

# 대학시설에 대한 열원기기 대수 운전 제어의 에너지 절약 효과

이 제 현\*, 야스노리 아카시\*\*, 금 중 수\*\*, 김 동 규\*\*

규슈대학교 인간 환경 공학부\*, 부경대학교 냉동 공조 공학과\*\*

## The energy-saving effect by controlling the number of operating chillers in university facility

Je-Hyeon Lee\*, Yasunori AKASHI\*\*, Jong-Soo Kum\*\*, Dong-Gyu Kim\*\*

\*Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, JAPAN

\*\*Graduate School of Refrigeration & Air conditioning Engineering, Pukyong National University, Busan 608-738, Korea

**ABSTRACT:** This paper proposes the new operation control method that let heat source system stop and circulate only hot water at low load, and verified the introduction effect. At first, we constructed simulation model of heat source system and examined the proposing method by using simulation model. At last, we examined the introduction effect of proposing method with actual building. As a result, the primary energy consumption of heat source system was reduced by about 13%.

**Key words :** Energy saving(에너지 절약), Heat source system(열원 시스템), Simulation(시뮬레이션), Experiment(실험)

### 1. 서론

열원기기의 운전 대수 제어는 종래 1대 운전을 기본으로 건물 부하에 따라 제어 되고 있다. 그러나 공조 시스템의 운전 후 성능 검증을 한 결과 열원기기 1대 냉난방 능력의 50%에도 미치지 못하는 건물 부하가 발생하는 빈도가 매우 높았다. 특히 본 연구에서 대상으로 하는 대학 시설의 경우 교실이나 연구실 등이 이용되지 않는 시간대에는 초저부하가 발생하고 있다. 본 연구에서는 초저부하 시에 열원기기를 정지시켜 냉운수만을 순환시키는 새로운 열원기기 운전 대수 제어법(이하, 열원기기 0대 운전 제어)을 제안한다.

본 연구에서는 대상으로 하는 열원 시스템의 시뮬레이션 모델을 구축하고 이 모델을 이용하여 겨울철 난방 시에 있어서의 열원기기 0대 운전

제어에 의한 에너지 절약 효과를 검토하였다. 또한 실제 대학의 열원 시스템에 적용하여 열원 기기 0대 운전 제어의 도입 효과를 확인 하였다.

### 2. 열원기기 0대 운전 제어 방법

본 연구에서 제안한 열원기기 0대 운전 제어의 flow chart를 Fig.1에 나타낸다.

열원기기의 운전 대수는 건물 부하에 의해 제어되며 열원기기의 출입구 냉운수 온도에 의해 운전 대수를 보정한다(종래 운전법). 여기 열원기기 1대가 운전되고 저부하인 동시에 환수온도가  $T_r$ ℃ 이상인 경우 열원기기 0대 운전이 실시된다. 0대 운전 실행 중에 송수 온도가  $T_s$ ℃ 이하가 되면 1대 운전으로 복귀한다. 저부하 설정치  $Q_z$ 는 설치되어 있는 열원기기의 성능에 의해 결

정되며 송수·환수 설정 온도  $T_r$ ,  $T_s$ 는 건물 측에 영향을 주지 않는 범위에서 결정해야 한다. 여기에서는 공조시스템의 운전 데이터를 분석하여  $Q_z$ 는 열원기기 부분 부하율의 20%,  $T_r$ 은 열원기기 출구 냉온수 설정 온도의 -2 K,  $T_s$ 는 열원기기 출구 냉온수 설정 온도의 -4 K로 설정하였다.

### 3. 열원 시스템의 개요

대상으로 하는 열원 시스템을 Fig.2에 기기 사양을 Table.1에 나타낸다. 정격 난방 능력이 641 USRT인 가스 흡수식 냉온수기 3대(R1, R2, R3)가 설치되어 있으며 각각의 가스 흡수식 냉온수기에 냉온수 펌프(PCD1, PCD2, PCD3)가 설치되어 있다.

### 4. 열원 시스템 시뮬레이션의 구축

대상으로 하는 열원 시스템의 기기 모델(가스 흡수식 냉온수기, 냉온수 펌프)과 제어 모델(열원기기 운전 대수 제어)를 작성하고 작성한 모델을 조합하여 열원 시스템을 모델화 하였다.

#### 4.1 가스 흡수식 냉온수기의 모델화와 검증

2007년 11월 1일부터 2008년 3월 31일까지의 운전 데이터와 메이커 제공의 성능 곡선을 Fig.3과 Fig.4에 비교하였다. 결과를 보면 열원기기가 기동하여 약 10분간(기동시)은 연속 운전 시보다 효율이 떨어지는 것(Fig.3)과 부분 부하율이 20% 이하(저부하)일 경우 COP가 저하하는 것을 확인할 수 있다(Fig.4). 따라서 현재의 흡수식 냉온수기의 거동을 재현하기 위해서는 기동시, 연속 운전시, 저부하시 각각에 대응하는 성능 곡선이 필요하다라는 것을 알 수 있다.

가스 흡수식 냉온수기의 모델 식을 식(1)에 나타낸다.

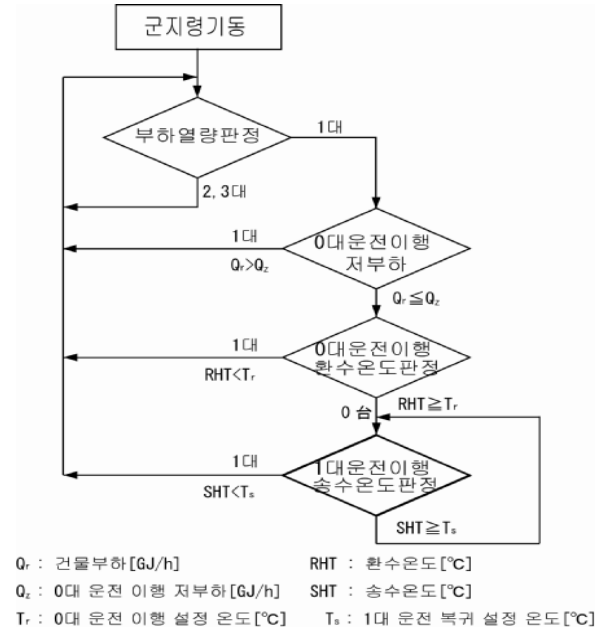


Fig. 1 열원기기 대수 제어 Flow Chart

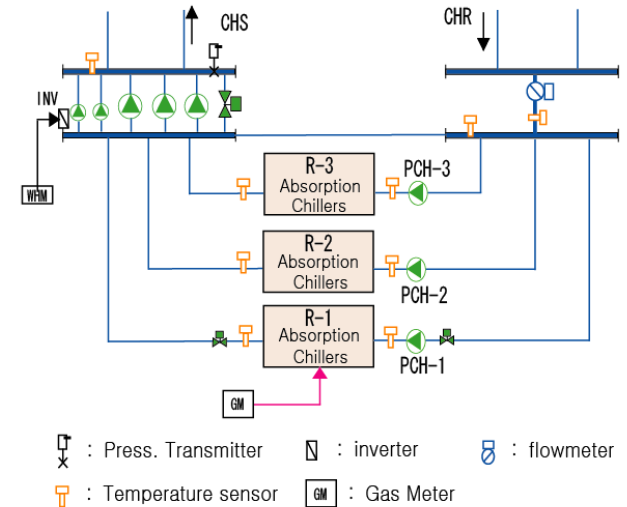


Fig. 2 열원 시스템

Table 1 열원 시스템 사양

기기명	사 양
가스 흡수식 냉동기	난방능력 641USRT, 온수유량 5800L/m, 난방 정격 가스 소비량 209Nm <sup>3</sup> /h, 온수 입구 온도 54.4℃, 온수 출구 온도 60.0℃
냉온수 펌프	정격유량 5800L/m, 정격축 동력 26kW, 정격양정 15m, 정격회전수 1800rpm

$$r_g = a + br_q \quad (1)$$

$r_g$  : Gas consumption rate [-]  
 $r_q$  : Partial load rate [-]  
 $a, b$  : model parameter [-]

가스 흡수식 냉온수기 모델은 부분 부하율로부터 가스 소비율을 계산한다. 모델의 파라메타  $a, b$ 는 2007년 11월 1일부터 2008년 3월 31일까지의 실측 데이터를 이용하여 최소 자승법에 의해 계산하였다. 계산 결과를 Table.2에 나타낸다.

실측치와 추정치의 비교를 Fig.5에 모델의 추정 오차를 Table.3에 나타낸다. 모델의 추정 오차는 최대 평균 오차가 0.04%(저부하시), 최대 자승 평균 오차가 9.9%(저부하시)로 충분히 정확도가 높다고 말할 수 있다.

### 5. 시뮬레이션에 의한 열원기기 0대 운전 제어의 도입 효과

열원기기 0대 운전 제어를 실제의 열원 시스템에 도입하기에 앞서 시뮬레이션을 이용하여 에너지 절약 효과를 추정하였다. 시뮬레이션에는 2008년 11월 15일부터 11월 17일까지의 실측 데이터를 이용하였다. 시뮬레이션의 입력치는 건물 부하이며 출력치는 가스 흡수식 냉온수기의 가스 소비량과 생성열량, 냉온수 펌프의 소비 전력이다.

종래 운전을 실시했을 경우와 열원기기 0대 운전을 실시했을 경우의 가스 소비량과 생성열량의 비교를 Fig.6~Fig.8에 그 내역을 Table.4에 나타낸다.

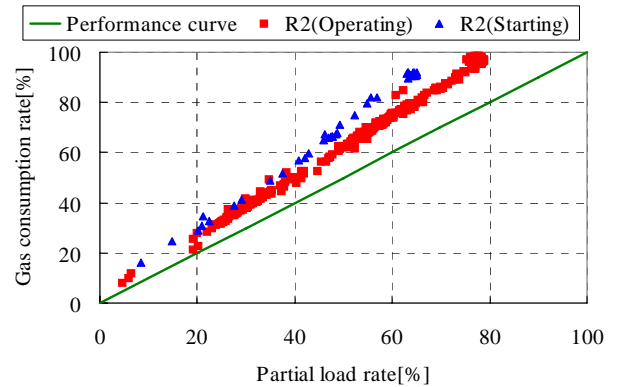


Fig. 3 성능곡선과 실측치 비교(R2)

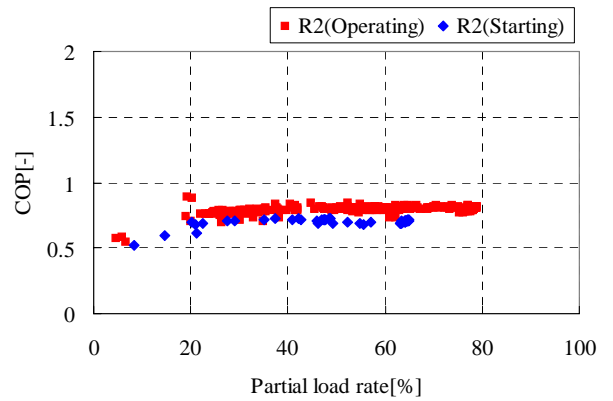


Fig. 4 COP와 부분 부하율의 관계(R2)

Table 2 가스 흡수식 냉온수기 모델의 파라메타

열원기기	a	b
R1(연속운전시)	1.194691	-7.56786
R1(기동시)	1.306656	-2.20171
R2(연속운전시)	1.219631	1.690776
R2(기동시)	1.45504	-2.02637
R3(연속운전시)	1.235227	-0.29354
R3(기동시)	1.358508	2.980013
저부하시	0.955279	7.287675

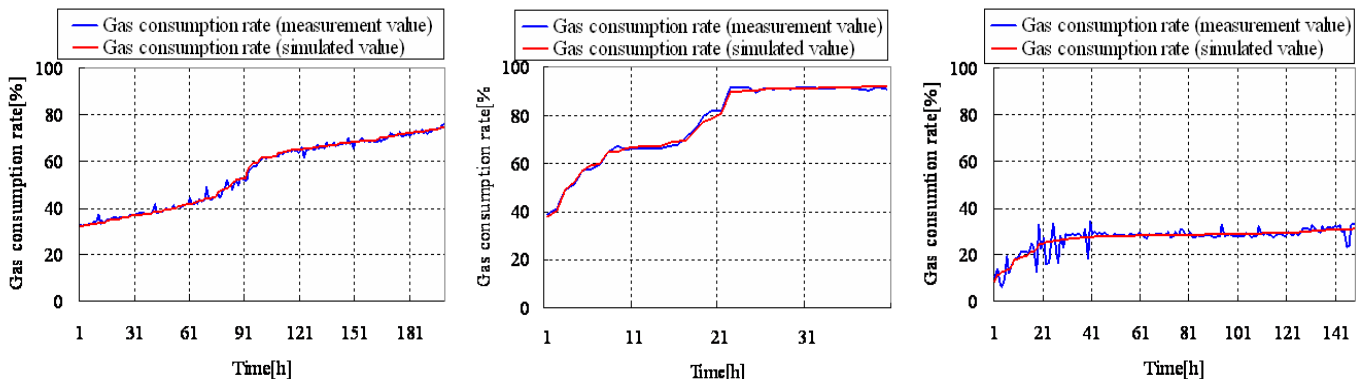


Fig. 5 가스 흡수식 냉온수기 모델의 검증결과(R2)(연속운전시, 기동시, 저부하시)

Table 3 가스흡수식 냉온수기 모델의 추정오차

열원기기	평균오차[%]	이승 오차[%]
R1(연속운전시)	-0.00001	2.2
R1(기동시)	0.00003	1.3
R2(연속운전시)	0.00005	1.6
R2(기동시)	-0.00003	1.5
R3(연속운전시)	-0.00005	1.8
R3(기동시)	-0.00001	3.4
저부하시	0.04039	9.9

가스 흡수식 냉온수기의 효율이 떨어지는 저부하시에 0대 운전을 실시하는 것으로 가스 흡수식 냉온수기의 가스 소비량은 최대 33.1%(11월 16일) 가스 흡수식 냉온수기의 전력 소비량과 냉온수 펌프의 전력 소비량은 최대 62.8%(11월 16일) 삭감 되었다(Table.4). 그러나 현재의 열원 시스템 모델은 송수·환수 헤더와 배관의 보유수를 고려하고 있지 않기 때문에 열원 기기가 0대

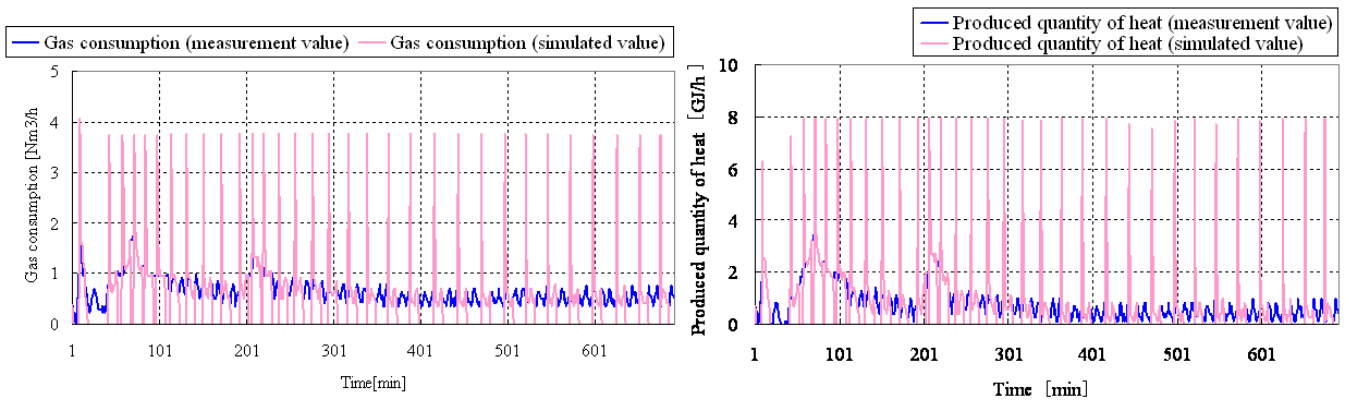


Fig. 6 열원기기 0대운전 시뮬레이션 결과 (11월 15일)

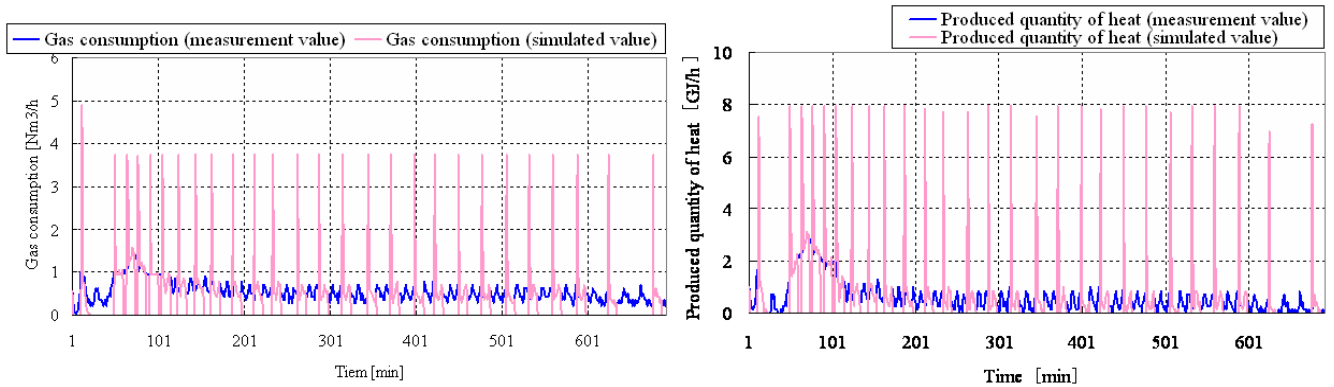


Fig. 7 열원기기 0대운전 시뮬레이션 결과 (11월 16일)

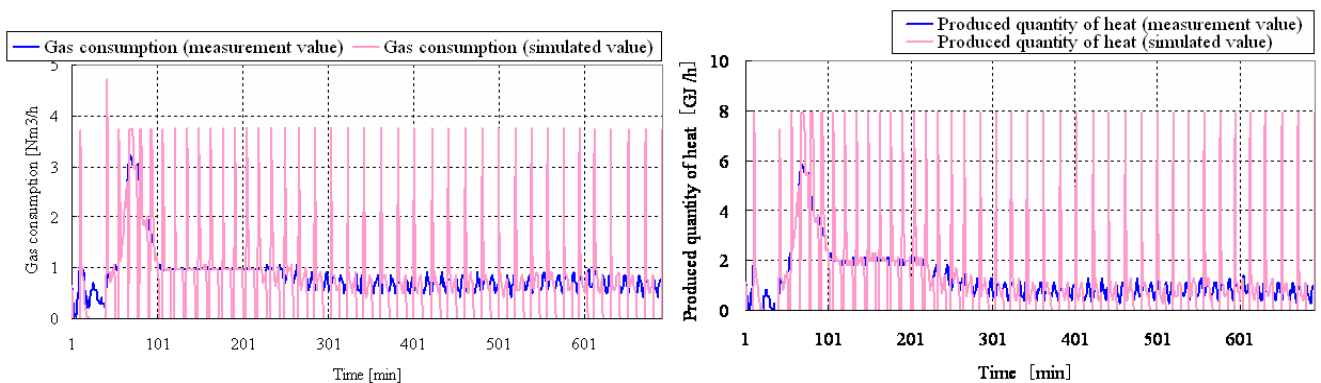


Fig. 8 열원기기 0대운전 시뮬레이션 결과 (11월 17일)

Table 4 시물레이션에 의한 열원기기 0대 운전 추정효과

날짜	항목	종래운전	0대운전	%
11월	가스소비량[Nm <sup>3</sup> ]	453.4	338.6	-25.3
	생산열량[GJ]	558.2	554.3	-0.7
15일	운전시간[분]	691.0	321.0	53.3
	가스소비량[Nm <sup>3</sup> ]	384.6	257.2	-33.1
11월	생산열량[GJ]	404.4	404.5	0.03
	운전시간[분]	691.0	257.0	-62.8
16일	가스소비량[Nm <sup>3</sup> ]	588.6	498.6	-15.3
	생산열량[GJ]	879.6	879.1	-0.1
11월	운전시간[분]	691.0	391.0	-43.4

운전되는 시간이 짧을 뿐 아니라 열원기기의 ON-OFF도 빈번히 발생하고 있다. 보유수를 고려하면 열원기기가 연속으로 0대 운전되는 시간을 길게 유지할 수 있어 보다 높은 에너지 절약 효과가 기대된다.

## 6. 실제운전에 의한 열원기기 0대 운전 제어의 도입 효과

실제 대학의 열원 시스템에 열원기기 0대 운전 제어를 도입한 경우의 에너지 절약 효과를 실측치에 근거하여 검증하였다. 0대 운전 제어를 실시한 기간은 2009년 1월 1일부터 27일까지이다. 0대 운전 제어에 의한 에너지 절약 효과의 검증을 위해 종래 운전으로 2008년 1월 1일부터 27일까지의 실측 데이터를 이용하여 비교 하였다.

월 적산 1차 에너지 소비량을 Fig.9에 건물부하와 단위 부하 당 가스 소비량의 관계를 Fig.10에 그 내역을 Table.5에 나타낸다. 2009년 1월은 2008년 1월에 비해 가스 흡수식 냉온수기의 가스 소비량은 약 12.6%, 냉온수 펌프의 전력 소비량은 약 30.5% 삭감되었으며 송수 펌프의 전력 소비량은 약 4.3%증가하였다(Fig.9). 결과적으로 월 적산 1차 에너지 소비량은 약 12.4% 삭감되었다. 송수 펌프 전력 소비량의 증가는 0대 운전 제어의 실시로 인해 송수 온도가 낮아져 송수 유량이 증가하였기 때문이라 생각된다.

그리고 건물부하와 단위 부하 당 가스 소비량의 관계를 보면(Fig.10) 건물부하가 약 4 GJ/h 이하의 저부하시에 2008년에는 부하가 적을수록 단

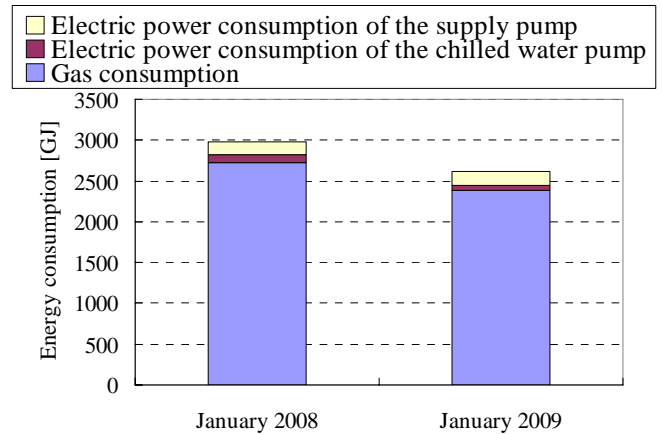


Fig. 9 월적산 1차 에너지 소비량 비교

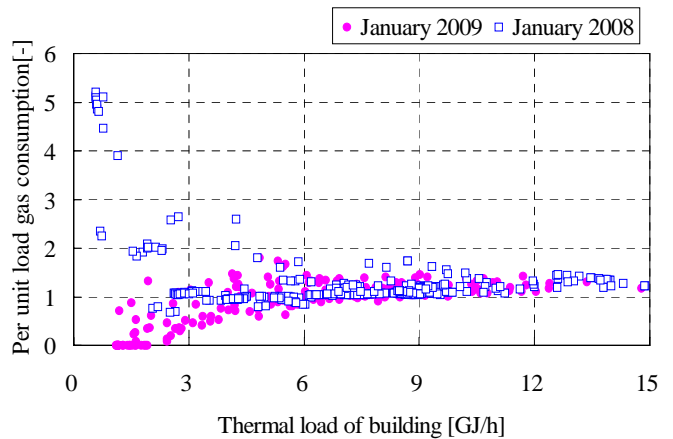


Fig. 10 건물부하와 단위 부하당 가스 소비량의 관계

Table 5 실장에 의한 열원기기 0대 운전결과

	2009년	2008년	%
가스 소비량[GJ]	2381.4	2725.5	-12.6
냉온수 펌프 전력 소비량[GJ]	70.7	101.7	-30.5
송수 펌프 전력 소비량[GJ]	159.1	152.5	4.3
열원 시스템 에너지 소비량[GJ]	2611.2	2979.7	-12.4
건물 부하[GJ]	2218.4	2318.8	-4.4
열원기기 COP[-]	0.93	0.85	8.7

위 부하 당 가스 소비량이 증가하는 한편 2009년에는 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다. 0대 운전 제어를 실시함으로써 저부하시의 비효율적인 운전을 억제할 수 있었기 때문이라 생각한다. 그 결과 2009년 1월은 2008년 1월에 비해 열원기

기 COP가 약 8.7% 향상 되었다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 대상 열원 시스템의 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션에 의해 제안한 열원 기기 0대 운전 제어의 에너지 절약 효과에 대해 검토하였다. 또 겨울철에 실제 대학 열원 시스템에 적용하여 열원기기 0대 운전 제어의 에너지 절약 효과를 실측치에 근거해 검증하였다. 열원 기기 0대 운전 제어의 도입으로 인해 저부하시의 비효율적인 운전을 억제할 수 있어 월 적산 1차 에너지 소비량이 약 12.4%감되는 것을 확인하였다. 그러나 현재의 시뮬레이션에 의한 검토는 열원 시스템만을 대상으로 하고 있으며 실제운전에 의한 검증에서도 실내 측의 실측 데이터를 취득할 수 없어 열원 기기 0대 운전 제어가 실내 측에 미치는 영향에 대해서는 확인되지 않은 문제점이 남아있어서 앞으로의 검토가 필요하다.