

이코노마이저 제어 방법에 따른 사무소 건물의 냉방 에너지 성능 비교

Comparison of Cooling-Energy Performance Depending on the Economizer-Control Methods in an Office Building

손정은(Jeong-Eun Son)¹, 현인탁(In-Tak Hyun)¹, 이재호(Jea-Ho Lee)¹, 이광호(Kwang Ho Lee)^{2*}

¹국립한밭대학교 대학원 건축공학과, ²국립한밭대학교 건축공학과

¹Graduate School, Hanbat National University, Daejeon, 305-719, Korea

²Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719, Korea

(Received May 20, 2015; revision received July 10, 2015; Accepted: July 17, 2015)

Abstract Current building procedures seek to minimize external air supplies to reduce the energy consumption of air conditioning, resulting in a high dependency on mechanical ventilation. We therefore studied an economizer-cycle system, whereby the introduction of external air saves energy. We analyzed different economizer-control methods, addressing mixed-air temperatures and outdoor-air fractions according to outdoor-air temperatures; also, we analyzed the energy consumption of the three economizer-cycle control types using detailed EnergyPlus simulation modeling. A differential enthalpy control method showed a lower energy consumption range from 5.8% to 6.2% than that of other methods during the simulated period. A differential dry-bulb control method showed a 12.7% lower energy consumption than the no-economizer method in the intermediate period, but also showed 7.1% more energy consumption during the summer period. When latent heat was not removed due to high summer humidity, we found a significant level of resultant energy consumption.

Key words Economizer(외기냉방), Office Building(사무소 건물), Differential Dry-bulb(건구온도제어), Cooling Energy(냉방 에너지), Energy Performance(에너지 성능), EnergyPlus(에너지플러스)

* Corresponding author, E-mail: kwhlee@hanbat.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

에너지 위기를 겪었던 1970년대 이후 전 세계적으로 에너지 절약기술이 우선시됨에 따라 건물 분야에서도 신축 및 리모델링시 높은 기밀성을 추구하게 되었다.⁽¹⁾ 특히 현대의 사무소 건물에서는 고층화 및 대형화가 주를 이루면서 에너지 절감 측면에서의 기밀성 확보를 더 엄격하게 적용하고 있는 실정이다.⁽²⁾ 이에 따라 외기 도입에 따른 부하를 막기 위해 신선외기의 공급을 줄이게 되면서 오염공기가 잔류하게 되었다.⁽¹⁾ 결국 실내공기 질 악화로 이어져 재실자의 건강과 작업능력, 생산성 감소를 일으키는 원인이 되었다. 이는 경제적으로도 큰 손실을 초래할 수 있으므로 사무소 건물에서의 실내 쾌적성 확보는 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.^(2,3)

사무소 건물에서의 쾌적성 확보를 위해서는 일반적

으로 공조 설비를 통해 신선한 외기를 지속적으로 공급해주어야 한다. 하지만 외기의 조건을 고려하지 않고 도입하는 잘못된 공조기의 운용으로 인해 이는 에너지 소비를 증가시키는 원인이 되어 최근 사무소 건물에서는 외기도입을 점차 줄이고 있으며, 일부는 이보다 더 심각한 수준에 달해있는 실정이다. 외기도입을 줄이고 실내공기 순환 비중을 늘림으로 인해 에너지를 절약할 수는 있지만 결과적으로 실내 공기 질 악화로 이어지는 악순환이 반복되게 된다.⁽³⁾

따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 시스템 중 하나인 이코노마이저의 적절한 운용이 요구된다. 이코노마이저는 실의 환기와 외기의 온도 및 엔탈피를 비교, 도입시켜 공조에 이용하는 시스템으로 에너지 절감과 동시에 실내로 신선외기를 도입시킬 수 있는 기기이다.⁽⁴⁾ 이와 관련하여 Kim et al.⁽⁵⁾ 등은 이코노마이저 사이클 시스템을 통해 냉방을 할 경우 온도 제어 시 잠열부하의 증가로 온도 제어 방법은 적합하지 않으며, 엔

탈피 제어 시 1년간 27%의 냉방부하가 감소된다고 분석하였다. Choi et al.⁽⁶⁾ 등은 이코노마이저 시스템의 온도 및 엔탈피 제어방법을 4가지로 분류하여 EnergyPlus Simulation을 이용해 분석하였는데, 설정한 엔탈피와 외기의 엔탈피를 비교하여 제어하는 Fixed Enthalpy 제어방법이 가장 전기 에너지 소비가 적은 것으로 분석하였다. 이처럼 지금까지의 연구는 단순히 이코노마이저 사이클 시스템의 제어방법에 따른 에너지 성능 비교 연구가 전부이다. 또한 에너지 성능에 대한 분석은 이루어졌지만 외기온도에 따른 이코노마이저 시스템 구동에 대한 정밀 분석은 이루어지지 않았다. 하지만 이코노마이저의 거동을 제대로 이해하기 위해서는 외기 온도에 따른 데이터를 분석하는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 냉방에너지 저감을 위한 이코노마이저의 최적 제어 방법을 제공하고자, 사무소 건물에 이코노마이저 시스템을 적용하여 기존의 연구에서 분석된 이코노마이저의 제어방법 뿐만 아니라 이코노마이저 시스템을 적용하지 않았을 때에 대한 에너지 성능 비교 분석을 우선 실시하였다. 또한, 외기 온도 변화에 따른 시스템 구동 분석을 위해 외기온도에 따른 이코노마이저의 혼합공기온도와 외기 도입비율 분석도 추가적으로 실시하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 사무소 건물에 이코노마이저 사이클 시스템을 적용하여 에너지 성능평가를 목표로 하는 논문으로 이미 선행연구를 통해 검증된 EnergyPlus Simulation 프로그램을 통하여 분석을 시행하였다. 시뮬레이션은 이코노마이저를 작동하지 않는 겨울철을 제외한 4월에서 10월을 냉방기간으로 선정하여 사무소 스케줄에 따라 8시부터 18시 동안 이코노마이저 작동을 실시하였다. 냉방기간 동안 6~8월을 여름철, 나머지 달을 중간기로 선정하였다. 이코노마이저 사이클 제어방법으로는 실무에서 가장 많이 쓰이고 있는 건구온도 제어방법인 Differential Dry Bulb 방법과 이상적인 엔탈피 제어방법인 Differential Enthalpy 방법을 사용하였다. 외기 온도에 따른 외기 도입비율과 혼합공기온도 패턴을 확인하고 냉동기의 전기 소비량 변화를 분석하였다. 또한 이코노마이저 사이클 시스템을 작동하지 않고 항상 최소 외기량만을 도입하는 No Economizer 대비 시스템 구동 및 에너지 소비 패턴을 확인하였다.

2. 이코노마이저

2.1 Economizer Control Logic

이코노마이저는 시스템은 실의 환기(Return Air)와 외

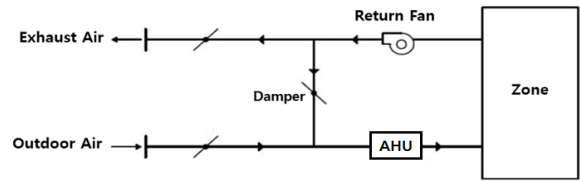


Fig. 1 Economizer control method.⁽⁶⁾

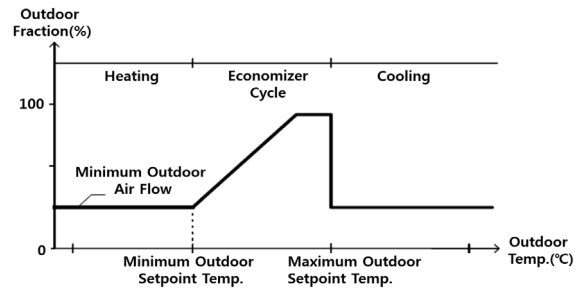


Fig. 2 Outside air flow rate by economizer cycle.⁽⁶⁾

기(Outside Air)의 건구온도나 엔탈피를 비교, 도입하여 외기를 이용해 설정한 AHU 취출 온도(일반적으로 13°C)를 유지하도록 조절하여 이를 통해 부하를 제거 또는 감소시키는 시스템이다. Fig. 1은 이코노마이저 시스템을 나타낸 것으로 외기의 조건에 따라 외기댐퍼, 환기댐퍼, 배기댐퍼를 자동적으로 조절하여 외기 도입량을 제어하며 이를 통해 공조부하 절감에 따른 에너지 절감을 이룰 수 있다.⁽⁵⁾ Fig. 2는 이코노마이저 시스템의 한 외기도입량 제어 방법을 나타낸 것이다. 외기온도가 최고 설정온도와 최저 설정온도 범위를 만족시키지 않을 경우 외기 댐퍼는 최소 외기 도입량만을 도입하여 외기 도입으로 인한 시스템 부하를 최소화 시킨다. 이는 외기 도입으로 인해 부하가 커지는 것을 제어하며 에너지를 줄이는 것이다.⁽⁴⁾ 또한 외기가 최고 설정온도와 최저 설정온도 범위를 만족할 때 외기 댐퍼가 외기를 적극 도입하게 조절한다.

2.2 Economizer Control Type

이코노마이저를 이용한 외기 도입제어 방법은 Fig. 3과 같이 건구온도 제어 방법과 엔탈피 제어 방법으로 구분 된다.⁽⁶⁾

2.2.1 건구온도제어

건구온도 제어는 실의 환기(Return Air)와 외기(Outside Air)를 건구온도 기준으로 비교하여 외기 도입량을 결정하는 가장 간단히 외기의 양을 제어할 수 있는 방법이다. 냉방 시 외기의 온도가 환기 온도보다 낮을 때 시스템 부하를 줄이기 위해 외기 도입량을 증가시키지만, 조건을 만족하지 못하는 상황일 때는 최소 외기만

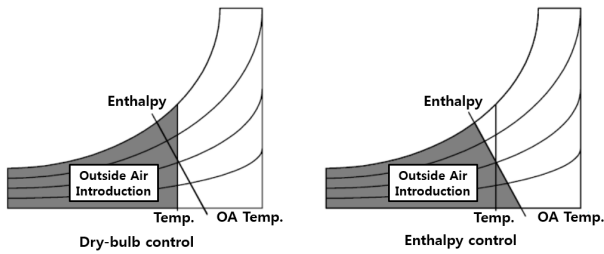


Fig. 3 Compare dry bulb temperature control with enthalpy control.⁽⁴⁾

을 도입한다.⁽⁵⁾

2.2.2 엔탈피제어

엔탈피는 건조공기가 가지는 현열량과 공기 중의 수증기가 가지는 잠열량의 합을 뜻하는 것으로 엔탈피제어는 외기와 환기의 엔탈피를 비교하여 외기의 엔탈피가 낮을 경우 공조에 이용하는 방법이다. 엔탈피제어 방식은 온도뿐만 아니라 상대습도를 함께 고려하여 효율적인 제어가 가능하다.⁽⁵⁾

3. 시뮬레이션 개요

3.1 시뮬레이션 선정

본 연구에서 선정한 시뮬레이션 프로그램은 미국의 D.O.E(에너지성)에서 개발한 EnergyPlus를 선정하였다. EnergyPlus는 비정상 상태의 열전도 및 복사, 대류 열 전달에 대해 동적 해석이 가능하며 건물의 외피와 실내·외 기상 조건에 의한 건물의 냉·난방 부하 및 열 환경에 대해 수학적으로 검증이 가능하다.⁽⁸⁾ 또한, 건물 부하 계산 시 미국의 냉동공조학회(ASHRAE)에서 권장하는 열 밸런스(Heat Balance) 방법을 사용하기 때문에 외피를 통해 발생하는 복사, 대류, 전도의 열전달 현상을 시간대별로 정밀하게 분석할 수 있다.⁽⁹⁾ 건물 에너지 시뮬레이션의 주요 구성 요소들인 Zone, Surface, Air Heat Balance 및 System과 Plant 모델링을 각 시간 단계별로 통합적으로 실시함으로써 각 구성 요소간의 유기적인 연결 관계를 잘 모사하는 큰 장점을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 이코노마이저 사이클 시스템을 적용한 조건 하에 내·외부조건에 따른 실의 부하 및 여러 변수들에 대한 계산을 위해 EnergyPlus를 활용하여 분석하였다.⁽⁸⁾

3.2 시뮬레이션 모델링

모델링은 EnergyPlus에서 자체 제공되는 가로 52.8 m, 세로 35.2 m, 높이 2.7 m, 4면의 벽체 창 면적비가 45%

인 Large Office 모델 프로토타입을 이용하였으며, 입력 설정값은 Table 1과 같다. 공조방식은 1개의 AHU 설비를 통해 각 실에 VAV 방식으로 공조된다. 최소외기 도입량은 ASHRAE 62.1 지침에 따라 $7.62 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ 로 설정하였다.⁽¹⁰⁾ 이는 벽체 단위면적(m^2)당 실내로 공급되는 외기량(m^3/s)을 의미한다. 기상 데이터의 경우 EnergyPlus에서 자체 제공되는 인천기상 데이터를 사용하였으며, 실내발열은 Table 1과 같이 입력하였다. 조명 및 기기 발열은 사무소 건물의 중간 발열 수준으로 선정하였다.^(11, 12) 실내 설정온도는 에너지관리공단의 ‘공공기관 에너지절약 추진 지침’에 따라 냉방 기간 26°C 로 설정하였다.⁽¹³⁾

3.3 시뮬레이션 케이스 선정

본 연구에서는 이코노마이저 제어 방법에 따른 에너

Table 1 Input condition of simulation

Division	Content	Reference	
Program	Energyplus v.6.0		
Terminal unit	VAV with reheat		
Model	AHU	Single variable-speed	
System	Chiller	Centrifugal	
	Boiler	Gas fired	
Minimum Outdoor Airflow Rate	$7.62 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$	ASHRAE 62.1	
	$22.3 \text{ m}^2/\text{P}$		
Internal Heat Gain	People (sensible 65 W/P, latent 54 W/P)	ASHRAE ⁽¹¹⁾	
	Lighting	$10.8 \text{ W}/\text{m}^2$	ASHRAE ⁽¹¹⁾
	Equipment	$11 \text{ W}/\text{m}^2$	ASHRAE ⁽¹²⁾
Setpoint Temp.	Cooling 26°C (Apr.~Oct.)	KEMCO	

Table 2 Economizer control type⁽⁸⁾

Type	Content
No Economizer	The economizer will not operate and the outdoor airflow rate will be at the minimum for the entire simulation
Differential Dry Bulb	The economizer will trigger the outdoor airflow to minimum when the dry-bulb temperature of outdoor air is higher than the dry-bulb temperature of the return air
Differential Enthalpy	When the enthalpy of outdoor air is greater than the enthalpy of the return air, the outdoor air flow rate is set to minimum

지 성능을 비교하기 위하여 Table 2와 같이 건구온도 제어(Differential Dry Bulb), 엔탈피제어(Differential Enthalpy), 이코노마이저를 작동하지 않는 방법(No Economizer) 총 3가지 방법으로 구분하였다.⁽⁸⁾

Differential Dry-bulb와 Differential Enthalpy는 온도 및 엔탈피의 최소, 최대값을 설정하여 제어하는 방법과 달리 시간별 실의 환기와 외기를 각각 건구온도와 엔탈피 비교를 통해 외기 도입량을 자동 연산 기능으로 조절한다. No Economizer는 항상 최소 외기만을 도입한다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 이코노마이저 제어에 따른 대표일 분석

Fig. 4는 시간에 따른 외기, 환기의 건구온도(Air Temperature)와 상대습도(Relative Humidity)를 나타낸 그래프로, 이코노마이저 제어에 따른 구동 방법에 대한 면밀한 분석을 위하여 여름철 임의의 날을 정하여 분석하였다. 기본 세로축은 꺾은 선형 그래프로 나타낸 온도(°C) 값, 보조 세로축은 막대 그래프로 나타낸 상대습도(%) 값이다. 건구온도는 외기가 더 낮지만 상대습도는 환기에 비해 20%에서 30% 더 높게 나타난다. 즉, 외기의 경우 현열은 더 낮지만 잠열은 높고, 환기는 현열은 높지만 잠열은 더 낮음을 나타낸다. Table 3은 외기와 환기의 엔탈피를 정리한 표로, 건구온도의 현열량과 상대습도의 잠열량을 합한 값이다. 건구온도가 더

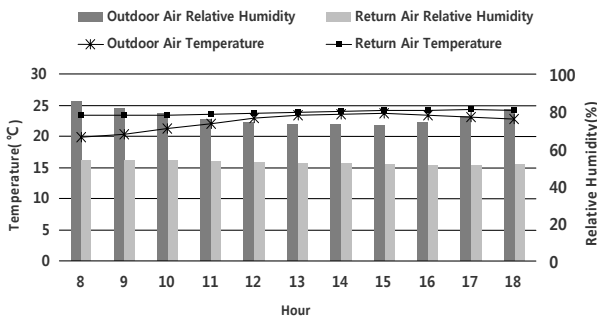


Fig. 4 Temperature and humidity of the outdoor air and return air.

Table 3 Enthalpy of the outdoor air and return air

Hour	8 h	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h
OA(kJ/kg)	51.7	52.0	53.3	54.8	56.4	57.5
RA(kJ/kg)	48.5	48.6	48.6	48.8	48.9	49.1
Hour	14h	15h	16h	17h	18h	
OA(kJ/kg)	57.9	58.1	58.3	59.0	59.3	
RA(kJ/kg)	49.3	49.4	49.5	49.6	49.5	

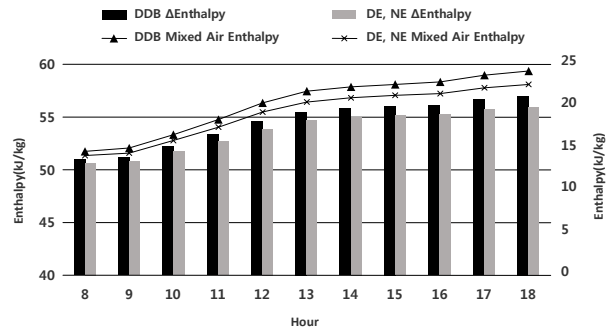


Fig. 5 Mixed air enthalpy and enthalpy removal amount by AHU.

게 나타났던 환기의 엔탈피가 외기보다 3.2 kJ/kg에서 9.9 kJ/kg 더 낮게 분석되었다. 결국, 엔탈피는 잠열량에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 No Economizer(NE)와 Differential Dry Bulb(DDB), Differential Enthalpy(DE) 제어 방법에 따른 에어믹서에서 만들어지는 혼합공기의 엔탈피와 AHU에서 제어한 엔탈피량을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 DE와 NE는 값이 동일하여 서로 겹쳐서 나타내었다. 기본 세로축은 꺾은 선형 그래프로 나타낸 혼합공기 온도의 엔탈피 값, 보조 세로축은 막대 그래프로 나타낸 AHU에서 제어한 엔탈피량(ΔEnthalpy) 값이다. 기본 및 보조 세로축의 단위는 엔탈피(kJ/kg)로 동일하며 동시 비교를 위해 범위를 다르게 설정하였다. AHU에서 제어한 엔탈피량(ΔEnthalpy)은 혼합공기온도와 AHU를 통과하여 만들어지는 실 공급공기 엔탈피 차이를 말하며 시스템 부하를 의미한다. 실 공급공기 엔탈피는 38.1 kJ/kg으로 일정하다. 혼합공기 엔탈피의 경우 DDB 제어 방법이 가장 높게 나타났다. 이는 앞서 분석했던 외기 엔탈피와 동일한 값을 보이며 건구온도가 더 낮게 나타났던 외기를 100% 도입한 것으로 분석된다. 엔탈피 제어 방법인 DE와 항상 최소 외기량을 도입하는 NE는 동일한 값을 보이며 DDB보다 적은 엔탈피를 나타낸다. DE는 외기와 환기의 엔탈피 비교를 통해 엔탈피 값이 더 높은 외기는 최소량만을 도입하여 DE 제어 방법과 NE는 같은 값을 나타내는 것으로 보인다. AHU에서 제어한 엔탈피량 또한 DDB 제어 방법이 가장 높게 나타났는데 이는 현열제어의 경우 1 kg 당 4.19 kJ의 에너지가 소비되는 반면 잠열제어는 539 kJ의 에너지가 소비되어 잠열량이 높은 외기온도만을 도입한 DDB 제어 시 더 많은 에너지가 사용되는 것으로 보인다. 결국, 더 많은 시스템 부하가 발생하는 것으로 분석된다.

4.2 외기온도에 따른 혼합공기온도 분석

Fig. 6~Fig. 8은 No Economizer(NE), Differential Dry

Bulb(DDB), Differential Enthalpy(DE)의 4월에서 10월 동안의 외기온도에 따른 혼합공기온도를 분산형 그래프로 나타낸 것이다. DDB, DE 제어 방법은 비슷한 패턴을 보이며, 혼합공기 온도 13°C일 때를 기준으로 3가지 패턴을 보인다. 이는 AHU를 통과하여 만들어지는 실공급공기 온도 13°C와 연관된 결과 값을 나타낸다. NE의 경우 이코노마이저 작동 유·무의 차이에 따른 다른 패턴을 보인다.

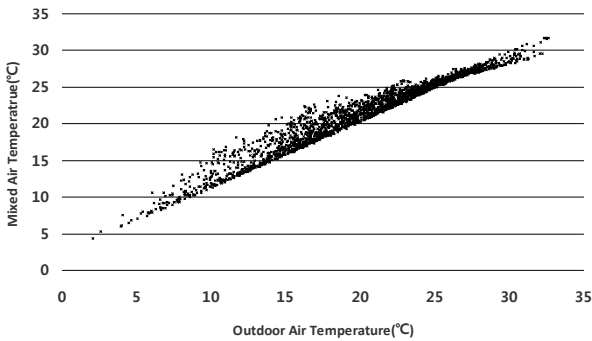


Fig. 6 No economizer mixed air temperature according to the outdoor air temperature. (6)

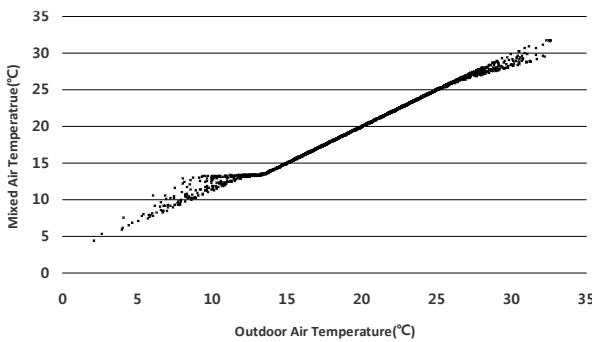


Fig. 7 Differential dry bulb mixed air temperature according to the outdoor air temperature. (6)

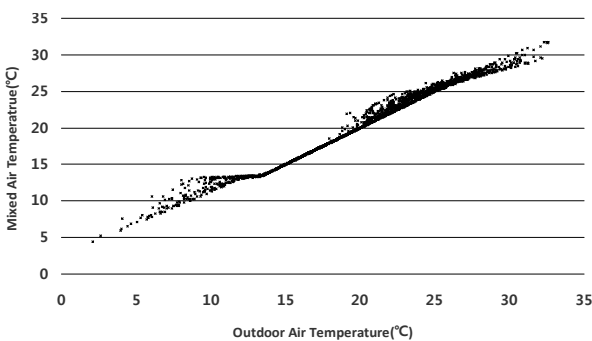


Fig. 8 Differential enthalpy mixed air temperature according to the outdoor air temperature.

DDB와 DE의 혼합공기 온도 13°C 이하의 구간은 NE와 같은 패턴을 나타낸다. 이는 시스템 설정온도 13°C 이하의 낮은 외기에서 실의 냉방 부하량은 적게 나타나 DDB와 DE 또한 최소 외기만을 도입하는 것으로 사료된다. 혼합공기 온도 13°C인 구간은 중간기 기간에 외기와 환기를 혼합하거나 설정 온도에 맞는 외기만을 도입시켜 시스템 설정온도를 만족시키는 구간으로 분석된다. 혼합공기 온도 13°C 이상의 구간에서는 외기온도와 혼합공기 온도가 동일하며, 이는 환기는 모두 배기시키고 외기만을 도입하는 것으로 분석된다. 즉, 환기보다 온도가 낮은 외기만을 도입하여 부하를 감소시키기 위한 것으로 판단된다. 이와 같은 패턴은 외기온도가 26°C 이하일 때까지 보이며, 26°C 이상이 되면 그래프의 기울기 상승이 줄어드는 것을 보이고 있다. 이는 외기가 냉방 설정온도 26°C 이상이 되어 환기 도입량이 증가하고, 외기는 최소량으로 도입하게 되어 기울기 또한 감소하게 된 것으로 분석된다.

DDB와 DE의 변화 패턴은 유사하지만 외기온도가 20°C 이상에서는 DE의 혼합공기온도가 더 높게 나타난다. 이는 앞서 대표일 분석과 같이 건구온도만을 비교하여 외기만을 도입한 DDB과 달리 DE는 엔탈피 비교를 통해 잠열까지 고려하여 외기도입을 줄인 것으로 사료된다.

NE의 경우 항상 최소 외기만을 도입하여 일정하게 상승하는 직선구간이 나타나는 것으로 분석된다. NE와 같은 일정한 직선구간은 DDB와 DE 또한 여름철에 나타나는데 이는 앞서 분석한 것처럼 환기는 모두 배기시키고 외기만을 도입하여 일정한 직선 패턴이 나타나는 것으로 분석된다.

4.3 외기온도에 따른 외기도입비율 분석

Fig. 9~Fig. 11은 No Economizer(NE), Differential Dry Bulb(DDB), Differential Enthalpy(DE)의 4월에서 10월 동안의 외기온도에 따른 외기 도입비율을 분산형 그래프로 나타낸 것이다. 외기 도입비율은 식(1)을 적용하였다. 여기서, Outdoor AirFlow는 에어믹서로 들어오는 외기의 풍량, AHU Fan AirFlow는 AHU를 통과하는 풍량을 나타낸다.

$$Fraction = \frac{Outdoor\ Airflow}{AHU\ Fan\ Airflow} \quad (1)$$

앞서 분석한 혼합공기온도와 같이 DDB와 DE는 비슷한 패턴을 보이며, NE는 이코노마이저 작동 유·무의 차이에 따른 다른 패턴을 보인다. NE 제어 방법은 외기온도가 증가할수록 외기 도입비율이 줄어드는 것으로 나타나는데, 이는 항상 최소 외기도입으로 실 부하

를 감소시켜야 하기 때문에 VAV Terminal unit의 control logic에 의해 AHU Fan의 풍량을 증가시켜 실의 설정온도를 맞추는 것으로 분석된다. 결국, 증가하는 Fan의 풍량 대비 외기는 최소 도입량으로 일정하기 때문에 외기 도입비율이 떨어지는 것으로 나타난다.

시스템 설정온도 13°C 이하의 낮은 외기온도인 중간기 기간에 실 부하에 의해 요구되는 AHU Fan 풍량은 VAV Terminal Unit의 control logic에 의해 최소값으로

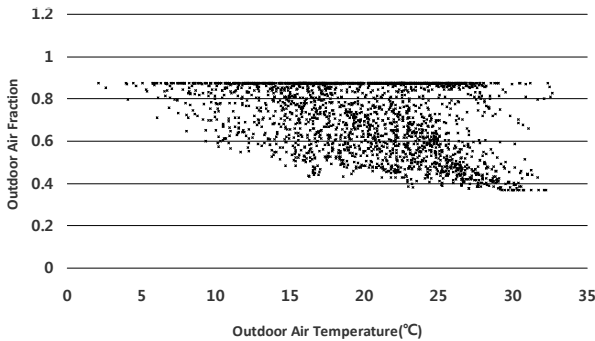


Fig. 9 No economizer outdoor air fraction according to the outdoor air temperature.

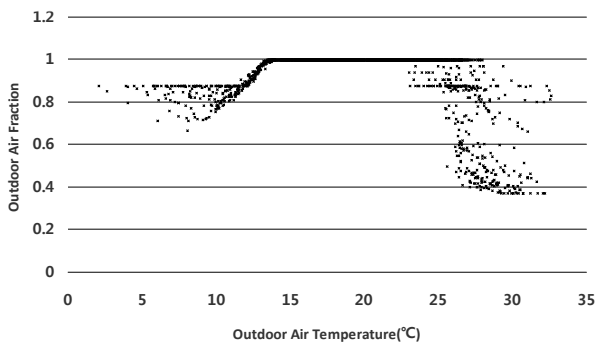


Fig. 10 Differential dry bulb outdoor air fraction according to the outdoor air temperature.⁽⁶⁾

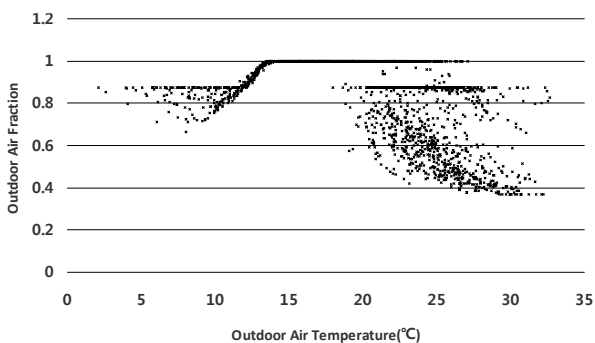


Fig. 11 Differential enthalpy outdoor air fraction according to the outdoor air temperature.

설정된다.⁽¹⁴⁾ 외기 또한 앞서 분석 하였듯이 13°C 이하의 낮은 온도에서는 실의 냉방 부하량이 적게 나타나 여 최소풍량을 도입한다. 따라서 Fan 풍량과 외기풍량은 최소량으로 일정하여 DDB와 DE의 13°C 이하인외기에서 외기 도입비율은 일정하게 높은 값을 나타낸다. 최소 외기 도입량과 Fan의 최소 풍량의 차이가 작아 외기 도입비율이 다소 높은 것으로 분석된다. 최소 풍량 이하의 값들은 실의 설정 값이 맞춰지지 않을 경우 AHU Fan 풍량을 증가시킨 것으로 분석된다. 외기온도가 시스템 설정온도인 13°C에 가까워질수록 외기도입비율은 증가하며 13°C 이상부터 외기만을 도입하는 것을 보인다. 이는 Fig. 7, Fig. 8에서 보이듯이 환기온도보다 낮은 외기온도를 사용하여 부하를 감소하기 위한 것으로 판단된다. DDB의 경우 여름철 냉방 설정온도 26°C까지 외기만을 도입하고, 외기온도가 26°C 이상이 되면 외기 도입비율이 줄어드는 것을 보이는 반면 DE의 경우 외기 온도가 20°C 이상일 때부터 외기 도입 비율이 줄어드는 것을 보인다. 이는 온도와 상대습도를 고려하는 엔탈피를 비교를 통해 외기 도입을 제어하여 냉방 설정온도보다 낮은 온도에서도 외기 도입을 감소시키는 것으로 분석된다. 또한 외기 온도가 증가할수록 여름철 실 부하량 상승에 의해 요구되는 VAV Terminal Unit의 AHU Fan 풍량 또한 증가하여 감소하는 외기도입량 대비 Fan 풍량의 증가로 외기 도입비율이 중간기 기간의 외기도입비율보다 더 낮은 값을 나타낸다.

4.4 에너지 소비량 분석

Fig. 12는 No Economizer(NE), Differential Dry Bulb (DDB), Differential Enthalpy(DE)의 4월에서 10월까지 월간 총 냉동기 전기 소비량을 나타낸다. 월간 및 기간 별 구체적인 전기 사용량 소비는 Table 4와 Table 5에 요약되어있다. 분석기간 중 8월이 가장 높은 소비량을 보이며, 이는 8월의 외기온도가 다른 월에 비해 높기 때문

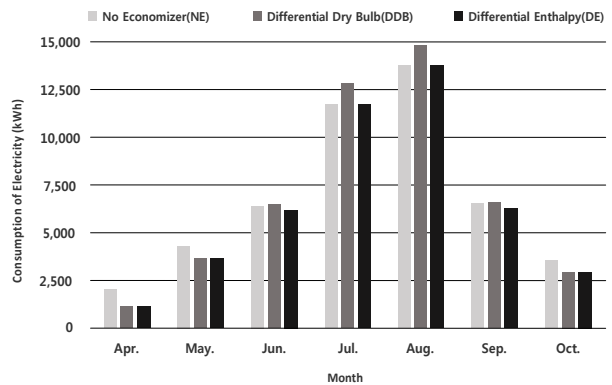


Fig. 12 Monthly total electricity consumption.⁽⁶⁾

Table 4 Monthly total electricity consumption⁽⁶⁾

	No Economizer	Differential Dry Bulb	Differential Enthalpy
Apr.(kWh)	2,019.5	1,123.4	1,123.4
May(kWh)	4,298.3	3,650.0	3,645.4
Jun.(kWh)	6,402.4	6,496.7	6,164.3
Jul.(kWh)	11,698.0	12,794.1	11,695.0
Aug.(kWh)	13,778.3	14,835.9	13,778.2
Sep.(kWh)	6,531.0	6,590.5	6,256.0
Oct.(kWh)	3,532.1	2,944.3	2,944.3
Total(kWh)	48,259.6	48,434.9	45,606.6

Table 5 Electricity consumption in cooling period⁽⁶⁾

	No Economizer	Differential Dry Bulb	Differential Enthalpy
Intermediate period (kWh)	16,381.0	14,308.2	13969.0
Summer period (kWh)	31,878.6	34,126.7	31637.5

에 사용량 또한 높은 것으로 사료된다. 냉방기간 총 전기 에너지 소비량은 NE 48,259.6 kWh, DDB 48,434.9 kWh, DE 45,606.6 kWh로 엔탈피 제어 방법인 Differential Enthalpy가 가장 적은 에너지 소비를 나타낸다. 외기의 잠열까지 고려하여 제어하는 DE가 에너지 효율이 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

중간기의 경우 NE는 16,381.0 kWh, DDB 14,308.2 kWh, DE 13969.0 kWh로 가장 적은 에너지를 소비한 DE 대비 NE와 DDB는 각각 17.3%, 2.4% 더 많은 에너지를 소비한 것으로 나타난다. 앞서 Fig. 7과 8에서 분석되었듯이 중간기의 외기는 환기와 혼합하여 시스템 설정 온도를 만족시킨다. 따라서 외기를 적극 도입시켜 공조에 활용한 DDB와 DE 제어 방법이 더 적은 에너지 소비량을 나타낸다. 여름철의 경우 NE 31,878.6 kWh, DDB 34,126.7 kWh, DE 31637.5 kWh로 NE 0.76%, DDB 7.9%의 차이를 보이며 중간기와 반대로 DDB 제어방법이 가장 많은 에너지 소비량을 보인다. 월별로 분석하면, 6월의 에너지 소비량 차이는 적으나 7월과 8월의 경우 DE 대비 DDB는 각각 9.4%, 7.7%를 더 소비했으며, NE는 1% 미만의 미비한 차이를 보였다. 7, 8월의 경우 DDB는 가장 많은 에너지를 소비한 8월 보다 7월에 DE와 더 많은 에너지 소비량 차이를 보였는데 이는 건구온도만을 비교하여 외기만을 도입한 DDB와는 달리 DE는 상대습도로 인한 잠열을 고려하여 외기 도입량을 감소시켜 가장 큰 차이가 나는 것

으로 사료된다. 8월은 상당수의 날의 외기온도가 냉방 설정온도 보다 높아 DDB 또한 외기 도입량을 감소시켜 7월보다 에너지 차이가 적게 나타나는 것으로 보인다. NE의 경우 DE의 외기 도입량 감소로 7, 8월의 에너지 차이가 미비한 것으로 사료된다. 우리나라와 같이 다습한 여름철에는 습도로 인한 잠열을 제어하지 않고 외기를 도입했을 때 에너지 소비량이 더욱 큰 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 사무소 건물을 EnergyPlus로 모델링하여 이코노마이저의 3가지 제어 방법에 따른 에너지 성능을 시뮬레이션하였다. 또한, 외기온도에 따른 혼합공기온도와 외기 도입비율을 분석하여 이코노마이저의 작동에 대해 정밀하게 분석한 것으로 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 외기온도에 따른 혼합공기 온도의 경우 건구온도 제어 방식과 엔탈피 제어 방식은 비슷한 패턴을 나타냈다. 외기온도 13℃ 이하의 구간에서 동일한 패턴을 보였고, 여름철 냉방 시에는 엔탈피 제어 방식의 혼합공기 온도가 더 높게 나타났다. 이코노마이저를 작동하지 않았을 때에는 외기온도가 높아질수록 혼합공기온도 또한 높아지는 패턴을 보였다.
- (2) 외기온도에 따른 외기 도입비율은 여름철 냉방 설정 온도 26℃ 이후에 도입비율이 낮아지는 건구온도 제어 방식과 달리 엔탈피제어 방식은 외기의 습기를 고려하여 냉방 설정온도 보다 낮은 외기온도에서도 외기 도입비율을 감소시키는 것으로 나타났다. 이코노마이저를 작동하지 않았을 때는 외기온이 상승 할수록 AHU Fan 풍량이 증가하여 외기 도입비율이 감소하는 것을 보였다.
- (3) 이코노마이저의 제어방법에 따른 에너지 소비는 엔탈피제어 방법이 냉방기간 동안 총 45,606.6 kWh의 전기 에너지를 소비하여 건구온도제어 48,434.9 kWh, 이코노마이저를 작동하지 않았을 때 48,259.6 kWh 보다 각각 6.2%, 5.8%의 에너지가 절약되는 것으로 분석되었다. 건구온도 제어방법의 경우 다습한 여름철 외기의 조건을 고려하지 않고 외기를 도입하여 가장 높은 에너지 사용량을 나타냈다.
- (4) 냉방 기간에 거쳐 엔탈피 제어방법을 사용할 시 가장 많은 에너지를 절약할 수 있으며, 엔탈피 제어방법을 적용하지 못할 시 중간기의 경우 이코노마이저의 건구온도 제어방법 사용 시 에너지가 절약되지만 여름철의 경우 이코노마이저를 사용하지 않고 최소 외기량만을 도입하는 것이 에너지 측면에서 유리한 것으로 분석된다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연 협력 기술개발사업(“바닥 공조 적용 에너지 절약형 성층화 기술 및 디퓨저 개발” No. S2223127)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

1. Jeong, C. S., 2010, Study on Uses of the HVAC Humidifier in the Office Building, Ph.D. Dissertation. Hanyang University, Seoul, South Korea.
2. Kim, S. Y., Yoon, S. J., Jung, D. Y., Lee, K. H., 1992, A Study on the Indoor Air Quality of th Offices, In Proceedings of the Spring Conference of AIK, Seoul, South Korea, pp. 245-248.
3. Kwon, K. W., and Park, J. S., 2007, Cost Benefit Analysis of Improved Indoor Air Quality in Office Building, Journal of AIK, Vol. 23, No. 10, pp. 203-212.
4. Lim, S. H., 2002, A Study on the Energy Efficient Control Strategies of Outdoor Air Introduction in Office Buildings, Ph.D. Dissertation, Konkuk University, Seoul, South Korea.
5. Kim, M. Y., Kim, Y. I., Chung, K. S., 2011, Reduction of Cooling Load using Outdoor Air Cooling, Journal of KSGEE, Vol. 7, No. 1, pp. 51-58.
6. Son, J. E., Hyun, I. T., Lee, J. H., Lee, K. H., Comparison of Cooling Energy Performance depending on The Economizer Control Methods in an Office Building, In Proceedings of the Summer Conference of SAREK, Yongpyong, South Korea, pp. 202-205.
7. Choi, B. E., Shin, K. J., Jung, Y. J., Kim, H. J., Cho, Y. H., 2013, A Study on the Effect of Energy Saving of Economizer(Air Handling Unit) Through Simulation, In Proceedings of the Winter Conference of AIKRA, Seoul, South Korea, pp. 497-500.
8. The U. S. DOE. 2011, EnergyPlus Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.
9. Winkelmann, F., 2001, Modeling Windows in Energy Plus, Building Simulation 2011 in : 7th International IBPSA Conference.
10. ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013-Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
11. ASHRAE, 2005, ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta : American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
12. ASHRAE, 2007, ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta : American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
13. KEMCO, Energy Saving Technology Instruction Manual of Public Buildings, p. 10
14. Kang, S. H., Yu, S. W., Cho, Y. H., 2011, The Analysis of Energy Performance and Thermal Comfort for the Dual Maximum Control Logic at the VAV Terminal, In Proceedings of the Autumn Conference of KIAEBS, Seoul, South Korea, pp. 105-108.