

## 실물실험을 통한 다이나믹 유량밸런싱 적용 공동주택 세대의 에너지소비량 평가

류성룡 · 정창현\* · 조 현\*\*†

금오공과대학교 건축학부, \*경남과학기술대학교 건축공학과, \*\*포스코건설 R&D Center

### Evaluation of Energy Consumption through Field Measurement at the Apartment Housing Unit Using Dynamic Flow Rate Balancing

Seong-Ryong Ryu, Chang-Heon Cheong\*, and Hyun Cho\*\*†

Department of Architectural Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 39177, Korea

\*Department of Architectural Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

\*\*R&D Center, POSCO E&C, Incheon 21985, Korea

---

#### Abstract

Even though the control device of the heating system works well, insufficient water flow rates can degrade control performance and thermal comfort. The water flow rate should be adjusted appropriately to cope with the heating load of each zone. In order to solve these problems, a new balancing concept 'dynamic balancing' was proposed where a balancing valve opening can be automatically modulated according to the heating condition of the room. This study analyzed the effects of dynamic balancing upon indoor thermal environment and energy consumption in a radiant floor heating system through field measurement. Under part-load conditions, the use of a dynamic balancing is a more effective method to reduce energy consumption and to prevent a cavitation. Dynamic balancing is able to help boost the temperature of a room in the start-up period.

**Key words:** Dynamic Balancing(다이나믹 유량밸런싱), Thermal Environment(온열환경), Energy Consumption(에너지소비량), Field measurement(실측)

---

#### 1. 서 론

우리나라는 세계에서 유래를 찾아보기 힘들 정도로 대부분의 주거건물에서 온돌난방을 사용하고 있으나, 그동안 관련 기술개발이나 제품/시스템화 측

면에서 상대적으로 미흡하여 실별 난방불균형, 에너지 낭비 등 문제점들이 상존해 왔다[1]. 그러나 최근 주거 환경의 질적 향상과 함께 온돌난방에 대한 개선 노력의 결과로 각 실별 온도를 제어하는 난방시스템, 설계유량을 공급하기 위한 분배시스템, 다양한 건축조건에 적용 가능한 패널 개발 등이 이루어지고 보편적으로 적용되어 기존의 많은 문제점들이 해소되었다.

한편, 패시브 하우스(Passive House) 등 저에너지 친환경건축물을 위한 정책/기술적인 업계의 움직임은 건물외피 단열/기밀도 성능 향상, 전체적인 난방

---

†Corresponding author

Tel: +82-32-200-2219, Fax: +82-32-200-2254

E-mail: [hyunarch@poscoenc.com](mailto:hyunarch@poscoenc.com)

접수일: 2016년 09월 26일

심사일: 1차:2016년 10월26일, 2차:2016년 11월 18일

채택일: 2016년 11월 21일

부하 감소, 다양하고 빈번하게 나타나는 부분부하 조건 등의 실내온열환경의 변화로 나타났다. 이로 인하여 현재 주로 설치되고 있는 고정형(정적) 유량 밸런싱의 한계를 보완하는 시스템에 대한 요구가 점점 높아지고 있다. 이에 따라, 주어진 환경조건에 따라 밸런싱 밸브의 개도를 자동으로 변경하는 다이나믹(동적) 밸런싱에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 세부적인 구동 알고리즘 개발도 지속적으로 진행되고 있다[2].

본 논문에서는 이러한 다이나믹 유량 밸런싱의 성능평가를 위하여, 실제 입주한 공동주택을 대상으로 동계기간 전반에 걸친 실측을 실시하였다. 다양한 부하조건을 설정하여, 고정형 유량밸런싱과 다이나믹 유량밸런싱이 적용된 세대들의 온열환경 및 에너지소비량 실측데이터를 분석 및 평가하였다. 그리고 다이나믹 유량밸런싱의 적정성에 대한 검토와 함께 추가적으로 풀어야할 문제점과 그 해결방향을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 다이나믹 유량밸런싱

### 2.1 유량밸런싱의 의의

온돌 패널에 의한 열방출은 온수의 공급온수온도와 환수온도, 온수유량에 의해 결정되므로, 난방부하에 적합한 유량이 패널에 공급되어야 바닥 난방 시스템이 설계의도대로 운영될 수 있다. 유량밸런싱은 설비 시스템이 설계의도대로 작동하게 하기 위한 필수적인 과정이다.

온수분배기에 온도조절밸브를 부착하여 실별 온도제어를 하고자 하여도, 각실에 필요한 유량이 확보되지 못한다면 원하는 난방성능을 얻기 어렵다. 그리고 한 세대를 여러 개의 코일구획으로 분할할 경우, 저항이 작은 구획으로는 설계유량보다 큰 유량이, 저항이 큰 구획으로는 설계유량보다 작은 유량이 흐르게 된다. 따라서 각 구획별로 설계유량을 공급하기 위해서는 배관에 일종의 저항을 추가하는 것이 필요하며, 이를 유량 밸런싱이라고 한다[3].

### 2.2 다이나믹 유량밸런싱의 개요

현재 보급되고 있는 대부분의 시스템 분배기는 고정형 유량밸런싱 방식으로, 각 회로의 압력손실 계

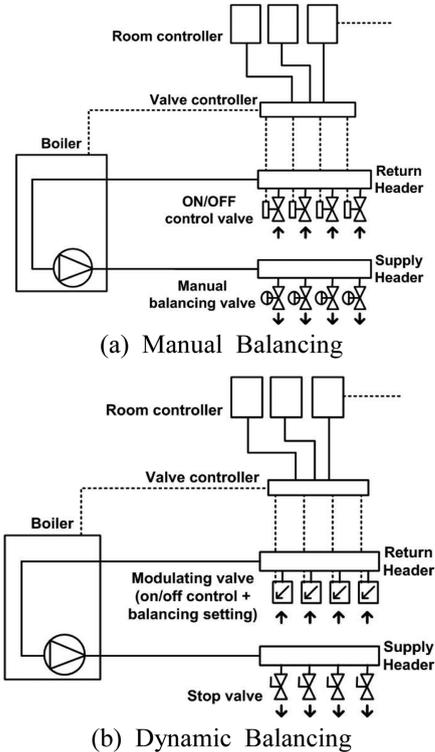


Fig. 1. Diagram for Manual Balancing and Dynamic Balancing.

산에 근거하여 밸런싱 밸브의 개도를 산출하고, 이 개도를 고정시켜 운전하는 방식이다. 이는 Fig. 1의 (a)와 같은 수동 유량밸런싱(Manual balancing)이라고도 할 수 있으며, 별도의 구동장치가 없기 때문에 처음 설치시 설정값이 그대로 유지된다. 이는 설계 조건에서 운전될 경우에는 문제가 없으나, 난방되는 실의 개수가 감소하는 부분부하 상태 혹은 난방부하 조건이 변화하여 밸런싱 세팅값이 변경될 필요가 있을 경우에는 효과적으로 대응하지 못하는 단점이 있다[1].

특히 밸런싱 밸브의 개도가 작은 실만 난방될 경우, 온수가 밸런싱 밸브의 좁은 포트 단면을 통과하면서 캐비테이션이 발생하여 소음 문제를 유발하는 경우가 많이 발생하고 있다[4].

그리고 고정형 밸런싱은 각 실의 설정온도를 고정시킨 상태에서 난방부하를 산출하고, 그에 따라 밸런싱 밸브의 개도를 결정하므로 사용자가 각 실의 설정온도를 변경시킬 경우 대응하기가 어렵다. 또한 난방 초기 시 또는 set-back 제어에서 돌아올 경우

pick-up 부하를 극복하기 위해서는 설계유량보다는 많은 유량을 공급하여 설정실온을 빨리 회복할 필요가 있으나, 고정형 밸런싱의 경우 밸런싱 밸브의 개도가 고정되어 있으므로 설정실온까지 도달하기 위한 예열시간이 길어지는 등 문제점이 지적되고 있다[2].

고정형 밸런싱 방식의 이러한 문제점들에 대한 해결책으로 개발되어진 시스템이 Fig. 1의 (b)와 같은 다이나믹 밸런싱(Dynamic Balancing)이다. 이 방식은 밸런싱 밸브의 개도를 밸브제어기 등을 활용하여 자동으로 변경할 수 있어서, 유량이 집중되는 실의 밸런싱 밸브 개도를 증가시켜 밸브를 통한 압력손실을 감소시킴으로써 캐비테이션 및 소음 발생을 방지한다. 또한, 난방이 잘되지 않는 실이 있을 경우, 해당 실이 설정온도에 도달할 때까지 밸런싱밸브의 개도를 증가시켜서 일종의 열량밸런싱의 구현이 가능하다[1].

Fig. 2는 각 유량밸런싱 방식들이 가지는 성능들을 비교한 것으로, 다이나믹 밸런싱 방식은 앞에서 언급한 부분부하시 안정성 유지, 난방운전시 소음방지 등의 측면에서 고정형 밸런싱의 문제점들을 극복하고 비교우위에 있다. 그리고 다이나믹 밸런싱 방식은 부하변동에 대한 속응, 열원의 최적인전을 위한 제어시스템의 지원이 가능하다.

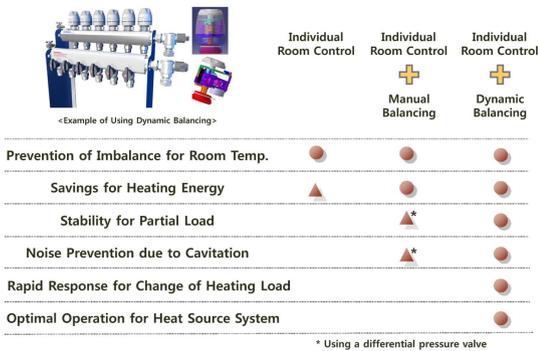


Fig. 2. Comparison with the Types of Flow Rate Balancing.

Table 1. Heating Schedule

		Date							
		1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3
Heating	Parts								
	Living Room	●							
	Master Room(R1)	●							
	All	●	●	●	●	●	●	●	off

### 3. 세대 실측실험의 개요

실측실험은 다이나믹 유량밸런싱을 적용한 세대의 온열환경 및 에너지소비량 등 성능에 대한 비교평가를 위하여 실시하였다. Fig. 3과 같은 평면과 온수배관배치를 가진 P사 G단지 2개 평형(전용면적 84m<sup>2</sup>, 124m<sup>2</sup>)의 동일부하조건 세대(총 4개)에 고정형 유량밸런싱과 다이나믹 유량밸런싱 시스템을 각각 설치하였다.

실측실험 세대를 대상으로 동계기간(01.27.~02.03) 전반에 걸쳐 장기간 실내온열환경 거동과 에너지소비량을 측정하였다. Table 1은 다양한 난방시간대와 세대공간의 조합으로 구성된 실측실험기간 동안의

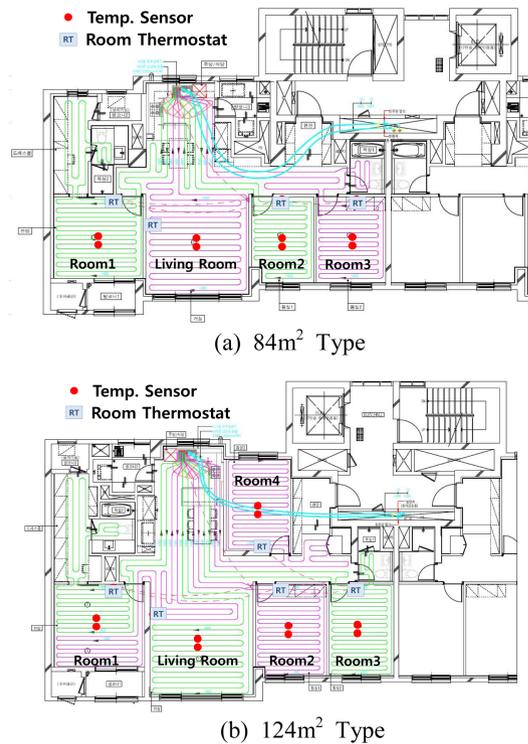


Fig. 3. Plan and Layout of the Heating Coil of the Surveyed Houses

난방가동 스케줄이다.

실내설정온도는 25°C, 디퍼런셜(on-off 제어에서 설정온도를 중심으로한 설정편차)은 2°C(24~26°C)이다. 실측실험 세대의 각실에는 온도센서(열전대)와 DAQ(Data Acquisition)를 설치하여 바닥표면온도와 실내온도를 획득하였고, 원격검침시스템을 활용하여 세대의 난방에너지소비량 데이터를 확보하였다.

### 4. 온열환경 및 에너지소비량 분석

#### 4.1 온열환경 분석

먼저 초기 승온성능(Fig. 4)을 살펴보면, 대부분의 분석자료에서 초기 승온성능은 유사하며, 설정온도 도달시간도 거의 동일하다. 이는 초기 가동시 모든 실에 대한 연속적인 난방모드(continuous heating)에서 고정형/다이내믹 밸런싱 시스템간의 성능 차이가 없었던 것으로 사료된다.

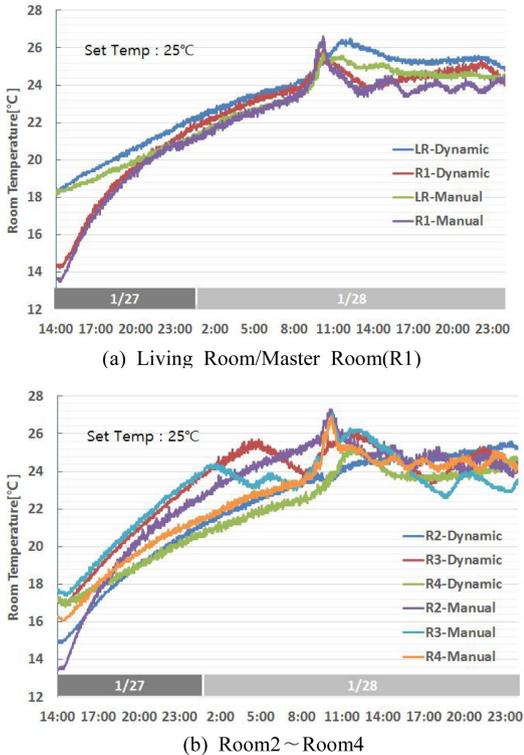


Fig. 4. Room Temperature Variation in Start-up Period (124m<sup>2</sup> Type, All Rooms/Continuous).

거주자들이 주로 사용하는 거실(LR), 안방(R1)에 대한 부분적인 난방모드라면, 다이내믹 밸런싱 방식에는 설계유량보다 더 많은 유량을 공급함으로써, 설정온도 도달시간을 고정형보다 많이 줄일 수 있다. 즉 다이내믹 밸런싱은 실온과 설정온도의 차이가 큰 경우 밸브를 최대 개방하므로 초기 가동시에 기존밸런싱 방식보다 실에 투입되는 열량이 큼을 알 수 있다.

설정온도에 따라 제어되는 실온유지성능(Fig. 5 참조)에 있어서 실내온도 변화폭을 살펴보면, 다이내믹 밸런싱(1.5°C)이 고정형 밸런싱(2.5°C)에 비하여 약 1.0°C 정도 작은 것을 볼 수 있다.

고정형 밸런싱의 경우 설정온도+디퍼런셜에 도달

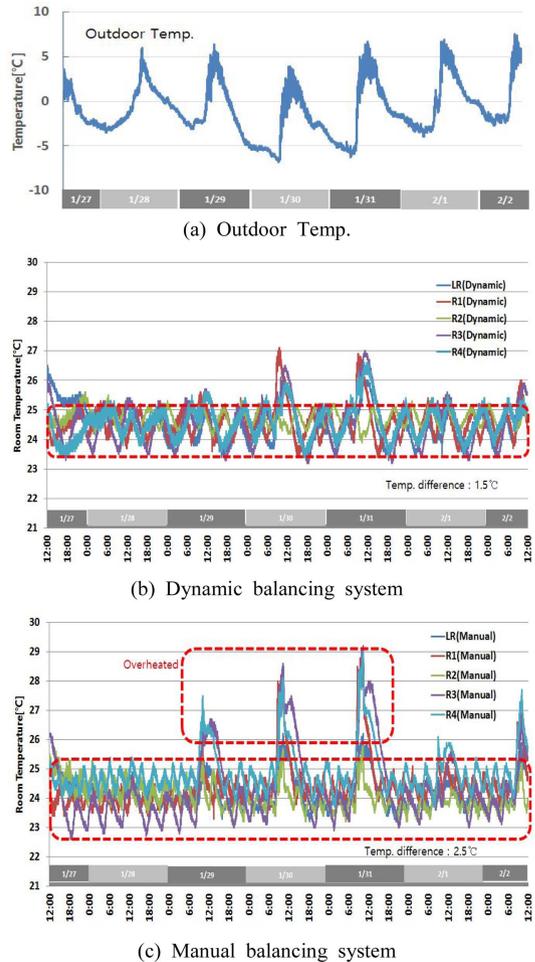


Fig. 5. Room Temperature Variation Controlled around the Set Temperature (124m<sup>2</sup> Type, All Rooms/Continuous heating).

하여 밸브를 닫더라도 열관성에 의한 오버슈팅이 다소 크게 나타나지만, 다이나믹 밸런싱의 경우 설정온도에 근접함에 따라 유량을 감소시키므로 열관성이 완화되어 오버슈팅이 기존 밸런싱 방식에 비해 작아짐을 확인할 수 있다.

그리고 다이나믹 밸런싱 방식은 실온이 설정온도에 근접한 경우 밸브 개도를 감소시키므로, 실에 투입되는 열량도 고정형 밸런싱 방식보다는 작아진다. 이는 에너지소비량 측면에서도 다이나믹 밸런싱 방식의 적용이 에너지 절감으로 나타나게 된다.

기존 고정형 밸런싱 방식에서는 Fig. 5에서와 같이 겨울철 주간 일사 영향에 의한 난방부하변동이 큰 남향실에서 설정실온 위로 과도한 열량 공급에 의한 오버슈팅이 빈번하게 발생한다.

반면 다이나믹 밸런싱 방식은 이러한 부하변동에 빠르게 대응하면서, 오버슈팅을 줄여주는 현상을 보인다. 다이나믹 밸런싱과 함께, 펄스의 폭을 컨트롤 하는 주기 제어방법(PWM, Pulse-width modulation) 등의 실온제어방식을 병행하면 급작스러운 부하변동에 의한 오버슈팅을 대부분 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4.2 에너지소비량 분석

Fig. 6과 Fig. 7의 분석 결과, 고정형 밸런싱 방식보다 다이나믹 밸런싱 방식에서 에너지소비량이 작게 나타남을 볼 수 있다. Fig. 6과 같이 고정형 밸런싱에 비해 다이나믹 밸런싱 방식은 일반적으로 5% 정도의 에너지 절감을 보이고 있다.

절감 비율은 외부조건(외기온도, 일사량 등)에 따라 측정일별로 다르게 나타나지만, 소비량데이터의 추이를 보았을 때 Fig. 7과 같이 부분부하조건이 많은 기간에 다이나믹 밸런싱 방식의 절감율이 10~15% 정도로 크게 나타났다. 84m<sup>2</sup> 세대의 경우 DAQ오류로 인하여 1/31~2/2일까지의 온도를 취득하지 못하였다.

현재의 건물외피 성능수준보다 더 높게 패시브 하우스급으로 창호/벽체 단열이 강화되면, 전체 난방 부하 감소와 더불어 다양한 형태의 부분부하조건이 빈번하게 형성될 것이다. 이러한 조건에서 다이나믹 유량밸런싱 방식의 에너지 절감효과는 더 크게 나타날 것이다. 일반적으로 공동주택의 난방 운전이 부분 부하에서 운영되고 있는 것을 고려하면 불필

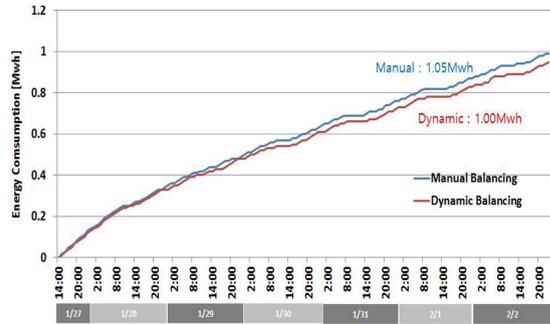


Fig. 6. Energy Consumption in 124m<sup>2</sup> Type House (All Rooms/Continuous heating).

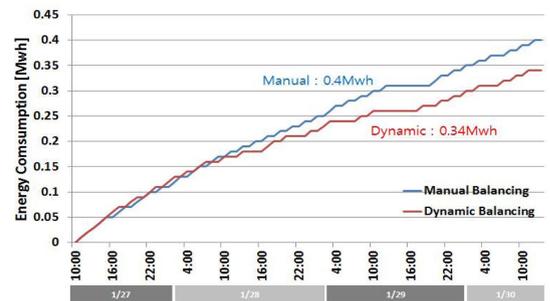


Fig. 7. Energy Consumption in 84m<sup>2</sup> Type House (All Rooms/Continuous heating).

요한 유량 공급을 감소시킴으로써 에너지 절감과 함께, 온수 순환펌프 동력 절약에도 상당한 기여를 할 것으로 사료된다.

정부의 친환경 정책 활성화에 따라 2017년 신축 건물기준으로 에너지 절감률 60% 강화가 예고되어 있다. 이에 대비하여 대형건실사를 중심으로 다이나믹 유량밸런싱 시스템의 설계 반영 움직임이 나타나고 있다.

최근 지역난방열원을 이용하는 공동주택단지가 증가하고 있으며, 공동주택의 세대단위에서도 지열열원의 적절성에 대하여 지속적으로 검토되고 있다[5].

다이나믹 유량밸런싱은 이러한 저에너지 친환경 열원들과 이상적인 조합으로, 최적의 효율을 보여주는 시스템으로 향후 가장 일반적인 온수분배시스템으로 자리 잡을 것으로 예상된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 다이나믹 유량밸런싱의 성능평가

를 위하여, 2개 평형의 실측실험 4세대를 대상으로 고정형 유량밸런싱과 다이내믹 유량밸런싱을 적용하여 동계기간 전반에 걸친 실측을 실시하였다. 다양한 부하조건하에서 실측세대들의 온열환경 및 에너지소비량 실측데이터를 분석 및 평가하였다. 본 논문에서 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 초기 승온성능은 고정형 밸런싱과 다이내믹 밸런싱이 유사하며, 설정온도 도달시간도 거의 동일하다. 다만 부분난방모드에서는 다이내믹 밸런싱 방식이 설계유량보다 더 많은 유량을 공급함으로써, 설정온도 도달시간을 고정형 밸런싱보다 많이 줄일 수 있다.

(2) 다이내믹 밸런싱은 오버슈팅을 완화하여 실온 유지성능을 향상시키고, 그에 따라 과열로 인한 에너지의 추가적인 소비를 방지할 수 있다. 이와 함께, 불필요한 유량 공급 감소로 온수 순환펌프 동력 절약이 가능하다.

(3) 전실난방 운전시 에너지 소비량은 기상상태, 세대면적에 따라 다소 차이가 있으나 다이내믹 밸런싱이 고정형 밸런싱에 비해 5% 정도 에너지 절감을 보인다. 부분 부하시 다이내믹 밸런싱은 고정형 밸런싱에 비해 10~15% 정도 에너지 절감으로 좀 더 효과적인 시스템효율을 나타낸다.

## References

1. Ryu, S. R., Rhee, K. N., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2008, Strategies for flow rate balancing in radiant heating systems, *Building Research & Information*, Vol. 36, No. 6, pp. 625-637.
2. Yeo, M. S. and Lee, K. N., 2008, Flow rate balancing technology in radiant floor heating system, *Journal of the KARSE*, Vol. 25, No. 11, pp. 54-63.
3. Lee, K. N., Cha, M. C., Ryu, S. R., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2011, A study on the performance evaluation of flow rate balancing valve for a hydronic radiant floor heating system, *Journal of Architectural Institute of Korea (Planning & Design)*, Vol. 27, No. 5, pp. 245-252.
4. Hong, S. J., Ryu, S. R., Seok, H. T., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2006, A study on the strategy to maintain optimal flow-rate and pressure of the piping system for individual heating, *Journal of the Korean Housing Association*, Vol. 17, No. 2, pp. 11-18.
5. Chang, Y. S. and Joo, K. N., 2014, Radiant floor heating system using proportional control, *Journal of the KARSE*, Vol. 31, No. 11, pp. 51-58.