이중 바닥 온돌 시스템의 응용에 관한 이론적 분석

최 원 기, 이 강 영*, 이 현 근*, 서 승 직**†
베스텍, *인하대학교 대학원 건축학부, **인하대학교 건축학부

Theoretical Analysis on the Applications of the Double-Floor Ondol System

Won-Ki Choi, Kang-Young Lee*, Hyun-Geun Lee*, Seung-Jik Suh†**
BESTech., 2S 428B, Inha University, Incheon 402-751, Korea
**Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea*
***Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

(Received December 15, 2006; revision received February 20, 2007)

ABSTRACT: The Korean traditional 'Ondol' system has been a target for innovation to meet the requirements of sustainable domestic building and low carbon emission energy utilization. Simulation techniques provide designers and researchers with powerful tools to predict heating load and thermal behaviour of Ondol systems installed in various contexts. However, there are few studies on Ondol models, especially associated with multi-stories buildings of which type covers about 50% of Korean housing stock. In this study, we analyzed the double floor Ondol system on the multi-stories buildings using the ESP-r program. On the basis of the double floor Ondol system, we suggested the new modelling method that is composed of the Vent zone and Ondol zone. Using the this model, sensitivity analysis was carried out to refine the applicability of the model taking account of control conditions, constructions, air change and air flow network method and CFD analysis using the FLUENT. The air layer has enough temperature to use in heating zone. It is suggested that the simplicity of the model will allow building designers and mechanical engineers easily to implement scenario-based assessments of design options as well as control strategies. Later, we will simulate the real buildings and analyze the air distributions using the Fluent according to the various conditions.

Key words: Double floor ondol system(이중 바닥 온돌 시스템), Multi-stories buildings(다층 공동주택), Vent zone(벤트 존), CFD analysis(CFD 분석), Sensitivity analysis(민감도 분석)

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 전통적으로 온돌이라는 바닥 복사 난방 방식을 채택하고 있으며, 주거용 건물 가운데 아파트(다층형 공동 주택)가 차지하는 비율은 전체 주거의 약 50%에 이르고 있다.[1] 이러한 공동주택과 관련하여 건물의 수명을 늘리고(오픈 하우징), 건축 폐기물을 친환경적으로 관리하며, 에너지 절약형 시스템 개발을 위해 전통적인 습식 온돌을 개선한 새로운 온돌 시스템과 운전 방식에 대한 개발과 연구가 활발히 진행되어왔다.[2-8]

그리고 개선된 온돌 시스템 가운데 내부에 공

† Corresponding author
Tel.: +82-32-860-7590; fax: +82-32-866-4624
E-mail address: energeti@inha.ac.kr

기층을 갖는 이중 바닥 모델을 선정하고, 이에 관한 간단한 기초 연구를 선행하여 수행하였다.[2,9] 특히 본 연구에서는 난방 운전 중 하부로 전달되는 열량을 이중 바닥의 공기층을 통해 재이용하는 방안에 중점을 두고, 이를 ESP-r의 온돌 모델링 기법을 이용하여 시뮬레이션 분석을 수행하였으며, 이 결과를 토대로 하여 기초적인 CFD 분석을 통해 그 가능성을 검증하고자 하였다.

한편 Shin et al.(2002)의 연구에서 제시한 공동주택의 개별난방 방식의 경우, 온돌의 구조에 따라 아래층으로의 전달 열량이 20%를 초과하는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구는 이러한 아래층으로 이동되는 약 20% 이상의 열량을 난방에너지로 재이용할 수 있는 방안을 제시할 수 있을 뿐만 아니라, 이를 통해 세대별 난방 에너지 절감효과 또한 기대할 수 있을 것으로 판단된다.[7]

그러나 본 연구는 아직까지 가능성 검증을 위한 기초 단계로 이중 바닥 구조를 갖는 건식 온돌의 활용 방안에 대한 이론적 분석에 초점을 맞춘 것이므로 실제 공동주택 모델을 이용한 것은 아니며, 단순 모델을 정립한 후 연구를 진행하였다. 그리고 이러한 이중 바닥 구조의 모델링은 열원이 되는 온돌 존과 공기층을 각각의 존으로 구성하고, 이러한 모델링 기법의 검증 및 간단한 다층 모델을 만들어 중간층 세대의 영향을 중심으로 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 결과의 검증을 위해 ESP-r 시뮬레이션 분석을 통해 얻어진 각 표면 및 내부 온도를 경계조건으로 한 간단한 CFD 분석을 병행하였다.

이러한 연구는 우리나라의 온돌난방방식을 한층 발전시켜 나갈 수 있는 새로운 대안을 제시할 수 있을 뿐만 아니라, 겨울철 세대별 난방 에너지 소비 절감과 공기 배출구의 위치에 따른 창가의 콜드 드래프트 현상도 어느 정도 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2. 이중 바닥 온돌 시스템

이중 바닥 온돌 시스템은 가변형(Infill) 개념의 이중바닥구조와 면발열 방식의 모듈화 패널 온수순환시스템으로 구성된다.[2]

모듈화 패널방식의 온수순환시스템은, 현행 온돌시스템의 온수 순환용 매설배관을 대체하여 모듈화 · 유닛화 된 패널면 전면에 온수가 순환하도록 함으로써 바닥, 벽체, 천장에 설치가 가능한 패널 전면(全面)이 온수순환의 기능과 방열면의 역할을 수행할 수 있는 가변형 방식의 온돌시스템이다. 그리고 오픈하우징을 위한 Free Plan 설계기술과 연계하여 공간의 가변성을 수용할 수 있으며, 바닥 시스템 내부에 접근이 가능한 Access Type, 그리고 에너지 성능, 바닥 충격음 차단성능 등 최근 의무화 기준과 거주자의 요구 성능(정보화 시스템 대응, 수납공간의 확보 등)을 만족시킬 수 있는 구조로서 이중 바닥구조를 적용하였다.

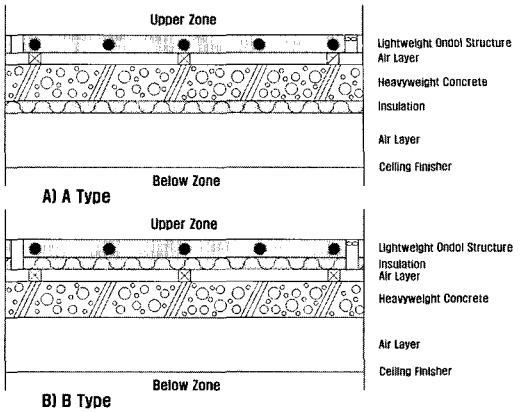

Fig. 1 Schematic of the A and B-type.

그러나 본 연구에서는 이러한 이중 바닥 온돌 시스템을 변형시켜 Fig. 1의 A-type과 B-type의 두 유형으로 구분하였으며, 이는 단열재의 위치에 따른 성능 평가를 수행하기 위함이다. 즉, A-type은 발열면과 콘크리트 슬래브 하부에 단열재를 위치시킨 것이며, B-type은 발열면과 콘크리트 슬래브 사이의 공기층 상부에 단열재를 위치시킨 것이다.

먼저 ESP-r을 이용한 시뮬레이션 분석을 수행하기 위하여 본 논문에서는 '온돌 조닝 모델링 기법'을 이용하였다.[10] 이 방법은 단층 모델을 대상으로 온돌 구조의 발열면을 하나의 존으로 구성한 후, 이 존과 실내 존의 동시 제어를 한다. 특히 온돌 조닝 모델링 기법은 본 연구에서 분석대상으로 삼은 면발열을 갖는 이중 바닥 온돌 시스템의 경우에는 발열면 표면 온도가 동일하다고 가정할 수 있으므로 보다 정확한 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있다.

한편, 온수 파이프가 매설되는 습식 온돌 구조

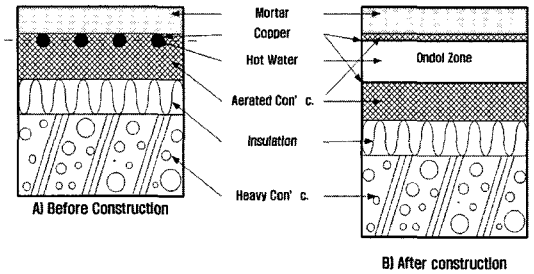

Fig. 2 Schematic of the Ondol zoning modelling method.

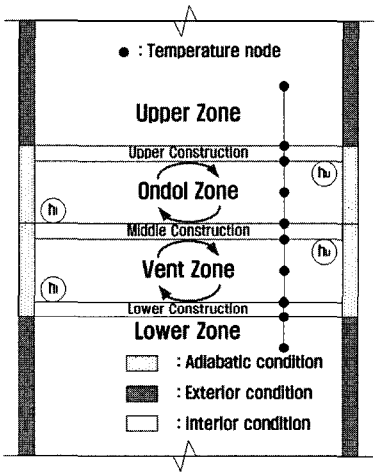

Fig. 3 Vent zone model, boundary conditions and temperature node.

의 경우, Fig. 2와 같이 기존의 온돌 구조를 열원을 중심으로 분리한 다음 그 사이에 면발열을 갖는 온돌 존을 삽입한 형태를 띠고 있다.

그러나 본 연구에서는 이러한 온돌 존 하부에 공기 순환이 이루어지는 'Vent zone'이 하나 더 존재하기 때문에 Fig. 3과 같이 하나의 존을 더 삽입시켜 모델링을 하였다.

3. 시뮬레이션 조건 및 가정

건물의 열성능 평가에 있어 재료의 물성값(properties)과 벽체의 조합(constructions)은 매우 중요하며, 선행 연구 및 문헌 등을 참고하여 Table 1, Table 2에 자세히 정리하였다.[9-11] 또한 사용된 벽체의 재료의 물성값이나 벽체의 조합(구성)은 ESP-r 내부에서 언제든지 쉽게 수정 가능한 것으로 이에 관한 정밀한 분석은 최소화시켰다.

Table 1 Materials and thermal properties

Materials	Thermal conductivity (W/m · ℃)	Density (kg/m^3)	Specify heat (J/kg · ℃)
Gypsum board	0.210	910.0	1130.0
Expanded Polystyrene	0.034	28.0	1250.0
Asphalt Single	0.111	1000.0	924.0
Habphan	0.187	600.0	1302.0
Concrete	1.400	2200.0	882.0
Nureum Concrete	1.517	2400.0	798.0
Aerated Concrete	0.175	600.0	1092.0
Double windows	U-Value : 2.8 $W/m^2℃$		

Table 2 Constructions and K-value

Construc-tions	Thickness (mm)	Material	K-value ($W/m^2℃$)
Side Wall	9.5	Gypsum Board	0.30
	90	Expended Polystyrene	
	180	Concrete	
Flat Roof	180	Concrete	0.28
	110	Expended Polystyrene	
	9.5	Gypsum Board	
Ground Floor	75	Leveling Mortar	0.40
	180	Autoclave Lightweight Concrete	
	55	Expanded Polystyrene	
	50	Concrete	
	40	Gravel	
Ondol Top	10	Flooring	3.12
	30	Gypsum Board	
	1	Copper	
Ondol Below	1	Copper	0.45
	20	Gypsum Board	
	100	Air Layer	
	150	Concrete	
	50	Insulation	
	100	Air Layer	
	8	Habphan	
Vent Top	1	Copper	3.66
	20	Gypsum Board	
Vent Below	150	Concrete	0.51
	50	Insulation	
	100	Air Layer	
	8	Habphan	

그 밖에 'casual gains'은 고려하지 않았으며, 'infiltration'은 최소 환기횟수 0.5회/h로 지정하였으며, 사용된 기상데이터는 ESP-r 포맷으로 된 서울지역의 기상데이터를 이용하였으며, 1분 간격(60회/시간)으로 시뮬레이션 분석한 결과를 1시간 단위로 정리하였다.[11] 그리고 온돌은 난방이 주목적이므로 1월 9일부터 15일까지 분석 기간으로 정한 한정된 시뮬레이션만을 수행하였다.

4. 분석 및 고찰

먼저 본 모델의 검증을 위해 다음과 같이 3가지 모델의 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 1)과 2)는 온돌 존과 벤트 존 모델의 결과를 비교하여 벤트 존 모델의 타당성을 검증하기 위함이고, 2)와 3)은 동일한 외기가 유입될 경우의 결과 차이를 평가하기 위함이다.

1) 온돌 존 모델 - Multi_sensors controller[1] / 환기회수법
2) 벤트 존 모델 - Multi_sensors controller / 환기회수법
3) 벤트 존 모델 - Multi_sensors controller / air flow network법

4.1 모델링 방법에 따른 분석

Table 3, Table 4는 동일한 구조를 갖는 이중바닥 온돌을 온돌 존만으로 한 1)의 경우와 벤트 존으로 구분한 2)의 경우를 비교한 것이다.

Table 3과 Table 4의 분석 결과를 통해 알 수 있듯이, 온돌 존 모델과 비교해 벤트 존 모델은 하부존의 경우 약 5.4% 높게, 상부존의 경우 약 3.4% 정도 낮게 분석되었으며, 이는 온돌 존 모델이 하부존으로 더 많은 열량 전달을 나타내는 것을 의미하며, 두 모델의 오차가 ±5% 내외 정도이다. 그리고 상·하부존을 일정한 온도로 유지하기 위해 필요한 총 에너지의 경우 그 차이가 약 0.3% 이내이므로 충분한 타당성이 있는 모델링 기법이다.

Table 3 Total heating load results for the modelling methods

	Ondol-zone model		Vent-zone model	
	Below zone	Upper zone	Below zone	Upper zone
Ave. (kW)	1.08	1.95	1.14	1.89
Total (kWh)	103.75	187.45	109.38	181.04

* Average : load sum(= Total) / total hour

1) Multi_sensors controller : 이 제어기는 서로 다른 조건으로 동시에 여러 개의 존(온돌 존과 실내 등)을 제어하는 방식이다.

Table 4 Each node temperature for the modelling methods (unit : ℃)

		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
Ondol zone model	Ave.	21.39	27.16	31.17	26.76				20.07
	Max.	27.64	31.84	50.00	29.86				21.47
	Min.	19.54	24.06	24.52	24.90				20.00
Vent zone model	Ave.	21.39	27.09	30.92	26.60	21.89	21.47	21.07	20.16
	Max.	27.34	32.15	50.00	32.44	22.38	21.95	21.58	22.30
	Min.	19.50	23.71	23.76	23.39	21.40	21.08	20.69	20.00

1) Upper zone, 2) Ondol zone's ceil surface
3) Ondol zone, 4) Ondol zone's floor surface
5) Vent zone's ceil surface, 6) Vent zone
7) Vent zone's floor surface, 8) Below zone

Table 5 Simulation results for the insulation's position

Position		Below zone	Upper zone
Type A	Total(kWh)	934.90	1538.27
	Average(kW)	1.26	2.07
Type B	Total(kWh)	918.55	1486.83
	Average(kW)	1.23	2.00
Type B/A Ratio(%)		98.25	96.66

Table 5는 Fig. 1의 단열재 위치에 따른 분석 결과로 시뮬레이션 분석 기간을 1월 한 달로 확대시켜 수행한 것이다.

전체적으로 Type A의 경우 약 2~3% 정도 낮은 난방부하 분포 패턴을 나타내고 있음을 확인할 수 있으나, 그 차이는 매우 미미하므로 본 연구에서는 단열재 위치는 시스템 구성에 중요한 고려사항에서 제외시키도록 하였다.

4.2 다층 벤트 존 모델

벤트 존 모델의 정확한 성능 평가를 위하여 4

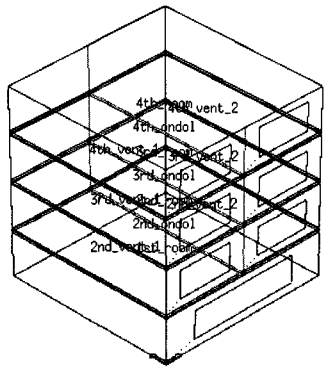

Fig. 4 4th stories model for the detailed analysis.

Table 6 Simulation results for the control methods

		1st F	2nd F	3rd F	4th F	Total
Basic	Total	250.62	192.93	192.51	267.13	903.19
	Ave.	1.49	1.15	1.15	1.59	1.34
Multi	Total	219.03	246.60	219.06	344.48	1029.17
	Ave.	1.30	1.47	1.30	2.05	1.53
	ratio	87.40	127.8	113.79	128.96	113.95
AFN	Total	195.20	218.87	189.99	316.74	920.80
	Ave.	1.16	1.30	1.13	1.89	1.37
	ratio	77.89	113.45	98.69	118.57	101.95

(1) Units : Total[kWh], Ave.(Average)[kW], Ratio[%]
(2) Air change method : Basic & Multi-sensors controller
(3) AFN : Air flow network method

개 층 모델을 Fig. 4와 같이 모델링한 후, 1층은 지표면 온도에 따른 영향을 제외시키기 위해 'Basic controller'[2]로, 2, 3, 4층은 'Multi-sensors controller'를 적용한 분석을 수행하였으며, 설정 환기횟수 0.5회/h에 대한 방법론적인 차이를 확인하기 위해 단순한 환기회수법에 의한 분석과 동일한 환기횟수를 갖는 Air flow network 분석에 의한 결과를 함께 수행하였으며, 그 타당성 검증 또한 병행하였다.

Table 6과 Table 7은 다양한 분석 방법론에 따른 난방부하 및 각 존의 온도 분포를 정리한 것이다.

Table 6의 난방부하 분석 결과에서 볼 수 있듯이,

2) Basic controller : 이 제어기는 설정 온도에 따른 on/off를 통해 해당 존을 제어하는 방식이다.

Table 7 Zones temperature for the control methods

		1st. room	2nd. vent	2nd. Ondol	2nd. room	3rd. vent
Basic	Ave.	20.12	20.30		20.44	20.59
	Min.	20.00	19.31		20.00	19.52
	Max.	22.46	21.78		24.99	22.08
Multi	Ave.	20.19	25.63	29.68	21.61	26.51
	Min.	20.00	24.52	23.95	20.00	25.33
	Max.	23.10	26.68	39.78	28.85	27.72
AFN	Ave.	20.25	25.30	28.99	21.85	26.05
	Min.	20.00	24.18	23.76	19.97	24.93
	Max.	23.62	26.43	39.30	29.07	27.26
ratio(%)		100.31	**98.69**	97.66	101.10	**98.24**
		3rd. Ondol	3rd. room	4th. vent	4th. Ondol	4th. room
Basic	Ave.		20.44	19.90		20.23
	Min.		20.00	18.91		20.00
	Max.		25.01	21.30		23.55
Multi	Ave.	29.64	21.80	27.45	32.14	21.25
	Min.	24.07	19.97	26.37	25.78	19.88
	Max.	39.82	28.87	28.81	43.93	27.76
AFN	Ave.	28.77	21.91	27.01	31.34	21.42
	Min.	23.81	20.00	25.93	25.06	19.94
	Max.	38.58	29.16	28.25	41.79	27.83
ratio(%)		97.05	100.48	**98.42**	97.52	100.81

단순한 basic controller에 따른 분석 결과와 비교해 multi-sensors controller를 이용한 경우, 약 14% 가량 높은 분포를 나타내고 있었으나, air flow network 기법을 이용한 분석에서는 약 2% 가량 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 실제 각 실의 환기횟수를 분석한 결과 주간보다 야간에 매우 미미하지만 시간 평균 환기횟수 분포가 낮아진 값을 보이는 것과 환기회수법의 단순한 실온과 외기온의 차와 공기 유량에 따른 열량 계산법과는 달리 air flow network 법의 경우 주어진 시간 간격에 따른 실시간 분석과 이러한 유동 현상에 따른 표면의 대류 열전달 계수 변화 그리고 그로 인한 표면으로부터의 열취득량의 증가에 따른 것으로 판단된다. 이는 동일한 환기횟수를 주어지기 위해 가정한 일정 유량의 fan을 통해 실내의 기류속도가 결정되며, 자체 계산 알고리즘에 의해 표면 대류 열전달이 결정된다.[11]

Table 7의 각 존의 온도 분석 결과에서 볼 수 있

듯이 multi-sensors controller 분석과 비교해 air flow network 분석 결과는 전체적으로 2.5% 이내의 차이만을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 특히 벤트 존의 온도값이 작아진 이유는 외기가 실내로 도입됨에 따른 실내의 유동현상으로 인한 실내 공간 상부의 대류 열전달 계수의 상승으로 하부로 전달되어지는 열량의 비율이 감소하였기 때문인 것으로 분석되며, 본 연구의 이중 바닥 공기층 활용 가능성 평가의 경우에는 단순한 basic controller 기법은 각 절점의 온도를 평가할 수 없으므로 적절한 분석 기법이 될 수 없을 것이다.

4.3 설정 조건에 따른 분석

ESP-r을 이용한 분석에 있어 마지막으로 수행한 것이 공동 주택에서의 다양한 설정 조건에 따른 위치별 열적 특성을 평가를 위하여 5개 층 모델을 Fig. 5와 같이 모델링하였다.

1층은 지표면의 영향을 분석 대상에서 배제시키기 위해 온돌 존만으로 구성하였으며, 2, 3, 4층은 온돌 존과 벤트 존이 동시에 존재하도록 구성하였다. 그리고 모든 존들은 multi-sensors controller를 적용하여 제어하였으며, air flow network 법을 이용하여 환기량을 설정하였다.

한편, 온돌 존을 제어한다는 것은 온수의 유·출입구의 온도를 제어하는 것을 의미한다. 바꿔 말하면, 만약 온수의 입구온도가 60℃, 출구 온도가 50℃라면 온돌 존을 55℃로 설정하는 방법인 것이다. 그리고 실온을 제어하는 것은 말 그대로 실내의 설정 온도를 제어하는 것으로 건물의 난방부하에 직접적으로 영향을 미치게 될 것이다.

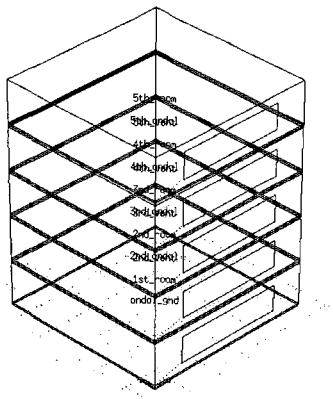

Fig. 5 5th stories model for the sensitivity analysis.

Table 8은 난방부하의 총합을 분석한 결과를 요약한 것으로, 온돌 존의 설정온도보다는 설정 실온에 의해 큰 영향을 받음을 알 수 있으며, 실온 20℃의 경우 온돌 존 설정온도가 45℃인 경우에 다소 높은 분포를 나타내는 것은 분석 기간이 일주일로 경계시간대(1월 15일 오후 10~12시)에 발생되는 부하에 따른 영향으로 분석되었다.

Table 9는 공급 온수 온도 및 설정 실온에 따른 벤트 존의 평균 온도를 정리한 것으로 유체 순환을 통해 벤트 존에 갇히는 열량을 이용하기

Table 8 Total energy consumption for the rooms and Ondol zones' setting temperature

Setting temp. [℃]		Total energy consumption [kWh]					
Room	Ondol zone	1st F	2nd F	3rd F	4th F	5th F	Total
20	45	118.54	24.19	23.23	19.97	112.15	**298.08**
	50	118.25	24.00	23.00	19.66	106.15	**291.06**
	55	118.01	24.33	23.17	19.83	105.83	**291.17**
22	45	147.70	38.00	35.24	33.09	131.57	**385.60**
	50	148.03	39.49	37.33	31.00	136.60	**392.45**
	55	147.79	39.50	37.0	30.83	136.24	**391.37**
24	45	173.11	53.75	48.31	43.88	157.66	**476.71**
	50	172.73	52.49	47.66	44.81	160.76	**478.45**
	55	172.73	52.49	47.66	44.81	160.76	**478.45**

Table 9 Vent zone's average temperature distributions for the room and Ondol zone's setting temperature

Setting temp. [℃]		Average temp. [℃]				
Ondol zone	Room	2nd F	3rd F	4th F	5th F	Total
55℃	20℃	28.10	28.30	28.34	28.99	**28.43**
	22℃	28.23	28.42	28.47	29.18	**28.57**
	24℃	28.23	28.42	28.47	29.18	**28.57**
50℃	20℃	26.17	26.44	26.44	26.90	**26.48**
	22℃	26.20	26.46	26.45	27.03	**26.53**
	24℃	26.19	26.46	26.45	27.03	**26.53**
45℃	20℃	24.18	24.53	24.60	24.91	**24.55**
	22℃	24.18	24.54	24.60	24.84	**24.54**
	24℃	24.18	24.55	24.60	24.84	**24.54**

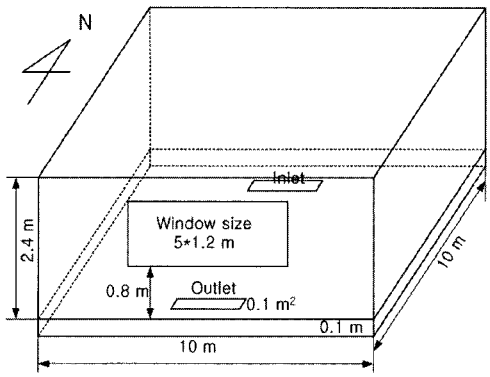

Fig. 6 Schematic of the CFD analysis.

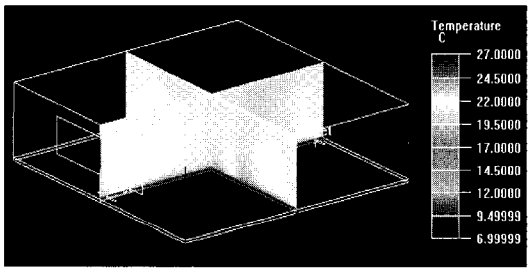

Fig. 7 Result of the temperature distribution.

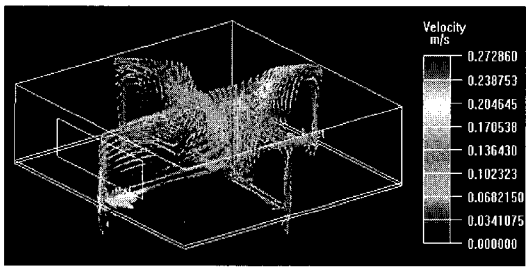

Fig. 8 Result of the air velocity distribution.

위해서는 실내 설정온도는 가능한 낮게 설정하여 아래로 이동하는 공급열량을 재취득하는 방법을 선택하여야 할 것이다. 그러나 건식온돌 구조의 응용에 있어서는 낮은 공급 온수 온도에 의한 에너지 절감효과와 벤트 존 응용에 따른 에너지 절감효과를 종합적으로 분석하여 최종 결정을 내려야 할 것이다.

4.4 CFD 분석

ESP-r을 이용한 다층 벤트 존 모델의 분석 결과 가운데 각 존의 표면 온도를 축출하여 Fig. 9와 같은 CFD 모델의 경계조건으로 가정하였으며, 입구측 팬은 벤트 존 환기횟수 0.5회/h, 입·출구측 면적은 0.1 m^2로 분석한 결과, 출구 온도는 약 22.38℃로 2℃이상 상승된 온도값을 얻을 수 있었으며, Fig. 7과 Fig. 8은 분석 결과 중 온도와 기류 분포를 나타낸 것이다.

5. 결 론

이상의 연구는 우리나라 공동주택의 온돌난방 방식을 보다 능동적으로 활용하기 위한 이론적 분석을 ESP-r을 이용하여 수행한 것이다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 다양한 모델링 방식에 따른 모델의 시뮬레이션 시간간격에 따른 분석 결과 벤트 조닝 모델은 약 5% 미만의 결과 오차만을 나타내고 있었으며, 충분히 이용 가능한 모델링 방법임을 확인하였다. 그리고 ESP-r 해석 알고리즘은 다른 상용 프로그램들과는 달리 유한 차분법을 통해 해석을 하므로 시뮬레이션 시간 간격은 1분 간격으로 분석하는 것이 바람직하다[Table 3, Table 4 & p. 3 좌측 하단].

2) 상세 모델의 에너지 소비량 분석에 있어, basic controller 방식과 비교해 air flow network 방식을 통해 multi-sensors controller를 적용한 경우 1층과 3층은 낮게, 2층과 4층은 다소 높은 분포 패턴을 나타내고 있었으며, 이는 지표면과 최상층에 따른 영향을 보다 정확히 평가한 것으로 판단된다[Table 6].

3) Basic controller 모델의 경우 에너지 소비량 분석은 비교적 만족할만한 결과를 보이나, 각 절점의 온도 분포에 있어서는 온돌을 주 난방 방식으로 이용하는 우리나라의 공동주택의 경우에는 신뢰할 수 없는 경계 값을 나타내고 있다. Multi-sensors controller 모델을 이용할 경우, 온돌 난방에 따른 각 표면 및 내부 존에 대한 보다 정확한 온도 경계 값을 얻을 수 있음을 확인하였다[Table 6, Table 7].

4) Multi-sensors controller 방식으로 환기회수법과 air flow network 법을 적용한 경우에는 비교적 실측 실험에서 제시하는 값과 유사한 분포를 나타내고 있으며, 특히 연속난방의 경우 벤트 존의 온도 분포는 평균 약 26℃ 내외로 충분히 활용 가능한 온도값을 지니고 있음을 알 수 있었

다. 그러나 환기회수법보다는 air flow network 법의 경우, 지정된 환기횟수에 따른 외기 유입량을 시뮬레이션 시간 간격으로 정확히 분배시켜 해석할 수 있으며, 또한 이렇게 도입된 외기에 따른 대류 열전달 계수까지 고려하기 때문에 이 방식으로 시뮬레이션 분석하는 것이 보다 합리적인 것임을 알 수 있다[Table 6, Table 7].

5) 다양한 제어 조건에 따른 분석 결과, 에너지 소비량의 경우에는 공급 온수의 온도가 낮을수록 즉, 온돌 존 설정 온도가 낮을수록 작게 분포하는 것을 알 수 있었으나, 벤트 존의 온도 분포는 공급 온수의 온도에 따라 비례적으로 상승하고 있음을 알 수 있었다. 또한 설정 실온은 벤트 존의 온도에 거의 영향을 미치지 못하고 있었다. 따라서 공급 온수 온도에 따른 에너지 절감효과와 벤트 존 응용에 따른 에너지 절감효과를 종합적으로 분석한 후 최후 결정을 내리는 것이 합리적인 것으로 분석되었다[Table 8, Table 9].

6) 간단한 기본 조건에 따른 CFD 분석 결과, 출구측 공기의 온도는 약 22.38℃로 적정 유량 제어 및 필터 등의 문제만 해결된다면 충분한 가능성이 있음을 알 수 있었으며, 입구측의 부력에 대한 영향을 보다 세밀하게 분석할 필요성 또한 제기되었다[Fig. 7, Fig. 8].

따라서 추후 공기층의 다양한 형상과 온돌 운전에 따른 공기층의 CFD 분석 및 민감도 분석을 수행되어야 할 것이며, 실제 공동주택 평면을 이용한 air flow network 분석을 통해 보다 정밀한 분석의 수행이 요구된다.

참고문헌

1. Korean National Statistical Office, 2000, The census of population and residence, Report of reference 2000, pp. 44-45.
2. Kang, J. S. and Choi, G. S., 2005, Multi-functional smart floor system for open-housing, Magazine of the SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 43-57.
3. Kang, J. S., Choi, G. S. and Lee, S. E., 2004, The thermal characteristic of IHCS (Infill heating & cooling system) radiant floor heating system, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 24, No. 24.
4. Park. S. H., Kim, J. Y., Park B. Y. and Sohn, J. Y., 2001, Development of the prefab ondol system using plate glass, Korea Journal of AIK, Vol. 21, No. 2.
5. Choi, D. H., Kim, N. H. and Sohn, J. Y., 2004, The indoor thermal environment and characteristics of the dry double floor hydronic ondol system, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 24, No. 1.
6. Yee, J. J., Kim, Y. K. and Choi, S. Y., 2005, A performance evaluation on the prefabricated floor heating system using thermo siphon type heat pipe, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 21, No. 3.
7. Shin, U. C., Jang, M. S., Yoo, H. H. and Min, J. H., 2002, Characteristics of heat transfer in the apartment with ondol heating system, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 18, No. 1.
8. Kang, J. S. and Cho, D. W., 1998, Evaluation and improvement for thermal performance of ondol heating structure in apartment housing, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 17, No. 1.
9. Choi, W. K., Lee, K. Y., Cha, D. W. and Suh, S. J., Theoretical analysis on the applications of the smart floor system, Proceedings of the SAREK 2006 winter annual conference.
10. Kamel Haddad, July 2002, ESP-r/HOT3000 : RADTEST - Radiant heating and cooling test cases, IEA, pp. 78-83.
11. Clarke, J. A., 2001, Energy Simulation in Building Design 2nd, Butterworth - Heinemann, pp. 256-261.
12. Yoo, H., Hyun, S. K., Park, Y. W., Kim, Y. S. and Hong, H. K., 2004, Analysis of heating energy in a korean-style apartment building 1 : The effect of location, Proceeding of Annual Conference in SAREK, Vol. 16, No. 1, pp. 101-110.
13. Yoon, J. H., Yoon, H. K., Kang, D. H. and Choi, Y. D., 1992, Improvement of efficiency of floor radiant heating system with

hot water for apartment buildings, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 8, No. 1.

14. Cho, K. H., Kim, Y. I. and Seok, H. T., 1992, A study on the thermal performance improvement of prefab-ondol system by numerical simulation, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 8, No. 105.
15. Yeo, M. S. and Kim, K. W., 1999, A study on the control methods of hydronic radiant floor heating systems in apartment buildings, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 15, No. 3.
16. Leigh, S. B. and Won, J. S., 2005, An evaluation of energy performance of radiant floor cooling and heating systems, Proceeding of Annual Conference in AIK, Vol. 21, No. 3.