Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 29, No. 9(2017), pp.482-495
ISSN 1229-6422(Print), 2465-7611(Online)
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2017.29.9.482

국내 난방도일의 지역별 균형점온도 산정 과정에 관한 연구

A Study on Generating Process of Regional Balance Point Temperature for Heating Degree-days in Korea

박소민(So Min Park)[1], **송두삼**(Doo Sam Song)[2†]
[1]성균관대학교 건설환경시스템공학과, [2]성균관대학교 건설환경공학부
[1]*Dept. of Civil, Architectural and Environmental System Eng., Sungkyunkwan University, SuwonSi, 16419, Korea*
[2]*School of Civil, Architectural Eng., and Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, SuwonSi, 16419, Korea*

(Received July 11, 2017; revision received August 8, 2017; Accepted: August 14, 2017)

Abstract Degree-days are practically used as a tool to estimate energy consumption for heating and cooling. Degree-days are calculated by summing differences of balance point temperature and outside temperature for the analyzed period. Determining balance point temperature is a key point in calculating accurate degree-days. However, ASHRAE standards are used for balance point temperature in Korea because balance point temperature considering climate conditions and building thermal performance is not proposed in Korea. This study proposes the process to generate balance point temperature for heating degree-days considering Korean climate and building conditions. Also, a new balance point temperature for three regions in Korea will be suggested in this study. Balance point temperature of Seoul is approximately 15.0℃, lower than the current standard of 18.3℃. Balance point temperature of Seoul considering climate conditions and building performance can be different from the ASHRAE suggested value (18.3℃). Results revealed the current standard for balance point temperature should be changed considering climate and building conditions in Korea.

Key words Heating degree-days(난방도일), Balance point temperature(균형점온도), Climate conditions(기상조건), Building thermal performance(건물 열적 성능)

† Corresponding author, E-mail: *dssong@skku.edu*

기호설명

H_d : 난방도일 [K · days]
θ_b : 균형점온도 [K]
θ_o : 일평균외기온도 [K]
θ_{sp} : 실내설정온도 [K]
E : 에너지요구량 [kW]
U', H_t, q : 총열손실계수 [kW · K^{-1}]
Φ_t : 총열손실계수 [W · K^{-1}]
H_t, H_x : 외피에 의한 열손실계수 [W · K^{-1}]
Q_G : 열취득량 [kW]
Q_C : 축열 성능에 의한 부하 [kW]
A : 난방공간에 대한 면적 [m^2]
U : U-value [W · m^{-2} · K^{-1}]
N : 침기량 [h^{-1}]
V : 난방공간에 대한 체적 [m^3]
F_{1cu}, F_{2cu} : 복사 열교환을 고려한 계수 [-]
θ_c : 실 중앙의 작용온도 [K]
C_v : 환기에 의한 열전도율 [WK^{-1}]
$L\Psi, l_k\Psi_k, \chi_j$: 열교에 의한 열손실 [WK^{-1}]
$b_{tr,x}$: 간헐난방의 경우 보정계수 [-]
HF : Heat load factor(난방부하 계수) [W/m^2]
c_p : 공기의 비열 [kJ/kgK]
ρ : 공기의 밀도 [1.2 kg/m^3]
$Q, q_{ve,k,mn}$: 침기량 [m^3/s]
$H_{ve,adj}$: 환기에 의한 열전달계수 [W/K]
$b_{ve,k}$: 기류에 의한 온도보정계수 [-]
Q_{int} : 월별, 계절별 실내발열에 의한 열취득량 [MJ]
$\Phi_{int,mn,k}$: 실내발열체 k에 의한 열류량 [W]
$b_{tr,l}$: 비 난방공간에서의 감소계수

ⓒ SAREK

$\Phi_{int,mn,u,l}$: 비 난방공간에서의 실내발열체 l에 의한 열류량 [W]
H_{ue} : 외부환경과 비난방공간 사이의 열 이동 계수 [W/K]
H_{iu} : 난방공간과 비난방공간 사이의 열 이동 계수 [W/K]
η' : 이용상수 [-]
γ : 열취득, 열손실량 비율 [-]
Q_l : 평균열손실량 [kW]
Q'_G : 평균 총 열취득량 [kW]
a : 지역에 따른 열용량과 관련된 상수 [-]
a_0, τ_0 : 이용상수와 관련된 유효계수 [-]
τ : 건물의 시간상수 [-]
C : 건물의 열용량 [kJ/K]

1. 연구배경 및 목적

도일(Degree-days)은 건물의 냉난방량과 관련된 에너지 소비량을 예측하는 척도로 사용된다.[1] 특히 난방도일(Heating Degree-days)은 난방기 동안의 난방량을 알 수 있는 척도로, 일반적으로 난방기간 동안의 실내 설정온도인 20℃를 기준으로 계산한다. 난방도일은 외기온도와 실내 설정온도의 차에 대한 난방기의 적산(積算)을 통해 건물에 필요한 난방량을 계산한다. 이 계산과정은 실내온도를 20℃로 유지하기 위해 외기온도와의 차이만큼 난방을 가동해야한다는 의미로, 필요 난방량의 계산은 직관적인 방법이라고 볼 수 있다.[2] 동절기에 실내를 설정온도로 유지하기 위하여 건물에서 발생하는 열손실량 만큼 난방이 요구되지만 실내에는 내부발열에 의한 열취득이 있기 때문에 실제 필요 난방량은 열손실량보다 적다고 할 수 있다. 즉, 실제 필요 난방량은 건물 내에서 발생되는 열취득이나 열손실량에 의해 좌우되기 때문에 모든 상황이 고려된 난방 기준온도를 기준으로 난방도일을 계산하는 것이 더 정확하다.[3, 4] 기준온도는 열손실량과 열취득량이 균형을 이루어 실내를 설정온도로 유지하기 위해 난방을 가동하지 않아도 되는 순간의 외기온도를 말하며, 균형점온도(Balance Point Temperature)라고도 한다.[3, 5, 6] 따라서 난방도일의 계산은 외기온도와 균형점온도와의 차이의 적산으로 정의되고, 계산식은 다음 식(1)과 같다.

$$H_d = \sum_{i=1}^{days} (\theta_b - \theta_o)^+ \tag{1}$$

ASHRAE에서는 국제표준으로 균형점온도를 18.3℃로 설정하고 있으며, 균형점온도에 대한 별도의 기준이 부재한 나라에서 이 기준을 사용하도록 권고하고 있다.[7] 균형점온도 18.3℃는 실제로 많은 나라에서 사용되고 있으며, 국내 역시 대한설비공학회 '설비공학편람'에서 18.3℃를 사용하도록 권고하고 있다.[8] 하지만 균형점온도 산출에는 해당 지역의 기후와 건물의 성능 등이 반영되기 때문에 지역별 기후특성, 건물 성능이 반영되어 설정되어야한다.[5, 7] 영국의 경우, 표준 균형점온도는 15.5℃[1]이며 독일은 15℃[6]이다.

본 논문에서는 국내 기후특성과 공동주택 건물의 열적성능을 반영한 균형점온도를 산출하고자 한다. 따라서 국내에서 정의되지 않은 새로운 균형점온도를 산정하기 위한 방법, 프로세스를 정립하고 각 단계별 정의되어야 하는 입력데이터에 관해서 검토, 제안하고자 한다. 정립된 균형점온도 산출방법을 바탕으로 국내 중부, 남부, 제주 지방의 균형점온도를 산출하였다. 산출과정에서 CIBSE[3, 9]와 ASHRAE,[5, 10] 그리고 ISO 13790[11, 12]을 참고하였다.

2. 균형점온도 산출

난방에너지 요구량은 순간부하량의 적산이라는 개념에 따라 해당식을 정리하면, 매시간 건물에서 손실되는 온도에 대한 에너지량을 계산하는 식이 도출된다. 해당식의 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E &= \int U'(\theta_{sp} - \theta_o)dt + \int Q_c dt - \int Q_G dt \\ &= \int U'(\theta_{sp} - \theta_o)dt - \int Q_G dt \\ &= U' \int (\theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'} - \theta_o)dt \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)에서 연속난방을 전제로 하는 주거건물에서 축열성능에 관한 부하 Q_C는 0이라고 가정한다. 이는 축열에 의한 열교환이 일어나지만 24시간 연속난방을 실시하는 공간에서는 축열에 의해 발생하는 열손실량과 축열의 영향으로 벽의 온도가 상승하는 열량이 동일하기 때문에 Q_C는 0이라고 가정하는 것이다.

실내 설정온도(θ_{sp})에서 열취득에 의한 온도상승량(Q_G/U'), 그리고 외기온도(θ_o)를 뺀 값($\theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'} - \theta_o$)은 실내와 외기온도의 차로 인해 발생하는 필요온도량(K)을 의미하며 여기에 열손실계수(kW/K)를 곱해 실제 건물에서 손실된 에너지량(kW), 즉 난방을 위해 필요한 에너지량이 산출된다. 식(2)의 ($\theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'} - \theta_o$)는 난방도일의 개념인 실내외 온도차에 의한 필요온도(난방)량과 그 의미가 같다. 실의 온도를 설정온도로 유지하기 위해서는 실내 요소에 의해 상승되는 온도량을 제외한 온도(투입열)만큼 난방이 요구됨을 의미한다. 이때, 필요 난방 가동온도가 외기온도와 같을 때 해당 온도를 균형점온도라고 하며, 식(3)과 같이 정의된다.

$$\theta_b = \theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'} \tag{3}$$

균형점온도 산출에는 많은 입력데이터가 필요하다. 필요한 입력데이터를 정리해보면, 건물의 특징을 반영하는 입력데이터와 해당 지역의 기후데이터로 나눌 수 있다. 이 두 가지에 영향을 주는 입력데이터는 열손실량과 열취득량의 계산에 필요한 데이터로 각각의 정의에 따라 결정되며, 해당 국가의 관련 기준이 적용된다.

열손실량과 열취득량의 정의가 균형점온도의 계산에 매우 중요한 요소이다. 열손실량은 건물의 외표면에 의한 열손실을 의미하며 열취득량은 난방이 가동되는 실내공간에서의 열취득량으로 난방이나 급탕에 의해 발생되는 열취득량은 제외되며 건물의 성능과 건물의 활용 스케줄만으로 발생되는 열취득만을 고려하게 된다. 균형점온도의 계산은 도일의 가장 큰 장점인 간편성을 반영하기 위해 몇 가지 전제하에 이루어진다.

먼저, 주택은 24시간 연속난방이 이루어진다고 가정한다. 계산의 단순성을 위해 simple method를 이용한다. 시뮬레이션의 경우, 계산과정에서 실내에서 발생하는 모든 열교환을 고려하기 때문에 오류가 발생하기 쉽고 계산과정이 복잡하다. 따라서 simple method를 이용하는 도일 또는 균형점온도의 계산에 사용되는 입력값, 열손실계수, 열취득량, 온도 등은 평균값을 이용하게 된다. 이 과정에서 건물의 열적 용량 또한 고려 가능하다. 앞서 Qc = 0이라는 개념에 대해서 설명한 것과 같이 건물의 열용량을 고려하지 않는 것이 아니라, 건물의 열용량에 의해 발생하는 부하량이 0이라는 것이다. 열취득량을 계산하는데 있어 모든 발생열이 실제 부하로 작용하지는 않으며 일부는 벽에 축열되기 때문에 열취득량 계산 시 건물의 열적용량을 고려하는 것이다.

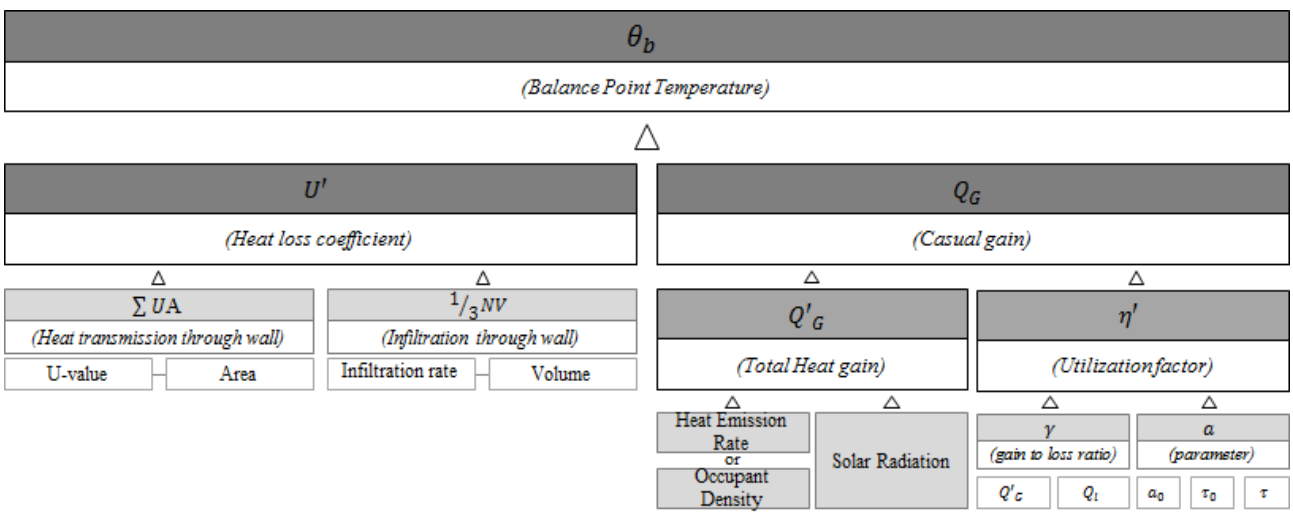

Fig. 1 Flow chart of generating balance point temperature.

ⓒ SAREK

균형점온도 산출과정은 Fig. 1과 같다. 균형점온도 산출에 핵심인 열손실량과 열취득량의 산출과정에 대하여 설명한다. 모든 산출과정에서는 CIBSE[3, 9]와 ASHRAE,[5, 10] 그리고 ISO 13790[11, 12] 외 기타 국내 기준을 적용하였다. 먼저 열손실량 산출 과정과 그 과정에 대한 다양한 기관의 정의를 정리하고, 열취득량의 산출과정과 정의를 정리하였다. 또한 국내 균형점온도를 산출하기 위해 어떤 입력데이터를 적용하였는지 설명을 추가하였다.

2.1 열손실량 산출 과정

건물의 열손실량 산출은 정의가 명확하다면 그 과정은 직관적이다. 건물의 외표면에 의한 열손실량은 건물의 외피를 통한 열손실량과 침기에 의한 열손실로 정의된다. CIBSE[3, 9]와 ASHRAE,[5, 10] 그리고 ISO 13790[11, 12]에서는 외피에 의한 열손실과 침기에 의한 열손실량 산출과정에 대해 기술하고 있으며, CIBSE에서는 다음 식(4)와 같이 두 열손실량을 더해 건물의 총 열손실계수로 정의하고 있다.

$$U' = \frac{\sum AU + \frac{1}{3}NV}{1{,}000} \tag{4}$$

$\sum AU$: *heat loss through structure, 1/3NV : heat loss through infiltration*

이 식은 CIBSE Guide A의 CIBSE Simple Model에서 파생된 식이다. 파생 과정은 다음과 같다. 정상상태일 경우, 총 열손실량은 외피와 환기(침기)에 의한 열손실의 합(W)으로 정의되며, 해당 식은 다음과 같다.

$$\Phi_t = [F_{1cu}\sum(A\,U) + F_{2cu}C_v](\theta_c - \theta_{ao}) \tag{5}$$

위 식에서 F_{1cu}, F_{2cu}는 복사 열교환을 고려한 계수로 대부분의 경우 1에 가깝다. 그러므로 이 식을 간략화하기 위해 F_{1cu}, F_{2cu}를 1이라고 가정하면 정확도는 다소 떨어지지만 간단한 식으로 정리된다.

$$\Phi_t = [\sum(A\,U) + C_v](\theta_c - \theta_{ao}) \tag{6}$$

총 열손실량 식에서, $\sum(A\,U) + C_v$가 열손실계수로 위 식(4), $U' = \frac{\sum AU + \frac{1}{3}NV}{1000}$와 같다.

2.1.1 외피에 의한 열손실량 산출

CIBSE에서 정의하는 외피에 의한 열손실계수는 다음과 같다.

$$H_t = \sum(A\,U) + \sum(L\,\Psi) \tag{7}$$

첫 번째 항은 천장, 벽, 바닥, 창 등의 각 면적과 U-value(열관류율)를 곱해서 그것들을 합한 것을 의미하며, 두 번째 항은 열교에 의한 손실을 의미한다. 그러나 열교계산은 복잡하기 때문에 난방도일, 균형점온도의 계산에서는 통상 생략된다. ISO 13790의 건물 외피를 통한 열손실에 관한 식은 다음과 같다.

$$H_x = b_{tr,x}[\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j] \tag{8}$$

여기서, $b_{tr,k}$는 간헐난방일 경우 적용하는 지수로 이 지수를 이용하여 열취득과 열손실량을 보정, 간헐난방 시 유발되는 오류를 보정할 때 사용된다. 하지만 CIBSE에서는 건물의 단열 정도와 열용량의 효과, 그리고 재실스케줄 등을 고려하여 계산되는 실내 평균온도를 사용하는 것이 정확도가 높다고 기술하고 있다. 이

식에서 열교와 관련된 다음 항 $\sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j$은 역시 수 계산으로 계산하기 어렵기 때문에 생략되며, 결과적으로 $\sum(A\,U)$식을 이용해 외피에 의한 열손실량을 계산한다. ASHRAE의 열손실량에 대한 정의는 다음과 같다.

$$q = A \times HF, \qquad HF = U \triangle t \tag{9}$$

결과적으로 ASHRAE 역시 CIBSE, ISO 13790의 방법과 매우 유사하게 정의하고 있다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 외벽을 통한 열손실량의 계산은 $\sum(A\,U)$로 귀결된다.

2.1.2 침기에 의한 열손실량 산출

CIBSE의 침기에 따른 열손실은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} C_v &= c_p \cdot \rho \cdot NV \\ &= 1{,}000 \cdot 1.2 \cdot NV\left(\frac{J \cdot kg \cdot m^3}{kg \cdot K \cdot m^3 \cdot h}\right) \\ &= \frac{1{,}000 \cdot 1.2 \cdot NV}{3{,}600}(W/K) \quad \because J/h = (1/3{,}600)\,W \\ &= 0.33NV(W/K) \end{aligned} \tag{10}$$

ASHRAE도 CIBSE와 동일하게 정의하고 있다. 다만, 침기율을 초당 침기율로 표현하고 있다.

$$q_s = Q \cdot \rho \cdot c_p = 1{,}230Q \tag{11}$$

이는 ISO 13790에서도 유사한 방법으로 정의되며 다음 식과 같다.

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \left(\sum b_{ve,k} q_{ve,k,mn}\right) \tag{12}$$

여기서, $b_{ve,k}$는 간헐난방의 경우에 기류에 관한 계수이다. 앞서 설명한 것과 같이 간헐난방 시 factor를 사용하여 열취득, 열손실량을 보정하는 것보다 실내 평균온도를 사용하는 것이 정확도가 높다. 이 식에서 $q_{ve,k,mn}$는 체적당, 초당 침기율로 ASHRAE의 침기량 관련식의 Q와 같은 계수이다. 연속난방의 경우, ISO 13790의 식에서 $b_{ve,k}$는 1이 되며, 다른 항과의 관계는 위의 ASHRAE 식과 같은 식으로 귀결된다. 그러므로 침기에 따른 열손실량 관련 식은 $1/3NV$로 계산 할 수 있다. 침기에 대한 대부분의 연구결과가 시간당 침기량으로 실험이나 계산이 이루어지기 때문에 ASHRAE나 ISO 13790보다는 CIBSE의 시간별 수식을 이용하는 것이 용이하다.

2.2 열취득량 산출 과정

열취득량은 난방공간의 내부발열에 의한 열취득과 창을 통한 일사 열취득을 고려한다. 하지만 건물에서 발생한 열의 전부가 건물의 온도상승에 직접적으로 영향을 미치지는 않는다. CIBSE와 ISO 13790에서는 건물에서 발생하는 열취득량을 다음과 같이 정의하고 있다.

$$uncorrected\,gain = corrected\,gain + nonutilised\,heat \tag{13}$$

ⓒ SAREK

uncorrected gain이란 total heat gain이라는 뜻으로 건물에서 발생하는 총 열취득량을 뜻하고, corrected gain이란 casual gain이라고도 하며 실제 실내온도 상승에 영향을 주는 열취득량을 의미한다. 그리고 non-utilized heat은 corrected gain을 제외한 나머지 열을 의미한다. 본 연구에서는 non-utilized heat을 기타열취득(량)으로 명명하고자 한다. 균형점온도 산출과정의 열취득량 계산에서는 기타 열취득량을 제외하며 결과적으로 추가로 발생하는 축열에 의한 열손실량 역시 생략되어 실내온도를 설정온도 이상으로 높이는 과다난방 현상을 생략하게 된다. 즉 이 과정을 생략함으로써 최종 결과값의 대한 정확도가 떨어진다. CIBSE와 ISO 13790에서는 기타열취득량을 제외하는데에서 생기는 오류를 이용상수(Utilization factor)를 이용해 보정한다.[13]

이용상수(Utilization factor)는 계산결과의 정확도를 높이기 위한 상수로 건물의 특성(구조체의 재료 등)과 재실시간 등을 고려한다. 즉 일사와 실내 발열기기, 인체 발열 등에 따른 총열취득량을 이용상수를 이용해 보정, 실제 난방요구량을 줄여 실제 열취득량을 산출하게 한다.[13]

본 장에서는 각 기관의 총 열취득량에 대한 정의에 대해 정리하였다. ISO 13790에서는 총 열취득량에 대해 다음과 같이 정의한다. 총 열취득량은 냉난방 시스템이 적용되는 공간에 영향을 주는 실내 열 취득량이다. 그러나 실내에 적용되는 냉난방시스템이나 급탕 등에서 발생하는 열은 제외한다. ISO 13790에서 월별 실내 열 획득량은 다음의 식을 이용해 계산한다.

$$Q_{int} = (\sum_{k} \Phi_{int,mn,k})t + \left[\sum_{l}(1-b_{tr,l})\Phi_{int,mn,u,l}\right]t \tag{14}$$

여기서 계산된 실내 열취득량은 이후 설명되는 utilization factor을 이용해 총 열취득량을 보정하고, 실제 건물에 영향을 미치는 열취득량을 계산한다. 이 방법은 CIBSE에서도 적용하고 있는 방법이다. ISO 13790에서는 인접실에 대한 개념을 추가해 열취득량에 대해 더욱 구체적으로 설명한다. 위 식(14)의 두 번째 항에서는 난방공간에 인접한 비난방공간에서의 열손실량을 제외한 난방공간의 실내 열취득량이다. 비난방공간은 난방 에너지량 계산 시 면적에 포함되지 않는 실이지만 난방공간의 열이동에 영향을 주기 때문에 열취득량 계산시에는 포함된다. 위 식의 reduction factor($b_{tr,l}$)은 ISO 13789에 비난방 인접실로의 열이동과 연관하여 설명하고 있다.

$$b_{tr,l} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \tag{15}$$

위 식(15)의 열이동계수(H_{ue}, H_{iu})란 열손실계수를 의미하여 식(4)와 동일한 식을 적용하여 계산한다. CIBSE에서는 열취득량에 대해 다음과 같이 정의한다. 일사량, 재실자, 조명, 그리고 기기 등에 의해 발생하는 순간 열취득량에 의해 열손실량의 일부가 상쇄되기 때문에 실질적인 열취득량을 결정하는 것은 또 다른 불확실성 중 하나라고 설명한다. 또한 도일의 개념 따라 모든 순간 열취득량은 일평균 열취득량(kW)으로 계산되며, 모든 실내 열취득량은 난방이 정상적으로 가동된다는 전제에서라고 설명한다.[3]

결론적으로 CIBSE와 ISO는 실내 열취득량을 동일한 개념으로 설명을 하지만, 월별 실내 열취득량을 계산하는데 있어 ISO 13790은 난방이 되지 않는 인접실에 의한 열손실까지 고려하고 있어 더욱 구체적으로 정의하고 있다고 할 수 있다.

ASHRAE에서는 실내온도가 변동하거나 실내 열취득량이 변동한다면 정상상태 계산법이 아닌 다른 비정상상태 계산법을 이용해야한다고 설명한다. 그러나 계산과정이 빠르고 간결하다는 장점을 가진 도일법의 경우, 연간부하 예측을 위한 계산에서 모든 실내 열취득량이나 실내온도가 일정하다고 가정해야 정확한 값이 도출된다. 즉 모든 상태는 정상상태라고 가정한다. 따라서 실내 공기유동은 고려하지 않는다. 이후에 설명되는 열취득량과 열손실량은 CIBSE와 ASHRAE, 그리고 ISO 13790과 국내의 기준을 포함하는 것이다.

2.2.1 총 열취득량(Total Heat Gain) 산출

총 열취득량은 실내 열취득량과 일사 열취득량의 합으로 계산된다. 실내 열취득량을 계산하는 방법은 기관별로 다양하다(Table 1 참조). 국내 기준인 건축물에너지효율등급인증제도와 ASHRAE, ISO 13790에서는 발생원별

Table 1 Methods of calculating internal heat gain

Method	Equation	Applied factors
Regulation for Energy Efficiency Rating System	(heat emission rate)(area)/24	Heat emission rate[Wh/m^2] Area[m^2]
ASHRAE	Heat emission rate[W] = [(person×R1)+(light×R2)+(equipment×R3)] +(solar gain)	R : heat emission rate[W]
CIBSE	Occupant Density[W] = $q_I \times area + solar\,gain$ q_I =244.97 OD-0.7334	area[m^2] q_I : Total internal heat gain[Wm^2] OD: occupant density[m^2/person]×CIBSE Guide A
ISO 13790	Heat flow rate[W] = average internal heat gains $Q_{int} = A_f(\frac{Q_P}{A_P} + f_E q_E)$	A_f : area[m^2] A_P : Occupancy(area per person)[m^2/person] Q_P : heat emission rate per person[W/person] f_E : fraction of the total electricity used within the building q_E : electricity use per reference floor area[W/m^2]

혹은 건물의 용도별 평균 발생열량에 대한 지표를 제시하고, CIBSE에서는 ASHRAE의 방법과 함께 재실밀도에 대하여 설명한다. 본 연구에서 재실밀도는 2009년 한국건설기술연구원 보고서[15]에도 제시되어있는 지표로 건물의 용도별 평균 재실밀도를 이용하였다.

균형점온도 산출에 적용할 일사 열취득량은 방위별 일평균 일사 열취득량 데이터를 사용한다. 이것은 해당 건물의 창을 통해 실내에 유입되는 열을 계산하는 방법으로, 창의 위치별 일사 열취득량이 다르기 때문에 방위별 일사 열취득량을 사용한다. 실내에 유입되는 일사 열취득은 방위별 일사 열취득량에 창의 유리 종류와 블라인드 유무에 따른 일사취득계수(solar gain factor)를 적용하여 계산한다. 여기서 일사취득계수는 CIBSE Guide A[9]의 solar gain factor에 제시되어 있다. CIBSE Guide A[9]에 정의된 일사취득계수(solar gain factor)는 SHGC값과 유사하나 창의 SHGC값에 블라인드의 차폐효과를 통합적으로 고려한 값이다. CIBSE Guide A[9]에는 대류열교환만을 고려한 일사취득계수(solar gain factor at air node)와 대류와 복사열이 고려된 일사취득계수(solar gain factor at environmental node)로 구분한다. 균형점온도의 일사 취득량 계산에는 대류와 복사열교환이 모두 고려된 solar gain factor at environmental node를 사용한다.[3]

하루 동안의 온도변화를 표현하는 도일 개념에 따라 모든 열취득량 역시 일평균 값을 적용한다. 시간별 열취득량을 수계산으로 산출하는 것은 어려우며 이를 위해서 시뮬레이션을 이용한다. 하지만 일평균 열취득량을 이용하는데 있어 건물의 열용량 등을 반영하지 못하는 등 발생할 수 있는 오류를 최소화하기 위해 이후 절에서 설명할 utilization factor(이용상수)의 개념이 도입되었다.

2.2.2 이용상수(utilization factor) 산출

이용상수는 ISO 13790에서 제안하여 CIBSE에서도 사용하고 있으며 다양한 유럽의 기후에 대해 특정 기준 건물을 이용해 계산된 것으로 curve fitting을 통해 만들어진 수식이다.

이용상수가 클수록 열이 더 오래 보존되고 기준온도가 낮게 계산된다. 이용상수에 대한 식은 다음과 같다.

$$\eta' = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}};\ \text{if}\ \gamma \neq 1$$

$$\eta' = \frac{a}{a+1};\ \text{if}\ \gamma = 1 \tag{16}$$

ⓒ SAREK

위 식에서 γ는 열취득과 손실량의 비율을 나타내며 a는 건물의 열용량과 관련된 상수이다. γ와 a의 관계식은 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{Q'_G}{Q_l},\ Q_l = U'(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_o)$$
$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0},\ \tau = \frac{C}{3600\,U'} \tag{17}$$
$$C: \sum(specificheat)(density)(volume),\ a_0 = 0, \tau_0 = 15$$

C는 건물의 열용량을 의미한다. 열용량을 계산하는데 있어 부피는 외벽 중 열에 반응하는 벽의 부피를 의미한다. 그러므로 구조체의 종류에 따라 열에 반응하는 두께를 산정해야한다. τ는 time constant, 시간상수이며 축열을 고려한 열의 이동시간을 나타내는 상수개념이다. 패시브하우스의 경우 이 상수가 200 hrs 이상이 되어야한다.

이용상수를 효과적으로 적용하기 위해서는 기준온도와 마찬가지로 나라별로 위의 유효계수 a_0과 τ_0를 설정하는 것이 필요하다. 국내에서도 한국형 유효계수를 결정하기 위한 연구가 진행되었다. 이득환 등[17]은 오피스 빌딩에 대해 연속난방을 실시한다는 가정 하에 ISO 13790과 같은 방법으로 유효계수를 제시하였지만 그 적정성에 대해서는 더욱 검토한 필요한 상황이다.

3. 국내 지역별 균형점온도 산출

균형점온도의 계산은 해당지역의 기후특성이나 건물의 열적 성능과 매우 밀접하게 관련이 되어 있다. 설령 전국적으로 동일한 평면의 주택을 건설한다고 해도 지역별 특성(기후, 건물 열적 성능)에 따라 균형점온도가 달라질 수 있다. 평균 외기데이터 뿐만 아니라 열취득과 관련된 지표중 하나로 일사량은 지역별로 차이가 있으며, 건물의 열적 성능인 열관류율 기준도 국내의 중부, 남부, 제주지방으로 나누어져 있다.

본 장에서는 지역별 특성의 변화에 따른 균형점온도의 변화를 검토하고자 한다. Fig. 1의 균형점온도 산출 과정을 기반으로 국내 건물에너지설계절약기준의 지역구분인 중부, 남부, 제주 중 대표지역으로 서울, 부산, 제주의 균형점온도를 산출하였다. 균형점온도 산출에 필요한 모든 입력데이터는 가능한 한 국내 기준을 준용하고자 하였으나 국내 기준이 부재한 경우에는 해외 기준을 적용하였다.

Table 2 Applied input data

Input data					
Building Property		Weather data		Others	
Total U-value	Energy Saving design standard for building (2017-71)	Ave. outdoor temperature	2010 Korean Meteorological administration	factors for utilization factor	CIBSE 2006 TM41
Infiltration rate	CIBSE Guide A	Ave. daily solar irradiance	Regulation for Energy efficiency rating system		
Area, Volume	Construction Criteria and Performance code of Green home(2015)				
Thermal capacity	CIBSE 2006 TM41				
Internal gain	Regulation for Energy efficiency rating system				
Indoor set-point temperature	Regulation for Energy efficiency rating system				

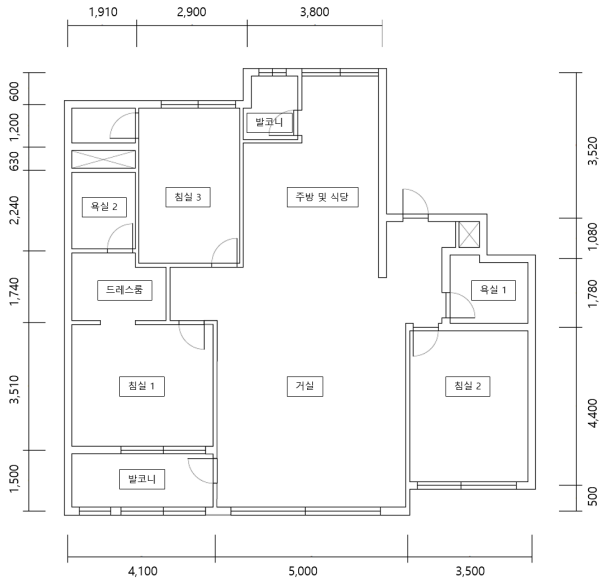

Fig. 2 Plan for typical residential house(83 m^2).

3.1 균형점온도 산출에 필요한 입력데이터 선정

분석을 위한 공동주택은 친환경주택고시전문 및 해설서(2015)의 평가기준 주택 중 국내에서 최근 가장 많이 건설되고 있는 83 m^2 평면을 대상으로 하였다. 분석 대상건물은 국내 공동주택 중에서 가장 비율이 높은 침실 3개, 화장실 2개로 구성된 세대이며, 층고는 2.8 m, 베란다와 현관문의 높이는 2.2 m 그리고 창의 높이는 1.2 m로 구성되었다(Fig. 2 참조).

앞서 기술한 것과 같이 균형점온도는 건물의 특성(평면구성, 창면적비, 열적 성능, 기밀성능 등)의 영향도가 크다. 따라서 산출되는 균형점온도가 대표성을 가지려면 분석 대상으로 하는 공동주택의 특성도 대표성을 가져야 한다. 즉 균형점온도의 산출에 공동주택의 표준모델의 문제가 대두된다. 그러나 국내의 경우는 공동주택에 대해 표준모델이 제안되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 정부에서 제시하고 있는 친환경주택고시전문 및 해설서(2015)의 내용을 기준으로 분석 대상건물을 설정하였다.

균형점온도 계산을 국내에 적용할 경우, 열관류율은 국토교통부와 한국에너지공단에서 정의한 건축물에너지절약설계기준의 '지역별 건축물 부위별 열관류율 기준'을 이용할 수 있다. 건축물에너지절약설계기준에서는 열관류율을 계산할 때 외기에 직/간접 부위를 나누어 고려하며, 벽, 창호, 출입문 등에 추가로 세대간벽까지 고려해 상세한 상수와 수식으로 열관류율에 대한 기준을 제시하고 있다. 이 기준은 국내를 중부, 남부, 제주 세 지역으로 나누어 공동주택의 벽체 및 창의 열관류율을 제시하고 있다. 본 논문에서는 2017년 국토교통부 고시의 건축물 부위별 열관류율을 적용하였다. 중부지방은 각각 벽과 창에 대해 0.21 W/m^2K와 1.2 W/m^2K이며 남부지방은 0.26 W/m^2K와 1.4 W/m^2K, 그리고 제주지방은 0.36 W/m^2K와 2 W/m^2K이다. 열관류율 계산은 난방공간에 면하는 벽과 창의 열관류율을 계산하며 발코니에 접한 면의 열관류율은 외기에 간접 면하는 벽과 창으로 계산하였다(Table 3 참조).

침기에 의한 열손실은 일반적으로 각 국가별 침기율 기준을 적용하나 국내의 경우는 기준이 부재하기 때문에 CIBSE Guide A에서 제시하는 건물의 기밀성능에 따른 시간당 침기량에 대한 실험치를 적용하였다.[9] CIBSE Guide A에서는 다양한 건물 층수별로 구분하여 기밀성능(air permeability)을 leaky(20.0 m^3/m^2h at 50 Pa)에서 3.0 m^3/m^2h at 50 Pa의 고기밀한 성능일 경우의 침기량(infiltration rate)에 대한 실험치를 제공하고 있다. 50 Pa로 가압해 외부환경의 요인을 차단하여 실험을 하며, 최대(peak) 침기량과 평균(average) 침기량을 표로 제시한다. 이 표에서의 평균값이란 전체 침기량을 연평균 값으로 표현한 것을 의미한다. 본 논문에서는 6~10층의 아파트 건물의 3.0 m^3/m^2h at 50 Pa 기밀상태의 평균값, 0.25 회/h를 사용해 계산하였다.

 ⓒ SAREK

Table 3 Total Heat transmission through wall(Seoul, Busan, Jeju)

		wall	width (m)	height (m)	A		Seoul U		Seoul UA	Busan U		Busan UA	Jeju U		Jeju UA
					Wall Area (m^2)	Win Area (m^2)	U-value (W/m^2K)	factor	(W/K)	U-value (W/m^2K)	factor	(W/K)	U-value (W/m^2K)	factor	(W/K)
direct to outside	Wall	W2	7.47	2.8	20.916		0.21	1	4.392	0.26	1	5.4381	0.36	1	7.530
		N1	3.11	2.8	8.71	5.14	0.21	1	1.080	0.26	1	1.3374	0.36	1	1.852
		N2	5.1	2.8	14.28	5.04	0.21	1	1.058	0.26	1	1.3104	0.36	1	1.814
		N3	3.99	2.8	11.17	8.97	0.21	1	1.884	0.26	1	2.3327	0.36	1	3.230
		E2	4.6	2.8	12.88		0.21	1	2.705	0.26	1	3.3488	0.36	1	4.637
		E4	0.5	2.8	1.4		0.21	1	0.294	0.26	1	0.364	0.36	1	0.504
		S2	8.5	2.8	23.8	9.94	0.21	1	2.087	0.26	1	2.5844	0.36	1	3.578
	Win	N2	4.2	2.2	9.24		1.2	1	11.09	1.4	1	12.936	2	1	18.48
		S2	6.3	2.2	13.86		1.2	1	16.63	1.4	1	19.404	2	1	27.72
	Door	N1	1.62	2.2	3.57		1.2	1	4.277	1.4	1	4.9896	2	1	7.128
		N3	1	2.2	2.2		1.4	1	3.08	1.6	1	3.52	2.2	1	4.84
indirect to outside	Wall	S3	5.6	2.8	15.68	9.43	0.3	0.7	1.980	0.37	0.7	2.4419	0.52	0.7	3.432
		N4	4.41	2.8	12.35	8.78	0.3	0.7	1.845	0.37	0.7	2.2751	0.52	0.7	3.197
	Win	S3	2.4	2.2	5.28		1.6	0.8	6.758	1.8	0.8	7.6032	2.5	0.8	10.56
			0.81	1.2	0.97		1.6	0.8	1.244	1.8	0.8	1.3997	2.5	0.8	1.944
	Door	N4	1.62	2.2	3.56		1.6	0.8	4.562	1.8	0.8	5.1322	2.5	0.8	7.128
Total Heat transmission through wall(ΣUA)							64.97			76.42			107.57		

Table 4 Building profile for residential building[16]

(Unit)		(Residential building)
Heat emission		
People	Wh/m^2d	53
Equipment	Wh/m^2d	52
Indoor temperature		
Set point temp(Heating)	℃	20

실내 열취득량과 일사 열취득량은 건축물 에너지효율등급 인증제도의 용도프로필 기준(Table 4 참조)을 적용하였다. 이용상수(utilization factor)에 사용되는 입력값인 유효계수 a_0와 τ_0는 재실 시간에 따라 결정되는 나라별 계수를 사용해야하지만 우리나라의 경우 정해진 기준이 없는 관계로 CIBSE와 ISO 13790에서 제시하는 국제 표준 값, 1과 15를 각각 적용하였다. 또 다른 입력값인 시간상수 τ는 계산하고자 하는 건물의 특성을 따라야 한다. 본 연구에서 적용한 평면의 경우, 구조체에 대한 특성이 불명확한 관계로 CIBSE의 열용량 관련 데이터인 19.61을 적용하였다.

균형점온도 산출에서 일사 열취득량은 일평균 일사 열취득량 데이터를 이용한다. 건축물 에너지효율등급 인증제도에는 지역별로 제시되어있으며 방위별로 월평균 전일사량이 제시되어있다. 실내 열취득량의 일일 발생열량과 일사 열취득량의 월평균전일사량을 24로 나누어 계산한다. 실내 유입일사량은 일평균일사량에 유리와 차양의 종류에 따른 일사취득계수(solar gain factor)를 적용하여 계산한다. 본 계산과정에서는 모든 창을 이중유리로 가정하였고 차양은 없는 clear 상태라고 가정하여, CIBSE Guide A[9]에 제시된 일사취득계수(solar gain factor) 0.62를 적용하였다. ISO 13790의 열취득량 계산 방법에 따라 비난방 인접실인 베란다의 일사 열취득량을 고려해 총 열취득량을 계산한다. 주택의 방위는 건축물에너지효율등급 인증제도의 표준주택 기준과 친환경

주택의 건설기준 및 성능의 평가기준 주택에서 동향으로 설정되어 있으므로[14] 방위별 일사취득량 계산 시 거실을 동향으로 설정하여 계산하였다.

3.2 지역별 균형점온도 산출

제 3.1절에서 선정한 분석 대상건물을 모든 지역에 적용하여 균형점온도를 산출하였다. 열관류율은 국토교통부 고시 제2017-71호의 중부, 남부, 제주의 부위별 열관류율을 적용하였고, 외기온도는 2010년의 기상청의 데이터, 그리고 방위별 전일사량은 건축물 에너지효율등급 인증제도의 데이터를 이용하였다. 분석대상인 각 지방에 대하여 동일한 평면을 적용하였기 때문에 평균외기온도, 총열관류율, 그리고 방위별 평균 일사량 외의 입력데이터는 모두 동일하게 적용하였다(Table 5 참조).

위 제 2장의 방법을 통해 산출된 중부, 남부, 제주지방의 균형점온도는 Table 6과 같다. Table 6에는 지역별 다른 입력데이터와 함께 계산과정에서 산출되는 열손실량, 열취득량 계산과 관련된 수치를 추가하였다.

본 연구를 통해 산출된 균형점온도는 서울의 경우, 15.0℃, 부산은 15.38℃, 제주는 16.60℃으로 나타났다. 종래의 국내 기준처럼 준용되었던 18.3℃보다는 모두 낮은 결과이다. 즉 국내 기후특성 및 공동주택의 열적성능을 고려하여 균형점온도를 산출할 경우, 균형점온도는 달라질 수 있음을 시사하고 있다. 아울러 지역별로도 다른 균형점온도가 산출됨을 알 수 있다. 이것은 지역의 기후특성 및 지역별 건축물의 열관류율 기준이 다르기 때문이다. 부산이나 제주의 난방 균형점온도가 서울보다 높은 것은 비록 부산과 제주의 겨울철 외기온도가 서울보다 높기는 하지만 해당 지역의 열관류율 기준이 서울보다는 완화되어 있어 부산과 제주의 열손실계수가 서울보다 높기 때문인 것으로 판단된다. Table 6의 열손실계수는 실내외 온도차를 고려한 외피에 의한 열손실량으로, 제주의 열손실계수가 서울보다 높은 것을 알 수 있다(Fig. 3 참조).

균형점온도는 난방도일을 산정하는 기준온도이기도 하지만 해당지역에서 표준적인 품질의 건축물인 경우에 난방이 요구되는 외기온도라고도 할 수 있다. 즉 본 연구결과에서 제주지역의 난방 균형점온도가 서울지역보다 높다는 것은 제주지역에서 난방이 서울보다 높은 외기온도에서 시작되어야 한다는 것이다.

Table 5 Regional input data

	Ave. Temp : Jan(℃)	Total U-Value ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	*Ave. daily solar irradiance : W ($W \cdot m^{-2}$)	*Ave. daily solar irradiance : E ($W \cdot m^{-2}$)
Seoul	-4.50	64.97	(52/24)×0.62	(46.6/24)×0.62
Busan	2.90	76.42	(40.6/24)×0.62	(94.8/24)×0.62
Jeju	5.20	107.57	(32.1/24)×0.62	(63.1/24)×0.62

*Solar gain factors for double glazed window (0.62) were applied to heat gains by solar irradiance.

Table 6 Revised balance point temperature

		Seoul	Busan	Jeju
Regional Input data	Ave. monthly outdoor temp(℃)	-4.5	2.9	5.2
	Total U-value(W/K)	64.97	76.42	107.57
	Ave. daily solar irradiance-West($W \cdot m^{-2}$)	1.34	1.05	0.83
	Ave. daily solar irradiance-East($W \cdot m^{-2}$)	1.20	2.45	1.63
	Heat loss coefficient(kW/K)	0.088	0.0996	0.1308
	Total heat gain(kW)	0.451	0.478	0.457
	Utilization factor(-)	0.978	0.961	0.972
	Casual gain(kW)	0.441	0.460	0.444
	Balance Point Temperature(℃)	15.0	15.38	16.60

ⓒ SAREK

Table 7 Comparison of heating degree-days

	Seoul	Busan	Juju
*HDD(before)	3024.1	2052.9	1817.6
**HDD(after)	2304.8	1461.54	1464.9

*HDD(before) : HDD based on the current Balance Point Temp, **HDD(after) : HDD based on the proposed Balance Point Temp.

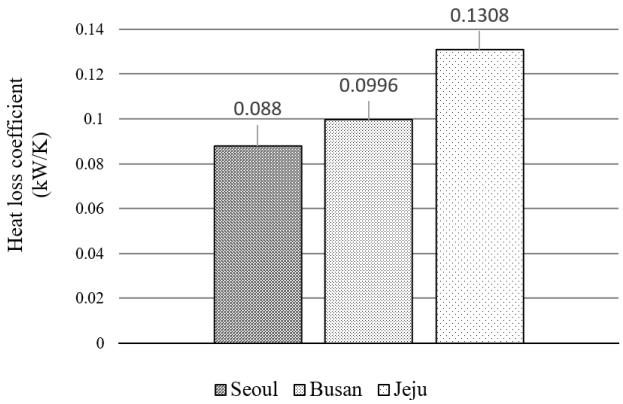

Fig. 3 Regional heat loss coefficient.

해당지역의 균형점온도(Table 6 참조) 산출결과를 바탕으로 2010년의 기상데이터를 이용해 해당지역의 난방도일을 계산하고 기존의 균형점온도(18.3℃)를 기반으로 한 결과와 비교하였다(Table 7 참조). 검토한 세 지역 모두에서 균형점온도가 기존의 18.3℃인 경우보다 본 연구를 통해 새롭게 산출된 균형점온도를 기준으로 할 경우 난방도일은 감소하는 결과를 보였다. 제주의 균형점온도가 가장 높게 산출되어 난방이 요구되는 외기온도는 높게 형성이 되지만 전체 빈도에서는 서울보다 난방이 요구되는 빈도가 낮아서 결과적으로 서울의 난방도일보다 낮은 결과를 보였다. 새로운 균형점온도를 적용하여 산출한 난방도일값이 기존 결과보다 낮게 산출된다는 것은 해당지역의 난방요구량을 기존 균형점온도를 적용할 경우 과다하게 산정될 수 있음을 시사하고 있다.

따라서 해당지역의 난방소요량을 적정하게 예측하기 위해서는 해당지역의 기후특성, 건물의 열적 성능의 변화를 고려하여 균형점온도가 산출되어야 하고 이에 기반하여 난방도일이 산출되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 난방도일을 산출하는 기준이 되는 균형점온도(Balance Point Temperature)가 지역별 기후특성이나 건물의 열적 성능에 따라 달라질 수 있다는 점에 착안하여 국내 기후특성과 공동주택의 열적 성능에 기반한 균형점온도를 정립하고자 하였다. 본 논문에서는 국내에서 아직 정립되지 않은 난방도일의 균형점온도 산출방법을 제시하고 이에 근거하여 서울, 부산, 제주지역의 균형점온도를 산출하였다. 균형점온도에 있어 가장 중요한 공동주택의 표준모델은 국내에서 아직 정립되어있지 않기 때문에 국토부의 친환경주택고시기준에 제시되어 있는 평가기준주택을 대상으로 하였다. 분석 대상지역의 기상데이터는 2010년 기상데이터를 사용하였으며, 건물의 열적 성능은 국내 건축물에너지절약설계기준의 중부, 남부, 제주의 부위별 열관류율을 적용하였다. 산출과정에는 CIBSE와 ASHRAE 그리고 ISO 13790을 참고하였다.

검토결과, 본 연구를 통해 산출된 균형점온도는 서울의 경우, 15.0℃, 부산은 15.38℃, 제주는 16.60℃로 나타났다. 국내 현재 기준처럼 통용되고 있는 18.3℃보다는 모두 낮은 균형점온도의 결과를 나타냈다. 균형점온도가 낮다는 것은 국내의 기후특성 및 공동주택의 열적성능을 고려하면 기존의 18.3℃보다 낮은 외기온도에서 난방을 시작해도 된다는 의미이다. 결과적으로 새롭게 산출된 균형점온도에 기반하여 계산한 각 지역의 난방도일도 기존 18.3℃ 기준한 결과보다 적은 값을 나타내었다. 결과적으로 기존 18.3℃를 기준으로 산출되는 난방도일은

국내의 기후특성, 건물 특성을 고려하면 과다하게 산정된다는 것을 의미한다. 따라서 균형점온도는 지역의 기후특성이 달라지거나 건축물의 성능기준이 변경되면 재 작성되어야 한다는 것이다.

본 연구의 추후연구로는 보다 정확한 균형점온도를 제시하기 위해 본 연구에서 다소 미진하였던 국내 공동주택을 대표할 수 있는 표준모델을 작성하고자 한다. 이 표준모델을 통해 국내를 대표할 수 있는 균형점온도의 제시, 그리고 국내를 대표할 수 있는 평균 균형점온도, 각 지역별 특성을 고려한 균형점온도의 분류 정도를 검토하고자 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(17AUDP-B100343-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Ihm, P. C., Jung, S. S., and Seo, D. H., 2014, Estimating cooling and heating degree days for variable base temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 2, pp. 79-85.
2. Cho, S. H., Kim, S. S., and Choi, C. Y., 2010, Study on the revision of HDD for 15 main cities of Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 7, pp. 436-441.
3. CIBSE, 2006, Degree-days : theory and application CIBSE TM41.
4. Yu, K. H., Cho, D. W., and Song, K. D., 2006, A study on the energy efficiency rating and certification of apartment houses, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 12, pp. 319-326.
5. ASHRAE, 2013, ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI) : Energy estimating and modeling methods.
6. Lee, K. M., Baek, H. J., and Cho, C. H., 2014, The estimation of base temperature for heating and cooling degree-days for south Korea, Journal of applied meteorology and climatology, Vol. 53, pp. 300-309.
7. Didier Thevenard, 2011, Methods for Estimating Heating and Cooling Degree-Days to Any Base Temperature, ASHRAE Transaction LV-11-0121.
8. SAREK, 2011, Vol. 2 : Air-conditioning.
9. CIBSE, 2006, CIBSE Guide A : Environmental design.
10. Spitler, J. D., 2010, Load calculation applications manual, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
11. ISO, 2008, ISO 13790 International Standard : Energy performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling.
12. ISO, 2007, ISO 13789 International Standard : Thermal performance of buildings-Transmission and ventilation heat transfer coefficients-Calculation method.
13. Lee, D. H., Choi, H. W., Kang, S. R., Yu, H. K., and Kim, J. M., 2014, Method of ISO 13790 utilisation factors calculation in Korean context, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 6, pp. 127-135.
14. Kwak, H. J., Shin, H. G., Jo, J. H., and Suh, S. J., 2012, A study on the gain utilization factor of energy demand in monthly method of ISO 13790, Proceedings of 2012. 10. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems Conference, pp. 141-144.
15. Report of Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2009.
16. Regulation for Energy Efficiency Rating System, 2016, Korea Energy Agency.
17. Cho, J. S., 2012, Study on Choosing Typical Residential building for Evaluating Energy Quantification, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea.
18. Lee, K. M., Baek, H. J., and Cho, C. H., 2014, Future projection of changes in cooling and heating degree days in Korea, Vol. 9, No. 1, pp. 1-13.

 ⓒ SAREK

19. Korea Energy Economics Institute, 2014, Energy Consumption Survey.
20. Jung, H. G., Shin, S. W., and Lee, B. H., 2013, Study of the Assessment baseline of carbon dioxide emissions based on the analysis of building energy efficiency rating system, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 14, No. 4, pp. 11-19.
21. Energy Saving Design Standard for Building, 2017-71, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Energy Agency.
22. Construction Criteria and Performance Code of Green Home, 2015, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014-916.
23. Korean Meteorological Administration, 2010.