

# 사무소건물의 에너지절약형 냉방시스템 성능분석에 관한 연구

박창봉\*, 이연구\*\*

\*태영건설 기전팀(park3188@taeyoung.com), \*\*중앙대학교 건축학과(ekrhee@cau.ac.kr),

## A Study on the Performance Analysis of Low Energy Cooling Systems in Office building

Park, Chang-Bong\* Rhee, Eon-Gu\*\*

\*Mechanical & Electrical Team, Taeyoung E & C(park3188@taeyoung.com),

\*\*Dept. of Architecture, Chung-Ang University(ekrhee@cau.ac.kr)

### Abstract

A large portion of the energy cost of a building is cooling and heating to maintain a comfortable indoor environment. Air conditioning is now one of the important parts in the building design, as increase in energy consumption and pollutant emission in energy conversion process. In this study, elements that affects the energy consumption of model building are identified and the performance analysis of the alternative a Low Energy Cooling Systems considering characteristics of model building and energy saving performance is analyzed. In this study, elements that affect the energy consumption of office building are identified and energy saving performance of the alternative air conditioning system is analyzed. As a result, applied to earn and suggest basic data for energy saving measures. In this study, EnergyPlus simulation program was used to evaluate the energy load when alternative Low Energy Cooling Systems are applied to the model building. The reliability of simulation program is verified by comparing actual energy load from operation data of building management office and predicted energy load using simulation program.

For Low Energy Cooling System application which considers the purpose and characteristics of the building, reasonable and energy-saving air conditioning method obtained by analyzing energy consumption elements for each expected air conditioning methods is used to deduct result of this study.

Keywords : 에너지절약형 냉방시스템(LEC Systems), 이산화탄소 방출(CO<sub>2</sub> Emission), 야간환기(Night Ventilation), 천정복사냉방(Chilled Beam)

### 1. 서 론

건물의 에너지소비는 주로 채실자를 위해 쾌적한 실내환경 제어와 건물 유지관리를 위하여

사용된다. 그러나 이러한 건물의 에너지소비는 초기 설계단계에서 결정되는 사항에 따라 많은 영향을 받게 된다. 공조용 에너지 소비량은 현대식 건물의 경우 건물 전체에너지 소비

투고일자 : 2010년 10월 19일, 심사일자 : 2010년 10월 25일, 게재확정일자 : 2010년 12월 2일  
교신저자 : 박창봉(park3188@taeyoung.com)

량의 40~50% 정도를 차지하고 있다.<sup>1)</sup> 최근 건물이 대형화 및 초고층화 됨에 따라 건축물에서 소비되는 에너지는 계속 증가하는 추세이다. 특히, 건물이 고급화, 밀폐화되고 실내 OA기기 증가에 따른 내부발열량 증가와 외기도입량 증가에 따른 잠열부하 증가로 냉방부하는 날로 증가하고 있다. 그러므로 냉방에너지 사용에 따른 이산화탄소 방출량 증가와 에너지비용 증가로 에너지절약형 냉방시스템(Low Energy Cooling Systems)에 대한 검토가 요구된다. 에너지 절약형 냉방시스템은 현재 여러가지 종류가 있으나 에너지절약효과에 대한 성능자료가 부족하고 또한, 초기투자비 부담으로 적용이 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 건물의 에너지소비에 영향을 미치는 요소를 파악하고, 전형적인 사무소 건물을 모델건물로 선정하여 건물특성을 고려한 다양한 대안의 에너지절약형 냉방시스템(Low Energy Cooling Systems)의 에너지절약성능을 분석함으로써 냉방에너지 절감방안의 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 에너지절약형 냉방시스템 고찰

### 2.1 분석대상 공조방식 선정

분석대상 건물의 공조방식을 선정하는데 있어서 건물의 특성과 에너지 소비요소를 고려하여 에너지 절약형 공조방식을 결정하는 것이 매우 중요하다. 최근 사무소 건물에 야간환기(Night Ventilation), 천정복사냉방(Ventilated Chilled Beams), 슬래브 냉방(Slab Cooling ; Water), 증발냉방(Evaporative Cooling), 건조제습냉방(Desiccant Cooling), 저속치환방식(Displacement Ventilation)을 적용하여 건물의 공조에너지 절약을 도모하는 사례가 증가하고 있다.

본 연구는 위에 열거한 방식 가운데 대상

건물의 용도에 적합하고 적용이 가능한 야간환기(Night Ventilation)와 천정복사냉방(Ventilated Chilled Beams) 2가지 공조방식을 선정하였다.

### 2.2 대상건물에 적용할 공조방식의 특성

본 연구대상 건물에 적용하여 에너지성능을 분석할 공조방식의 특성은 아래와 같다.

#### (1) 공조방식별 특징

1) 야간환기(Night Ventilation) 시스템  
에너지절약을 위해 중간기와 환절기 야간에 외기와 실내 온도차이인  $\Delta T$ 가 일정온도 이상인 경우 공조기 팬이 작동하여 실내 축열 부하를 야간에 제거하여(Night Purge) 다음날의 피크 부하를 저감하는 시스템으로 사용한다. 이 시스템의 효율은 환기량(air flow rate)과 실내외 공기의 온도차, 그리고 건물 내부의 유효 열용량(effective thermal mass)에 영향을 받는다.

2) 천정복사냉방(Chilled Beam) 시스템  
냉수의 열용량이 공기에 비하여 4배 이상의 냉각 열량을 이송할 수 있고, 실내의 소음이 적은 장점이 있다. 우리나라와 같이 하절기 외기 습도가 높은 장마철에 외기도입을 할 경우 외기 잠열부하 증가로 인한 현열비(SHF)가 낮아져 실내 습도를 높이는 원인이 될 수 있고, 실내에서 요구되는 습기량을 맞추기 위해 외기량을 과냉각해야 하므로 냉방부하가 증가된다. 천정복사냉방(Chilled Beam) 시스템은 100%의 외기를 전열교환기와 Passive형 제습휠(Passive Dehumidification Wheel)을 적용함으로써 일반 공조 방식에 비하여 30~50% 에너지를 절감하는 것과 동시에 낮은 절대습도를 유지할 수 있어 쾌적한 환경을 이룰 수 있다.

## 3. 에너지절약형 냉방시스템의 성능 분석

본 연구는 건물의 에너지성능에 영향을 주는

1) 국내 부문별 최종에너지 소비추이, 에너지정책연구원 에너지통계연보, 2008

요인에 대한 분석을 위하여 컴퓨터 모델링 기법으로 전도전달함수(Conduction Transfer Function : CTF)를 이용하는 EnergyPlus를 사용하였다. EnergyPlus는 해석시간 간격설정이 자유로우며, 모듈형 구조를 가지므로 사용자 임의로 시스템을 구성할 수 있다. Weather Data는 TMY-2 구조로 서울지역의 기상자료를 이용하여 에너지를 분석하였다.

### 3.1 분석대상 건물과 경계조건

분석대상 건물 선정은 각 대안별 공조시스템이 적용 가능한 사무소 건물을 대상으로 하였으며 개략적인 입력조건은 표 1과 같다.

표 1. 분석대상 건물의 입력조건

위 치	수 원	건물용도	사무소 건물
기준층 면적	3,542.2m <sup>2</sup>	천정고	2.6 m
건물 부하	냉방 2,802,183 kcal/h	시스템 부하	냉방 122 kcal/h m <sup>2</sup>
	난방 1,951,512 kcal/h		난방 87 kcal/h m <sup>2</sup>
RSHF	0.85	제실인원	0.2 인 /m <sup>2</sup>

\* 단위면적당 시스템부하 : 대상건물의 2차 시스템 부하값으로 가정.

\* 시스템부하는 외기공조 에너지 포함

### 3.2 대상건물의 개요

본 연구의 분석대상으로 선정된 건물은 2007년 4월 준공한 지하 2층 지상 7층의 사무소 건물이다. 철골철근 콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 건물의 개요는 아래 표 2와 같다.

### 3.4 대상건물의 에너지 소비현황

대상건물에서 소비하는 에너지는 크게 전기에너지와 가스에너지로 구분되며, 전기에너지는 주로 펌프, 팬 등의 모터류, 조명기구, 사무기기 등에 이용되고, 가스에너지는 냉, 난방 관련하여 흡수식 냉온수기, 보일러, 급탕용 온수생산 등에 이용된다. 표 3과 그림 1은 대상건물의 연도별 에너지소비량과 월별 전기, 가스에너지 소비량을 나타낸 것이다.

표 2. 분석대상 건물의 개요

건물명	경기 R&DB 사무소
용도	사무,연구, 교육복시설
연면적	32,388 m <sup>2</sup>
구조	RC + Steel-frame
높이	33.5 m
층고(천정고)	4.2m(2.6m)
준공년월	2007. 04
층수(지하층/지상층)	2 / 7
열원장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보일러(급탕) - 0.8 Ton/hr 2 set</li> <li>• 가스흡수식냉온수기(냉방 &amp; 난방) - 330 USRT 3 set</li> </ul>
장비개요	계약 수전용량
	3,150 kW
	냉방용량
	990 USRT
	난방용량
	2,993 Mcal/h
	냉방가동시간
	1,713 h/year
	난방가동시간
	2,104 h/year

표 3. 대상건물의 연간 실제 에너지소비량

연도	2008	2009	
에너지소비량	전기(MWh)	3,363	3,177
	가스(Nm <sup>3</sup> )	244,843	236,001
1차 에너지소비량	전기(Mcal/year)	7,230,117	6,830,238
	가스(Mcal/year)	2,693,273	2,596,011
연간 총에너지소비량(Mcal/m <sup>2</sup> year)	306.39	291.04	

1차 Energy(Mcal) = Electric Energy(kWh) × 2.15(Mcal/kWh), LNG 발열량 = 11(Mcal/Nm<sup>3</sup>)

## 4. 분석 대상건물의 모델링

### 4.1 건물의 조닝(Zoning)

본 연구의 대상건물에 대한 조닝(Zoning) 기준은 실제로 AHU가 담당하는 구역으로 나누어, 각 층별로 좌측, 우측 2개의 Zone으로 구분하였고, 사무연구실, 회의장, 교육실, 식당, 전산실, MDF실 공간 등의 용도로 층별 6~8개 Zone으로 구별하여 52개 세부 존을 설정하였다. 그림 2에 분석대상 건물 4~6층의 조닝(Zoning)을 나타냈다.

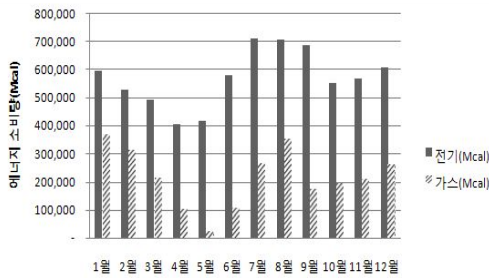


그림 1. 분석대상 건물의 월별 실제 에너지소비량 (2009년 기준)

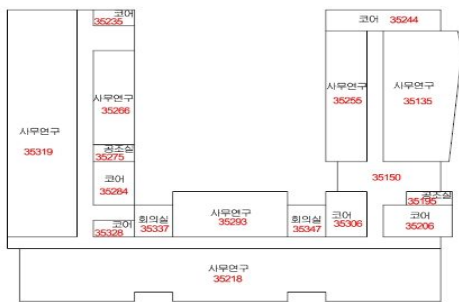


그림 2. 분석대상 건물 요닝 (4~6층)

표 4. 대상건물 건축재료의 물성치(벽과 슬래브)

구분	재료	두께(mm)	열전도율 (W/m <sup>2</sup> ·°C)	비열 (J/kg·°C)	비중(kg/m <sup>3</sup> )
지붕	아연도강 판넬	3	44.00	402	7,860
	콘크리트	150	1.6	879	2,200
	중공층	10	-	-	-
	압출법 보온판 3호	125	0.029	837	15
외벽	아연도강 판넬	3	44.00	402	7,860
	비드법 보온판 3호	75	0.040	837	20
	중공층	10	-	-	-
	콘크리트	200	1.6	879	2,200
바닥 (Slab)	타일-pvc	3	0.163	1,340	1,700
	콘크리트	150	1.6	879	2,200
	중공층	10	-	-	-
	압출법 보온판 2호	55	0.031	837	15
내벽1 (F1~2)	시멘트벽돌	200	0.6	836	1,700
	중공층	70	-	-	-
	화강석3.3	30	1.3	790	2,700
내벽2 (F3~7)	MDF	9	0.15	1130	550
	석고보드	12.5	0.18	1130	750
	중공층	78.5	-	-	-
	시멘트벽돌	200	0.6	836	1,700
간벽	콘크리트	200	1.376	879	2,198

## 4.2 수치계산 입력 데이터

대상건물의 외피조건은 표 4~표 5에 나타난 것과 같이 건물의 설계도면 분석을 통해 산출하였다. 그 외에 건물의 실내부하로 작용하는 대표적인 입력자료는 건물의 재실자수와 근무 스케줄, 조명기기의 용량과 점등 스케줄, 침기량(Infiltration)으로 구분하였다. 표 6은 용도별 내부 발열량 산출기준을 나타냈다.

표 5. 대상건물 유리창의 물성치

구성	재료	두께 (mm)	열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·°C)	차폐계수 (0~1)	태양열획득 (0~1)
18mm	투명유리	6	3.1	0.83	0.72
복층	공기층	6			
유리	투명유리	6			

표 6. 용도별 내부 발열량 산출기준

실명 구분	인/㎡	인체발열량 (kcal/h 인)		조명 부하 (W/㎡)	기기 부하 (W/㎡)	도입외기량 (CMH/인)
		현열	잠열			
사무 연구실	0.2	56	56	25	15	25
회의실	좌석수	52	47	25	-	25
교육실	좌석수	52	47	25	10	25
전시/이벤트	0.3	56	76	30	-	25
지원 사무실	0.2	56	56	25	15	25
편의점	0.3	56	76	30	10	25
식당	좌석수	60	78	30	-	17
로비 및복도	0.1	56	76	20	-	25

## 5. 에너지사용량 분석

수치계산의 신뢰도 검증을 위해 분석대상 건물의 관리사무소에서 입수한 운전데이터를 분석하여 에너지부하의 실측값을 확인하고, EnergyPlus 수치계산 프로그램을 이용한 에너지부하 예측값과 비교를 통해 프로그램의 신뢰도를 검증하였다. 또한, 침기량, 재실자수, 내부발열부하, 각종 실내부하 역할을 할

수 있는 장치들의 운전스케줄 데이터입력을 재수행하여 수치계산 예측값을 보정하였다. 대상 건물에서 열원장치로 가스 흡수식 냉온수기를 채택하였으며, 열원은 LNG 가스를 이용하였다. 그러나 입수된 전기에너지 사용량의 경우는 급탕용 온수순환펌프, 제어설비 등 여러 장치의 소비전력량을 포함하므로 본 연구에서 나타나는 전기에너지소비량과 차이가 발생하여 전기 에너지사용량에 대한 비교는 제외하였다.

### 5.1 실측값과 예측값의 비교

5~9월까지 월별 실제 가스에너지 사용량과 수치계산 예측 사용량을 표 7과 그림 3에 나타냈다. 냉방기간 중 2008년과 2009년의 월평균 실측 에너지소비량과 비교하여 수치계산 예측값은 75~98% 범위의 차이를 나타냈다.

표 7. 월별 가스에너지 소비량 [단위 : MJ]

월별	실측값			수치계산	정확도(%)
	2008년	2009년	평균		
5월	76,773	108,827	92,800	193,066	208.0
6월	399,756	453,870	426,813	346,145	81.1
7월	1,036,555	1,107,618	1,072,087	973,455	90.8
8월	1,094,354	1,478,129	1,286,241	1,265,661	98.4
9월	707,079	739,824	723,452	544,759	75.3
소계	3,314,517	3,888,268	3,601,393	3,323,086	92.3

### 5.2 대안시스템별 에너지절감량 비교

열원유형은 다양한 구성이 가능하나 공조방식 대안별 에너지사용량을 상대적으로 분석하기 위하여 열원방식은 2가지 대안 모두 대상건물의 기존열원방식인 가스 흡수식 냉온수기를 동일하게 적용하였다.

#### (1) 야간환기(Night Ventilation) 시스템

하절기를 야간 외기운전 기간으로 설정하여 밤 12:00~아침 07:00 사이에 실내온도보다 외기온도가 낮은 경우 야간환기를 하여 다음날 주간의 냉방부하 감소에 따른 에너지 절감량을 실내온도와 외기온도의 차이( $\Delta T$ ) 1°C이상 또는 2°C이상

으로 구분하여 분석한 결과 표 8과 같이 5.06%와 4.85%로 나타났다.

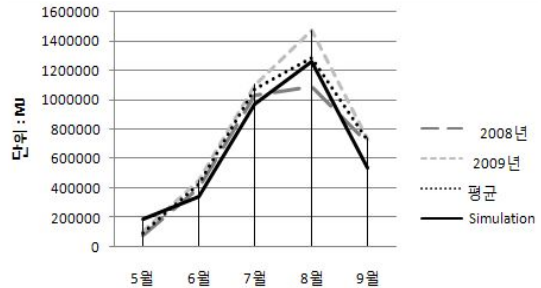


그림 3. 월별 가스에너지 소비량 비교(보정후)

표 8. 운전조건에 따른 에너지절감량

구 분	CAV+FCU		CAV+FCU Night Venti
			$\Delta T$ 1°C
실내외공기온도차( $\Delta T$ )			$\Delta T$ 2°C
에너지사용량(MWh)	1,168	1,108.9	1,111.4
에너지 절감율(%)			5.06
운전기간	5/1~9/30 (24:00~07:00)		
비 고	모델건물 기준시스템 : CAV+FCU		

#### (2) 천정복사냉방(Chilled Beam) 시스템

침입외기, 출입문 개폐, 침투 잠열부하 등으로 외기의 절대 습도량이 많을 경우, 침입한 외기의 잠열부하로 인한 결로발생이 예상되므로 결로(Condensation) 억제를 위해 실내공기의 노점온도 이하로 냉수가 공급되는 것을 방지하기 위한 노점센서(Dew point sensor)를 설치하는 등의 결로발생 방지대책이 강구되어야 한다. 재실자의 현관문 출입이 빈번한 1층을 제외한 기준층에 대해서 천정복사냉방(Chilled Beam) 시스템을 적용하는 것으로 계획하여, 각층별 준별로 유닛의 냉수유량과 공조기 풍량을 입력하였다.

표 9와 같이 공조방식별 에너지부하는 대상건물의 기존공조방식인 정풍량+팬코일유닛(CAV+FCU)에 비하여 정풍량+팬코일유닛+야간환기(CAV+FCU+Night Ventilation)시스템이 냉동기 부하가 절감된 반면, 야간에 팬운전으로 인한 동력이 늘어나서 전체적으로 5.06%의 에너지절감

율을 나타냈으며, 천정복사냉방(Chilled Beam)시스템은 열원장치의 에너지부하와 팬의 반송동력이 절감되는 것으로 나타났다.

표 9. 공조 시스템별 부하 [단위: MWh]

구분	CAV+FCU	CAV+FCU+Night Venti.	Chilled Beam
냉동기	983	878	598
펌프	80	77	66
팬	105	154	83
총계	1,168	1,109	747
에너지절감율		5.06%	36.04%

## 6. 결 론

본 연구는 에너지 절약적인 설비시스템 적용을 위해 공조방식별 예상되는 에너지 소비요소를 분석하였으며, 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 공조방식별 시스템부하의 에너지 절감율은 모델건물의 기존공조방식인 정풍량+팬코일유닛 (CAV+FCU)시스템과 비교하여 정풍량+팬코일유닛+야간환기 (CAV+FCU+Night Ventilation)시스템은 5.06%, 천정복사냉방(Chilled Beam)시스템은 36.04 %로 나타났다.
- (2) 야간환기(Night Ventilation)는 야간 외기운전기간을 하절기 기준인 5월 1일 ~ 9월 30일까지 기간으로 설정하고, 밤 12:00~아침 07:00 사이 실내온도보다 외기온도가 낮은 경우 야간환기를 하여 다음날 주간의 냉방부하 감소에 따른 에너지절감량을 외기온도와 실내온도의 차이( $\Delta T$ ) 1℃와 2℃ 2가지로 구분하여 에너지 절감량을 분석한 결과 에너지부하절감량이 5.06%와 4.85%로 나타났다.

이번 연구에서 제외된 공조방식 가운데 VAV (변풍량 공조방식)시스템과 바닥급기방식 및 저온공조방식 등에 대한 냉방 에너지사용량 결과에 대한 검토가 추가되어야 에너지절약

형 냉방시스템에 대한 성능분석이 보다 정확하게 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 조진균, 「에너지 절약적 공조시스템 선정을 위한 기초적 연구」, 대한 설비 공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, pp.058~063.
2. Seo, K. J., Analytical Study on the Effects of Energy Use Factors on the Energy Consumption of a Building, Ph.D. thesis, Korea University, Seoul, Korea. 2001.
3. Norman Bourassa, Philip Haves, and Joe Huang., A Computer Simulation Appraisal of Nonresidential Low Energy Cooling Systems in California, pp1, 2002.
4. K. Fraser et a., Review of Low Energy Cooling Technologies, IEA BCS Annex 28, 1995.
5. N. Barnard et al., Early Design Guidance for Low Energy Cooling Technologies, IEA BCS Annex 28, 1998.