

## 온돌 난방 스케줄 제어에 따른 에너지 저감

홍 희 기<sup>†</sup>, 김 선 국<sup>\*</sup>, 유 호 선<sup>\*\*</sup>

경희대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>경희대학교 건축공학과, <sup>\*\*</sup>숭실대학교 기계공학과

### An Energy Saving using Ondol Heating Schedule Control of Housing Units

Hiki Hong<sup>†</sup>, Sunkuk Kim<sup>\*</sup>, Hoseon Yoo<sup>\*\*</sup>

**ABSTRACT:** This study was performed to determine the heating energy savings and CO<sub>2</sub> reduction resulting from turning off ondol heating in housing units in Korea. Lowering the room temperature and intermittent heating of a room are effective methods for reducing heating energy consumption. These techniques were proven by modeling simulations in our previous studies. To confirm the simulations, schedule controllers which automatically turned off the ondol heating in the living room and kitchen from 10 pm to 6 am were installed at the hot water distributor in five households. The heating gas used in each of the housing units was measured over a period of five years, with and without the schedule controllers. We found that approximately 30% of gas consumption, mainly used for heating, can be saved compared to turning on the appliance during the night.

**Key words:** Ondol(온돌), Heating(난방), Schedule Control(스케줄 제어), Energy Saving(에너지 저감), CO<sub>2</sub> Reduction(CO<sub>2</sub> 감소)

#### 1. 서 론

97%의 에너지를 해외에 의존하고 있는 한국의 경우 주거용 건물에서 난방, 급탕 등으로 소비되는 에너지 비율이 국가에너지의 13% 정도로 큰 비중을 차지한다. 특히, 2008년 말 기준으로 주택의 약 58%를 차지하는 아파트는 난방방식 및 주거패턴이 거의 획일화되어 있기 때문에 표준화된 절약방안의 제시는 에너지 절약효과에 상당히 큰 영향을 미친다. 한편 선행연구를 통해 아파트에서의 실내온도, 환기, 발코니 확장 및 창호, 간헐 난방 등이 건물 난방에너지 소비량에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.<sup>(1,2)</sup>

실내온도를 1°C 낮추는 경우 약 8%의 난방에

너지를 절약할 수 있다는 보고에도 불구하고 이를 거주자가 자율적으로 실현하는 것은 쉽지 않은 일이다. 적절한 실내온도로서 20°C를 권장하고 있으나 온돌에 의한 복사난방과 오랜 세월에 걸친 한국인의 생활습관의 영향으로 한국 주택의 실내온도는 24°C 전후를 유지하고 있어 난방에너지의 소비가 크다.<sup>(3)</sup>

한국에서 2000년대 중반 이후의 대부분의 신축 아파트에는 각 방별로 실내온도를 용도에 따라 달리 설정할 수 있는 각방 온도제어기가 부착되고 있고 이를 통해 에너지 절약이 가능하나, 그 이전에 건축된 아파트는 쉽지 않은 상황이다. 기존의 아파트에 대한 에너지 절약 중 또 하나의 효과적인 방안이 고단열 창호로의 교체이나 설치비용에 대한 큰 부담이 보급활성화에 장애요인이 되고 있다. 선행연구의 시뮬레이션을 통해 간헐 난방에 의한 에너지 절감효과에 대해서도 분석한 바가 있었다.<sup>(4)</sup> 미리 설정된 시간대에 사용하지

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

얇은 공간의 난방을 차단하는 것은 매우 효과적이면서도 경제적인 에너지 절약방식이다. 가족 구성원이 모두 외출하는 경우 난방을 아예 끄는 것은 대부분의 사람들이 실천하고 있으나, 심야 시간대에 거실·주방의 난방차단에 의한 에너지 절감효과는 크게 인식하지 못하고 있다. 심지어 신축아파트에 설치된 각방 온도제어기에 설정된 시간대에 사용하지 않는 공간의 온도를 낮추거나 난방을 차단하는 기능이 있음에도 이를 적절히 활용하는 경우를 찾기 어렵다.

이에 따라 본 연구는 한국 공동주택의 난방스케줄제어 기술을 통한 보다 현실적인 에너지 저감방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 사용하지 않는 방 및 심야시간대의 거실·주방의 온도의 온수공급차단이 난방에너지 및 이산화탄소 저감에 얼마나 큰 영향을 미치는지 실제 거주 아파트를 대상으로 실증실험을 수행하였다.

## 2. 온돌과 난방제어기

온돌은 한국 고유의 난방방식으로서 방 바닥을 비교적 낮은 온도로 가열하는 일종의 복사난방이다. 한국식 온돌의 쾌적성과 에너지절약, 건강환경 등이 알려지면서 일본에서는 이미 바닥난방(Yukadambo)으로 정착한 상태이고, 서유럽에서는 신축 주택의 50% 정도에 온돌이 설치되고 있으며, 미국 내 온돌 시장은 매년 20% 이상 성장하는 등 세계적인 관심이 높아지고 있다.

현대적인 온돌은 온수코일을 바닥에 설치하고 60~70℃ 정도의 온수를 순환시킴으로써 바닥을 30℃ 전후로 가열하게 된다. 온수온돌의 일반적인 구조는 Fig. 1과 같으며, 배관 중에 설치된 온수코일로부터 상부마감층을 통해 실내로 열이 유

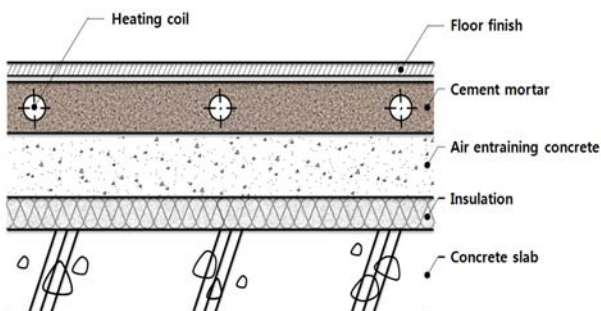


Fig. 1 Section of ondol heating.

입되고, 아래쪽으로 열의 유출을 차단하기 위해 폴리스틸렌, 폴리우레탄의 단열층이 설치된다.<sup>(5)</sup> 온수코일은 내경 16 mm의 플라스틱관이 많이 사용되며, 과거에는 한 구획의 길이를 50m 이하로 규정하였으나 1999년에 삭제되어 현재에는 제약이 없는 상태이다. 각 구획에 설치되는 대표적인 예를 Fig. 2에 보인다.

온수코일의 길이가 서로 다른 각 구획에 적절한 온수유량을 공급하기 위해 난방 분배기를 설치하게 되며, 개략도를 Fig. 2에 함께 보인다. 보일러 혹은 열교환기에서 가열된 온수는 난방분배기의 공급헤더를 통해 각 구획으로 분배되며, 난방차단을 위한 수동밸브, 유량조절을 위한 미세 유량조절밸브, 전자밸브 등이 설치된다. 보일러의 용량조절과 더불어 난방제어기의 온오프제어, 정유량제어, 비례제어 등을 통해 각 구획의 실내온도를 조절하게 된다.

2000년대 중반 이전의 대부분의 주택에는 거실 혹은 안방에 온도센서가 위치하고 보일러의 온오프제어를 통해 실내온도를 조절하는 방식이 일반적이었다. 일부 방의 온도를 낮게 설정하려면 수동밸브를 약간 닫아 조절하게 되며, 장기간 사용하지 않는 경우에는 밸브를 완전히 닫아 온수를 차단하게 된다.

난방분배기는 많은 주택에서 주방의 싱크대 하부에 있는 협소한 공간에 설치되어 있다. 이로

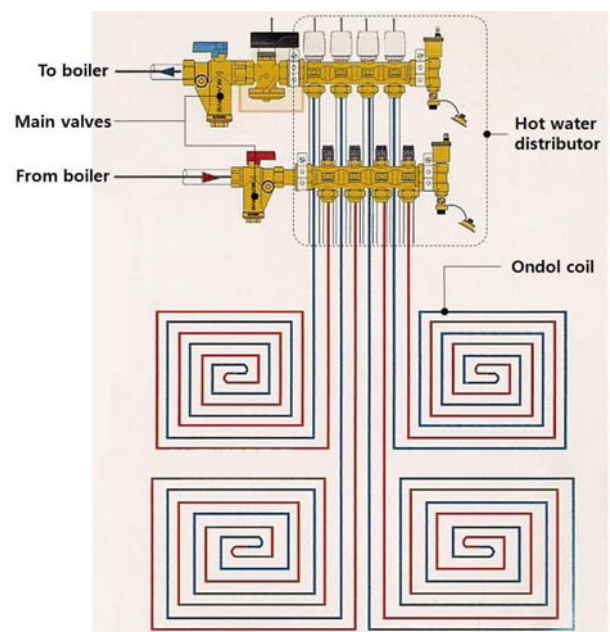


Fig. 2 Ondol coil with hot water distributor.

인해 거실·주방과 같이 심야시간대에 사용하지 않는 공간의 난방차단과 재개를 위해 반복되는 밸브조작은 매우 번거로운 일이다. 따라서 난방차단에 의한 에너지절약은 장기적으로 사용하지 않는 방의 밸브차단이나 가족 구성원 모두가 외출할 때 보일러 가동 중지 등의 수준에 머무르고 있다.

2000년대 중반 이후에 신축되는 대부분의 아파트에는 고급화, 쾌적성 제고, 에너지 절약 등의 이유로 각방 온도제어기가 설치되고 있다. 이를 통해 각 방의 온도를 달리 설정하거나 제품에 따라서는 시간에 따라 온도를 달리 설정할 수 있는 기능이 있어 적절한 에너지 절약이 가능한 상태이다. 각방 온도제어기 조작의 어려움과 인식의 부족으로 일부 방의 시간에 따른 난방차단, 즉 스케줄 제어를 통한 에너지절약을 실천하는 세대는 많지 않은 듯하다.

### 3. 실험 및 결과

본 연구에서는 난방제어기가 설치되지 않은 기존의 아파트의 난방분배기에 자동밸브, 밸브구동기, 스케줄제어기를 Fig. 3와 같이 추가로 구성하고 설치 전후의 난방에너지 사용량을 실측하였다.

난방용 온수의 생산방식에 따라 개별난방, 중앙난방, 지역난방으로 구분할 수 있다. 신도시의 대규모 단지에는 지역난방이 도입되고 있으나, 여전히 대부분의 개인주택 및 아파트에는 가스보일러에 의한 개별난방이 주류를 이루고 있다. 따라서 실측대상주택은 개별난방 세대로 하였으며, 가스 사용량을 통해 난방에너지 절감효과를 파악하였다. 자동밸브는 거실·주방측 온수코일에만

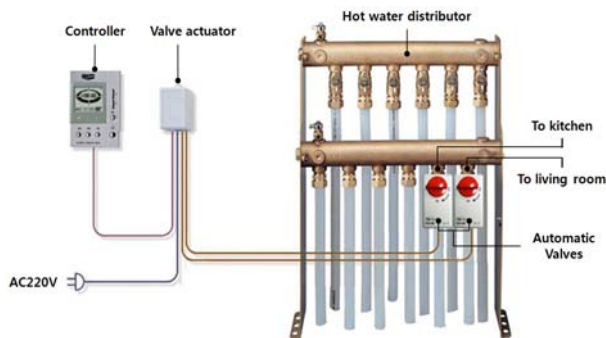


Fig. 3 A hot water distributor with a controller and automatic valve.

Table 1 Conditions of apartments.

Apartment	Area(m <sup>2</sup> )	Location	Time shutting off hot water
A	112	Seoul	22:00 - 07:00
B	179	Suwon	20:00 - 06:00
C, D	99	Gimpo	22:00 - 06:00
E	139	Siheung	22:00 - 06:00

Table 2 Monthly average atmospheric temperatures in Seoul.

Year	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Average
2004-2005	9.1	1.9	-2.5	-1.9	4.1	2.14
2005-2006	8.6	-3.9	-0.2	0.1	5.2	1.96
2006-2007	8.4	1.4	0.4	4.0	6.1	4.06
2007-2008	6.7	1.8	-1.7	-1.2	7.3	2.58
2008-2009	7.6	1.1	-2.0	2.9	6.0	3.12

설치하였다. 거실·주방의 면적 비율이 대부분의 아파트에서 50%를 넘기 때문에 심야시간대의 난방차단에 의한 난방에너지 절감효과가 클 것으로 판단하였기 때문이다.

Table 1에 실측대상의 아파트를 요약하였다. 대상 아파트들은 모두 서울, 수원 등 북위 37도 16분~33분으로서 수도권에 위치한다. 스케줄제어에 의한 난방차단 시간대는 세대별 생활패턴에 따라 약간씩 달리하였다. 각 세대에 대한 설치를 2006년 하반기에 하였고, 본격적인 실측은 11월부터 수행하였다. 난방부하에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 외기온도로서, 서울의 2004년 11월부터의 월별 평균외기온도를 Table 2에 나타내었다.

Table 3에는 계측된 가스사용량을 월별로 정리하였다. 설치 전의 2년간의 데이터와 설치후의 2, 3년 간의 데이터를 함께 보였다. C, D 아파트의 경우에는 거주자가 이사하는 과정에서 스케줄제어기를 철거함으로써 더 이상의 데이터를 취할 수 없는 상황이었다. 면적 및 난방차단 시간대가 다소 다르기는 하나 난방차단 전후의 가스사용량이 25~30% 정도 감소했음을 알 수 있다. 다만 B아파트의 평균절감률이 현저한 것은 Table 1에 보인 바와 같이 난방차단시간이 타 아파트보다 2

Table 3 Measured data and results

Apartment	Year	Gas amount(m <sup>3</sup> )							Reduction Ratio (Amount)	Heating Reduction Ratio
		Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Sum	Average		
A	2004-2005	38	236	276	272	199	1,021	1,013	25.3% 257m <sup>3*</sup> 573kg**	33.7% (19.1%)
	2005-2006	133	255	246	203	168	1,005			
	2006-2007	103	143	192	134	162	734	756		
	2007-2008	151	185	196	202	140	874			
	2008-2009	90	154	167	135	115	661			
B	2004-2005	266	343	528	551	456	2,144	2,121	38.8% 822m <sup>3*</sup> 1,834kg**	43.9% (38.3%)
	2005-2006	353	515	483	362	385	2,098			
	2006-2007	138	278	377	114	392	1,299	1,299		
	2007-2008	133	244	606	343	92	1,418			
	2008-2009	171	202	271	267	269	1,180			
C	2004-2005	130	210	300	240	190	1,070	1,141	29.2% 334m <sup>3*</sup> 744kg**	37.5% (39.1%)
	2005-2006	130	340	200	291	250	1,211			
	2006-2007	105	189	194	192	185	865	807		
	2007-2008	121	180	149	175	124	749			
D	2004-2005	94	188	228	194	217	921	1,001	24.9% 249m <sup>3*</sup> 555kg**	33.2% (34.7%)
	2005-2006	131	170	289	116	375	1,081			
	2006-2007	156	180	163	147	170	816	752		
	2007-2008	93	140	152	150	153	688			
E	2004-2005	94	201	200	746	307	1,548	1,642	26.0% 427m <sup>3*</sup> 953kg**	30.7% (24.6%)
	2005-2006	154	622	384	299	276	1,735			
	2006-2007	290	248	203	191	243	1,175	1,214		
	2007-2008	169	364	286	237	173	1,229			
	2008-2009	240	293	267	230	209	1,239			

\* Saved gas amount, \*\* Reduced CO<sub>2</sub>

시간 길기 때문이다. 절감된 도시가스 사용량과 더불어 환산한 이산화탄소 저감량을 Table 3에 정리해 두었다.

가스사용량에는 난방 이외에도 급탕 및 취사에 사용된 것이 포함되어 있다. 별도로 계측하지 않는 한 정확한 값을 구하는 것은 불가능하므로, 개략적이거나 이전 연구에서 수행했던 방법대로 난방에 소요된 에너지 양을 추정하도록 한다.<sup>(6)</sup> 지역난방 아파트에 공급되는 도시가스는 취사전용이므로, 취사용 연평균 사용량은 실태조사를 통해 비교적 쉽게 산출할 수 있으며, 약 7.5m<sup>3</sup>/month이다. 급탕에 사용되는 에너지 양은 이보다 복잡하여 시수온도가 외기온도에 따라 달라지고 사용량도 계절에 따라 달라져 이를 고려해야 한다. 실측자료에 의하면 연간 급탕 사용열량은 11.5GJ 정도이며,<sup>(7)</sup> 동절기에는 월평균값의 1.5배를 취하였다. 가정용 가스보일러의 효율을

80%, 저위발열량 44.2MJ/m<sup>3</sup>을 적용하면, 동절기 급탕용 가스사용량은 40.3m<sup>3</sup>/month로 추정된다. 월별 가스사용량에 50m<sup>3</sup>/month를 뺀 값을 적용하여 난방에너지 절감률을 추정된 것을 Table 1의 괄호 속에 함께 표시하였다. 이로부터 난방에너지는 무려 30~35% 정도 저감되는 것으로 추정된다.

Table 3과 같이 도시가스 및 이산화탄소 저감량은 아파트 면적에 따라 상당히 달라진다. 한국의 경우 100m<sup>2</sup> 정도 면적의 아파트가 전체 아파트의 약 1/4로 가장 많은 비율을 차지하고 있다. A, C, D아파트가 이에 해당되며 연간 평균 280m<sup>3</sup>의 도시가스(석유환산톤 0.3toe)와 625kg의 이산화탄소를 저감할 수 있다.

#### 4. 고찰

실험 전에 아파트 면적의 50% 이상을 차지하는 거실·주방을 8시간 차단하면 매우 개략적으로  $(50\%)(8/24)=17\%$ 로 적지 않은 난방에너지 저감은 가능할 것으로 예상하였다. 이보다도 훨씬 큰 저감이 이루어진 것은 난방차단 시간대가 심야로서 외기온도가 낮보다 낮아져 심야의 난방부하가 커지나 이를 줄였기 때문이라고 볼 수 있다. 또한 실제로는 24시간 난방하는 경우는 드물며 가족 전체가 외출하는 경우 일반적으로 보일러를 완전히 끄는 것을 생각하면 예상했던 것보다도 큰 저감률을 보였다.

한편 난방차단 실험 전과 후의 외기온도의 영향을 파악할 필요가 있다. 예를 들어 설치전에 평균 외기온도가 유난히 낮아 난방에너지 소비량이 많았을 수도 있기 때문이다. Table 2에 보인 바와 같이 설치전인 2005년 12월의 외기온도가 평균치보다 현저히 낮으며, 동절기 평균기온도 설치후인 2006-2007년의 동절기보다 2도 이상 낮은 것을 알 수 있다.

따라서 외기온도가 비슷한 2004-2005년과 2007-2008년을 비교하는 것이 의미있는 일이라 생각한다. 이를 Table 3의 오른쪽 칼럼에 참고 절감률로 나타내었다. A아파트를 제외하고는 평균절감률과 비교하였을 때 거의 같거나 다소 작은 정도로서, 여전히 난방에너지 절감효과가 최소한 20% 이상임을 알 수 있다.

난방차단에 의한 난방에너지 저감효과는 온도에 의한 난방방식과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 온돌 난방의 가장 큰 특징은 축열효과, 70°C 이하의 비교적 저온의 온수에 의한 난방, 그리고 이로 인해 난방제어시 시스템응답이 느리다는 점을 들 수 있다.<sup>(8)</sup> 여전히 실내온도 조절을 위해 비례제어가 아닌 온오프제어에 의존하는 이유도 시스템응답이 느리기 때문이다. 온오프의 주기도 수 시간 단위가 되는 것이 일반적이다.

대류식 난방의 경우 부하응답성이 좋으며, 일정온도를 유지하기 위한 제어성이 우수하다. 실제로 대류식을 전제로 TRNSYS에 의한 시뮬레이션을 수행해보면 난방차단에 의한 난방에너지 저감효과가 그다지 크지 않다. 이에 대한 원인을 간단히 추정해보기로 한다. 심야시간대에 거실·주방의 난방을 차단하면 다른 방의 부하가 다소나마 커지게 된다. 또한, 오전에 거실·주방의 난방을 재개할 때 실내온도가 평상시보다 2~4°C

정도 떨어지게 되는데 대류식은 제어성이 좋은 만큼 난방기의 부하가 최대로 되어 떨어진 실내온도 및 벽체의 온도를 끌어올리게 되며 이때 소요되는 난방에너지가 심야시간대에 저감된 에너지를 상당부분 상쇄하게 된다. 부하추종성이 우수하지 못한 온돌난방의 경우에는 이러한 현상이 나타나지 않기 때문에 혹은 구현하는 것이 불가능하기 때문에 난방에너지 저감으로 이어지게 된다.

새벽에 난방이 재개된 다음 오전 시간대의 거실 온도는 다소 낮아진 상태로 유지하게 되나, 거주자들의 불만은 없는 것으로 파악되었다. 실제로 거주자들은 스케줄제어기 설치 이후 난방차단이 자동으로 이루어지고 있었으나 설치 후에는 그 존재조차 의식하지 못하고 있는 상황이었다.

실측실험에서는 실내설정온도 등 세대마다의 환경이 상당히 다르기 때문에 엄밀한 비교가 어려운 상황이다. 후속연구에서는 온돌에 대한 정교한 모델링을 한 후 시뮬레이션을 통해 난방차단에 의한 난방에너지 저감의 타당성을 검증할 예정이다.

## 5. 결론

심야시간대에 재실자가 없는 거실·주방에 난방을 차단함으로써 난방에너지 및 이산화탄소 저감효과를 실증실험을 통해 조사하였다. 실험세대는 이와 같은 실험이 이루어지고 있는 것을 의식하지 않은 상태였으며, 새벽에 난방이 재개될 때의 거실 온도는 2~4°C 정도 낮아지나 거주자들의 불만은 없는 것으로 파악되었다.

실측실험 결과 8시간 정도의 난방차단으로써 30~35%의 난방에너지 및 이산화탄소 저감이 가능함을 보였다. 100m<sup>2</sup>의 아파트 한 세대에서 연간 0.3toe의 연료량과 625kg의 이산화탄소가 저감되는 효과이다.

이와 같은 난방에너지 및 이산화탄소 저감은, 각방 온도제어기가 설치된 세대는 스케줄제어 기능을 활용하여, 미설치된 기존의 아파트에서는 설치가 용이한 거실·주방용 스케줄제어기를 부착하여 손쉽게 구현할 수 있다.

정부 주무부처에서는 단시간 내에 실현할 수 있는 화석연료 및 이산화탄소 저감 방안으로 난방차단 효과를 인식할 필요가 있다. 주택에서의

현실적인 에너지 절감방안으로서 실내온도를 2~3℃ 낮추자는 홍보와 더불어 심야시간대의 거실·주방의 난방차단에 의한 에너지절감을 적극적으로 권장할 필요가 있다.

### 참고문헌

1. Yoo, H., Hyun, S. K. and Hong, H., 2005, Effects of various factors on the energy consumption of Korean-style apartment houses, Korean J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 972-980.
2. Kwon, Y. I. and Han, H. T., 2007, A study on the evaluation of air change efficiency of multi-air-conditioner coupled with ventilation system, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 15, No. 7, pp. 101-107.
3. Chung, K. S., 2004, A study on the Suggestion of thermal comfort range in radiant floor ondol heating system, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 12, No. 5, pp. 108-112.
4. Park, Y. W., Yoo, H. and Hong, H., 2005, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 3: The effect of room condition settings, Korean J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 722-728.
5. Samyang, Valve., 2003, Design for Ondol Hot water Heating and Header.
6. Lee, B. J., Chung, D. Y., Lee, S. and Hong, H., 2004, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 2: The difference according to heating type, Korean J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 5, pp. 459-466.
7. Choi, B. S., Kim, J. H., Kang, Y. T. and Hong, H., 2004, Verification experiment and analysis for 6 kW solar water heating system (Part 2: modelling and simulation), Korean J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 556-565.
8. Seok, H. T., 1999, A study on the control methods of hydronic radiant floor heating system, J. Korean Soc. Living Environ. Sys., Vol. 6, No. 2, pp. 30-35.