

외기냉방을 이용한 냉방부하 절감 연구

김민용, 김영일*[†], 정광섭*

서울과학기술대학교 주택대학원, *서울과학기술대학교 건축학부

Reduction of Cooling Load using Outdoor Air Cooling

Min-Yong Kim, Young Il Kim*[†], Kwang-Seop Chung*

Graduate School of Housing, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea,

*School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Abstract

Due to enhanced sealing and insulation of buildings, extensive use of glasses for building envelopes and increased use of heat generating office equipments, energy consumption of modern buildings for cooling is steadily increasing. With outdoor air cooling(ODAC) system, cooling load can be reduced by exchanging indoor air with the cold outdoor air during spring and fall seasons. If ODAC is operated based only on temperature, total cooling load may virtually increase if the outdoor humidity is high. To overcome this problem, ODAC should be controlled based on enthalpy. In this work energy saving characteristics of enthalpy controlled ODAC is studied using dynamic simulation. The result shows that cooling load can be reduced by 27% by adopting ODAC.

Key words : Outdoor air cooling(외기냉방), Cooling load(냉방부하), Dynamic characteristic simulation(동특성 시뮬레이션), Energy saving(에너지 절약), Enthalpy control(엔탈피 제어), TRNSYS(TRNSYS)

기 호 설 명

h : 엔탈피 [kJ/kg]
 Q_L : 냉각 잠열량 [kJ/h]
 Q_S : 냉각 현열량 [kJ/h]
 T : 온도 [°C]
 RH : 상대습도 [%]

하 첨 자

$i(indoor)$: 실내
 $o(outdoor)$: 실외
 $s(set)$: 설정

1. 서 론

최근 들어 중동 국가들의 정세 불안과 화석연료 고갈등의 원인으로 국제 유가가 가파른 오름세를 보이면서, 에너지원 수입의존도가 97%로 절대적인 우리나라는 다른 어떤 나라보다도 에너지에 대한 관심도가 증가하고 있다.

2007년 발행한 에너지 통계연보에 따르면 우리

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557, Fax: +82-2-974-1480

E-mail: yikim@seoultech.ac.kr

접수일 : 2011년 5월 6일

심사일 : 2011년 5월 12일

채택일 : 2011년 5월 23일

나라의 전체 최종 에너지 소비량 중 건물에너지 소비량이 25% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다으며, 이 중 약 45% 이상의 에너지가 건물 공조 에너지로 사용되고 있다.

또한, 최근 들어 건축기술의 발달과 다양한 건축물의 형태가 요구되면서 건축물의 외관을 보기 좋게 하기 위해 유리가 새로운 건축 재료로 각광받고 있고, 유리를 건물의 외장 재료로 사용하게 되면서 건물의 형태나 미관을 보기 좋아졌으나, 일사와 실내 발열의 증가 등으로 인한 냉방부하가 증가하여 건물에서 소비되는 에너지 수요는 더욱 더 증가할 것으로 보인다.

이러한 가운데 냉방부하를 절감하는 차원에서 저온의 외기를 도입하는 외기냉방이 건물에너지 절약 수단으로 각광받고 있다.

하지만 실제 현장에서는 외기냉방제어에 대한 기준이 명확하지 않아 설비시스템에 외기냉방제어를 적용하는데 많은 어려움이 있다.

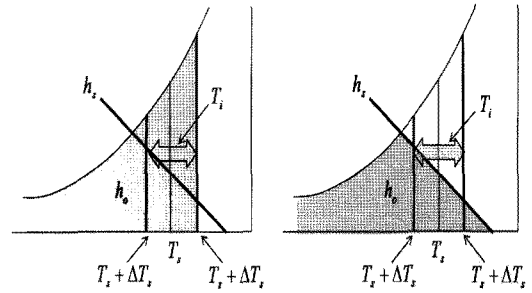
따라서, 본 연구에서는 교육 및 연구용으로 사용되는 도서관을 대상으로 외기냉방제어에 적용되는 각종 변수를 건물 상세 동특성 해석 프로그램인 TRNSYS (transient systems simulation) 17을 이용하여 시뮬레이션하고, 이를 바탕으로 적절한 제어방법을 제시하고, 제어조건을 변경하여 냉방부하의 절감 효과를 비교·분석하였다.

2. 외기냉방제어

외기냉방(Outdoor air cooling, ODAC)이란 외기의 온도 또는 엔탈피가 실내공기의 온도 또는 엔탈피보다 낮은 경우, 냉동기를 가동하지 않고 공기조화기의 외기, 환기, 배기 댐퍼의 적절한 조작과 송풍기팬 및 배기팬으로 외기를 도입하여 냉방하는 것을 말한다.

외기를 제어하는 방법인 외기냉방 제어는 공조기를 순환하는 환기에 비해 외기의 온도나 엔탈피가 낮을 때, 외기를 끌어들여 이를 냉방에 이용함으로써 냉방공조에 사용되는 에너지의 양을 줄이려는 에너지 절약 제어의 한 개념이다.

여기에서 제어기는 실내온도가 외기온도를 초과하고, 설정온도를 초과하게 되면, 센서가 인식한 온도를 바탕으로 최대한의 외기도입량을 도입



(a) Temperature mode (b) Enthalpy mode

Fig. 1 Temperature and enthalpy control modes.

하게 된다.

외기냉방제어는 제어의 대상과 방법에 따라 Fig. 1과 같이 온도 제어와 엔탈피 제어로 구분할 수 있다.

2.1 온도 제어

온도 제어는 건구온도를 기준으로 하여 외기도입량을 결정하는 것을 말한다. 그러나 이 방식에서는, 외기의 건구온도는 낮지만, 습도가 높은 경우 잠열부하가 증가하여 오히려 냉방부하가 증가할 위험이 있다.

2.2 엔탈피 제어

온도 제어에 비해 개선된 방법으로, 공조설비의 운전을 위한 외기도입량을 외기와 실내의 엔탈피를 기준으로 결정한다. 이를 위해 외기댐퍼와 환기댐퍼에 설치된 센서가 온도와 상대습도를 동시에 측정함으로써 엔탈피를 파악하며, 실내엔탈피가 외기엔탈피와 설정상태의 엔탈피보다 높게 되면 최대한의 외기를 도입하는 것을 말한다.

3. 시뮬레이션

외기의 도입여부에 따른 냉방부하의 절감 효과를 시뮬레이션하기 위해 본 연구에서는 모듈 구조를 갖는 비정상 시스템 해석프로그램인 TRNSYS 17을 사용하였다. 해석의 도구로 사용된 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS

(Transient System Simulation)는 동적 에너지 해석을 목적으로 모듈화 되어 개발된 최초의 프로그램으로 초기에는 태양열 획득이 많은 건물의 해석에 국한되어 개발되었으나, 현재는 건물 전체에 대한 다양한 에너지 이용 시스템을 포함하고 있는 시스템 시뮬레이션 프로그램이다.

3.1 시뮬레이션 개요

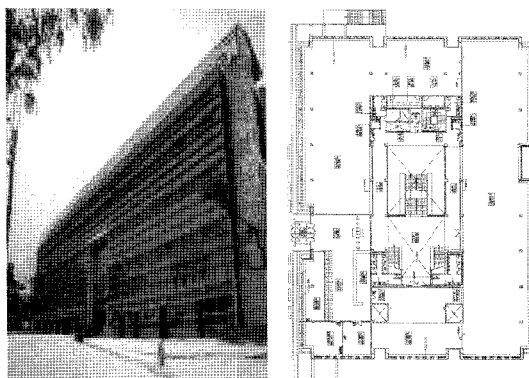
연구 대상 건물은 서울에 소재한 'S'대학 교내의 중앙도서관을 선정하였다.

Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 본 연구 대상 건물의 정면도와 중간층인 2층 평면도를 나타낸 것으로 가로 72 m, 세로 45 m의 건물이며, 지상 3층과 옥탑층으로 구성되어 있다.

또한, 건물 동서측 외벽의 창면적비가 크고, 남북측 외벽은 커튼월(Curtain wall)로 시공되어 있어 여름철 일사로 인한 냉방부하가 클 것으로 판단된다.

냉열원설비는 냉방 877,000 kcal/h, 난방 710,000 용량의 흡수식냉온수기와 난방·가습 용도의 관류식 보일러를 사용하고 있으며, 공기조화설비와 공기조화방식은 내·외주부 부하를 담당하는 공기조화기와 F.C.U를 혼합 사용하여 정풍량(CAV)으로 공기를 분배하는 방식인 중앙공조방식을 사용하고 있다.

연구 대상 건물의 구체적인 개요와 설비시스템의 구체적인 개요는 Table 1과 Table 2와 같다.



(a) Front view (b) Floor plan

Fig. 2 Base building.

Table 1. Equipment system

| Division | | Use |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Cold heat source equipment | Boiler | Heating·Humidification, Water heating |
| | Absorption chiller | Cooling, Heating |
| | Cooling tower | Absorption chiller |
| Air conditioning equipment | AHU | Air conditioning |
| | FCU | Air conditioning |
| Carrie equipment | Fan | Air conditioning, Ventilation |
| Air conditioning system | Central air conditioning | Constant air volume |

Table 2. Summary of building

| | | |
|----------------|----------------------------|------------------------|
| Area | Building area | 3425.25 m ² |
| | Total floor area | 9281.34 m ² |
| | Exclusive area per floor | 2464.00 m ² |
| Location | Seoul, Korea (N37.6, E127) | |
| Structure | Reinforced concrete | |
| Floor height | 4,000 mm | |
| Ceiling height | 2,700 mm | |
| Total floor | 3 F | |
| Usage | Library | |

3.2 시뮬레이션 조건 및 방법

건물에너지의 해석을 위해 입력한 기상 조건은 TRNSYS에서 제공되는 서울 기상 데이터인 KR-Seoul-471080.tmy2를 사용하였고, 재료의 물성치 및 벽체구성은 설계 도서를 참고하여 실제 건물에 맞게 구성하였다. 입력한 물성치 및 벽체 구성은 Table 3과 Table 4와 같다.

Table 3. Massive layer

| Consti-tuent | Thermal conductivity [kJ/h·m·K] | Capacity [kJ/kg·K] | Density [kg/m ³] |
|--------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Brick | 3.20 | 0.79 | 1,920 |
| Block | 2.59 | 0.92 | 800 |
| Insulation | 0.11 | 1.21 | 43 |
| Gypsum | 0.58 | 1.09 | 800 |
| Mortar | 5.45 | 0.8 | 2,000 |
| Concrete | 7.02 | 0.90 | 2,240 |
| Stone | 11.41 | 0.79 | 2,560 |
| Rock wool | 0.18 | 0.84 | 1,200 |
| Waterproof | 0.14 | 1.26 | 1,120 |

Table 4. Wall layer

| Wall | Layer | Wall thickness [mm] | U [W/m ² ·°C] |
|---------------|---|---------------------|--------------------------|
| Roof | Concrete Water proof Concrete Insulation Air layer Rock wool | 330 | 0.290 |
| External wall | Stone Air layer Concrete Insulation Brick Mortar | 200 | 0.510 |
| Internal wall | Gypsum Block Gypsum | 250 | 1.319 |
| Groud Floor | Stone Mortar Concrete Insulation Concrete | 340 | 0.433 |
| Floor | Concrete Air layer Concrete | 250 | 0.962 |
| Window | Low-e | 24 | 2.570 |

Table 5. Internal load conditions

| | | |
|--------------------------|---|---|
| Indoor design conditions | Cooling : 26°C (RH : 55%) Heating : 20°C (RH : 40%) | |
| Internal load | People(sensible) : 65 (W/P) People(latent) : 55 (W/P) Lighting : 30 (W/m ²) | |
| People | 1st floor | 499 |
| | 2nd floor | 638 |
| | 3rd floor | 771 |
| Outdoor air supply | 5 Volume/h | |
| Infiltration | 0.3 Volume/h | |
| Window area ratio | East, West | 67% |
| | South, North | 97% |
| Schedule | People | Office 00:00-09:00 : 0% 09:00-12:00 : 100% 12:00-13:00 : 30% 13:00-18:00 : 100% 18:00-24:00 : 0% |
| | | Reading room 00:00-06:00 : 0% 06:00-12:00 : 50% 12:00-13:00 : 30% 13:00-18:00 : 100% 18:00-24:00 : 50% |
| | Light | 00:00-06:00 : 0% 06:00-13:00 : 80% 13:00-16:00 : 100% 16:00-24:00 : 80% |

또한, 정확한 해석을 위해 건물의 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 재실부하, 조명부하, 기기부하 등의 실내발열과 재실인원, 창면적비, 침기와 환기횟수, 재실스케줄 등의 조건은 Table 5와 같으며, 실제조건과 같은 수치를 입력하였다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

4.1 외기도입 적용 기간 분석

Fig. 3과 Fig. 4는 월별로 1년 동안에 외기도입으로 인한 냉방이 가능한 기간에 실제 외기를 도입한 기간을 온도와 엔탈피만으로 제어하여 산출한 그래프이다.

Fig. 3은 온도를 기준으로 실내온도가 설정온도($T_s=26^\circ\text{C}$) 범위를 초과하고 외기온도 $<$ 실내온도 일 때, 외기를 도입하여 실내온도가 설정온도 미만으로 떨어질 때의 기간을 산출한 결과로 1년 동안(4월~11월) 외기도입이 가능한 기간은 총 4,801시간으로 나타났으며, 이중 비공조 시간을 제외한 실제 외기를 도입한 기간은 2,994시간으로 나타났다.

같은 방법으로 Fig. 4와 같이 엔탈피($T_s=26^\circ\text{C}$, $\text{RH}_s=55\%$)를 기준으로 외기엔탈피 $<$ 실내엔탈피 일 때, 외기를 도입하여 실내엔탈피가 설정엔탈피 미만으로 떨어질 때 외기를 도입한 기간을 산출한 결과 외기도입이 가능한 기간은 총

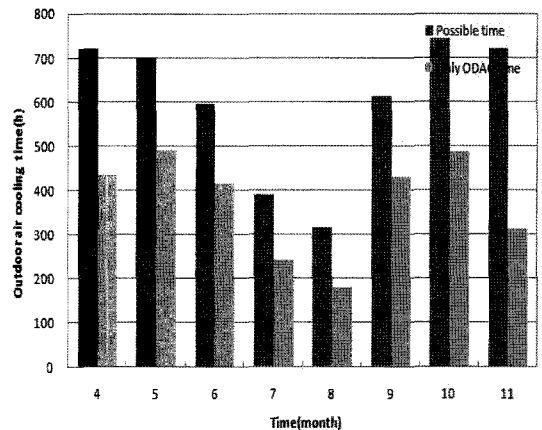


Fig. 3 Possible time for temperature controlled ODAC. ($T_n < T_c$ and $T_n < T_i$)

3,731시간이며, 이중 비공조 시간을 제외한 실제 외기를 도입한 기간은 2,234시간으로 나타나, 엔탈피 제어시 온도 제어에 비해 외기도입이 가능한 기간과 외기를 도입한 기간이 이 각각 1,070시간, 760시간 감소하였다.

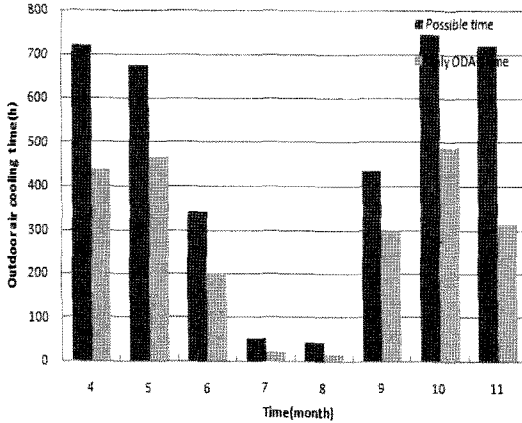


Fig. 4 Possible time for enthalpy controlled ODAC.
($T_o < T_s$ and $T_o < T_i$ and $h_o < h_s$
and $h_o < h_i$)

4.2 설계 및 시뮬레이션 최대 냉방부하 비교

Table 6은 설계부하와 시뮬레이션부하의 비교를 통하여 시뮬레이션 시 적정 용량 선정 여부를 판단하는 기준으로 설계도서의 설계용 외기온습도 조건인 건구온도 31.1℃, 상대습도 67%일 때, 설계부하와 시뮬레이션부하의 최대 냉방부하를 각 실별로 비교하였다.

설계도서에 의해 면적 1,008 m²의 멀티미디어 실과 시청각자료실, 기기보관실로 구성된 3F_1실의 부하가 927,649 kJ/h로 냉방부하가 가장 크고, 면적 224 m²의 자료열람실로 사용되는 실인 2F_2의 부하가 105,240 kJ/h로 냉방부하가 가장 작았다.

현열부하의 경우 각 실별로 -10.1, -3.1, -1.5, -2.2, 7.4, 8.8, 2.8, 0, -0.1, 10.5, -5.7, -0.7%의 오차값을 나타내 평균 4.4%의 오차값을 나타냈으며, 잠열부하의 경우 7.1, 1.0, 6.3, -2.9, -0.1, 0.3, 0.5, 6.5, -7.1, -0.4, 5.6, 2.1%의 오차값을 나타냈고, 평균 2.9%의 오차값을 나타내어 건물 전체의

실별 절대 평균 오차값은 3.7%로 나타났다.

Table 6. Comparison of cooling load

| Zone | Design load (kJ/h) | | Simulation load (kJ/h) | |
|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | Sensible load (kJ/h) | Latent load (kJ/h) | Sensible load (kJ/h) | Latent load (kJ/h) |
| 1F_1 | 87,625 | 19,375 | 78,760 | 20,747 |
| 1F_2 | 147,635 | 40,899 | 143,074 | 41,304 |
| 1F_3 | 139,904 | 13,245 | 137,823 | 14,076 |
| 1F_4 | 552,070 | 82,430 | 540,164 | 80,054 |
| 2F_1 | 384,814 | 75,630 | 413,140 | 75,563 |
| 2F_2 | 89,469 | 15,771 | 97,367 | 15,823 |
| 2F_3 | 101,126 | 15,771 | 103,968 | 15,823 |
| 2F_4 | 503,022 | 70,970 | 503,226 | 70,061 |
| 3F_1 | 817,674 | 109,975 | 816,804 | 102,118 |
| 3F_2 | 110,285 | 11,962 | 121,918 | 11,914 |
| 3F_3 | 152,579 | 20,745 | 143,888 | 21,904 |
| 3F_4 | 686,674 | 93,362 | 681,784 | 95,360 |
| Total | 3,772,877 | 570,135 | 3,781,916 | 564,747 |
| Average absolute error (%) | | | 4.4 | 2.9 |

4.3 외기도입 적용 냉방부하 분석

Fig. 5는 6월 2일 0시부터 24시까지 24시간 동안의 온도와 습도를 나타낸 그래프이며, Fig. 6과 7은 동일한 하루에 대하여 온도를 기준으로 외기도입에 의한 냉방 가동시와 비가동시 발생하는 현열냉방부하(Q_s)와 잠열냉방부하(Q_l)를 비교하여 나타낸 그래프이다.

Fig. 6과 7의 외기냉방 가동시와 비가동시 현열부하와 잠열부하 변화를 나타낸 그래프와 같이 외기의 온도·습도를 나타내는 Fig. 5와 비교하여 보면 낮은 온도의 외기를 도입하지만 상대적으로 높은 절대습도의 공기를 도입하기 때문에 외기도입시 현열부하는 감소하는 반면 잠열부하는 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig 8과 Fig 9는 1년(4월 1일 0시부터 11월

30일 24시까지 5856시간 동안)에 대하여 위와 같이 온도를 기준으로 외기도입에 의한 냉방 가동시와 비가동시 발생하는 현열냉방부하(Q_s)와 잠열냉방부하(Q_L)를 비교하여 나타내었다.

그래프를 요약하면, 외기도입을 하지 않을 때에 비해 외기를 적극적으로 도입할시 도입시간에 비례하여 현열은 감소하고 반대로 잠열은 증가하였다.

온도를 기준으로 외기를 도입하여 냉방 가동시에는 위 기간 동안 5,538 GJ/year의 현열부하가 발생하였고, 1,638 G J/year의 잠열부하가 발생하여, 현열부하는 2,910 GJ/day 감소하였고, 반대로 잠열부하는 959 GJ/year가 증가하였다.

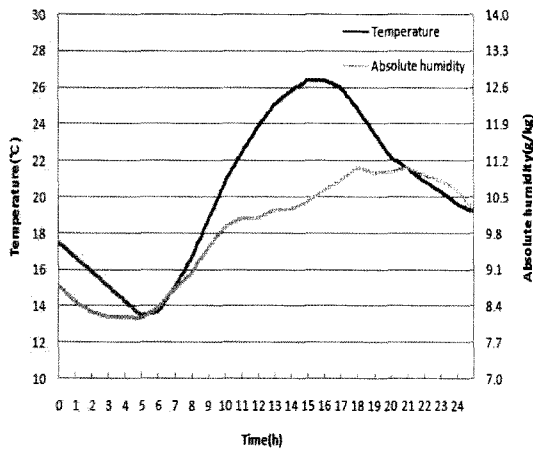


Fig. 5 Ambient temperature and absolute humidity.

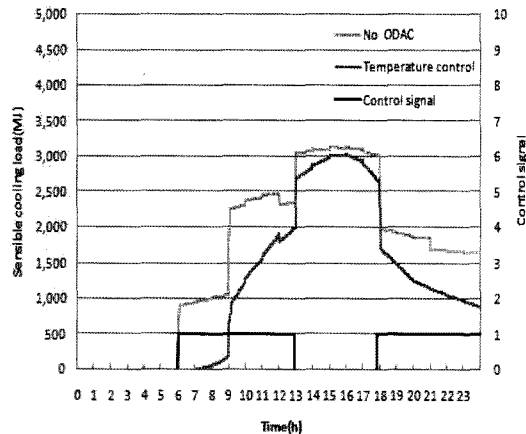


Fig. 6 Sensible cooling load of temperature control.

두 조건을 비교한 결과 현열부하는 34% 감소하나 잠열부하가 141% 증가하는 문제점이 발생하였다.

따라서, 온도로만 제어시 잠열부하의 과도한 증가로 잠열을 제거하기 위한 추가적인 조치가 필요할 것으로 판단되며 잠열을 제거하기 위한 적절한 제어 방식이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 10은 외기의 온도 및 엔탈피가 각각 실내의 온도 및 엔탈피보다 낮고, 실내온도가 설정값+편차보다 높을 때 외기냉방을 시작하여, 설정값-편차보다 낮을 때는 중지하는 제어논리를 적용하여, 외기를 도입할 때와 외기를 도입하지 않을 때의 냉방부하량의 누적치를 월별로 나타낸 그래프이다.

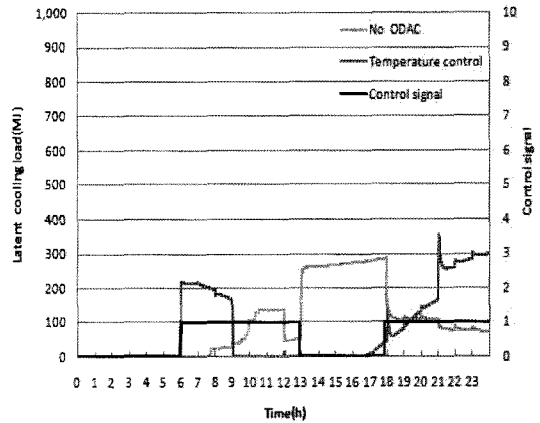


Fig. 7 Latent cooling load of temperature control.

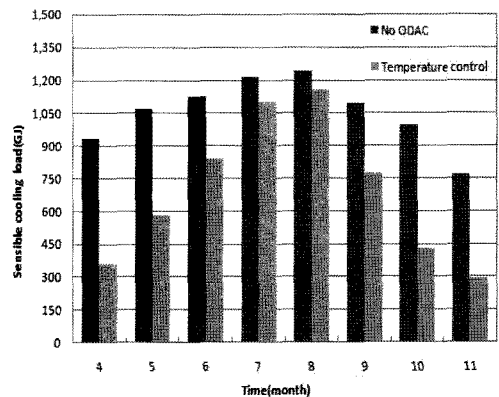


Fig. 8 Year sensible cooling load of temperature control.

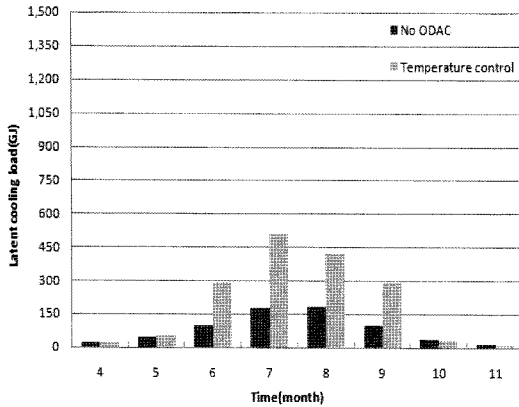


Fig. 9 Year latent cooling load of temperature control.

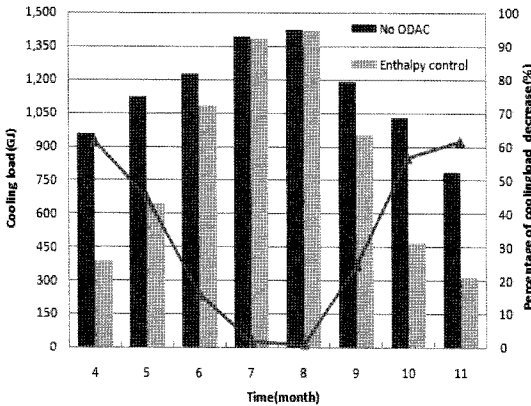


Fig. 10 Total cooling load decrease by enthalpy controlled ODAC.

$$(T_i > T_o \text{ and } h_i > h_o \text{ and } T_s - \Delta T_s < T_i < T_s + \Delta T_s)$$

Fig. 10에서는 실내의 엔탈피가 설정 엔탈피를 초과한 경우에 대하여, 냉방부하량을 월별로 적분하여 나타내었다.

Fig. 10을 요약하면 외기를 도입하지 않을 때에는, 4월 958 GJ, 5월 1,121 GJ, 6월 1,227 GJ, 7월 1,391 GJ, 8월 1,424 GJ, 9월 1,190 GJ, 10월 1,030 GJ, 11월 786 GJ로 1년 동안 총 9,127 GJ의 냉방부하가 발생하였다.

엔탈피를 기준으로 외기를 도입하여 외기냉방을 하는 경우, 외기를 도입하기 어려운 6월, 7월, 8월의 경우 각각 1,082 GJ, 1,380 GJ, 1,420 GJ로 냉방부하 발생량은 큰 차이가 없었으나 제어조건

을 만족하는 외기를 도입하여 냉방 가동한 4월, 5월, 9월, 10월, 11월의 경우 각각 383 GJ, 645 GJ, 953 GJ, 466 GJ, 310 GJ의 냉방부하가 발생하여 큰 폭의 냉방부하 절감률을 나타냈으며, 총 6,639 GJ의 냉방부하가 발생하였다.

엔탈피를 기준으로 외기를 도입하여 외기냉방을 하는 경우 1년 동안 총 2,488 GJ(27%)의 냉방부하가 감소하였으며, 이는 전체 냉방부하량의 약 27%에 해당한다.

건물의 특성상 창면적비가 높고, 외기를 도입하기 어려운 여름철에 비해 중간기에 적극적으로 외기를 도입하기 때문에 전체적으로 높은 절감률을 나타내었다.

5. 결론

동특성 건물에너지 해석 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 17을 이용하여 외기냉방의 특성을 시뮬레이션하고 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 온도에 의한 외기냉방 적용시, 외기온도 < 설정온도, 외기온도 < 실내온도 조건을 만족하는 시간은 1년 365일 8,760시간 중 총 4,801시간이며, 이 중 외기를 도입하여 냉방한 시간은 2,994시간이다. 엔탈피에 의한 외기냉방 적용시 설정값보다 외기값이 낮고 외기값이 실내값 보다 낮을 때 외기냉방을 적용하는 경우, 외기도입이 가능한 기간은 3,731시간이며, 이 중 외기를 도입하여 냉방한 시간은 2,234시간이다.
- (2) 설계도서의 설계용 외기온습도 조건을 기준으로 시뮬레이션하여 냉방부하를 비교한 결과, 각 실의 평균 현열부하의 절대 평균 오차값은 4.4%이며, 잠열부하의 절대 평균 오차값은 2.9%이다.
- (3) 4월 1일 0시부터 11월 30일 24시까지 1년 동안 서울 기상데이터에 대하여 온도설정 온도 > 외기온도, 실내온도 > 외기온도 조건일 때 외기냉방을 적용한 경우와 미적용한 경우에 대하여 비교한 결과, 외기냉방시 현열냉방부하는 2,910 GJ 감소하였고, 잠열냉방부하는 959 GJ 증가하여, 잠열이 증가하

는 문제점이 발생하였다. 따라서 온도만으로 제어시 높은 습도의 외기를 도입할 경우 잠열부하의 과도한 증가로 잠열을 제거하기 위한 추가적인 조치들을 필요로 하여 온도로만 제어하는 방법은 적합하지 않다.

- (4) 엔탈피 제어 외기냉방을 도입하면 1년간 27%의 냉방부하가 감소한다.

참고문헌

1. KEEL, 2007, Energy Monthly Bulletin of Statistics, Korea Energy Economics Institute.
2. Lee, K. H. and Lee, S. B., 1997, A Study of OA Control Strategies for Energy Efficient Cooling in an Office Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 135-143.
3. Lee, S. M. et al., 2009, The analysis of free cooling status through HVAC operational data survey, Proceedings of the Kiaebs, pp. 279-282.
4. Chol, W. G. et al., 2004, Analysis of building energy using TRNSYS, Gungiwon, pp. 55-108.
5. ASHRAE, 2005, ASHRAE Hand Book 2005 Fundamentals.
6. Pack, J. I. et al., 2009, Development of Simplified Building Energy Simulation Program for Building Energy Performance Analysis, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 21, No. 1, pp. 9-15.
7. Baek. S. J, 2009, A study optimal control application methods for heat source and HVAC system in central cooling system, MS thesis, Kyungwon University, Seongnam, Korea.
8. <http://www.trnsys.com>.
9. <http://www.transsolar.com>.