

외기냉방 시스템의 제어방법이 에너지 소비량에 미치는 영향에 관한 연구

황진원¹, 안병천^{2*}

¹가천대학교 건축설비공학과 대학원, ²가천대학교 기계공학과

Effects of Control Methods of Outdoor Air Cooling System on Energy Consumption in Building

Jin-Won Hwang¹, Byung-Cheon Ahn^{2*}

¹Department of Building Equipment & System Engineering, Graduate School of Gachon University,

²Department of Mechanical Engineering, Gachon University

요약 본 연구에서는 자연외기를 활용하여 건물의 에너지절약을 위한 외기냉방제어 시스템에 대하여 다양한 제어방법에 따른 제어특성 및 에너지 소비량에 미치는 영향에 관해 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 연구 방법으로는 TRNSYS 프로그램을 활용하여 시스템 해석 모델링을 수행하였으며, 외기 냉방을 하지 않은 경우와 기존의 외기냉방 제어방법들을 적용하였을 경우에 대해 제어성능에 대한 비교 분석이 이루어졌다. 연구 결과로 외기온도 변화에 따라 적절한 외기도입 온도조건을 선정하는 것이 에너지 절감에 효과적이며, 외기와 환기온도를 비교하여 온도제어하는 방법이 에너지 절감효과가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.

Abstract In this study, the effects of various control methods of outdoor air cooling control system on control characteristics and energy consumption in building are researched by simulation. The system analysis modelling is done by using TRNSYS program package, and the control performances with existing outdoor air cooling methods are compared with the control ones without outdoor air cooling. As a result, appropriate operating temperature conditions of outdoor air cooling system according to outdoor temperature changes are required, and the outdoor air/return air dry bulb temperature comparison control method among the control methods shows best responses in energy savings.

Key Words : Outdoor Air Cooling system, Temperature Control, Enthalpy Control, Control Performances, Energy Consumption

1. 서론

현재 우리나라는 전체 에너지의 해외 의존도가 1차 에너지를 기준으로 98% 수준까지 도달해 있으며, 산업의 가속화와 경제 성장으로 인하여 점차 증가하고 있는 추세이다.

에너지소비 비율을 보면 건물의 에너지 소비량은 국가 에너지 총 소비량의 약 30%를 초과하여 국가 기간

에너지 소비에도 직·간접적인 영향을 주는 중요한 요소이다. 특히 건물에서 냉난방 공조 설비의 부분이 차지하는 비중은 약 50%이상을 차지하여 건물 에너지 소비의 주요 원인이 되고 있다.

최근 건물에서의 에너지 절약을 위한 방법으로 자연외기를 활용하여 에너지를 절감하고자 하는 연구가 최근 많이 이루어지고 있는데, 이것은 BEMS(Building Energy Management System)의 제어용 소프트웨어로서 나이트

*Corresponding Author : Byung-Cheon Ahn(Gachon Univ.)

Tel: +82-31-750-5309 email: bcahn@gachon.ac.kr

Received April 29, 2015

Revised (1st June 5, 2015, 2nd June 10, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

퍼지(Night Purge)제어 및 엔탈피(Enthalpy)제어 등의 외기냉방(Outdoor Air Cooling)제어에 관한 것으로서 관련 연구내용은 다음과 같다.

먼저 강[1]은 외기냉방제어의 적용 시 건물의 에너지 부하를 줄여 줄 수 있으며, 외기도입량을 크게 할 경우가 외기냉방효과가 증가됨을 보여주었으며, 김[2]은 계절별 가능한 외기냉방 가동시간에 대해 연구하였고 외기냉방 제어 시 잠열부하가 증가할 경우 엔탈피 제어방식이 유리하다고 하였다.

그리고 이[3]는 우리나라처럼 계절에 따라 외부의 기후적인 특성이 다양하게 변화하는 상황에서는 실내의 기준 온도를 고정하지 않고 계절에 맞게 변동시키고 변화하는 외부의 기후적인 특성과 급기 기준에 따라서 외기의 도입 범위가 변화되어야 한다고 하였다.

그러나 이상의 연구들은 외기냉방 제어방법이 에너지 절감에 효과적임을 제시하고는 있으나 기존의 다양한 제어방법들에 대한 제어특성 및 에너지 소비량들에 대한 비교분석이 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 TRNSYS 프로그램을 이용하여 시스템을 모델링하고 자연외기를 이용한 외기냉방시스템의 제어방법들의 제어특성 및 에너지소비량 특성을 비교 고찰하였으며, 또한 각 제어방법들을 적용함에 있어 제어인자들이 에너지 소비특성에 미치는 영향 등을 연구하였다.

2. 외기냉방제어시스템의 제어방법

외기냉방이란 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[4].

자연외기의 도입량을 제어하는 외기냉방제어는 공조기를 순환하는 환기에 비해 외기의 온도나 엔탈피가 낮을 때, 외기를 끌어들이어 이를 냉방에 이용함으로써 냉방공조에 사용되는 에너지의 양을 줄이려는 에너지 절약 제어의 한 개념이다.

본 연구에서는 외기냉방시스템의 제어방법들의 제어특성 및 에너지소비량 특성을 비교 고찰하기 위해 대표적인 자동제어 업체인 H사에서 발행한 매뉴얼에 수록된 외기냉방제어[3]를 적용하였으며, 제어방법으로는 온도

제어 방법 2가지와 엔탈피제어 방법 2가지이며 Table 1은 각 제어방법에 대한 외기도입을 위한 운전조건을 나타낸 표이다.

Table 1. Operation conditions for control methods of outdoor air cooling system

Outdoor air cooling control methods	Operation conditions
Basic control(Case1)	- Mechanical Cooling without outdoor air cooling system
Outdoor air dry bulb temperature control(Case2)	- Outdoor temp.<22℃
Outdoor air/return air dry bulb temperature control(Case3)	- Outdoor temp. < return temp. - 16℃<outdoor temp.<27℃
Outdoor air enthalpy control(Case4)	- Outdoor enthalpy ≥ 15.5kJ/kg - Outdoor temp.<22℃
Outdoor air/return air enthalpy control (Case5)	- Outdoor enthalpy < return enthalpy - 16℃<outdoor temp.<27℃

Case1은 외기냉방을 수행하지 않고 냉동기와 공조기 등을 이용한 기계적인 냉방만을 수행하는 방법이다.

Case2는 외기온도만을 가지고 제어하는 가장 간단한 방식으로 외기온도가 22℃ 이하가 되면 외기냉방제어를 수행하는데 외기온도 센서가 신뢰성이 강하기 때문에 안정성이 높고 습도센서를 장착할 수 없는 장소에 적합하다고 제시하였다.

우리나라 기후에서 7~8월에는 22℃ 이하로 떨어지는 시간대가 거의 없어 여름철엔 사용할 수 없기 때문에 이 알고리즘을 사용할 경우 계절에 따라 외기도입 설정 온도를 변화시켜 줄 필요성이 있다고 판단된다.

Case3은 외기온도가 환기온도에 비해 낮고, 설정된 범위인 16℃~27℃ 사이의 온도일 경우 외기냉방제어가 이루어지는 방식이다.

설정 최고온도가 27℃로 고정되어 있을 경우 높은 온도의 외기를 받아들여 실내의 쾌적성에 영향을 미칠 수가 있으며 외기온도 설정 최고온도를 하향 조절할 필요성이 있다고 판단된다.

Case4는 외기엔탈피가 15.5kJ/kg 이상이어야 하고 외기온도가 22℃ 이하인 조건일 때 외기냉방제어를 수행한다. Case2 알고리즘에 외기 엔탈피를 최소 외기도입 설정조건으로 추가한 것으로 우리나라 기후조건에선 Case2와 큰 차이가 없을 것으로 판단되나 4계절 냉방부하가 발생하여 냉방을 하는 백화점 및 항온항습실 등은 이 알고리즘을 적용시켰을 경우 보다 효과적일 것으로 사료된다.

Case5는 외기엔탈피와 환기엔탈피를 비교하여 외기엔탈피가 낮고 설정온도인 16℃~27℃ 사이의 온도라면 외기냉방제어가 가능하게 되며, 앞의 알고리즘들과 비교를 하였을 때 습도를 고려하고 외기온도의 하한치와 상한치를 두어 비교적 더 정밀한 알고리즘으로 판단된다. 그러나 외기도입설정온도 상한치가 27℃인 높은 온도로 지정되어 있어 실내 쾌적도가 떨어지고 에너지 소모가 많을 것으로 판단됨에 따라 Case3과 같이 외기도입설정온도 최고치를 하향 설정해야 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 제어대상 모델링

본 연구에서는 외기냉방제어 시스템의 제어방법에 따른 제어특성 및 에너지소비량에 미치는 영향을 연구하기 위하여 Fig. 1과 같이 에너지 해석용 TRNSYS 프로그램을 사용하여 시스템 모델링을 수행하였다. 또한 Fortran 프로그램으로 제어알고리즘에 대한 코딩을 통해 외기냉방제어 시스템을 구성하여 TRNSYS 프로그램에 적용하여 외기냉방제어 방식들에 대한 에너지 절약 제어성능을 비교 고찰하였다.

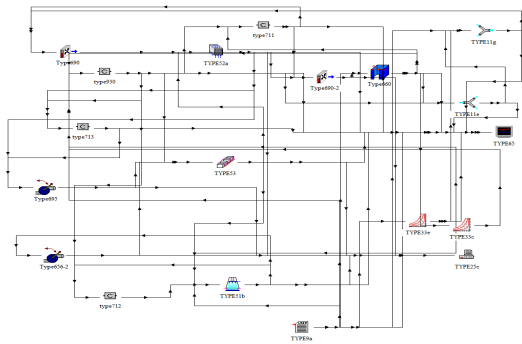


Fig. 1. TRNSYS program for outdoor air cooling system.

이를 위해 시뮬레이션 대상모델을 선정하고 모델링을 수행하였는데, 대상건물은 경기도 용인시에 소재한 H사 연구소로 공조 면적 약 3,008m²이며, 5개 층으로 구성되어 있다. 다수의 공조기와 팬코일 유닛을 통해 냉·난방이 이루어지고 있다. 일반적으로 시뮬레이션 연구를 수행함에 있어서는 에너지 해석모델의 정확성을 고려하여 실험 측정치와의 비교검증이 요구되나, 본 연구에서는

실험 측정 및 모델링의 검증은 이루어지지 않았으며 해석 모델을 실제 건물을 대상으로 하여 건물 규모 및 설비기기들의 용량을 고려하여 시뮬레이션 모델링이 수행되었다. 이럴 경우 각 층의 부하특성 등이 다르게 나타나므로 전체적인 온도변화 특성과 에너지 소모 특성을 분석하는데 문제점이 따르게 되므로 대상 모델을 시뮬레이션하는 데 있어서 5개층을 1개의 대상건물로 통합하고 다수의 설비기기들의 전체적인 냉방 용량으로 구성하여 Fig. 2와 같이 단순화 모델로 해석하였다. Table 2는 실내부하모델 및 중앙냉방시스템 구성 기기의 사양을 나타낸 것이다.

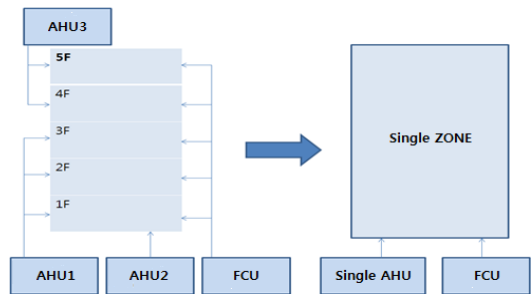


Fig. 2. Simplify modeling of building.

Table 2. Parameters for simulation model

Model	Specifications
Building load(Type660)	Overall heat-transfer coeff. (UA) = 351,534(kcal/h·K) Heat capacity = 24,000(kcal/K) Initial room temp. = 26℃ Specific heat for air = 0.239(kcal/kg·K) Volume = 12,633.6(m ³)
Chiller(Type53)	Overall motor efficiency = 0.95 Max cooling capacity = 587,290(kcal/hr) Power = 683(kW)
Cooling coil (Type52a)	No. of heat exchangers rows = 4 No. of parallel tubes = 52 Thermal conductivity of tube = 1443.6(kJ/hr·m·K) Thermal conductivity of fin = 203.726(kcal/hr·m·K)
Fan(Type690)	Max flow rate = 1,133(m ³ /hr) Rated power = 35(kW)
Chilled water pump(Type695)	Max. flow rate = 123,311(kg/hr) Specific heat of fluid = 4.19(kJ/kg·K) Rated power = 15(kW)
Cooling tower pump(Type656)	Max. flow rate = 160,304(kg/hr) Rated power = 19.5(kW)
Cooling tower (Type51b)	Total no. of tower cells = 2 Max air flowrate for each cell = 156,000(m ³ /hr) Rated power = 12(kW) Initial temp. of sump = 29.4℃

3.2 시뮬레이션 방법

본 연구에서 적용된 제어방법으로는 외기냉방을 하지 않은 경우(Case1)와 앞서 언급한 H사의 외기냉방제어 방법 4가지(Case2~Case5)를 비교 분석하였다. 여기에서 에너지 절감성능 및 실내 공기질을 고려하여 외기도입에 관한 댐퍼 개도는 외기냉방제어운전시에는 100% 외기를 도입하며[5], 기계냉방 시에는 필요 환기량을 고려한 30%의 외기도입이 이루어지도록 하였다.

냉수온도, 급기온도 및 실내설정온도는 Table 3과 같이 선정하여 시뮬레이션을 수행하였고, 외기냉방제어의 외기도입 설정온도 및 설정온도범위에 대한 제어성능과의 상관관계를 분석하고 각 Case별 전체 에너지 소모량에 대하여 비교 분석하였다.

Table 3. Operating conditions for simulation

Parameters	Conditions
Chilled water temperature	8℃
Supply air temperature	16℃
Indoor set temperature	26℃
Outdoor air cooling control operation start time	06:00
Mechanical cooling	09:00 ~ 18:00

4. 결과 및 고찰

외기냉방제어 시스템의 제어방법에 따른 에너지 소비량에 대한 해석과 외기도입 온도조건 변화 등에 관한 비교 해석을 위하여 동일한 조건인 날로 수행하였으며, 냉방이 필요한 조건을 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 3은 외기냉방제어와 기계냉방을 수행하였을 경우에 대하여 각 부분의 온도변화와 급배기 팬과 댐퍼개도에 관한 제어신호를 나타낸 그림이다. 그림에서 살펴보면 기계냉방이 가동되었을 때 냉수온도 및 급기온도가 설정 값인 8℃와 16℃를 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 외기냉방제어 수행 시 댐퍼 개도율과 팬 가동이 100%(제어신호 값 : 1.0)를 나타내며, 기계냉방 수행 시 30%(제어신호 값 : 0.3)의 댐퍼 개도율과 함께 급배기팬은 회전속도가 조절되어 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 기계냉방만을 수행하였을 경우와 외기냉방제어가 이루어졌을 경우에 대하여 실내공기 온도 변화를 살펴본 그림으로서 외기냉방이 이루어졌을 경우 실내공기온도 크기가 상대적으로 낮게 나타나고 있으며 온도가

증가함에 있어서도 상대적으로 느리게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 외기냉방으로 인한 건물의 축냉효과를 나타낸 것으로써 이로 인해 초기 냉방부하를 줄여 에너지 절감효과가 나타날 수 있다.

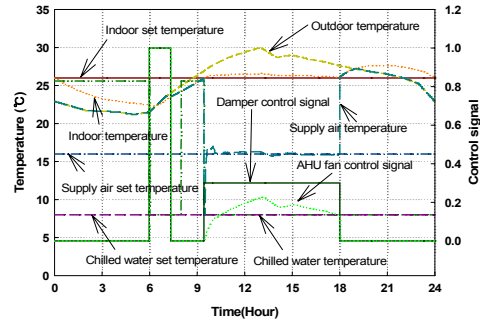


Fig. 3. Temperature changes and control signal for outdoor air cooling and mechanical cooling

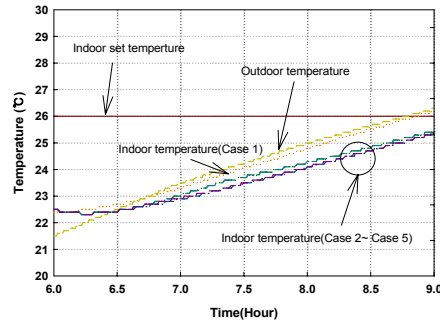


Fig. 4. Control responses for Indoor air temperatures with control methods.

Fig. 5는 외기냉방 특성을 고려하여 공조기 팬과 냉동기의 전력 소모량 특성을 각 Case에 대하여 비교 고찰한 그림이다. Case1은 냉방시간인 09시부터 에너지 소모특성이 나타나며 외기냉방제어를 수행한 경우 06시부터 공조기(AHU : Air Handling Unit) 팬의 전력 사용량이 나타나며, 초기 냉방부하를 줄여주어 냉동기의 전력사용량이 09시 이후에 운전이 가동되는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 Case2와 Case4의 경우와 같이 외기도입 설정온도가 정해져 있는 경우에 대해 외기도입 설정온도를 22℃~25℃로 각각 변화시켰을 경우에 대한 공조기 팬 제어신호를 나타낸 그림이다. 실내설정온도가 26℃임에 따라 최대 외기도입 온도를 25℃로 정하였다. 그림에서

볼 수 있듯이 외기도입 온도설정값이 클수록 팬 운전시간은 길어지는 것을 볼 수 있다. 이때, Case4는 Case2 알고리즘에 외기 엔탈피를 최소 외기도입 설정조건으로 추가한 것으로 외기도입 설정온도가 같을 경우 같은 특성을 나타내는 것으로 판단되며, 그림 결과가 겹쳐서 나타나는 것을 볼 수 있다.

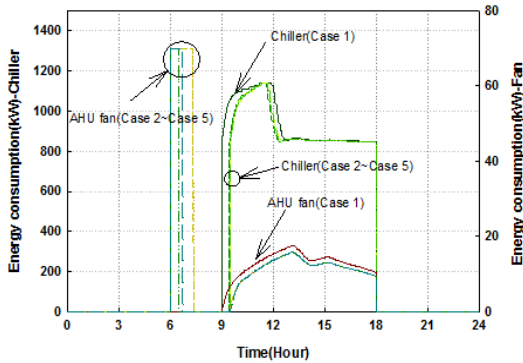


Fig. 5. Energy consumption characteristics of components with control methods.

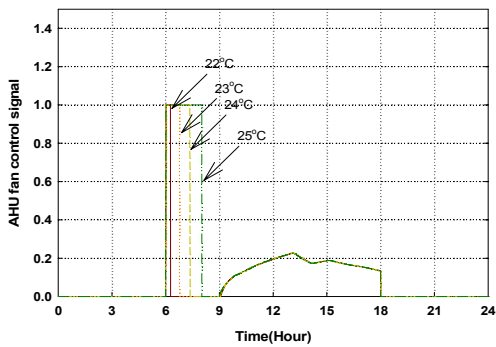


Fig. 6. Fan control signals for case2 and Case4 with set temperature changes.

Fig. 7은 Fig. 6에 대한 전체 에너지 소비량을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기계냉방에 따른 냉동기 에너지 소비량이 거의 대부분을 차지함에 따라 큰 차이를 나타내고 있지는 않다. 그러나 24°C의 경우가 에너지 소비량이 가장 적게 나타났으며, 25°C의 경우 외기도입 온도가 높아 팬 전력 소비량이 커짐에 따라 에너지 축냉성능에 비해 에너지 소비량이 좀 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 외기온도 변화에 따른 적절한 외기도입 온도조건을 선정하는 것이 에너지 절감에 있어

서 중요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 Case3과 Case5를 비교한 것으로서 온도변화 특성을 나타낸 그림이다. Case3이 Case5에 비해 팬의 운전시간이 길어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 9는 엔탈피변화특성을 나타낸 그림으로서 그림에서 보면, Case3의 경우 실내 엔탈피가 외기 엔탈피 보다 더 낮아도 환기온도에 비해 외기온도가 더 낮을 경우 낮은 온도의 외기를 더 많이 받아들이기 때문에 실내 온도를 감소시켜 주게 된다. Case5의 경우의 실내 엔탈피가 Case3에 비해 더 낮은 것을 볼 수 있는데 Case5의 제어특성상 잠열을 더 많이 줄여주지만 Case3에 비해 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 실내온도가 온도가 높아 기계냉방이 더 빨리 일어나기 때문에 에너지 소모량은 약 4.14% 높게 나타났다.

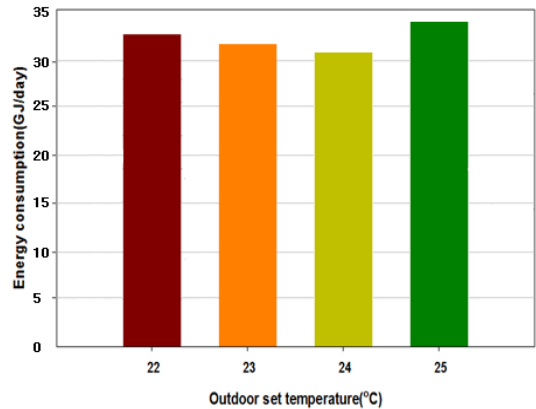


Fig. 7. Total energy consumption for case2 and Case4 with set temperature changes.

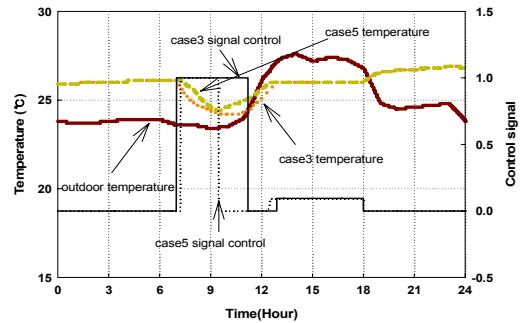


Fig. 8. The comparison of operation characteristics and temperatures for Case3 and Case5.

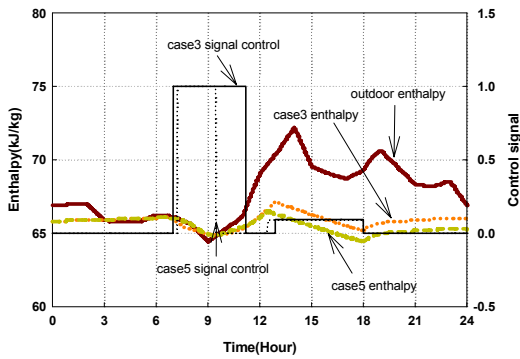


Fig. 9. The comparison of operation characteristics and enthalpies for Case3 and Case5.

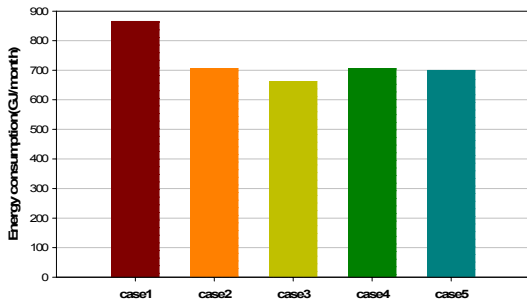


Fig. 10. Energy consumptions for 5 cases.

Fig. 10은 8월 한 달 동안 외기냉방을 하지 않은 경우 (Case1)와 외기냉방을 하였을 경우(Case2~Case5)에 대한 전체 에너지 소모량을 나타낸 그림이다. 본 연구에서는 외기냉방이 가능한 시기인 4~10월에 대해 외기냉방 제어를 적용하였을 때의 제어방법별 에너지 소비량 특성을 비교 고찰하였는데, 전체적으로 유사한 경향이 나타났는데 냉방부하가 가장 큰 시기인 8월 한 달 동안에 대한 결과만을 대표적으로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 Case3의 경우가 에너지를 가장 적게 소비한 것을 알 수 있었으며, 다음으로 Case5이고, Case2와 Case4는 거의 차이가 없었다. 또한, Case3는 외기냉방제어를 적용하지 않은 Case1에 비해 23%의 에너지 절감이 가능함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 현재 적용되고 있는 빌딩 에너지 관리 시스템의 제어용 소프트웨어 중 자연외기를 활용하여 건물부하를 저감시킴으로써 에너지 절감을 기할 수 있는 외기냉방제어를 적용함에 있어서 다양한 외기냉방 제어방법이 에너지 소비량에 미치는 영향을 비교 고찰하였으며, 이에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 외기냉방제어가 이루어질 경우 실내공기온도 크기가 상대적으로 낮게 나타나고 있으며 온도가 증가함에 있어서도 상대적으로 느리게 변화됨을 알 수 있다. 이것은 외기냉방으로 인한 건물의 축냉효과를 나타낸 것으로서 초기 냉방부하를 줄여 에너지 절감효과가 나타남을 알 수 있다.

2. Case2와 Case4의 경우 외기도입 설정온도가 낮으면 가동시간이 줄어 초기 냉방부하 절감효과가 적어지며 너무 높으면 팬 전력 소모량이 커짐에 따라 에너지 축냉성능에 비해 에너지 소모량이 좀 더 크게 나타나게 된다. 따라서 외기온도 변화에 따른 적절한 외기도입 온도조건을 선정하는 것이 에너지 절감에 중요하다는 것을 알 수 있다.

3. Case3의 경우 실내 엔탈피가 외기 엔탈피 보다 더 낮아도 낮은 온도의 공기를 더 많이 받아들여 줌으로써 냉방부하를 줄여주게 되며, Case5는 Case3에 비해 외기도입 온도가 높게 설정되어 기계냉방이 더 빨리 일어나서 운전시간의 증가로 에너지 소모량은 약 4.14% 높게 나타났다.

4. 외기온도와 환기온도를 비교하여 제어하는 Case3이 에너지를 가장 적게 소비한 것을 알 수 있었으며, 다음으로 Case5이고, Case2와 Case4는 거의 차이가 없었다. 또한 Case3은 외기냉방제어를 하지 않은 Case1에 비해 23%의 에너지 절감이 가능함을 알 수 있었다.

References

- [1] Y. D. Kang, "An analysis on the economizer cycle of the building HVAC system in terms of incoming outdoor air ratio", Master Thesis, Yonsei University, 2009.
- [2] M. Y. Kim, Y. I. Kim, "Reduction of Cooling Load using Outdoor Air Cooling", Transactions of the Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol.7, No.1, pp.51-58, 2011.

- [3] S. M. Lee, "The Range Selection of Outdoor Air Intake Considering the Application Period Extension in Economizer cycle", Master Thesis, Seoul National University, 2011.
- [4] HVAC Applications, ASHRAE HANDBOOK, SI Edition, Chapter.38-41, 2007.
- [5] J. H. Heo, "Building Energy Management Technology", Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 4, No.2, pp.18-24, 2010.

황진원(Jin-Won Hwang)

[준회원]



- 2012년 3월 ~ 2014년 8월 : 가천대학교 건축설비공학과 대학원 석사

<관심분야>

건물에너지 관리 및 제어(BEMS), 빌딩자동제어시스템(BAS), 설비시스템 에너지해석

안병천(Byung-Cheon Ahn)

[정회원]



- 1986년 8월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1991년 12월 ~ 1995년 2월 : 현대중공업(주) 중앙연구소
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

건물에너지 관리 및 제어(BEMS), 빌딩자동제어시스템(BAS), 열원 및 공조시스템 해석 및 제어