치가 실에서 가장 낮은 곳에 위치하여야 한다. 바닥하부 공간과 동일한 높이 또는 그보다 낮은 곳에 위치하여야 한다. 마찬가지로, 실내공기가 빠져나가는 배기구의 위치는 실에서 가장 높은 천장속이나 문 상부에 위치하여야 한다.

본 시스템은 외풍의 영향을 크게 받으므로 외기도입부 및 배기덕트의 외측입구에 외풍방지캡을 설치하여야 안정된 환기성능을 확보 할 수 있으며 필터의 경우 외기도입부의 외측입구에 설치하는 것이 효과적이다.

본 시스템은 바닥온돌 하부 공간에서 가열된 공기가 실내로 공급되는 것이기 때문에 바닥온돌상의 실내 취출구의 위치에 따라 공급되는 공기의 온도가 달라진다. 외기도입부에서 멀어질 수록 급기온도 및 급기 풍량이 증가하게 된다. 또한 취출구와 배기구의 위치에 따라 실내 환기환경이 영향을 받으므로 취출구 위치는 배기구와 가능하면 멀리 떨어진 실내측에 위치하는 것이 유리하다.

제 5 절 이중바닥온돌시스템의 아파트현장 시공

1. 개 요

본 연구에서 개발된 이중바닥온돌시스템에 대하여 700세대 규모의 아파트 현장에 층간소음저감을 위한 거주목적을 위해 2006년 4월부터 2006년 12월까지 3차례에 걸쳐 실제 시공이 이루어졌다. 본 연구에서는 실험실 시공, 아파트현장에서 샘플시공과정을 거쳐 대규모의 시공이 이루어졌기 때문에 이에 대한 공사계획을 수립하고 이에 대한 공사를 진행하였다. 단위세대는 25평형, 33평형, 46평형의 3가지 타입으로 이루어졌으며, 아래 그림은 단위세대 평면 및 평형정보를 나타낸 것이다.



[그림 3.5.1] 아파트조감도 및 현장조건



[그림 3.5.2] 단위세대 평면 및 평형정보

2. 아파트 현장 시공

1) MAIN SYSTEM

<표 3.5.1> 구성 재료의 재질 및 성능기준(MAIN SYSTEM)

구 분	구 성 재	재 질	성 능
MAIN SYST EM	방진재	DR-B 50	경도 : 기준치 $\pm$ 5(KSM6518) 비중 : 1.17 인장강도 : 115Kgf/cm ² (KSM6518)
	조절대	복합 PP (GLASS FIBER 보강 복합수지)	지름 : 100mm 높이조절 : 0mm~60mm 인장강도 : 19.6N/mm(200Kg/cm ²)이상 연화온도 : 120 ℃ 이상
	수평대	복합 PP (GLASS FIBER 보강 복합수지)	길이 : 600mm, 450mm 연화온도 : 120 ℃ 이상 허용오차 : $\pm$ 0.19%
	이중패널	복합 PP (GLASS FIBER 보강 복합수지)	기본치수 600mm * 600mm, 600mm * 450mm 처지는 면과 반대편의 차이가 2mm 이 내 이어야함 연화온도 : 120 ℃ 이상
	단열·차음재	PE FOAM (가교발포 폴리에틸렌 폼)	열전도율 : 0.032Kcal/mh ℃ 이하 흡수성 : 4% v/v 이하
	마감모르터	공장배합형 시멘트 모르터	압축강도(28일) : 150Kgf/cm ² 이상 휨강도(28일) : 25Kgf/cm ² 이상 길이변화율(28일) : $\pm$ 0.018%
		공장 배합형 고유 동자기수평모르터 (셀프레벨링모르터)	압축강도(28일) : 200Kgf/cm ² 이상 휨강도(28일) : 45Kgf/cm ² 이상 길이변화율(28일) : $\pm$ 0.01%

2) SUB SYSTEM

<표 3.5.2> 구성재료의 재질 및 성능기준(SUB SYSTEM)

구 분	구 성 재	재 질	성 능
SUB SYST EM	둘레패널	복합 PP (GLASS FIBER 보강 복합수지)	처지는 면과 반대편의 차이가 2mm이내 이어야함 연화온도 : 120 ℃ 이상
	측면 완충재	PE FOAM (가교발포폴리 에틸렌 폼)	열전도율 : 0.037W/m·K 이하 흡수성 : 4% v/v 이하 관련규격 : KSL 9106 KSF 2277
	용접철망	WIRE MESH	기본치수: 500 * 700 700 * 450 관련규격 : KSD 7012
	배관재	PE(XL) 또는 PP	16mm~20mm X L관 PP관
	배관클립	복합 PP (GLASS FIBER 보강 복합수지)	배관고정용 클립

3) 품질관리계획

① 제품검사

제품에 대한 치수검사는 발체검사를 행하며 생산공장에서 시행함을 원칙으로 하고 측정검사 항목과 허용오차는 다음과 같다

<표 3.5.3> 발체검사 시 시료개수

제작수	발체수
1000개 미만	5개
1000~2000개	10개
2000개 초과	15개

<표 3.5.4> 측정 검사 항목 및 허용오차

검사항목	기호	허용오차
길이(Length)	L	± 5MM/개당
형굽이(Camber)	C	± 5MM/개당
비틀림(Twist)	T	± 5MM/개당
굽 힘(Bending)	B	± 5MM/개당
뒤틀림(Distortion)	D	± 5MM/개당



[그림 3.5.3] 생산된 패널시스템



[그림 3.5.4] 생산자재

② 주자재 수급계획

- 출하자는 현장책임자와 제품의 현장야적유,무, 설치순서, 설치공정 등을 충분히 협의하여 현장공정에 맞추어 출하한다.
- 출하시 포장은 현장에서의 작업을 고려하여 포장단위를 정한다.
- 상차시 제품에 변형이 생기지 않도록 한다.

③ 현장반입 및 야적

- 모든 제품은 현장시공계획 및 공정표에 따라 반입한다.
- 검사가 끝난 제품은 야적장으로 이동하여 지게차를 이용하여 야적한다.
- 야적장소는 충분히 확보하여야 하며, 가능한 작업범위 이내에 야적한다.
- 야적높이는 제품에 변형이 생기지 않는 범위 내여야 하며 필요이상의 충격이나 압력이 가해지지 않도록 한다.

④ 재료의 보존 및 정리

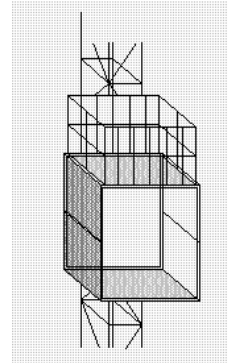
- 반입된 제품은 변형을 일으키지 않도록 평탄한 바닥 위에 적재한다.
- 제품 적재는 지면에 접촉되지 않도록 하며 빗물이나 오물 기타 불순물로 오손 되지 않도록 계획된 곳이어야 한다.
- 적재시 또는 운반시에 변형이 생기지 않도록 한다.
- 적재후 낙하물에 의한 파손을 방지하기 위하여 덮개(합판)를 설치한다.
- 장기보관이 필요한 경우에는 천막 등을 이용하여 오염되지 않도록 한다

f) 필히 규격별로 분리 적재하여 혼란이 생기지 않도록 한다.

⑤ 양중계획

- 차량의 진입용이 및 장비의 사용가능하도록 사전에 현장 협조를 요청한다.
- 층별로 양중된 것은 소형대차로 각실(세대)별로 수평이동 분산 반입 시킨다.
- 현장의 화물운반 Elevator사용 시간 계획을 적절히 사용한다.
- 제품부품의 포장단위를 현장의 양중여건에 적합하도록 사전계획 조절한다.

- 예) 1. 최대적재량 : 1t
 2. 최대작동높이 : 150m
 3. 상승속도 : 40m/min
 4. 크기 : 1400w X 2855H X 3000L



<표 3.5.5> 제품 부품의 포장단위 산정 예

품목	규격	적재최대 허용수량	적재가능 수량	1일소요량 (46평*20세대)
이중패널	600패널	330	150	4,060
	450패널	570	200	1,120
	300패널	1,250	250	280
조절대		4,300		9,180
수평대	600기준	2,000	40묶음(2,000)	13,400
방진재		40Box	40Box(4,160)	9,180

4) 안전관리 계획

- 장비사용시 사전점검 안전상태보전
- 공기구는 사전에 필요한 안전조치
- 신호수의 정확한 신호요령 교육
- 보행시 미끄럼 주의
- 하부층 출입 인원통제
- 자재 운반시 조별 통일된 행동 및 주변 확인
- 안전모, 안전벨트등 안전장구 착용 및 휴대품 확인
- 낙하물 예상지역내 타 작업원 접근 통제
- 작업 종료시 잔재 및 공기구는 별도 보관관리
- 화기 작업시 주의
- 일일 작업 물량을 철저히 관리하여 작업 종료 후 잔여물량의 보충 관리철저
- 작업전 위험예지 훈련 및 안전조회, 안전교육 실시

5) SHOP DWG 계획

① 초 기

- a) BASIC DWG. & 배치 조립계획 및 소요량 검토
- b) 건축 마감 도면검토.
- c) 공정표에 따른 SHOP DWG. 제출 일정검토

② 시공전

- a) SHOP DWG. 작성
- b) 현장 담당자 검토
- c) 승인 요청
- d) 변경 시 보완 제출
- e) 승인 후 작업자 배포

③ 시 공 중

- a) SHOP DWG.에 따른 시공확인
- b) 현장여건 변경 시 SHOP DWG. 보완
- c) 추가 도면 요구 시 작성제출

④ 시 공 후

실 시공 SHOP DWG. 작성

6) 일반 시방서

① 시방서 및 시공관리기준

- a) 시스템 설치를 위한 바닥면의 상태를 점검한다.
- b) 레이저 레벨러를 이용하여 직각 2벽면의 바닥마감기준선을 긋는다.(먹줄)
- c) 측면완충재가 부착된 둘레패널을 직각 2벽면에만 기준선에 맞추어 1차벽면에 부착한다.
- d) 바닥면에 정보통신용 배선 구축을 위한 전처리작업을 실시한다.
- e) 방진재와 수평대 및 조절대를 조립하여 600mm 간격으로 콘크리트 슬래브 상부면에 설치한다.
- f) 수평대를 조절대 상부에 끼워서 조립배치 한다.
- g) 사방으로 조립된 수평대 사이에 이중패널을 설치한다.
- h) 둘레패널을 이용하여 2차로 나머지 직각 2차 벽면에 부착하면서 마감처리를 한다.
- i) 패널 상부면에 미리 부착 고정된 용접철망에 배관 clip을 일정간격으로 설치한다.
- j) 난방배관을 배관 clip에 일정간격으로 고정시키면서 설치한다.
- k) 마감모르터를 마감선에 맞추어 타설한다.

② 모르터 시공

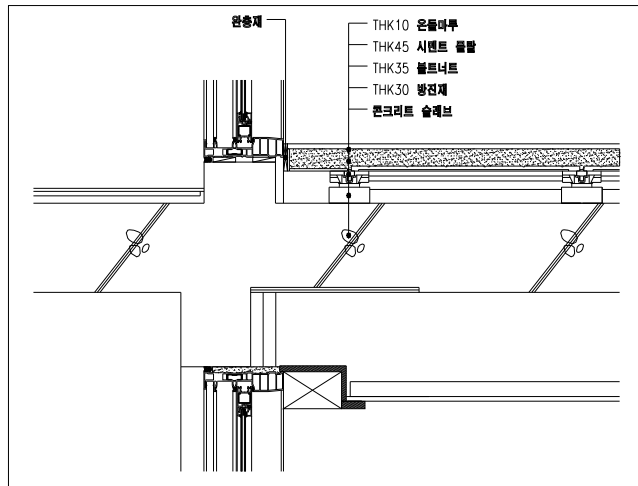
- a) Screw Mixer위에 있는 물 밸브로 수량을 조절하여 모르터의 Flow를 170mm 이하로 조절해야 한다.
- b) Flow측정은 KS L 5111 규정의 시험기기를 사용하고, 무타격으로 측정한다.
- c) 바닥 미장작업은 모르터가 치밀해지도록 최소 4회 이상으로 하며, 고름작업은 미장 회수에 포함하지 않는다.

<예> 바닥용 모르터 미장작업

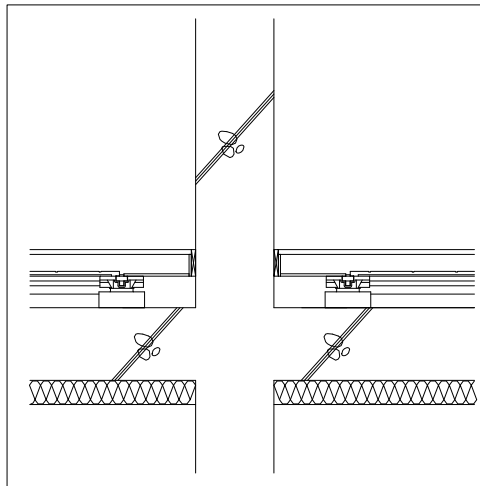
- 쇠흙손 고름질 : 잣대를 이용한 고르기가 끝난 직 후 평탄작업
 - 1차 미장시기 : 쇠흙손 고름질 완료후 표면의 블리딩수가 사라지는 시점
 - 2차 미장시기 : 1차 미장에 의한 블리딩수가 사라지는 시점
 - 3차 미장시기 : 2차 미장에 의한 블리딩수가 사라지는 시점
 - 최종 미장시기 : 3차 미장에 의한 블리딩수가 사라지는 시점
-
- d) 기온이 높거나 바람이 세게 불 경우 초기 경화가 평상시보다 빠르므로 미장마감 시간을 놓쳐 초기 소성균열이 발생하지 않도록 한다.
 - e) 난방 Pipe 위에 모르터의 피복두께가 20mm 이상 되도록 타설한다.
 - f) 난방 Pipe 배관을 따라 발생하는 침하균열을 방지하기 위해 난방 Pipe 밑부분에 모르터를 치밀히 채워야 한다.
 - g) 개구부 주위 등 응력이 집중하는 부위는 균열을 완전히 방지하기 곤란하므로 사전 신축줄눈이나 wiremesh의 보강으로 균열의 진행을 차단하여야 한다.

③ 양 생

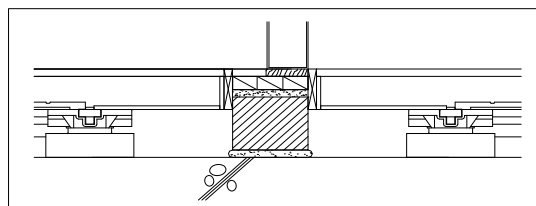
- a) 바닥용 모르터는 시공 후 최소 7일간 표면이 습윤한 상태로 양생하여야 한다.
- b) 최종 미장 후 3일간 진동이나 다른 작업을 위한 사람의 출입을 통제해야 한다.
- c) 시공 후 최소 7일간은 항상 5℃이상의 온도로 보존되도록 양생해야 한다.
- d) 보일러 가동시 급격한 가열은 경화체의 열팽창력 차이에 의한 균열발생 원인이 될 수 있으므로 서서히 가열 하여야 한다.



[그림 3.5.5] 분합문 부위 상세



[그림 3.5.6] 일반벽체 부위 상세



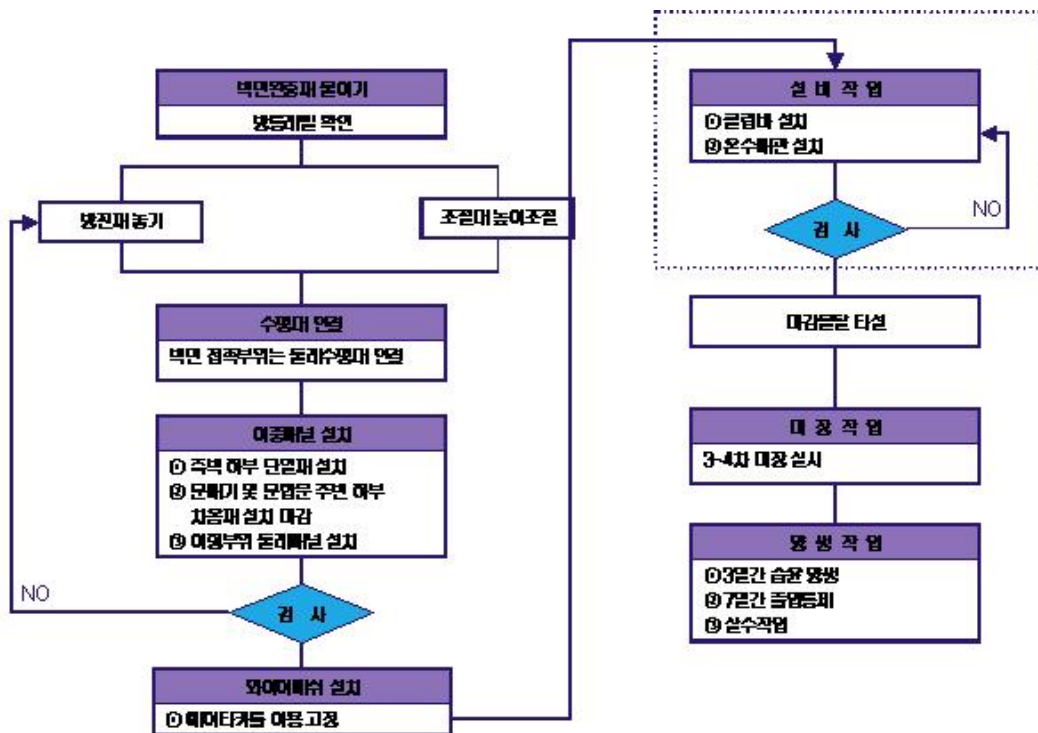
[그림 3.5.7] 출입문 부위



[그림 3.5.8] 거실에 설치된 이중바닥 온돌시스템 및 배관재 설치 모습



[그림 3.5.9] 침실과 주방에 설치된 이중바닥 온돌시스템 및 배관재 설치 모습



[그림 3.5.10] 이중바닥온돌시스템 시공 순서

3. 현장시공 검사기준 Checklist

단계	검 사 기 준	적 합(☑) 부적합(☐)	부적합시 조치사항
슬래브 단계	① 부품자재 수평이동 안전통로 확보 및 장애물 대책강구	☐	
	② 시공장소의 바닥정리 정돈상태	☐	
	③ 바닥돌출 부위확인 및 조치	☐	
	④ 타공종 설치물 설치상태 및 간섭여부 사전점검 확인	☐	
	⑤ 정보통신배선을 위한 연결작업준비 확인	☐	
패널 조립 완성 단계	① 비정형 장소 조립시공 마감계획 수립확인	☐	
	② 자투리공간 조립시공 마감계획 수립 확인	☐	
	③ 분배기 설치 장소(주방조리대 하부 공간)	☐	
	④ 기타 돌출부 자투리공간 조립마감 시공계획 수립 확인	☐	
	⑤ 휨 보강 용접철망 균일 배치상태의 점검	☐	
	⑥ 타공종 설치물 안전관리 상태점검	☐	
	⑦ 패널설치상태의 수평성 수시점검	☐	
	⑧ 패널설치상태의 안정성 수시점검	☐	
마감 모르 터 완성 단계	① 패널조립상태 기밀성 확인점검	☐	
	② 문틀수직 하부공간 모르터 누수방지를 위한 기밀성 확인점검	☐	
	③ 난방배관 시공후 상부면에 적정면적의 용접철망 깔기(거실중앙부위)	☐	



[그림 3.5.11] 단지전경



[그림 3.5.12] 최종 완성된 주방 모습



[그림 3.5.13] 최종 완성된 거실 모습



[그림 3.5.14] 최종 완성된 복도 모습



[그림 3.5.15] 최종 완성된 침실 모습



[그림 3.5.16] 최종 완성된 복도 모습



[그림 3.5.17] 최종 완성된 침실 모습

제 6 절 경제성 분석

본 연구대상기술은 이미 특허등록이 이루어진 상태이며 금형제작에 의한 시작품이 완료된 상태이다. 그러나 공동주택에 난방패널시스템의 적용은 시공성과 최종개발 시스템의 성능(열성능 및 바닥충격음) 뿐 아니라 경제성에 좌우된다고 볼 수 있다.

즉, 본 연구를 통해 개발되는 시스템은 목표 성능 뿐 아니라 가격에서도 충분히 경쟁력을 갖추어야 할 것이다.

2004년 3월 30일에 고시된 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준에서는 벽식구조 아파트의 경우 바닥두께를 **현행 135mm에서 180mm로 강화**하도록 하고 있다.¹³⁾

이와 같은 조치로 국민주택규모(34평형)의 경우 **세대당 170만원**(바닥두께 135→180mm기준)정도의 공사비가 증가될 것으로 예상하고 있다. 한편, 여기에는 층고 증가에 따른 세대수 감소로 인한 사업손실 감소분을 포함하지 않은 금액이다.¹⁴⁾

이와 같은 바닥두께 가격상승요인과 층간 차음재를 사용하고 있는 습식 온돌공법에 대한 가격을 산출해 보면 150mm슬래브를 기준으로 슬래브에 의한 가격 상승분(20,000원/㎡)을 포함한 가격은 38,000원/㎡이 된다. 한편, 다기능 통합온돌시스템의 설치가격은 40,000원/㎡ 수준이다. 따라서 다기능 통합온돌시스템의 공사비가 약 10% 정도 높게 형성된다. 한편, 다기능 통합온돌시스템은 환기기능이 포함될 수 있기 때문에 환기시스템에 소요되는 비용을 포함하여 계산하면 [그림 3.6.1]과 같이 유사한 가격이 형성된다.

본 연구진에서는 개발한 다기능 통합 온돌시스템은 현행 온돌공법과 환기시스템을 설치하면서 추가되는 가격에 충분히 시장경쟁력을 가지면서 성능 향상이 가능하다. 즉, 성능향상에 따른 주거만족도, 층고절감에 따른 비용 등과 같은 간접적인 절감비용에 의해 가격경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

이와 같은 시스템이 공동주택에 적용되는 경우 매년 500,000세대의 주택이 건설되고 있으므로 주택건설시장의 경쟁에 따른 물량 및 규모제한은 받지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 실용화를 위한 체계적인 연구개발이 이루어지면 시장점유 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

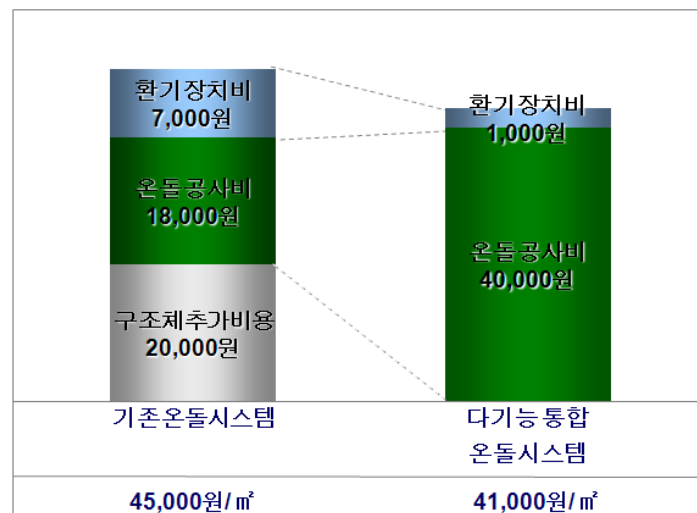
<표 3.6.1> 기존온돌공법과 다기능온돌시스템의 예상가격 비교

13) 건설교통부고시 제2004-71호 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 (2004. 3. 30)

14) 건설교통부 층간소음 보도자료 (2004. 3. 23)

		표준바닥구조 온돌공법	다기능통합 온돌시스템	비고
온돌 공법	완충재 m ²	6,000원		
	기포콘크리트 m ²	2,000원		
	온돌시스템 m ²		30,000원	
	배관재 m ²	4,000원	4,000원	
	마감모르터 m ²	6,000원	6,000원	
슬래브 구조체	210mm 추가비용 m ²	20,000원	0원	
합 계 m ²		38,000원	40,000원	

- 주) 1. 마감재비용은 포함되지 않았음
2. 층간차음재(S사) : 두께 20mm기준
3. 슬래브 바닥에서 방바닥 표면 기준 높이 : 110mm기준
4. 자연환기 급기구 비용은 포함되지 않았음
5. 슬래브는 습식온돌 210mm, 다기능통합온돌시스템은 150mm기준
6. 비용은 재료비 + 인건비 포함 금액임



[그림 3.6.1] 환기+기존온돌시스템과 다기능통합온돌시스템의 예상가격 비교

제 7 절 보급형 다기능온돌시스템 개발

1. 인정구조의 현황

현재 공동주택의 온돌구조에 반영되고 있는 대부분의 시스템은 표준바닥구조를 기반으로 하고 있다. 즉, 210mm의 슬래브 구조위에 단열재 또는 완충재(20~30mm)를 설치하고 기포콘크리트(30~40mm), 배관 및 모르터((40~50mm)를 구성하고 있다.

한편, 최근 몇 년동안 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준 제 13조에 의해 인정을 받은 구조들은 기포콘크리트 타설 유무에 따라 습식방식과 반습식 방식으로 구분해 볼 수 있으며 하부에 공간층을 갖는 이중바닥 방식으로 아래 <표 3.7.1>과 같이 크게 3가지로 구분해 볼 수 있다.

<표 3.7.1> 인정구조의 온돌구조 구성형식

방 식	구 성
습 식	기존형식의 단열재가 완충성 소재로 대체 됨.
반습식	기존 형식에서 기포콘크리트층이 생략되고 완충성 소재 또는 복합mat의 상부 면에 배관하는 형식.
이중바닥	난방배관을 위한 바닥패널 하부에 공간층이 구성되고 패널 상부면에 배관하는 형식

<표 3.7.2> 시스템별 인정서 발급 현황(중량충격음기준) '08년 3월말 기준

SLAB 등급 \ 형식	150mm			165mm			180mm			210mm		
	습식	반습식	이중	습식	반습식	이중	습식	반습식	이중	습식	반습식	이중
1등급/40이상							2	5				
2등급/43이상					3		3	4	1			
3등급/47이상	2	7	2	1	1		6	13	1			
4등급/50이상	4	6		1			17	5		1		
계	6	13	2	2	4		28	27	2	1		

주) 기포콘크리트 사용 타설 유무에 따라 습식, 반습식 및 이중바닥으로 구분

<표 3.7.2>는 바닥충격음 차단구조 인정을 취득한 시스템에 대하여 슬래브구조의 두께, 온돌시스템의 형식 및 중량충격음을 기준으로 등급수준으로 정리해 놓은 것이다. 3월 말 기준 현재까지 80~90개 형식의 인정시스템이 발급되었고 지금도 수십 개 형식의 신청이 대기 중에 있다.

그동안 많은 인정구조 시험을 통하여 이와 같은 습식, 반습식 및 이중바닥구조에 의한 구성방식에 따라 동일한 바닥충격음 차단성능등급을 갖더라도 바닥충격음에 대한 청감 특성이 다르게 나타나고 있다. 또한, 온돌구조가 갖추어야 할 기능적인 측면에서도 서로 다른 특징을 갖고 있다. 아래 표는 각 시스템 형식별로 나타나는 특성을 비교·정리해 놓은 것이다.

<표 3.7.3> 인정구조의 시스템형식별 특성 비교

구 분 \ 형 식	표준바닥구조	인정구조		
		습식	뜬바닥	이중바닥
1) 난방배관의 수평성 보장	기포유동성이용	좌동	불가	지지대 높이조절
2) 구성층의 구조적 안정성	양호	양호	불명	양호
3) 시공성	양호	양호	양호	약간 복잡
4) 공기 단축	기포콘크리트 양생기간 소요	좌동	즉시 배관	즉시 배관
5) 누수방지를 위한 상부taping처리	0	0	0	X
6) 구성층에 “물”침투에 의한 하자발생 가능성	중	강	강	약
7) 발생된 하자 해소기능	X	X	X	0

공동주택의 층간 구조는 바닥충격음 차단성능을 확보해야 할 뿐 아니라 바닥슬래브 위에 설치되는 온돌시스템은 아래와 같은 요구성능을 필수적으로 갖추어야 한다.

1) 공동주택의 한 구성체로서의 안정성 확보

온수온돌 시스템 구조에서 구성 자재를 검토하여 보면, 현재까지 인정서가 발급된 시스템들 중 적층식(습식, 반습식)은 기존시스템의 단열재 층의 구성소재와 두께를 다양화 한 것으로 대부분, 기존의 단열재였던 EPS소재가 완충성이 대폭 향상된 다른 물성의 소재로 대체되는 즉 단열보온성이 있는 완충재 구성구조형식이다. 온수온돌의 난방가동 열이 일반적으로 50~70℃ 인데, 이 경우 인정서상에 표기된 완충재들이 난방열로 인한 물리적 변화와 구조부하 하중에 대한 안정성 검증이 필요하다.

2) 난방열 효율성 보장

온수순환용 난방배관들의 수평상태에 따라 효율성이 좌우되므로 난방배관을 위한 바닥표면의 수평상태는 필히 양호해야 한다. 경량기포콘크리트를 활용하는 인정시스템 시공법에서는 그 유동성 특성으로 바닥표면의 수평상태가 유지될 수 있으나, 시공현장의 슬래브바닥 표면의 수평상태에 의존할 수밖에 없는 그 외의 인정 시스템 시공법에서는 난방배관의 수평성 보장은 사실상 불가능하다고 보여진다.

3) 하자 발생 확률의 최소화

온돌시스템은 단 1%의 하자라도 그 발생요인을 사전에 최소화하기 위한 방안 및 자체 해소기능이 있어야 한다. 여기에서 하자라 함은 습식 또는 반습식 시스템구조에서 “물 공사”(기포콘크리트 또는 마감 모르터 공사)를 할 때 완충재층의 자체 또는 그 하부 면 내부에 약간의 “물”이 침투되어 온돌 모르

터층의 양생건조 기간에 충분히 증발 건조되지 못하고 습윤 상태로 남아 있다가, 준공 입주 후, 수증기로 증발하여 실내 벽면 등에 곰팡이발생 또는 마감재 부식상태를 야기하는 것을 의미 한다. 최근까지 이런 종류의 하자발생은 현장사정의 특성상 감수할 수 밖에 없어 사후 처리에 치중하여 해결해 왔다. 그러나 사후관리 비용 부담 보다 도 브랜드가치를 중히 여기는 건설사 입장에서는 외부에 공개할 수 없는 비중 있는 애로사항 중에 하나이다.

2. 보급형 다기능 온돌시스템 개발

현재 개발된 이중바닥구조형태의 다기능온돌시스템과 관련한 연구목표를 달성했거나 기술적 및 기능성에 대한 가능성은 모두 확보하였다고 본다.

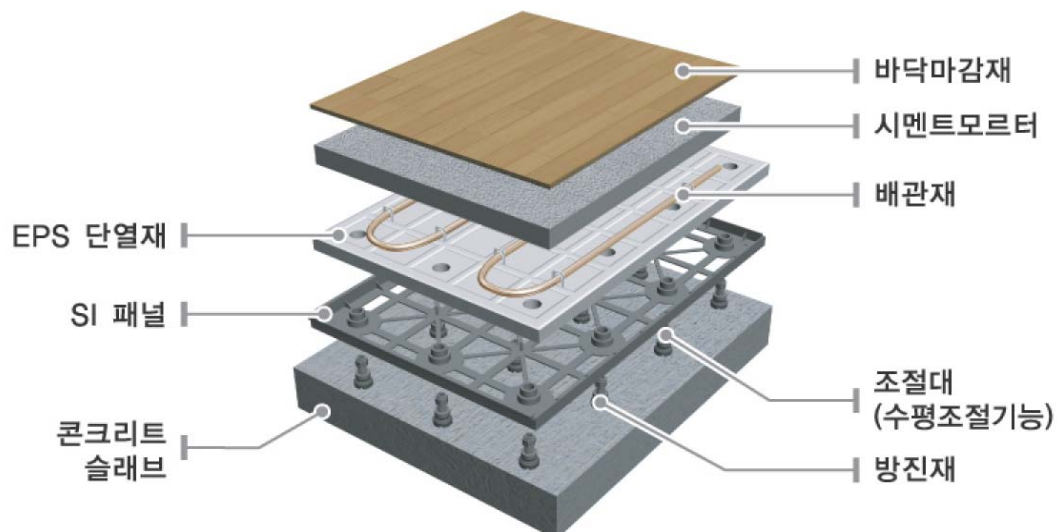
그러나 신규 개발시스템이 실용화와 시장진입에 성공적으로 정착되기 위해서는 다양한 형태의 공동주택에 접목되어 개발 완성된 상품으로서의 외형과 가치를 가지적으로 수요자(건설사)에게 보여주어야 하는 실질적인 과정이 아직 남아있다고 본다.

현재 온돌시스템 제품에 대한 실수요자인 건설사들의 관심은 층간소음에 관련한 법정 기준치를 안전하게 충족시킬 수 있음과 동시에 기존의 시장가격에서 크게 상회하지 않는 저가형의 적층식(습식) 온돌시스템 제품에 집중되어 있다.

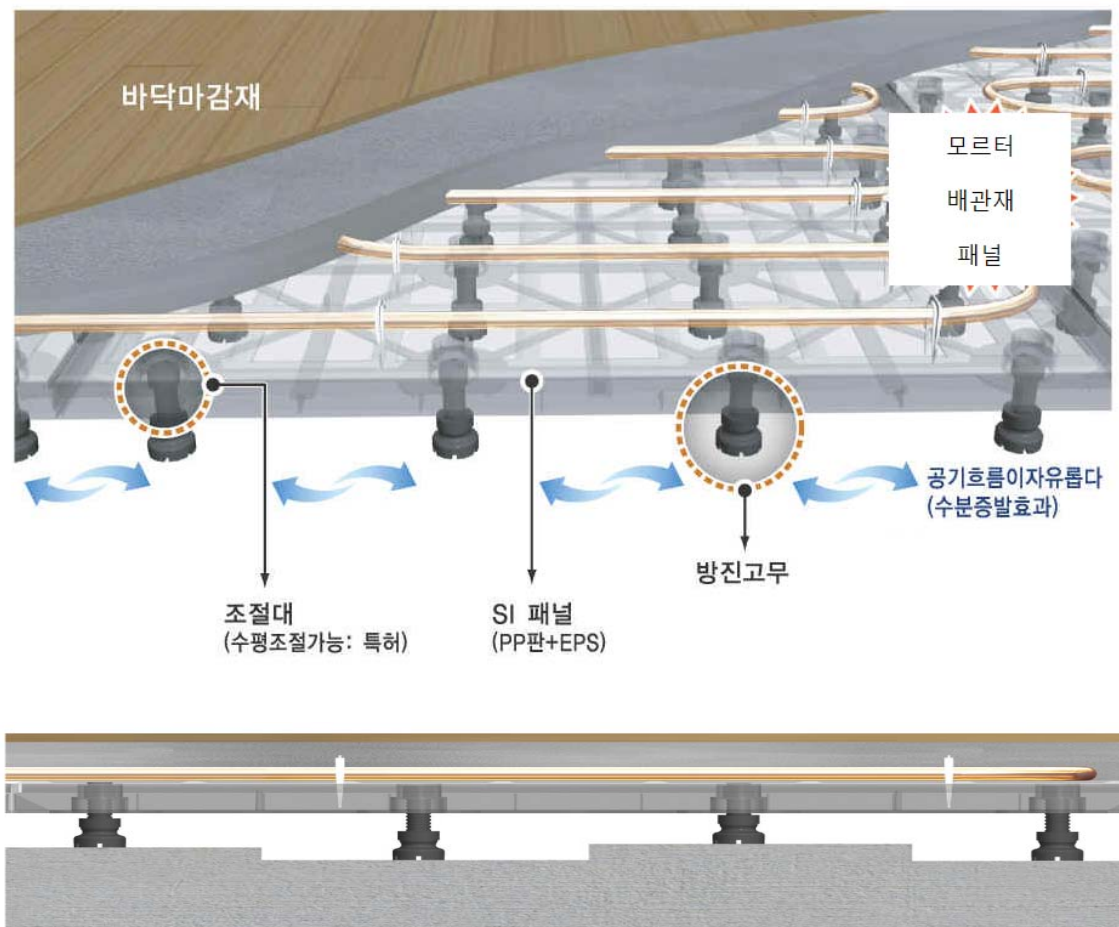
그러나 인정구조라 하더라도 기포콘크리트층이 생략되는 반습식구조에서는 배관재의 수평성 확보가 어렵다. 또한, 기존 적층식 온돌시스템에서 완충재 하부면에 "물"이 침투되었을 경우 준공 후 실내 마감재에 하자 발생 요인(벽면에 곰팡이 발생, 바닥 마감재의 들뜸 현상 발생 등)으로 나타나는 현상을 근원적으로 예방하기 어렵다.

따라서 기존의 적층식 온돌시스템의 문제점을 개선하면서 이중바닥 온돌시스템의 특성을 대부분 그대로 갖고 저렴한 가격대로 이중바닥 온돌 시스템이 완성될 수 있는 보급형 다기능온돌시스템을 추가적으로 개발·완성하였다. 아래 [그림 3.7.1]~[그림 3.7.2]는 보급형 다기능 온돌시스템의 구성을 나타낸 것이다. 본 보급형 이중바닥 온돌시스템은 조절대를 이용하여 단위패널 및 전체 온돌시스템의 수평성을 확보할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 또한, 본 시스템은 습식구조에서 하자 발생원인이 되는 "물"이 구성층에 침투하더라도 이중바닥구조의 공간층에 의해 자연스럽게 증발,건조되기 때문에 위에 언급된 하자 발생 우려가 없다고 볼 수 있다.

본 보급형 다기능온돌시스템은 콘크리트슬래브두께 150mm의 조건에서 경량충격음 차단성능 2급, 중량충격음 차단성능 3급을 획득하였으며, 또한 콘크리트슬래브두께 180mm의 조건에서 경량충격음 차단성능 1급, 중량충격음 차단성능 2급을 획득하였다.



[그림 3.7.1] 보급형 다기능온돌시스템의 구성



[그림 3.7.2] 보급형 다기능온돌시스템의 설치 단면

2) 시공순서

준비 도구	1) 수평4방향 레이저 라인 수평기 2) 디지털 막대 수평기 3) 직각 브래킷(bracket)지그(jig) (철판2~3t 절곡: 높이(43~42)x수평(100)x폭(100)) 4) 절삭 천공용 소형 특수 그라인더(grinder) 5) 직각jig자, 먹줄선 긋기용 필기구, 먹통, 수평실
-------	--

① 측(벽)면 완충재를 선부착한다.

② 해당 시공바닥중앙부위에 수평4방향 레이저라인수평기 정밀설치

③ 분합 문틀 문지방 안쪽 측면 모서리 위 꼭짓점에서 직각자를 이용하여 15mm(또는 10mm)되는 위치 점을 벽면완충재 표면에 표시한 후, 이를 기준점으로 하여 수평4방향 레이저라인 수평기의 레이저 빛이 일치되게 조정한다.

④ 4면의 벽면완충재 표면에 조사된 레이저 빛에 맞추어 한(1)면에 3~5 군데 이상, SI보드 판 틀이 설계(시공)도면상 놓일 자리 위치와 일직선 되는 곳에 먹 선으로 마킹(marking)표시한다.

⑤ 벽면완충재에 표면에 표시(marking)된 먹선을 기준하여 사방으로 먹선을 표시한 후, 90도 직각브래킷(bracket)의 45(또는40)mm 수직면위 끝이 SI보드 판 틀의 놓일 자리 위치와 나란히 되는 위치의 먹선에 일치 되도록 적정 개수를 부착한다.

⑥ ⑤항에 의하여 벽면완충재 표면에 표시된 먹줄선이 방통마감 기준선이 되며, 부착된 브래킷(bracket)의 수평방향 하부 면과 해당 슬래브바닥표면과의 높이가 SI보드 설치장소의 공간높이로서 SI보드의 가장자리 윗면과 브래킷의 하부 면이 맞닿아 접촉되도록 하는 높이 즉 지지받침대(방진재+ bolt&nut) 높이공간이 된다.

⑦ ⑤항에서 부착한 브래킷의 수평 길이방향 가장자리에 가공되어 있는 구멍들(간격 100mm이상)을 이용하여 대각되게 색깔 있는 수평실을 팽팽하고 정밀하게 연결 설치한다. 이렇게 된 수평실 전체길이의 하부면 높이공간이 SI보드의 설치공간높이가 된다.

이 경우 XO2시스템 시공방식과의 차이점은 위의“시공고려사항”에서 언급한 바와 같이 XO2시스템에서는 이의 지지받침대들의 너트 부품머리 윗면의 높이만 설치된 수평실 기준높이에 개별적으로 각각 맞추면 되게 되어 있으나, SI보드 시스템에서는 보드 판 윗면 넓이(기본규격; 900x600) 전체의 수평양방향높이(가로x세로)를 맞추게 되어 있으므로 먼저 윗면의 수평 양방향 상태를 가늠확인하면서 이미 결합되어 있는 지지받침대 12개들의 개별적으로 조절하여 안착 고정 설치 시공한다.

여기에서 특별히 유의해야 할 사항은 볼트들의 높낮이 조절강도 조정 이다. 왜냐하면 SI

보드 판상 틀 전체의 무게가 아주 경량이기 때문에 아주 약한 조절강도 조정에도 지지받침대의 받침높이 고정안정성에 민감한 영향을 주게 되어 있어, 이를 소홀히 하게 되면 SI보드 전체의 양방향 수평상태의 휨강도 안정에 약간의 불균형을 유발 할 수 있다.

그러므로 이를 예방하기 위한 방편으로서 시공 할 때에 SI보드 윗면 에 인위적으로 별도의 적정한 판상형의 중량물(약10kg정도)을 올려놓고 볼트의 조절강도를 가늠하면서 조정하면 적정한 조절강도 균형을 맞출 수 있다고 본다.

- ⑧ 이렇게 하여 안착 설치 고정된 SI보드를 연속 연결 시공할 경우, 상호 연결은 SI보드 4가장자리 둘레에 중 2가장자리 둘레에는 후크 (hook)식으로 체결 결합되도록 되어 있어 한번 체결 결합되면 분리 분해가 어렵게 되어 있다.

이 경우에 뒤따르는 SI보드의 수평상태는 선행되어 있는 SI보드와 접 속 연결되는 2가장자리 윗면 부분은 자동적으로 수평상태가 이루어지 나 나머지 2가장자리는 이미 설치되어 있는 수평실에 기준하여 지지받침대들의 볼트를 조정 안착시킨다. 이때에도 볼트조절강도 느낌의 균질성을 갖기 위하여 SI보드 위에 별도의 위와 동일한 적정 판상형 중량물을 올려놓고 실행해야 한다.

디지털 막대수평기는 위와 같이 SI보드를 안착 설치, 연속조립 시공하 면서 연결 조립 시공된 SI보드 상부 표면 전체의 수평양방향(가로 x 세로)상태를 추가적으로 확인 점검하거나 수평실이 설치되지 못하는 공간의 수평기준선 기능을 대체 하는데 활용되어야 할 것이다.

- ⑨ 해당 슬래브 바닥의 수평고름상태는 일반적으로 균일하지 못하다. 경우에 따라서는 설정된 마감 기준높이(110~120mm)보다 모자라거나 초과하는 경우의상태가 많다. 이에 대한 지지대 기준볼트의 높이증감 대응 조절능력은 10~15mm에 불과하다.

그러므로 이러한 여건에서 해당슬래브 바닥의 수평고름상태 마감기준 높이가 기준볼트의 대응조절범위를 초과하는 수준 정도로 균일하지 못하는 경우에, SI보드 시스템은 조립시공특성상 ⑧항에 언급되어 있는 바와 같이 한번 연결조립 체결되면 분리분해가 어렵게 되어 있으므로 이에 대비함이 중요하다. 따라서 시공 전에 이미 설치되어 있는 수평실의 하부 면 높이를 육안 또는 실측하는 방법으로 가늠하여 지지볼트의 적용높이를 판별구분 적용한 후 조립시공을 실행해야 한다.

- ⑩ 해당 슬래브바닥이 설계기준 보다 돌출되어 있는 상태가 기준지지대 볼트 높이줄임 대응범위인 10mm를 초과하는 경우에는 현재의 높이 35mm 기준방진재의 적용은 불가능하게 된다.

이 경우에는 별도로 준비된 이형 방진재25mm로 대체 적용 해결 할 수 있겠으나, 그럼에도 불구하고 돌출상태가 설계기준보다 20mm이상일 경우에는 이형치수부품 적용을 지양하고, 방진재가 놓일 해당 슬래브 바닥표면을 준비한 천공용 소형 절삭기(grinder)도구를 이용하여 부족한 방진재 높이 공간을 확보 해결하도록 한다.

한편 위와 반대의 경우, 즉 해당 슬래브바닥 표면이 설계기준보다 낮 은 경우에는 별도로 준비된 이형볼트(60mm)로 35mm(기준15+ 초과 20) 이내의 초과높이에 적용하고 그이상의 것은 방진재 하부면에 적정 두께의 판재를 고이는 방식으로 처리하도록 한다.

- ⑪ SI보드(시스템) 조립공정착수는 SI보드의 배치계획도면과 위 ⑦ 항에서 설치한 수평실을 SI보드 상부면 높이기준선으로 참고하면서 배치계획도면에 따라 시공 장소바닥의 가장자리 위치에서 중

양부위로 동시 진행한다.

이 때 특히 유의해야 할 것은 ⑦,⑧,⑨항에서 설명한 바와 같이 SI보드 시스템은 지지받침대가 이미 결합된 상태이고, 조립연결을 한번 시공하면 분해분리가 어려우며, 해당 설치예정 장소의 슬래브바닥 표면상태도 균일하지 못하다는 점이다.

따라서 시공자는 수평실을 참고하여 배치계획에 따른 해당 SI보드가 놓일 자리넓이의 공간높이를 사전에 비교적 정밀하게 실측가능한 후 지지받침대들의 적용높이 범위를 파악하고 이에 적합한 부품을 선택부착 조립 조정한 후 시공 작업을 착수해야 한다.

여기에서의 조정은 SI보드에 사전 결합 부착시키는 지지볼트의 1차 조절범위를 의미하는 것으로, 그 정도는 ⑧항에서 언급한바와 같이 이미 성행되어 있는 SI보드의 지지볼트 높이정도를 기억 참고하고 바닥표면의 고름상태를 반영하면서, 그 선행 지지볼트의 높이와 비슷하거나 좀 낮은 상태로 조정하여야 한다. 이렇게 하여 SI보드 연속 연결조립 체결 후 지지볼트의 2차 조절로 개별조립시공이 진행된다.

- ⑫ 이렇게 하여 해당 시공 장소 바닥전체에 걸쳐 조립시공이 완료되면 ⑦항에서 설치한 수평실을 이전하고 동시에 ⑤항에서 벽면 완충재에 부착 했던 브래킷(bracket)을 떼어 다음 장소로 이전한다.

이 경우 ⑦항에서 언급한바와 같이 SI보드는 자체자중 무게가 매우 경량임으로 사방가장자리에 놓여있는 동 보드판 일(1)면 테두리는 이곳 근처를 눌러 구속하고 있던 브래킷이 다른 장소 이전으로 구속력이 없어짐에 따라 이 곳 부위에서 들뜸 현상이 발생될 수 있다.

이러한 들뜸 현상을 본래대로 안정시켜야 함으로 별도로 고안 제작한 브래킷을 처음과 같은 위치뿐만 아니라 필요하다고 판단되는 위치에도 추가적으로 부착 고정시킴으로서 본 SI보드 시스템의 조립시공 공정이 완료된다.



1 측면완충재 부착



2 SI 패널조립 시공1



3 수평확인



4 SI 패널조립 시공2



5 이형부위 가공 / 조립시공



6 SI SYSTEM 시공완성



7 난방배관 시공



8 마감 모르타르시공



9 미장 / 시공 완료

[그림 3.7.4] 보급형 다기능온돌시스템의 시공순서

제 8 절 일본 주택으로의 적용 가능성 분석

현재 일본 내에서는 신축 단독주택 혹은 공동주택을 중심으로 바닥난방시스템의 설치가 보편화되고 있다. 이 절에서는 일본에서의 바닥난방시스템의 변천과정 및 그 현황을 검토하고, 다기능통합온돌시스템의 일본 주택 적용 가능성에 대하여 분석해 보았다.

1. 일본 바닥난방시스템

가. 일본 바닥난방시스템의 변천과정

현재 일본에서 사용되고 있는 바닥난방시스템은 1960년대에 주택용이 아닌 노면 동결을 방지하기 위해 도로 안에 열전선을 매설하면서 시작됐다. 건축물 안에 바닥난방으로서 등장한 것은 1965년에 가나가와(神奈川)현 회의장이 최초였고, 그 이후 오피스나 공장 등에도 도입되었지만 일반 주택에 도입된 것은 1970년에 들어서부터 이다. 하지만 초기 설치비용이 비싼 이유로 그 실적은 저조했다.

그 이후 가스회사에서는 가스온수식 바닥난방을 전략상품으로 내놓아 일본에서도 바닥난방이라는 문화가 형성될 조짐이 보이기 시작했다. 1987년에는 주택구조가 카펫마감에서 플로팅마감으로 바뀌면서 시장에서는 플로팅에 대응한 바닥난방이 요구되었고 가스회사에서는 바닥재의 평가수법을 확립하여 1988년에는 플로팅용 바닥난방을 도입하기에 이르렀다.

바닥난방 마케팅이 활성화되기 시작된 것을 보고 이제껏 소극적이었던 바닥재 업체들이 이 시기 이후로 적극적으로 사업에 참여하게 되었고, 그 결과 바닥난방 마감재로 사용할 수 있는 바닥마감의 종류도 늘어났다. 주택 바닥재는 플로팅이 일반화되었고, 더욱이 품질개선이나 바닥난방에 적합한 타일, 코르크, 합성수지계 다다미 등의 상품이 개발되어 수요도 생산도 늘어나는 형태로 바닥난방 시장이 크게 팽창하였다.

1999년에는 가스회사로부터 리모델링용 온수바닥난방이 판매되기 시작하여 기존 건축물을 대상으로도 바닥난방이 보급되기 시작하였고, 최근에는 수도권 신축 주택에서 바닥난방이 사실상 표준설비가 되었다고 말할 수 있는 실정에 이르렀다.

나. 일본 바닥난방시스템의 현황

바닥난방이 기존 건축물에도 도입되기 시작한 1999년도에는 10만 건 정도였던 수도권 내 바닥난방 수요가 2005년도에는 60만 건에 육박하면서 최근 몇 년 동안 일본 내에서의 바닥난방 수요가 급속하게 증가했다.

여기에는 바닥난방을 활성화시킨 대표적 가스회사인 도쿄(東京)가스가 현재 설치하고 있는 바닥난방의 형태를 검토하였다.

[그림 3.8.1]부터 [그림 3.8.5]까지는 기존의 바닥 위에 설치할 수 있는 간이 바닥난방의 형태가 되며, [그림 3.8.6]부터 [그림 3.8.11]까지는 주택 신축시에 바닥에 매설하는 바닥난방 형태가 된다. 그리고 [그림 3.8.12]는 주택 신축시에 바닥난방에 사용되고 있는 바닥마감재를 보여주고 있다.

1) 기존 바닥 위에 설치

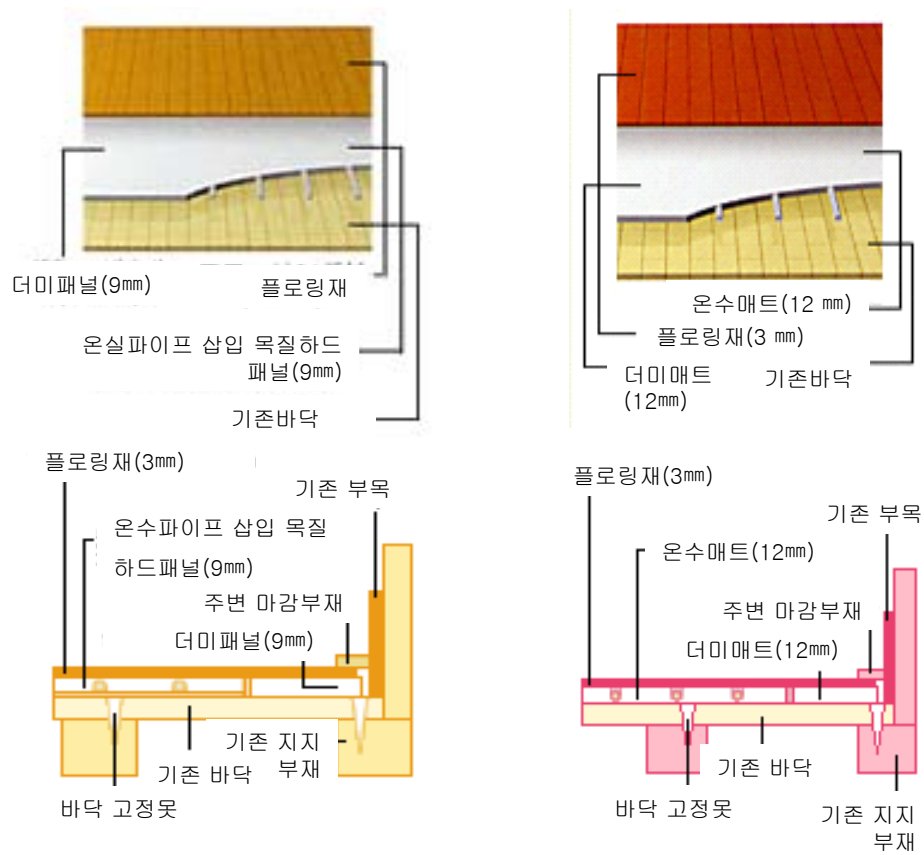
[그림 3.8.1]은 목조 단독주택에 있어서의 기존 바닥 위에 설치하는 플로팅 마감을 한 바닥난방으로 좌측 시스템은 1층 전용으로 총 두께가 12mm이며, 우측 시스템은 1, 2층 겸용으로 총 두께가 15mm이다. 양쪽 시스템 모두 기존 바닥 위에 간편하게 설치할 수 있으며 공사기간이나 가격 면에서 장점을 갖고 있는 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

[그림 3.8.2]는 목조 단독주택에 있어서의 기존 바닥 위에 설치하는 플로팅 마감을 한 바닥난방으로 1, 2층 겸용이며 총 두께는 12mm이다. 이 시스템 또한 기존 바닥 위에 간편하게 설치할 수 있는 장점을 갖고 있는 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

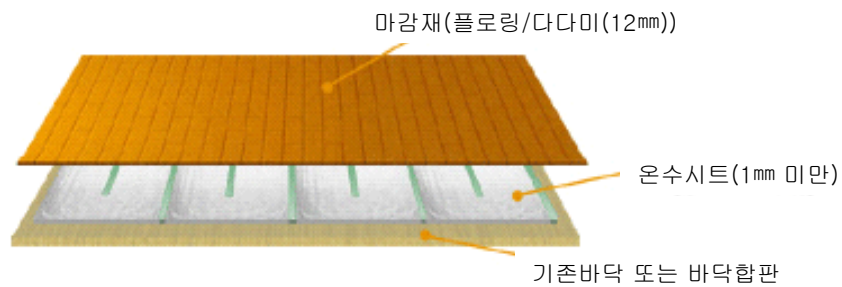
[그림 3.8.3]은 맨션과 같은 공동주택에 있어서 슬래브 혹은 이중바닥으로 된 기존 바닥 위에 설치하는 플로팅 마감을 한 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

[그림 3.8.4]는 단독주택의 1, 2층 그리고 맨션과 같은 공동주택에 있어서 기존 바닥 위에 설치하는 다다미 마감을 한 바닥난방 시스템이다. 기존 다다미방의 바닥높이 변화 없이 설치가 가능하다는 장점이 있다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

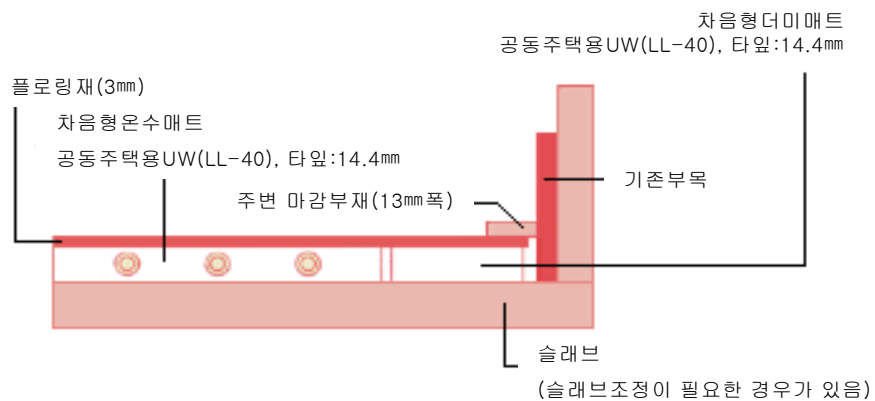
[그림 3.8.5]는 단독주택의 1, 2층 그리고 맨션과 같은 공동주택에 있어서 기존 바닥 위에 설치하는 카펫 마감을 한 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.



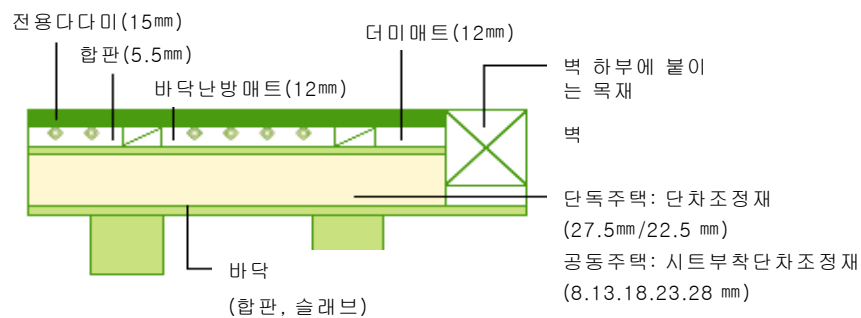
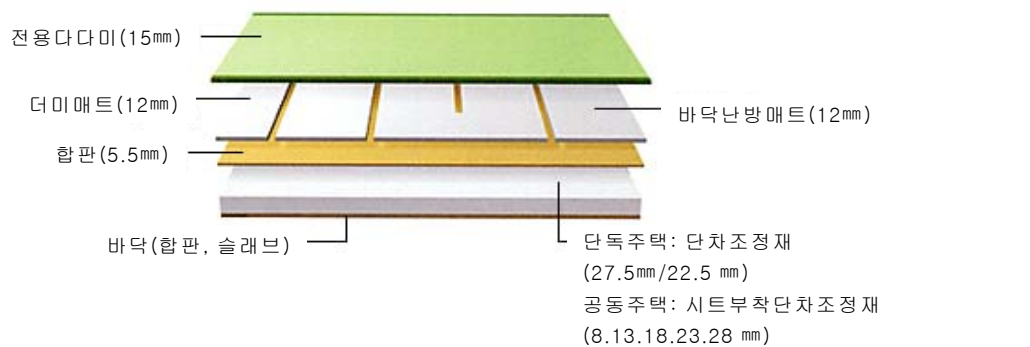
[그림3.8.1] 기존 바닥 위에 설치 - 목조 단독주택 플로링 마감



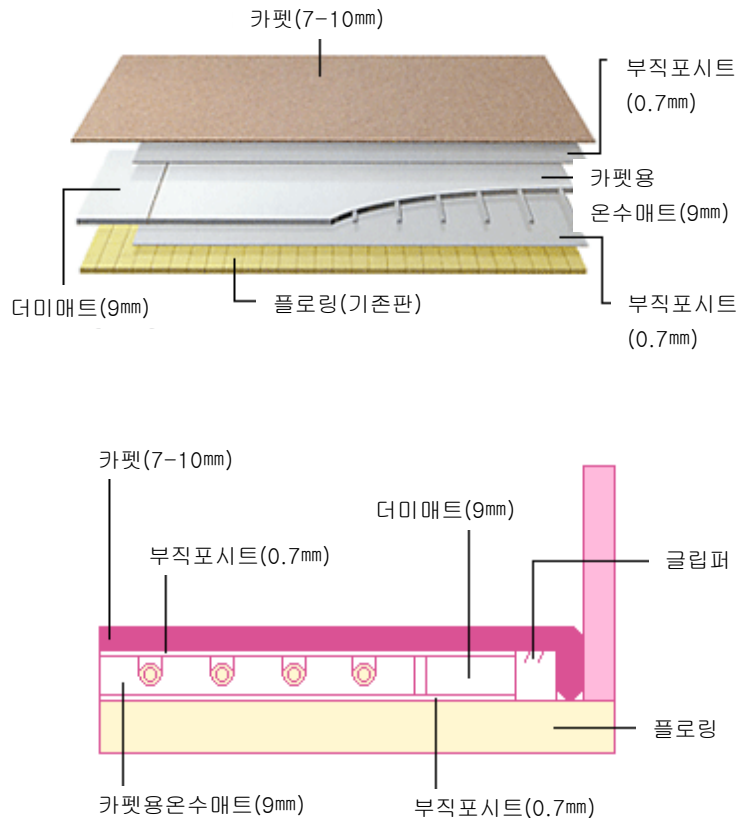
[그림 3.8.2] 기존 바닥 위에 설치 - 목조 단독주택 플로링 마감



[그림 3.8.3] 기존 바닥 위에 설치 - 공동주택 플로링 마감



[그림 3.8.4] 기존 바닥 위에 설치 - 단독/공동주택 다다미 마감



[그림 3.8.5] 기존 바닥 위에 설치 - 단독/공동주택 카펫 마감

2) 신축 설치

신축용 가스온수 바닥난방은 마감재 밑에 온수매트를 설치하고 약 60℃의 저온수를 순환시킨다. 설치할 때에는 방이나 마감재에 따라서 적절한 공법을 이용한다.

[그림 3.8.6]은 목조 단독주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 온수배관을 시트에 내장시켰기 때문에 경량이며 반입하기가 수월하고 시공하기에도 용이하다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

[그림 3.8.7]은 목조 단독주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 플로팅 고정에 못을 사용하지 않는 공법을 이용한 바닥난방 시스템이다. 특수 아이론으로 플로팅 위에서부터 플로팅과 온수매트를 접착시킨다. 이 예로부터 일본에서도 바닥마감에 못을 사용하지 않는 경우가 있으며, 마찬가지로 바닥마감에 못을 사용하지 않는 다기능통합온돌시스템을 도입하는데 있어서도 거주자가 심리적으로 받아들이기 쉬울 것으로 보인다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

[그림 3.8.8]은 목조 단독주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 경량 발포계 기재에 내열, 내구성이 우수한 가교폴리에틸렌관을 내장한 일본에서 가장 전형적인 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

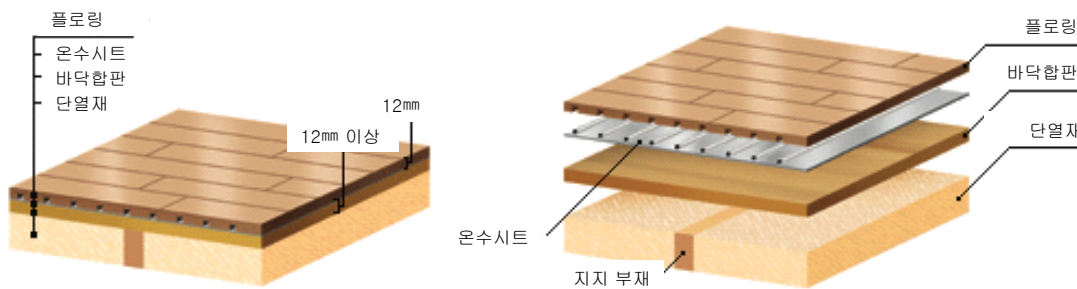
[그림 3.8.9]는 단독주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 단열재를 겸한 발포계 보드에 온수배관을 설치하여 모르터를 타설하는 공법을 이용한 바닥난방 시스템으로 바닥마감으로 타일은 물론

석재마감이 가능하다. 이 예로부터 건식공법을 이용한 바닥난방이 널리 보급되어 있는 일본 내에서 맨션뿐만이 아니라 단독주택에 있어서도 습식공법을 이용한 바닥난방을 설치하는 경우가 있으며, 이는 다기능통합온돌시스템이 구조적으로 일본 주택에 적용되기 수월하다는 것을 보여주고 있다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

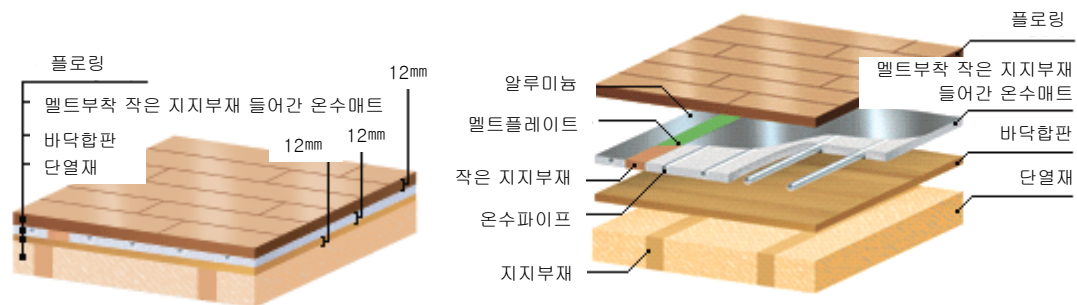
[그림 3.8.10]은 맨션과 같은 공동주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 플로팅재 그 자체에 방음효과를 갖게 함으로써 슬래브에 직접 온수매트와 플로팅을 붙이는 공법을 이용한 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

[그림 3.8.11]은 맨션과 같은 공동주택 신축시 바닥 밑에 설치하는 바닥난방으로 슬래브 위에 방음 효과가 있는 바닥이 있고 그 위에 작은 지지대가 들어간 온수매트와 플로팅을 붙이는 공법을 이용한 바닥난방 시스템이다. 이 바닥난방의 구조는 다기능통합온돌시스템의 바닥구조와 마찬가지로 이중바닥을 이용하고 있으며, 이는 일본 내에 보급되고 있는 공동주택 바닥난방시스템에 있어서도 방음 효과가 중요한 요소 중 하나라는 것을 보여주고 있다. 그렇기에 다기능통합온돌시스템의 여러 기능 중 하나인 이중바닥을 이용한 방음효과는 일본 주택에 도입하는데 있어서도 큰 장점이 될 것으로 보인다. 이 바닥난방 시스템의 구조는 그림에 나타나는 바와 같다.

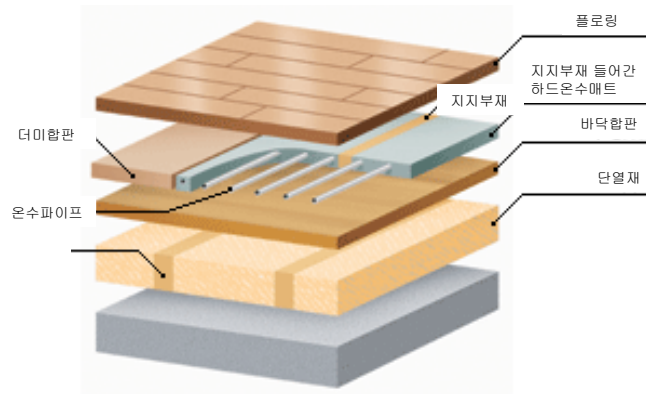
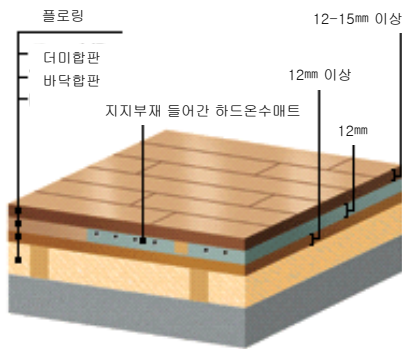
[그림 3.8.12]는 주택 신축시 바닥난방 설치에 있어서의 바닥마감재 종류를 나타내고 있다.



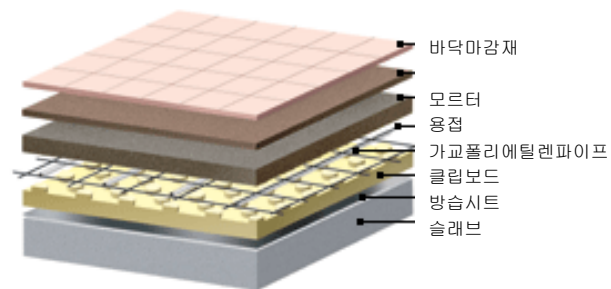
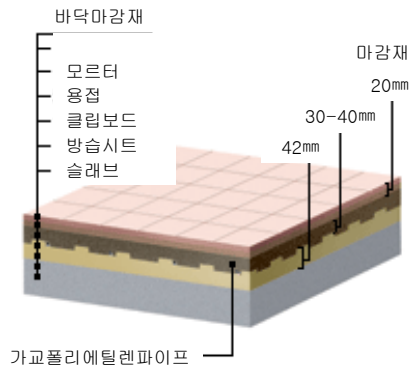
[그림 3.8.6] 신축 설치 - 목조 단독주택 (바닥난방 온수시트)



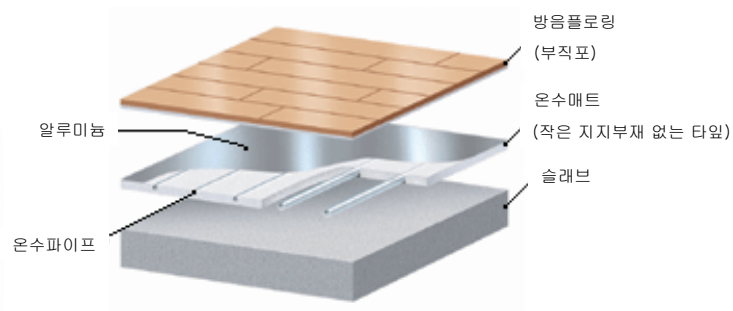
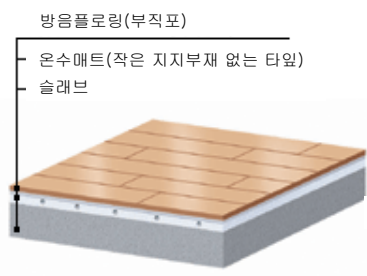
[그림 3.8.7] 신축 설치 - 목조 단독주택(멜트부착 작은 지지부재 들어간 온수매트)



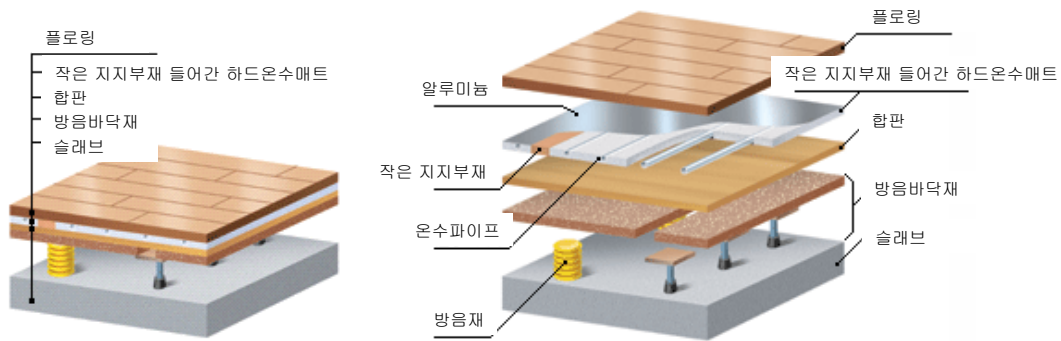
[그림 3.8.8] 신축 설치 - 목조 단독주택 (작은 지지부재 들어간 온수매트)



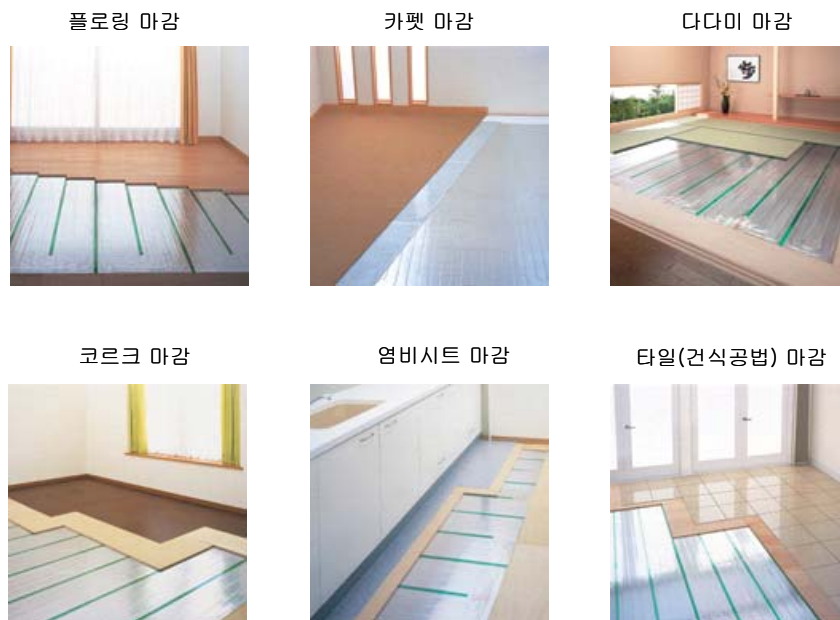
[그림 3.8.9] 신축 설치 - 목조 단독주택 (콘크리트매설공법 바닥난방)



[그림 3.8.10] 신축 설치 - 공동주택 (직접 붙이는공법 바닥난방)



[그림 3.8.11] 신축 설치 - 공동주택 (이중바닥공법 바닥난방)



[그림 3.8.12] 신축 설치 - 바닥마감재 종류

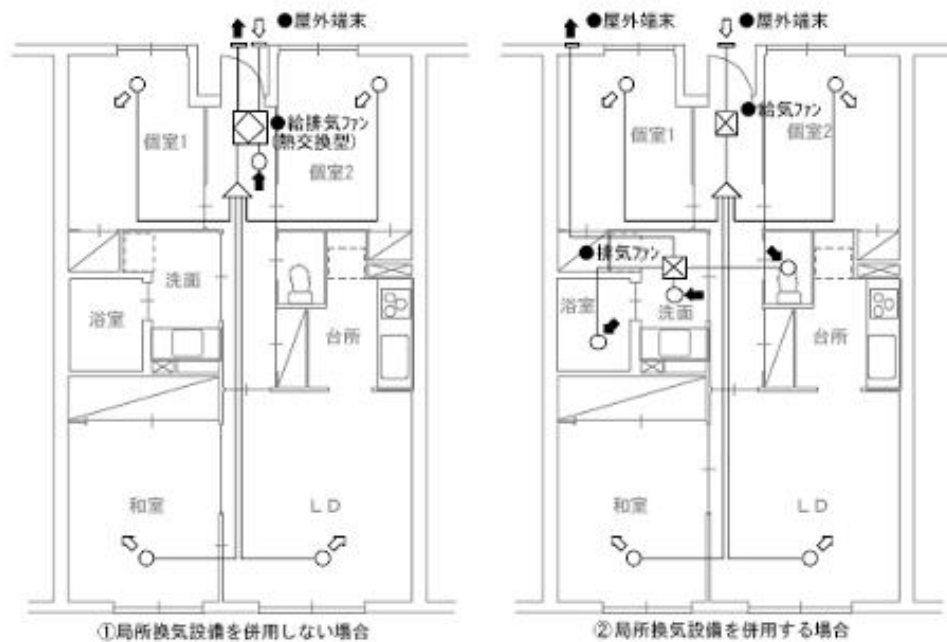
2. 일본 환기시스템

가. 환기시스템

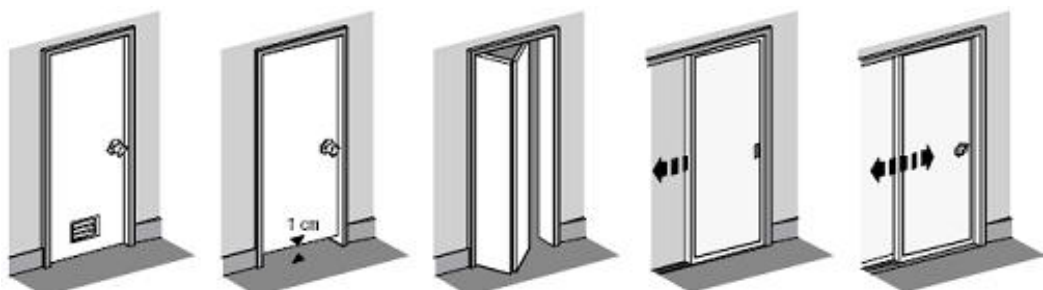
일본에서는 새집증후군에 대한 문제가 사회적으로 이슈화 되면서 내장마감재를 사용제한하거나 의무적으로 환기장치를 설치토록 하는 규정이 건축기준법에 마련되었다.

우리나라와 상대적으로 주거문화가 비슷한 일본의 공동주택의 단위세대는 상대적으로 장방형으로 길게 구성되어 있어 중간에 위치한 실이나 주방과 화장실은 외기와 접해있지 않은 공간으로 이루어지는

경우가 많다. 따라서 이와 같은 공간의 출입문은 아래 그림과 같이 문틈에서 기류가 형성될 수 있는 구조를 제안하고 있다.



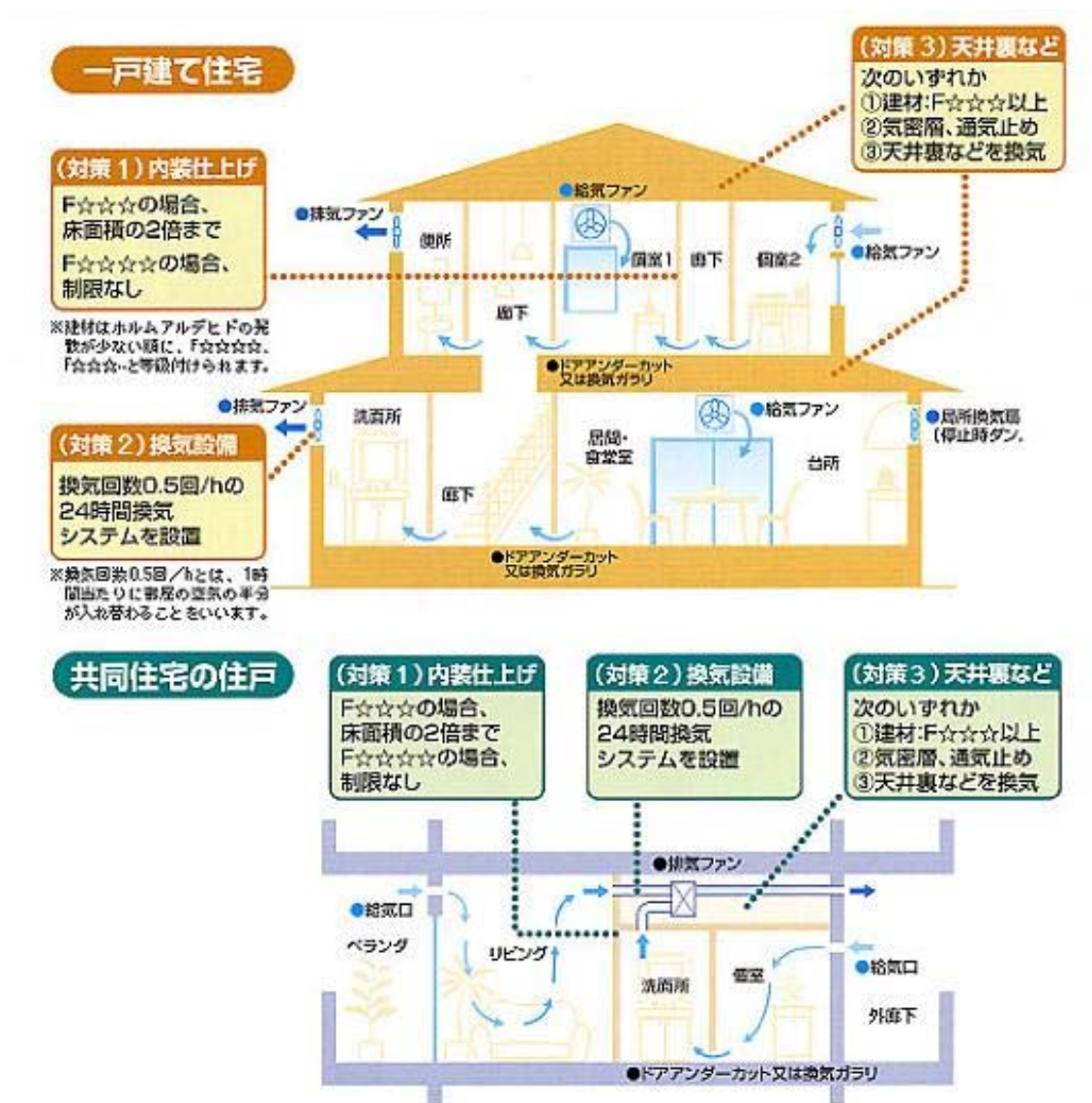
[그림 3.8.13] 일본 공동주택의 평면구조와 국소환기설비 설치 사례



[그림 3.8.14] 통풍을 고려한 출입문 구조

일본에서 각 세대내의 환기방식에는 주방과 화장실 등으로부터 개별로 배기하여, 거실의 외벽에 면한 급기구에서 외기를 자연적으로 유입되도록 하는 국소배기방식과, 거실, 주방, 화장실 등을 대상으로 하여 전체적으로 급배기를 하는 전방 환기방식이 있다. 최근에는 건축기준법에 의해 최소 환기방식이 채용되고 있고 최소한도의 환기량에서 24시간 연속 환기하는 방식에서 적어도 0.5회/h 정도의 환기회수를 확보하도록 규정하고 있다.

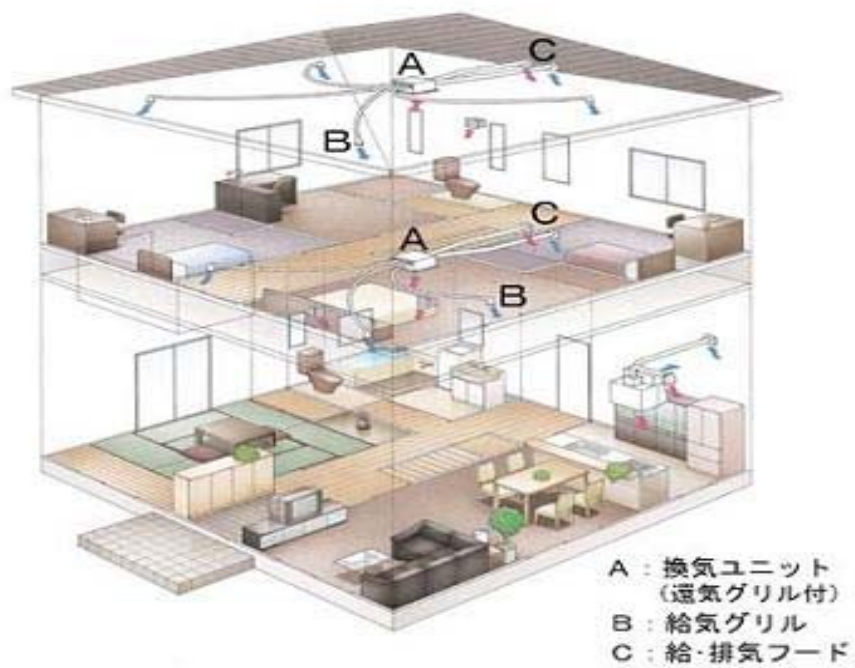
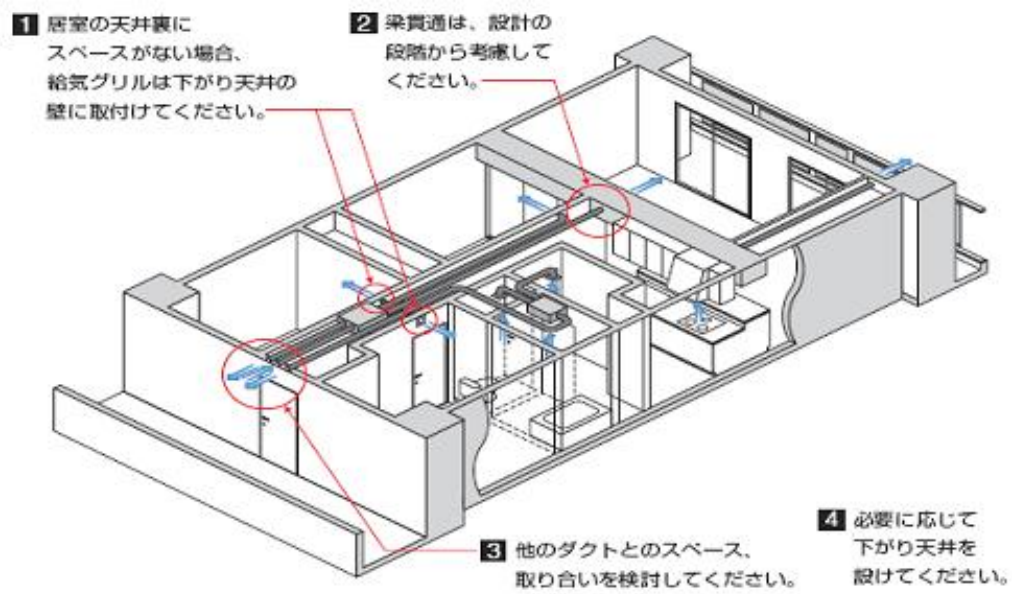
[그림 3.8.15] 일본에서 새집증후군에 대한 환기대응방법



주방의 환기는 레인지후드팬에 의해 강제적으로 배기하는 것으로 행해진다. 주방은 화기를 사용하는 장소로서 건축기준법에 의거하여 환기풍량을 만족할 필요가 있고 세대 내에서는 배기풍량이 많도록 급기량과의 밸런싱을 충분히 고려할 필요가 있다. 2대의 팬으로 동시에 급배기를 행하는 레인지후드팬이 채용되는 것도 있다.

공동주택의 욕실, 화장실 등은 외기에 면하는 창이 없는 경우가 많아 통상 천장팬과 천장 내의 덕트 팬 등에 의해 강제배기가 행해진다. 배기덕트를 공통으로 이용하는 것이 단순하지만 교차오염을 방지하는 의미에서는 단순한 것이 바람직한지 비용면과 천장내의 공간 유무에 의해 선택할 필요가 있다.

욕실 건조기가 설치된 경우에는 욕실에서 단독으로 배기되는 경우가 많다. 일반적인 환기량으로서는 욕실에서 80m³/h(환기회수 10~20회/h), 세면소는 60m³/h(환기회수 10회/h), 변소는 30m³/h(환기회수 10회/h) 정도가 되고 있다.



[그림 3.8.16] 일본 주택에서의 환기시스템 설치 예

나. 바닥 환기시스템

1) 발코니 일체형 태양열 이용 열교환 환기시스템

발코니 일체형 태양열 이용 열교환 환기시스템은 마에다(前田)건설에서 발코니 난간에 태양열 집열판(공기식)을 설치하여, 겨울철 주간에는 도입외기를 예열할 수 있도록 한 시스템이다. 가열된 공기가 바닥 아래 플레넘과 각 실의 걸레받이 부분에 설치된 급기슬릿을 통해 실내로 공급되어지며, 실내공기는 천정에 설치된 배기구(덕트) 및 열교환기를 거쳐 외부로 배출되어진다.

여름철에는 집열판을 이용한 야간 천공복사를 통해 외기냉방(구체냉방)을 실시함으로써 일반 기계환기시스템 대비, 연간 60%의 에너지절감 효과가 있다고 제시하고 있다.



[그림 3.8.17] 열교환 환기시스템



[그림 3.8.18] 급기슬릿



[그림 3.8.19] 걸레받이용 급기슬릿



[그림 3.8.20] 벽면형 급기슬릿

2) OM솔라 시스템

OM솔라 시스템은 겨울철에 passive solar panel 집열부에서 가열된 공기를 팬으로 하부 바닥공간으로 보내고 가열된 공기는 바닥에 일부 축열이 되면서 바닥급기구를 통해 실내로 유입되는 시스템이다. 겨울철 야간에는 별도로 배기구를 통해 3중 환기를 수행하고 바닥급기구에 온도감지센서를 설치하여 5℃이하인 경우 댐퍼가 닫히도록 하고 있다.

지붕에 설치된 태양열 집열판을 지난 외기(약 50℃)는 수직덕트를 거쳐 바닥 플레넘에 보내어지며 (공기온도 약 40℃), 최종적으로 바닥에 설치된 급기구를 통해 각 실에 공급되어진다. 바닥 플레넘에 가열된 공기가 지속적으로 공급됨으로 인해 실내 측 바닥 표면온도가 실온과 같은 수준(약 25℃)으로 상승하여 바닥 복사난방의 효과도 간접적으로 기대할 수 있다.

바닥급기구의 경우 이물질이 유입될 수 있는데 건조공기이므로 바닥하부공간의 습기를 차단할 수 있고 벌레의 번식을 차단할 수 있으며, 점검구 또는 그릴이 개폐 가능하여 청소를 할 수 있다. 실제 운영 해본 결과 급기구 보다는 천장 배기구에 먼지가 더 많이 쌓이고 있는 것으로 나타났다. OM passive solar system은 환기를 위한 개념에서 기술이 출발하였으며, 유지관리비용이 소요되지 않는 장점을 갖고 있다. 또한 하부공간은 수평 급배수관 통로로도 활용하고 있다.

1월 기준 집열부 온도가 55℃일 때, 바닥하부공간 급기온도는 35-40℃, 실내 최고온도는 25℃, 바닥표면온도는 29℃를 나타내어 환기와 난방으로 활용이 가능한 것으로 나타나고 있다. 또한, 3월 기준으로 바닥표면온도는 18-25℃를 나타낸다.



[그림 3.8.21] 바닥 급기구

3) 벽 통기형 환기시스템

주택 건설업체인 “스모리 하우스”에서 개발한 벽 통기형 환기시스템은 벽체 내부에 형성되는 약 50mm 폭의 공기층을 환기(배기) 경로로 이용함으로써 바닥 및 벽 내부의 온도가 실온과 거의 동일한 수준으로 유지되어 실내온열환경이 보다 개선될 뿐 아니라 단열효과도 거둘 수 있도록 하고 있다.

실내공기질 오염물질의 발생원이 내부 마감재 보다는 벽 뒷쪽(구조체 내부)의 부재에 집중되어 있음에 착안하여, 실내에는 급기를 실시해 정압으로 만들어주고, 걸레받이에 설치된 배기슬릿 및 벽내부 통기층을 배기경로로 이용함으로써 벽 뒷면의 오염물질이 실내로 유입될 확률을 줄이고 있다.

부적절한 환기로 인한 냉난방 에너지 증가를 방지하고, 효율적인 실내공기질 오염물질의 배출이 가능하도록 하기위해 거주자의 재질 여부를 감지하는 적외선 센서 및 이산화탄소 농도 센서 등 환기량 자동제어 시스템을 연동하여 사용하기도 한다.



[그림 3.8.22] 구조체(벽체)일체형
단열 패널



[그림 3.8.23] 걸레받이 부분의
배기슬릿



[그림 3.8.24] 환기 자동제어
개념도



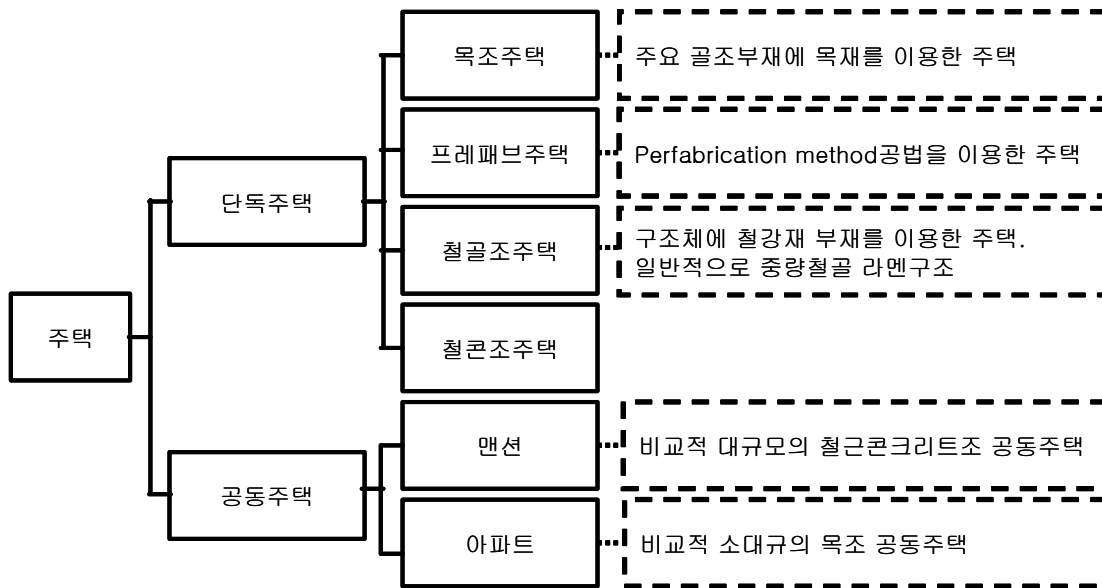
[그림 3.8.25] 센서유닛 및 급기구

3. 일본 주택의 바닥

가. 일본 주택의 바닥구조

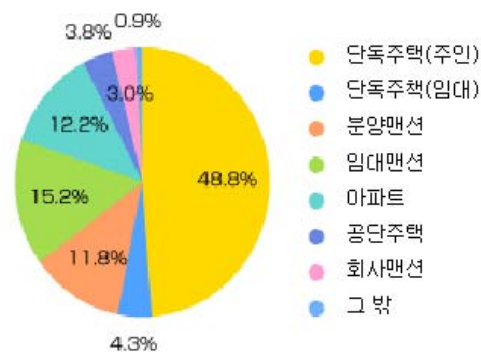
다기능통합온돌시스템의 일본 주택으로의 적용 가능성을 검토하기 위하여 먼저 일본에 있어서의 적용대상인 주택을 구조에 따라 아래 [그림 3.8.26]과 같이 분류하였다.

주택은 크게 단독주택과 공동주택으로 분류할 수 있으며, 단독주택은 그 구조식에 따라 목조 주택, 프레패브(Prefabrication) 주택, 철골조 주택, 철근콘크리트조 주택으로 나눌 수 있고, 공동주택은 맨션과 아파트로 나눌 수 있다. 단독주택에 있어서 목조 주택은 주요 골조부재에 목재를 이용한 주택을 말하며, 프레패브 주택은 Prefabrication공법을 이용한 주택, 철골조 주택은 구조체에 철강재 부재를 이용한 주택으로 일반적으로 중량철골 라멘구조를 말하고 있다. 공동주택에 있어서 맨션은 비교적 대규모의 철근콘크리트조 공동주택, 아파트는 비교적 규모가 작은 목조 공동주택을 말하고 있다.



[그림 3.8.26] 일본 주택의 구조적 분류

이 중에서 [그림 3.8.27]과 같이 일본 주거형태의 약 50%를 차지하고 있는 단독주택과 약 27%를 차지하고 있는 공동주택인 맨션의 바닥구조를 통하여 다기능통합온돌시스템이 구조적으로 도입이 가능한지를 검토하였다. [그림 3.8.28]부터 [그림 3.8.30]까지는 일본에 있어서의 목조 단독주택, [그림 3.8.31]부터 [그림 3.8.34]까지는 공동주택인 맨션의 바닥단면을 제시하고 있다.



[그림 3.8.27] 2007년도 일본 주거형태

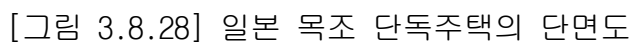
1) 목조 단독주택의 바닥구조

아래 [그림 3.8.28]에 목조 단독주택의 단면도를 제시하고 있다.

이 단독주택은 2층으로 구성되어 있으며 다다미방을 포함하여 일본에서 흔히 볼 수 있는 단독주택의 모습이다. 바닥구조의 특징으로는 1층은 서재를 포함하여 세면장 등 바닥 밑 공간의 높이가 500mm이며, 계단실 밑 공간은 설비기기 설치를 위하여 더 큰 공간을 필요로 하고 있고, 2층은 부엌의 바닥 밑 공간이 400mm이며 여기에는 바닥난방이 설치되어 있다는 점이다.

이러한 바닥구조를 갖고 있는 일본의 목조 주택에 다기능통합온돌시스템을 적용할 경우, 다기능통합

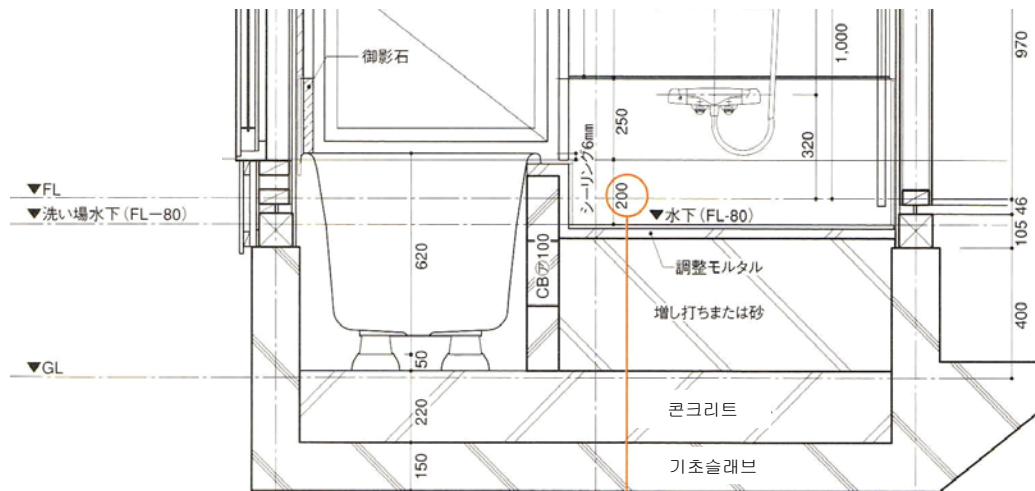
[그림 3.8.29]는 이 목조 단독주택의 바닥에 다기능통합온돌시스템을 삽입했을 경우의 모습을 보여주고 있다.



2) 단독주택 욕실 바닥구조

일본에서는 주택에 있어서 바닥 밑 공간이 각 실에 따라 다른 경우가 있다. 예를 들어, 화장실 혹은 욕실 바닥 밑 공간의 경우에는 배수관을 설치하기 위하여 더 큰 바닥 밑 공간을 필요로 하고 있다.

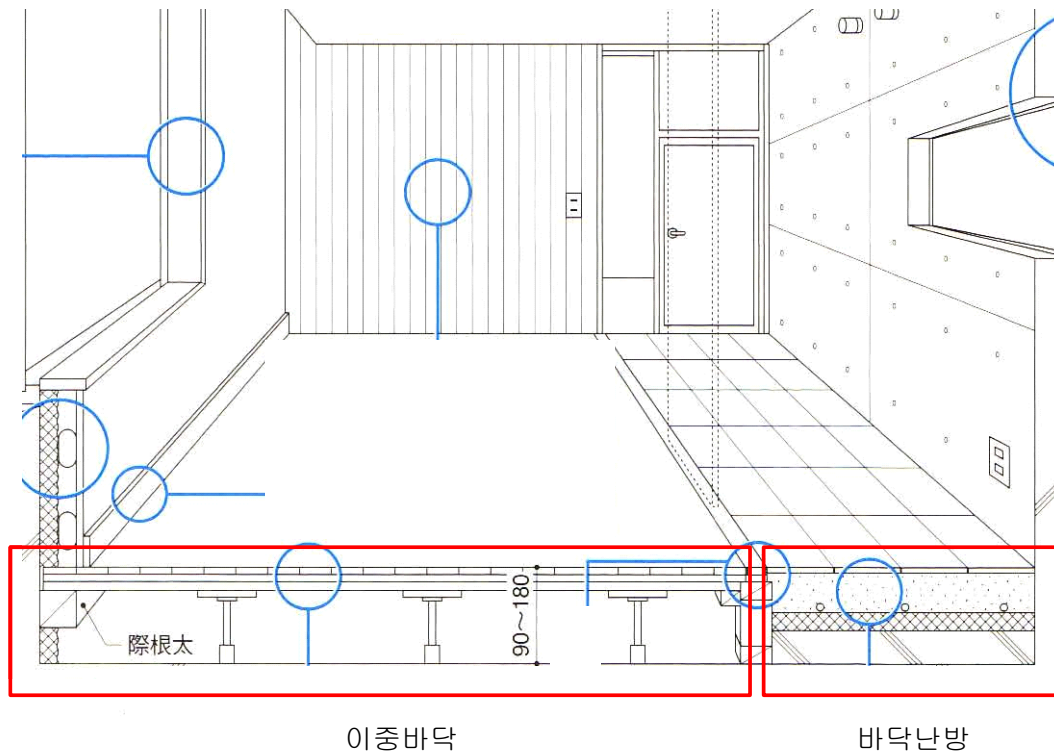
그러므로 여기에서는 단독주택에 있어서 욕실의 바닥 밑 공간을 검토해보면([그림 3.8.30]), 기초 슬래브를 제외한 바닥공간의 높이는 400mm로 다기능통합온돌시스템의 바닥 밑 공간을 조절대로 늘릴 경우 적용 가능한 것으로 판단된다.



[그림 3.8.30] 목조 단독주택 욕실 단면도

3) 철근콘크리트조 공동주택 바닥구조(1)

[그림 3.8.31]은 일본에 있어서의 철근콘크리트조 공동주택(맨션)의 바닥구조를 보여주고 있다. 여기에는 두 종류의 바닥구조가 제시되어 있으며, 하나는 이중바닥구조이고 또 하나는 적층식 바닥난방을 한 구조이다. 두 종류 모두 슬래브를 제외한 바닥 밑 공간은 90~180mm로 다기능통합온돌시스템을 적용하기에 적합한 바닥구조이다. 다기능통합온돌시스템의 장점으로서는 이중바닥구조를 갖고 있음과 동시에 바닥난방을 하고 있다는 점이라 할 수 있다.

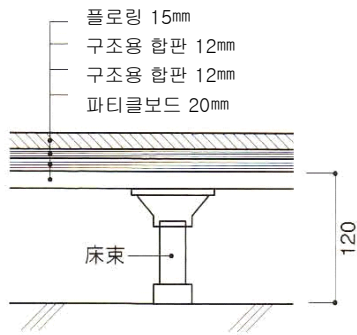


[그림 3.8.31] 철근콘크리트조 공동주택 단면도(1)

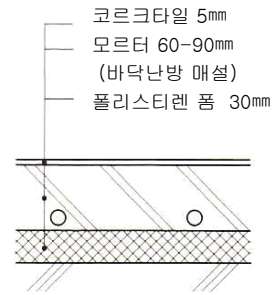
[그림 3.7.32]에도 철근콘크리트조 공동주택(맨션)의 두 가지 바닥구조를 보여주고 있다.

① 프리액세스 플로어의 경우, 이 바닥 밑 공간은 다기능통합온돌시스템의 조절대 높이를 100mm로 늘릴 경우 적용 가능한 바닥구조이며 ② 직접 바닥(+바닥난방)의 경우, 이 바닥 밑 공간은 그 높이가 95~125mm로 다기능통합온돌시스템의 조절대 높이를 최소한으로 할 경우 적용이 가능한 바닥구조이다.

① 프리액세스 플로어



② 직접 바닥 (+바닥난방)

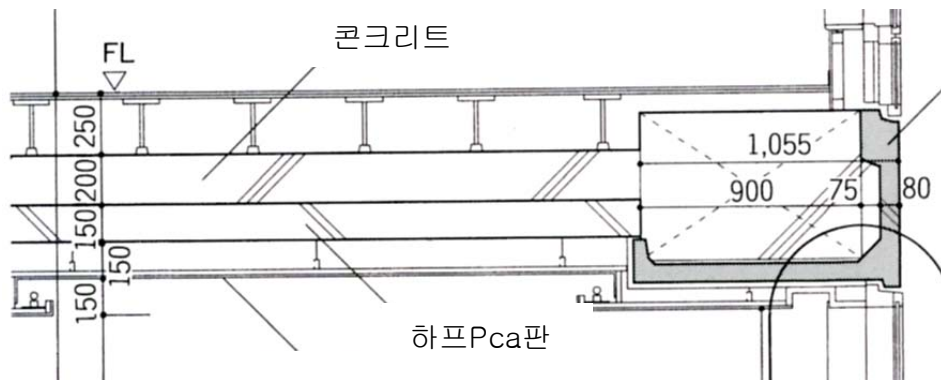


[그림 3.8.32] 철근콘크리트조 공동주택의 다양한 바닥단면도

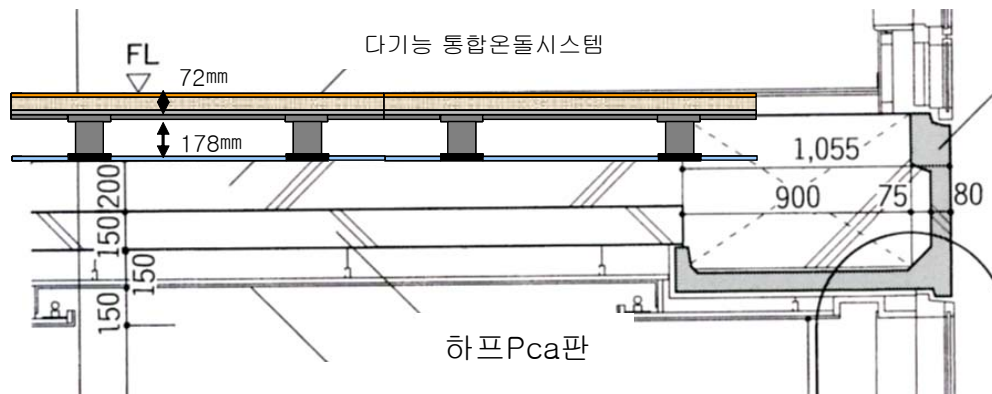
4) 철근콘크리트조 공동주택 바닥구조(2)

[그림 3.8.33]의 철근콘크리트조 공동주택(맨션)의 바닥 밑 공간을 검토해보면, 슬래브를 제외한 이중바닥의 공간높이는 250mm로 다기능통합온돌시스템의 바닥 밑 공간을 조절대로 늘릴 경우 적용 가능한 것으로 판단된다.

[그림 3.8.34]는 이 철근콘크리트조 공동주택의 바닥에 다기능통합온돌시스템을 삽입했을 경우의 모습을 보여주고 있다.



[그림 3.8.33] 철근콘크리트조 공동주택 단면도(2)



[그림 3.8.34] 일본 철콘조 공동주택 바닥에 다기능통합온돌시스템을 삽입한 모습

나. 일본 주택의 바닥 관련 건축기준

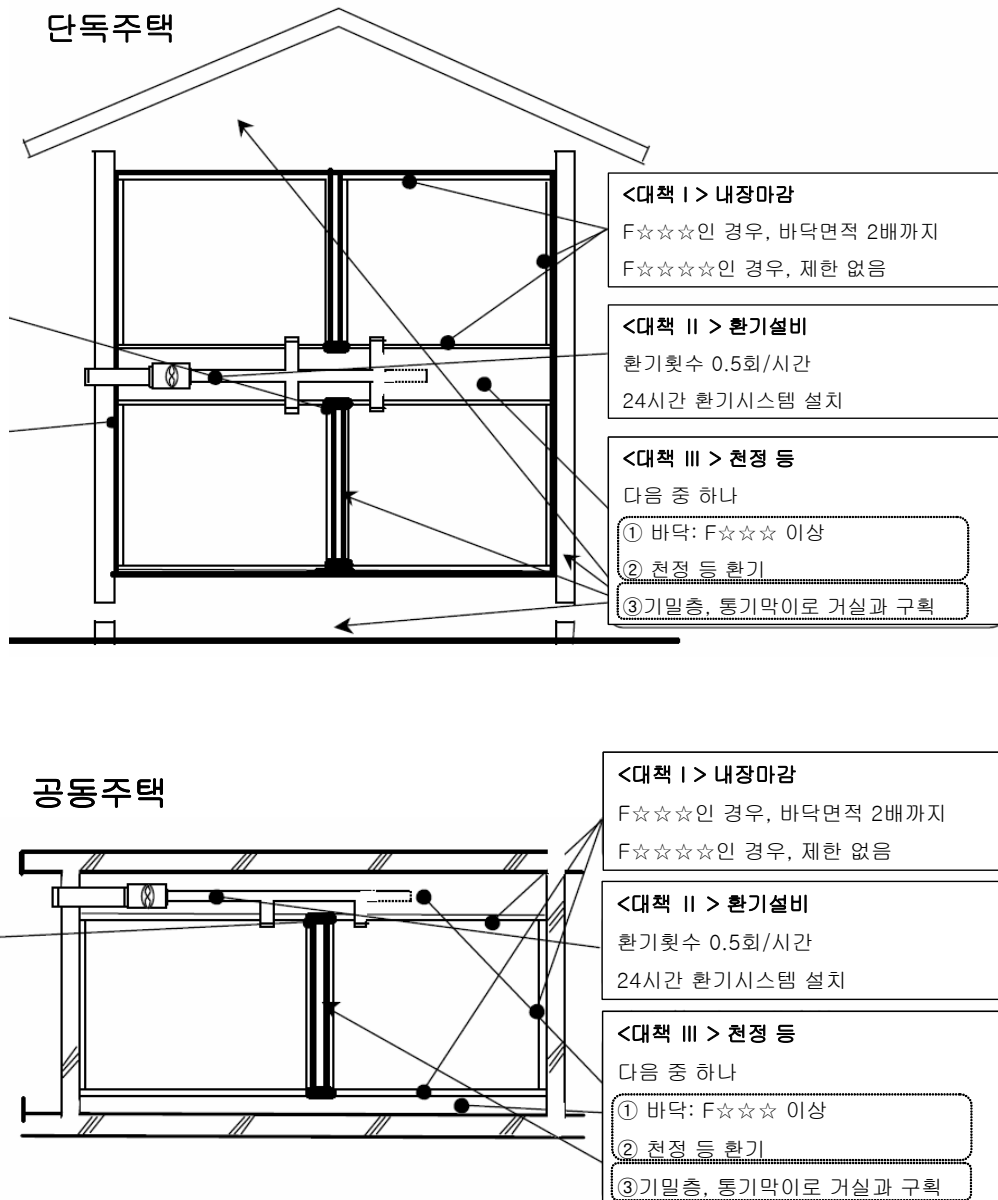
1) 환기 대책

일본에서는 최근에 이슈화되어 온 새집증후군 대책으로 2002년도의 환기 대책 관련 건축기준법의 일부를 개정하여 2003년도부터 시행하기 시작하였다.

그 개요를 살펴보면, 규제대상인 화학물질 포름알데히드를 발산시키는 건재 면적을 거실의 종류 및 환기횟수에 따라서 제한하며, 포름알데히드를 발산하는 건재를 사용하지 않는 경우에도 가구로부터의 발산이 있기 때문에 원칙적으로 모든 건축물에 기계환기설비의 설치를 의무화하는 것이다. 또한 천장 윗부분 등에 있어서도 바닥재를 포름알데히드 발산이 적은 건재로 하고 기계환기설비가 환기할 수 있는 구조로 할 것을 의무화하고 있다. 이러한 내용을 종합해 보면 아래 [그림 3.8.35]와 같다.

한편, 다기능통합온돌시스템의 성능평가에서는 자연환기인 경우, 외기온이 4.3℃에서는 환기횟수가 0.42회/시간 이었고, 외기온이 -4.7℃에서는 0.79회/시간 이었다. 더욱이 강제배기인 경우에는 외기온이 8.5℃인 경우에 1.56회/시간, 강제배기인 경우에는 외기온이 -4.4℃인 경우에 1.79로, 외기온이 4.3℃에서의 자연환기인 경우만을 제외하고는 일본 건축기준법에서 제시하고 있는 환기횟수 0.5회/시간을 초과하여 다기능통합온돌시스템의 환기 성능은 일본에서 제시하는 기준에 충분한 것으로 보여진다. 특히, 일본 전국 중에서도 이 시스템의 적용대상지역으로 고려하고 있는 한랭지역(I-III지역)에 있어서는 동계에 외기온이 영하로 떨어지기 때문에 환기횟수 기준치인 0.5회/시간을 충분히 초과할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, [그림 3.8.35]의 단독주택에서 볼 수 있듯이 일본 주택에서 바닥으로부터의 급기와 천장으로 부터의 배기가 다기능통합온돌시스템의 급배기 위치와 같기 때문에 이 시스템을 일본주택에 도입하는데 있어서 거주자가 위화감 없이 받아들이는 데에도 적절할 것으로 사료된다.



[그림 3.8.35] 주택 종류별 새집증후군 대응법

2) 경/중량바닥충격음 대책

바닥충격음 평가는 경량바닥충격음차단성능과 중량충격음차단성능으로 구분되어진다. 경량바닥충격음차단성능은 경량바닥충격음 대책등급 또는 경량바닥충격음 레벨 저감량(바닥마감재 구조) 중 하나로 평가되고, 중량바닥충격음차단성능은 중량바닥충격음 대책등급 또는 상당슬래브 두께 중 하나로 평가된다. 이것들은 모두 공동주택을 대상으로 하고 있다.

가) 경량바닥충격음(신축 공동주택)

경량바닥충격음 대책등급은 아래 <표 3.8.1>의 등급에 요구되는 수준이 되도록 대책이 된 바닥이어야 한다. 하지만, 이것은 현장실측을 필요로 하게 되므로 경량에서는 바닥구조구분(슬래브의 구조사양)과 바닥마감 구조구분(내장바닥 구성사양)의 조합으로 평가할 수도 있다.

한편, 다기능통합온돌시스템의 경량바닥충격음성능평가에서는 차단성능이 일본 경량바닥충격음 기준치에서는 5등급 수준(가장 높은 등급)에 해당하는 것으로 평가되었다.

(1) 경량바닥충격음 대책등급

<표 3.8.1> 경량바닥충격음 기준치

등급	경량바닥충격음 레벨				
	125Hz 지대	250Hz 지대	500Hz 지대	1kHz 지대	2kHz 지대
5	58 dB 이하	51 dB 이하	45 dB 이하	42 dB 이하	41 dB 이하
4	63 dB 이하	56 dB 이하	50 dB 이하	47 dB 이하	46 dB 이하
3	68 dB 이하	61 dB 이하	55 dB 이하	52 dB 이하	51 dB 이하
2	73 dB 이하	66 dB 이하	60 dB 이하	57 dB 이하	56 dB 이하
1	-	-	-	-	-

(2) 바닥충격음 레벨 저감량 (바닥마감재 구조)

이 판단 기준은 특인을 받아 결정하기 때문에 실질적으로는 바닥마감 구조구분만을 평가하는 것과 같다.

나) 중량바닥충격음(신축 공동주택)

중량바닥충격음 대책등급은 현장에 있어서 아래 <표 3.8.2>의 등급에 요구되는 수준이 되도록 대책이 된 바닥이어야 한다. 하지만, 이 경우에는 평가를 받는 건물 모두를 실측하지 않으면 안 된다. 따라서 설계조건으로 바닥마감 구조, 슬래브말단 구속조건, 슬래브 등가 두께, 수음실의 면적인 4 조건에 의하여 구분이 설정되어있다.

한편, 다기능통합온돌시스템의 중량바닥충격음 성능평가에서는 차단성능이 일본 중량바닥충격음 기준치에서 4~5등급(가장 높은 등급)에 해당하여 그 성능이 충분히 우수할 것으로 사료된다.

(1) 중량바닥충격음 대책등급

<표 3.8.2> 중량바닥충격음 기준치

등급	중량바닥충격음 레벨			
	62Hz 지대	125Hz 지대	250Hz 지대	500Hz 지대
5	73 dB 이하	63 dB 이하	56 dB 이하	50 dB 이하
4	78 dB 이하	68 dB 이하	61 dB 이하	55 dB 이하
3	83 dB 이하	73 dB 이하	66 dB 이하	60 dB 이하
2	88 dB 이하	78 dB 이하	71 dB 이하	65 dB 이하
1	-	-	-	-

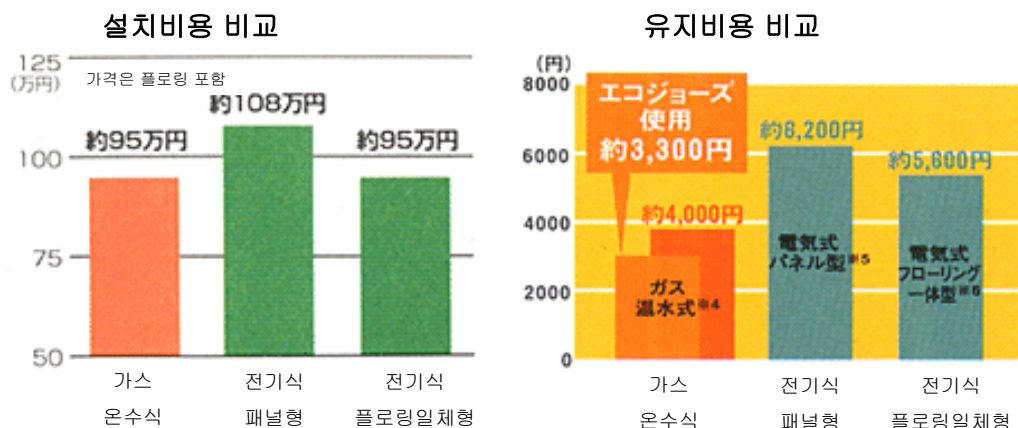
4. 경제성 분석

일본에서 바닥난방은 고가의 설치비용과 유지비용이 드는 난방기구로 여겨져 왔다. 하지만, 최근에는 각종 바닥난방 업체들의 바닥난방의 쾌적한 난방효과와 함께 저렴한 상품들을 제시함으로써 바닥난방의 수요가 늘어나고 있는 추세이다. 여기에서는 일본에서의 바닥난방 시스템의 초기 설치비용과 유지비용에 대해서 검토하고, 초기 설치비용에 관해서는 다기능통합온돌시스템의 비용과 비교하여 비용면에서의 다기능통합온돌시스템의 일본 주택시장 도입 가능성을 검토하기로 한다.

가. 일본 바닥난방시스템의 초기설치비용과 유지비용

1) 일본 바닥난방시스템의 초기설치비용

도쿄(東京)가스에서 제공하고 있는 바닥난방시스템의 초기 설치비용과 유지비용은 [그림 3.8.36]에 나타나는 바와 같다.



[그림 3.8.36] 바닥난방시스템의 초기설치비용 및 유지비용

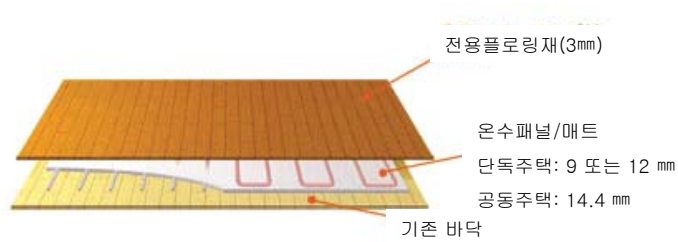
<8조(畳)(약 26.4㎡) 1실, 가동+1일 8시간 운전으로 30일 사용한 경우, 가스/전기요금
은 東京 2006년 4월 기준단위요금 (세금포함)>

설치비용: 약 300,000원/㎡, 유지비용: 약 3,600원/월

2) 일본 바닥난방시스템의 유형별 초기설치비용

앞의 바닥난방 시스템의 바닥구조에서 본 바와 같이 일본 주택에 적용되고 있는 바닥난방은 설치유형에 따라 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 기존 바닥 위에 설치하는 바닥난방이고, 둘째는 바닥공사를 하고 설치하는 바닥난방이다. 여기에서는 이 두 가지의 바닥난방 시스템의 초기 설치비용에 대하여 검토하겠다.

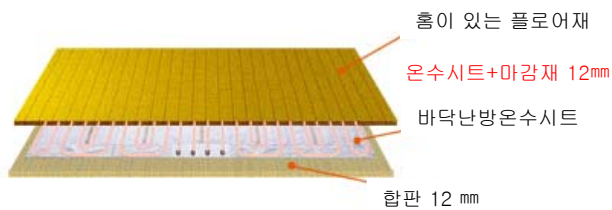
[그림 3.8.37]부터 [그림 3.8.39]까지가 기존 바닥 위에 설치하는 바닥난방 시스템의 설치비용이며, [그림 3.8.40]은 바닥공사를 하면서 설치하는 바닥난방 시스템의 설치비용에 해당된다.



기존 바닥보다 높이가
 단독주택의 경우 12~15mm,
 공동주택의 경우 17.4mm 높아짐

-설치공기: 방 하나 1~2일
 -설치비용(세금 포함)
 단독주택: 13,104 엔/㎡
 공동주택: 15,509 엔/㎡

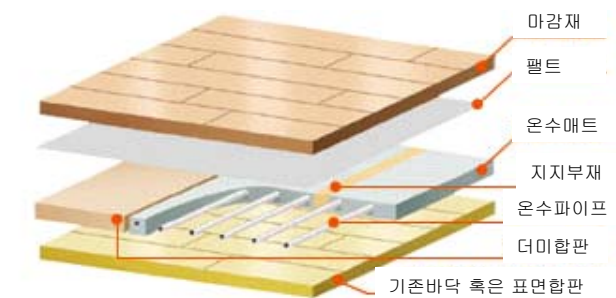
[그림 3.8.37] 기존바닥 위 설치비용(1)



기존 바닥 위에 설치할 경우 12mm 높아짐

-설치공기: 방 하나 1~2일
 -설치비용(세금 포함)
 단독주택: 15,900 엔/㎡

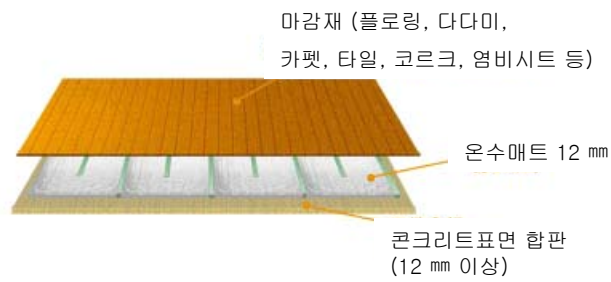
[그림 3.8.38] 기존바닥 위 설치비용(2)



총 바닥높이 17mm

-설치공기: 방 하나 1~2일
 -설치비용(세금 포함)
 단독주택: 13,651 엔/㎡

[그림 3.8.39] 기존바닥 위 설치비용(3)



-설치공기: 4-5일
-설치비용(세금 포함)
단독주택: 13,103 엔/㎡

[그림 3.8.40] 바닥공사 설치비용

3) 일본 바닥난방시스템의 초기설치비용 사례 (‘千葉에어컨 서비스’)

일본에서의 바닥난방시스템 초기 설치비용의 보다 자세한 내역에 대해서는 千葉에어컨 서비스를 사례로 <표3.8.3>에 정리하였다.

<표 3.8.3> 일본 바닥난방 총비용 사례 (千葉에어컨 서비스)

명 칭		단위	수량	단가(엔)	가격(엔)	비고	
I. 바닥난방 설비공사							
기 구	바닥난방 패널 <거실>	疊	8	16,000		6회로	2계통
	바닥난방 패널 <식당, 부엌>	疊	8	16,000		6회로	
	바닥난방 패널	疊	16	16,000	256,000	12회로	2계통
	열원기구 ‘가스난방 전용형’	台	1		139,000		
	열원기 거치대	台	1		12,000		
1	기구본체 소계				407,000		
부 재	온수순환주관	m	40	560	22,400	1계통 20m 추가	
	온수순환주관	m	36	450	16,200		
	메인헤더	세트	2	1,100	2,200		
	분기회로 이음	세트	20	460	9,200		
	온수순환용 분기관	m	48	450	21,600		
	보일러주변 배관재	식	1		12,000		
	보일러주변 보온재	식	1		7,600		
	바닥난방 리모트컨트롤러	세트	1		30,000		
	조작용 배선재	세트	1		6,300	각 연장 15m까지	
	2계통 전환스위치	개	2		1,100		
	열동밸브 추가 1계통	개	1		8,300		
	전용컨트롤 박스	세트	1		7,600		
	열원기 기초재	개	2	1,300	2,600		
	방청제 들어간 부동액	L	10	700	7,000		
	소모품 잡재료비	식	1		7,705		
2	부재 소계				161,805		
공 사 비	바닥난방패널 부설, 조립비	식	1		184,000		
	온수순환주관 배관공사비	식	1		44,000	1계통 20m 추가	
	온수순환기관 배관공사비	식	1		30,600		
	메인헤더 조립비	계통	2	2,200	4,400		
	분기회로이음 조립비	식	1		32,00		
	온수분기관 배관공사비	식	1		40,800		
	보일러주변 배관조립비	식	1		13,700		
	보일러주변 배관보온비	식	1		7,600		
	조작회로배선 공사비	식	1		7,800		
	조작회로기구 조립비	식	1		14,500		
	열원기 설치비	식	1		12,000		
	시운전 조정비	식	1		15,000		
		현장 잡공사비	식	1		20,320	
3	공사 소계				426,720		
4	여러 경비 및 영업경비	식	1		9,955		
	1+2+3+4 계			계	1,005,480		
	할인				84,480		
				합계	921,000		
				가산소비세 5%	46,050		
	바닥난방공사(16疊)			총계	967,050		
총계 1,055,754 엔 (약 180,000 원/㎡)							

나. 다기능통합온돌시스템과 일본 바닥난방시스템의 초기설치비용 비교

다기능통합온돌시스템과 일본의 바닥난방시스템(‘千葉에어컨 서비스’)의 1㎡ 당 초기설치비용을 비교해 보면 <표 3.8.4>에 나타나는 바와 같다.

단, 여기에서 일본 바닥난방시스템의 경우에는 환기설비비용은 포함되어 있지 않으며, 열원기 및 바닥난방 제어기 비용은 포함되어 있고 세금도 포함되어 있는 비용이므로 양국간의 설치비용을 직접적으로 비교하기는 어려울 것으로 보인다.

또한, 바닥난방 시공시 양국의 사례로 든 바닥난방시스템의 공사규모에 차이가 있으며, 그 외에도 원자재/부재 비용, 인건비 등에 차이가 있기 때문에 앞으로 보다 세부적 항목별로 검토가 필요할 것으로 보인다.

<표 3.8.4> 일본 바닥난방시스템과 다기능통합온돌시스템의 초기설치비용 비교

일본 바닥난방 시스템 (‘千葉에어컨 서비스’)	다기능통합온돌시스템
약 180,000 원/㎡ 1. 마감재비용 제외 2. 공사비 포함 3. 환기설비비용 제외 4. 열원기/바닥난방 컨트롤러비용 포함 (16疊기준) 5. 세금 포함	44,000원/㎡ (일본에서는 44,000+a 원/㎡) 1. 마감재비용 제외 2. 공사비 포함 3. 환기설비비용 포함 4. 열원기 / 바닥난방 컨트롤러비용 제외 (열원기 / 컨트롤러만 포함하면, 총 비용이 약 58,000-74,000 원/㎡, 16疊기준) 5. 세금 제외

다기능통합온돌시스템의 일본 주택시장 적용가능성에 관한 경제성 분석으로 먼저, 일본에서 현행되고 있는 바닥난방시스템의 초기설치비용을 검토하였고, 다기능통합온돌시스템의 초기설치비용과 비교하였다. 그 결과, 비록 두 바닥난방시스템의 설치조건이 다르기는 하지만, 다기능통합온돌시스템의 설치비용이 일본 현행의 바닥난방시스템보다 약 100,000 원/㎡ 정도 저렴한 장점이 있는 것으로 확인되었다.

6. 일본 주택 적용시 보완점

다기능통합온돌시스템의 일본 내 주택 적용 가능성을 검토하기 위하여 위에서 바닥난방시스템을 제작, 판매 및 시공하고 있는 건설회사를 <표 3.8.5>와 같이 선정하였다.

그리고 이 회사들을 통하여 다기능통합온돌시스템을 일본 주택에 도입하는데 있어서 이 시스템의 장점이 무엇이고 앞으로 보완해야 할 과제에는 무엇이 있는지에 대해서도 검토하였다.

가. 일본 내 바닥난방시스템 관련 건설회사

1) 일본 건설회사와의 간접적 검토

Email 등을 통하여 간접적으로 일본 내에 있는 다수의 바닥난방 제조회사와 건설회사 중에서 주택의 바닥난방시스템에 관한 연구개발을 행하고 있고, 일본 내에서 전국적으로 판매 및 시공을 행하고 있는 규모의 회사들을 선정하여 다기능통합온돌시스템의 일본 주택시장 적용성 여부를 검토하였다. 이 중에서 직접적으로 자료제공 및 검토를 행한 회사로는 T 건설, S 화학공업, P 홈이 있다.

<표 3.8.5> I-III지역의 바닥난방시스템 관련 건설회사 목록

구 분	회 사	접촉 결과	비 고
전 기	M 전공	3 (습식 취급 안 함)	
	M 전기	3 (습식 취급 안 함)	
설 비	N	3 (습식 취급 안 함)	
	S	3 (신규개발 안 함)	
가스회사	T 가스	3 (습식은 거의 취급 안 함)	
건설자재	S 플라스틱	3 (온수식 취급 안 함)	
건 설	H 건설	3 (바닥난방은 취급 안 함)	
	A	3	공동주택
	S 하우스	3 (습식 취급 안 함)	공동주택
	S 화학공업	O (협의 중)	단독, 공동주택
	P 홈	O (협의 중)	단독, 공동주택
	M 홈	3 (바닥난방은 거의 취급 안 함)	단독주택

2) 일본 건설회사와의 직접적 검토

T 건설, S 화학공업, P 홈에 한해서는 이 회사들을 직접 방문하여 다기능통합온돌시스템이 일본 주택시장에 진출하는 데 있어서의 향후 가능성과 앞으로 개선해 나가야 할 보완점에 대하여 검토하였다. 방문한 각 건설회사와 그 검토내용은 다음과 같다.

가) 방문 건설회사에서의 검토사항

(1) T 건설

T 건설은 일본에서 가장 큰 종합건설회사 중의 하나이다.

이 회사에서 다기능통합온돌시스템에 대한 세미나를 개최하여 이 시스템의 일본 주택시장 적용 가능성에 대하여 검토하였다. 그에 관한 구체적 내용은 다음과 같다.

(가) 다기능통합온돌시스템의 건식화 필요성

일본 내 주택 바닥의 대부분은 건식공법으로 이루어져 있다. 이 부분이 습식공법으로 이루어져 있

는 다기능통합온돌시스템의 바닥이 일본 주택시장에 진출하는데 있어서 가장 큰 걸림돌이며 앞으로 개선시켜 나가야 할 부분이다. 일본 주택 바닥에서 습식을 이용하지 않고 건식을 이용하는 이유로는 시공성이 우월하여 공기가 습식공법에 비하여 짧고 현장이 깨끗하다는 점이 있다. 물론 습식공법을 전혀 사용하지 못하는 것은 아니지만 다기능통합온돌시스템을 도입하기 위하여 전체적인 공정을 수정하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

이러한 정황으로부터 다기능통합온돌시스템이 일본 주택시장에 진출하기 위해서는 바닥의 건식화가 가장 큰 과제인 것으로 판단된다.

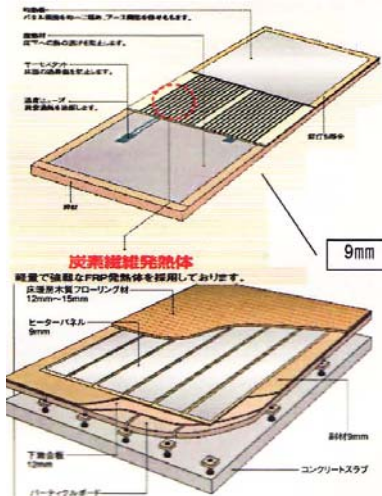
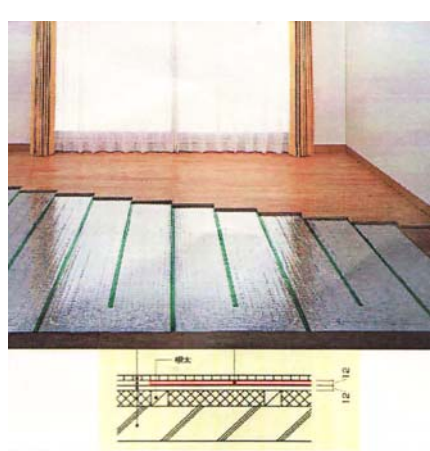
(나) 다기능통합온돌시스템의 초기 설치비용

일본 내 주택의 바닥난방시스템과 비교할 경우 다기능통합온돌시스템의 큰 장점 중의 하나는 비교적 저렴한 초기 설치비용이라고 할 수 있다. 하지만, 이것이 일본 주택시장에 도입될 경우에는 인건비 상승 등으로 인하여 그 비용이 높아질 수도 있기 때문에 비용적인 측면에서의 장점이 희석될 가능성도 있다. 그러므로 이 시스템의 비용적인 측면에서의 장점을 부각시키기 위해서는 일본 주택시장의 실정에 맞게 초기 설치비용을 산출하여 일본 내 주택의 바닥난방시스템보다 비용 측면에서 유리하다는 것을 보여줄 필요가 있다.

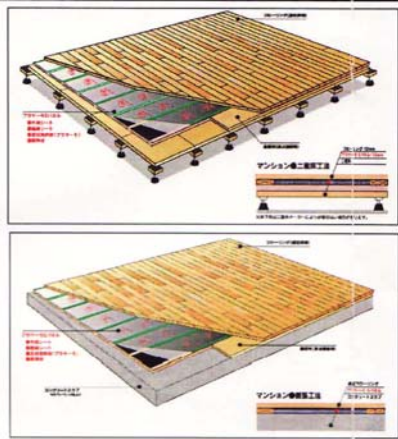
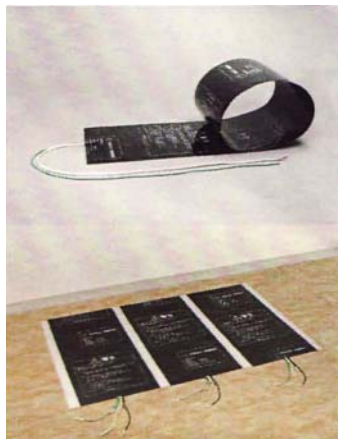
(다) 일본 내 주택 바닥난방시스템의 비교

일본 내 주택에서 채용하고 있는 다양한 형태의 바닥난방시스템을 아래 <표3.8.6>에서 <표 3.8.8>과 같이 정리하였다. 일본에서는 지난 약 20년간은 온수형 바닥난방을 주로 채용해 온 한편 최근에 들어서는 설치의 편의성을 이유로 전기형 바닥난방의 채용이 증가하고 있는 실정이다.

<표 3.8.6> 바닥난방시스템 비교표(1)

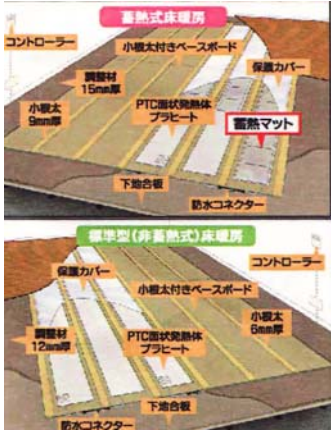
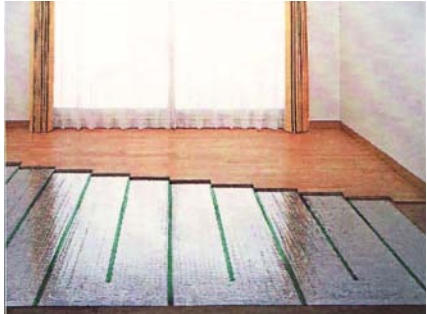
형태		패널형	
소재		탄소섬유히터	니크롬선
소재의 특징	안전성	·FRP발열체가 고강도, 고내구성으로 패널은 10년 보장	·전기용품 2배의 안전장치를 장비. 센서, 서모스탯, 온도퓨즈, 컨트롤러의 4중으로 감시
	쾌적성	·승온이 빠르고, 표면전체가 발열	·승온이 빠르고 부설된 열선으로부터 발열
	조작성	·세세한 온도제어가 가능	·세세한 온도제어가 가능
시공		전기매입식 + 바닥마감재	히터패널 + 바닥마감재
메이커		新日本石油	三菱전선공업
상품명 시스템명		유카이나 (ゆかいーな)	아따카이(あった快) MP-A형
히터 그림			
사양	총 두께	9mm	12mm
	단열재	8mm 특수가교PP (발포타입)	발포폴리스틸렌
	전원	100V / 200V	200V
	시공	·상품중량(2.4kg/m ²)이 가벼움 ·패널간의 결선공사가 불요 ·바닥마감재가 다양	·상품 1롤 중량이 5.8kg으로 가벼움 (3.5kg/m ²) ·패널간 결선은 커넥터화되어 있어 용이함 ·바닥마감재가 다양
	컨트롤러	·24H/4동작 ·12시간 전원OFF 깜빡 방지기능	·24H/4동작 ·깜빡 방지기능, 속열기능 탑재
폐쇄온도		약 40℃	약 40℃
온도상승	10→27℃	약 30분	30분 이내
제어		·발열체 표면센서제어 (70℃)	바닥온도 제어
비고		·유지관리비용은 대가스비 25% 다운 ·방수가공도 실시하였고 내구성이 높음 ·JEM-A단자부착 컨트롤러 라인업	·접속은 커넥터화 되어있어 작업원에 의한 품질 차이는 없음 ·업계에서 유일하게 방수 커넥터를 채용하여 물에 대해서도 안전책을 마련
유지비용		약 3,900엔/월	약 4,000엔/월
원단가	엔/m ²	20,000엔/m ²	20,000엔/m ²
연락처		新日本石油(주) 鈴鹿	三菱전선공업(주) 明比
		03-3502-9886	03-3940-6153
채용실적		武蔵浦和제4가구 (関東지점)	

<표 3.8.7> 바닥난방시스템 비교표 (2)

형태		패널형	전열시트
소재		연상 발열체: 탄소계 PTC소자 / 성형시트	탄소 + 고분자수지 / 롤코터 도포
소재의 특징	안전성	·고분자량, 가교타입의 PTC시트가 절연필름/알루미늄으로 전면 밀봉되어 있기 때문에 열화인자가 없으며 장기내구성에 우수	·고분자수지에 가교를 설치하여 열이나 화학반응에 의한 영향을 없앤 기재로 필러(탄소)를 혼입한 도전성 소재임
	쾌적성	·PTC히터로 바닥 전면을 자동 제어 ·사람의 접촉면 등의 고열부를 PTC히터가 과열되지 않도록 자기제어	·면 전체에서 발열하기 때문에 선상 히터보다 빠른 승온 효과 ·컨트롤러기동 프로그램 선택을 DIP SW로 변환하여 기동스피드를 바꾸는 출력특성(통전률)이 있기 때문에 구조 및 바닥마감재차이에 따른 승온시간을 제어할 수 있음
	조작성	·컨트롤러로 8단계 온도조절이 가능 ·타이머온전 2회/일	·컨트롤러의 회로별 IC펄스 제어기능에 의한 6단계의 전류제어는 히터전체를 균등하게 제어
시공		바닥난방패널 + 바닥마감재	전용단열재 + 전열시트 + 바닥마감재
메이커		出光興産	SUN MA3
상품명 시스템명		플라서모(ブラサーモ)	누쿠누쿠 아타다마리 (ぬくぬく陽だまり) (롤타입 / 유닛타입 / 매설타입) 누쿠누쿠 가족 (ぬくぬく家族)
히터 그림			
사양	총 두께	패널 12mm + 바닥마감재	·롤타입: 0.7mm ·유닛타입: 5.5mm, 9mm, 12mm
	단열재	경질우레탄 단열재	·시공성능을 높이기 위하여 시공장소에 있는 3종류의 전용단열재를 준비, 선택함. ·전용단열재 두께 종류: 5.5mm, 9mm, 12mm
	전원	200V (100V사양 있음)	200V / 100V
	시공	·패널간 결선은 지정 시공업자에 의함 ·간이접속 커넥터형 있음	·근태간(根太間)공법 / 근태(根太)레스공법 / 직접바닥공법 / 이중바닥공법 / 매설공법 등 모든 공법에 대응
	컨트롤러	·타이머: 24H/4동작 (매일설정 가능) ·온도조절: 8단계	·24H/2동작 타이머 ·IC펄스 제어에 의한 6단계 온도조절
폐쇄온도		저온화상평가장치 (EFCT): 약 40℃	·히터온도 스타이로폼(1B, 50mm)에서 상하를 낀 구조로 63.5℃ ·플로링온도 41.3℃
온도상승	10→27℃	약 40분	약 19분 ※ 상품 유형이나 구조에 의해 변함

제어		·PTC히터에 의한 자기온도 제어 + 컨트롤러에 의한 통전을 제어	·자기과열억제 + 컨트롤러에 의한 통전을 제어
비고		·시공현장에서 지정 시공업자에 의한 결선공사가 필요 ·우레탄 단열재 일체형에 의하여 슬래브 직상(直床)에 설치 가능 ·PTC히터에 의한 바닥면 전면 자동제어 ·PTC히터 내구성 은 자사가속시험에서40년	·전기설계가 다른 메이커의 1/2로 설계 가능하기에 전기량이 적어지고 전기용량을 경감할 있음 ·JEM-A단자부착 컨트롤러 옵션
유지비용		약 3,700엔/월	약 3,500엔/월
원단가	엔/m ²	20,000엔/m ²	20,000엔/m ²
연락처		플라서모(ブラサーモ)판매(주) 시미즈(清水)	SUN MA3(주) 佐藤
		03-3633-6600	03-5775-1135
채용실적		東池袋 4정목(東京지점)	浜町 3정목 / 金町 6정목 (東京지점)

<표 3.8.8> 바닥난방시스템 비교표(3)

형태		도전(導電)성 폴리머형	온수형
소재		도전성폴리머 두께 1mm로 폭넓고 유연성 있는 시트	가교폴리에틸렌 온수배관
소재의 특징	안전성	·PTC 특성: 온도에 의한 저항치의 변화 0℃시 저항치는 50℃시의 약 1/20이 되도록 설계 ·누출 전자파: 히터 중심부에서 0.4 마이크로테슬라 이하, 10cm 위에서는 0.01 마이크로테슬라 이하 ·내구성: 접어도 전류밀도에 변화 없음	·열원기로 만든 약 60℃의 저온수를 온수 매트에 순환시키는 온수식 바닥난방 ·바닥으로부터의 복사열로 방 전체를 따뜻하게 함 ·폐쇄온도가 낮기 때문에 저온화상이 거의 없음
	쾌적성	·면상이므로 열을 전하는 면적이 넓고 작은 온도차이라도 열을 빨리 전할 수 있음	·바닥표면온도는 25-30℃정도이기 때문에 덥게 느껴지지 않음 ·방열부나 단열재가 공장 가공 / 밀착되어 있어 난방성능이 안정적임
	조작성	세세한 조작 필요 없음 (축열식의 경우, 온도조절재(축열매트)가 온도를 일정하게 유지)	·컨트롤러에 의한 9단계 온도조절 ·타이머운전 2회/일
시공		바닥난방패널 + 바닥마감재	온수패널 + 바닥마감재
메이커		미사토(ミサト)	東京가스
상품명 시스템명		‘하루쿠-루에코(春くーるエコ)’ 잠열축열식/비축열식	TES (NOOK)
히터 그림			
사양	총 두께	잠열축열식 15mm, 비축열식 12mm	패널12mm + 바닥마감재
	단열재	오레핀수지 10배 발포 6mm	발포폴리에틸렌
	전원	AC 200V	-
	시공	·컨트롤러히터 및 히터간 접속은 방수커넥터화되어 있어 현장 작업원에 의한 품질 차이 없음 ·베이스보드 / 히터 / 축열매트(잠열축열식인 경우) / 보호커버를 분할한 시스템구성	목질 플로팅일체형, 코르크마감, 다다미마감, 영비시트마감, 카펫마감, 근태간(根太間)공법, 콘크리트매설공법 등
	컨트롤러	·C-9S (1에리어 / 24H타이머2설정) ·C-9S(HB) (축열식 바닥난방용 시간대별 온도제어)	·24H/2동작 ·9단계 온도조절기능
폐쇄온도		약 35℃	약 39℃
온도상승	10→27℃	약 60분[비축열식] 24시간 쾌적온도[잠열축열식]	약 20분

제어		·[비축열식] 센서온도제어 + PTC특성 (자기온도제어) ·[잠열축열식] 센서온도제어 + PTC특성 (자기온도제어) + 온도조절재 (축열매트)	기동 30분은 80℃의 고온수를 순환하여 기동시간이 빠름
비고		·프라히트 40년의 실적: 노인정만으로도 전국 1000곳 이상의 실적 ·전기식 바닥난방 일본내 제1호인 手稲재 활센터에서 30년이 지난 지금도 가동 중	東京가스 공급지역 내에서 TES 채용실적 은 100만건이 넘으며 시스템의 신뢰성 좋 음
유지비용		약 4,000엔/1일 8시간 사용/월 [비축열식] 약 2,950엔/1일 24시간 사용/월 [잠열축열 식]	약 3,300엔/1일 8시간 사용/월
원단가	엔/m ²	20,000엔/m ²	30,000엔/m ²
연락처		미사토(ミサト)㈱ 渡辺	東京가스㈱ 並木
		0480-48-3111	03-5322-8984
채용실적		버링턴하우스 吉祥寺 (東京지점)	二子玉川東지구 3가구 (東京지점)

<표 3.8.6>에서 <표 3.8.8>으로부터 현재 일본 주택의 바닥난방시스템에서 중점을 두고 있는 몇 가지 사항을 파악할 수 있다. 크게 나뉘어서는 쾌적성, 바닥온도의 조작성, 바닥난방의 두께 그리고 시공 용이성 등이 있다고 볼 수 있다.

쾌적성은 사람이 쾌적하다고 느낄 수 있는 바닥난방의 온도가 10℃에서 27℃로 상승하는데 걸리는 시간을 얼마나 단축할 수 있는냐는 것과 바닥 표면이 전체적으로 충분히 따뜻해지는지 여부에 초점을 두고 있다. 그리고 바닥온도의 조작성은 세세한 온도조절이 가능하고 타이머운전 여부가 중요한 사항으로 보여지고 있으며, 바닥난방의 총 두께는 얇고 간편하여 시공성이 용이한 것이 유리한 것으로 보인다.

(라) 다기능통합온돌시스템의 일본 주택시장 적용성 여부

일본 내 주택의 다기능통합온돌시스템 적용성 여부에 관하여 검토한 결과 구조적으로 적용 가능한 것으로 판단되었다. 일본 내 대부분의 공동주택에 있어서 그 바닥높이는 120mm가 가장 보편적이며 욕실은 배수관을 설치하기 위하여 일반 바닥보다 조금 더 큰 150-200mm의 공간을 필요로 하고 있으나 다기능통합온돌시스템의 이중바닥 조절대를 이용하여 높이 조절을 할 경우 적용 가능한 것으로 판단되었다. 하지만, 앞서서도 언급한 바와 같이 일본 내에서는 주택 바닥공사에 주로 건식공법을 채용하고 있기 때문에 다기능통합온돌시스템에서도 바닥공사를 건식화하는 개선이 필요할 것으로 판단된다.

(마) T 건설의 다기능통합온돌시스템에 대한 관심사항

T 건설에서는 다기능통합온돌시스템 개발의 일부인 방진재의 개발이 주로 이중바닥을 채용하고 있는 일본 내 다양한 건축물에 적용하기 최적일 것으로 보고 있다. 다기능통합온돌시스템의 전체적인 일본 주택 도입에 관해서는 이 시스템의 건식화 등 향후 연구개발 단계를 거쳐 도입을 시도할 필요가 있으나, 방진재와 같이 부분적인 경우에는 즉각 일본 건축물에 적용하기 수월하기 때문에 앞으로도 T건설과 지속적으로 검토해 나갈 계획이다.

(2) S 화학공업

S 화학공업은 일본에서 가장 큰 주택 중심의 건설회사로 일본 전국뿐 아니라 다국적으로 주택 사업을 추진하고 있는 회사이다.

이 회사에서 다기능통합온돌시스템에 대한 세미나를 개최하여 이 시스템의 일본 주택시장 적용 가능성에 대하여 검토하였다. 그에 관한 구체적 내용은 다음과 같다.

(가) 일본 바닥난방시스템의 실정

최근 일본에서는 주택에 있어서의 바닥난방 채용실적이 증가하고 있는 것은 사실이지만, 대부분 거실과 식당 일부에 설치하는 경우가 보편적이며 바닥난방은 보조적 난방기구라고 생각하는 경우가 많고 별도로 냉난방기를 설치하기도 한다. 하지만 다기능통합온돌시스템을 도입할 경우에는 바닥난방과 더불어 자연환기로 인한 온풍이 실내에 유입되기 때문에 하나의 시스템으로 바닥난방과 온풍의 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

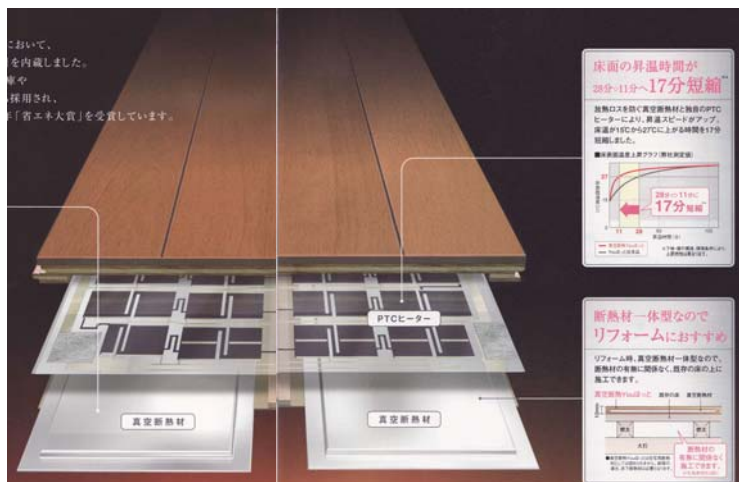
(나) 다기능통합온돌시스템에 대한 요구사항

- 다기능통합온돌시스템의 바닥충격음차단성능, 에너지절약성능, 자연환기성능의 시험결과를 일본에서 현재 채용하고 있는 바닥난방시스템 성능과 비교하여 이 시스템의 장점이 무엇인지를 부각시킬 필요가 있다.
- 다기능통합온돌시스템이 일본 주택의 바닥난방시스템보다 초기 설치비에 있어서 얼마나 더 저렴한가를 각 항목별로 검토하여 그 장점을 부각시킬 필요가 있다.

(3) P 홈

P 홈은 일본에서 가장 큰 주택 중심의 건설회사 중 하나이다. 이 회사에서 다기능통합온돌시스템에 대한 세미나를 개최하여 이 시스템의 일본 주택시장 적용 가능성에 대하여 검토하였다. 그리고 이 회사에서 채용하고 있는 바닥난방시스템 및 환기시스템에 관한 자료도 수집하였다.

(가) P 홈에서 채용하고 있는 전기형 바닥난방시스템

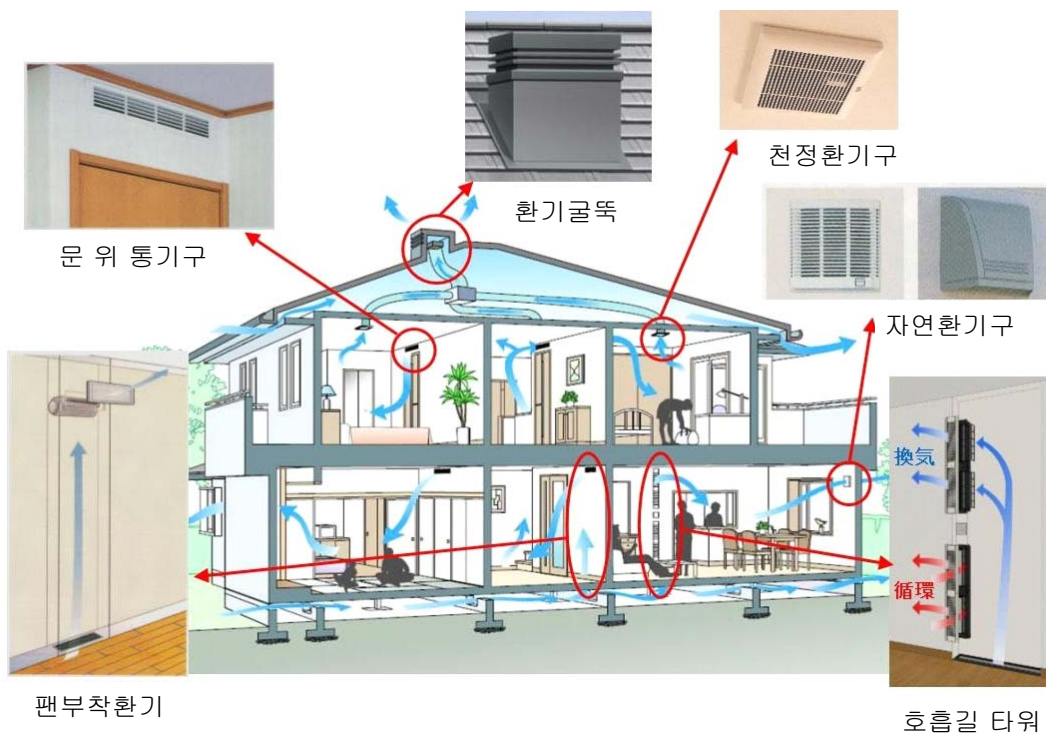


[그림 3.8.41] 파나홈 전기식 바닥난방시스템

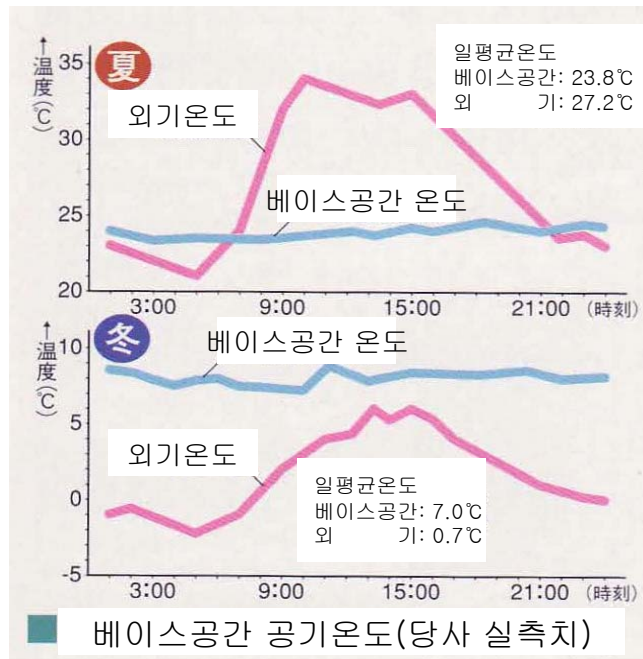
(나) P 홈에서 채용하고 있는 환기시스템

P 홈에서는 아래 [그림 3.8.42]와 같은 개념의 바닥환기시스템을 채용하고 있다. 이는 [그림 3.8.43]과 같이 주택의 베이스공간이 여름에는 외기온도보다 항상 낮고, 겨울에는 외기온도보다 항상 높은 현상을 이용한 바닥환기시스템으로, 여름에는 베이스공간의 외기온도보다 낮고 깨끗한 공기를 팬을 통하여 실내에 공급하고, 겨울에는 베이스공간의 공기가 외기온도보다 높은 현상을 이용하여 그 기압차로 인한 자연환기를 유도하는 시스템이다. 이는 다기능통합온돌시스템과 개념적으로는 비슷하지만, 이 시스템은 주택의 베이스공간 온도와 외기온도와의 차이를 이용하여 자연환기를 유도하였고, 다기능통합온돌시스템에서는 바닥난방으로 인하여 따뜻해진 바닥 밑 공간과 외기온도와의 차이를 이용하여 자연환기를 유도하였다는 차이점이 있다.

또한 이 시스템에서는 주택의 베이스공간에 [그림 3.8.46(2)]와 같은 슬릿을 통하여 [그림 3.8.51]과 같이 비교적 깨끗한 외기를 실내에 도입할 수 있다는 장점도 있다.



[그림 3.8.42] P 홈 환기시스템의 개념도



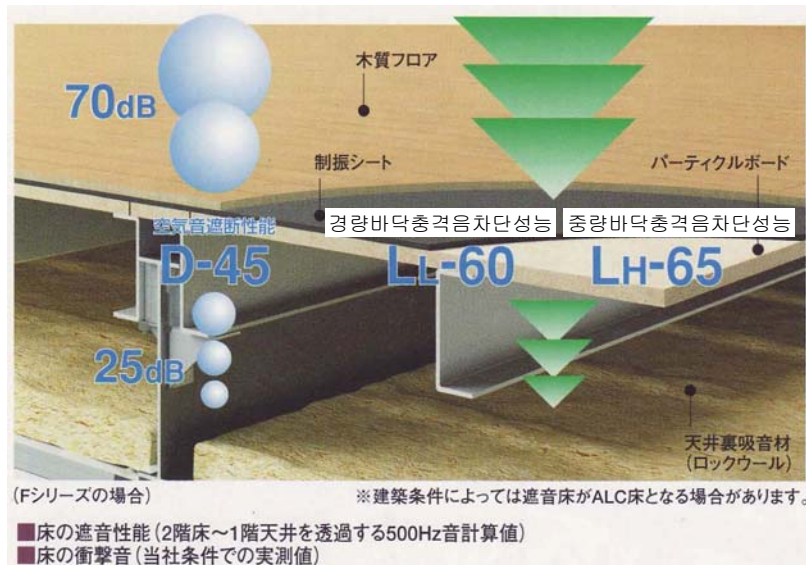
[그림 3.8.43] 주택 베이스공간 온도와 외기온도와의 관계



[그림 3.8.44] 주택 베이스공간을 통하여 실내로 유입되는 청결한 공기

(다) P 홈 주택의 바닥충격음차단성능

P 홈에서 시공한 대부분의 주택은 철골조로 그 바닥충격음차단성능은 경량이 60dB, 중량이 65dB이며, 이는 다기능통합온돌시스템의 바닥충격음차단성능인 경량 39-41dB, 중량 43-44dB에 비하여 현저히 낮은 것으로 나타났다.



[그림 3.8.45] P 홈 주택의 바닥충격음차단성능

(라) P 홈의 다기능통합온돌시스템 도입 가능성

현재 P 홈에서 건설하고 있는 주택은 대부분이 철골조로 구조적 측면에서 다기능통합온돌시스템을 적용하기에 어려움이 있을 것으로 보인다. 하지만, 다기능통합온돌시스템의 건식화에 관심을 보이고 있으며, 또한 이 시스템의 환기 개념이 P 홈의 환기개념과 에너지절약적 환기시스템이라는 측면에서 그 목적이 같기 때문에 개념적으로 도입하는 데 있어서 가능성이 있을 것으로 판단된다.

(마) P 홈 모델하우스의 환기시스템



(1) P 홈 모델하우스



(2) 주택 베이스공간의 외기흡입 슬릿



(3) 호홉길 타워



(4) 호홉길 타워의 확대



(5) 문 위 통기구

[그림 3.8.46] P 홈 모델하우스의 환기시스템

나. 일본 내 주택 적용시 고려할 사항들

1) 일본 내 주택 적용시 다기능통합온돌시스템의 장점

일본 내 다수의 바닥난방시스템 관련 건설회사들과의 직·간접적인 검토를 통하여 다기능통합온돌시스템을 일본 주택에 적용하는데 있어서 장점으로 보이는 사항을 아래와 같이 정리하였다.

- 습식공법으로 초기설치비가 일본 내 건식공법 바닥난방시스템에 비하여 저렴하다
- 습식공법임에도 불구하고 바닥마감재에 제한이 없으며 그 종류가 다양하다
- 습식공법임에도 불구하고 신축 설치시 주택의 바닥높이가 건식 바닥난방시스템보다 높아지지 않는다
- 일본 내 목조 단독주택에서도 목욕탕, 1층 거실에 습식공법의 바닥난방시스템을 설치하는 경우가 있다
- 일본 내 업체에서는 24시간 환기의무제로 인하여 동계에 있어서의 자연환기 시스템의 연구개발에 힘쓰고 있는 실정이다
- 전문 건설업자가 아닌 일반 작업자가 설치 가능하다
- 다기능통합온돌시스템 개발의 일환으로 개발한 방진재가 일본 내 각종 건축물의 이중바닥에 채용하기 최적일 것으로 보인다 (T 건설)
- 다기능통합온돌시스템의 바닥난방 효과와 더불어 자연환기로 인한 온풍의 실내 유입 효과도 있다 (S 화학공업)

2) 일본 내 주택 적용시 앞으로의 과제

다기능통합온돌시스템을 일본 내 주택에 적용하는데 있어서 앞에서 본 여러 장점에도 불구하고 일본의 실정에 맞게 앞으로 풀어나가야 할 과제도 남아 있다. 먼저 이러한 과제를 <표 3.8.9>와 같이 정리하였다.

<표 3.8.9> 일본 내 주택 적용시 향후 과제

구 분		향 후 과 제
구 조	습식공법 → 건식공법	· 일본 내에서는 습식공법을 거의 채용하지 않음 · 습식공법은 건식공법보다 온도상승이 느림 · 습식공법은 목조단독주택에서는 바닥하중이 무거움
	바닥마감 접착	· 바닥열에 의한 접착제의 열화, 바닥마감의 벗겨짐 · 바닥울림 발생 여부 등의 테스트가 요구됨
초기설치 비용		· 부재 및 인건비 등 일본 실정에 맞는 항목별 초기설치비용 산출
시스템		· 열원 메이커와의 기기 연동 시스템
비즈니스		· 시공 주체, 부재반입 과정 · 유지관리(A/S), 보증기간 · 보조금 등

여기에서 다기능통합온돌시스템을 일본 내 주택에 적용하는데 가장 큰 걸림돌이 되는 것은 대부분의 일본 주택에서는 습식공법이 아닌 건식공법 바닥난방시스템을 채용하고 있다는 점이다.

그 이유로는 건식공법이 습식공법에 비하여 상대적으로 공기가 짧으며 초기설치비가 저렴하고 바닥마감재의 종류도 다양하다는 점을 들고 있다. 그리고 일본 주택에서는 거주민들이 수시로 바닥난방의 운전/정지를 되풀이하는 습성이 있기 때문에 온도상승이 습식구조보다 빠른 건식구조를 채용하고 있는 것이다. 그 밖에도 일본 단독주택의 대부분은 목조구조로 이는 습식공법 바닥난방시스템의 하중에 부담이 있는 측면도 있다.

다기능통합온돌시스템의 경우에는 기존의 습식공법 바닥난방과는 달리 초기설치비용에 있어서 앞에서 검토한 바와 같이 저렴하고 바닥마감재의 종류에 제한이 없으며 그 종류도 다양하여 습식공법의 단점의 일부를 잘 보완하고 있다. 그렇지만, 공기에 있어서는 모르터 바닥의 양생기간이 건식공법에서의 공기 4, 5일보다 크게 길어지기 때문에 이 시스템을 일본 주택시장에 도입하는데 있어서의 가장 큰 문제점이 되고 있으며, 앞으로 이 시스템을 건식화 하는 것이 가장 큰 향후 과제라고 볼 수 있을 것이다. 마지막으로, 다기능통합온돌시스템의 일본 내 주택에 적용하는데 있어서 필요한 열원 제조회사와의 제휴 및 기기 연동성, 시공 주체 및 제품의 유지관리, 보증기간 등 제도적인 측면에서의 보완도 앞으로 구체화시켜 나가야 할 부분으로 판단된다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구성과 요약

연 차	연구목표	주요연구성과
3차년도 (당해연도)	▪ 자연환기성능 확보를 위한 다기능 온돌 시스템 프로토타입 도출	▪ 이중바닥 하부공간을 이용한 자연환기(바닥급기) 시스템 계획 - 외부공기 유입시스템 설계 및 제작 - 하부벽면 급기그릴창 설계 및 제작
	▪ 환기성능 실험, 수평배관배선 및 홈네트워킹이 가능한 점검구 및 outlet 적용성 검토	▪ 실물시험동, 실험주택, 대림산업 실험동에 환기성능실험 실시 ▪ 바닥환기를 위한 자연 및 기계환기시스템 제작 설치 및 성능실험 실시 ▪ 환기성능 실험 결과 분석
	▪ 경량 및 중량충격음 차단성능 인정구조 취득	▪ 경량충격음 1등급, 중량충격음 3등급 인정 취득 (슬래브구조 150mm 조건) ▪ 경량충격음 1등급, 중량충격음 2등급 인정 취득 (슬래브구조 180mm 조건)
	▪ 음환경, 열환경, 공기환경 성능 향상을 위한 통합온돌시스템의 현장시공성 평가 및 검증	▪ 온돌실험동에서의 실물실험 - 바닥충격음 차단성능 upgrade 실험 ▪ 10여개 건설업체 현장 샘플시공을 통한 적용성 및 시공성 평가 ▪ 700세대 아파트 건설현장에 본 개발시스템 시공 완료

제 2 절 연구성과

1. 다기능 통합온돌시스템 개발 및 현장적용

<표 4.2.1> 다기능 통합온돌시스템의 구성품

구성부품	규격	구 성 디 테 일
방진재	Type: Model #1, Model#2, Model#3 지름 : 105mm 높이 : 30mm	
조절대 (복합수지)	(小)지름 : 100mm (높이조절 : 최대30mm) (大)지름 : 100mm (높이조절 : 최대60mm)	
수평대 (복합수지)	600(26mm*542mm), 450(26mm*392mm)	
이중패널 (복합수지)	600x600 (589.5mm * 589.5mm), 600x450 (589.5mm * 439.5mm)	

- 공동주택에서 발생하는 층간 소음을 줄이기 위해 이중바닥개념의 방진구조를 개발하여 기존구조 대비 5 dB 이상의 중량충격음 저감효과를 달성

※ 기존 구조 : 약 50~55 dB (인정구조 비교)



- 건설교통부 고시 바닥충격음 차단성능

경량 1등급, 중량 3등급 인정구조 취득(바닥슬래브 150mm)

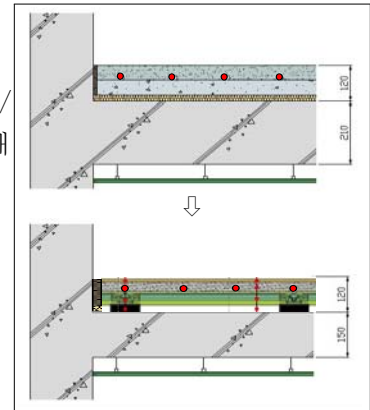
- 경량충격음성능 37 dB (1등급 기준치 43 dB이하)
- 중량충격음성능 45 dB (3등급 기준치 47 dB이하)

경량 1등급, 중량 2등급 인정구조 취득(바닥슬래브 180mm)

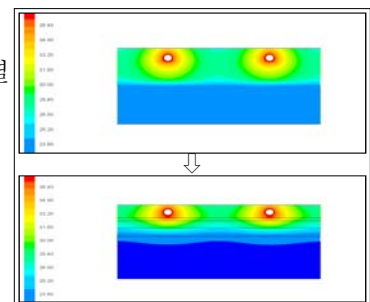
- 경량충격음성능 38 dB (1등급 기준치 43 dB이하)
- 중량충격음성능 42 dB (2등급 기준치 43 dB이하)



- 주거성능을 만족하면서 공동주택 구조하중을 단위면적당 170 kg/m² 절감 및 층고 60mm 이상 절감시킨 슬림형 온돌시스템 개발
 - ※ 표준바닥구조 슬래브 두께 : 210mm
 - ※ 이중바닥구조 슬래브 두께 : 150mm
 - ☞ 25층 규모에서 1개층 추가공사 가능



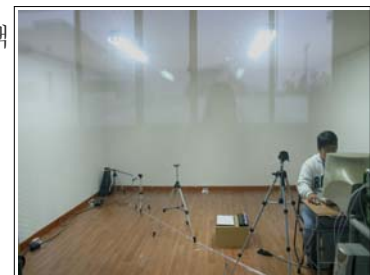
- 에너지효율적인 온돌구조와 구조체간에 공기층을 형성하여 단열 효과 향상 9%이상의 방열효율 향상
- 균일한 바닥표면온도분포에 의한 실내온열환경 향상
- 아랫목/윗목 개념의 배관조닝 도입
- 측면으로의 열손실방지에 의한 열교차단



- 다기능 통합온돌 바닥환기시스템 실험주택 설치 및 실험
 - 건설기술연구원 실험동
 - 삼성물산 실험주택, 대림산업 실험주택
- 하이브리드 자연환기에 의해 시간당 0.7회의 환기성능 확보(겨울철 조건)



- 다기능 통합온돌 바닥환기시스템의 환기성능 개선 및 실험주택 설치, 실험
 - 건설기술연구원 실험동
- 자연환기시 시간당 0.5회의 환기성능을 확보하며 하이브리드 자연환기시 시간당 0.7회 이상의 환기성능 확보(겨울철 조건)



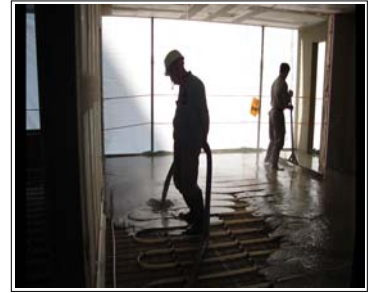
- 3차년도 다기능 통합온돌 바닥냉방시스템 실험주택 설치 및 실험
- 실온 및 바닥구조체 동시 냉방, 구조체의 축냉효과로 냉방시스템 정지 후에도 장시간 쾌적상태 유지



- 온돌층 하부공간을 활용하여 세대내 배관·배선의 자유로운 설치 및 홈네트워크 통신망 구축을 위한 이중바닥구조 구축



- 국내 주택건설업체 아파트현장 샘플시공
 - 동백지구 K 아파트, 청주 Y 아파트
 - GS건설 실험주택, 삼성물산 실험주택
 - 부산 P건설 아파트, 평택 D 아파트
 - 인천 구월동 신축아파트 현장
 - 하남 S아파트, 주안 B아파트



- 700세대 아파트현장에 본 개발시스템 시공 완료
 - 현장 반입 및 설치 공정계획
 - 품질관리계획 수립
 - 현장공사시방 마련
 - 3차례에 의한 현장 시공 완료



- 900세대 아파트현장에 개발시스템 설계반영 및 시공
 - 현장 반입 및 설치 공정계획
 - 품질관리계획 수립
 - 현장공사시방 마련



2. 연구결과 발표 및 수상

● 일본 동북대 및 마에다건설과 연구교류회 개최

- 일본 동북대 히로시 요시노 교수 등
(데시컨트공조 및 태양열 이용 바닥난방시스템)
- 마에다 건설 乘又正治 건설연구소장 등
(태양열을 이용한 바닥환기시스템 발표)
- 건설기술연구원 조동우 책임연구원
(다기능통합 온돌시스템 개발 현황 발표)



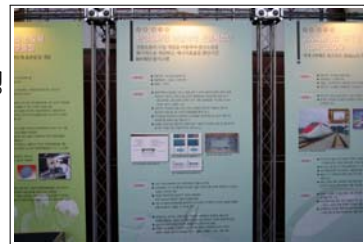
● 산업기술 연구회 주관 유망기술 상용화 현장자문지원 사업 선정

- 현장샘플시공 기술 자문 지원
- 층간소음 현장성능실험 기술 지원



● 과학기술부 주관 03-05년 국가연구개발 우수성과 100선에 선정 (2006. 11)

- 산업강국으로 가는 길 부문(우수성과)



● 온돌시스템 연구교류회 개최 (2007. 2)

- 일본동북대: 데시컨트공조/태양열이용 바닥난방기술
- 마에다건설 : 태양열 이용 바닥환기시스템
- 건기연 : 다기능온돌시스템을 이용한 바닥환기



● 중국 심양건축대학 초청 세미나 발표(2007. 7)

- 발표자 : 건기연 조동우 실장
- 발표주제: 한국의 온돌시스템 현황과 전망



- 국제온돌컨퍼런스 공동개최 계획(2007. 10)
 - 중국심양건축대학에서 국제온돌컨퍼런스 공동개최 계획



- 에너지관리공단 주최로 에너지절약 이동전시회에 참가
 - 그린에너지엑스포, 대한민국과학축제, 냉동공조기자재전 등 50여개 전시회에 참가(2007. 3~2008. 11)



- 건설기술연구원 연구성과발표회 성과발표 (KINTEX, 2007. 6.)
 - 주거성능 향상을 위한 다기능 통합온돌시스템 개발



3. 특허출원 및 등록

- 국내 특허
 - 이중바닥구조용 벽면 단열완충재 실용신안 등록
 - 이중바닥구조용 모듈형 완충재 특허등록
 - 공동주택 바닥환기시스템 특허등록
 - 틸트 덮개용 벽면 단열완충재 실용신안 출원
- 국제특허
 - 일본 발명특허 1건 등록 (2008. 7)
 - 중국 발명특허 1건 출원 진행중

4. 국내외 논문발표 및 방송홍보

- 국내 학술논문 발표 및 논문집 게재
 - 조동우 외, 다기능온돌시스템을 이용한 자연환기성능 평가 (2007. 11, 대한설비공학회 동계학술발표대회)
 - 조동우 외, 다기능온돌시스템을 이용한 자연환기성능 평가 (2007. 11, 대한건축학회 논문집)
- 국제논문 발표
 - Dongwoo Cho, Gihyung Yu, Jungyeon Yu, Improvement of hybrid ventilation performance using the raised floor heating system (2008. 8, Denmark)
 - Dongwoo Cho, Gihyung Yu, Development of the Multi-Functional Ondol System for Residential Performance (2007. 10, China)
 - Dongwoo Cho, Gihyung Yu, Jungyeon Yu, Evaluation of the Raised Floor Heating System with Natural Ventilation (2007. 9, Greece)
- KBS 스페셜 설날특집 - "온돌, 세계를 달구다."(2007. 2. 18)
 - 다기능 온돌시스템 연구성과 방송 및 기획 참여
- KBS 추적 60분 소개(2006. 7), 조선일보 연구성과 게재 (2007. 6. 21)
- 동북아포럼 소개 - "온돌, 건설계의 김치신화"(2007. 4)
- 사이언스 TV 소개 - "신개념 온돌 아랫목에 자연환기까지"(2008. 2. 22)
 - 다기능 온돌 환기시스템 소개 및 연구 결과 방송
- YTN 소개 - "신개념 온돌 아랫목에 자연환기까지"(2008. 3. 1)
 - 다기능 온돌 환기시스템 소개 및 연구 결과 방송

다음 표는 3차년도 연구목표 달성도를 나타낸 것이다.

<표 4.2.2> 연구개발 목표의 달성도

연구 목 표	달 성 도 (%)	내 용
다기능 통합온돌시스템의 프로토타입 도출	100%	- 이중바닥 하부공간을 이용한 자연환기(바닥급기) 시스템 계획 - 외부공기 유입시스템 설계 및 제작 - 하부벽면 급기그릴창 설계 및 제작
아파트현장 실물실험을 통한 통합온돌시스템 성능평가	100%	10여개 건설업체 현장 샘플시공을 통한 적용성 및 시공성 평가 - 바닥충격음 차단성능 upgrade실험 및 검증
바닥충격음 차단성능 인정구조 취득	100%	- 건설교통부 고시 경량바닥충격음 차단성능 인정구조 취득 - 경량 1등급, 중량 3등급 인정구조 취득(바닥슬래브 150mm조건) - 경량 1등급, 중량 2등급 인정구조 취득(바닥슬래브 180mm조건)
현장시공을 위한 기술자료집 작성	100%	현장시공을 위한 공정, 품질관리체계, 공사시방기준 마련
실내공기질 향상을 위한 다기능통합온돌시스템 환기성능	90%	하이브리드 환기에 의해 0.7회/시간 확보 가능
음환경, 열환경, 공기환경 성능 향상을 위한 통합온돌시스템의 현장시공성 평가 및 검증	90%	실험주택을 대상으로 열환경, 공기환경에 대한 성능실험 실시
다기능 통합온돌시스템의 실용화 추진	100%	700세대 아파트현장에 본 개발시스템 시공 완료 900세대 아파트현장에 개발시스템 설계 반영 및 공사실시

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 공동주택의 바닥충격음 저감을 위한 구조로 활용

- 1) 슬래브두께 150mm 조건에서 경량 바닥충격음 차단성능 기준치 대비 17dB의 저감효과를 달성하여 층간소음을 줄이기 위한 시스템으로 활용가능하다.
- 2) 현재 층간소음에 대한 문제로 인하여 공동주택에서 표준바닥구조를 적용할 경우 바닥슬래브 두께는 180mm이상을 확보해야 한다. 본 환경친화형 이중바닥온돌시스템은 슬래브두께 150mm 조건에서 1등급을 취득하였으므로 슬래브두께를 30mm 저감할 수 있다. 본 이중바닥온돌시스템의 하중은 96kg/m^2 , 일반 표준바닥구조의 하중은 106kg/m^2 으로 온돌구조하중에서 8%의 저감이 가능하다. 또한 슬래브두께를 30mm 감소시킬 수 있으므로 전체적으로 70kg/m^2 이상의 하중절감이 가능하다. 따라서 본 이중바닥온돌시스템은 공동주택의 구조하중을 저감하는 공법으로 활용가능하다.

2. 주상복합건물의 차음형 온돌구조로 활용

- 1) 주상복합건물의 경우 상업지구에서 건설되는 경우가 많기 때문에 적은 면적에 최대한의 주택을 건설해야 하기 때문에 통상 최고층으로 설계가 이루어진다.
최고층 주상복합건물에서 온돌구조는 구조하중에 큰 부담을 주게 된다. 따라서 본 이중바닥온돌시스템을 채택할 경우 구조하중을 저감하는 공법으로 충분히 활용될 수 있다.
- 2) 주상복합건물에서 슬래브두께가 얇아지는 구조의 경우 바닥충격음 저감 구조로 활용할 수 있다.
- 3) 주상복합건물에서 단위세대 내에 피아노연주 및 오디오룸 등 특수용도의 실을 계획하는 경우 실내 방음 바닥구조로 활용할 수 있다.
- 4) 주상복합건물에서 상업용공간과 주거용 공간간의 구획이 이루어지는 부분에서 소음을 발생시킬 수 있다. 본 이중바닥온돌시스템을 층간 방음구획을 위한 차단구조로 활용할 수 있다.

3. 공동주택의 열교방지 및 에너지절약을 위한 온돌구조로 활용

- 1) 이중바닥온돌시스템은 기존 온돌공법 대비 방열효율이 8% 이상 향상되었다. 또한 슬래브 구조체와 온돌구조 간의 공간층 형성에 의해 단열효과가 향상되고 이중바닥패널 하부에 설치된 단열재는 하중에 눌려지지 않는 안정된 상태로 있기 때문에 경년변화에 의한 성능적 저하를 가져오지 않는다. 따라서 에너지절약을 위한 온돌구조로 활용가능하다.
- 2) 외벽체와 이중바닥온돌시스템간에 연결되는 열교발생부위는 단열충진재로 완전히 차단되기 때문에 측면이나 하부의 열손실이 발생하지 않아 기존 온돌구조에 비해 실내 방열효율이 높다.

4. 공기단축을 필요로 하는 아파트 현장에 활용

- 1) 본 이중바닥온돌시스템은 마감모르터 공사를 제외하고 모든 공정이 건식으로 이루어지기 때문에 기존 온돌공법에서 이루어지는 기포콘크리트공사가 생략되어 공사와 양생에 필요로 하는 기간만큼 공기단축이 가능하다.

또한, 건식공법이므로 동절기와 우천시공사가 가능하여 약 15일 이상의 공기단축이 가능하다.

한편, 온돌공정의 단순화, 건식화로 전문기능인력이 아닌 단순기능인력으로 대체 가능하기 때문에 인력수급의 어려움으로 공기를 지연시키는 경우가 발생하지 않는다. 본 온돌공사는 critical path에 있게 되므로 전체공정을 단축시킴으로써 공사관리비용을 추가로 절감할 수 있을 것이다.

☞ 기존 습식온돌공사: 기포콘크리트 공사 5일 x 3공정 + 동절기 공사 불가

☞ 이중바닥온돌공사: 기포콘크리트 공사 생략 + 동절기 공사 가능

5. 1개층 추가에 의해 사업성을 증대시키고자 하는 현장에 활용

- 1) 재건축단지 등 사업성을 높이기 위해 세대수를 최대한 확보해야 하는 단지들은 층고가 사업성에 밀접한 관련을 갖는다. 개정된 주택건설기준등에관한 규정에 의해 공동주택의 슬래브두께가 135~150mm에서 180mm 이상으로 늘어났기 때문에 층고가 2600mm에서 2650mm이상으로 높아지게 된다.
본 이중바닥온돌시스템을 채택하는 경우에는 20층 기준으로 100cm (5cm x 20층)의 건물 높이 절감이 가능하다. 따라서 1개층을 추가해서 사업성을 증대시켜야 하는 현장에 활용가능하다.

6. 리모델링 현장에 온돌대체공법으로 활용

- 1) 기존 아파트를 리모델링하는 경우에 노후화되고 열손실이 많은 온돌구조를 철거하고 새로 온돌공사를 하여야 한다. 리모델링은 기존 구조를 유지하면서 이루어지기 때문에 아래와 같은 문제점들을 충분히 검토해야 한다.
 - ① 기존 아파트의 경우 대부분슬래브두께가 120mm로 이루어져 층간 소음문제가 우려된다.
 - ② 현재의 구조기준에 안전하기 위해서는 리모델링 이전보다 경량화를 모색해야 한다.
 - ③ 각종 통신배선, 급배수배관에 대한 고려가 필요하다.
- 2) 본 이중바닥온돌시스템은 슬래브두께가 120mm정도로 얇아도 충분한 층간소음 차단성능을 확보할 수 있을 것이다. 또한 시스템이 경량화, 모듈화되어 있어 시공이 단순화될 수 있는 장점 등으로 리모델링 현장에 적합하다고 볼 수 있다.
- 3) 또한, 이중바닥의 하부공간을 활용하여 각종 전기, 통신 배선 연결 및 증설이 가능하여 리모델링아파트 공사에 적합하다고 볼 수 있다.

7. 정숙을 요하는 기타 용도의 건축물 바닥구조로 활용

- 1) 호텔 등 정숙을 요하는 숙박시설의 온돌 객실 및 침실의 바닥구조로 활용될 수 있다.
- 2) 최상층 엘리베이터의 기계실에 설치되는 바닥구조로 활용될 수 있다.

8. 건강하고 쾌적한 주거환경을 제공하는 아파트 건설

- 1) 무엇보다도 열환경, 음환경 및 공기환경 성능이 향상되는 아파트 건설을 통해 건강하고 쾌적한 주거환경을 제공해 줄 수 있다.
- 2) 온돌바닥구조의 하부공간을 거주자가 융통성, 확장성을 가지면서 다양하게 활용함으로써 향후 발생할 수 있는 불필요한 공사를 최소화할 수 있다.

9. IT 기반 지능형 아파트의 통신망 기반구조로 활용

- 1) 본 시스템은 이중바닥 하부공간을 다기능의 통신배선 네트워크 구축이 가능하여 지능형아파트로의 접근이 용이하고 하부공간에 아웃렛박스 또는 분전반을 두어 통신배선의 네트워크 구축이 손쉽게 이루어질 수 있다. 이것은 주택의 다기능화를 통해 재택근무 및 HA를 촉진하는 계기로 활용될 수 있다.
- 2) 이중바닥구조의 하부가 개방된 공간으로 구성되어 있어 이를 적절히 응용할 경우 전기배선 및 통신배선의 자유로운 이동과 재설치를 위한 경로를 확보할 수 있다. 따라서 거주자가 직접 홈씨어터, 오디오시

스택 구축을 위해 배선을 연결하는 데에 있어서 미리 매설된 배선에 연결하여 증설하는 방법으로 간편히 배선 증설이 가능하다. 또한 거주자가 향후 증설, 보수, 교체를 원활히 수행할 수 있게 됨으로써 공간별, 부위별 문제발생을 최소화시킬 수 있게 된다.

즉, 이와 같은 구조는 향후 증가가 예상되는 홈네트워크 정보가전을 갖추고자 하는 인텔리전트 아파트 분야에서 필수적인 세대내 배선망 구축을 위한 인프라구조로서 적극 활용될 수 있을 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 일본 기술정보

1. 열환경 부문

일본에서의 바닥난방시스템은 주로 조립식패널로 구성되어 있다. 조립식 난방패널은 1973년 처음 시판된 이후 시공의 간편성, 설비비의 절감, 쾌적난방 방식이라는 장점에 의하여 일반주택, 공동주택, 보육원, 양로원 등의 시설에 설치가 증가되고 있는 추세이다. 바닥난방방식이 일본 전통 난방방식과 차이가 있음에도 불구하고 그 보급 실적은 매년 증가하고 있는 실정이다.

일본에서의 바닥난방시스템에 대한 성능기준은 바닥난방공업회 지침과 BL (Better Living) 인정제도를 들 수 있는데 BL에서 제시하고 있는 바닥난방 장치의 성능기준은 다음과 같다.

- (1) 바닥난방유니트를 방열기의 일종으로 분류
- (2) 전기 바닥난방유니트의 일반형 6종류, 일체형 3종류로 분류
- (3) 바닥난방유니트는 바닥난방패널과 제어기기로 구성되는 것으로 함.
- (4) 바닥난방유니트의 치수는 시공 및 수송을 고려한 적절한 크기로 하며, 치수는 1,700×1,700(mm) 및 850×850(mm)을 표준으로 함.
- (5) 바닥난방유니트의 형상은 시공 및 수송을 고려한 적절한 형상으로 하며, 제어기기로써 실내에 설치하는 것은 거실환경에 적합한 간소한 디자인으로 함(예를들면 스위치박스를 이용한 매입형).
- (6) 바닥난방유니트의 품질, 성능은 아래에 의한다.

① 안전성

가) 하중, 외력

각종 하중, 충격력, 열응력등에 대해서 충분한 강도를 가지고 변형, 탈락, 박리, 파손, 누설등의 우려가 없을 것.

나) 열

열에 대해서 안전하고, 파괴나 화상등의 위험이 없이 안정된 성능을 가질 것.

다) 물, 기름

내구성, 내습성, 내유성에 대한 충분한 고려가 되어 있을 것.

라) 내누설성

바닥난방유니트의 접속부 이외에서는 배관을 접속하지 않을 것.

마) 절연성

감전, 누전에 대한 고려가 되어 있을 것

② 내구성

가) 바닥난방유니트는 15년이상 사용 가능할 것. 또한 제어기기는 부분보수로써 10년이상 사용가능할 것.

나) 바닥마감부는 내마모성, 내박리성등 바닥마감재로서의 기능을 가질 것.

다) 바닥마감부는 온도변화에 대해서 사용상 지장을 주는 변형, 박리 등이 생기지 않을 것

③ 기능성

가) 쾌적성

- 온열환경 : 바닥난방유니트 표면의 온도분포가 양호하여 적절한 표면온도를 안정되게 유지하고, 복사효과 등이 양호하며 운전 개시후의 표면온도 상승이 빠를 것. 또한 바닥마감재의 표면이 폐쇄된 경우 극단의 온도상승이 없을 것.

- 소음진동 (온수바닥난방유니트만 해당) : 운전시의 소음 및 밸브 등의 작동, 열변형, 순환수, 워터해머 등에 의한 이상음 진동 등이 지극히 작도록 충분히 고려할 것.

나) 제어성

온도제어가 용이할 것, 또한 실온설정 등에 의한 난방계통의 자동운전시스템에 대응할 수 있을 것.

다) 신 축

바닥난방유니트의 온도변화에 따른 신축에 의한 바닥난방 방열기의 성능 및 바닥마감재, 건물구조체의 변형에 주는 영향이 작을 것.

라) 바닥아래로의 방열

바닥난방유니트로 추천된 바닥마감재 및 하부단열재의 조합에 있어서 바닥아래로의 방열이 적을 것. 바닥마감재와 하부 단열재의 조합에 의하여 발생하는 바닥아래로의 방열량 기술자료를 명시할 것.

마) 바닥마감재의 교환

바닥난방유니트의 상부 바닥마감재는 교환이 비교적 용이할 것.

바) 유지관리성

- 필요한 경우 시스템에서 물을 빼거나 공기를 뺄 수 있을 것(온수바닥 난방유니트만 해당)
- 바닥난방유니트의 상부마감재의 교환이 비교적 용이할 것(전기바닥 난방유니트의 일체형은 제외)
- 바닥난방유니트의 교환이 비교적 용이할 것
- 다다미 상부표피의 교환이 용이할 것(전기바닥난방유니트의 일체형 중 다다미속에 히터가 들어있는 경우만 해당)

④ 시공성

가) 바닥난방유니트의 설치

바닥난방유니트의 올바른 설치에 대해서 알기 쉽게 표시하고 설치조정이 용이하도록 고려할 것. 특히 전기바닥난방유니트에 대해서는 전선의 접속 및 유니트의 접속에 있어서 아래사항을 고려할 것.

- 접속부의 내구성이 충분할 것
- 접속은 용이하고 확실하게 할 것
- 특수한 공구나 특수한 기술자를 필요로 하지 않을 것

나) 마 감

- 바닥난방유니트는 치수정밀성을 갖고 불필요한 간격이나 단차가 생기지 않을 것
- 건물이 목조, 철근콘크리트구조등 각각의 경우에 있어서 바닥난방유니트의 설치방법이 적절하게 고려될 것

다) 온수배관의 접속(온수바닥난방유니트만 해당)

온수배관의 접속에 관해서는 아래사항을 고려할 것

- 내구성
- 용이하고 확실하게 할 것

- 특수한 기술자를 필요로 하지 않을 것
- 공사방법이 알기 쉽게 표시될 것
- 현장에서 화기를 사용하지 않는 시공법일 것

라) 바닥난방유니트의 고정

- 바닥난방유니트의 고정이 용이하도록 고려할 것.
- 고정을 위해 못 등을 사용할 때는 못을 박아도 되는 곳과 안되는 곳의 구별이 확실하도록 고려할 것. 또한 고정이 필요한 장소는 가능한한 적게 할 것

마) 줄눈처리(전기바닥난방유니트의 일체형은 제외)

바닥마감재에 적절한 줄눈처리 방법이 시공설명서 등에 알기 쉽게 표시되어 있을 것

바) 바닥마감재의 부착(전기바닥난방유니트의 일체형은 제외)

바닥난방에 적절한 바닥마감재의 종류와 그 부착 시공방법이 시공설명서 등에 알기 쉽게 표시되어 있을 것.

⑤ 기타(전기바닥난방유니트의 일체형중 다다미바닥에 히터가 들어있는 것만 해당)

- 다다미바닥에 대해서는 JIS를 따를 것

이러한 인정기준을 바탕으로 바닥난방유니트의 성능시험방법을 온수식 및 전기식으로 나누어 규정하고 있으며, 온수식은 14개, 전기식은 16개의 성능항목에 대해 시험방법과 판정기준을 만들어 이를 준수토록 하여 품질관리 및 건전한 보급에 힘쓰고 있다.

2. 음환경 부문

일본의 대다수 공동주택에서 사용되는 난방방식으로 개별식으로 우리나라와같은 습식 온돌시스템의 사용사례는 매우 드물다. 한편 공동주택의 바닥재로서 최근 이중바닥구조를 많이 사용하고 있기도 하다. 일본도 우리나라와 유사하게 바닥충격음 문제가 이슈화가 되면서 많은 대책들과 관련기준들이 제시되고 있다. 최근 일본에서는 주거성능을 포함하여 바닥충격음에 대해서도 성능등급을 제시하는 주택성능 표시제도가 발효되었다.

이와 같은 바닥충격음 성능은 중량바닥충격음 차단대책등급과 경량 바닥충격음 차단대책등급으로 구분되며 상·하층 세대간의 등급을 5개등급으로 구분하고 있다.

또한 충격음 성능에 대한 지방적 등급으로서 상당슬래브 두께를 제시하고 있다.

상하층 세대간 상당슬래브두께는 27cm 이상, 20cm 이상, 15cm 이상, 11cm 이상 등으로 제시되어 있다.

<표 6.1.1> 중량바닥충격음 대책

표시방법	항목·등급의 설명	평가방법의 개요
평가가 가장 낮은 거실의 경계바닥 및 가장 높은 거실의 경계바닥이 다음의 어디에 해당되는가 ■ 중량바닥충격음 차단대책등급 - 상·하층 세대간: 등급 5, 4, 3, 2, 1 ■ 상당슬래브두께 - 상·하층 세대간: · 27cm 이상 · 20cm 이상 · 15cm 이상 · 11cm 이상 · 기타	◦ 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 중량바닥충격음(무게가 있는 것의 낙하나 발소리 등의 충격음)을 차단하는 대책 ◦ 평가방법 - 중량바닥충격음 차단대책등급을 이용한 평가: 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 중량충격음(무게가 있는 것의 낙하나 발소리 등의 충격음)을 차단하기 위해 수립한 대책의 정도를 5개 등급으로 평가 ·등급 5: 매우 우수한 중량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,H-50등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. ·등급 4: 우수한 중량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,H-55등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. ·등급 3: 기본적인 중량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,H-60등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. ·등급 2: 약간 낮은 중량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,H-65등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. ·등급 5: 기타 - 상당슬래브두께를 이용한 평가: 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 중량충격음(무게가 있는 것의 낙하나 발소리 등의 충격음)의 차단 정도를 콘크리트 단판슬래브의 두께로 환산한 경우의 그 두께로 평가	◦ 거실의 경계바닥 중 특정의 조건하에서 중량충격음 차단 대책의 등급이 가장 낮은 것 및 가장 높은 것을 시방기준과의 조합에 의해 확인하고, 시방기준에는 슬래브 두께, 종류, 단부구속조건, 바닥 마감재의 종류, 수음실의 바닥면적을 규정하고 있음 ◦ 거실의 경계바닥 중 동등의 성능을 갖는 단판 콘크리트 슬래브 두께로 환산한 수치가 가장 낮은 것 및 가장 높은 것을 단면을 구성하는 부재의 시험결과 및 계산 등에 의해 확인함

<표 6.1.2> 경량바닥충격음 대책

표시방법	항목·등급의 설명	평가방법의 개요
평가가 가장 낮은 거실의 경계바닥 및 가장 높은 거실의 경계바닥이 다음의 어디에 해당되는가 ■ 경량바닥충격음 차단대책등급 - 상·하층 세대간: 등급 5, 4, 3, 2, 1 ■ 경량바닥충격음 레벨 저감량(바닥마감구조) - 상·하층 세대간: · 30dB 이상 · 25dB 이상 · 20dB 이상 · 15dB 이상 · 기타	◦ 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 경량바닥 충격음(가벼운 물건의 낙하에 의한 충격음)을 차단하는 대책 ◦ 평가방법 - 경량바닥충격음 차단대책등급을 이용한 평가: 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 경량충격음(가벼운 물건의 낙하에 의한 충격음)을 차단하기 위해 수립한 대책의 정도를 5개 등급으로 평가 · 등급 5: 매우 우수한 경량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,L-45등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. · 등급 4: 우수한 경량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,L-50등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. · 등급 3: 기본적인 경량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,L-55등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. · 등급 2: 약간 낮은 경량충격음의 차단성능(특정의 조건하에서 JIS규격의 Li,r,L-60등급과 유사한 수준이상)을 확보하기 위해 필요한 대책이 강구되어 있다. · 등급 5: 기타 - 경량바닥충격음레벨 저감량을 이용한 평가: 거실에 있어서 상하층간의 경계바닥의 마감구조에 관한 경량바닥충격음(가벼운 물건의 낙하에 의한 충격음)의 저감 정도를 평가	◦ 거실의 경계바닥 중 특정의 조건하에서 경량충격음 차단대책의 등급이 가장 낮은 것 및 가장 높은 것을 시방기준과의 조합에 의해 확인하고, 시방기준에는 슬래브 두께, 종류, 바닥마감재의 종류를 규정하고 있음 ◦ 거실의 바닥마감구조 중 경량바닥 충격음레벨 저감 성능이 가장 낮은 것 및 가장 높은 것을 JIS에서 정하고 있는 시험방법에 따른 측정결과 등에 의해 확인함

제 2 절 독일 기술정보

유럽에서는 1970년대에 고강도프라스틱 파이프의 개발과 함께 이에 대한 실용화로 바닥난방시스템에 대한 관심이 매우 높아졌다. 독일과 스웨덴을 중심으로 바닥난방시스템의 사용이 급격한 증가 추세를 보이면서 이에 대한 성능기준이 마련되었다. 독일에서는 DIN 4725 기준에 온수식 바닥난방시스템의 성능평가 및 설치기준을 규정하여 바닥난방시스템의 설계, 시공, 개발제품의 성능평가 등에 활용하고 있으며, 또한 이 기준은 1995년에 유럽기준으로도 채택되었다.

DIN 4725에서는 바닥난방의 열출력을 계산하는데 있어서 바닥표면온도가 허용할수 있는 표면온도(거주영역 29℃이하)를 넘지 않도록 규정하고 있으며, 바닥표면온도의 균일성과 열출력을 종합적으로 고려할 수 있도록 온수온도변동폭, 배관의 간격, 배관의 매립위치, 바닥재료 등에 관한 성능평가자료를 제시해 놓고 있다. DIN 4725 기준은 온수바닥난방에 적용이 가능하며, 온수 바닥난방시스템의 열분포상태의 결정 및 난방 평균초과온도(heating medium excess temperature)에 관계되어 결정되는 바닥난방시스템의 열류밀도계산을 위한 과정 및 조건을 명시하고 있다.

④ 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법

	설 명
	- 습식공법 - 구성(아래에서 위로) 콘크리트슬래브 단열패널 난방배관 시멘트 몰탈 바닥마감재(마루)

[그림 6.2.1] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

Geschossdecke gegen Räume mit gleicher Nutzung gem. DIN EN 1264 $R_{s, req} = 0,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ System: Roth Noppen-System Darstellung hier: Aufbau auf Betondecke mit Lastverteilung als Neuskostruktur. Aufbauschnitten (von unten nach oben): - Trager der Untergrund (Betondecke) - Roth Noppenplatte SD-2 PS-TK 5,0 mit Füllendekkschicht - Roth Systemheizrohr 9-PE-RT 50+ - Dämmstichträger Estrich gemäß DIN 18560 - Bodenbelag	설 명
	- 습식공법 - 구성(아래에서 위로) 콘크리트슬래브 단열재 stud foil 난방배관 시멘트 몰탈 바닥마감재(타일)

[그림 6.2.2] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

Geschossdecke gegen Räume mit gleicher Nutzung gem. DIN EN 1264 $R_{s, req} = 0,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ System: Roth Original-Tacker-System Aufbauschnitten (von unten nach oben): - Trager der Untergrund - Roth System Verbundplatte SD-2 PS-TK 5,0 - Roth Systemheizrohr 9-PE-RT 50+ - Estrich gemäß DIN 18560 ($d_{min} = 45 \text{ mm}$) - Bodenbelag	설 명
	- 습식공법 - 구성(아래에서 위로) 콘크리트슬래브 단열재 방수포일 tacker 난방배관 시멘트 몰탈 바닥마감재(카펫)

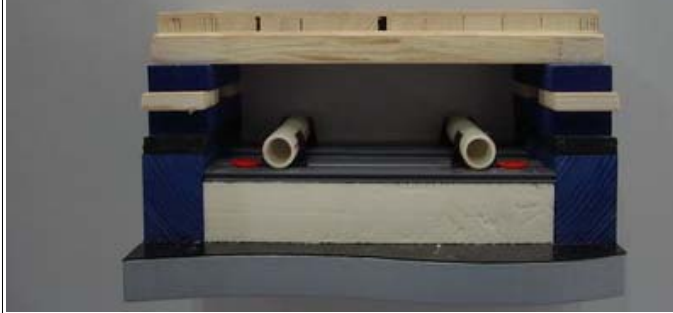
[그림 6.2.3] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

Geschossdecke gegen Räume mit gleicher Nutzung gem. DIN EN 1264 $R_{s, req} = 0,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ System: Roth Trockenbau-System (TBS) Darstellung hier: Aufbau auf Holzbalkendecke mit Lastverteilung als Trockenbaukonstruktion. Aufbauschnitten (von unten nach oben): - Trager der Untergrund (Holzbalkendecke) - Roth TBS-Systemplatte PS 30 SE - Roth Wärmeleitlamelle - Roth Systemheizrohr Alu-Laserflex 14 mm - Roth PE-Abdeckfolie - Trockenestrich (25 mm) - Bodenbelag	설 명
	- 건식공법 - 구성(아래에서 위로) 목조슬래브 단열패널 열전도금속판 난방배관 폴리 건조시멘트패널 바닥마감재(카펫)

[그림 6.2.4] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

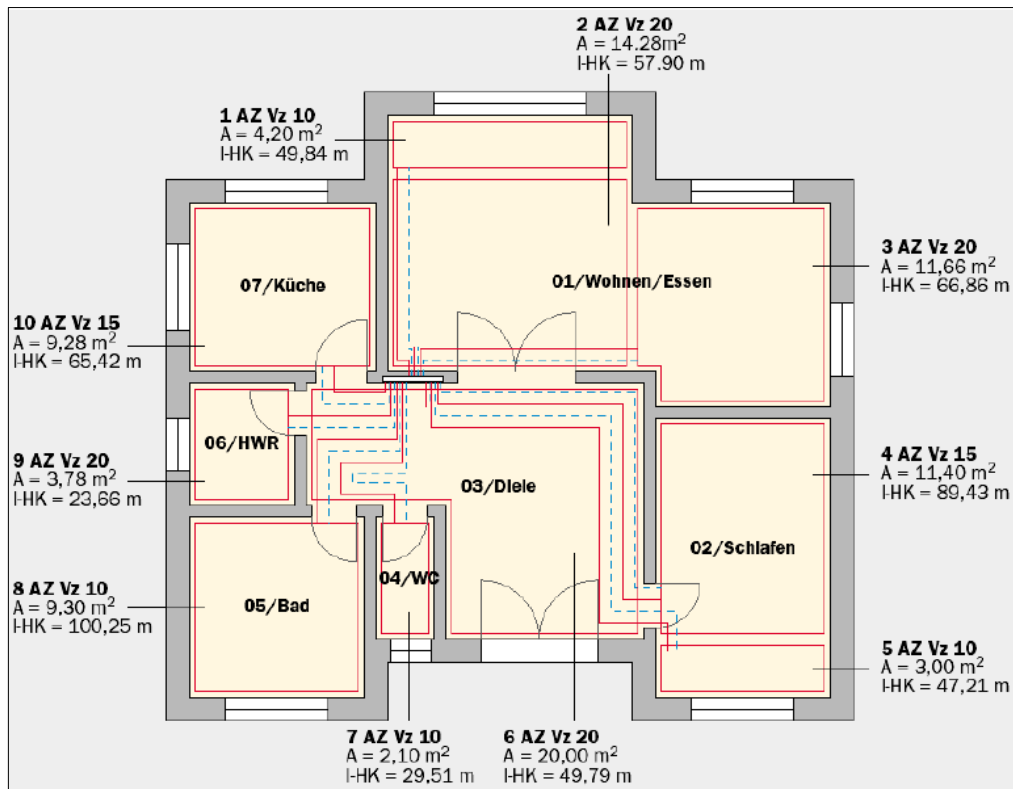
	설 명
Geschosdecke gegen Räume mit gleicher Nutzung gem. DIN EN 1266 $R_{s,red} = 0,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ System: Roth Trockenbau-System (TBS) Darstellung hier: Aufbau auf Holztafeldecke mit Lastverteiltsicht als Trockenkonstruktion. Aufbauschichten (von unten nach oben): - Tragender Untergrund - Roth TBS-Systemplatte PS 30 SE - Roth Wärmeleitlamelle - Roth Systemheizrohr Alu-Laserflex 14 mm - Roth PE-Abdeckfolie - FERMACELL Powerpanel SE Fertigstrichplatten - Bodenbelag 	- 건식공법 - 구성(아래에서 위로) 콘크리트슬래브 단열패널 열전도금속판 난방배관 폴리 화강암+시멘트조립패널 바닥마감재(타일)

[그림 6.2.5] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

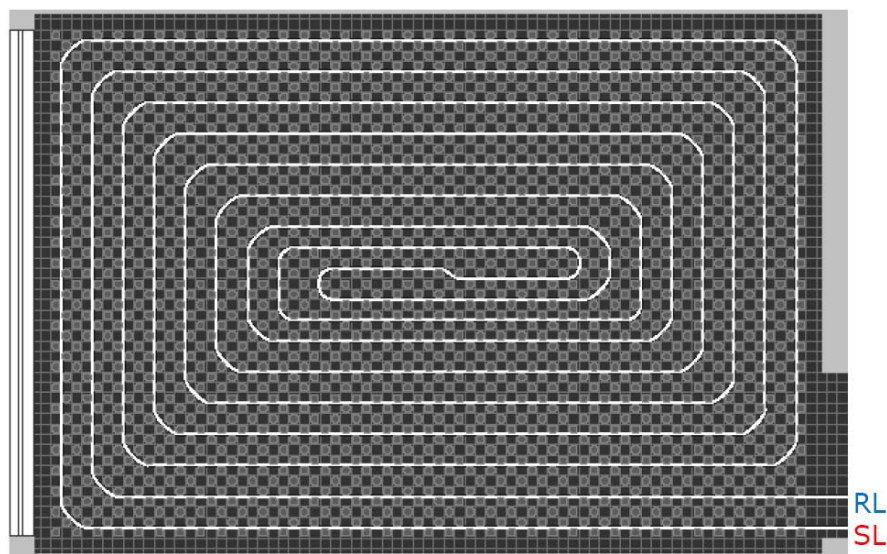
	설 명
System: Roth Rohrträgerelement-System (RTS) Aufbauschichten (von unten nach oben): - Tragender Untergrund - Feuchtheitsschutzschicht nach DIN 18195 - Holztafeldecke - Roth Dämmplatte PU 36 mm mit Roth RTS System und - Roth Systemheizrohr (22/20°C 12°/20 mm) - Rohrbauung (Strom, Wasser, Gas) - Federkissen - Dampfschutzträger - Windbremsschicht - PE-Rolle - Sportparkett Modul 	- 건식공법 - 구성(아래에서 위로) 콘크리트슬래브 방수층 높이평형 단열재 배관고정패널 난방배관 충진 층 포함 지지대 바닥마감재(마루)

[그림 6.2.6] 유럽 및 독일의 바닥 난방 시공법 예

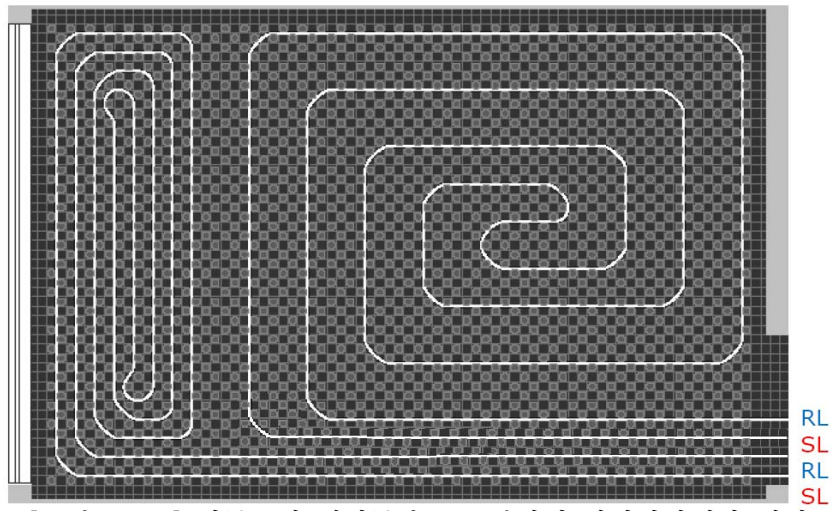
⑤ DIN 4725에 의한 독일의 바닥난방 설계



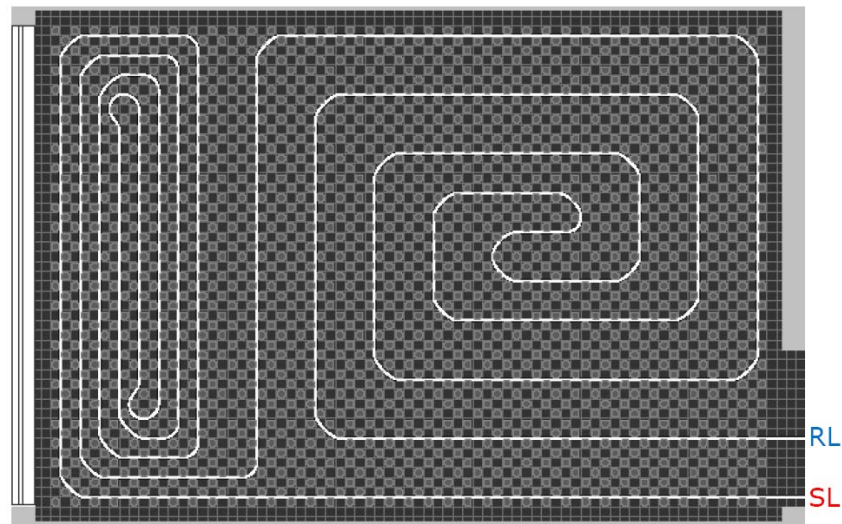
[그림 6.2.7] 일반적인 주택의 바닥난방을 위한 레이아웃



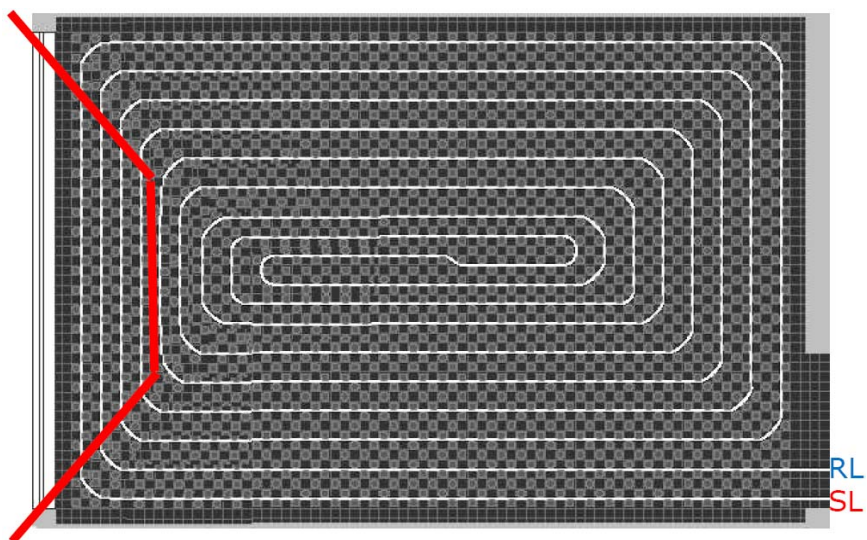
[그림 6.2.8] 거주존에 대한 바닥난방배관 설치방법(1)



[그림 6.2.9] 거주존에 내외주부를 구분하여 바닥난방배관 설치



[그림 6.2.10] 거주존에 대한 조합 바닥난방배관 설치(1)



[그림 6.2.11] 거주존에 대한 조합 바닥난방배관 설치(2)

독일에서는 신축주택의 경우 60-70% 정도가 바닥난방시스템을 설치하고 있다. 바닥난방시스템에 대

한 설계 및 시공지침은 DIN 4725에 규정되어 있으며, DIN 4725규정에 의거하여 바닥난방시스템 설치기준으로 활용하고 있다.

건물의 부하 산정이 이루어지면, DIN 4725에 의거하여, 배관재의 환경, 온수온도, 배관재의 간격, 마감재의 종류 등에 따라 방열량 산출자료가 마련되어 있어 이러한 기준에 의거하여 바닥난방시스템에 대한 설치 시공이 이루어지고 있다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 하나의 공간에 단일존 또는 이중존으로 구성하여 배관을 구성하는 방법이 있으며, 동일 공간내에서도 창문부근과 같이 열적으로 취약한 공간에는 배관간격을 좁혀 부하에 대응하는 방법 등이 사용되고 있다.

최근 바닥난방시스템을 설치하는 주택이 급속하게 증가하고 있는데 이것은 컨텐싱보일러의 확대 보급이 이루어지면서 저온수 공급에 의한 보일러 효율 향상과 태양열 및 지열이용시스템 등 저온수의 난방을 이용하는 데에 바닥난방시스템이 적합하고 이러한 방식이 에너지 절약적이고 쾌적성이 향상된다는 인식이 확산되면서 급속하게 증가하고 있다. 이와 같이 바닥난방시스템의 보급이 확대됨에 따라 라디에터 방식과 비교해볼 때 설치비용은 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

기존 라디에터 방식인 경우 90℃로 온수를 공급하는데 반해 바닥난방시스템은 55℃의 온수로 바닥난방 공급이 가능하다. 독일에서는 일반적으로 배관의 온수온도를 35-40℃로 설정하고 있으며 바닥표면온도는 DIN 4725에서 29℃ 이하로 제한하고 있다. 온수배관의 단위길이는 설계조건에 따라 다르지만 환경이 17mm 정도의 배관은 120m까지 가능하고 환경이 20mm 정도의 배관은 140m까지 가능하다.

다음 [그림 6.12]에서 [그림 6.23]까지는 주거단지에서 바닥 난방이 시공되는 여러 주택들을 방문하여 조사된 바닥 난방 시공의 공정단계를 나타낸 것이다.

바닥난방시스템에 의해 마감재의 열팽창 및 열수축을 감안하여 거실의 타일바닥과 출입문주위에 신축 줄눈을 설치하였다.



[그림 6.2.12] 내외부 마감공사중인 주택



[그림 6.2.13] 콘덴싱보일러 설치



[그림 6.2.14] 바닥 난방용 분배기 설치



[그림 6.2.15] 바닥 난방 방수포 설치



[그림 6.2.16] 바닥 난방 단열/배관준비



[그림 6.2.17] 바닥 난방배관 설치



[그림 6.2.18] 시멘트 모르타르 마감 완성



[그림 6.2.19] 기계실 가스
콘덴싱보일러와 분배기 설치



[그림 6.2.20] 시멘트모르타 및 마감재
균열방지를 위한 신축줄눈 설치



[그림 6.2.21] 압력검사에 의한 배관누수 상태 및 난방성능 확인



[그림 6.22] 거실 타일바닥과
팽창줄눈



[그림 6.23] 거실과 복도의
바닥마감재

제 3 절 미국 ASHRAE 기술정보

ASHRAE에서는 1950년대부터 바닥난방시스템에 대한 설계지침을 마련해 놓고 있으며 이에 따른 설계 데이터 및 설계용 도표를 제시하여 설계자가 이를 이용할 수 있도록 고려하고 있다. 또한 ASHRAE에서 DIN 4725기준에서와 같이 설계단계에서 바닥표면온도가 29℃가 넘지 않도록 제안하고 있다.

다음은 ASHRAE에서 제시하고 있는 설계과정 및 설계단계에서의 고려해야 할 사항을 정리한 것이다.

1) 바닥난방시스템의 설계과정

패널난방시스템의 설계과정은 다음 단계에 따라 실시한다.

- ① 각실에 대한 시간별 열손실율을 계산한다.
- ② 각실에서의 난방패널의 유효면적을 산정한다.
- ③ 바닥패널의 표면온도를 결정한다.
- ④ 패널의 난방방법, 난방요소의 위치 및 크기를 결정한다.
- ⑤ 패널의 모서리 부분 및 하향방향의 단열방법을 결정한다.
- ⑥ 패널의 열손실과 요구되는 패널의 자료를 결정한다.
- ⑦ 계산에 필요한 다른 부분의 온도를 결정한다.
- ⑧ 이상과 같은 방법으로 패널에 대한 난방시스템을 설계한다.

설계단계에서 쾌적감에 대하여 주의를 요구하며, 열손실이 발생하는 저온지역 부근에 패널의 설치 및 바닥온도는 29℃를 유지한다는 일반적인 규칙이 적용된다.

2) 설계단계에서의 고려사항

패널시스템의 설계, 설치 등에는 다음과 같은 사항이 요구된다.

① 증기배관방식의 난방에 있어서는, 배관방식 계획에 많은 주의가 필요하며, 배관은 항상 모든 배관격자 및 배관상에 충분한 수량 및 적절한 온도의 물이 공급될 수 있도록 계획되어야 한다. 역환수방식은 유량분배문제를 최소화 할 수 있는 방법중의 하나이다.

② 배관은 공기, 높은 유속, 높은 압력강하장치, 펌프, 또는 배관 진동이 발생하지 않도록 설치하며, 물의 유속은 기포 정체의 발생을 방지하기 위해 충분한 속도인 0.46m/s 이상으로 결정한다.

③ 콘크리트 슬래브에 배관이 매립되는 부위에서는 관의 배관 및 주관에 연결 조인트를 사용하지 않도록 하며 강관은 모두 용접된 형태로 사용하며, 연결부위는 최소화 되도록 한다.

모든 배관재는 작업압력(단 1033 kPa 이상 인곳)하에서 최소 3회 이상 유체정역학적인 측정을 받도록 한다. 콘크리트 타설시 배관에서 적정 압력을 유지할 수 있도록 한다.

④ 패널 난방표면의 열 관성특성 및 패널난방용적이 증가되는 공간은 평균복사온도가 증가하므로, 패널난방에 대한 자동제어는 대류난방과는 다른 성격을 나타낸다. 한편 콘크리트 슬래브와 같은 패널은 많은 축열용량을 지니고 있으며, 실온조절기의 작동으로 인하여 온수공급을 차단한 후에도 지속적으로 열을 방출한다. 많은 양의 열이 처음에는 복사표면에 축열되므로 실온조절기와 공간내로의 열분포에 많은 타임-랙(time lag)현상이 발생한다. 이러한 관성은 열적으로 불쾌감을 야기하며, 제어장치에 부하변동을 초기에 감지하는 장치가 없으면, 실내공간에 많은 온도변화분포가 발생한다. 일반적으로 패널로의 온수공급온도는 외기온과 관계되어 변화하게 되나, 매립된 패널배관에 대하여, 실온조절기가

작동하지 않은 경우 과도한 온수가 유입되지 않도록 주의한다.

난방부하가 증가함에 따라 패널난방공간내에서 평균복사온도(MRT)는 증가하며, 이때 실온은 1°F 또는 2°F(0.5~1℃)정도 낮아져야 실내 쾌적감을 유지할 수 있게 된다. 패널난방방식에서는 야간에 기온의 강하로 인하여 콘크리트바닥과 같은 중량패널에는 온열적 불쾌감이 발생된다.

이러한 콘크리트패널은 상대적으로 짧은 시간내에 요구하는 범위내에서 난방요구에 적절히 대응하지 못하며, 플라스터 또는 금속성의 경량 패널은 야간의 온도강하로 인한 변동이 빠르게 대응할 수 있다.

⑤ 열적으로 쾌적함을 얻기 위한 바닥슬래브의 표면온도 (t_s)는 최고 80~85°F(26~29℃)로 나타나 있다. 따라서 난방시스템을 사용할 때 공기온도를 감지하는 자동온도조절기는 콘크리트 슬래브온도를 감지하지 않도록 고려한다.

⑥ 실온이 70~76°F(21~24℃)인 실에 대하여 난방바닥패널에 대한 종합적인 열전달 계산을 실시한다.

제 7 장 참고문헌

- 양관섭 외, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계시공 기술 및 활용 방안 연구, 건설교통부, 한국건설기술연구원, 연구보고서, 2004. 12
- 김수암 외, 공동주택 성능등급 표시제도에 관한 연구, 건설교통부, 한국건설기술연구원 연구보고서, 2005. 8
- 한국지역난방공사, 열사용시설기준, 2006. 5
- 한국표준협회, KS F 2810-1 바닥충격음 차단성능 현장 측정방법, 2001. 6
- 한국표준협회, KS F 2810-2 바닥충격음 차단성능 현장 측정방법, 2001. 6
- 대한주택공사, 공동주택 바닥난방시스템 개발 및 실용화 연구, 1998. 12
- 대한주택공사, 공동주택 바닥충격음 차단성능 기준설정 연구, 2001. 12
- 과학기술처, 신주택기술개발-저가고효율 난방시스템 개발연구(1), 연구보고서, 1991.10
- 과학기술처, 신주택기술개발-저가고효율 난방시스템 개발연구(2), 연구보고서, 1992.10
- 과학기술처, 신주택기술개발-저가고효율 난방시스템 개발연구(3), 연구보고서, 1993.10
- 여명석, 류성룡, 온수온돌난방시스템의 제어방법, 설비저널, 2005. 8
- 백용규, 실내공기를 고려한 친환경 공동주택, 그린빌딩, 2003. 12
- 대한건축학회, 대한건축학회 온돌세미나, 1990. 9
- 대한주택공사, 온돌건식화 방안에 관한 조사연구, 연구보고서, 1986.12
- 대한주택공사, 기계설계자료집, 2000
- 정기범, 전통온돌의 구조와 열성능, 동국대 대학원 박사학위논문, 1992
- 조동우, 공동주택 바닥난방시스템의 현황과 개선방향, 냉동공조기술, 1992. 11
- 최상홍, 우리나라 아파트 설비의 현황과 전망, 공기조화냉동공학회
- 한국건설기술연구원, 공동주택 바닥난방시스템의 성능개선 연구, 연구보고서, 1996.12
- 한국건설기술연구원, 고효율 프리패브 온돌시스템 개발, 연구보고서, 1992. 3

- Radiant Panel Association, Advanced Design and Control of Hydronic Radiant Panel Heating Systems, 2002
- Radiant Panel Association, A Basic Course in Radiant Panel Heating Systems for Architects and Builders, 2002
- Radiant Panel Association, RPA Guidelines, 2004
- Norman A. Buckley, Application of Radiant Heating Saves Energy, ASHRAE Journal Volume 31 Number 9, 1989. 9
- C.R. MacCluer, The Control of Radiant Slabs, ASHRAE Journal Volume 31 Number 9, 1989. 9
- Alex Wilson, Radiant Floor Heating Warms Up, Architecture, 1989. 7
- CEN, "Warm Water Floor Heating System", 1992.
- ISO 7730, "Moderate thermal environments – Determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort" Second Edition, 1994.12
- REHAU, "Warm Water Underfloor Heating", 1989. 6
- REHAU, Rohrfußbodenheizung – Technische Information, 1995.3
- WISBO, "Wisbo Underfloor Heating System", 1989. 6, 1995. 5.
- ASHRAE, ASHRAE System Handbook, 1992. 1984.
- ASHRAE, panel heating and cooling, ASHRAE System Handbook 1992
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1993
- Helmut E. Feustel, Corina Stetiu, Hydronic radiant cooling– preliminary assessment, Energy and Building vol 22, 1995
- Laszlo J. Banhidi, Radiant Heating Systems, Pergamon Press, 1991
- Peter Burberry, Environment and Services, B T Bastdford Limited, 1986
- M. A. Bell and N. G. Hardiman, high performance floor heating systems for the UK, H & V Engineer, vol 60, pp 29–30, 1989. 3
- Werner Kast und Herbert Klan, Ein Prüfstand für Fußbodenheizungen nach DIN 4725, HLH 35 pp 371–378, 1984. 8
- W. Kast und J. Bohle, Temperaturverteilung in beheizten Fußböden, HLH bd 41, pp 741–743, 1990.12
- W. Kast, H. Klan and J. Rosenberg, Wärmeleistung von Decken–heizungen mit FEM berechnet, HLH bd 45, pp 99–101, 1994.3
- W. Kast, H. Klan and J. Rosenberg, Leistungen von Heiz–und Kühlflächen, HLH bd 45, pp 278–281, 1994.6

- ・ 日本 建設省 建築研究所, 住宅性能 総合評価システムの 開発研究報告書
- ・ 成田修司 外, 蓄熱床暖房に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, (東北), 1991. 9
- ・ 竹内正雄, 新版 熱計算入門 II, 省エネルギーセンター, 1992
- ・ 日本床暖房工業會, 温水床暖房, 1991
- ・ 日本空氣調和・衛生工學會, 床暖房のアメニティ評價に関する研究(2), 1992
- ・ 日本空氣調和・衛生工學會, 床暖房のアメニティ評價に関する研究(3), 1993
- ・ 日本空氣調和・衛生工學會, 床暖房のアメニティ評價について, 1994
- ・ 建築技術編輯部, 乾式遮音二重床の動向, p. 183, 建築技術, 2001. 3
- ・ 日本工業規格, JIS A 6321(浮き床用ロックウール緩衝材), JIS A 6322(浮き床用グラスウール緩衝材)
- ・ 日本設備設計事務所協會, 床暖房設計マニュアル, 2003. 8

- ・ 일본 새집증후군 관련 웹페이지,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.html#shiryou>,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.files/gaiyou.pdf>,
- ・ 일본 에너지절약 관련 웹페이지,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/syouene/shouene.html>,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/syouene/seirei.pdf>,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/syouene/kokuji2.pdf>
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/syouene/kokuji3.pdf>
- ・ 일본 주택성능 표시제도 관련 웹페이지,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/hinkaku/hinkaku.htm>
- ・ 일본 바닥충격차단성능 관련 웹페이지,
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/hinkaku/hyoka-kijun191127hontai.pdf>,
<http://www.panekyo.or.jp/hinkakuhou.htm>
- ・ 일본바닥난방공업회 웹사이트,
<http://www.yukadanbou.gr.jp/>
- ・ 井上 隆, 住宅のエネルギー消費の実態, 東京理科大学理工学部建築学科
- ・ 三浦 秀一, 全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究,
 日本建築学会計画系論文集 第510号, 77-83, 1998.8.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원	TEL 031)381-6311
한국건설기술연구원	TEL 031)910-0344
이노드시스템(주)	TEL 02)2226-5607
승일오이에스(주)	TEL 02) 852-1503

05 건설핵심 C22

주거성능등급 향상을 위한 다기능통합온돌시스템 개발 및 실용화 연구보고서

■ 발행일 / 2008. 8. 29.

■ 발행처 / 한국건설기술연구원

경기도 고양시 일산구 대화동 2311

TEL : 031-9100-114(대)