

공동주택 기계실 난방설비 운전 개선 연구

A Study on Improved Operation of Apartment Heating System in a Machine Room

서정아(Jeong-Ah Seo)¹, 신영기(Younggy Shin)^{1†}, 김용기(Yong-Ki Kim)², 이태원(Tae-Won Lee)²

¹세종대학교 기계공학과, ²한국건설기술연구원

¹Department of Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul, 05006, Korea

²Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea

(Received October 26, 2016; revision received November 22 2016; Accepted: November 28, 2016)

Abstract This study proposes an idea for energy saving in apartment machine rooms. A conventional district heating system is equipped with constant-flow pumps and bypass valves to regulate pump differential pressure. Each family unit is equipped with a constant-flow on/off valve. This leads to excessive hot water circulation and a high return temperature. To reduce energy loss, this study assumes that each family unit is renovated with a heating valve which regulates the return temperature at 35°C. The hot water supply pump is also replaced with a pump with an inverter to vary flow rate. Expected energy savings is then estimated from field test data. According to the results, pump electricity consumption was reduced by 6,100 kWh for a family unit building over about half a year. The supply temperature can also be lowered by 5°C, which can contribute to a production of electricity of 10.3 kWh/ton of hot water.

Key words PDCV(차압유량 조정밸브), District heating(지역난방), Apartment heating(공동주택 난방), Secondary heating piping(2차측 난방배관), Constant-flow heating valve(정유량 난방 밸브)

† Corresponding author, E-mail: ygshin@sejong.edu

기호설명

c_{pw} : 물의 정압비열 [J/kg°C]
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 m : 질량 [kg]
 MC : 열용량 [W/°C]
 Q : 온수 순환유량 [m³/s]
 s : 엔트로피 [kJ/°C]
 T : 온도 [°C]

그리스 문자

Δp : 펌프 입출구 차압 [kPa]
 ϕ : 엑서지 [kWh/ton]

하첨자

1 : 온수 공급 1차측
2 : 온수 공급 2차측
 s : supply
 r : return

1. 서 론

공동주택 세대별 난방을 위한 온수유량 밸브는 대

부분 정유량 방식이다. 정유량 방식의 목적은 한 건물 내 각 세대에 공급되는 온수 공급 능력을 균등하게 하기 위해 세대별로 허용되는 최대 유량을 제한하는 것이다. 정유량 방식은 난방이 필요할 때는 정유량으로 흐르고 필요가 없으면 공급이 중단되는 방식이라서 각 세대에는 온수가 단속적으로 흐르게 된다. 그러한 개폐(on-off) 제어의 결과 실내 온도는 설정온도 주변에서 부단히 진동하게 된다. 이 외에도 정유량 제어 방식은 난방 열 공급 시에는 최대 허용 유량으로 흐르기 때문에 세대를 통과하는 환수온도가 높아 엑서지 관점에서 효율이 떨어지고 온수를 공급하는 펌프에도 큰 유량 부하와 변동을 초래한다.

Seo et al.⁽¹⁾은 정유량 방식 개선을 위해 외기온도에 기반한 예측제어와 비례제어 방식을 제안하였다. 가까운 시일에 도입될 패시브 주택의 경우 주택 열용량은 크고 요구 난방부하는 작아 바닥난방 시 연속적인 유량 유지와 가변 유량이 필수적인 요구사항이다. 온도 제어 안정화를 위해서는 상대적으로 많은 유량이 흘러야 하므로 난방 공급수의 온도를 현재보다 낮춰야 한다.

개별세대로 온수를 공급하는 기계실에서 외기에 따라 어떤 공급온도로 결정하는 것이 에너지 절감 측면

에서 최적인지에 관해 많은 연구가 수행되었다.⁽²⁻³⁾ 그러나 공급온도에 영향을 미치는 인자는 적용되는 현장의 영향을 많이 받기 때문에 논리적으로 명확한 보편적인 규칙이 부재한 상황이다. 또한 온수 순환 펌프의 소비전력도 중요한 절감대상인데 현재 거의 모든 공동주택 단지 난방설비는 저렴한 비용과 간단한 유지보수 측면에서 일정 차압과 유량 유지가 동시에 가능한 기계식 차압유량조절밸브(PDCV)와 결합한 정유량 펌프를 채용하고 있다(Fig. 1 참조). 이 경우 난방수요가 부족한 간절기의 경우에도 정유량 펌프는 필요 이상의 온수를 공급하므로 잉여 유량은 PDCV를 통해 바이패스 시키고 있는 상황이다. 따라서 불필요한 유량 순환에 의한 열손실 및 펌프 전력 손실이 초래된다.

이러한 낭비를 개선하기 위해서는 바이패스 유량을 최소화할 수 있는 인버터 펌프 방식 도입이 필요하다. 현재는 열량기준 과금제이므로 지역난방공사 입장에서는 공급온도를 낮추어 열병합 발전효율을 높일 필요가 있다. 수요자는 정유량 펌프 방식의 경우 공급온도를 낮추어도 문제가 없지만 만약 펌프 소비전력 절감을 위해 인버터 펌프 방식을 도입한다면 순환유량 감소를 위해 공급온도를 높이는 것이 유리하다. 경제적으로 모순된 공급자와 수요자의 상충을 해결하기 위해서는 서로에게 이익이 될 수 있는 방향으로 국가 차원에서의 설계기준 및 장려책 제시가 필요하다.

본 연구에서는 앞서 언급한 인버터 펌프 방식 도입에 따른 에너지 절감, 세대별 난방방식의 변경 그리고 온수 공급 및 환수온도가 에너지 절감에 미치는 영향을 현장 측정 데이터에 기반하여 정량적인 결과를 제시하고자 한다.

2. 공동주택 현장의 기계실 설비 운용 사례

Fig. 1은 전형적인 공동주택 난방배관 구성을 나타낸다. 기계실(machine room)에서는 난방에너지 공급자가 제공하는 1차측 온수와 열교환기(HX)를 통해 전달된 2차측 온수를 공동주택 각 동에 공급한다. 이 때 펌프는 정유량 방식으로 공급관과 환수관 사이에 배치된 각 세대의 난방제어 설비를 통하여 난방 부하요구

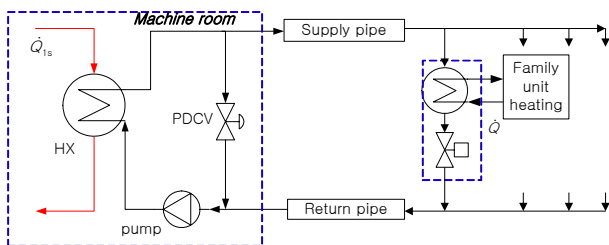
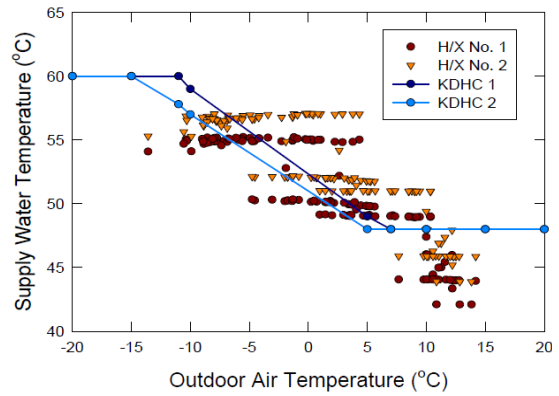
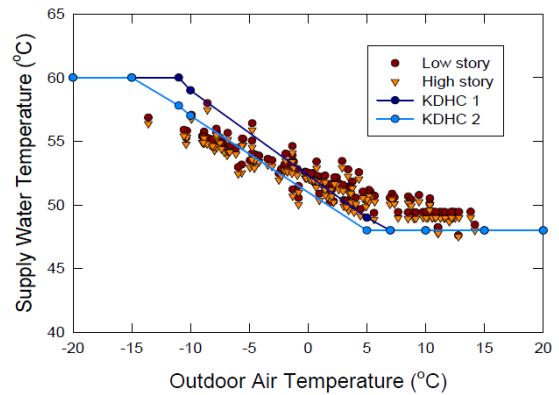


Fig. 1 Schematic of apartment heat supply piping system.



(a)



(b)

Fig. 2 Supply hot water temperature according to outdoor temperature(2010. 12. 11.~2011. 04. 30.) (a) Jukjeon H Apt. (b) Bundang H Apt.

에 따라 필요 유량이 정유량 방식으로 흐르며 이 유량 수요에도 불구하고 펌프 토출유량이 남으면 펌프 입출구 차압 유지를 위해 PDCV를 통해 바이패스 시킨다.

Fig. 2는 두 공동주택단지의 외기온도에 따른 2차측 공급온수 온도 운용 사례이다. 결과에서 보듯이 죽전 H아파트는 열교환기 1, 2(HX No.1, No.2)에 대하여 수동운전, 분당 H아파트는 저층부와 고층부 열교환기(Low story, High story)에 대하여 자동운전이 실시되고 있다. Fig. 2에 외기온도에 대하여 에너지 절감을 위한 공급온도 설정값을 열공급자가 제시하고 있으나(KDHC1, KDHC2) 이 값이 최적인지는 명확하지 않다.

Fig. 3은 2010년 12월 14일부터 170일간 죽전 H 아파트에 공급된 난방열량을 나타낸다. 300세대용 HX1과 150세대용 HX2가 세대수에 비례한 열공급량을 보여주고 있다. Fig. 4는 같은 기간 동안 HX1용 순환펌프의 유량 및 두 열교환기의 차압 거동을 나타낸다. 결과와 같이 펌프 차압은 170일의 측정기간 중 비교적 일정하게 유지되고 그 결과 펌프 순환유량도 일정한

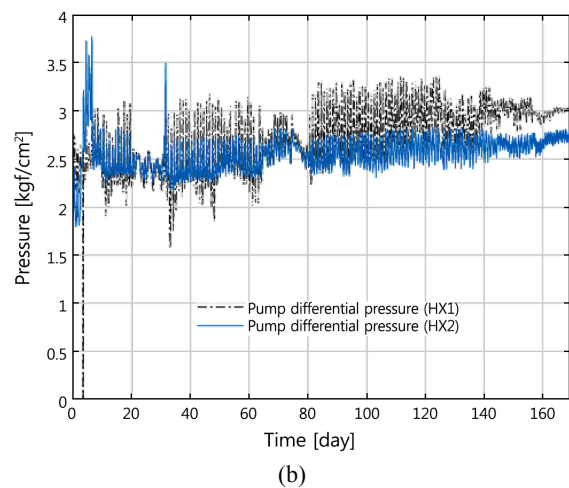
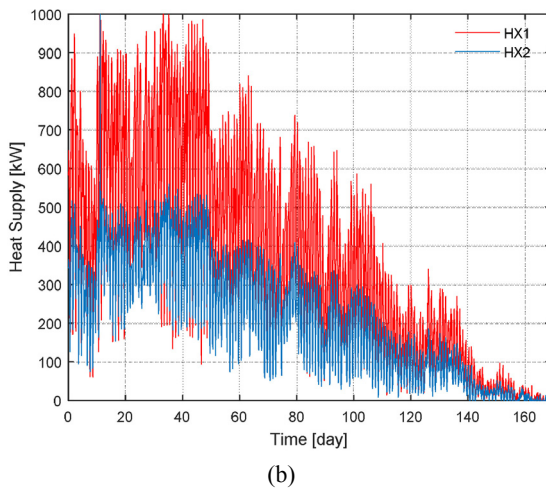
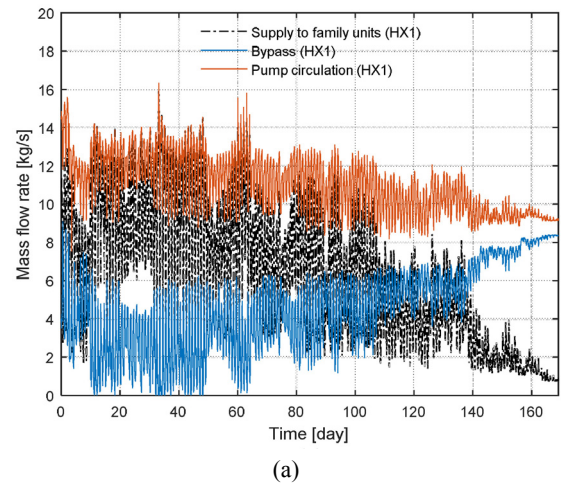
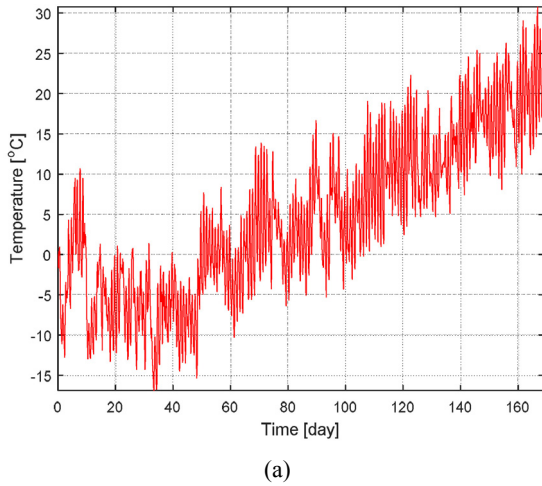


Fig. 3 Jukjeon H Apt.(2010. 12. 11~2011. 04. 30.)
(a) Outdoor temperature (b) heat sply.

Fig. 4 (a) HX1 hot water flows (b) differential pressure of HX1 and HX2.

편이다. 난방수요가 큰 겨울에는 바이패스 유량이 작으나 간절기로 이동해갈수록 난방수요가 없어 펌프 유량이 세대에 공급되지 못한 채 대부분 바이패스 되어 운전 전력이 낭비되고 있음을 알 수 있다.

3. 공동주택 기계실 운전 개선 방안

운용 사례에서 본 바와 같은 기계실 온수 공급시스템의 에너지 낭비를 줄이기 위해서는 두 가지 측면이 동시에 개선되어야 한다. 운용 실태의 문제점은 첫째, 정유량 펌프 차압 제어를 위한 불필요한 바이패스 유량의 발생이고 둘째는 세대별 정유량 난방 제어 방식이다. 세대 간 유량 배분을 위한 세대별 정유량 밸브는 개폐가 on/off 방식으로 이루어지는 관계로 세대별 부하에 비례한 온수 유량이 조절되지 않아 높은 온도로 환수되고 이는 기계실까지의 환수 배관에서 열손실

을 증대시킨다. 따라서 세대별 난방밸브는 Lee et al.⁽⁴⁾이 제안한 환수온도 일정제어 방식으로 하되 설정환수온도는 35°C로 고정한다고 가정한다. 정유량 펌프의 전력낭비를 줄이기 위해 기계실 바이패스 관로를 제거하고 인버터 펌프로 대체하고 인버터 주파수는 일정 차압을 유지하도록 제어된다고 가정한다.

Fig. 5는 실제 운전과 동일 열량을 공급하기 위한 공급/환수 온도 및 순환 유량의 비교를 나타낸다. 결과에서 보듯이 개선안은 환수온도의 저하로 인해 공급온도도 5°C 정도가 감소하여 배관 열손실을 줄이고 1차측과의 열교환 온도도 낮출 수 있다. 유량의 경우도 필요한 유량으로 조절되므로 전력저감 효과를 기대할 수 있다. 5°C 감소로 인해 기계실과 세대 동 사이의 공급 배관에서의 열손실 감소량이 얼마인지 정확한 산정은 불확실도가 높으므로 보수적으로 접근하여 펌프 전력 소비량 감소만 정량적으로 계산해 보기로 한다. Fig. 6

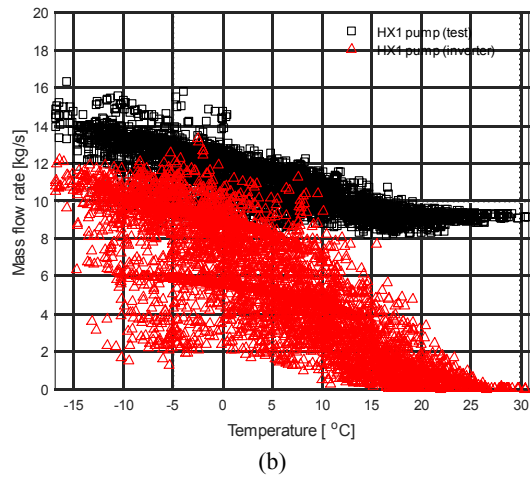
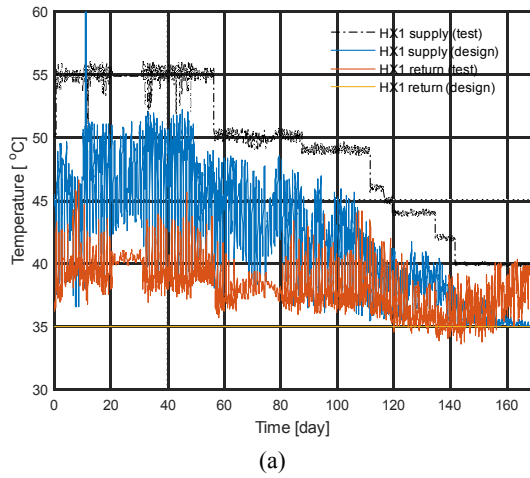


Fig. 5 Comparison of constant flow pump(test) and variable flow pump(simulation) (a) supply and return temperatures (b) mass flow rate.

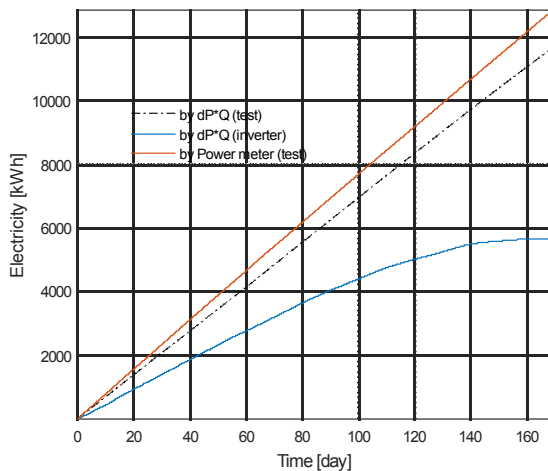


Fig. 6 Comparison of cumulative electricity consumption.

은 전력소비 계산결과이다. 물은 비압축성이므로 다음 식에 의해 측정된 펌프 차압과 유량의 곱인 기계적 소비동력이 거의 정확하게 계산된다.

$$Mechanical\ Power[kW] = \Delta p \times Q \quad (1)$$

위 값을 모터 효율로 나누면 펌프의 소비동력이 된다. Fig. 6에는 측정된 펌프 동력, 식(1)에 의한 기계적 동력의 누적 적산이 표시되어 있다. 두 값의 상관성은 90%이므로 이 값은 모터효율에 해당한다. 이 관계는 인터버 펌프에도 적용할 수 있으므로 식(1)과 동일 차압 그리고 Fig. 5(b)의 인버터 펌프 유량에 대한 예상 전력 적산을 Fig. 6과 같이 도시할 수 있다. 결과에 따르면 인버터에 의한 소비동력은 170일간의 운전기간 동안 정유량 펌프 소비동력의 48.3% 수준이다. 이 기간 동안 인버터에 의한 절감전력은 6,100 kWh로서 주택용 고압전력 요금을 109 원/kWh로 가정하면⁽⁵⁾ 665 천 원에 해당한다.

4. 에너지 공급자 절감 효과

세대별 환수온도가 35°C로 낮아지게 되면 기계실 열교환기 1차측의 공급온도나 유량을 줄일 수 있는 에너지 절감효과가 있다. 한국지역난방공사의 열사용시 설기준⁽⁶⁾에 규정된 기계실 열교환설비의 1차측 설계온도 및 압력기준의 내용에 의하면 공급온도와 환수온도는 각각 115°C, 55°C이다. Fig. 5의 죽전 H아파트 운전 데이터에 의하면 겨울철 2차측 공급 및 환수온도는 55°C와 40°C이다. 겨울철 2차측 유량도 알고 있으므로 에너지 보존에 의해 1차측 공급유량을 계산할 수 있다.

이 결과를 이용하여 기계실 열교환기 HX1의 유용도(effectiveness)를 계산한 결과는 0.8이다. 이 유용도를

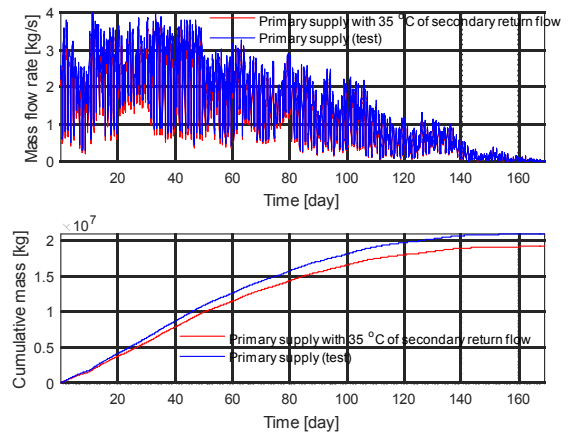


Fig. 7 Comparison of instantaneous mass flow rate and cumulative mass of hot water at the primary side.

적용하여 Fig. 3의 실제 공급열량을 공급하기 위한 유량과 실제 측정 유량의 비교는 Fig. 7과 같다. 그림에 의하면 절감되는 공급유량의 비율은 약 8.5%이다.

에너지 공급자가 수요자에게 공급하는 1차측 배관망의 순환유량을 일정하게 유지한다고 가정하면 앞서 계산한 유량절감 대신 공급온도를 낮추는 결과를 가져올 것이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 개선안에서의 2차측 공급 및 환수온도는 각각 50℃, 35℃이므로 여기에 열교환기의 유용도 0.8을 적용한 다음의 구속조건을 본다.

$$0.8 = \frac{T_{s1} - T_{r1}}{T_{s1} - 35} \quad (2)$$

$$m_1 c_{pw} (T_{s1} - T_{r1}) = m_2 c_{pw} (50 - 35) \quad (3)$$

위 식을 계산한 결과 제안되는 1차측 공급 및 환수온도는 각각 110℃, 50℃이다. 공급온도를 이와 같이 5℃를 낮추는 경우 공급 온수 1톤(ton)당 회수할 수 있는 엑서지(Exergy)량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= m(h_{new} - h_{old} - T_0(s_{new} - s_{old})) \\ &= m c_{pw} (T_{new} - T_{old} - T_0 \ln \left(\frac{T_{new}}{T_{old}} \right)) \\ &= 10.3 [kWh/ton] \end{aligned}$$

엑서지는 열원에서 전력으로 변환할 수 있는 잠재량이다. 이외에도 평균 5℃도의 급수 및 환수온도 저하로 인한 지역난방 배관망의 열손실 절감량도 막대할 것이다.

5. 결 론

국내 공동주택에서 주로 사용하고 있는 세대별 정유량 난방 밸브는 유량을 단속적으로 제어하는 결과 환수온도가 높아져 열손실 및 엑서지 효율 저하를 초래한다. 또한 정유량 방식이라 실내온도제어도 개폐(on-off) 제어로만 가능하여 실내온도도 설정값 주변을 헛돌하는 현상을 피할 수 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 열환경 동적 모델을 수행하고 이를 근거로 연속제어 알고리즘을 설계하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기계실의 정유량 온수 순환펌프는 난방 부하가 적은 간절기에 특히 과도한 순환유량에 의한 전력 낭비가 심하다.
- (2) 세대별 정유량 난방 밸브의 개폐 개도 특성과 기계실 온수 바이패스 유량으로 인한 기계실 환수온도의 상승으로 추가적인 열손실이 크다.
- (3) 세대별 환수온도 제어와 기계실 인버터 펌프의 적용으로 펌프 소비전력을 50% 이상 줄일 수 있으며 공급자도 공급온도를 낮춰 온수 1톤당 10.3 kWh의 추가 전력 생산이 가능할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(과제번호 : 2016-0117)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Seo, J. A., Shin, Y., Kim, Y. K., and Lee, T. W., 2016, A Study on Improved Heating Performance of an Apartment Housing Unit, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 2, pp. 69-74.
2. Hong, S. K. and Cho, S. H., 2015, The Comparison Study on Heating Supply Energy and Usage Patterns by Supplying Water Temperature Control, Proceedings of SAREK 2015 Winter Conference, 15-W-074, pp. 266-274.
3. Kim, Y. K., Yoon, S. M., and Lee, T. W., 2014, Improvement of a Standard Operating Mode for User-side Heating Supply Temperature in District Heating System, Proceedings of SAREK 2014 Summer Conference, 14-S-108, pp. 461-464.
4. Lee, T. W., Kim, Y. K., and Ho, J. W., 2009, An Experimental Study on the Optimal Control Methods for the Radiant Floor Heating Panel, Proceedings of SAREK 2009 Winter Conference, 09-W-072, pp. 419-424.
5. KEPCO, 2016, <http://cyber.kepco.co.kr/ckeeco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00102.jsp>.
6. Korea District Heating Corp., 2015, Hot water heating facility standard, p. 18.