

지열원 저온 복사난방의 적용을 위한 해석적 고찰

조정식* · 손병후* · 임성균** · 백성권**

*한국건설기술연구원 설비플랜트연구실, **코오롱건설(주) 기술연구소

1. 지열원 저온 복사난방시스템의 개요

일부 선진국에서는 지열이용에 대한 신뢰성이나 안전성, 경제성 및 청정에너지로서 대체에너지 자원에서 지열원을 이용한 열펌프시스템은 주거용 건물을 비롯하여 건물에 다양하게 적용되고 있다. 미국과 일본, 유럽국가에서는 지열에너지를 이용한 열펌프시스템의 보급이 활발하게 진행되고 있다.

미국 등에서는 지중 수조방식, 지중 수평코일방식, 그리고 지중 수직코일방식 등 지열을 이용한 열펌프시스템이 일반주택을 중심으로 설치되어 냉난방시스템 및 항온·항습용의 보조에너지 개념으로 널리 이용되고 있다. 또한, 지열원 열펌프시스템을 활용하는 저온 복사난방시스템의 경우, 우리의 온돌시스템과 그 구조가 유사한 바닥난방시스템에 대한 연구가 독일, 미국, 일본 및 북유럽 국가를 중심으로 지속적으로 추진되어 왔다. 최근 이들 국가에서는 바닥난방시스템이 쾌적한 실내 환경을 조성하는데 유리하고, 에너지절약과 효율적인 난방방식이라는 평가와 위생적인 측면에서도 바람직하다는 연구결과에 따라 그 적용범위와 보급이 확대되는 추세이다.

기존 난방패널의 방열방식의 개선으로 에너지 효율화를 도모하는 것으로 건축물이 필요로 하는 난방부하에 대하여 종래의 난방방식은 온수공급

온도에 의한 제어만이 가능하였으나, 제안되는 시스템은 열량제어에 의한 방법으로 방열효율을 극대화한 패널을 이용함으로써 공간이 필요로 하는 난방열량을 기존에 비해 상대적으로 낮은 온수로 가능하게 하는 시스템이다.

제안 시스템은 지열에너지를 비롯한 대체에너지 시스템의 이용이 가능한 최적 시스템으로서 활용될 수 있다. 즉, 지열에너지에 의한 생산열원은 대체적으로 50℃ 전후의 저온수로서 기존 난방시스템의 열원으로 활용하기 위해서는 약 70℃ 이상으로 온도를 높여야 하며 추가 열원이 필요하다.

그러나, 본 저온복사난방시스템의 적용 시 50℃ 정도의 온수로 기존의 복사난방패널과 비슷한 표면온도의 유지 및 방열이 가능할 것으로 예상된다.

저온 복사난방시스템의 기본개념은 바닥난방시스템이 요구하는 바닥온도 및 요구 방열량을 기존 시스템과 대비하여 동등 이상의 성능을 제공하는 것을 전제로 하되, 공급되는 열원의 온도를 기존 보다 15℃ ~ 20℃ 낮출 수 있는 시스템을 말한다. 이를 위해서는 높은 방열능력을 가진 열교환패널이 필요하며, 이는 기존의 연구에서 제시한 저온복사 난방용 패널을 이용하는 것으로 가능하다. 이러한 패널은 기존 복사난방 패널 중에서 가장 방열량이 큰 습식 온돌시스템의 최대 2배의 방열량을 가짐으로서 저온 복사난방이 가능한 장점을 가지고 있다.

2. 저온 복사난방의 온수순환 개념

기존의 배관방식은 바닥난방의 경우, 실내온도의 조건에 따라 배관과 주변의 모르타르 사이에 열교환을 통하여 방열이 이루어지며, 이때 모르타르층에 전열된 열은 상부와 하부 그리고 측면으로 각각 전열되는 특성을 지닌다.

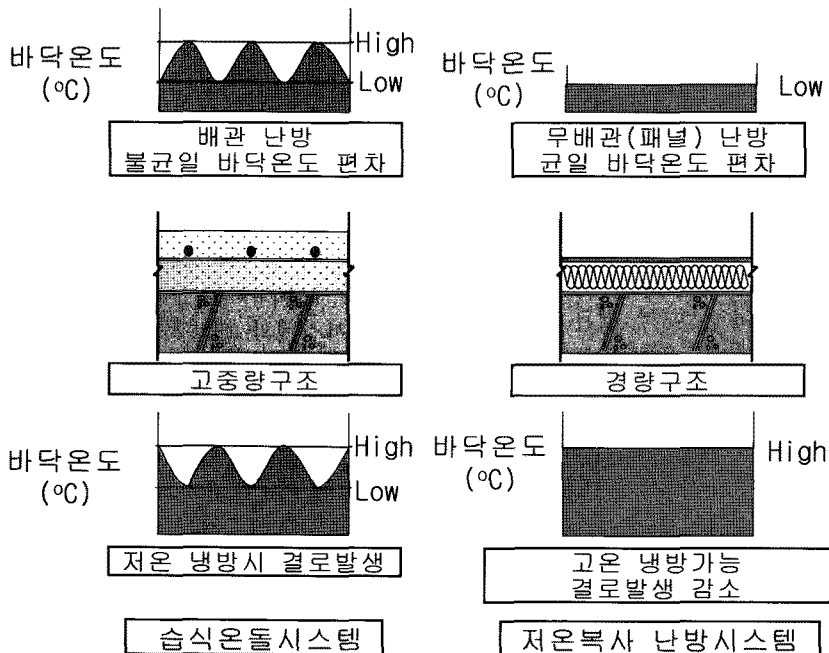
그러나, 본 연구에서 제안하는 시스템은 패널전면이 방열면이 되고, 패널의 하부에는 기존의 배관방식 보다도 단열성능이 강화된 단열재층을 구성함으로써 전체적으로 실내로의 방열효율 또는 방열능력이 향상된다. 또한, 저온 복사난방시스템은 기존 배관방식에 비하여 열교환면적을 물리적으로 증가시키고, 특히 측면과 하부 구조체로의 전열 및 축열량이 상대적으로 감소함으로써 동일한 운전조건에서 실내로의 방열량이 증가하게 된다.

그림 1은 기존 습식온돌시스템과 저온 복사난방시스템 개념도를 나타내었다. 저온 복사난방시스템은 균일한 바닥표면온도를 구현할 수 있으며,

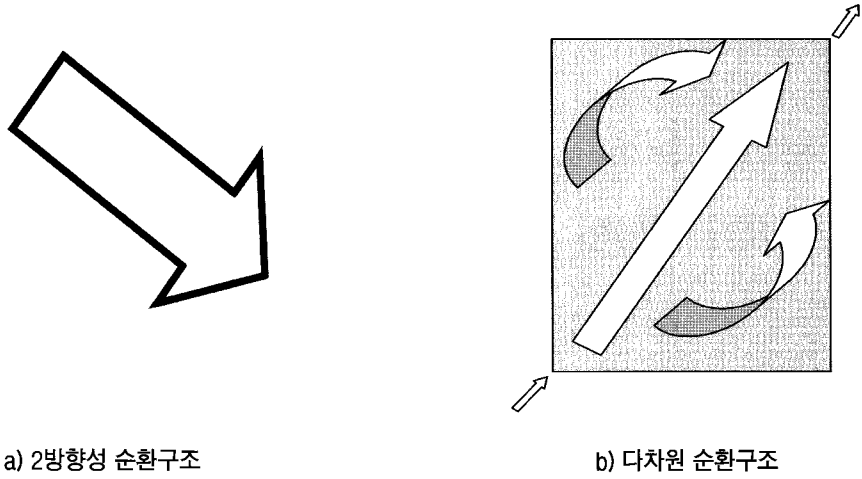
경량구조의 장점을 지니고 있다.

전술한 바와 같이 제안하는 저온 난방시스템은 기존의 배관방식에 비하여 상대적으로 낮은 온수온도로 동등 이상의 난방능력을 확보할 수 있는 장점을 지닌다. 건물의 냉난방에 있어서 사용되고 있지 않거나 버려지고 있는 건물 주변의 저온 열원의 합리적 이용을 증진시키며, 이를 통하여 에너지 절약 및 지속가능한 에너지 이용에 기여하고자 함을 목적으로 진행된다.

현재, 국제에너지기구(IEA)의 ECBCS의 Annex 37사업으로 유럽 국가를 중심으로 진행 중에 있으며, 기존 고위열원(전기, 석유, 가스 등)을 대체할 수 있는 저온 열원의 활용방안 모색을 통한 에너지 및 지구환경부하의 저감에 기여할 수 있고, 저온난방 및 고온냉방을 통한 로엑서지(Low exergy)시스템의 개발 및 평가기술 개발과 케이스 스터디(Case study)를 통한 로엑서지(Low exergy)시스템의 타당성 입증 및 개발 기술의 보급을 위한 디자인 툴의 개발이 이루어지



[그림 1] 기존 습식온돌시스템과 저온 복사난방시스템 개념도



[그림 2] 저온 복사난방시스템 유니트의 구조 및 온수순환개념

고 있다.

저온 복사난방시스템의 경우에는 패널 전면이 균일한 온도장을 형성함으로써 거주자는 필요로 하는 쾌적 온도에 근접한 온도를 기준으로 난방을 할 수 있다. 따라서 저온 복사에 의한 난방시스템은 제어측면에서 보다 효율적인 난방운전이 가능하게 된다.

그림 2는 저온 복사난방시스템 유니트의 온수순환 개념도를 나타내고 있다. 그림 2에서 a)는 길이방향 또는 너비방향으로 지그재그 형상의 경로를 지니는 2방향성 순환구조를 나타내고 있으며, b)는 유니트의 인입구를 통해 패널 전체로 순환하는 다차원 흐름현상을 지니는 온수 순환구조를 보여주고 있다.

3. 저온 복사난방시스템의 해석

복사난방시스템은 주로 패널난방공법으로 연구·개발되었으며, 구성재료에 대한 물성치와 각각의 요구 성능에 대한 기초 데이터 부문은 상당한 기술수준은 확보하고 있으며, ASHRAE에서는 바닥난방시스템에 대한 설계지침을 마련해 놓고 있고, 이에 따른 설계 데이터 및 설계용 도표를

제시하여 설계자가 이를 이용할 수 있도록 고려하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 지열에너지를 이용한 저온 복사난방시스템의 적용성을 위해서 바닥난방을 위한 공급온도의 변화에 따른 난방효과를 수치해석적 시뮬레이션을 통해 그 적용의 타당성을 고찰하여 보고자 한다.

3.1 해석 프로그램

저온 복사 난방시스템의 최적 모델을 설정하기 위한 수치해석은 표 1과 같은 프로그램을 사용할 수 있으나, 여기서는 SCRYU/Tetra(V.5.0 Software Cradle Co. Ltd.)를 사용하였으며, 프로그램의 구성은 Pre-process로서 그림 3과 같이 26만여 개의 메쉬로 구분하였고, Solver-process로서 FVM(Finite Volume Method)을 이용하여 해석하였으며, Post-process로서 해석된 자료를 도식화가 가능하도록 하였다.

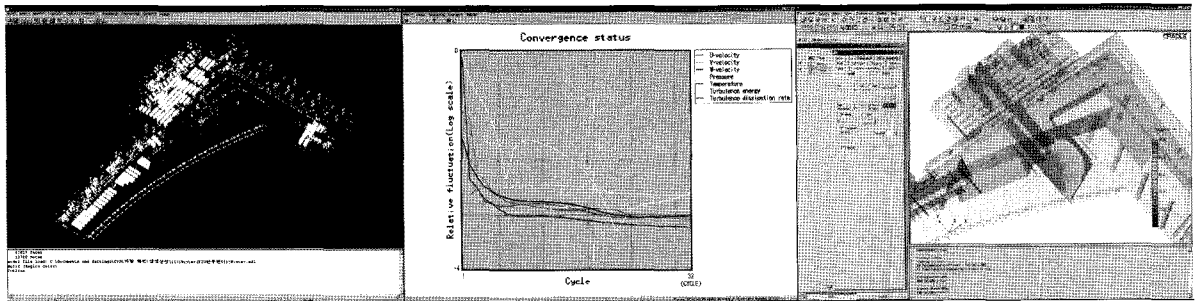
3.2 해석개요 및 조건

저온 복사난방시스템의 온수 공급온도의 변화에 따라 난방배관의 최적 이격거리를 산출하기 위해

<표 1> 해석 프로그램 목록

프로그램	개발회사(기관)	국 가	방 법
ARIA	Abacus	영국	FV
ASTEC	Harwell	영국	FV
CALC-BFC	Chalmers	스웨덴	FV
CHAMPION	TUD	네델란드	FV
EXACT3	NIST	미국	FV
FEAT	-	영국	FE
FIRE	AVL	호주	FV
FLOVENT	FLOMERICS	영국	FV
FLOW-3D	Harwell	영국	FV
FLUENT	Fluent, Inc.	미국	FV
PHOENICS	CHAM	영국	FV
SCRJU/Tetra	CRADLE	일본	FV
SIMULAR AIR	AVL	호주	FV
STAR-CD	CD	영국	FV
TEACH-3D	Aalborg	덴마크	FV
TEMPEST	Battelle	미국	FV

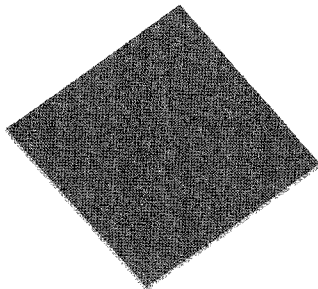
* FV = finite volume, FE = finite element



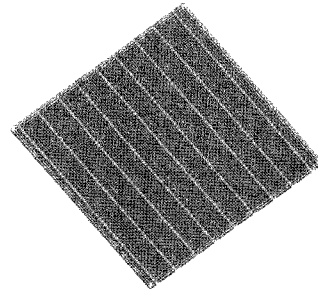
① Pre process

② Solver process

③ Post process



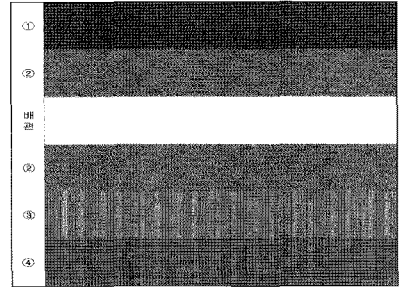
Front Side View



Back Side View

[그림 3] 해석 프로그램의 구성

바닥의 구조 및 특성				
①	실온	20℃		
①	타일	12 mm	1256.04J/kg · K	1.30W/m · K
②	몰탈	50 mm	780.00J/kg · K	0.72W/m · K
③	보온재	40 mm	926.96J/kg · K	0.04W/m · K
④	콘크리트	210 mm	879.23J/kg · K	1.40W/m · K
⑤	하부	Adiabatic		



[그림 4] 바닥 구조체의 구성 및 열특성 조건

서 바닥표면의 온도를 해석하는 것으로 해석조건을 잡았다.

즉, 실 온열환경의 분석기준으로 바닥 마감재에 따른 바닥표면 온도의 정상상태(32℃)에 도달시간 기준으로 설정하고, 바닥 구조체의 구성조건을 그림 4와 같이 하부에는 단열상태로 가정하고, 콘크리트, 보온재, 몰탈 그리고 난방코일, 타일의 조건으로 구성되며 그 특성을 보여주고 있다.

우선, 복사 난방시스템의 난방배관에 공급되는 온수온도를 50 ~ 60℃로 분류하고, 배관의 이격거리를 200 ~ 250 mm로 변화시켜 가면서 이에 따른 최적 배관의 이격거리의 산출을 위해 6가지의 경우로 구분하였고, 배관의 이격거리는 현재 주로 난방배관으로 사용되는 15 mm의 시공조건을 위해서 최저 200 mm로 하였다.(표 2 참조)

<표 2> 온수 공급온도 및 배관 이격거리의 분석조건

구분	배관 이격거리 (mm)	온수 공급온도(?)	비고
Case_1	250	60	-
Case_2	230	60	
Case_3	230	55	
Case_4	230	50	
Case_5	200	55	-
Case_6	200	50	

3.3 해석결과 및 고찰

상기의 조건에 따라 6가지의 경우에 대해서, 같은 구조조건에 따라 난방가동시간을 30분, 60분 그리고 90분이 지나는 동안 바닥표면의 온도분포를 해석한 결과를 그림 5에 도식적으로 표시하였으며, 이를 하나의 그래프로 그림 6에, 보여주고 있다. 또한, 표 3에는 시간변화에 따른 바닥표면 온도변화를 나타내고 있다.

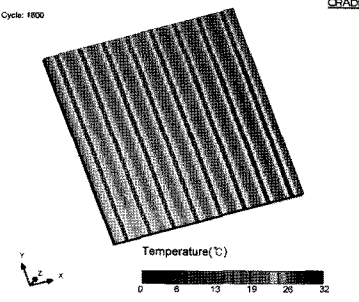
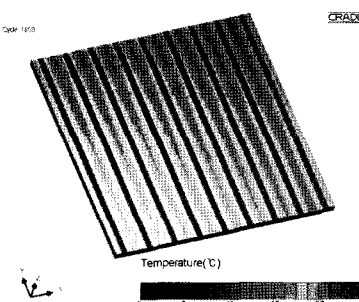
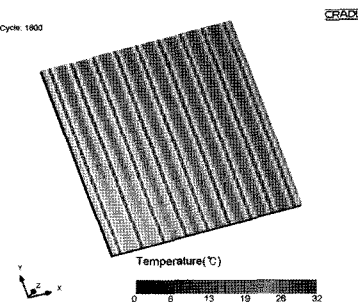
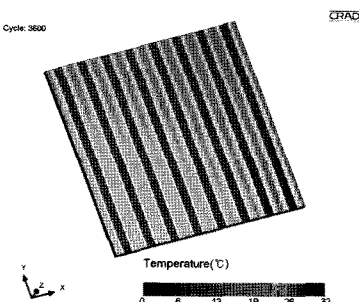
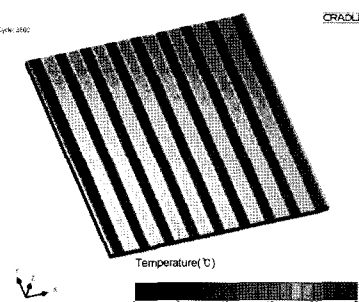
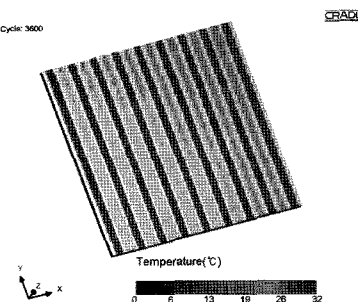
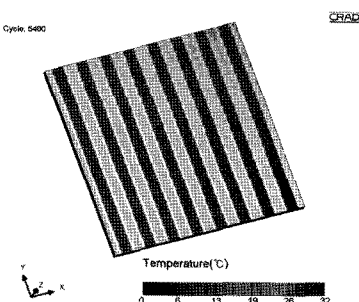
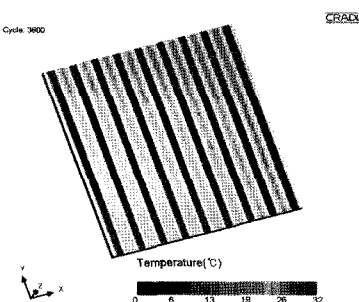
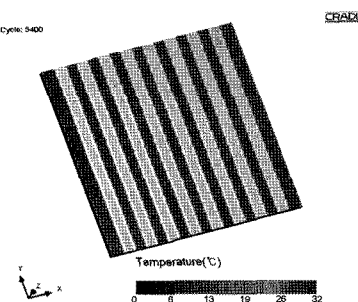
4. 결론

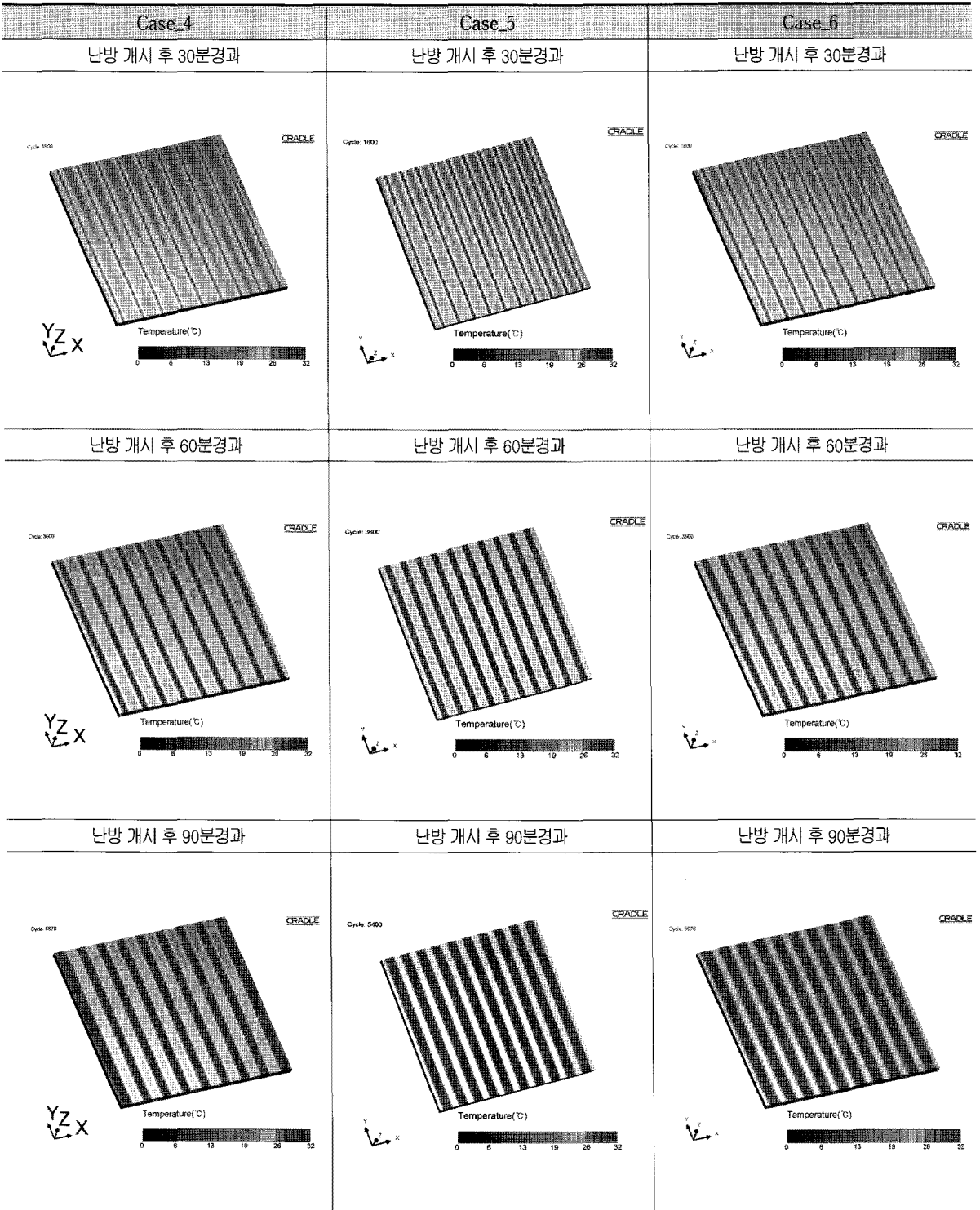
기존 복사난방시스템의 난방배관의 입구온도는 개별난방인 경우는 60 ~ 50℃, 중앙난방인 경우는 70 ~ 60℃, 그리고 지역난방인 경우는 60 ~ 45℃ 정도로 공급하고 있으며, 바닥면 평균 표면온도는 31.5 ~ 32℃, 실내 거주온도(1.5 m 높이)는 20 ~ 22℃ 정도로서, 일반적으로 난방유량은 3 ~ 5 lpm, 환수온도로서 입구온도와의 편차는 5 ~ 10℃로 되고 있다. 또한, 바닥 난방배관의 이격거리는 230 ~ 250 mm(주택공사의 시공기준) 정도로서 이러한 조건을 고려하여 온수공급온도와 배관 이격거리를 변화시켜 해석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 저온 복사난방시스템의 공급온도조건은 열 펌프의 제작조건 등을 고려하여 55℃로 설

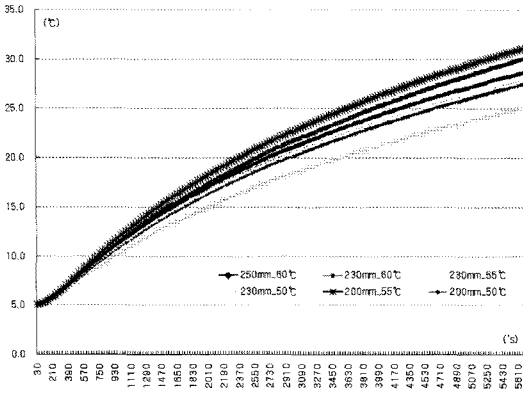
특집

지열발전 및 지열에너지 이용기술 및 적용사례

Case_1	Case_2	Case_3
<p>난방 개시 후 30분경과</p> 	<p>난방 개시 후 30분경과</p> 	<p>난방 개시 후 30분경과</p> 
<p>난방 개시 후 60분경과</p> 	<p>난방 개시 후 60분경과</p> 	<p>난방 개시 후 60분경과</p> 
<p>난방 개시 후 90분경과</p> 	<p>난방 개시 후 90분경과</p> 	<p>난방 개시 후 90분경과</p> 



[그림 5] 해석에 따른 바닥표면의 온도분포



[그림 6] 바닥표면의 정상온도 도달시간

정하였으며, 배관의 이격조건 등을 고려할 때 바닥 난방시스템의 조건으로는 타당한 것으로 확인되었다.

- (2) 난방배관의 간격을 변화시켜 방열면적의 확대를 통한 난방효율의 극대화를 위한 해석 결과, 최적의 조건으로 배관의 이격거리를 200 mm로 하였으며, 이는 기존의 15 mm 배관재로서 시공이 가능한 최저거리이기도 하다.
- (3) 이는 온수공급온도를 50°C, 배관의 이격거리를 230 mm(case_4)로 한 경우보다 최소 15% 정도의 성능향상 효과를 보여주고 있다.

후 기

본 연구는 신재생에너지 기술개발사업으로 지식경제부, 한국에너지기술평가원 및 코오롱건설(주)의 지원으로 수행되었음을 밝힌다.

<표 3> 시간변화에 따른 바닥표면 온도분포

구분	바닥 평균온도(°C)			비고
	30분	60분	90분	
Case_1	15.6	22.3	27.0	-
Case_2	16.2	23.8	29.3	-
Case_3	15.7	22.5	27.3	-
Case_4	14.1	20.1	24.5	-
Case_5	17.2	25.0	30.4	-
Case_6	16.0	23.1	28.0	-

* 바닥 평균온도

인용문헌

1. 한국건설기술연구원, 공동주택 바닥난방시스템의 성능 개선 연구, 연구보고서, 1996.
2. 한국동력자원연구소, 아파트 난방시스템의 효율개선에 관한 연구, 연구보고서, 1990. 12.
3. 成田修司 外, 蓄熱床暖房に關する研究, 日本建築學會大會 學術講演梗概集(東北), 1991. 9
4. Lund, J. W. and Freeston, D. H., 2001, World-wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, Vol. 30, pp. 29-68.
5. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J., and An, H. J., 2004, Cooling and heating performance evaluation of a ground source heat pump. Proceedings of the KSME 2004 Spring Annual Meeting, pp. 2117-2122.
6. An, H. J., Baek, S. K., Shin, H. J., and Cho, C. S., 2003, Study on heat exchanger performance of ground heat exchanger, Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 176-181.