

# 대형마트의 조명 및 냉방 에너지 분석 및 에너지 절감 연구

배 창 환, 김 영 일<sup>\*\*</sup>, 정 광 섭<sup>\*</sup>  
지멘스(주), \*서울과학기술대학교 건축학부

## Analysis of Energy Consumption and Research on Energy Saving of Lighting and Cooling Energy of a Superstore

Chang-Hwan Bae, Young Il Kim<sup>\*\*</sup>, Kwang-Seop Chung<sup>\*</sup>  
Siemens, 726 Yeoksam-Dong, Kangnam-Gu, Seoul 135-080, Korea

<sup>\*</sup>School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received August 6, 2010; revision received April 12, 2011)

**ABSTRACT:** This study analyzes the current and after retrofit energy consumption of lighting and cooling system of a superstore in Seoul. Energy consumption data were measured and collected with a measurement system. Annual energy consumption was calculated using TRNSYS program. After replacing lighting and chiller with higher efficiencies, annual TOE consumption decreased from 1,066 before retrofit to 832 after retrofit, saving 234 TOE (22%) in total. Similarly, total annual TCO<sub>2</sub> consumption decreased from 2,214 to 1,721, reducing 493 TCO<sub>2</sub> (22%) during this pilot study.

**Key words:** Superstore(대형마트), Energy consumption(에너지소비), Measurement(측정), Chiller(냉동기), Lighting(조명), Retrofit(개보수), TOE(석유환산톤), TCO<sub>2</sub>(CO<sub>2</sub>환산톤), TRNSYS(Transient System Simulation Program, 동특성 해석 프로그램)

### 기 호 설 명

$C_p$  : 정압비열 [kJ/(kg · °C)]  
 $COP$  : 성능계수 [-]  
 $G$  : 유량 [m<sup>3</sup>/h]  
 $Q$  : 열전달량 [kW]  
 $t$  : 온도 [°C]  
 $W$  : 동력 [kW]

### 그리스 문자

$\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

### 1. 서 론

산업시설의 증가와 과학기술의 발달로 대량 생산·대량 소비의 산업사회가 정착되면서, 에너지 사용량이 급격히 증가하고 있으며, 오존층 파괴, 기상 이변 등의 발생으로 인류는 새로운 세기와 함께 지구환경 위기에 직면하게 되었다. 특히 선진국의 경제활동의 확대와 개발도상국의 급격한 산업화가 대기오염, 폐기물을 대량으로 발생시키며 토양오염 및 각종 유해물질 발생 등 다양한 환경문제를 야기시키고 있다.<sup>(1)</sup>

우리나라의 서비스업은 필요 에너지의 79%를 전력에서 공급받고 있고, 산업전체로 보면 전력소모 비중이 24%에 달하고 있다. 또 서비스 업종 별로 보면 백화점 36%, 호텔 35%, 할인점 20%로, 이 업종들에 대하여 에너지 절감 노력이 요구된다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557; fax: +82-2-974-1480  
E-mail address: yikim@seoultech.ac.kr

서울시의 경우, 서울환경을 건전하고 지속가능한 도시로 만들기 위하여 서울 친환경 에너지 선언을 발표하였으며 2020년까지 에너지 이용 15%, 온실가스 25%를 줄이는 목표와 그린빌딩을 추구하는 서울 친환경 건축기준을 시행하고 있다. 전체 에너지사용량의 97%를 수입하고 있는 우리나라는 에너지시장에 매우 민감하며 유가 상승에 따라 에너지 비용이 가파르게 상승하고 있다.

국내에서 소비되는 전체 에너지량 중 건물부분이 차지하는 비중은 매우 크며 증가 추세가 있기 때문에, 기존 건물 대 신축건물의 비율이나 건물의 긴생애기간 등을 감안할 때, 건물에서의 에너지 절약이 효과적으로 이루어지기 위해서는 체계적이고 종합적인 에너지 관리가 필요하다.<sup>(2, 3)</sup>

해외에서는 일본의 패밀리마트가 친환경 매장을 개점하고, 유럽의 유통매장인 Merkur도 30%의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출을 줄여 나가겠다고 하고 있으며, 미국의 월마트는 기후별로 다른 고효율 버전을 만들어 추진하고 있다.<sup>(4, 5)</sup>

국내의 대형매장들도 친환경 녹색 점포를 도입하고 에너지 사용량을 획기적으로 줄여 나가고 있다. 이에 본 논문에서는 대형마트의 조명 및 냉방 에너지 사용량을 분석하고, 에너지 절감을 위한 시설 개선을 통하여 에너지를 절감하고, 온실가스 발생량을 줄이는 방안을 연구한다.

## 2. 건물 개요 및 에너지 절약 항목

### 2.1 건물 개요

본 연구에서는 서울에 위치한 대형마트의 에너지 사용량을 분석하고 절감하기 위하여 계측장비를 이용하여 냉방 및 조명 설비의 에너지 사용량을 측정하였고, 그 결과를 토대로 개선 사항을 적용한 후 에너지 사용량을 재측정하였다. 연구 대상의 건물 현황은 Table 1과 같다.

다음은 교체 대상인 흡수식 냉온수기와 설치 대상인 터보 냉동기와 LED 램프에 대하여 설명한다.

### 2.2 흡수식 냉온수기

흡수식 냉동기는 냉매의 압축에 소요되는 동력을 감소시키기 위하여 증발기에서 기화된 냉매를 흡수기에서 흡수제에 흡수시킨 후 액체 상태로 가압한

Table 1 Summary of the building

Area (m <sup>2</sup> )	Land	68,910
	Building	17,070
	Total floor	39,270
Floor	3 F above, 1 F below	
Usage	Commercial superstore	
Completion	2004	
Major equipments	Gas fired absorption chiller 630 USRT × 3 EA Vacuum type boiler 150,000 kcal/h × 2 EA Electric capacity 4,000 kVA	

다. 가압된 냉매는 재생기에서 가열되어 흡수제로부터 분리되는데 이 때 열원으로 사용되는 가스의 단가가 상승하고 있어 운전비 상승의 원인이 되고 있다. 또한 설치된 흡수식 냉동기는 1중 효율이고 노후화로 효율이 낮다. 냉동의 경우 압축에 소요되는 동력은 무시하므로 성능계수(COP)는 다음 식과 같이 계산된다. 여기서  $Q_{evap}$ 는 증발기 냉방용량,  $Q_{gen}$ 는 재생기의 가열용량을 나타낸다.

$$COP = \frac{Q_{evap}}{Q_{gen}} \quad (1)$$

### 2.3 터보냉동기

터보냉동기에서는 증발기에서 기화된 냉매가 압축기에서 압축된 후 응축기에서 열을 방출하고, 압력강하장치를 거쳐 다시 증발기로 되돌아가는 순환 과정을 되풀이 한다. 기술의 발달로 최근 터보냉동기는 성능계수가 지속적으로 상승하고 있다. 터보냉동기의 성능계수는 다음 식과 같이 계산된다.

$$Q_{evap} = \rho G C_p (t_m - t_{out}) \quad (2)$$

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W} \quad (3)$$

### 2.4 LED 램프

LED(Light emitting diode, 발광다이오드)는 전기에너지를 빛에너지로 변화시켜주는 발광도체로 1907년 반도체에 전압을 가했더니 빛이 나오는 것이 관측되면서 개발되기 시작하였다. LED는 양과

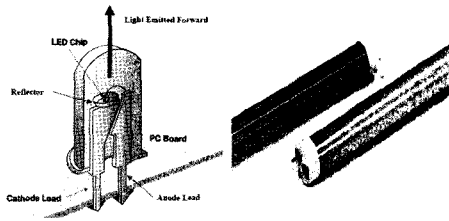


Fig. 1 LED module and LED lamp.

Table 2 Measurement equipment specifications

Item	Specifications
Flow	Fortaflow 300 Velocity range 0.2~12 m/s
Power	TES-6830+3007 Current range~3000 A
Illumination	TM-203 Range 20~200,000 Lux
Temperature	Tenmars Range -100~1,300℃ Accuracy 0.1%
Revolution	Tesco-0470 Range~99,999 rpm

음의 전기적 성질을 가진 두 화합물이 접합하여 전기가 흐르면 에너지가 발생하여 빛이 발생하는 반도체의 일종으로 전위차에 의해 빛 에너지가 방출된다.

LED는 기존의 32 W 형광등에 비해 전력 소모량이 적고 인체에 무해하며, 장시간 사용할 수 있어, LED 램프로 교체하여 에너지를 절감할 수 있는 장점이 있다. Fig. 1은 LED의 모듈이다.

### 3. 측정 시스템

에너지 소비량을 측정하기 위하여 측정 시스템이 구축되었다. 계측기 사양은 Table 2에 정리되어 있다. 계측기는 데이터로거에 연결되어 측정값이 저장되었다.

### 4. 에너지 사용량 측정과 시뮬레이션 분석

조명 소비전력은 전력분석계를 사용하여 측정하였고, 흡수식 냉온수기는 유량계, 온도센서와 운전일지를 토대로 냉각량과 가스 소비량을 산정하였다. 측정된 값을 분석하여 에너지 사용량이 많은 설

Table 3 Before and after replacement

Item	Before	After
Lamp	Metal lamp	Industrial lamp
	Downlight	LED downlight
	FL lamp	LED FL indirect lamp
	FL lamp	High eff. FL lamp
	FPL lamp	High eff. FPL lamp
Chiller	Absorption	Turbo

Table 4 Chiller specifications

Item	Absorption	Turbo
Capacity	630 USRT	630 USRT
Flow rate	381 m <sup>3</sup> /h	379 m <sup>3</sup> /h
Heat source	172 Nm <sup>3</sup> /h	453 kW
COP	1.0	4.9

비는 효율이 높은 설비로 교체하였고, 교체 전과 후의 설비 목록은 Table 3과 같다. 흡수식과 터보 냉동기의 사양은 Table 4에 제시되어 있다.

조명 소비전력은 교체 전과 후 동일한 분전반 위치에서 측정하였고, 터보냉동기는 냉수 입출구 온도, 유량, 전기사용량을 측정하여 냉각량과 전력 사용량을 분석하였다.

일주일(2009년 5월 10~16일) 동안 소비되는 에너지량을 측정하였고, 일주일 동안 측정된 데이터를 토대로 연간 절감되는 에너지 사용량을 계산하기 위하여 동특성 해석코드인 TRNSYS<sup>(6)</sup> (Transient System Simulation) 프로그램을 이용하여 비교, 분석하였다.

#### 4.1 고효율 램프 측정 결과

교체 전의 메탈등 6개와 교체 후의 산업등 6개의 소비전력을 분전반에서 약 30분간 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 공사 전의 메탈등의 평균 소비전력은 1,162 W으로 1개당 약 193 W의 전력이 소비된다. 산업등은 평균 702 W의 소비전력으로 1개당 약 117 W의 전력이 소비된다. 실제 표시된 전력보다 안정기에서 추가로 전력이 더 소비되고 있었다. 메탈등을 산업등으로 교체하여 개당 76 W의 전력이 절감되었다.

4.2 LED 램프 측정 결과

교체 전의 다운라이트 44개와 교체 후의 LED 다운라이트 44개의 소비전력을 분전반에서 약 30분간 측정하였다. 측정한 소비전력은 Fig. 3에 나타내었으며, 공사 전의 다운라이트는 평균 1,312 W로 1개당 약 30 W의 전력이 소비되고, LED 다운라이트는 평균 533 W로 1개당 약 12 W의 전력이 소비되었다. 실제 표시된 전력보다 안정기에서 추가로 전력이 더 소비되고 있었고, LED 램프로 교체하여 18 W의 전력을 절감하였다.

공사 전의 간접등 56개와 공사 후의 LED 램프 56개를 분전반에서 약 30분간 측정하였다. 측정한 소비전력은 Fig. 4에 나타내었으며, 공사 전의 간접등은 평균 1,978 W의 소비전력으로 1개당 약 35 W의 전력이 소비되고, LED 램프는 평균 1,290 W의 소비전력으로 1개당 약 23 W의 전력이 소비되는 것을 볼 수 있었는데, 이는 실제 표시된 전력보다 안정기에서 추가로 전력이 더 소비되고 있음을 알 수 있다. LED 램프로 교체하여 개당 12 W의 전력을 절감할 수 있었다.

4.3 절전형 램프 측정 결과

교체 전의 형광등(FL) 5개와 교체 후의 절전형 램프(FL) 5개의 소비전력을 분전반에서 약 30분간 측정하였다.

측정한 소비전력은 Fig. 5와 같은 소비전력을 나타냈는데, 공사 전의 형광등(FL)은 평균 185 W의 소비전력으로 1개당 약 37 W의 전력이 소비되고, 절전형 램프(FL)는 평균 166 W의 소비전력으로 1개당 약 35 W의 전력이 소비되는 것을 볼 수 있었는데, 이는 실제 표시된 전력보다 안정기에서 추가로 전력이 더 소비되고 있었고, 절전형 램프로 교체하여 2 W의 전력을 절감할 수 있었다.

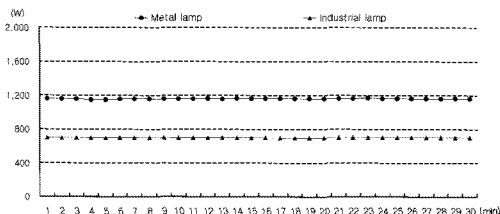


Fig. 2 Electricity consumption measurement of metal and industrial lamp.

교체 전의 형광등(FPL) 24개와 교체 후의 절전형 램프(FPL) 24개를 분전반에서 약 30분간 측정하였다.

정한 소비전력은 Fig. 6과 같은 소비전력을 나타냈는데, 공사 전의 형광등(FPL)은 평균 1,400 W의 소비전력으로 1개당 약 60 W의 전력이 소비되고, 절전형 램프는 평균 1,274 W의 소비전력으로 1개당

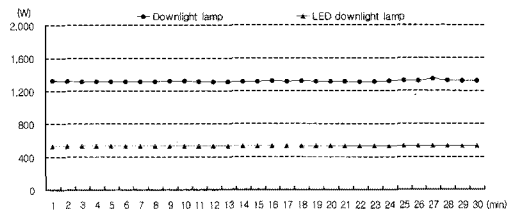


Fig. 3 Electricity consumption measurement of normal and LED downlight lamp.

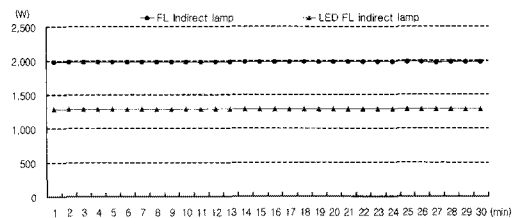


Fig. 4 Electricity consumption measurement of FL and LED indirect lamp.

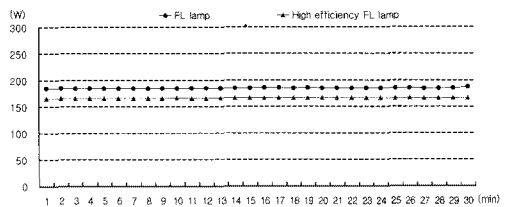


Fig. 5 Electricity consumption measurement of FL lamp.

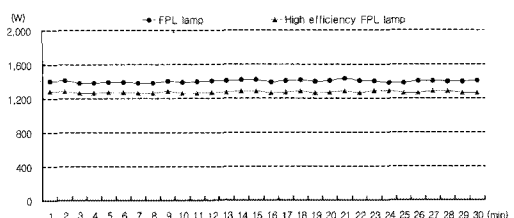


Fig. 6 Electricity consumption measurement of FPL lamp.

약 53 W의 전력이 소비되는 것을 볼 수 있었는데, 이는 실제 표시된 전력보다 안정기에서 추가로 전력이 더 소비되고 있었고, 절전램프로 교체하여 개당 7 W의 전력을 절감할 수 있었다.

4.4 냉동기 측정 결과

리모델링 전에는 630 USRT 흡수식 냉온수기를 사용하였는데, 에너지 절약을 위해 630 USRT 터보냉동기로 교체하였다.

흡수식 냉온수기는 2008년 냉동기의 운전 일지를 토대로 가동시간과 가스사용량을 분석하였고, 교체 후의 터보냉동기는 1일 가동시간과 냉수 입·출구 온도와 냉각수 입·출구 온도, 소비전력을 측정하여 2008년 가스사용량과 비교 분석하였다. 흡수식 냉온수기의 냉방계통도는 Fig. 7과 같고, 터보냉동기의 냉방계통도는 Fig. 8과 같다.

Fig. 9는 터보냉동기의 측정 데이터를 나타낸 것이고, Table 5는 터보냉동기 설치 후 4회에 걸쳐 실제 운전시의 TOE 측정값이다. 흡수식 냉온수기의 경우 실제 COP를 적용하여 TOE가 계산되었다.

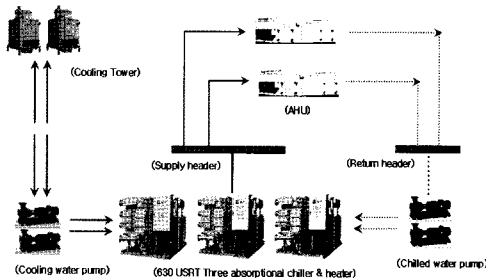


Fig. 7 Absorption chiller system(Before retrofit).

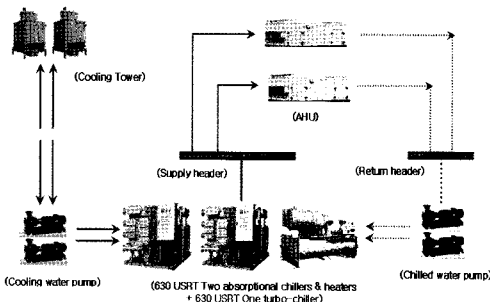


Fig. 8 Turbo and absorption chiller system (After retrofit).

4.5 TRNSYS 시뮬레이션 분석

측정한 기본데이터를 이용하여 공사 전과 후의 연간 전력사용량을 비교, 분석하기 위하여 TRNSYS 프로그램을 이용하여 연간 에너지 사용량을 계산하였다. Table 4는 냉동기의 성능을 비교한 표이고, Fig. 10은 TRNSYS 시뮬레이션 모델링, Fig. 11은 램프의 종류에 따른 교체 전과 교체 후의 소비전력 변화를 TRNSYS 시뮬레이션 결과로 나타난 것이다.

고효율 램프 교체, LED 램프 교체, 절전형 램프 교체의 총 3가지의 램프 교체 공사와 냉동기의 교체 공사의 시뮬레이션 결과 연간 절감되는 전력은 램프 교체 공사의 경우는 519,217 kWh가 절감되고, TOE로는 112 TOE가 절감되었다. 여기서 전력 kWh를 TOE로 환산시, 에너지법 시행규칙 별표에 따라 1 kWh는 2,150 kcal로 환산한다.<sup>(7)</sup>

흡수식 냉온수기는 가스 157,219 Nm<sup>3</sup>과 전력 21,127 kWh가 사용되지만, 터보냉동기로 교체하면, 전력만 221,148 kWh가 사용된다. 교체 후 전력은 200,021 kWh 증가하지만, 에너지는 123 TOE, 이산화탄소는 262 TCO<sub>2</sub>가 절감되었다. 여기서 가스 1 Nm<sup>3</sup>의 환산열량은 9,550 kcal, 이산화탄소배출

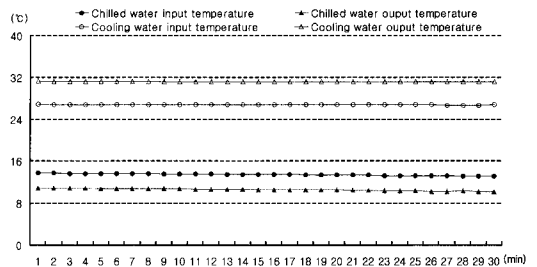


Fig. 9 Temperature measurement of turbo chiller.

Table 5 Energy consumption of chillers

Date	Operation hours(h)	Absorp. chiller	Turbo chiller	Saved (TOE)
		TOE	TOE	
May 1	9.5	1.0	0.28	0.72
May 22	7.0	0.85	0.24	0.61
May 27	13.0	1.69	0.47	1.22
May 31	11.2	1.34	0.37	0.97
Total		4.88	1.36	3.52
Average		2.44	0.34	0.88

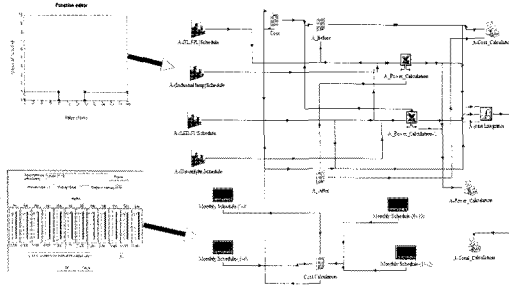


Fig. 10 TRNSYS simulation.

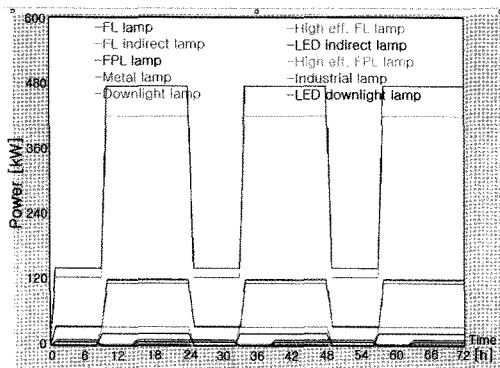


Fig. 11 TRNSYS simulation result.

계수는 전력은 0.4448 TCO<sub>2</sub>/MWh, 가스는 0.00223 TCO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>이다.

Table 6은 교체 전후의 품목별 절감 TOE와 TCO<sub>2</sub>를 나타낸 표이다. 교체 전·후의 TOE와 TCO<sub>2</sub>를 비교해 보면 TOE의 경우는 234 TOE가 절감이 되었고, TCO<sub>2</sub>의 경우는 493 TCO<sub>2</sub>가 절감되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 대형마트의 조명설비 및 냉방 시

스템의 시설 개선 전과 후의 전력과 가스의 사용량을 측정하여 개선 효과를 분석하였다.

측정된 에너지 사용량을 기초자료로 활용하여 동특성 해석코드인 TRNSYS 프로그램을 이용하여 연간 에너지 사용량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 램프 교체 공사를 통해서 기존의 전력 사용량은 4,167,042 kWh이고, 시설 개선 후는 3,647,825 kWh로 519,217 kWh의 전력을 절감할 수 있었다.
- 2) 흡수식 냉동기에서 터보 냉동기로 교체 후 가스 사용량은 157,219 Nm<sup>3</sup>가 감소한 반면 전력은 200,021 kWh가 증가하였다.
- 3) 교체 공사 전의 에너지 사용량은 1,066 TOE 였는데, 시설 개선 후에는 832가 되어 234 TOE (22%)가 절감되었다.
- 4) 교체 공사 전의 이산화탄소 발생량은 2,214 TCO<sub>2</sub>였는데, 시설 개선 후는 1,721이 되어 493 TCO<sub>2</sub> (22%)가 저감되었다.
- 5) 향후 연구과제로서는 건축설계에서부터 고효율 장비 및 자재 사용과 에너지 사용 최적화를 통하여 전체 사용 에너지를 최소화하고 신재생 에너지 생산시설을 갖추어 제로 에너지 대형매장 개발에 관한 노력과 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Korea Energy Management Corporation, 2004, Climate change protocol and our response, Ministry of Commerce, Industry and Energy.
2. Um, C. J., Han, I. S., Kim, C. Y. and Kim, D. S., 2009, Tendency analysis and case studies through building audit, Proceedings of SAREK

Table 6 Annual reduction of energy and CO<sub>2</sub> after retrofit

Item	Before		After		Amount saved	
	Energy (TOE)	CO <sub>2</sub> (TCO <sub>2</sub> )	Energy (TOE)	CO <sub>2</sub> (TCO <sub>2</sub> )	Energy in TOE (%)	CO <sub>2</sub> in TCO <sub>2</sub> (%)
Industrial lamp	17.18	35.53	10.41	21.54	6.77(39.4)	13.99(39.4)
LED lamp	50.34	104.15	31.56	65.30	18.78(37.3)	38.85(37.3)
FL lamp	168.67	348.95	159.56	330.09	9.11(5.4)	18.86(5.4)
FPL lamp	659.72	1,364.86	582.75	1,205.62	76.97(11.7)	159.24(11.7)
Chiller	170.41	359.99	47.55	98.37	122.86(72.1)	261.62(72.7)
Total	1,066.32	2,213.48	831.83	1,720.92	234.49(22.0)	492.66(22.3)

- Winter Annual Meeting, pp. 164-169.
3. Korea Energy Management Corporation, 2006, Operation code of energy audit.
  4. Japan Chain Store Age, 2008.
  5. Korea Trade Center Vienna, 2008.
  6. Solar Energy Laboratory, 2000, TRNSYS (Transient System Simulation) 15 Program, University of Wisconsin-Madison.
  7. Ministry of Knowledge and Economy, 2010, Regulations of energy law, Vol. 124.