오픈하우징을 위한 다기능 스마트 플로어 시스템

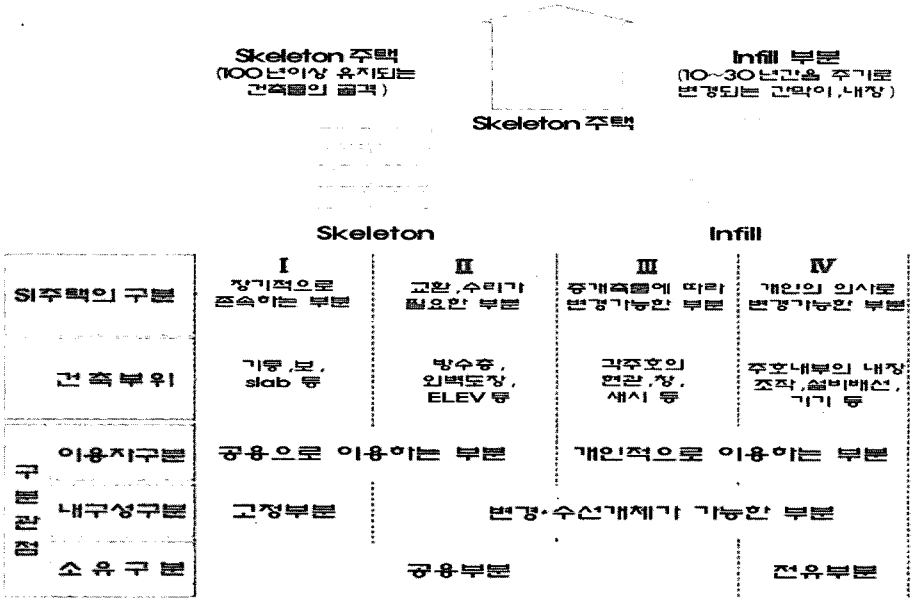
주거용 건물의 오픈하우징 및 재생을 위한 건축 기술 분양에서 장애요인인 현행 습식온돌을 포함한 바닥시스템을 대체하고, 향후 건설 환경변화와 주거생활수준 향상에 대응할 수 있는 다기능 스마트 플로어 시스템(Smart Floor System)을 소개하고자 한다.

강 재 식
한국건설기술연구원(jskang@kict.re.kr)
최 경 석
한국건설기술연구원(bear717@kict.re.kr)

스마트 플로어 시스템의 개념

주거용 건물의 자원절약형 오픈하우징(장수명화) 및 재생을 위해서는 먼저, 오픈 하우징 건축기술의 기본 개념인 구조재(Skeleton, Support)와 가변형(Infill, 설비재, 내장재 등) 부문이 분할되어 독립적인 기능과 역할을 수행하여야 하고, 투입재료는 3R(Reduce, Reuse, Recycle)이 가능한 소재로 하는 것이 바람직하다.

오픈 하우징의 기술측면에서 바닥시스템은 그 내부에 내장형 배선 분배시스템(Embedded Information/Electric Line System) 등 정보화(IT) 시스템에 대응

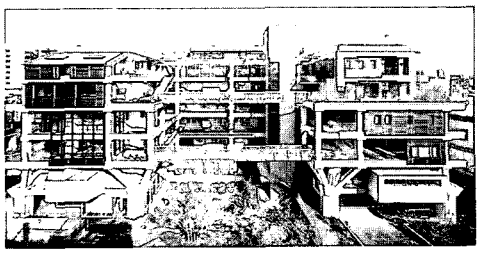
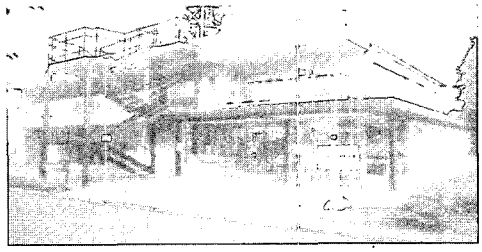


[그림 1] Skeleton과 Infill의 건축부위 구분 주1)

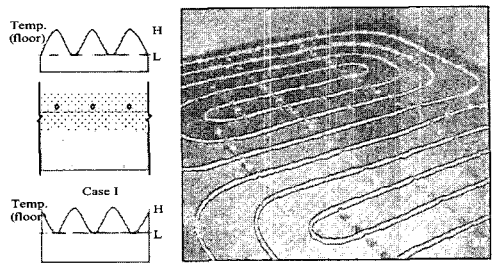
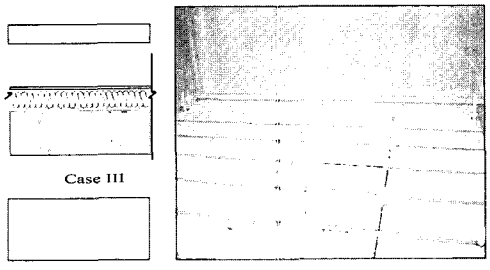
주1) 한국건설기술연구원, 장수명 건축물 설계시스템 개발, p37, 2003.

할 수 있는 접근이 가능한 Access Type의 시스템으로 구현되며, 이때 Access Type의 바닥시스템은 다기능(정보화 시스템 대응, 수납공간의 효율성 제고 등)과 고성능(에너지 절감효과, 바닥충격음 차단성능 향상 등)을 지닌 복합시스템으로 개발하는 것이 요구된다. 또한, Free Plan 공동주택의 경우, 방과 거실의 공간변화 또는 실 용도의 변화는 난방설비인 온돌에 의해 크게 영향 받지 않으나 욕실이나 주방과 같이 급배수가 필수적으로 요구되는 공간의 가변성에 대해서는 현행 습식온돌에서 기술적인 대안이 없다. 따라서 많은 문제점 지니고 있으나 개선에 한계를 보이고 있는 습식온돌은 공법, 재료, 시스템 구성 등 시스템 전반에 걸쳐 대체 기술개발이 필요하다.

<표 1> 일본 SI주택의 사례

구분	Next 21	KSI 실험주택
개요	· 오사카 가스 주식회사 · 시스템빌딩 · 물사용부위 및 외벽의 이동 및 교체 가능 · 구조체와 설비의 분리:이중천장/이중바닥 적용 · 3.6 m의 높은 층고 적용, 천장고는 2.4 m 동일 · 내부공간의 가변성 확보	· 주택도시 정비공단 · 3M 모듈의 MC 적용한 구조체와 내장 분리 방식 · 높은 층고의 입체주호형 Infill 사용 · 물 사용공간의 고정 및 가변공간 구분 · 바닥선행공법 · 이중바닥내 설비배관, 탈착 용이 Flooring
사례		

<표 2> 습식온돌시스템과 모듈화 패널시스템의 비교

구분	습식온돌시스템	모듈화 패널시스템
순환성	배관 매설 방식	무배관 방식의 모듈화 패널 시스템
발열방식	구조체내 선발열 방식	바닥표면에서 면발열 방식
3R	습식공법 – 바닥 구조체와 일체화로⇒ 재생 불가능	건식 조립식공법으로⇒ 재생 가능
두께	온돌구성층 두께 120 mm	온수순환층 두께 10 mm 내외⇒ 기능성 공간 확보
설치	바닥면만 설치 가능	벽면, 천장면, 바닥면 설치 가능
난방개념		
기타	난방시스템으로만 가능	난방 외 냉방 등 복합성능 가능성 확보

스마트 플로어 시스템의 구성

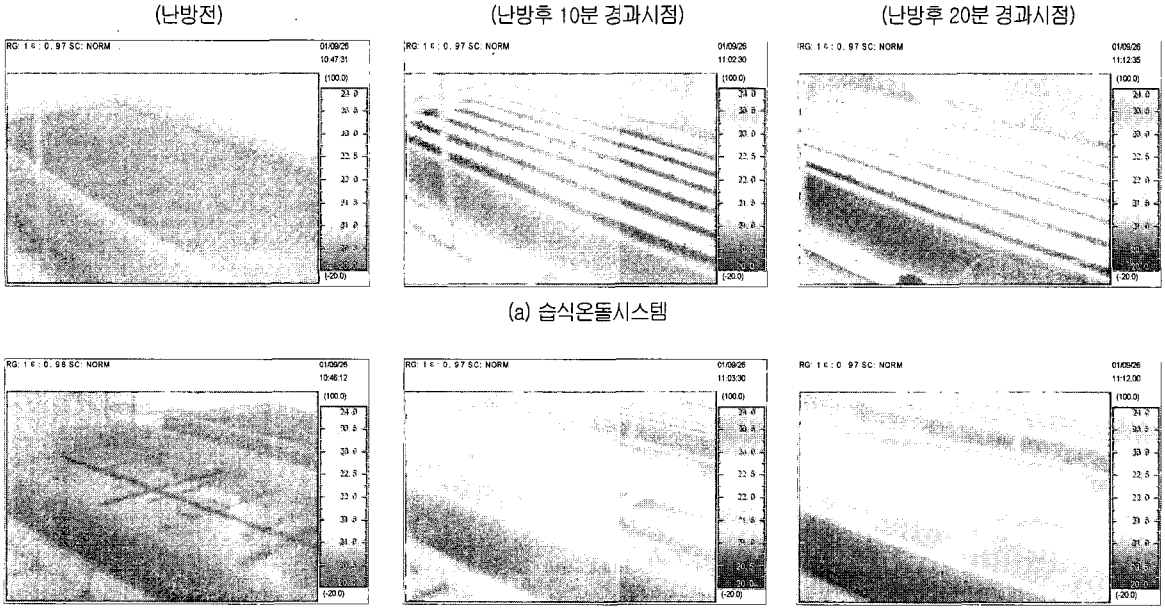
스마트 플로어 시스템은 Infill 개념의 이중바닥구조와 면발열 방식의 모듈화 패널 온수순환시스템으로 구성된다.

온수순환시스템

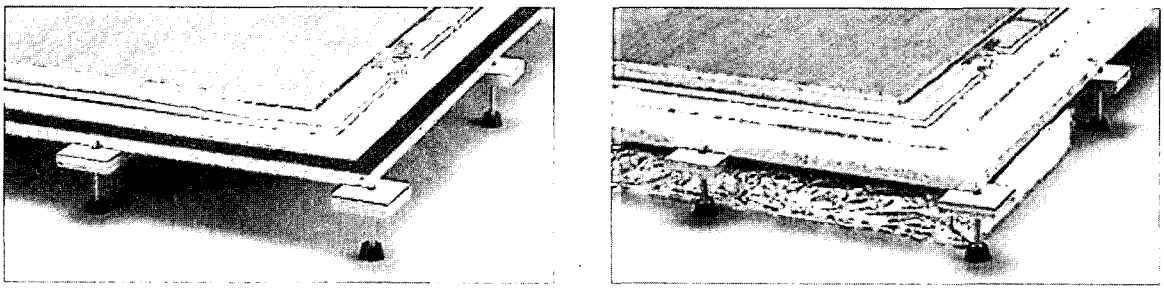
모듈화 패널방식의 온수순환시스템은, 현행 온돌시스템에서 필수적으로 구성되는 온수 순환용 매설배관을 대체하여 모듈화 · 유니트화된 패널면 전면에 온수가 순환하도록 함으로써 바닥, 벽체, 천장에 설치가 가능한 패널 전면(全面)이 온수순환의 기능과 방열면의 역할을 수행할 수 있는 가변형(Infill)방식의 온돌시스템이다.

이중바닥구조

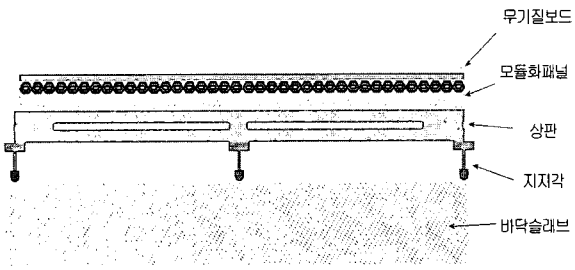
오픈하우징을 위한 Free Plan 설계기술과 연계하여 공간의 가변성을 수용할 수 있으며, 바닥시스템 내부에 접근이 가능한 Access Type, 그리고 에너지 성능, 바닥충격음 차단성능 등 최근 의무화 기준과



[그림 2] 습식온돌시스템과 모듈화 패널시스템의 바닥표면온도 분포특성



[그림 3] 일본의 주거용 이중 바닥시스템 사례



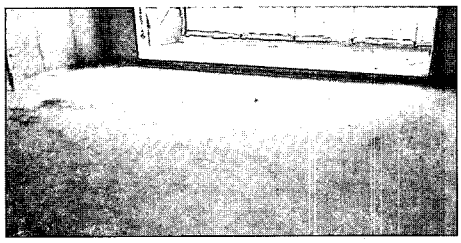
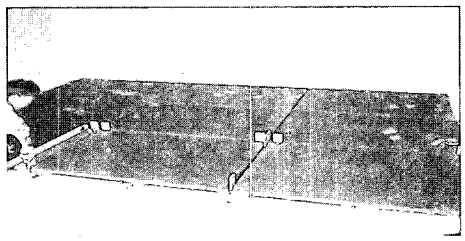
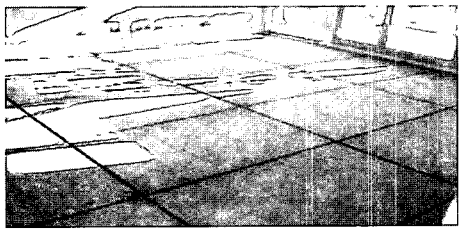
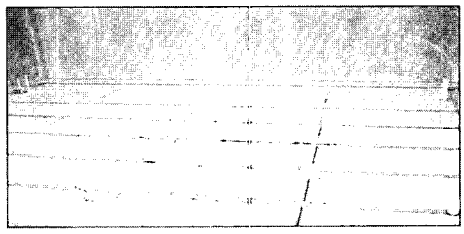
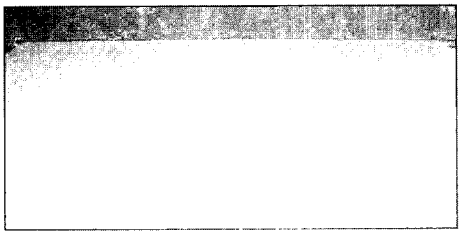
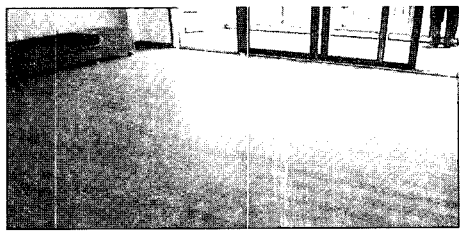
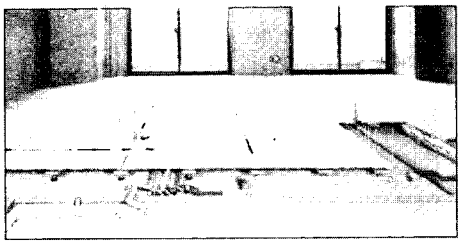
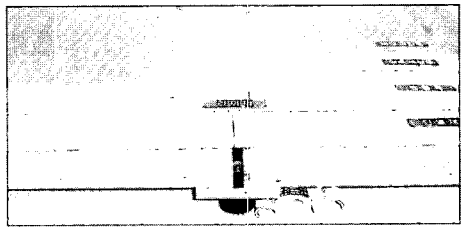
[그림 4] 스마트 플로어 시스템의 단면구성도

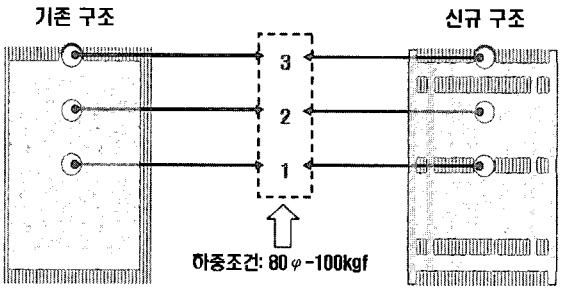
거주자의 요구성능(정보화시스템 대응, 수납공간의 확보 등)을 만족시킬 수 있는 구조로서 이중바닥구조를 적용하였다.

이중바닥구조 상판 구조성능

이중바닥구조의 상판은 연구개발 초기의 1차 시작품(기존구조람 함)에서 상판의 Al 보강재 구조를 보다 경제성 있는 합판 보강재로 개선하여 내하중성 및 생산성을 향상시켰다. 상판의 구조해석과 실험의

<표 3> 스마트 플로어 시스템(이중바닥구조+모듈화 패널시스템)의 적용

바닥청소 및 정리		이중바닥 구조시공 (1)	
이중바닥 구조시공 (2)		모듈화 패널 시스템 설치	
상부마감 시공		바닥 마감재 시공	
내장형 배선분배 시스템 시공사례		스마트 플로어 시스템 시공 단면도	



목표치: 3mm

	기존 Type				신규 Type			
	계산치	측정치			계산치	측정치		
1번 위치	1.12	2.10	2.10	2.10	0.96	1.21	1.27	1.24
2번 위치	1.08	1.76	1.65	1.71	1.01	1.4	1.21	1.31
3번 위치	2.10	3.65	2.91	3.28	2.00	2.11	1.94	2.03

[그림 5] 이중바닥구조 상판의 국부압축성능 특성

결과, 하중조건 100kgf 조건에서 개선구조에서 기존 구조와 동등이상의 강도를 구현하였으며, 이중바닥 구조를 시공하고 사람의 발모양을 형상화한 가압자를 이용 지속적으로 하중을 가하여 100만회 까지 테스트 후 이상유무 검사한 결과 20년 이상의 내구성을 지닌 것으로 나타났다.

스마트 플로어 시스템 보행감 평가

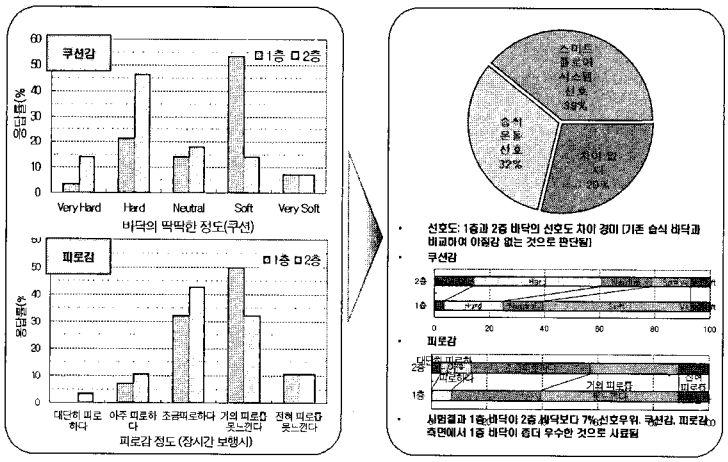
스마트 플로어 시스템과 습식온돌시스템에 대한 보행감 평가는 1) 주부를 대상으로 설문조사를 실시한 감성적 보행감 평가와 2) 일본 방음 바닥재 공업회의 "방음바닥재 물성시험규격(1996)-보행시의 바닥경도 시험방법"에 의거한 정량적 평가방법을 실시하였다.

(a) 장기 내구성 측정 (100kgf, 80Ø)

(b) 등분포하중 측정 (200kgf /m²)

(c) 충격하중 측정 (30kgf모래주머니, 50cm 낙하)

[그림 6] 이중바닥구조 상판의 내하중성 측정



[그림7] 스마트플로어시스템과 습식온돌시스템에 대한 감성적 보행감 비교평가

감성적 보행감 평가는 다음과 같이 실시하였다.

- 평가내용: 습식온돌과 바닥 탄성도 및 피로감(장시간 보행시) 비교평가
- 보행감 감성평가 척도: 7점 척도

(①대단히 부적합하다 ②아주 부적합하다 ③조금 부적합하다 ④어느쪽이라고도 말할 수 없다 ⑤조금 적합하다 ⑥아주 적합하다 ⑦대단히 적합하다)

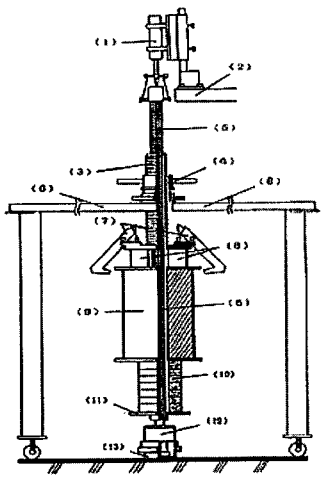
- 참여인원: 주부 42명
- 평가장소: 대전 삼성동 A건설 시공현장(1층: 스마트 플로어 시스템, 2층: 습식온돌 적용)

보행감 및 피로경감성에 대한 정량적 평가는 다음과 같은 시험방법을 사용한다.

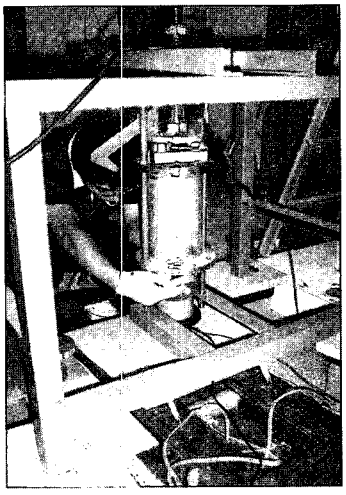
① 질량 40kg 추를 고무스프링에 접한 상태에서 낙하시켜, 인간이 보행할 때와 동등한 하중을 시험체 바닥에 재하

② 바닥의 거동을 로드셀과 동적 변위계로 측정

③ 하중/시간 곡선 및 변형/시간곡선으로부터, 최대변형시점까지의 하중/변형곡선(변형에너지) 등의 제반 물리량 도출



(1) 동적변위계
(2)동적변위계지지대
(3)중추 달대
(4)중추 달대 상하 조절기
(5)샤프트
(6)중추달대 지지대
(7)중추 스토퍼
(8)전자석
(9)중추(40kg)
(10)특수고무
(11)고무 받침판
(12)로드셀
(13)하중판



[그림 8] 보행감 및 피로경감성 측정장치

<표 3> 스마트 플로어 시스템(이중바닥구조+모듈화 패널시스템)의 적용

시험체 종류		
No.	명 칭	재질 및 구성
A	1층 거실-1	2중바닥 + 온돌패널(A) + 합판마루
B	1층 거실-2	
C	1층 거실-3	
D	1층 거실-4	
E	1층 거실-5	
F	1층 방	2중바닥 + 온돌패널(B) + PVC시트
G	2층 거실	습식온돌 + 합판마루
H	2층 방	습식온돌 + PVC시트
I	연구소-1	습식온돌 + 온돌패널 + 합판마루
J	연구소-2	2중바닥 + 합판마루

④ 보행감 및 피로경감성 관점에서 바닥의 경도를 나타내는 물리량 산출

⑤ 산출된 물리량을 평가지표에 조회하여 대상 시험체의 보행감 및 피로경감성 평가

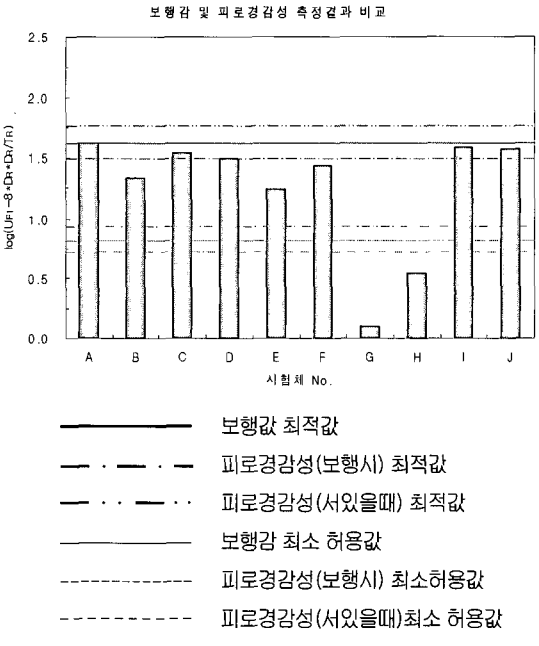
감성적 보행감 평가에 따른 선호도 조사결과, 기존 습식온돌에 대비하여 이질감이 없는 것으로 판단되며, 정량적 평가결과는 스마트 플로어 시스템은 "일본 방음 바닥재 공업회" 시험규격에 의거 보행감이 허용범위의 수치에 들어오는 것으로 평가되었으며, 습식온돌시스템은 보행감에 관한 바닥경도의 허용범위에 들지 못한 것으로 평가되었다.

스마트 플로어 시스템 전도 충돌시 안정성 평가

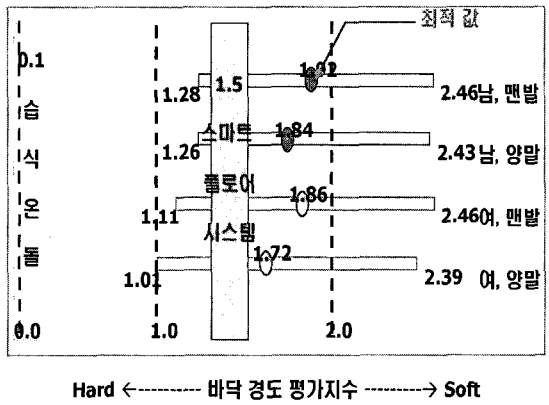
스마트 플로어 시스템과 습식온돌시스템에 대한 전도 충돌시 안정성 평가는 JIS A 6519 [育館用鋼製床下地構成材] - Head Model 시험방법을 사용하여 8mm 두께 고무판을 매개로 Head Model을 자유낙하(낙하속도 V=2m/sec) 시켰을 때 장치에 부착된 가속도계에 발생하는 최대가속도(G값)를 측정하여 대상 시험체에 대한 전도충돌시 안전성 관점에서의 바닥 경도(쿠션) 평가를 수행하였다. 시험체는 **표 3**의 보행감 시험과 동일 시험체에서 측정을 수행하였으며, 전도 충돌시 두부의 안정성 평가결과, 전도시 안전한 것으로 평가되었다.

스마트 플로어 시스템 건축자재 오염물질 방출량 성능평가

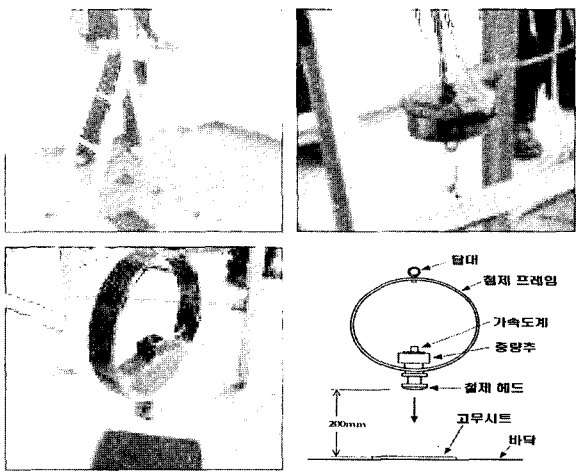
스마트 플로어 시스템 상판에 대하여 실시한 건축자재 오염물지 방출량 성능평가는 방출시험 챔버 내



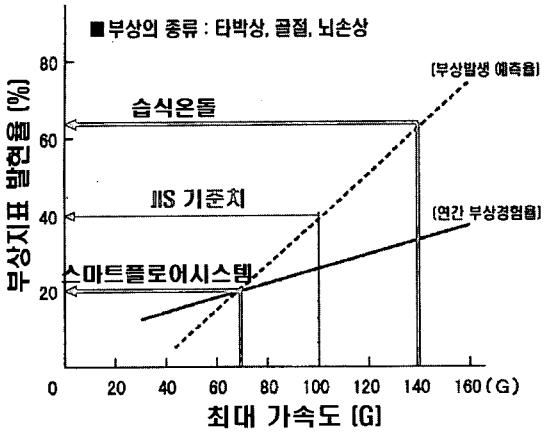
[그림 9] 보행감 및 피로경감성 측정결과 비교

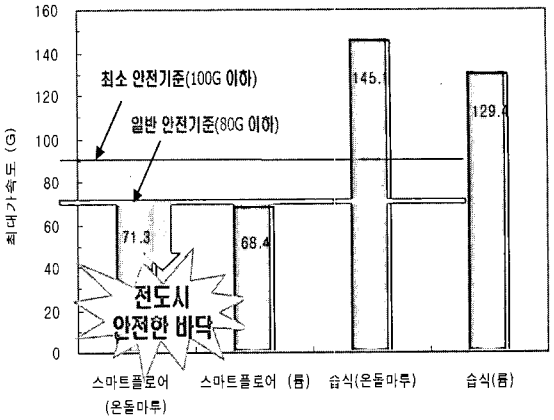


[그림 10] 보행감 및 피로경감성 측정결과 비교



[그림 11] 전도 충돌시 안정성 평가





[그림 12] 바닥경도 측정결과 비교

<표 4> 전도 충돌시 안정성 측정결과

시험체 No.		최대가속도(G)			
		1회	2회	3회	평균값
A	ⓐ	68.86	67.80	69.80	68.82
	ⓑ	63.68	66.39	64.97	65.01
	ⓒ	60.96	63.50	63.56	62.67
B		77.29	76.94	-	77.12
C		72.93	72.80	-	72.87
D		72.46	73.16	-	72.81
E		79.47	79.71	-	79.59
F	ⓐ	68.15	66.69	67.22	67.35
	ⓑ	71.28	70.63	69.80	70.57
	ⓒ	68.68	65.91	67.62	67.41
G		143.30	147.72	144.36	145.12
H		129.03	130.69	128.57	129.43
I		73.51	72.17	-	72.84
J		69.98	71.16	-	70.57

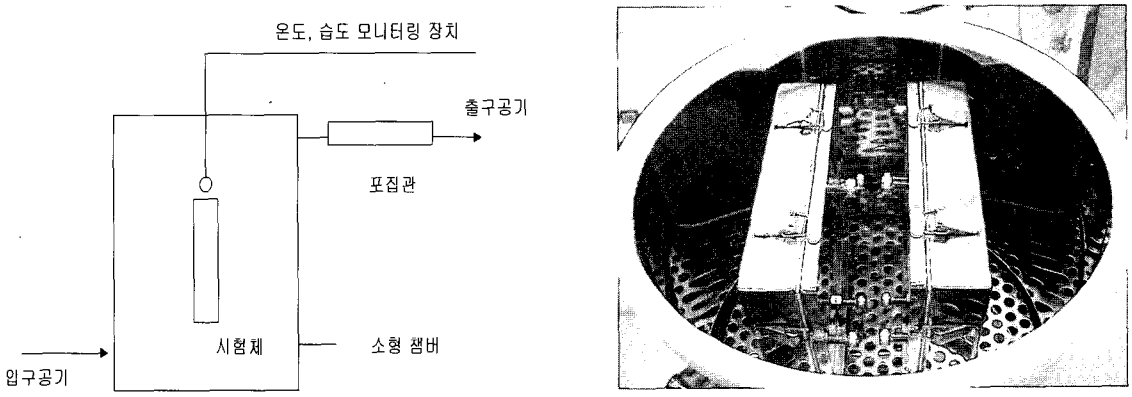
의 공기농도, 통과한 공기의 적산유량 및 시험편의 표면적을 구하여 시험대상 건축재료의 단위면적당 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 방출량을 결정하는 방법을 적용하였으며, 일정한 온도, 상대습도 및 환기량 조건을 가진 방출시험챔버 내에서 공기를 완전하게 혼합시키고, 출구에서 포집된 공기에서 방출시험챔버 내부의 공기농도, 블랭크농도 및 환기량을 파악하여, 특정 시간 t에 관한 단위표면적당의 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 방출량을 산정하였다. 측정결과, 친환경-4등급에 해당하는 것으로 평가되었다.

스마트 플로어 시스템 바닥충격음 차단성능 성능평가

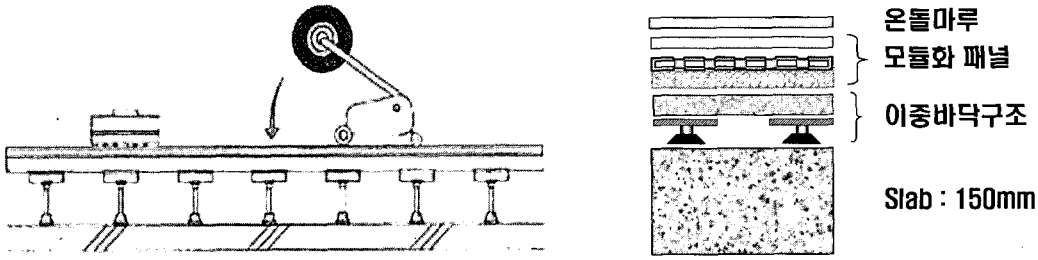
공동주택의 바닥충격음과 관련하여 종전에는 구체적 기준을 두지 아니하였던 것을, 주택건설기준등에 관한규정을 2002년 4월 22일 개정하여 경량충격음은 58dB 이하, 중량충격음은 50dB 이하로 바닥충격음에 대한 기준(주택건설기준등에관한규정 제14조 제3항)을 제정되어, 이에 스마트 플로어 시스템이 공동주택 등에 적용되기 위해서는 차음성능 즉, 바닥충격음 차단성능의 확보가 중요한 내용 중에 하나이며, 이중바닥구조을 가진 스마트 플로어 시스템의

<표 5> 건축자재 오염물질 방출량 측정결과: 친환경-4등급(♧♧♧♧)을 획득

시험항목	측정결과		시험방법	비고
건축자재 오염물질 방출량 시험	총휘발성유기화합물 (TVOC)	0.157 mg/㎡h	JIS A 1901	-시료부하율: 2.0㎡/㎡ -7일 후 방출량
	포름알데히드 (HCHO)	0.001 mg/㎡h		



[그림 13] 소형 챔버법의 개념도 및 시험체 설치



[그림 14] 스마트 플로어 시스템 바닥충격음 차단성능 평가 개요 및 시험체

바닥충격음 차단성능평가를 위하여 이중바닥을 구성하기 위하여 바닥슬래브로부터 상부패널을 이격하기위한 지지각(고무 및 연결대로 구성)과 상부하중을 부담하는 상판, 바닥난방을 위한 온수패널, 패널보호를 위한 상판을 설치하고 최종마감재를 설치하였다.

바닥충격음 성능평가는 바닥충격음 시험동에서 슬라브 두께 150 mm와 180 mm를 대상으로 실시하였고, 실제 공동주택에서 현장실험을 병행 실시하였다. 스마트 플로어 시스템은 총 4개 type에 대해 성능평가를 실시하였는데 Type1과 Type2는 동일 구성에서 슬라브 두께가 각각 150 mm와 180 mm이며, Type 3과 Type 4는 지지각의 높이가 약 30 mm 낮은 모델로 구성되어 있다.

습식온돌은 단열재 20 mm + 기포콘크리트 50 mm + 몰탈 40 mm로 구성되어 있으며 경량과 중량 충격음에 대한 성능평가 결과는 다음 **표 7**과 같다.

스마트 플로어 시스템에 대한 바닥충격음 차단성능 평가결과, 경량충격음은 슬라브 두께가 증가할수록 충격음 차단성능도 향상되는 것으로 나타났으며, 동일한 Type에서 최종마감재는 온돌마루 보다 륨류가 다소 우수한 성능을 지닌 것으로 나타났다. 중량충격음은 최종마감재 변화에 따른 성능변화는 없었으며, 슬라브 두께가 증가할수록 충격음 차단성능이 향상하는 것으로 나타났으며, 특히 150 mm 슬라브에서 48 dB, 180 mm 슬라브에서는 46 dB까지 나타나 관련 기준에서 요구하는 중량충격음에 대한 성능을 확보하였음을 알 수 있다.

스마트 플로어 시스템 현장 열성능 평가

스마트 플로어 시스템의 열특성 평가는 2005년 2월부터 4월까지 실제 공동주택 2개 세대에서 진행되었으며, 실험대상 공동주택은 난방면적이 26평형이며, 거실과 두개의 방, 주방 및 부엌으로 구성됨. 1개

〈표 6〉 바닥충격음 차단성능 평가를 위한 스마트 플로어 시스템 시험체 구성

구분	슬라브 두께	시험체 구성	비고
Type 1	150 mm	지지각 60 mm(내부흡음재 30 mm 설치) + 상판 30 mm + 상판 7 mm + 온돌패널 40 mm +AL강판 1 mm+최종마감재	최종마감재 : 2종 륨류 2.3 mm, 온돌마루 8 mm
Type 2	180 mm	〃	〃
Type 3	150 mm	지지각 31 mm+상판 40 mm+온돌패널 32 mm+ 무기질보드 9 mm+온돌마루 8 mm	〃
Type 4	180 mm	지지각 31 mm+상판 40 mm+온돌패널 32 mm+ 무기질보드 9 mm+온돌마루 8 mm	〃

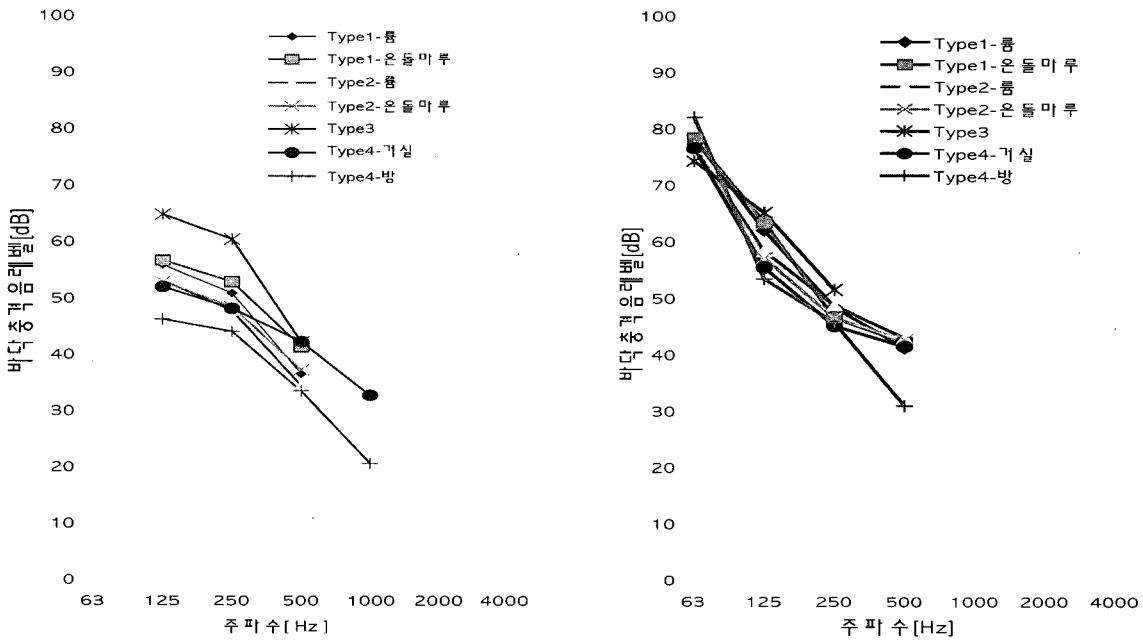
〈표 7〉 바닥충격음 차단성능 평가를 위한 스마트 플로어 시스템 시험체 구성

경량규준화 바닥충격음 레벨[dB]

주파수[Hz] / 측정위치	125	250	500	1000	2000	단일수치 평가량 L′, n, AW	법 기준
슬라브 150 mm	72.6	71.5	64.9	56.7	51.6	61	58
슬라브 180 mm	72.2	68.4	60.2	53.7	51.3	58	

중량 바닥충격음 레벨[dB]

주파수[Hz] / 측정위치	63	125	250	500	단일수치 평가량 Li, Fmax, AW	법 기준
슬라브 150 mm	78.3	67.5	60.2	56.6	54	50
슬라브 180 mm	73.4	69.5	59.5	45.1	52	



(a) 경량규준화 바닥충격음 레벨

(b) 중량 바닥충격음 레벨

〈그림 15〉 스마트 플로어 시스템 바닥충격음 차단성능 평가결과

〈표 8〉 바닥충격음 측정 및 평가결과(역A단일수치평가량)

구분	슬라브 두께	습식온돌	스마트 플로어 시스템			
			Type1(룸류)	Type1(온돌마루)	Type3	Type4
경량규준화충격음	150mm	61	39	41	48	-
	180mm	58	36	37	-	38
중량충격음	150mm	54	49	49	48	-
	180mm	52	46	46	-	46

세대는 습식온돌시스템이 대한주택공사 표준시방에 따라 설치되었고, 다른 세대에는 스마트 플로어 시스템이 설치되었다. 열특성 실험의 주요 내용은, 실내온도를 24℃로 일정하게 유지하는 조건에서 1) 60℃의 동일 온수를 습식온돌과 개발시스템에 공급할 경우, 2) 보일러의 최저 난방설정온도로 온수를 공급할 경우, 3) 습식온돌시스템이 설치된 세대는 60℃로 공급하고 개발시스템이 설치된 세대는 최저 설정온도로 공급하는 실험으로 이루어졌다.

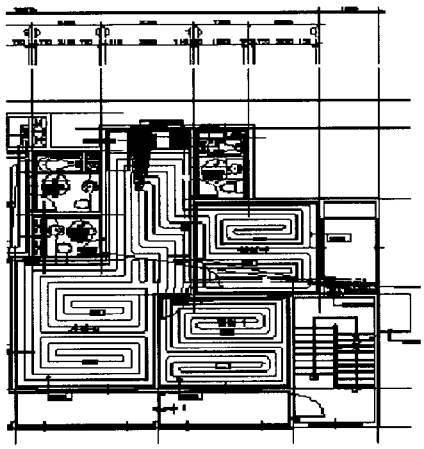
그림 17은 두 세대의 공급온수온도 변화를 나타낸다. 분석기간은 총 90시간 정도이며, 실험기간 중 실내온도는 23℃로 설정하고 임의의 조작 없이 on-off 제어가 유지하도록 하였다.

그림 17(a)는 습식온돌과 개발시스템 모두 동일

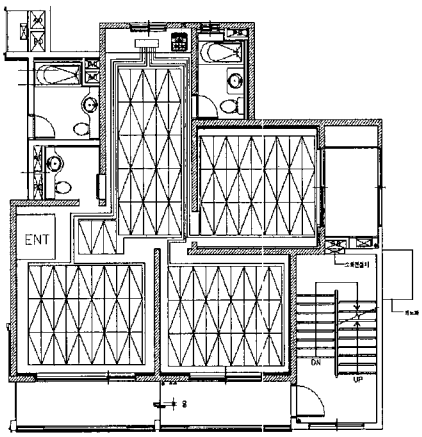
한 60℃의 온수공급 설정조건에서 실내측 온수분배기의 공급온도를 나타낸다. 습식온돌과 개발시스템에 공급되는 온수온도는 60℃ 내외로 거의 유사하게 나타났다. 일일중 일몰과 함께 외기온이 하강하여 실온이 설정온도 보다 낮아짐으로서 보일러가 가동되는 17시를 중심으로 두 세대의 공급온수 변동패턴을 살펴보면, 습식온돌은 보일러 가동 후 약 60분 이상 지속적으로 온수공급이 발생하는 것으로 나타났고, 개발시스템은 20분 내외에서 짧고 연속적인 공급이 이루어지는 것으로 나타났다. 전체적으로 개발시스템은 짧은 시간동안 온수공급이 이루어지고 가동 회수는 약 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

그림 17(b)는 공급온도를 습식온돌의 경우 60℃로 설정하고, 개발시스템은 45℃로 낮추어 저온난방으로 설정한 경우로서 전체적으로 습식온돌의 변동패턴은 a)와 유사하나, 공급온도를 15K 낮춘 개발시스템은 a)에 비해 일일 약 1회 정도 공급주기가 증가하는 것으로 나타났다.

그림 18은 실내온도 변화를 나타낸 것으로 분석대상 기간 중 일평균 실내온도는 23℃±0.4℃로 거

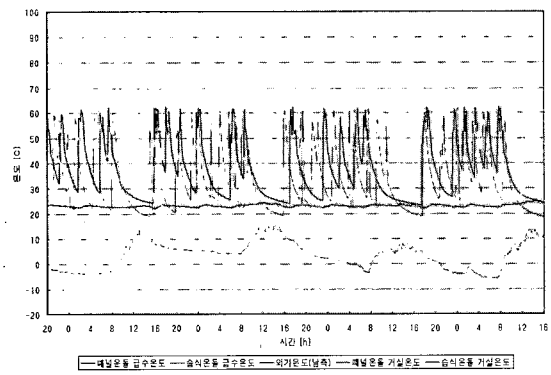


(a) 습식온돌 배관도

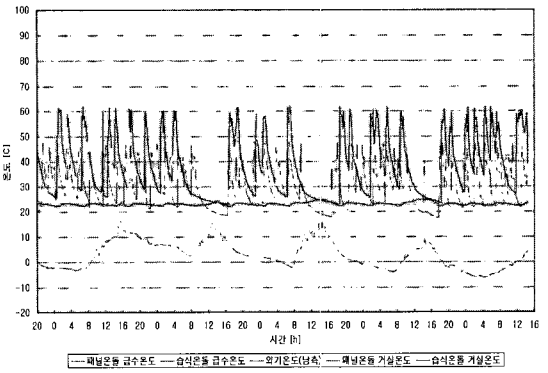


(b) 모듈화 패널 배치도

[그림 16] 스마트 플로어 시스템 현장 열성능 평가

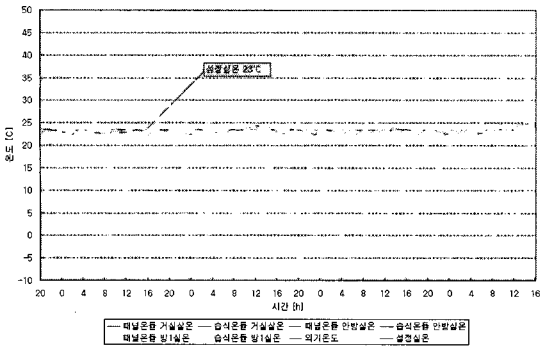


(a) 온수온도: 습식(60℃), 스마트(60℃)

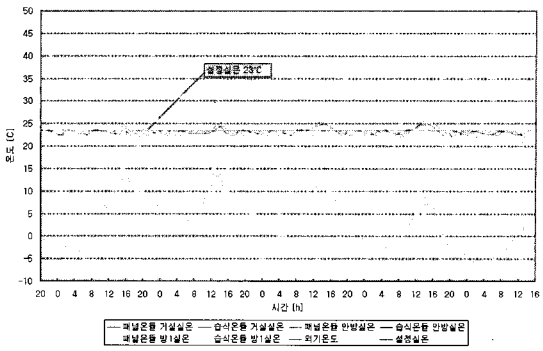


(b) 온수온도: 습식(60℃), 스마트(45℃)

[그림 17] 공급온수온도 변화



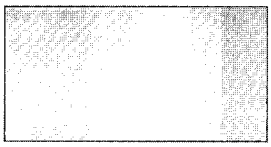
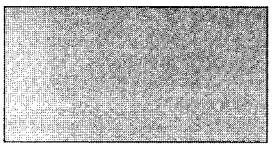
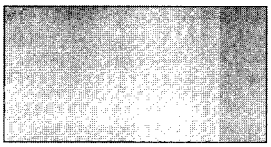
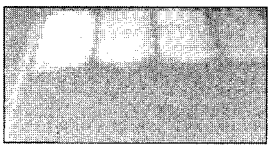
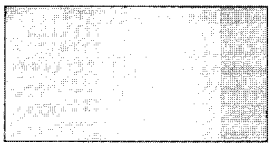
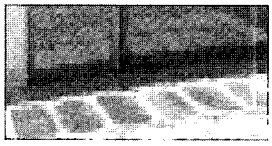
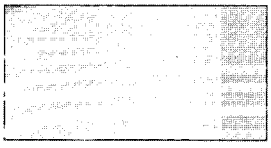
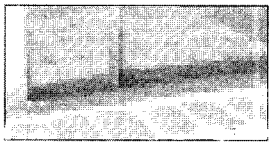
(a) 온수온도: 습식(60℃), 스마트(60℃)



(b) 온수온도: 습식(60℃), 스마트(45℃)

[그림 18] 실내온도 변화

<표 9> 적외선 열화상 촬영에 의한 바닥표면온도 분포특성

구분	습식온돌시스템	스마트 플로어 시스템
급수 공급전y		
공급 후 10분 경과		
공급 후 30분 경과		
공급 후 40분 경과		
공급 후 60분 경과		

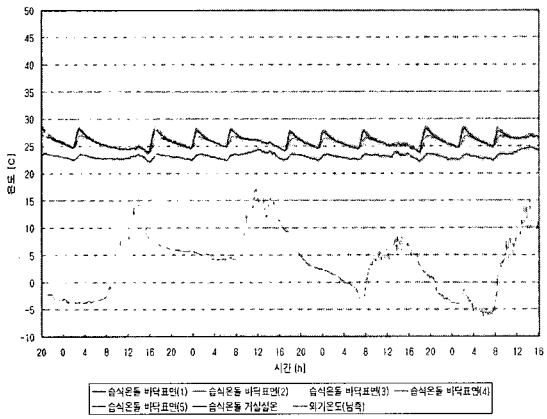
의 동일하게 나타났으며, b)에 나타난 바와 같이 저온난방이 이루어진 조건에서도 일평균 실온은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

그림 19는 60℃ 동일 공급조건에서 거실의 바닥표면 5지점에 대한 온도변화를 나타낸다. 그림 a)의 습식온돌시스템은 일평균 바닥표면온도가 25.7℃로

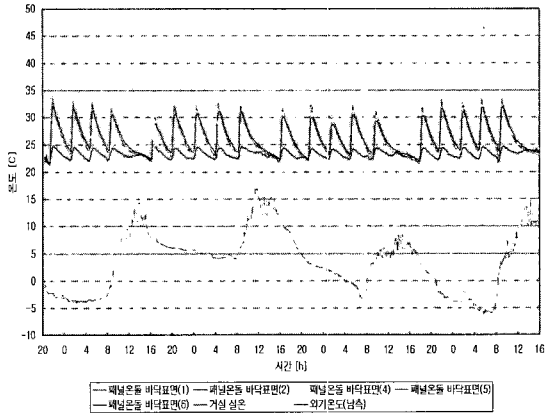
나타났고 변동범위는 23.8℃~27.1℃로 나타났다. b)의 스마트 플로어 시스템은 21.4℃~33.2℃의 변동범위와 일평균 26.3℃를 보였다.

그림 20의 a)와 b)는 습식온돌을 60℃로 공급하고, 스마트 플로어 시스템시스템은 45℃로 공급하였을 경우에 바닥표면온도 변화를 나타낸다. 전체적으로 습식온돌은 앞의 **그림 11**과 유사하나 공급온도가 15 K 낮아진 IHCS 온돌시스템은 **그림 11**의 b)에 비하여 최대 상승온도가 2~3 K 정도 낮아져 변동범위가 줄어들고, 온도상승과 하강 주기가 일일 6회 정도 발생함으로서 60℃에 비하여 1회 정도 증가하는 것으로 나타났다.

그림 21은 온수공급온도 60℃ 조건에서 습식온돌과 스마트 플로어 시스템의 바닥표면 상부 방열량 변화를 나타낸다. 두 세대에서 일평균 상부방열량은 각각 0.03 kJ/m²sec로 거의 동일한 값을 보였으나 변동 패턴에 있어서는 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 습식온돌은 온돌 구조체의 축열 등에 기인하여 완만한

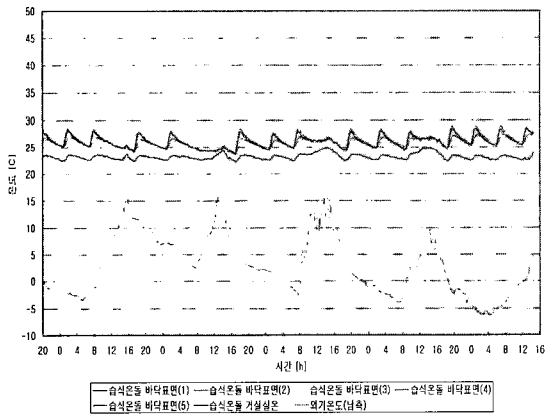


(a) 습식온돌시스템: 습식(온수온도 60℃)

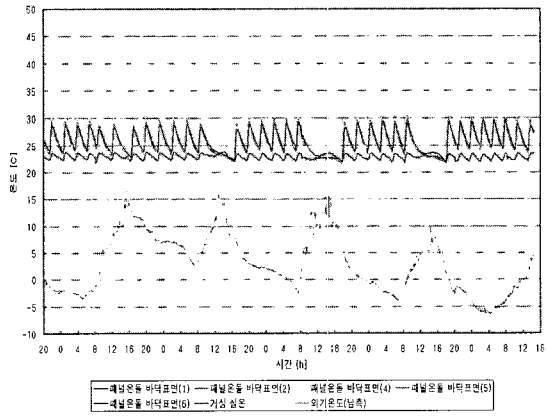


(b) 스마트 플로어 시스템: (온수온도 60℃)

[그림 19] 바닥표면 온도변화(1)

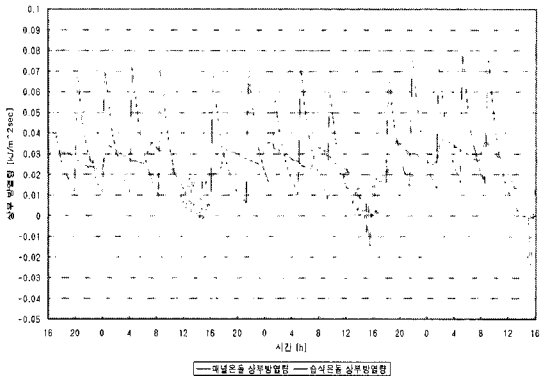


(a) 습식온돌시스템: 습식(온수온도 60℃)

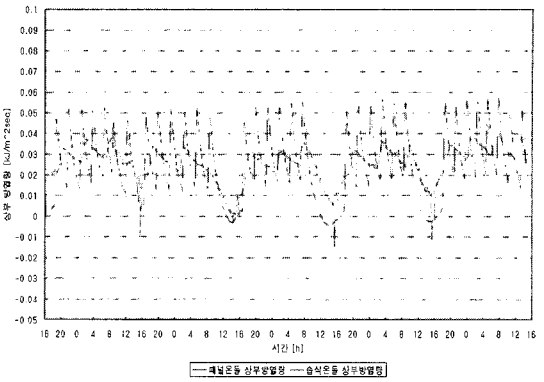


(b) 스마트 플로어 시스템: (온수온도 60℃)

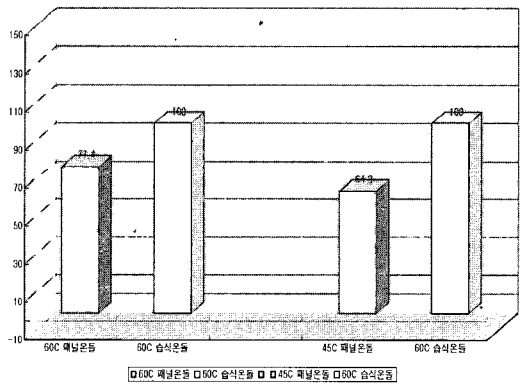
[그림 20] 바닥표면 온도변화(2)



[그림 21] 바닥표면 상부 방열량 변화 (온수온도 60℃)



[그림 22] 바닥표면 상부 방열량 변화(온수온도: 습식(60℃), 스마트(45℃)



[그림 23] 에너지 절감비율

상승곡선을 보이고 있으며, 방열량의 최대 상승값이 0.035 kJ/m²sec 내외로 낮게 나타났고 온수중단 후 최대 하강값은 0.023 kJ/m²sec 내외를 보이고 있다. 스마트 플로어 시스템은 최대 상부 방열량이 0.07 kJ/m²sec 내외로 높게 나타났고, 온수중단 이후에는 습식온돌에 비해 상대적으로 급격히 감소하여 0.01 kJ/m²sec 까지 방열량이 감소하는 것으로 나타났다.

그림 22는 동일한 외기조건에서 습식온돌은 60℃로 공급하고 스마트 플로어 돌시스템은 45℃로 공급하였을 경우, 상부 방열량의 변화를 나타낸다. 일평균 상부 방열량은 두 세대 모두 0.03 kJ/m²sec로 나타나 일 평균의 변화는 발생하지 않았다.

습식온돌의 경우에는 **그림 21**과 유사한 변동 패턴을 보였으며, 45℃의 공급조건에서 스마트 플로어 시스템은 **그림 21**의 60℃ 조건에 비하여 최대 상부 방열량의 값이 0.02 kJ/m²sec 정도 감소한 0.05 kJ/m²sec 내외를 보였고, 상대적으로 온수 공급과 중단의 주기가 일일 약 1회 정도 증가하였음을 확인할 수 있다.

그림 23은 온돌시스템에 따른 에너지소비 특성과 저온난방에 따른 에너지소비 특성을 파악하기 위하여 보일러의 연료 소비량을 일일 2회, 각각 15일간 총 30일 측정한 결과를 나타낸다. 60℃의 동일 공급온도와 23℃의 동일 실온을 유지하는 조건에서 스마트 플로어 시스템은 습식온돌에 비해 약 22% 작은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 동일 실온을 유지하는 조건에서 보일러의 공급온도를 습식온돌은 60℃로 설정하고, 스마트 플로어 시스템은 45℃로 15K 낮게 설정하여 난방한 경우, 스마트 플로어 시스템이 적용된 세대의 에너지 소비량은 습식온돌 세대에 비하여 약 35% 까지 낮게 나타났다.