

## 중앙냉난방시스템의 EMS 복합제어 효과 분석에 관한 시뮬레이션 연구 A Simulation Study on Effect Analysis of EMS Combined Control of Central Cooling and Heating System

송재엽(Jae-Yeob Song), 안병천(Byung-Cheon Ahn)\*†

유한대학교 건축설비공학과 교수, \*가천대학교 기계공학과 교수  
Professor, Department of Building Equipment System Engineering, Yuhan University, 14780, Korea  
\*Professor, Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 13120, Korea

### Abstract

In this study, we analyze the existing heating and cooling operation method for an office-type complex building with a central heating and cooling system, and examine the effects of applying various EMS that can be applied according to the load size to save energy in the building. For this purpose, simulation analysis was performed. As a control method, reset control of chilled water, hot water, cooling water and supply air temperatures, optimal start/stop of heat source, and number of heat source control were applied according to the load size, and energy consumption was analyzed accordingly. In addition, when all of these control methods were applied, the overlapping energy saving effect was finally confirmed. As a result, it was possible to confirm the energy saving effect when EMS for reset control and heat source control were applied compared to the existing control method of the heating and cooling system, and the effect for the case of using all these control methods in combination was also confirmed.

**Key words:** Central cooling and heating system(중앙냉난방시스템), Reset control(재설정제어), Optimal start/stop(최적기동/정지), Heat source control(열원제어), Combined control(복합제어)

†Corresponding author

E-mail: bcahn@gachon.ac.kr

접수일: 2022년 10월 19일; 심사일: 1차:2022년 11월 09일, 2차:2022년 11월 15일; 채택일: 2022년 11월 15일

## 1. 서 론

건축물은 인간이 안전한 생활을 영위할 수 있는 공간으로써 예로부터 지속적으로 개발이 되어왔다. 초반에는 보호소 개념인 쉼터(shelter)의 역할을 수행하는 것이 고작이었으나 인간의 생활과 편의성을 위하여 점차적으로 많은 설비들이 개발, 적용되어 현재에는 다양한 최선의 기술이 접목된 초고층 빌딩에까지 이르게 되었다. 이에 따라 현재 건물에서는 쾌적한 환경과 활용도를 극대화시키기 위하여 냉난방 열원기기, 공조기, 펌프 등 많은 설비들이 접목되어 설계되면서 많은 양의 에너지를 사용하는 분야 중에 하나가 되었다.

그러나, 최근 지구환경에 대한 관심이 날로 높아짐에 따라 파리협정, UN 기후정상회의 이후 121개 국가가 기후목표 상향동맹(2050 탄소중립 목표 기후동맹)에 가입하며 전 세계적으로 2050 탄소중립이 글로벌 신패러다임으로 대두되고 있다. '탄소중립'은 이산화탄소 배출양만큼 이산화탄소 흡수량도 늘려 실질적인 이산화탄소 배출량을 '0'으로 만든다는 개념으로써 이를 위해서는 현재 화석연료를 통하여 만들어지는 에너지의 저감이 무엇보다 중요한 실정이다[1].

건물에너지 사용량 중에서 특히 에너지 사용량이 많은 분야는 냉난방분야로 일반적인 사무용 건물의 경우 건물 전체에너지 사용량의 약 60%를 소비하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 건물에서의 냉난방분야의 에너지 효율성을 높이는 것은 이러한 세계적인 패러다임에 대한 대응에 효과적이다.

이러한 영향으로 최근에는 건물의 에너지저감을 목적으로 BEMS(Building Energy Management System, 건물에너지관리시스템)가 적용되어 운영되는 곳이 점차적으로 많아지고 있다. 건물에너지관리시스템에서 에너지를 절감하기 위한 방안은 크게 두가지로 나누어 볼 수 있는데 건물에너지 사용량을 분야별로 철저하게 모니터링하여 낭비되는 요소(설비의 효율저하, 미사용 설비의 에너지 소모 등)를 찾아내어 해결하는 방법, 에너지 사용이 많은 설비에 대하여 자동제어개념을 도입해 부하크기에 따라 다양한 EMS(Energy Management Software)를 적용하여 에너지를 저감하는 방법으로 구분된다. 모니터링에 의하여 낭비되는 요소를 찾아 해결하는 방법의 경우에는 직접적인 요소를 찾아 제거함에 따라 에너지 절감에 있어 큰 효과를 얻을 수 있으나 이를 분석하기 위해서는 장기적으로 다양한 에너지와 관련된 데이터를 수집하는 것이 필요하며, 데이터 신뢰성의 확보가 매우 중요하다. 또한 부하크기에 따라 다양한 EMS를 적용하여 냉난방설비를 제어하는 것은 중대형 건축물에 있어서 열원, 반송, 공조 등의 냉난방설비가 서로 연결되어 상호연관적인 운전을 수행함에 따라 이를 고려하여 시스템에 적용하여야 큰 효과를 얻을 수 있다. 특히, 기존에 설치된 건물에서는 자동제어시스템에 있어서 시공 당시에 적용되어진 EMS로 인하여 다양한 효과적인 방법들이 적용되지 못하는 경우가 있기 때문에 이를 적절하게 적용하기 위해서는 건물의 기존의 운영방법을 철저히 파악하고 현재 사용하고 있지 않은 에너지 저감 방법을 기존의 운영방법과 적절히 융화되어 운영할 수 있도록 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

건물 중앙냉난방시스템의 제어에 관한 연구로는 국외에서 축열조가 없는 상황에서 냉수의 설정점을 변화시키는 최적제어 방법에 관한 연구[2]가 있으며, 이밖에 냉각수 설정온도를 재설정할 수 있는 준최적제어 방안에 관하여 연구[3]가 있다. 또한 중앙공조시스템에 대하여 중앙냉방시스템에서 설비기기의 최적설정점 제어방법에 관한 연구[4]가 진행된 적이 있으며, 중앙냉방시스템에서 또한 최적설정점 제어방법에 연구[5]가 수행되었다. 그러나 이러한 방법들은 열원의 추가적인 EMS 적용에 따른 효과분석이나 운영 중인 건물을 대상으로 한 구현 가능성을 염두에 두지 않은 방법들이다.

건물에너지관리시스템에 관한 연구로는 능동형 건물에너지 최적관리 시스템에 관하여 구축운영에 따른 효과를 분석한 연구[6]가 있으나 구체적인 제어방법에 관한 언급이 부족하며, 이밖에 에너지 비용을 고려한 중앙냉방시스템의 최적운영방안에 관한 연구[7]의 경우는 의료시설을 기반으로 하여 일반적인 사무형 건축물에 대한 검토가 부족하다.

이처럼 중앙냉난방시스템의 경우는 다양한 EMS 프로그램 접목시켜 복합적인 효과를 분석한 연구가 부족하며, 건물에너지관리시스템분야에서는 오히려 어떠한 제어방법을 적용하였는지에 대한 언급이 없어 보완할 필요성이 있다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 중앙냉난방시스템이 구축되어진 사무형태의 복합건물에 관하여 냉난방시스템의 기존의 제어 및 운전방법을 검토하고 실제 건물에 구현이 가능한 다양한 EMS를 도출하고 이를 건물에 맞추어 적용하였을 경우에 대한 효과를 확인하고자 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 적용된 EMS는 냉온수, 급기온도, 냉각수온도에 관한 재설정제어 방법과 열원설비에 있어서 최적기동/정지, 열원대수제어에 관하여 적용하였으며, 또한, 이러한 방법들이 모두 복합적으로 적용되었을 경우에 대한 에너지 소모량을 분석하여 효과를 살펴보고, 추가적으로 건물 운영자의 경우 에너지 비용에 대한 고려가 필요함에 따라 에너지 비용 절감효과를 분석하였다.

## 2. 대상건물과 시뮬레이션 모델

본 연구대상인 사무형태의 복합건물 G업무시설은 벤처빌딩, 창업보육센터 등 다양한 업체들이 입주해

있는 복합지원센터이며 건물개요는 다음 Table 1과 같다.

Fig. 1은 G업무시설의 시뮬레이션 3D Model로 회의동, 벤처동, 연구동, 본관동으로 구분되어 있는 건물로써 각 동별 Zoning은 공조 공간과 비공조 공간으로 구분하였으며 층별로 같은 공조 설비에 연결되어 있는 공간은 하나의 공간으로 구분하였다. 시뮬레이션모델은 Energyplus 8.0을 통하여 모델링을 수행하였다.

건물을 구성하는 구조체는 외벽, 지붕, 바닥, 창호 등으로 구성되며 부하계산서에 명시된 열전도율 및 두께를 바탕으로 시뮬레이션의 구조체 열관류율을 결정하였다.

대상건물은 복합지원센터로 다양한 기관들이 대거 입주해있어 공간별 독립적인 운영패턴을 가지고 있다. 본관동과 벤처동, 연구동은 일반적인 사무형태의 냉난방 운영패턴으로써 오전 9시부터 오후 6시까지 냉난방을 수행하도록 되어 있으며, 회의동의 경우 강당형태로 행사일정에 따라서 냉난방 시간이 결정된다. 그러나 열원기기의 가동시각과 정지시각은 운영시간 내에 실내온도의 설정값 도달을 고려하여 그 동안 운영방법에 따라 결정되어 운영되고 있다. 예를 들어 동절기에 오전 9시부터 공간이 운영된다고 할 때 예열을 위하여 회의동의 운영이 있을 경우 오전 6시, 없을 경우 오전 7시 반부터 열원기기를 가동하여 운영되도록 되어 있다.

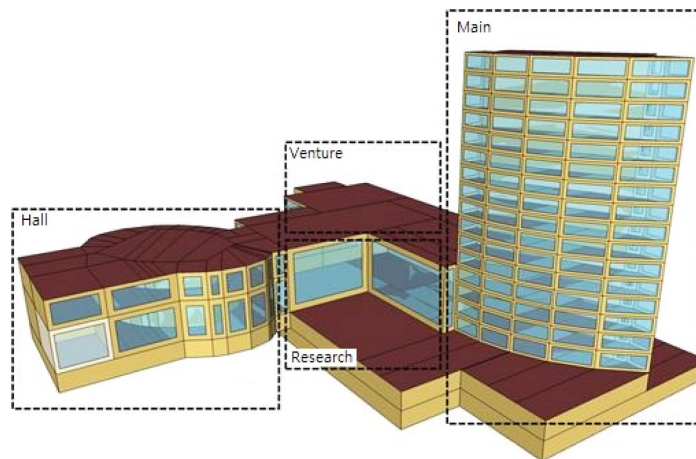
Fig. 2는 대상건물의 냉난방열원흐름도를 나타낸 것이다.

난방의 경우 흡수식냉온수유닛과 증기보일러가 운영 중에 있으며 흡수식냉온수유닛에서 만들어지는 온수는 공기조화기와 FCU 난방용으로 공급하고 보일러에서 만들어지는 증기는 급탕, 바닥 난방, 환기조화기(HVU)에 공급하도록 구성되어 있다. 또한, 냉방의 경우 흡수식냉온수유닛과 터보냉동기가 운영 중이며 흡수식냉온수유닛에서 만들어지는 냉수는 공기조화기와 FCU 냉방용으로 공급하도록 되어 있다.

그러나 대상건물이 중간에 일부 동에 관한 용도변경이 이루어지는 등의 영향으로 인하여 냉방열원 중 터

**Table 1.** Building overview.

Classification	Description
Building use	Office use(Office, Laboratory, Conference)
Total floor area	48,653m <sup>2</sup>
Building scale	3 basement level, 16 stories high
Major energy source	City gas, Electricity
Major cooling and heating equipment	Absorption chillerheater, Steam boiler, Turbo chiller



**Fig. 1.** Simulation model of subject building

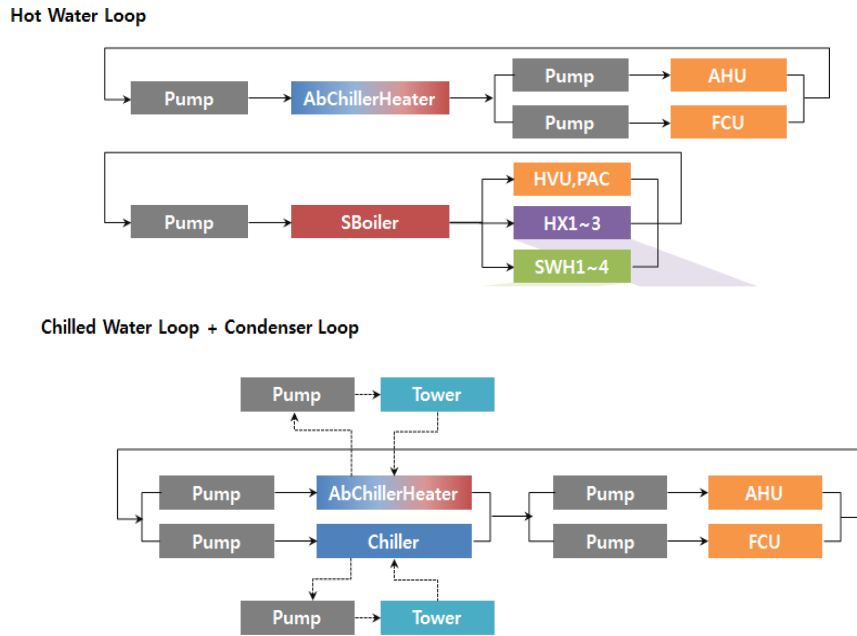


Fig. 2. Flow diagram of central cooling and heating system in subject building

보냉동기는 사용되지 않고, 난방열원 중 증기보일러는 급탕용으로만 사용됨에 따라 본 연구에서는 이를 배제하고 연구를 수행하였다.

Table 2. Specification of heat source equipments

	Description	Quantity	Use	Capacity(kW)	
				Heating	Cooling
1	Absorption chiller heater	2	Cooling and Heating	1933	1933
2	Steam boiler	1	Hot water supply	3500	-
3	Turbo chiller	1	Cooling	-	1125

Table 3. Specification of pumps

	Description	Quantity	Flow-rate ( ℓ /min)	Pump-up head(M)
1	Chilled and hot water pump(primary) (Ab. chiller heater)	3	6,000	18
2	Chilled and hot water pump(secondary) (Air handling unit)	3	3,700	35
3	Chilled and hot water pump(secondary) (Fan coil unit)	3	1,400	43
4	Chilled water pump (Turbo chiller)	2	3,700	27
5	Condenser water pump (Ab. chiller heater)	3	11,500	30
6	Condenser water pump (Turbo chiller)	2	5,000	25

**Table 4.** Specification of cooling towers

	Capacity(RT)	Quantity	Use	Flow-rate( ℓ /min)	Fan power(kW)
1	1000	2	Ab. chiller heater	11,500	28.6
2	450	1	Turbo chiller	5,000	7.4

이에 따른 주요열원인 냉난방열원기와 순환펌프, 냉각탑의 상세사양은 Table 2~Table 4와 같이 표현하였으며, 이 밖에 부하에 따라 계산되어 용량에 차이가 있는 공기조화기 25대, 환기조화기 2대, 팬코일유닛은 634대가 설치되어 있다.

### 3. 제어방법

본 연구에서는 대상건물에 대하여 기존의 운전방법에 따라 운영될 경우에 대한 건물 냉난방시스템의 에너지 사용량과 에너지 저감을 위하여 설비 담당자의 인터뷰와 에너지 사용량의 검토에 따라 효과적으로 판단되는 EMS를 적용하였을 경우에 대한 에너지 사용량을 비교 분석하였다. 특히, 적용된 EMS에 관해서는 실시간으로 변화하는 부하크기에 따라 직접적으로 각 설비의 설정점을 변경시키는 재설정제어 측면과 다음 날의 예측된 부하 크기에 따라 열원대수 및 열원가동 운영스케줄을 조정하는 열원의 제어 측면으로 구분하여 이에 따른 효과를 살펴보았다. 또한, 재설정제어와 열원제어가 동시에 복합적으로 이루어지는 경우 제어대상이 중복되는 영향성을 살펴보기 위하여 시뮬레이션 해석을 추가로 수행하여 비교 분석하였다.

Table 5는 대상건물의 중앙냉난방시스템에 대하여 기존의 운영방법을 정리한 표로써 건물에너지관리시스템을 통해 측정된 데이터와 설비운영자로부터 확인된 값을 나타낸 것이다.

먼저, 실내 설정온도의 경우 건물이 공공기관의 성격을 띄고 있음에 따라 냉방시에 26℃, 난방시에 20℃로 설정되어 팬코일 유닛이 운영되고 있었으며, 냉수의 경우 흡수식냉온수기의 설정온도를 에너지 절감 차원에서 냉방시 10℃, 난방의 경우 50℃로 설정하여 운영하였다. 급기 설정온도의 경우 공기조화기에서 별도로 제어가 수행되고 있었으며, 실내온도를 26℃ 정도로 유지하기 위하여 부하크기가 각각 다른 실내온도 상황에 따라 냉방의 경우 20℃~24℃, 난방의 경우 22℃~28℃로 설정하여 운영되고 있었다. 또한, 냉각탑의 냉각수 설정온도는 29.4℃로 설정 운영되었다.

열원기의 경우 업무시간이 오전 9시부터 오후 6시까지이며 흡수식냉온수기로 냉난방을 수행하는데 냉난방순환수의 온도를 설정값까지 미리 예열 및 예냉 시키기 위해 업무시간 이전에 가동을 수행하는데,

**Table 5.** Operation conditions of conventional method for central cooling and heating system

Control variables	Operational conditions		
	Cooling	Heating	
Set temperature	Indoor set temperature	26℃	20℃
	Chilled and Hot water set temperature	10℃	50℃
	Supply air temperature	20~24℃	22~28℃
	Condenser water set temperature	29.4℃	-
Heat source	Start time	6:00, 7:00	
	Stop time	17:00, 17:30	
	Operating number	1 Absorption chiller heater or 2 Absorption chiller heaters	
Outdoor temperature	Weather information of past year		

대상건물의 회의동에 행사일정이 있을 경우 오전 6시, 없을 경우 오전 7시에 열원설비를 가동하였다. 또한, 에너지 절감을 위하여 열원기기의 중지시각을 냉난방 부하 크기에 따라서 17시 혹은 17시 30분으로 정하여 운전을 수행하고 있었다.

열원기기의 대수운전은 혹서기에는 흡수식 냉온수기 2대를 모두 가동하였고, 초여름이나 늦여름에는 1대만을 가동하여 부하를 충당하는 운전을 수행하였다.

본 연구에서는 위와 같은 기존의 운영방법에 관한 내용을 시뮬레이션에 적용하여 에너지 사용량에 관한 기준 모델로 구성하였으며, 기후정보의 경우 지난해의 날씨데이터를 토대로 하여 기후데이터를 작성하였다.

Table 6은 앞서 언급한 기준모델의 기존제어방법을 검토하여 시스템적 구현과 에너지 절감이 가능하다고 판단되는 추가적인 EMS를 적용하였을 경우에 대한 모델을 구분한 것이다. 먼저, Case 1은 기존의 운영방법대로 시뮬레이션 프로그래밍을 수행한 모델이며, Case 2는 냉난방시스템에 있어서 각 설정점을 실시간 부하 크기에 따라 변화시키는 Reset control을 적용한 모델이다. 또한, Case 3는 기준모델과 대비하여 익일의 예측된 부하크기에 따라 열원대수를 선정하여 운영하고, 또한 열원설비의 가동시간과 정지시간을 부하 크기와 냉난방순환수의 온도에 따라 가동시간과 정지시간을 변경시켜 운전하는 방법을 적용한 열원설비제어를 적용하였을 때를 적용한 모델이며, 마지막으로 Case 4는 Case 2 방법과 Case 3의 제어방법을 동시에 적용한 모델이다.

Case 2에 적용된 Reset control은 총 3개의 설정점을 변화시키는 제어방법을 적용하였다.

먼저, 기존에 사용하던 실내설정온도를 유지하는 것을 기본으로 하여, 공기조화기의 급기재설정제어를 적용하였다. 급기재설정제어는 실내설정온도와 실내온도의 온도차에 따라 급기온도를 PI제어에 의해 재설정하는 로직을 사용하여 기존의 실내설정온도인 냉방시 26℃, 난방시 20℃를 유지하기 위한 급기온도를 실시간으로 변경하여 재설정하도록 프로그램을 구성하였다.

또한, 냉각수의 설정온도는 수치해석을 통하여 26℃~32℃로 변경하였을 때 냉각탑의 에너지 사용량의 증가보다 주요열원인 흡수식냉온수기의 에너지 사용량이 상대적으로 큰폭으로 감소함에 따라 설비 상호간의 연관성에 대한 에너지 소모량의 문제를 배제하고 냉각탑의 설정온도를 재설정하는 로직을 적용하였다. 냉각탑의 설정온도는 흡수식냉온수기의 과냉에 관한 문제점이 발생하지 않도록 최저설정온도를 26℃로 하고, 외기의 건구온도와 상대습도에 따라 습구온도를 계산하여 실시간으로 냉각탑 설정온도를 재설정하도록 하였다.

마지막으로 흡수식냉온수기의 냉수와 온수의 설정온도는 앞서 언급한 급기온도 재설정과 냉각수온도 재설정 로직을 적용한 상황에서 냉방시 외기온도 24℃~35℃로 변화하는 상황에 대하여 냉수온도를 7℃~13℃, 난방시 외기온도 -15℃~5℃로 변화하는 상황에 대하여 온수온도를 45℃~55℃로 변화시켜 각 케이스 별로 수치해석을 수행하여 냉난방시스템 전체의 에너지 소모량이 최소가 되는 설정점을 찾아 회귀분석을 통해 로직을 작성하고 시스템에 적용하여 열원의 냉수와 온수 설정온도가 재설정되도록 하였다. 단, 냉수와 온수온도를 변경하였을 때 실내설정온도인 냉방 26℃, 난방 20℃를 유지하지 못하는 경우에 대해서는 실내 쾌적온도를 유지하지 못한다고 판단하여 회귀분석이 진행되는 데이터 값에서 배제하였다.

Case 3에 적용된 Heat source control의 경우는 총 3가지의 제어방법을 적용하였다.

Table 6. Control method for central cooling and heating system

Classification	Control method
Case 1	Conventional method
Case 2	Reset control(set temperature control)
Case 3	Heat source control
Case 4	Combined control(Case 2 + Case 3)

먼저, 열원 대수의 경우 흡수식냉온수기 2대가 기존에 주요 열원으로 운영되고 있었음에 따라 최소 1대, 최대 2대를 운영하는 것을 목표로 하였으며, 1년의 기후조건을 입력하여 1대만을 운영하였을 경우 실내설정온도인 냉방시 26℃, 난방시 20℃를 유지하지 못하는 경우에 대한 부하조건을 파악한 후 그 이상의 부하조건이 예상되는 경우 2대를 운영하는 것으로 하여 열원대수제어 운전로직을 구성하였다. 열원의 경우 초기에 기동하는데 많은 양의 에너지가 소모됨에 따라 실시간으로 부하 크기에 따라 운영될 경우 열원 기기의 기동과 정지가 계속 이루어져 많은 에너지 낭비를 초래할 수 있음에 따라 열원대수제어는 익일의 부하 크기를 예측하여 1대 또는 2대의 흡수식냉온수기가 운전되도록 제어방법을 설정하였다.

또한, 열원인 흡수식냉온수기는 운전시간에 따라서 에너지 소모가 증가함에 따라 운전시간을 최소화 하기 위하여 최적기동/정지 로직을 적용하였다.

최적기동의 경우 업무시간이 시작되는 오전 9시를 기준으로 하여 냉수와 온수가 설정온도값에 도달할 수 있는 최적의 시간을 계산되도록 하였는데, 이는 기존의 냉수와 온수의 동특성 데이터를 기반으로 하여 분석하였다. 냉수와 온수의 설정온도에 도달시간은 데이터를 분석하여 경향성을 살펴 본 결과 열원 기동 시작 전 배관내의 냉수와 온수의 온도가 높고 낮음에 따라 설정온도까지의 도달시간이 변화함에 따라 열원 기동 시작 전 온도를 가장 큰 주요변수로 선정하였으며, 열원기기가 기동하였을 때 외기조건에 따라 냉수의 하강곡선과 온수의 상승곡선의 기울기가 달라짐에 따라 외기조건을 두번째 변수로 선정하여 두 변수의 관계식으로 회귀분석을 수행한 후 기동시각을 계산하도록 로직을 구성하였다.

최적정지의 경우 업무시간이 시작되는 오후 6시를 기준으로 하여 실시간 부하 크기에 따라 실내설정온도인 냉방시 26℃, 난방시 20℃를 유지할 수 있는 냉수온도와 온수온도를 수치해석을 통해 구해 낸 후 흡수식냉온수기가 정지하였을 때 냉방 시에 자연적으로 상승하는 상승곡선, 난방 시에 자연적으로 하강하는 하강곡선을 변수인 외기조건에 따른 곡선을 회귀분석으로 구해낸 후 이를 통해 최적의 정지시각을 구해낼 수 있도록 로직을 구해내었다.

단, 대상건물의 회의동의 일정에 따라 업무시간으로 설정한 오전 9시와 오후 6시가 변경될 수 있음에 따라 회의동의 일정이 있을 경우 이를 변경시켜 최적기동/정지 시각을 계산할 수 있도록 로직을 구성하여 시뮬레이션에 적용하였다.

Case 4에 적용된 Combined control은 앞서 언급한 Reset control과 Heat source control을 동시에 적용한 것으로서 냉난방시스템에 있어서 두 제어방법을 동시에 적용할 경우 에너지소모량에 서로 영향을 끼칠 수 있

Table 7. A charging system of electricity

Basic charge (won/kW)	Energy charge(won/kWh)			
	Time slot load	Summer (Jun.~Aug.)	Spring/Autumn (Mar.~May, Sep.~Oct.)	Winter (Nov.~Feb.)
8,320	Low	56.1	56.1	63.1
	Middle	109.0	78.6	109.2
	High	191.0	109.3	166.7
Time slot load	Summer (Jun.~Aug.)	Spring/Autumn (Mar.~May, Sep.~Oct.)	Winter (Nov.~Feb.)	
Low load	23:00~09:00		23:00~09:00	23:00~09:00
	09:00~10:00		09:00~10:00	09:00~10:00
	12:00~13:00		12:00~13:00	12:00~17:00
Middle load	17:00~23:00		17:00~23:00	20:00~22:00
	10:00~12:00		10:00~12:00	10:00~12:00
High load	13:00~17:00		13:00~17:00	17:00~20:00
				22:00~23:00

Table 8. A charging system of gas energy

Basic charge	Gas energy charge(won/MJ)		
	Summer (May~Sep.)	Spring/Autumn (Apr., Oct.~Nov.)	Winter (Dec.~Mar.)
-	15.6048	15.6277	16.3626

기 때문에 에너지 절감량이 합산이 아닌 서로 중첩되어 나타남에 따라 이에 따른 전체적인 EMS 적용효과를 살펴보고자 추가적으로 시뮬레이션을 수행하였다.

Case 별 에너지의 비교는 소모량과 비용으로 나누어 분석하였으며, 에너지소모량은 가스에너지 소모량과 전력에너지 소모량을 합산한 전체 에너지 소모량으로, 에너지비용은 계절 및 시간에 따라 gas와 전기요금이 변화함에 따라 이를 고려하여 계산하였다. 비용 계산에 적용된 전력 및 가스요금 체계는 다음 Table 7 및 Table 8과 같다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 장에서는 앞서 언급한 중앙냉난방시스템에 있어서 기존의 제어방법과 대비하여 재설정제어와 열원 제어를 적용하였을 경우에 대한 에너지소모량 및 에너지비용을 비교 분석한 내용의 시뮬레이션 결과값을 나타내었다. 에너지 비용의 경우 대상건물의 냉난방열원이 흡수식냉온수기를 사용함에 따라 가스를 소모하도록 되어 있어 gas와 전력의 요금차이가 발생함에 따라 절감효과가 다르게 나타날 수 있어 건물운영자의 입장을 고려하여 추가적인 분석을 수행하였다. 전력 및 가스 요금은 대상건물에 적용되어 있는 전력요금 체계와 가스요금 체계를 적용하여 계산하였으며, 기본요금은 포함되지 않았다. 또한, 에너지 사용량의 경우 gas와 전력의 에너지 단위를 맞추기 위하여 환산하여 MWh로 환산하여 표시하였다.

Table 9는 Case 2(Reset control method) 적용에 따른 냉난방시스템의 각 설비요소별 에너지사용량을 나타낸 것이다. 표에서 살펴보면 Case 1(Conventional method)에 비해 총 냉난방 시스템의 전체 에너지사용량이 13.0% 절감되는 것으로 나타났으며, 에너지비용은 13.1% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 실시간 부하 변동에 따라서 냉온수온도, 급기온도, 냉각수 설정온도를 변화시켜 주는 것이 냉난방시스템의 에너지 절감에 있어서 효과가 큰 것으로 나타낸다.

특히, 재설정제어 알고리즘을 통해 산출된 냉온수 공급온도를 유지할 수 있도록 열원을 제어함에 따라 냉난방열원설비의 에너지 사용량이 14.1%로 감소하는 특성을 나타내었으며, 그 밖에도 냉온수순환펌프의 에너지가 약 6%로 절감되는 것으로 나타났다. 이는 기존에 에너지 절감을 위해 적용되었던 흡수식냉온수기의 냉수설정온도 10℃, 온수설정온도 50℃ 값이 실시간 부하변동에 있어서 에너지 절감에 효과적이지 못한 고정설정점 제어라는 것을 알 수 있는 측면이다. 또한, 냉온수순환펌프의 경우 인버터를 사용하여 차압에 따라 회전수 제어를 수행함에 따라 냉온수 설정온도가 실시간 부하에 따라 변경될 경우 냉온수 공급에 대한 부하를 줄여주기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

이밖에 고정된 냉각수 설정온도가 아닌 습구온도를 계산하여 부하크기에 따라 냉각수 설정온도를 재설정 하였을 때 냉각수 순환펌프 및 냉각탑 팬의 에너지 사용량이 각각 10.2%, 17.5%로 절감되는 것으로 나타났는데, 이는 고정설정점으로 되어있는 29.4℃의 냉각수 설정온도가 냉각탑의 성능을 고려하였을 때 전체적인 냉방기간에 있어서 상대적으로 낮게 설정되어 있을 가능성이 높다는 것을 의미한다. 이로써 미루어볼 때 냉각수 설정온도는 반드시 외기의 습구온도를 파악하여 재설정제어하는 것이 에너지 절감에 있어서 바람직하다는 것을 알 수 있다. 또한, 냉각수 설정온도는 습구온도가 기존의 29.4℃보다 낮게 설정될 경우에는 열원의 에너지 소모량이 줄어들 수 있는 특성이 있기 때문에 냉각수의 재설정제어는 냉난방시스



**Table 9.** A comparison of energy consumption for conventional method and reset control method

Classification of equipment	Energy consumption(MWh)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 2 (Reset control)	Energy consumption saving rate
Heat source	925	795	14.1%
Air handing unit	21	8	64.4%
Fan coil unit	42	42	0.0%
Chilled and heating water pump	78	73	6.0%
Condenser water pump	381	342	10.2%
Cooling tower	12	10	17.5%
Total energy consumption	1,460	1,270	13.0%
Cost	Energy cost(10,000 won)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 2 (Reset control)	Energy cost saving rate
Energy cost	13,687	11,888	1,799(13.1%)

템의 전체 에너지 절감에 있어서 효과적임을 알 수 있다.

또한, 팬코일 유닛의 경우 절감효과가 없고 공기조화기의 에너지 절감의 경우 약 64.4%가 절감되었으며, 팬코일 유닛의 에너지 사용량이 공기조화기보다 큰 것으로 나타났는데, Fig. 1에서 살펴보면 대상건물의 경우 창이 크기가 벽보다 크게 분포가 되어 있음에 따라 팬코일 유닛의 대수가 매우 많으며, 대부분의 냉난방부하를 팬코일 유닛에서 제거하기 때문에 나타나는 현상으로 보인다. 덧붙여 팬코일 유닛은 정풍량으로, 공기조화기는 변풍량으로 되어있어 팬코일 유닛의 에너지 절감량은 없으며, 공기조화기의 경우 급기온도 재설정에 따라 적절한 급기온도를 실시간 부하 변동에 따라 변경시켜 줌에 따라 절감효과가 큰 것으로 판단된다.

에너지 비용의 경우 가장 많은 에너지를 소비하는 흡수식냉온수기의 에너지 절감율이 14.0% 임에도 불구하고 에너지 비용의 절감율이 에너지사용 절감율과 큰 차이를 보이지 않는 것은 상대적으로 저렴한 가스요금으로 인하여 나타나는 특성으로 보인다.

Table 10은 Case 3(Heat source control method) 적용에 따른 냉난방시스템의 각 설비요소별 에너지사용량을 나타낸 것이다. 표에서 살펴보면 Case 1(Conventional method)에 비해 총 냉난방 시스템의 전체 에너지사용량이 10.4% 절감되는 것으로 나타났으며, 에너지비용은 6.3% 감소하는 것으로 나타났다. 이로써 미루어볼 때 기존에 설비운영자 판단에 의해 열원기기의 기동 및 열원대수제어를 적용한 방식보다 예측된 부하크기에 따른 열원기기의 대수제어와 배관내 냉온수온도, 실시간부하 변동에 따라 최적기동/정지 시각을 결정하는 로직을 적용하였을 때 에너지 소모량이 줄어들 수 있음을 알 수 있었다. 설비기기별로 살펴보면 열원기기의 대수제어와 최적기동/정지로 인하여 열원의 에너지 사용량이 큰 폭으로 감소하였으며, 10.7%의 절감율을 보였다. 공조기와 팬코일유닛의 경우는 열원의 영향을 받지않고 오전 9시부터 오후 6까지 운전하도록 되어 있어 절감성능이 거의 나타나지 않았다. 또한, 냉수순환펌프 3.4%, 냉각수순환펌프 12.1%, 냉각탑팬 44.3%의 절감성능을 나타내었는데, 냉수순환펌프의 경우 열원기기가 정지 되어도 순환수는 계속 공급되어 냉각수 순환펌프의 절감률 보다 적게 나타나는 특성을 보였으며, 냉각탑 팬의 경우 열원대수 제어의 영향으로 에너지 절감율이 크게 나타나는 특성을 보였다.

에너지 비용면에서 살펴보면 에너지 절감률은 10.4%에 이르렀으나 비용 절감율은 6.3%로 적게 나타난 것은 열원대수제어 및 최적기동/정지 로직 자체가 열원기기를 대상으로 적용됨에 따라 가스를 에너지원으로 사용하는 흡수식냉온수기의 에너지 사용량이 큰 폭으로 줄었기 때문에 나타난 현상이다.

**Table 10.** A comparison of energy consumption for conventional method and heat source control method

Classification of equipment	Energy consumption(MWh)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 3 (Heat source control)	Energy consumption saving rate
Heat source	925	827	10.7%
Air handing unit	21	21	0%
Fan coil unit	42	42	0%
Chilled and heating water pump	78	75	3.4%
Condenser water pump	381	335	12.1%
Cooling tower	12	7	44.3%
Total energy consumption	1,460	1,307	10.4%
Cost	Energy cost(10,000 won)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 3 (Heat source control)	Energy cost saving rate
Energy cost	13,687	12,827	860(6.3%)

Table 11은 앞서 언급한 Case 2의 재설정제어와 Case 3의 열원제어를 동시에 적용한 Case 4(Combined control method) 구현에 따른 냉난방시스템의 각 설비요소별 에너지사용량을 나타낸 것이다. 표에서 살펴보면 Case 1(Conventional method)에 비해 총 냉난방 시스템의 전체 에너지사용량이 20.3% 절감되는 것으로 나타났으며, 에너지비용은 17.9% 감소하는 것으로 나타났다. 이로써 미루어볼 때 기존에 설비운영자 판단에 의해 이루어지던 열원기기의 기동 및 열원대수제어, 고정설정점제어를 적용한 방식보다 각 설정점의 재설정제어와 예측부하와 실시간부하에 따른 열원기기의 제어를 추가적으로 적용하는 것이 큰 에너지 절감을 나타낸 것을 알 수 있다.

Table 9~Table 11에서 살펴봤을 때 Case 4(Combined control method)를 적용하였을 경우가 에너지사용량이나 비용면에서 가장 큰 절감효과를 나타내는 것으로 나타났으며, 대상건물에 대해서는 실시간부하에 따라 각 설정점을 변화시켜 제어하는 Case 2(Reset control)의 효과가 열원제어를 수행한 Case 3(Heat source

**Table 11.** A comparison of energy consumption for conventional method and combined control method

Classification of equipment	Energy consumption(MWh)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 4 (Combined control)	Energy consumption saving rate
Heat source	925	732	20.8%
Air handing unit	21	7	68.4%
Fan coil unit	42	42	0%
Chilled and heating water pump	78	68	13.3%
Condenser water pump	381	305	19.9%
Cooling tower	12	9	26.9%
Total energy consumption	1,460	1,163	20.3%
Cost	Energy cost(10,000 won)		
	Case 1 (Conventional method)	Case 4 (Combined control)	Energy cost saving rate
Energy cost	13,687	11,228	2,459(17.9%)

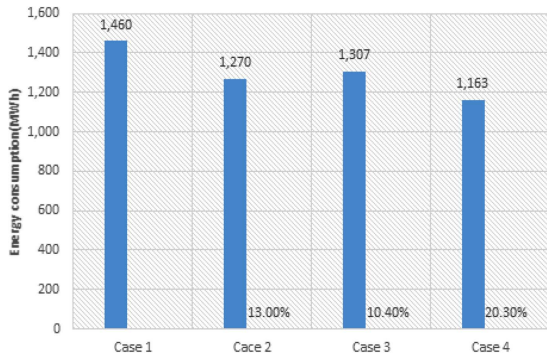


Fig. 3. A comparison of energy consumption for each control method

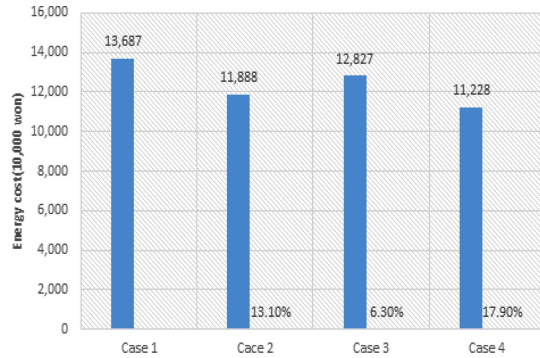


Fig. 4. A comparison of energy cost for each control method

control) 경우보다 크게 나타났다. 또한, 모든 제어를 동시에 수행한 Case 4의 에너지 사용량이나 비용면에서 Case 2와 Case 3의 절감효과를 합산한 값보다 작게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 각 제어방법이 냉난방시스템의 각 설비 사이에 에너지 사용량 및 변수에 영향을 끼침에 따라 냉난방 부하를 해소하는데 있어서 효과가 중첩되는 경향을 보이기 때문인 것으로 판단된다.

이에 대한 전체 제어방법에 대한 에너지 사용량 및 비용에 대한 비교분석 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 그래프로 표현하여 나타내었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 중앙냉난방시스템이 구축된 사무형태의 복합건물에 관하여 시스템 검토상 구현이 가능한 냉난방시스템의 냉온수온도, 급기온도, 냉각수설정온도의 재설정제어 및 열원의 최적기동/정지, 열원대수제어 등의 EMS를 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 기존의 제어운영방법 대비 에너지 사용량을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 대상건물의 냉온수온도, 급기온도, 냉각수온도를 기존의 고정설정값으로 운영하였을 경우보다 부하크기에 따라 각 설정점을 재설정하는 제어를 적용하였을 때 약 13.0%의 에너지 절감성능을 나타냄에 따라 중앙냉난방시스템에 있어서 고정 설정점으로 운영하는 것보다 부하크기에 따라 설정값을 적절히 변화시킬 경우 에너지 절감에 효과가 있음을 알 수 있었다.

(2) 열원설비의 운영에 있어서 익일 예측된 부하크기에 따라 열원 가동대수를 조절하고, 열원의 기동 및 정지시각을 배관내의 냉온수온도 및 외기부하 조건에 따라 최적화 하였을 때 기존의 운전방법보다 약 10.4%의 에너지 절감성능을 나타내었다.

(3) 예측 또는 실시간 부하 변동에 따라 냉난방시스템의 각 대상온도의 재설정제어와 열원의 최적 기동/정지 및 열원대수제어 EMS를 동시에 적용하였을 경우 기존 운영방법 대비 약 20.3%의 에너지 절감효과를 나타내었으며, 재설정제어와 열원제어를 통한 에너지 절감 합산 값보다 적은 값이 나타난 것으로 보아 각 제어방법이 냉난방 부하제거에 있어 효과가 중첩되는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

향후 실제적으로 이러한 다양한 EMS를 건물에 적용하였을 때에 나타나는 효과를 확인하고 적용되는 제어방법의 로직을 정립화하는 연구뿐만 아니라 EMS의 중첩된 효과에 대해서 구분할 수 있는 방안을 모색하는 것과 에너지원별 등을 포함한 다양한 운전변수들에 대한 연구가 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

## References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021, Press Release, Land, Infrastructure and Transport 2050 CarbonNeutral Roadmap.
2. Braun, J. E., S. A. Klein, J. W. Mitchell, and W. A. Beckman, 1989a, Methodologies for optimal control to chilled water systems without storage. ASHRAE Transactions, 95(1), pp. 652-662.
3. Braun, J. E., and G. T. Diderrich, 1990, Near-optimal control of cooling towers for chilled-water systems. ASHRAE Transactions, 96(2), pp. 806-813.
4. Ahn, B. C., and J. W. Mitchell, 1999, Optimal set-point control for central cooling plants, Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Summer Association Conference, pp. 1031-1036.
5. Ahn, B. C., Choi, S. G., and Cho, S. H., 2004, On-line optimal control technology for central heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 789-794.
6. Song, J. Y., and Kim, J., A Study on effectiveness analysis with application and operation of active building energy management system, Proceedings of SAREK 2015, Summer Annual Conference, pp. 24-27.
7. Lee, G. R., and Song, J. Y., 2020, The study on the optimal operation strategies for central cooling system considering energy cost(Focus on a medical facility), Korea Journal Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 16, No. 4, pp. 1-8.