

BEMS 데이터의 통계적 분석에 기반한 공조기 최적 예냉운전 모델 개발

Developing Optimal Pre-Cooling Model Based on Statistical Analysis of BEMS Data in Air Handling Unit

최선규(Sun-Kyu Choi)¹, 광노열(Ro-Yeul, Kwak)^{2*}, 구상헌(Sang-Heon Goo)³

¹SK텔레콤 Green사업팀, ²한남대학교 건축공학과, ³SK건설 건축기술팀

¹Green Business Team, SK telecom, Seoul 110-999, Korea

²Department of Architectural engineering, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

³Department of Architectural Technology Team, SK E&C, Seoul 110-300, Korea

(Received May 7, 2014; revision received August 7, 2014; Accepted: August 19, 2014)

Abstract Since the operating conditions of HVAC systems are different from those for which they are designed, on-going commissioning is required to optimize the energy consumed and the environment in the building. This study presents a methodology to analyze operational data and its applications. A predicted operation model is to be produced through a statistical data analysis using multiple regressions in SPSS. In this model, the dependent variable is the pre-cooling time, and the independent variables include the power output of the supply air inverter during pre-cooling, the supply air set temperature during pre-cooling, the indoor temperature-indoor set temperature just before pre-cooling, supply heat capacity, and the lowest outdoor air temperature during non-cooling/non-heating hours. The correlation coefficient R² of the multiple regression model between the pre-cooling hour and the internal/external factors is of 0.612, and this could be used to provide information related to energy conservation and operating guidance.

Key words BEMS(건물 에너지관리시스템), AHU(공기조화기), Pre-Cooling(예냉), MRA Method(다중회귀분석기법), On-going commissioning(지속적 커미셔닝)

† Corresponding author, E-mail: rykwak@hnu.kr

1. 서 론

최근 국내 건물 에너지절약 분야에서의 가장 큰 화두는 기존 건물에서 에너지를 어떻게 절약할 수 있을 까에 초점을 맞추고 있다. 기존 건물의 에너지절약은 신축 건물과 달리 다양한 이해관계자와 연관되어 있어 강제성을 두거나, 일괄적으로 적용하기 어려운 특성을 가지고 있다.

최근 건물 운영단계의 에너지절약 방안으로 BEMS(건물 에너지 관리 시스템)의 적용이 확대되고 있으며 정부 및 연구기관에서는 BEMS의 보급활성화를 위해 KS규격을 정리하고 BEMS 운영현황 분석방법을 제시하고 있다.⁽¹⁾ BEMS의 현 수준은 건물의 에너지 자료를 데이터베이스화하고 이를 분석된 그래프나 표 형식으로 가시화하여 에너지절약 운전에 활용하는 것을 목적으로 하고 있어,⁽²⁾ BEMS의 효과와 활용도를 더 높이기 위해서는

단순한 가시화가 아닌 운영자가 적절한 운전을 수행할 수 있도록 의사결정에 필요한 정보로 예측모델을 제공하고, 이를 자동제어 로직으로 구현하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건물운영자 활용의 용이성 측면에서 과거에 연구되었던 모델기반이 아닌 통계적 수법을 활용하여 BEMS에서 제공하는 실제 건물운영 데이터 DB의 통계적 분석에 기반한 공조기의 최적 예냉운전 모델을 개발하여 최적운전 조건을 도출하는 방법을 제시하였다.

2. 분석 방법 및 대상

2.1 개요

일반적으로 HVAC 시스템은 외적요인에 의해 건물의 고유특성이 반응하여 공간의 환경변화를 일으키고,

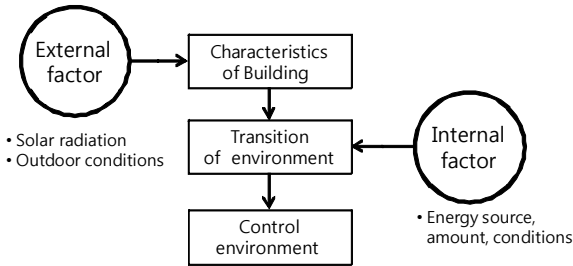


Fig. 1 Relationship between environmental control and External/internal factors.

공간을 요구하는 환경조건으로 조절하기 위해 내적요인을 조정하여 공간 내 환경을 제어한다.

외적요인에 의한 공간 내 환경변화나 이를 제어하기 위해 투입되는 내적 요인의 조건에 대하여 명확하게 파악하고 운영자의 의사결정이 필요할 때 적절히 제공된다면, 최적의 조건으로 운전할 수 있고 에너지도 절감할 수 있다. 건물의 요인은 다양하게 존재하기 때문에 이를 전부 고려하기에는 많은 분석시간과 노력을 투입해야 하는 번거로움이 발생하게 된다. 모델 기반 예측제어는 모델을 개발하는데 많은 노력과 비용이 소요되고 불확실성을 해결하기 위해 많은 노력을 기울여야 한다.⁽³⁾ 따라서 결정적인 영향을 미치는 유의한 요인을 도출하여 이를 대상으로 접근하는 것이 효율적이며,⁽⁴⁾ 이는 통계적 기법을 활용하여 수행하는 것이 가능하다.

2.2 통계적 수법의 선행연구 분석

Black box 방법의 일종인 통계적으로 도출되는 모델을 통해 실제 데이터를 이용한 예측 운전모델을 도출할 수 있다.⁽⁵⁾ 블랙박스 모델에 기반한 프로세스 이력기반 데이터법은 전적으로 경험에 기반하여 수행되고, data-driven 방법이므로 입력과 출력이 알려지고 측정되며, 해당 프로세스에 대한 사전 정보를 전제하지 않으며, 이 방법은 분석할 데이터양이 충분히 많을 때 적합하고, 선형회귀법에 기반한 모델로 적용할 수 있다. 또한, 예측 모델변수는 물리적 의미를 전혀 가지고 있지 않고, 다양한 통계적 및 비통계적 방법을 사용하여 입력과 출력과의 관계를 발전시키고 있으며. 통계적 방법의 예로는 선형, 다중회귀, 다항식회귀, PCA(principle component analysis), partial least squares, logistic regression 등이 있다.

2.3 분석 방법

장비 및 시스템 운전에는 에너지 사용량을 결정짓는 제어항목이 존재한다. 분석 방법의 절차는 해당 장비 및 시스템의 제어하고자 하는 주된 제어항목을 설정하는 것으로 시작된다. 제어항목을 대상으로 환경변화에 영

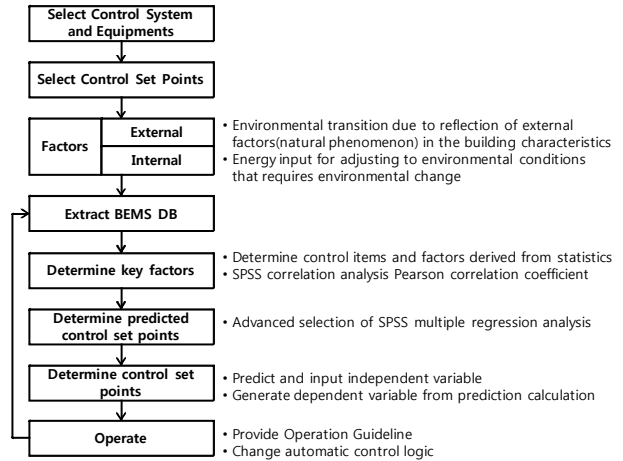


Fig. 2 Analyzing Procedure.

향을 미치는 외적요인과 제어에 영향을 미치는 내적요인을 도출한다. BEMS 데이터베이스로부터 외적/내적요인의 데이터를 추출하고, 이를 평가 가능한 형태로 데이터 처리를 수행한다. 결정요인 선정을 위해 요인의 유의성을 평가하며, SPSS 분석의 상관분석 Pearson의 상관계수법을 이용한다. 유의한 항목을 독립변수로 제시하고 제어항목을 종속변수로 한 다중회귀식(예측식)을 도출한다. 다중회귀모델 구축 방법으로는 전진선택법을 이용하였다.

다중회귀모델은 운영자가 적절한 운전을 수행할 수 있도록 의사결정에 필요한 정보를 제공하거나 이를 자동제어 로직으로 구현하여 운영에 활용한다.

운영 결과는 BEMS 데이터베이스에 지속적으로 피드백 되는 것이 필요하며, 이는 예측식의 정확도 향상을 통해 최적운전에 도달 할 수 있는 순환 체계를 구축할 수 있다.

2.4 분석 대상 및 범위

분석대상 건물은 판교 테크노벨리에 위치한 Table 1 과 같은 건물로 연구시설과 업무시설로 구성되어 있고 BEMS가 설치되어 있어 에너지 사용량 및 운전 조건 파악이 가능하다.

Table 1 Information of the analyzed building

Sort	Description	Remarks
Location	Seongnam, Gyeonggi-do	-
Floors	B5 F~9 F	-
GFA	47,700 m ²	-
Type	Office and Laboratory	-
Zone	Office and Public section	AHU 26 ea
AC type	UFAD	VAV
Heat source	Absorbtion Chiller	Office

Table 2 Characteristics by External/Internal Factors

Factor	Item	Related building characteristics	Correlation of precooling time	DB source
External	Working Pattern(Day)	Operation	Increase of pre-cooling hours due to change of indoor temperature in case the previous day was closed	BEMS
	Non-cooling/Non-heating Hours[h]	Thermal Properties of Building Envelope	The longer the time, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	BEMS
	Average Outdoor Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours[°C]	Thermal Properties of Building Envelope	The higher the temperature, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	BEMS Calculation
	Lowest Outdoor Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours[°C]	Thermal Properties of Building Envelope	The higher the temperature, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	BEMS
	Lowest Outdoor Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours[°C]	Thermal Properties of Building Envelope	The higher the temperature, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	BEMS
	Normal Quantity of Direct Solar Radiation of Previous Day(MJ/m ² /day)	Characteristics of Thermal Storage	Increase of pre-cooling hours due to change of indoor temperature as solar radiation increases	Center of Renewable Energy
	Daylight Hours of Previous Day[h]	Characteristics of Thermal Storage	The longer the time, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	Meteorological Office
	Sunrise[h]	Thermal Properties of Building Envelope	The earlier the sunrise, pre-cooling hours increase	-
	Indoor Set Temperature[°C]	Operation Conditions	The lower the set temperature, pre-cooling hours increase due to change of indoor temperature	BEMS
	Indoor Temperature before Pre-cooling[°C]	Thermal Properties of Building Envelope	The higher the indoor temperature, pre-cooling hours increase	BEMS
Internal	Indoor Temperature-Indoor Set Temperature just before Pre-cooling[°C]	Characteristics of Thermal Storage and Thermal Properties of Building Envelope	The greater the temperature difference, pre-cooling hours increase	BEMS Calculation
	Supply Airflow[%]	-	The higher the air flow rate, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Opening Rate of Outdoor Air Damper[%]	-	In case outdoor air temperature is higher than indoor temperature, pre-cooling hours decrease as power output becomes lower In case outdoor air temperature is lower than indoor temperature, pre-cooling hours decrease as power output becomes higher	BEMS
	Set Temperature of Supply Air[°C]	-	The lower the set temperature, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Temperature of Supply Air[°C]	-	The lower the supply air temperature, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Temperature of Supply Chilled Water[°C]	-	The lower the temperature, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Temperature Difference of Chilled Water[°C]	-	The higher the temperature difference, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Opening Rate of Cooling Valve[%]	-	The greater the opening rate and flow rate, pre-cooling hours decrease	BEMS
	Heat Capacity[MJ/h]	-	The greater the heat capacity, pre-cooling hours decrease	BEMS Calculation

분석 범위는 일반적인 운전패턴을 보이는 업무시설로 한정하며, 분석 대상 공간은 기준층인 5층을 대상으로 하였다. 대상 시스템은 다양한 외적/내적요인이 존재하는 공조기로 하여 진행하였다.

3. 제어항목에 따른 외적/내적 요인 도출

3.1 제어항목

일반적으로 공조기의 최초 가동은 근무시간 전 예냉 운전으로 시작되며, 이를 위한 공조기 가동 시작 시간은 건물운영자들이 경험적 판단에 근거하여 근무시간 1~2시간 전에 운전되는 경향을 보이고 있다. 이는 운전 당일의 외부 조건에 따른 정량적인 실내 환경변화 예측이 어렵기 때문에 에너지절약을 위한 운전을 고려하기 보다는 안정적인 운영방법을 선호하는 것이 현실이다.

본 논문에서는 공조기 예냉운전을 대상으로 에너지 소비가 최소가 되는 최적 예냉시간을 제어항목으로 선정하였다.⁽⁶⁾

3.2 외적요인과 내적요인

외적요인은 대상 공간 외부로부터의 입력으로 일반적인 자연현상에 의한 영향이며, 내적요인은 실내 환경을 제어하기 위해 내부로 공급하는 입력이다. 공조기 예냉운전에서의 살펴보면, 외적요인으로는 일사량, 외기온도 및 습도, 침입외기, 외부 CO₂농도 등이 있으며, 이는 실내 온습도를 변화시킨다.

내적요인으로는 공간을 일정조건(온도, 습도, CO₂농도 등)으로 유지하기 위해 실내로 공급되는 열매체(에너지)의 특성으로, 공급되는 풍량, 급기온도, 급기습도 등이 있으며, 이는 송풍기 인버터, 댐퍼, 밸브 개도, 냉수/온수 공급 조건 등에 의해 결정된다.⁽⁷⁾

외적 요인은 건물운영자가 제어 할 수 없는 특성을 가지고 있으나 변화의 폭은 건물의 고유 특성을 이용하여 조절은 가능하다. 그러기 위해서는 사전에 미기후 분석을 통한 건물 계획단계부터 접근이 필요하다.

본 논문에서는 기존 건물을 대상으로 다루므로 건물 고유특성은 고정변수로 취급하기로 한다. 외적요인과 내적요인을 Table 2와 같이 각 외적/내적요인의 특성과 예냉 운전시간에 미치는 영향을 함께 정리하였다. 외적요인은 실내온도를 상승시키는 요인으로 작용하며, 내적요인은 상승된 온도를 요구환경 으로 조절하는데 필요한 적정 공급조건이다

3.3 분석데이터 추출

외적/내적요인 데이터는 BEMS DB에서 1분 데이터

를 추출하여 처리하였다. 단, 일사관련 항목은 BEMS에서 계측하지 않아 전일(前日) 일조시간은 ‘기상청 관측자료’에서, 전일(前日)의 전일(全日) 법선면적달일사량은 ‘신재생에너지 데이터 센터에서 제공하는 법선면 일사량 자원지도 데이터’를 활용하였다. 또한 일출시간은 천문우주정보에서 제공하는 서울지역 값을 참고로 하였다.

4. SPSS를 이용한 통계적 분석

4.1 외적/내적요인의 유의성 평가

외적/내적요인의 유의성 평가를 위하여 통계적 방법인 SPSS 분석을 활용하였고, Pearson의 상관계수를 이용한 상관분석을 수행하였다. Table 3은 본 연구에서 고려된 분석항목을 나타낸다.

Table 3 Items of Analysis

No.	Items
var 1	Day
var 2	Pre-cooling Hour(Min)
var 3	Non-cooling/Non-heating Hour(h)
var 4	Average Outdoor Air Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours(°C)
var 5	Highest Outdoor Air Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours(°C)
var 6	Lowest Outdoor Air Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours(°C)
var 7	Normal Quantity of Direct Solar Radiation of Previous Day(MJ/m ² /day)
var 8	Solar Radiation Hour of Previous Day(h)
var 9	Indoor Set Temperature(°C)
var 10	Indoor Temperature just before Pre-cooling(°C)
var 11	Indoor Temperature-Indoor Set Temperature just before Pre-cooling(°C)
var 12	Power Output of Supply Air Inverter during Pre-cooling(Avg.)
var 13	Opening Rate of Outdoor Air Damper(%)
var 14	Supply Air Set Temperature during Pre-cooling(°C)
var 15	AHU Supply Air Temperature during Pre-cooling(°C)
var 16	Return Chilled Water Temperature during Pre-cooling(°C)
var 17	Supply Chilled Water Temperature during Pre-cooling(°C)
var 18	Opening Rate of Cooling Valve during Pre-cooling(°C)
var 19	Chilled Water Temperature Difference(°C)
var 20	Heat Capacity(MJ/h)

Table 4 Analysis of Correlation Coefficient of 0.01 Level(both sides)

Var	var 2		N
	Pearson Correlation Coefficient	P-Value (both sides)	
var 4	0.335	.000	196
var 5	0.281	.000	196
var 6	0.342	.000	196
var 10	0.450	.000	196
var 11	0.450	.000	196
var 12	0.575	.000	196
var 14	-0.242	.001	196
var 16	-0.193	.007	196
var 18	0.274	.000	196

Table 5 Analysis of Correlation Coefficient of 0.05 Level(both sides)

No.	var 2		N
	Pearson Correlation Coefficient	P-Value (both sides)	
var 1	-0.145	.042	196
var 20	0.148	.039	196

① 상관계수 0.01수준(양쪽)에서 유의한 항목도출

Pearson 상관계수 0.01수준(양쪽)을 기준으로 예냉시간 항목과 통계적으로 유의한 항목을 분석한 결과 Table 4와 같이 9개 항목을 도출하였고, Pearson 상관계수, 유의확률을 제시하였다. 0.01수준(양쪽)에서 유

의한 9개 항목은 비공조시간대 외기평균온도, 비공조시간대 외기 최고온도, 비공조시간대 외기 최저온도, 예냉운전직전 실내온도, 예냉운전직전 실내온도-실내설정온도, 예냉운전시 급기 인버터출력값, 예냉운전시 급기설정온도, 예냉운전시 냉수환수 온도, 예냉운전시 냉방밸브 개도율로 나타났다.

② 상관계수 0.05수준(양쪽)에서 유의한 항목도출

Pearson 상관계수 0.05수준(양쪽)을 기준으로 예냉시간 항목과 통계적으로 유의한 항목을 분석한 결과 Table 5와 같이 2개 항목을 도출하였고, Pearson 상관계수, 유의확률을 제시하였다. 0.05수준(양쪽)에서 유의한 2개 항목은 요일, 공급열량으로 나타났다.

4.2 최적 예냉시간 산정 모델 개발

모델개발을 위하여 다중회귀분석(MRA)기법을 이용하였고 모델 구축방법으로 전진선택법(Forward Selection) 방법을 사용하였다.

전진선택법 방법인 절편만 있는 상수항 모형을 초기모형으로 생각하여 설명변수들 중에서 가장 중요한 변수로부터 차례로 모형에 추가하는 방법을 이용하여 통계수행 결과 독립변수 F값이 0.05 이하를 만족하는 항목인 5개의 독립변수를 Table 6과 같이 도출하였다.

다중회귀분석 모델 결과는 Table 7과 같다. 입력변수를 살펴보면 외적요인이 2개, 내적요인이 3개로 나타났으며, 외적요인항목으로 예냉운전 직전실내온도-실내설정온도, 비공조시간대 외기최저온도가 나타났고, 내적요인항목으로 예냉운전시 급기 인버터출력값, 예냉운전시 급기설정온도, 공급열량이 나타났다.

Table 6 Variable of Input/output

Variable	Description
Input (Independent Variable)	X1 : Power Output of Supply Air Inverter during Pre-cooling
	X2 : Supply Air set Temperature during Pre-cooling
	X3 : Indoor Temperature-Indoor Set Temperature just before Pre-cooling(°C)
	X4 : Supply Heat Capacity
	X5 : Lowest Outdoor Air Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours
Output (dependent Variable)	Y : Pre-cooling hour(h)

Table 7 Multiple Regression Analysis Model

Model	R ²	P-value
Pre-cooling Hour(Y) = 17.666 + 0.388 × X1-2.116 × X2 + 4.442 × X3-0.031 × X4 + 0.563 × X5		
Internal X1 : Power Output of Supply Air Inverter during Pre-cooling X2 : Supply Air set Temperature during Pre-cooling X4 : Supply Heat Capacity	0.612	0.000
External X3 : Indoor Temperature-Indoor Set Temperature just before Pre-cooling X5 : Lowest Outdoor Air Temperature during Non-cooling/Non-heating Hours		

5. 예측모델 결과 및 고찰

Pearson의 상관계수를 이용한 상관분석에서 나타난 유의한 항목과 다중회귀분석의 독립변수를 살펴보면, 다음과 같은 특성을 확인할 수 있었다.

외적요인은 주로 실내온도 변화에 주된 영향을 미치는 항목들로 예냉운전 직전 실내온도-실내설정온도, 비공조시간대 외기최저온도가 영향을 미치는 것으로 나타났고, 내적요인은 공간에 공급하는 에너지량을 결정짓는 항목들로 예냉운전시 급기 인버터출력값, 예냉운전시 급기설정온도, 공급열량이 영향을 미치는 것으로 나타났다.

다중회귀분석 모델의 신뢰도를 확인하기 위해서 BEMS 데이터베이스에서 확인된 예냉운전시간과 다중회귀 분석 모델에 의해 산출한 예측모델 예냉운전시간을 비교해 보았다. Fig. 3~Fig. 5를 보면 경향은 비교적 유사한 형태를 보이고 있으며, 2011년, 2012년에는 실제 BEMS 예냉시간, 예측모델 예냉시간 모두 30분 이내에 분포됨을 관찰할 수 있다. 2013년에는 실제 BEMS 예냉시간, 예측모델 예냉시간 모두 40분 이내이며, 2012년 보다는 다소 편차는 발생하였다. 하지만 2012년, 2013년 모두 이는 경험적으로 운전하던 방법에 비해서는 예냉운전시간을 대폭 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

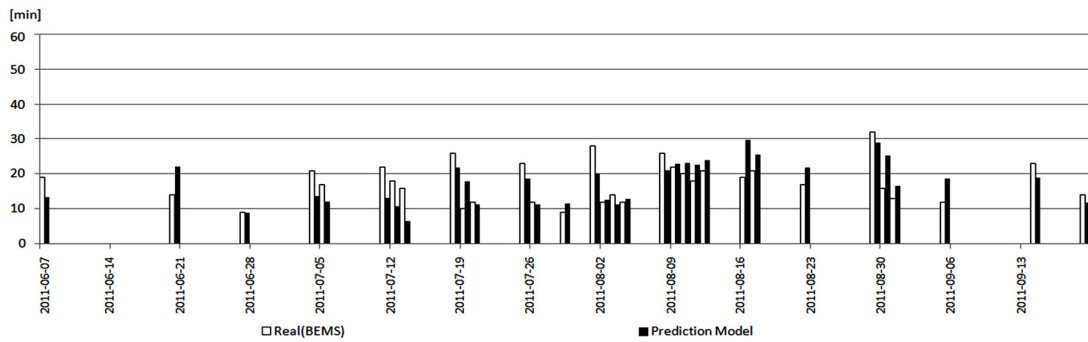


Fig. 3 Comparison of Pre-cooling Hours in 2011.

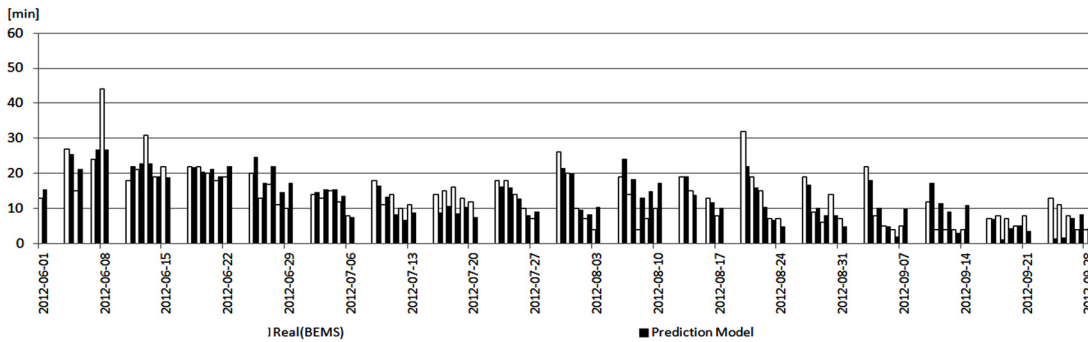


Fig. 4 Comparison of Pre-cooling Hours in 2012.

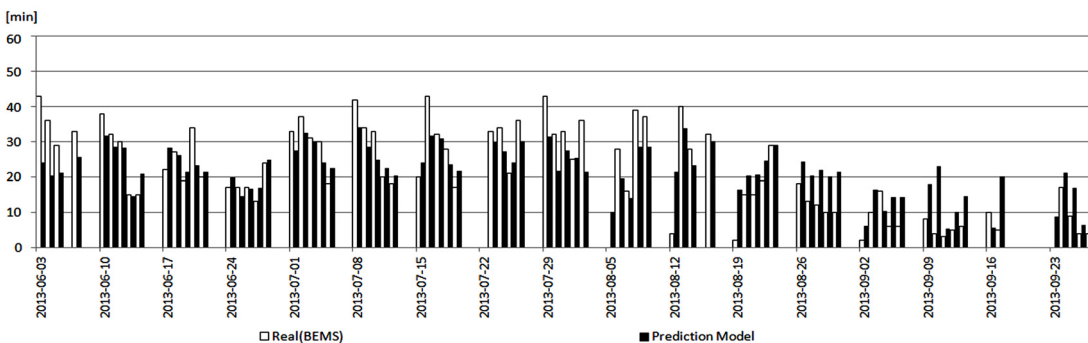


Fig. 5 Comparison of Pre-cooling Hours in 2013.

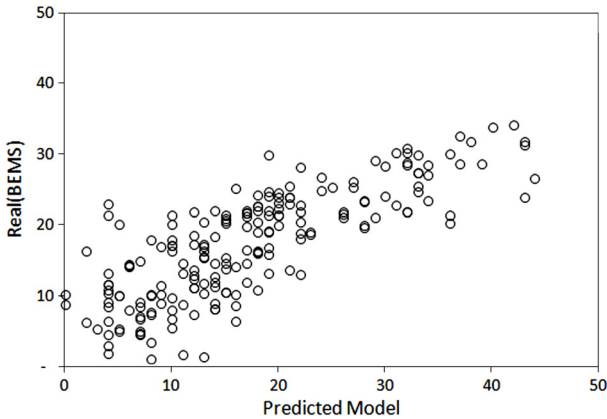


Fig. 6 Comparison of pre-cooling operation time of BEMS and predicted model.

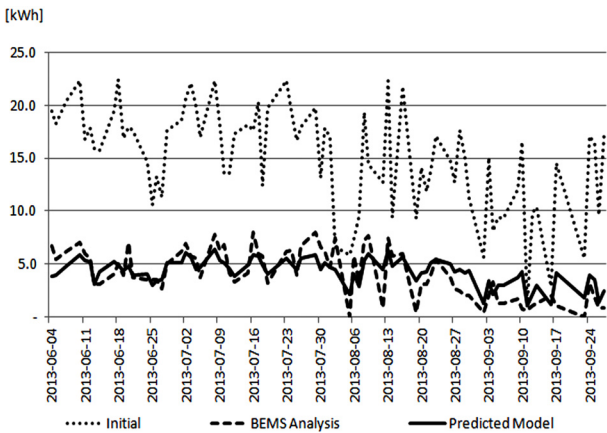


Fig. 7 Comparison of Power Consumption by Pre-cooling.

또한, 3개년의 데이터 전부를 대상으로 예냉운전시간과 예측모델 예냉운전시간과의 상관관계를 비교하면 Fig. 6과 같다. MBE(허용범위 $\pm 10\%$)가 21.63%로 나타나 허용오차범위를 넘는 것으로 나타나 예측모델로 사용하기에는 오차가 큰 것으로 나타났다. MBE를 줄이기 위한 모델링 방법에 대해 추가적인 고려가 필요하다.

Fig. 7은 2013년을 기준으로 기존의 선행적 운전(근무개시 2시간 전 기동), BEMS 예냉운전 그리고 예측모델에 의한 예냉운전에 대해 소비동력을 비교한 결과이다. BEMS 예냉운전은 BEMS 데이터에서 확인된 적정 예냉시간을 기준으로 운전하였을 경우를 의미한다.

기존의 경험적 운전 시 소비동력을 기준으로 BEMS 예냉운전, 예측모델 예냉운전 모두 약 27.7% 수준으로 72.3%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구에서 수행된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제어에 영향을 미치는 요인들을 운전 데이터의 통계학적 분석을 통해 도출할 수 있으며, 도출된 항목을 기반으로 다중회귀분석을 통해서 예측모델을 개발, 대상건물에 적합한 최적 제어 방법 도출이 가능하다.
- (2) 예측모델의 MBE(허용범위 $\pm 10\%$)가 21.42로 나타나 허용오차 범위를 넘는 것으로 나타나 예측모델로 사용하기에는 오차가 큰 것으로 나타났다. MBE를 줄이기 위한 모델링 방법에 대해 추가적인 고려가 필요하다.
- (3) 에너지 절감효과로는 예측모델에 의한 예냉운전 시 약 72.3%의 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시된 방법론은 과거의 운전데이터를 이용함으로 이로부터 최적인 예냉모델을 생성하여 제공함으로써 각 설비의 설정값에 대해 직접적인 가이드 제공이 가능하게 되어 BEMS가 기존에 가시화에 의한 단순효과에 머무는 것을 벗어나서 다양한 설비에서 실질적인 에너지절약을 달성하는 데에 기여하리라 판단된다.

References

1. Korea energy management corporation, 2013, Research on development of analytic method of BEMS operation.
2. Building Management System Committee, 2007, Implementation of evaluation method using operational data from BEMS, 1st Ed., Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, pp. 159-170.
3. Kim, Y. J. and Park, C. S., 2014, Gaussian process model for real-time optimal control of chiller system, Journal of Architectural Institution of Korea, Vol. 30, No. 7, pp. 211-220.
4. Noubuo Nakahara, 2003, Optimal design of HVAC Systems, Hanmi Publishing, pp. 372-380.
5. Katipamula, S. and Michael, R. B., 2005, Review Article: Methods for fault detection, diagnostics, and prognostics for building systems-A Review, Part I, HVAC and R Research, Vol. 11, No. 1, pp. 3-25.
6. Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, 2001, BEMS Building Management System for the environment and energy performance optimization, 1st Ed., Guseon Co., pp. 174-181.
7. Choi, S. K., Park, S. H., Jung, J. W., and Moon, H. J., 2013, Studied on continuous commissioning case through analysis of BEMS data, Proceedings of the SAREK 2013 Summer Conference, pp. 505-509.