

일사량 및 난방부하 예측에 관한 연구[§]

유성연* · 김태호*[†] · 한규현* · 김명호*

* 충남대학교 기계설계공학과

Study on Prediction of Solar Insolation and Heating Load

Seong Yeon Yoo*, Tae Ho Kim*[†], Kyu Hyun Han* and Myung Ho Kim*

* Dept. of Mechanical Design Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received May 9, 2013 ; Revised September 28, 2013 ; Accepted September 29, 2013)

Key Words: Insolation(일사량), Temperature(온도), Heating Load(난방부하), Fuzzy Theory(퍼지이론)

초록: 본 연구에서는 난방설비 제어에 필요한 난방부하를 건물 특성계수를 사용하여 예측하는 방법을 제안하였고, 난방부하에 주된 영향을 미치는 시간별 온도와 일사량을 예측하는 방법을 제안하였다. 온도와 일사량은 기상청에서 예보되는 정보로부터 퍼지이론을 이용하여 예측하였고, 난방부하 예측을 위한 건물 특성계수는 EnergyPlus 로부터 도출하였다. 본 연구에서 제안된 방법으로 얻어진 난방부하는 EnergyPlus 의 결과와 잘 일치하였으며, 예측된 온도와 일사를 이용하여 예측한 난방부하의 변화 양상은 실측 기상데이터를 사용한 결과와 유사하였다.

Abstract: In this study, a method for predicting heating loads using building characteristic coefficients is proposed for heating system control, and a method for predicting hourly temperature and solar insolation, which mainly affect building heating loads, is also proposed. The temperature and solar insolation are predicted by using a fuzzy theory from forecast information at the meteorological agency, and the building characteristic coefficients for the prediction of heating loads are derived from EnergyPlus. The simulated heating loads of the present study show good agreement with those of EnergyPlus. and the variations of the predicted heating loads using the predicted temperature and solar insolation are similar to those using the actual weather data.

- 기호설명 -

A : 면적(m^2)

h : 엔탈피(J/kg)

I : 일사량(W/m^2)

P_s : 전도특성계수

P_{sol} : 일사특성계수

\dot{Q}_{air} : 침기 및 환기부하(W)

\dot{Q}_{cond} : 전도부하(W)

\dot{Q}_{etc} : 기타부하(W)

\dot{Q}_h : 난방부하(W)

\dot{Q}_{sol} : 일사부하(W)

SH : 축열계수

T : 온도($^{\circ}C$)

\dot{V} : 침기 및 환기유량(m^3/s)

상첨자

* : 무차원수

하첨자

avg : 최대값과 최소값의 산술평균

i : 실내

max : 최대값

o : 외기

§ 이 논문은 대한기계학회 열공학부문 2013년도 춘계학술대회 (2013. 5. 22.-24., BEXCO) 발표논문임.

† Corresponding Author, thkim2845@naver.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

1. 서론

건물에서 소비되는 에너지는 우리나라 총 에너지

지 소비의 24%를 차지하며, 이 중 공조부문의 소비는 그 절반에 달한다.⁽¹⁾ 이러한 막대한 에너지의 소비처인 건물의 에너지 절약을 위한 방법 중 하나가 공조설비의 최적제어이다. 건물에는 열원기, 공조기로 구성된 다양한 공조설비를 갖추고 있고 각 공조설비의 에너지절약을 위해서는 최적의 운전전략이 요구된다. 공조설비의 종류에 따라 소비되는 연료의 에너지 원단위가 다르고, 시간에 따라 변하기도 한다. 또한 열을 실내에 전달하기까지 축열, 축냉, 예열, 예냉 등을 위한 시간이 필요할 때가 있다. 이러한 다양한 인자를 고려한 경제적인 공조설비 운전조건이 존재하며, 이러한 조건은 건물부하 예측을 통해서 찾을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 공조설비 최적운전의 지침이 되는 단순하면서도 신뢰할 수 있는 건물부하 예측 방법을 제시하고자 한다.

기존 건물에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus, ECO2 등은 건물구조에 대한 수많은 입력 데이터가 요구되므로 공조설비의 최적으로운전을 위한 부하 예측에는 사용하기 어렵다. 또한 인공지능 알고리즘을 사용하여 실제 운전데이터를 학습하여 부하를 예측하는 방법이 있으나 건물 내·외부 환경의 변화를 적절하게 반영하지 못하는 단점이 있다. 위 두 방법을 결합하여 단점을 보완한 방법이 인버스 모델(Inverse model 혹은 Gray model)이다.⁽²⁾ 즉, 모델에 내재된 건물특성 방정식을 단순화하고, 방정식에 건물의 특성을 나타내는 계수를 포함시키며, 각 계수를 실측데이터로 구함으로써 해석모델의 신뢰성을 확보하며 계산은 보다 단순히 하는 방법이다. 인버스 모델에 대한 기존 연구는 주로 Braun 에 의해 연구되어 왔다. Braun 등^(2,3)은 건물 성능평가를 위해 지어진 건물에 인버스 모델을 적용하여 검증한 바 있으며, 근래에는 EnergyPlus 를 이용해 다시 인버스 모델을 검증한 바 있다. 또한 Lee 등⁽⁴⁾은 야간냉방을 이용한 건물예냉을 통해 건물에너지 피크저감에 인버스 모델을 적용한 바 있다. 이외에도 Wang 등⁽⁵⁾은 인버스모델을 이용하여 건물부하를 예측한 바 있다. 위 연구는 모두 열평형에 근거한 모델로 현재 흔히 사용되고 있는 CLTD 법이나 RTS 법보다 복잡한 계산과정을 갖는다. Yoo 등⁽⁶⁾은 바닥면적만을 고려하여 냉방부하를 예측하는 방법을 제안하였으나 태양열의 영향때문에 난방부하 예측에는 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 보다 명료하면서 단순한 방정식을 이용하여 난방부하를 예측하는 인버스 모델을 제안하고 이를 검증하였다. 상용 부하해석프로그

램인 EnergyPlus 의 해석결과로부터 난방부하에 관련된 건물 특성계수를 추출하는 방법을 제안하였으며, 열이 벽체에 축열되었다가 시간이 지남에 따라 서서히 방출되는 현상을 단순한 방법으로 모사하여 실제적인 부하변화를 표현할 수 있도록 하였다. 또한 퍼지이론을 사용하여 난방부하 예측에 필요한 시간별 온도와 수평면 일사량을 예측하는 방법을 제안하고, 방위를 고려하지 않았던 기존의 단순 일사모델⁽⁷⁾을 개선하여 방위계수와 수평면 일사량을 이용하여 각 방위별 일사를 도출하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 예측방법의 검증을 위해 제안된 방법으로 해석한 난방부하와 EnergyPlus 로 해석한 난방부하를 비교하였으며, 예측된 기상데이터를 사용하여 구한 예측부하와 실제 측정된 기상데이터를 사용하여 구한 예측부하를 비교·분석하였다.

2. 온도 및 일사량 예측

2.1 온도 및 일사량 예측 방법

난방부하에 가장 큰 영향을 미치는 외기온도와 일사량을 예측하기 위해 기상청에서 측정된 5년간의 시간별 온도와 수평면 일사 데이터를 분석하여 겨울철 온도와 수평면 전일사량의 일반적인 변화양상을 얻었다. 그리고 기상청에서 예보하는 최대값과 최소값을 이용하여 익일의 시간별 온도와 일사량을 예측하는 방법을 제안하였다.

겨울철 하루 동안의 온도와 일사량 변화는 값에 차이는 있지만 매우 규칙적인 변화를 보인다. 이와 같은 규칙적인 변화양상을 도출하기 위해 대전 지역의 2005년부터 2009년까지의 월평균 시간별 온도와 일사량의 변화를 식 (1)과 (2)로 각각 무차원화하였다. Fig. 1과 Fig. 2에 보인 무차원화한 온도와 일사량의 변화양상은 월에 상관없이 거의 동일함을 알 수 있다. 무차원화한 온도와 일사량을 곡선맞춤한 결과는 식 (3)과 같으며, 각 상수는 Table 1에 나타내었다. 얻어진 무차원화 데이터에 최대값과 최소값을 대입하여 익일의 시간별

$$T^*(t) = \frac{T(t) - T_{avg}}{T_{max} - T_{avg}}, \quad -1 \leq T^* \leq 1 \quad (1)$$

$$I^*(t) = \frac{I(t)}{I_{max}}, \quad 0 \leq I^* \leq 1 \quad (2)$$

$$T^*(t) \text{ or } I^*(t) = \sum_{i=0}^6 B_i t^i \quad (3)$$

온도와 일사량인 T(h)와 I(h)를 각각 얻을 수 있다.

Table 1 Coefficients for correlations of normalized temperature and insolation

| | Temperature | Insolation |
|-------|-------------|------------|
| B_0 | -0.6534 | -7.436 |
| B_1 | 0.3455 | 5.736 |
| B_2 | -0.2611 | -1.698 |
| B_3 | 0.05228 | 0.2436 |
| B_4 | -0.00412 | -0.01772 |
| B_5 | 1.420E-4 | 6.290E-4 |
| B_6 | -1.800E-6 | -8.660E-6 |

Table 2 Relation between forecasted weather and cloud amount

| Forecasted weather | Sunny | Partly cloudy | Mainly cloudy | Cloudy |
|--------------------|-------|---------------|---------------|--------|
| Cloud amount | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9-10 |

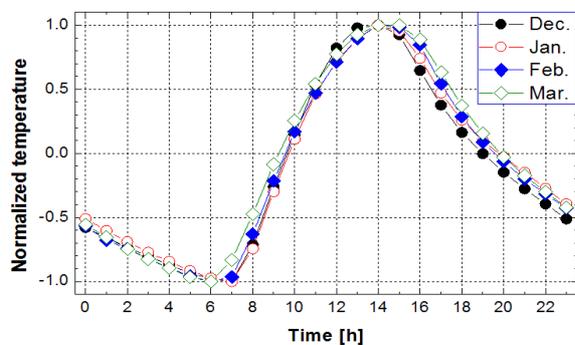


Fig. 1 Variation of normalized hourly temperature

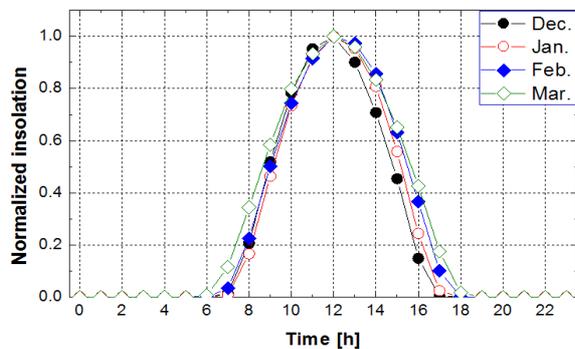


Fig. 2 Variation of normalized hourly insolation

익일의 최대온도와 최소온도는 기상청에서 예보하는 값을 사용하면 되지만 식 (2)의 최대일사량은 예보되지 않는다. 최대일사량을 기상청에서 예보되는 데이터로부터 구하기 위하여 퍼지이론을 사용하였다. Fig. 3은 5년간 겨울철의 최대일사량과 각 예보정보의 선형 곡선맞춤에 대한 결정계수를 나타낸 결과이다. 온도와 습도에 대한 예보정보 중에서는 일교차와 최소습도가 최대일사량과 상관관계가 크며, 이외에도 12시 운량이 최대일사량에 영향을 미친다. 하지만 각 기상데이터의 상관관계를 정확하게 알기는 어려우므로 각 요인

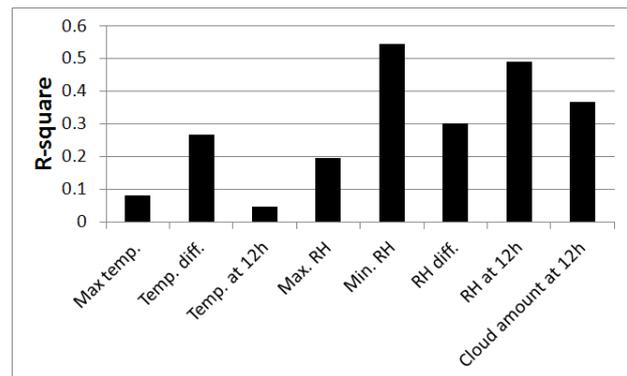
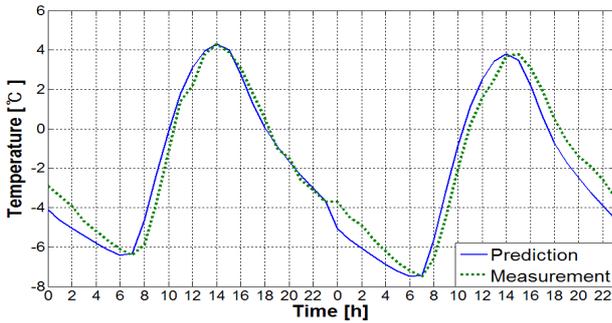


Fig. 3 Relation of maximum insolation with other weather data

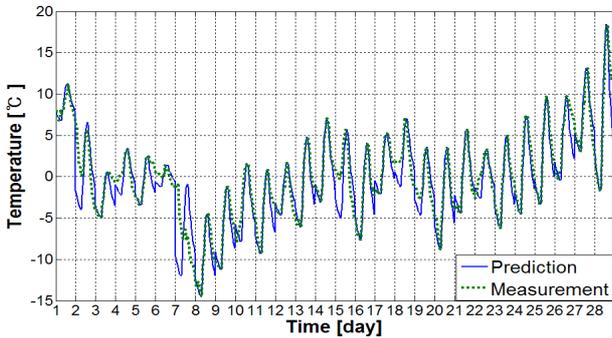
의 애매모호한 관계를 퍼지 알고리즘을 이용하여 추론하였다. 퍼지집합은 5년간의 데이터에 근거하여 각 기상데이터를 7 등분한 후 7개의 언어값을 지정하였으며, 맘다니형 추론법을 사용하였다. 운량은 Table 2와 같이 맑음, 구름조금, 구름많음, 흐림으로 예보되므로 이들 각각에 4개의 언어값을 지정하였다. 퍼지규칙은 각 요인들이 서로 연관되어있기 때문에 최적화의 원리가 적용되지 않아 순서대로 단일 규칙을 최적화하더라도 전체 규칙의 최적화를 얻을 수 없다. 따라서 다양한 경우의 규칙을 고려하기 위해 일교차, 최소습도, 12시 운량으로 구성된 3차원 행렬 중 한 곳의 위치를 랜덤수를 통해 생성하였고, 무작위로 선택된 위치에 각 규칙을 번갈아 대입하여 실제 데이터와의 오차가 가장 적은 규칙을 그 위치의 일사량 출력 퍼지 규칙으로 정하였다. 이러한 과정을 500번의 반복 동안 변화가 없을 때까지 수행하였다.

2.2 온도 및 일사량 예측 결과 및 고찰

Fig. 4는 2013년 1월 14일과 15일, 그리고 2월 한 달 동안의 온도변화를 제안된 방법으로 예측한 결과와 실측값을 비교한 것이다. 최대, 최소 온도는 물론 최대온도와 최소온도가 나타나는 시간도 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 예측 온도와 실측온도의 차이가 큰 날이 있는데, 이는 제안된 방법이 규칙적인 변화를 가정하고 있으나 눈 혹은 비가 오는 날은 규칙적인 변화에서 벗어나기 때문이다. 2013년 1월과 2월의 시간별 데이

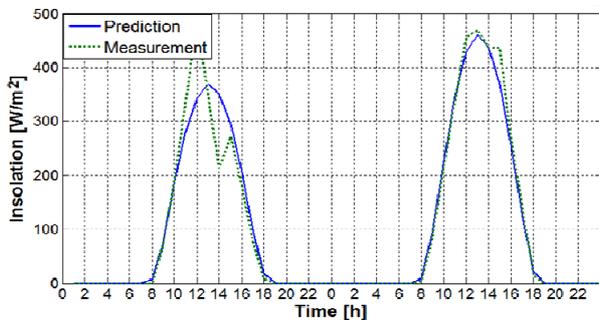


(a) 14th & 15th of January

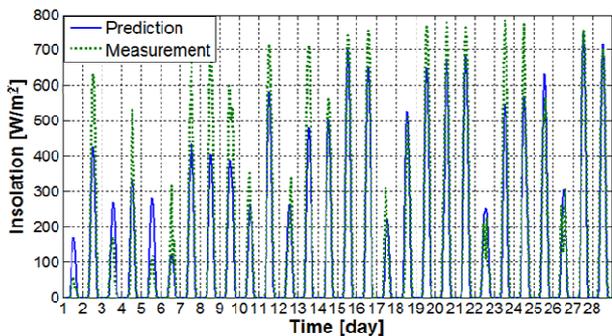


(b) February

Fig. 4 Comparison of predicted temperature with measured data



(a) 14th & 15th of January



(b) February

Fig. 5 Comparison of predicted insolation with measured data

데이터를 분석한 결과, 실측온도와 예측온도 (Kelvin 단위)의 RMS 오차는 맑은 날의 경우

0.60%, 눈 혹은 비가 온 날은 0.76%로 분석되었다. 또한 날씨와 관계없이 예측온도의 전반적인 변화 양상은 실측온도와 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 5(a)는 2013년 1월 14일과 15일의 일사량을 예측한 결과를 실측값과 비교한 것으로 청명일인 1월 15일은 매우 잘 예측되지만 비청명일인 1월 14일은 예측된 시간별 일사량의 변화가 측정값과 상당한 차이를 보이고 있다. 그럼에도 불구하고 하루 동안의 일사량 합계는 예측값과 실측값이 비슷하다. 또한 외기온도와 습도에 이미 일사의 영향을 반영되어 있고, 순간 일사량은 구조체에 축열된 후 서서히 난방부하에 영향을 미치기 때문에 시간별 일사량의 오차가 난방부하에 미치는 영향은 일사량의 오차에 비해서 크지 않을 것이라 판단된다. Fig. 5(b)는 2월 한 달 동안의 일사량 예측결과와 실측값을 비교한 것으로 눈 혹은 비가 산발적으로 많이 왔음에도 일사량의 일별 변화양상은 비교적 일치하나 최대값에는 다소 차이가 있다. 이는 일사가 눈 혹은 비 등에 따라 매우 민감하게 변화하는데, 퍼지규칙을 정할 때 맑은 날과 눈 혹은 비 온 날을 따로 구분하여 분석하지 않았기 때문이다. 2013년 1월과 2월의 일별 합산 일사량 데이터를 분석한 결과, 맑은 날의 RMS 오차는 16.2%, 눈 혹은 비 온 날은 48.1%의 값을 보였다. 따라서 일사량에 대한 퍼지규칙을 맑은 날과 눈 혹은 비가 오는 날을 나누어 분석하면 날씨별로 더 정확한 예측이 가능할 것이며, 또한 본 연구에서는 일사량의 퍼지규칙을 7개로만 나누었지만 보다 세밀하게 나누면 더 좋은 예측결과가 나올 것이라 판단된다.

3. 난방부하 해석 및 예측

3.1 난방부하 해석 및 예측 방법

난방부하에는 구조체(벽체, 지붕, 창호 등)를 통한 전도부하(\dot{Q}_{cond}), 태양에 의한 일사부하(\dot{Q}_{sol}), 침기 및 환기에 의한 외기부하(\dot{Q}_{air}), 인체, 조명, 기기 등에 의한 내부 발생열(\dot{Q}_{etc})이 있으며, 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 기존 난방부하 해석은 최대부하를 기준으로 하기 때문에 부하에 이득이 되는 열유입은 제외하지만, 본 연구에서는 하루 동안의 부하변화 예측을 목적으로 하므로 부하에 이득이 되는 일사부하도 고려하였다.

$$\dot{Q}_h(t) = \dot{Q}_{cond}(t) - \dot{Q}_{sol}(t) + \dot{Q}_{air}(t) - \dot{Q}_{etc}(t) \quad (4)$$

구조체를 통한 전도부하는 구조체의 열전도계수와 면적, 주위와 실내의 온도차에 의해 결정되며,

이때 열전도계수, 면적은 건물이 한번 건축되면 거의 변하지 않는 건물의 특성이라고 할 수 있다. 따라서 전도부하는 건물의 전도특성계수 P_s 를 사용하여 다음 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 여기서 A 는 벽체면적을 의미하며, 시간별 외기온도 $T_o(h)$ 는 식 (1)을 사용하여 예측한다.

$$\dot{Q}_{cond}(t) = P_s \times A \times (T_i - T_o(t)) \quad (5)$$

태양에 의한 일사부하는 거의 변하지 않는 건물의 특성과 외부 일사에 의해 결정된다. 따라서 건물에 대한 일사부하는 P_{sol} 이라는 건물의 일사특성계수를 도입하여 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 여기서 A 는 벽체 혹은 창호의 면적이고, 시간별 수평면 일사량 $I_o(h)$ 는 식 (2)를 사용하여 구하며, P_{sol} 은 방위별로 구한다.

$$\dot{Q}_{sol}(t) = \sum_{azimuth} (P_{sol} \times A \times I_o(t)) \quad (6)$$

침기 및 환기에 의한 외기부하는 식 (7)과 같이 정의되며, 이때 \dot{V} 은 환기 또는 침기되는 공기의 유량이다. 외기에 의한 부하는 축열되지 않고 바로 공조공간에 전달되므로 본 연구의 부하해석에서는 외기부하를 즉시부하로 간주하였다.

$$\dot{Q}_{air}(t) = \rho \times \dot{V} \times (h_i - h_o(t)) \quad (7)$$

전도열 혹은 일사열에 의한 부하는 일부는 즉시부하가 되는 반면 일부는 건물 내부에 축열되어 부하의 시간지연, 부하감쇠현상을 일으킨다. 이러한 현상을 모사하고자 Seem 등⁽⁸⁾에 의해 제안된 방법을 단순화시켜 다음과 같은 방법을 제안하였다. 건물 구조체 표면에서 내부로 전달된 전도열 혹은 일사열의 일부는 구조체에 축열되고, 나머지 열은 실내로 유입되어 난방부하가 된다. 이때 전도열 혹은 일사열 중 난방부하가 되는 열의 비율을 SH 라 하면 구조체에 축적되는 열의 비율은 (1-SH)가 된다. 구조체에 축열된 열은 일정시간이 지나면 앞서와 같은 비율(SH)로 다시 건물 내부로 유입되어 난방부하가 되며, 따라서 축열에 의한 난방부하는 SH(1-SH)가 되고 구조체에 축열된 채로 남아있는 열은 (1-SH)(1-SH)가 된다. 이와 같은 과정을 각 시간별로 유입된 열에 대하여 일정시간 동안 반복하면 시간별 난방부하는 식 (8)과 같이 된다. 이때 외기부하와 기타 내부발생열은 즉각적인 난방부하가 되므로 축열효과를 고려하지 않았다.

$$\dot{Q}_h(t) = \left[\sum_{i=t-12}^t SH(1-SH)^{t-i} (\dot{Q}_{cond}(i) + \dot{Q}_{sol}(i)) \right] + \dot{Q}_{air}(t) + \dot{Q}_{etc}(t) \quad (8)$$

Table 3 Specifications of building model for heating load simulation

| | North zone | South zone | East zone | West zone |
|-------------------------------|-------------|------------|-----------|-----------|
| Set. Temp. | 20℃ | | | |
| Area[m ²] | 99.16 | 99.16 | 42.92 | 42.92 |
| Window to Wall ratio | 0.40 | 0.40 | 0.25 | 0.25 |
| U-factor [W/m ² K] | | | | |
| Outside Wall | Inside wall | Roof | Ceiling | Floor |
| 0.4080 | 2.8110 | 0.2820 | 1.5331 | 12.8937 |

Table 4 Monthly P_s for each zone

| | North zone | South zone | East zone | West zone | Avg. |
|------|------------|------------|-----------|-----------|--------|
| Dec. | 0.5818 | 0.5839 | 0.5069 | 0.5066 | 0.5448 |
| Jan. | 0.6107 | 0.6130 | 0.5326 | 0.5323 | 0.5722 |
| Feb. | 0.5954 | 0.5973 | 0.5189 | 0.5189 | 0.5576 |
| Mar. | 0.5918 | 0.5940 | 0.5170 | 0.5162 | 0.5547 |
| Avg. | 0.5949 | 0.5970 | 0.5188 | 0.5185 | 0.5573 |

3.2 난방부하 해석 및 예측 결과

제안된 방법을 검증하기 위해 건물모델을 설정한 후 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 부하해석 프로그램인 EnergyPlus 를 통해 건물의 특성계수를 도출하였다. 본 연구에서 사용한 건물모델은 EnergyPlus 에서 제공하는 모델을 약간 변형한 것으로, 동서남북과 내부에 각각 하나의 존이 있고, 그 위에 냉난방되지 않는 천장으로 구성되어 있으며 상세사항은 Table 3 과 같다. 각 존의 부하는 별도의 HVAC 시스템의 설정없이 존부하를 계산할 수 있는 IdealLoadAirSystem 이라는 가상의 시스템을 통해 평가하였다.⁽⁹⁾

건물의 전도특성계수 P_s 를 도출하기 위해 외부의 일사를 제외한 후 부하를 분석하였으며, 식 (5)로부터 한 달간의 전도부하 합계에 한 달간의 실내의 온도차를 나눔으로써 P_s 를 구할 수 있다. 이렇게 한 달이라는 장시간 동안의 데이터를 분석하여 P_s 값을 구함으로써 시간지연에 의해 장시간 영향을 미치는 축열의 효과를 상쇄할 수 있다. Table 4 는 한 달 동안의 평균 P_s 를 동서남북 4 개의 건물 존에 대하여 구한 결과이다. 전도특성계수 P_s 가 존에 따라 약간의 차이는 있지만 월에 상관없이 거의 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 남/북 존의 P_s 가 동/서 존의 P_s 보다 약간 높은 것은 남/북 존의 창면적비가 동/서 존보다 더 크기 때문이다. 각 벽의 총합열전달계수, 창면

적비 등과 P_s 의 관계식을 도출하면 EnergyPlus의 해석에 의존하지 않고 P_s 를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

일사특성계수 P_{sol} 은 구조체의 종류와 방위에 따라 각기 다른 값을 가지므로 벽체와 창호를 방위별로 나누어 분석하였다. EnergyPlus에서는 구조체에 비치는 일사의 유무를 설정할 수 있다. 이를 이용하여 모델의 창호를 없애고 방위별 구조체의 일사유무를 바꾸어가면서 부하증감량을 평가하여 벽체의 P_{sol} 을 구하였다. 마찬가지로 창호의 P_{sol} 도 방위별 창호의 일사 투과도를 0 혹은 1로 바꾸어가면서 부하증감량을 평가하여 도출하였다. P_{sol} 은 식 (6)으로부터 한 달간의 일사부하의 합계와 한 달간의 수평면 일사량의 합계를 통해 도출하였다.

Fig. 6은 벽체의 방위별 P_{sol} 을 나타낸 것으로 겨울철에는 태양의 고도가 낮아져 남향의 일사영향이 커지는 반면 여름철에는 태양의 고도가 높아 남향의 일사 영향이 작아진다. 남향 이외의 방향에서는 여름철에 약간 높지만 계절별로 큰 차이가 없으며, 북향이 가장 낮은 P_{sol} 을 나타내고 있다. Fig. 7에 나타낸 창호의 방위별 P_{sol} 은 변화 양상이 벽체의 P_{sol} 의 경우와 매우 비슷하나 값은 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

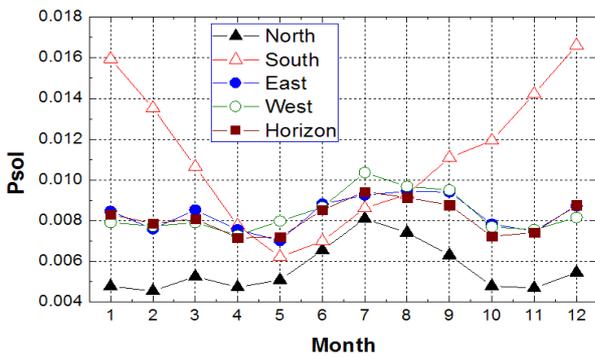


Fig. 6 Variation of monthly P_{sol} for wall

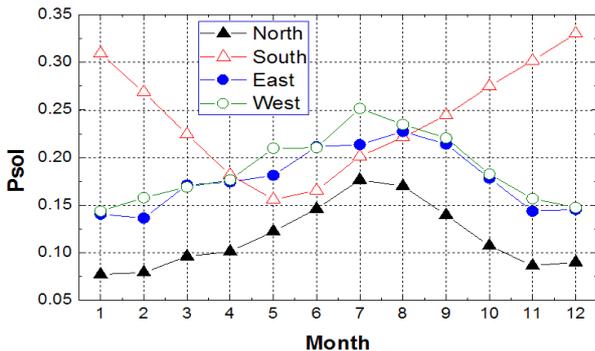
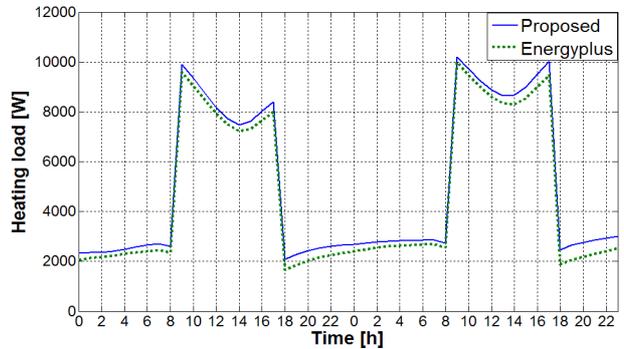
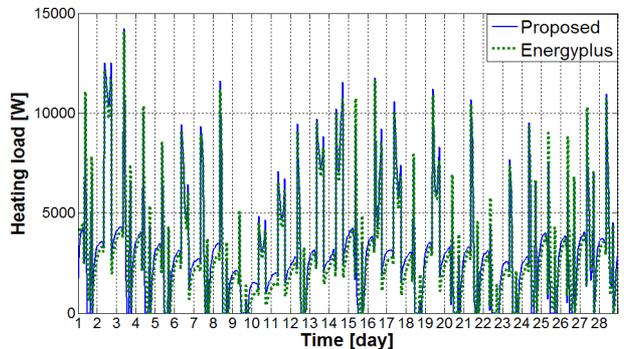


Fig. 7 Variation of monthly P_{sol} for window

제안된 부하 해석방법을 검증하기 위해 건물 특성계수로부터 구한 부하와 EnergyPlus에서 구한 부하를 비교하였다. 이때 환기량은 건축기계설비 설계기준의 사무실에 대한 기준에 근거해 환기횟수를 1 ACH로 설정하였고, 9시부터 17시까지의 스케줄을 갖도록 하였으며, 축열효과를 고려하기 위한 SH는 다양한 건물모델의 분석을 통해 0.4로 설정하였다. Fig. 8은 1월 14일과 15일, 그리고 2월 한 달 동안 제안한 방법으로 구한 부하와 EnergyPlus로 해석한 부하를 비교한 결과이다. 전도에 의한 부하가 주를 이루는 새벽시간에는 다소



(a) 14th & 15th of January



(b) February

Fig. 8 Comparison of proposed heating loads with those of EnergyPlus

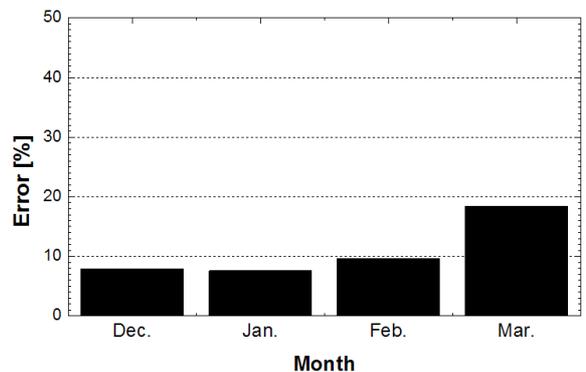
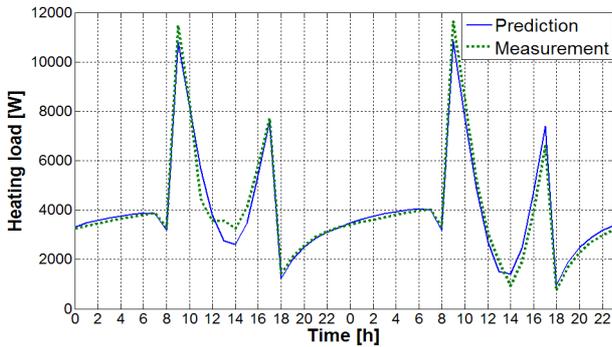
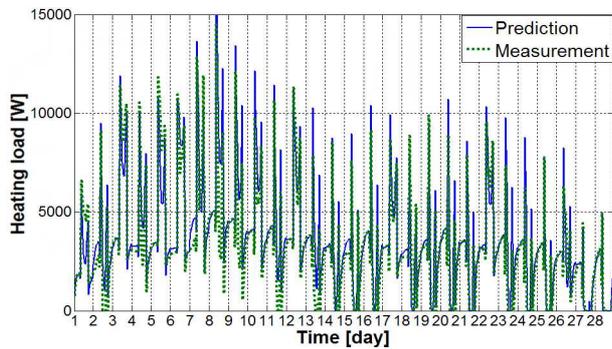


Fig. 9 Error of proposed heating loads compared with EnergyPlus results



(a) 14th & 15th of January



(b) February

Fig. 10 Comparison of heating loads using predicted weather data with those of measured data.

낮은 난방부하를 보이다가 환기부하가 고려되는 시간에는 난방부하가 급격하게 증가하며, 일사열 유입이 존재하는 낮에는 난방부하가 감소한다. 제안한 방법으로 구한 난방부하와 EnergyPlus 로 구한 부하가 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9 는 일별로 합산한 절대오차의 평균을 각 월별로 나타낸 결과로, 12, 1, 2 월은 10% 이내의 오차를 보였으며, 3 월은 약 18%의 오차를 보였다. 오차의 원인은 건물 특성계수를 한 달 동안 변화하지 않는 것으로 가정하였고, 또한 축열효과를 고려한 방법에서도 약간의 오차가 발생하기 때문이라 판단된다. 3 월의 경우에는 실내의 온도차가 작아져 부하의 절대값이 작아지므로 약간의 변화에도 오차가 커진다.

Fig. 10(a)는 2013년 1월 14일과 15일에 대전지역에서 측정된 기상데이터를 사용하여 예측한 부하와 본 연구에서 제안한 방법으로 예측한 온도와 일사량을 사용하여 예측한 부하를 비교한 것이다. 온도차에 의한 전도부하가 주를 이루는 새벽시간은 물론, 실내의 엔탈피차에 의한 환기부하와 태양에 의한 일사부하가 큰 영향을 미치는 낮시간에도 매우 잘 예측되고 있음을 알 수 있다. 2월 한 달간의 부하를 비교한 Fig. 10(b)의 결과에서도 예

측온도와 일사량을 사용하여 예측한 난방부하의 변화 양상은 실측 기상데이터를 사용하여 구한 부하와 유사함을 알 수 있다. 1월과 2월의 난방부하 RMS 오차는 맑은 날의 경우 14%, 눈 혹은 비가 온 날의 경우 10%로 일사량 오차보다 훨씬 작으며, 눈 혹은 비가 오는 날은 일사부하가 다른 부하에 비해서 상대적으로 작기 때문에 난방부하 오차가 맑은 날 보다 오히려 작아지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 난방설비의 최적제어에 필요한 난방부하 예측 방법을 제안하고 검증하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기상청에서 예보되는 정보로부터 퍼지이론을 이용하여 온도와 일사량을 예측하는 방법을 제안하였다. 예측된 온도는 실측값과 잘 일치하고 있으며, 예측된 일사량의 변화 양상은 실측값과 유사하나 비나 눈이 오는 경우는 비교적 큰 오차가 발생한다.

(2) 건물의 전도특성계수 P_s 를 도출하여 전도부하를 예측하는 방법을 제안하였으며, P_s 는 창면적비에 따라 약간 달라지지만 방위와 월에 상관없이 거의 일정한 값을 가진다.

(3) 건물의 일사특성계수 P_{sol} 을 도출하여 일사부하를 예측하는 방법을 제안하였으며, P_{sol} 은 남향의 경우는 계절별로 크게 달라지지만 기타 방향은 거의 일정하며, 창호의 P_{sol} 은 벽체의 P_{sol} 보다 훨씬 크다.

(4) 건물 특성계수를 사용하여 구한 난방부하와 EnergyPlus 를 사용하여 해석한 부하의 시간별 변화는 매우 잘 일치하고 있으며, 일별로 합산한 절대오차의 평균은 12, 1, 2 월에는 10% 이내이고, 3 월에는 약 18%로 나타났다.

(5) 예측된 온도와 일사량을 사용하여 예측한 난방부하는 실측 기상데이터를 사용하여 예측한 부하와 유사하다.

후 기

본 연구는 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

(1) Korea Energy Management Corporation, 2008,

- "Energy Saving Statistics".
- (2) Lee, K. H. and Braun, J. E., 2008, "Performance Evaluation of a Dynamic Inverse Model with EnergyPlus Model Simulation for Building Cooling Loads," *Trans. of SAREK*, Vol. 20, No. 3, pp. 205~212.
 - (3) Braun, J. E. and Chaturvedi, N., 2002, "An Inverse Gray-Box Model for Transient Building Load Prediction," *HVAC&R Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 73~99.
 - (4) Lee, K. H., Yang, S. K. and Han, S. H., 2010, "Reducing Peak Cooling Demand Using Building Precooling and Modified Linear Rise of Indoor Space Temperature," *Trans. of SAREK*, Vol. 22, No. 2, pp. 86~96.
 - (5) Zhou, Q., Wang, S., Xu, X. and Xiao, F., 2008, "A Grey-box Model of Next-day Building Thermal Load Prediction for Energy-efficient Control," *Int. J. Energy Res.*, Vol. 32, pp. 1418~1431.
 - (6) Yoo, S. Y. and Han, K. H., 2010, "A Study on Prediction of Hourly Cooling Load Using Building Area," *Trans. of SAREK*, Vol. 22, No. 11, pp. 798~804.
 - (7) Yoo, S. Y., Kim, T. H., Han, K. H., Yoon, H. I., Kang, H. C. and Kim, K. H., 2012, "Prediction of Heating Load for Optimum Heat Supply in Apartment Building," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 32, No. 8, pp. 803~809.
 - (8) Seem, J. E., Klein, S. A., Beckman, W. A. and Mitchell, J. W., 1989, "Transfer Functions for Efficient Calculations of Multi Dimensional Heat Transfer," *J. of Heat Transfer-Transaction of the ASME*, Vol. 111, No. 1, pp. 5~12.
 - (9) Moon, H. J., 2009, "Building Energy Simulation using EnergyPlus and BIM's Application," *J. of the KARSE*, Vol. 26, No. 9, pp. 28~37.