

서울 및 부산지역의 가변 평형점온도에 따른 냉난방도일 산정법에 관한 연구

Estimating Cooling and Heating Degree Days for Variable Base Temperature

임병찬(Pyeongchan Ihm)¹, 정순성(Soon-Sung Jung)², 서동현(Donghyun Seo)^{3*}

¹동아대학교 건축공학과, ²동명대학교 건축공학과, ³충북대학교 건축공학과

¹Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan 614-714, Republic of Korea

²Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Busan 608-711, Republic of Korea

³Department of Architectural Engineering, Chung-Buk University, Cheongju 361-763, Republic of Korea

(Received October 16, 2013; revision received December 2, 2013; Accepted: December 10, 2013)

Abstract In general, building energy performance is evaluated with a detailed transient building energy simulation program. However, energy evaluation tools with the bin method are still used, because of their simple and easy way to calculate building energy performance, without reducing their precision. In this research, several heating and cooling degree day methods are compared, and evaluated with their performance for variable base temperature. This analysis considered about ten years of the continuous outdoor temperature, in the Seoul and Busan areas. It is concluded that the simplified bin method is more or less acceptable for Seoul and Busan, compared with the detailed hourly bin method.

Key words Bin method(빈법), Balance point temperature(평형점온도), Simplified method(간이법)

* Corresponding author, E-mail: seodh@chungbuk.ac.kr

기호설명

HDD_b : 평형점온도에 대한 월 난방도일(°C.day)
 CDD_b : 평형점온도에 대한 월 냉방도일(°C.day)
 T_b : 평형점온도(°C)
 T_h : 시간별 외기온(°C)
 T_{max} : 일최고 외기온(°C)
 T_{min} : 일최저 외기온(°C)
 T_d : 일평균 온도(°C)
 T_m : 월평균 외기 온도(°C)
 N : 월일수(day)
 S_d : 일평균 외기온의 표준편차(°C)
 $f(Z)$: 확률밀도함수
 $F(Z)$: 누적분포함수
 Z_b : 평형점온도와 월평균 외기온도의 차이를 일
평균외기온 표준편차로 정규화시킨 값

1. 서 론

건물 에너지 성능은 시간별 기상자료를 사용하는 EnergyPlus, TRNSYS, eQUEST 등 동적 열해석 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 건물의 열부하 해석 및 에너

지 사용량을 평가하고 있다.

그러나 냉난방도일법을 이용한 건물에너지 성능해석은 여전히 건물 에너지평가 도구로서 많이 사용되고 있다.^(1,2) 이 방법은 공조시스템의 효율, 실내온도, 실내열발열량 등이 비교적 일정하다는 가정 하에 건물에너지 사용량은 평형점온도와 일평균 외기온의 차에 비례하는 개념을 사용한다. 따라서 냉난방도일 값은 건물의 냉난방에너지 사용량을 개략적으로 예측할 수 있는 척도로서 많이 사용되어 왔으며, 에너지 절감방안을 평가하는 간단한 방법으로서 복잡한 건물에너지 동적시뮬레이션을 대신하여 많이 사용되고 있다. 난방도일 값이 크면 그 해 기후가 춥고 난방을 위한 연료소비량이 높아지며, 냉방도일 값이 크면 기후가 더워서 냉방을 위한 전력사용량이 많아지게 된다. 따라서 매년 냉난방도일 값의 비교는 겨울철 난방기간 중 난방설계 및 여름철 에너지 수급정책 결정 시 사용될 수가 있다.

또한 도일법은 건물에너지 성능평가 뿐만 아니라 기후온난화를 평가하는 기후변화의 영향을 평가하는 지표로서 사용되며,⁽³⁻⁶⁾ 농업분야에서는 도일을 생육온도일수(Growing degree days, GDD)를 사용하여 작물의

재배적지 및 품종 선택 지표로서 사용되고 있다.⁽⁷⁾

가변 평형점온도에 대한 냉난방도일의 필요성 때문에 터키^(8, 9)와 캐나다⁽¹⁰⁾는 이에 대한 연구를 진행해왔다. 특히 캐나다는 평형점온도 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 18°C, 24°C의 난방도일 값 및 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 18°C의 냉방도일 값을 제공하고 있다.

미국공조학회는 10°C와 18.3°C의 평형점온도에 대한 냉난방도일을 기록한 2005년판 “ASHRAE Handbook-Fundamentals”의 기후정보 부문을 업데이트하여 2009년판에는 미국 및 외국도시들에 대한 가변 냉난방도일에 관한 자료를 추가하였다.⁽¹¹⁾ 이 자료에서는 가변 평형점온도에 대한 각 지역의 월별 냉난방도일을 간단히 계산하기 위한 방법 및 이에 필요한 기상자료를 제공하고 있다. 하지만 가변 냉난방도일의 계산에 사용된 월평균 온도의 계산법은 미국공조학회와 한국 기상청의 계산방식이 달라서 그 값에 차이가 있다.

한국 기상청에서는 1992년부터 매년 기상연보를 발간하여 기상청 홈페이지에 전자문서를 공개하고 있다. 기상연보에 수록된 외기온에 관련된 자료는 월별로 월평균 외기온, 월평균 최고외기온, 월평균 최저외기온, 월최고 외기온, 월최저 외기온 등이다. 기상청⁽¹²⁾은 기준온도 18°C를 중심으로 기준온도에서 일평균 기온을 뺀 값을 일정기간 적산시킨 값을 냉난방도일이라 정의하고 있으나, 각 지역의 월별 냉난방도일에 관한 공식적인 자료는 발표하지 않고 있다. 기존의 연구는 특정한 평형점온도(18°C, 24°C)에서 도일에 대한 평가 및 개선방향을 제시하는 연구를 하고 있다.^(13, 14)

본 논문에서는 서울 및 부산의 10여 년간의 기상자료를 사용하여 서울 및 부산지역의 가변평형점온도에서의 냉난방도일에 대하여 분석하였다. 또한 ASHRAE Handbook-Fundamentals에 채택된 Schoenau-Kehrig 도일법⁽¹⁵⁾을 평가하여 국내에 적용가능성을 검토하였다. 이를 바탕으로 냉난방도일의 계산에 필요한 서울 및 부산지역의 월별평균 외기온과 일평균 외기온의 월별표준편차를 제공하여 간단하게 가변 평형점온도에 따른 월별 냉난방도일 값을 계산할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 도일법

2.1 시간 도일법

Moushed⁽¹⁶⁾는 관측된 연간 기상자료 중에서 매시간 외기온이 있으면 시간별 외기온을 사용한 시간도일법(Hourly degree day method)이 냉난방도일을 계산하는데 가장 정확하다고 평가하였다. 식(1)과 식(2)를 사용하여 하루의 냉난방 도일값을 계산할 수 있다. 여기서

+기호는 평형점온도와 일평균 외기온의 차가 양수일 경우 냉난방도일에 합산되는 것을 의미한다.

$$HDD_d = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_b - T_h)^+}{24} \quad (1)$$

$$CDD_d = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_h - T_b)^+}{24} \quad (2)$$

2.2 미국공조학회 도일법

미국공조학회⁽¹¹⁾은 식(3)과 식(4)를 사용하여 냉난방도일 값을 계산하였다. 특히 도일 계산 시 사용되는 일평균 온도는 식(5)과 같이 하루의 최대 및 최소 외기온의 평균값을 사용하였다.

$$HDD_b = \sum_{i=1}^N (T_b - T_d)^+ \quad (3)$$

$$CDD_b = \sum_{i=1}^N (T_d - T_b)^+ \quad (4)$$

$$T_d = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (5)$$

2.3 Schoenau-Kehrig 도일법

미국공조학회는 새로운 디자인 가이드라인 및 기준을 위하여 기존의 기상자료를 보장을 위한 일련의 연구^(17, 18)를 하였다. 특히 기존의 발표된 여러 가지 냉난방도일 계산법들에 대한 정확도 분석을 실시하여 Schoenau and Kehrig 도일법이 가장 우수하다고 평가하였다.

이 계산법은 월평균 외기온과 일평균 외기온의 월표준편차값과 식(6)~식(11)을 사용하여 여러 가지 평형점온도에 대한 월별 냉난방도일을 간단히 계산할 수가 있다.

Thevenard의 연구결과는 미국과 해외 5,564곳의 주요 도시에 대한 기상자료의 보장 및 가변 냉난방도일에 관한 내용이며 이를 개정된 2009년판 미국공조학회 핸드북⁽¹¹⁾에 추가하였다.

$$HDD_b = N \cdot S_d [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (6)$$

$$Z_b = \frac{T_b - T_m}{S_d} \quad (7)$$

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}} \quad (8)$$

$$F(Z) = \int_{-\infty}^Z f(z) dz \quad (9)$$

$$CDD_b = N \cdot S_d [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (10)$$

$$Z_b = \frac{T_m - T_b}{S_d} \quad (11)$$

$$T_d = \frac{\sum_{h=1}^{24} T_h}{24} \quad (12)$$

3. 서울 및 부산지역의 관측 외기온

서울 및 부산의 외기온은 기상청에서 1999~2010년에 관측한 시간별 외기온을 사용하였다. 1999년 이전의 외기온은 기록되어 있지 않은 시간이 있거나 또는 3시간별로 기록되어 있어서 이들을 배제하였다.

기상연보의 월평균 외기온은 앞에서 언급한 미국공조학회의 도일법 계산법과는 다르게 식(12)와 같이 하루 24시간의 일평균 온도값을 사용하였다. 이 값은 앞에서 언급한 시간도일법 계산에 사용되는 일평균 온도와 같다.

Table 1은 기상연보의 기록 및 미국공조학회의 방법으로 구한 월평균 외기온을 2001년, 2005년, 2010년에 대하여 비교한 결과이다. 각 연도별로 월평균 외기온은 여름철에 최대 0.4℃의 차이를 보이고 있으며 이는 냉난방도일 계산에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Table 1 Comparison of calculating monthly average outdoor temperature between KMA and ASHRAE

Year	2001		2005		2010	
	KMA	ASH RAE	KMA	ASH RAE	KMA	ASH RAE
Month						
1	-4.1	-4.3	-2.5	-2.4	-4.5	-4.5
2	-0.3	-0.1	-1.9	-1.7	1.4	1.5
3	5.0	5.1	4.1	4.4	4.3	4.2
4	13.6	13.8	13.2	13.4	9.5	9.7
5	19.1	19.5	17.7	17.9	17.2	17.4
6	22.5	22.9	22.7	23.1	23.4	23.6
7	25.9	26.2	25.3	25.6	25.8	26.1
8	26.5	26.7	25.1	25.5	26.5	26.8
9	22.5	22.7	21.8	22.0	21.8	22.1
10	16.5	16.7	14.7	15.0	14.5	14.7
11	7.0	7.2	8.6	8.7	6.5	6.8
12	-0.6	-0.3	-3.9	-3.8	-1.3	-1.1

4. 결과 및 분석

4.1 Schoenau-Kehrig 도일법의 평가

Schoenau-Kehrig 도일계산식인 식(6)과 식(10)을 사용하여 서울 및 부산의 월별 냉난방도일 값을 평가하였다.

Fig. 1은 DD/N/S_d와 Z_b와의 관계를 나타내었다. DD/N/S_d는 서울 및 부산의 월별 냉방도일 또는 난방도일을 월일수와 일평균 외기온의 표준편차로서 나눈 값이다. 연도, 월, 냉난방도일에 무관하게 Z_b에 대하여 DD/N/S_d 값은 특정한 관계를 가지고 있음을 알 수가 있다. 특히 Z_b > 2 경우 Z_b는 DD/N/S_d 값에 정비례하여 증가하고 있다. 이는 식(13)과 같이 Z_b가 2보다 클 경우 냉방 또는 난방도일은 월일수와 월평균 외기온과 평형점 온도의 차를 곱하여 간단하게 계산할 수 있음을 의미한다. 또한 Z_b < -2일 경우 DD/N/S_d 값은 0에 가까우며 냉방 또는 난방도일 값은 0에 가까워진다.

$$DD_b = N \cdot |T_m - T_b| \quad (13)$$

Schoenau-Kehrig 도일법으로 계산한 냉난방도일 값의 정확도를 분석하기 위하여 시간도일법으로 구한 값과 비교하였다. 이를 위하여 냉방도일 또는 난방도일에 대한 월별 평균 편향 오차(Mean Bias Error, MBE)를 나타내는 식(14)와 월별 도일값에 대한 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 나타내는 식(15)를 이용하였다.⁽¹⁹⁾ MBE, RMSE는 실제값과 예측값을 비교하여 어느 정도 오차를 가지고 있는지를 나타내는 값이며 0에 가까울수록 두 값이 서로 유사하다는 것을 의미한다.

식에서 사용된 DD_{sch}는 Schoenau-Kehrig 도일법, DD_{hr}은 시간도일법으로 계산한 월별 도일값을 의미한다.

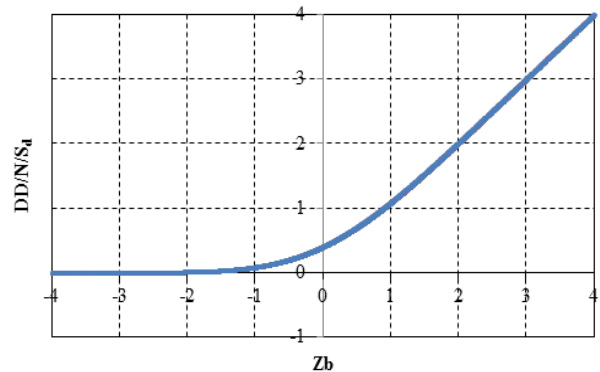


Fig. 1 Correlation between Z_b value and DD/N/S_d for any heating and cooling degree days.

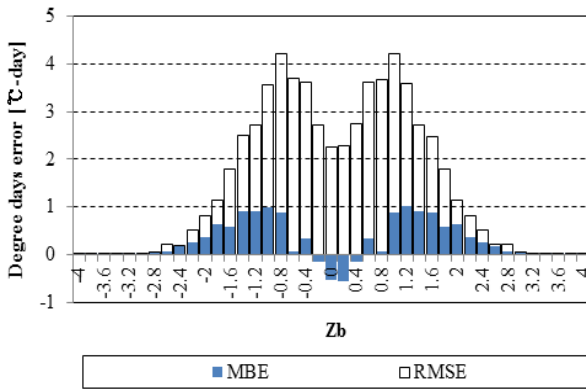


Fig. 2 Error estimations for monthly heating and cooling degree days with the function of Z_b value.

N_{bin} 은 Z_b 빈에 속한 도일값을 나타낸다. Fig. 2에서 나타난 바와 같이 월별 냉난방도일에 대한 MBE는 $-0.5[°C \cdot day]$ 에서 $1.0[°C \cdot day]$ 사이의 값을 보이며 오차는 아주 작게 나타났다. RMSE는 $0.0[°C \cdot day]$ 에서 $4.2[°C \cdot day]$ 사이에 있으며 MBE보다는 약간 높게 나타났으나 그 오차는 연간 냉난방도일 값에 비하여 크지 않았다.

$$MBE = \frac{1}{N_{bin}} \sum (DD_{sch} - DD_{hr}) \quad (14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_{bin}} \sum (DD_{sch} - DD_{hr})^2} \quad (15)$$

4.2 연간 냉난방도일의 비교

시간도일법, 미국공조학회 도일법, Schoenau-Kehrig 도일법을 비교하였다. Table 2와 Table 3은 서울 및 부산의 2001년, 2005년, 2010년에 대한 연간 난방도일을 3가지 방법으로 계산하여 시간 도일법(DD_{hr})에 대한 도일의 절대오차를 나타내었다. 도일값의 비교분석에 적용된 난방도일의 평형점온도는 $12°C$, $14°C$, $16°C$, $18°C$ 이며 냉방도일의 평형점온도는 $20°C$, $22°C$, $24°C$, $26°C$ 이다.

Table 2는 Table 3까지 도일법으로 계산한 서울의 연간 냉난방도일 및 절대오차를 비교분석하였다. Schoenau-Kehrig 도일법로 계산한 연간 난방도일의 절대오차 최소값은 $-8.9[°C \cdot day]$, 절대오차 최대값은 $4.9[°C \cdot day]$ 이며, 연간냉방도일의 절대오차 최소값은 $-8.9[°C \cdot day]$, 절대오차 최대값은 $2.7[°C \cdot day]$ 이다. 또한 연간 냉난방도일의 절대오차는 평형점온도의 증가와 무관한 특징을 가지고 있다. 반면에 미국공조학회 도일법은 평형점온도가 증가하면 연간 난방도일값은 절대오차가 증가하여 평형점온도 $18°C$ 일 때 최대 $41.8[°C \cdot day]$ 의 오차를 보

Table 2 Comparison of annual heating and cooling degree days for Seoul

Year	T_b ($°C$)	DD_{hr}	DD_{sch}	DD_{ashrae}	Diff.	
					hr-sch	hr-ashrae
2001	12	1634.1	1635.4	1612.8	-1.4	21.3
	14	1961.0	1963.2	1935.7	-2.2	25.4
	16	2318.6	2319.2	2288.0	-0.6	30.6
	18	2727.6	2725.2	2690.8	2.4	36.8
HDD 2005	12	1738.7	1733.8	1709.9	4.9	28.8
	14	2076.3	2076.9	2049.0	-0.5	27.3
	16	2461.1	2462.4	2428.4	-1.3	32.8
	18	2891.6	2890.4	2849.8	1.2	41.8
2010	12	1737.6	1735.5	1723.1	2.0	14.5
	14	2108.1	2109.7	2088.7	-1.6	19.4
	16	2507.1	2516.1	2484.0	-8.9	23.2
	18	2953.3	2959.2	2924.8	-5.9	28.5
2001	20	559.6	558.8	610.2	0.8	-50.6
	22	326.3	327.8	364.6	-1.5	-38.4
	24	155.7	156.1	181.4	-0.4	-25.6
	26	45.4	49.9	59.0	-4.6	-13.6
CDD 2005	20	486.4	485.8	525.2	0.6	-38.8
	22	273.9	272.3	308.4	1.6	-34.5
	24	119.8	123.0	147.5	-3.3	-27.7
	26	38.2	41.6	51.5	-3.3	-13.2
2010	20	572.7	570.0	603.7	2.7	-31.0
	22	353.1	352.7	383.3	0.4	-30.2
	24	167.2	173.3	193.5	-6.1	-26.3
	26	44.9	53.9	64.9	-8.9	-19.9

이며, 연간 냉방도일은 절대오차가 점차적으로 감소하여 평형점온도 $20°C$ 일 때 최소 $-50.6[°C \cdot day]$ 의 오차를 나타낸다.

Table 3은 부산에 대한 연간 냉난방도일 및 절대오차를 비교하였다. 서울과 마찬가지로 미국공조학회 도일법으로 계산한 연간 난방도일 값은 평형점온도가 증가하면 오차는 증가하며, 반면에 연간 냉방도일 값의 평형점 온도가 증가하면 오차는 감소한다. 연간 난방도일의 절대오차는 평형점온도 $18°C$ 일 때 최대 $74.6[°C \cdot day]$ 이며 연간 냉방도일 값은 평형점온도 $20°C$ 일 때 최소 $-48.1[°C \cdot day]$ 를 나타낸다.

따라서 Schoenau-Kehrig 도일법으로 계산한 서울 및 부산의 연간 냉난방도일 값은 미국공조학회의 계산법에 비하여 절대오차가 작으며 예측결과가 잘 일치하고 있다.

6. 결 론

본 연구는 서울 및 부산의 10여 년간 기상자료를 사용하여 가변평형점온도에 따른 냉난방도일을 분석하

Table 3 Comparison of annual heating and cooling degree days for Busan

Year	Tb (°C)	DD _{hr}	DD _{sch}	DD _{ashrae}	Diff.	
					hr-sch	hr-ashrae
2001	12	829.5	832.9	795.5	-3.4	34.0
	14	1108.9	1115.7	1068.5	-6.8	40.4
	16	1436.6	1437.5	1384.1	-0.9	52.5
	18	1805.1	1804.0	1743.9	1.1	61.2
HDD 2005	12	1127.6	1128.5	1088.0	-0.9	39.6
	14	1434.1	1434.5	1383.3	-0.4	50.8
	16	1792.3	1790.8	1730.6	1.5	61.7
	18	2199.4	2204.4	2124.8	-5.0	74.6
2010	12	893.3	891.5	863.4	1.8	29.9
	14	1213.1	1216.8	1178.3	-3.7	34.8
	16	1584.3	1584.0	1542.9	0.3	41.4
	18	1992.1	1993.5	1947.3	-1.4	44.8
2001	20	575.8	582.4	623.7	-6.6	-47.9
	22	353.7	355.5	383.7	-1.8	-30.0
	24	192.8	192.5	214.6	0.3	-21.8
	26	82.5	81.5	94.1	1.0	-11.6
CDD 2005	20	434.4	439.1	482.5	-4.7	-48.1
	22	236.8	237.1	270.5	-0.3	-33.7
	24	105.1	100.2	128.3	4.9	-23.2
	26	25.9	28.1	36.4	-2.2	-10.5
2010	20	605.9	613.3	646.9	-7.4	-41.0
	22	375.6	382.5	406.4	-6.9	-30.8
	24	209.1	210.0	229.0	-0.9	-19.9
	26	91.3	89.8	105.1	1.5	-13.8

였다. 이를 위하여 시간 도일법, 미국공조학회 도일법, Schoenau-Kehrig 도일법을 사용하여 월별 및 연간 냉난방도일을 비교 평가하였다. 시간 도일법과 비교하여 Schoenau-Kehrig 도일법로 계산한 연간 냉난방도일은 최대 약 9[°C.day]의 차이를 보이며 잘 일치함을 알 수가 있었다. 따라서 계산하고자 하는 연도의 월별 평균 외기온과 일평균 외기온의 월별 표준편차 두 개의 값만 알고 있으면 통계소프트웨어를 사용하여 간단히 월별 냉난방도일을 구할 수가 있다.

또한 연구결과를 바탕으로 가변 평형점온도에 대한 월별 냉난방도일 값을 계산할 수 있도록 11년간의 서울 및 부산의 월평균 외기온과 일평균 외기온의 월별 표준편차를 Table 4에 제시하였다.

후 기

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

- Day, A. R., 2005, An improved use of cooling degree-days for analysing chiller energy consumption in buildings, Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 26, No. 2, pp. 115-127.
- Lee, Y. M., Liu, F., An, L., Jiang, H., Reddy, C., Horesh, R., Nevill, P., Meliksetian, E., Chowdhary, P., Mills, N., Chae, Y. T., Snowdon, J., Kalagnanam, J., Emberson, J., Paskevicious, A., Jeyaseelan, E., Cuthbert, C., Cupodo, T., Bobker, M., and Belfast, J., 2011, Modeling and simulation of building energy performance for portfolios of public buildings, Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, pp. 915-927.
- Matzarakis, A. and Balafoutis, C., 2004, Heating degree-days over greece as an index of energy consumption, International Journal of Climatology, Vol. 24, pp. 1817-1828.
- Matzarakis, A. and Thomsen, F., 2009, Heating and cooling degree days as an indicator of climate change in Freiburg, Fourth Symposium on Policy and Socio-Economic Research.
- Christenson, M., Manz, H., and Gyalistras, D., 2006, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 671-686.
- Yoo, H. C. and Hoh, K. H., 2009, Analysis of the cooling and heating degree days in the Seoul and Yeosu, where HadCM3 is applied, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 9, No. 4, pp. 11-16.
- Korea Global Atmosphere Watch Center, <http://ccs.climate.go.kr/>.
- Dombaycı, O., 2009, Degree-days maps of Turkey for various base temperatures, Energy, Vol. 34, No. 11, pp. 1807-1812.
- Buyukalaca, O., Bulut, H., and Yılmaz, T., 2001, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy, Vol. 69, pp. 269-283.
- Government of Canada, Canadian Climate Normals, <http://climate.weather.gc.ca/>.
- ASHRARE, 2009, ASHRAE Handbook- Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA.
- Korea Meteorological Administration(KMA), <http://>

Table 4 Monthly average temperature and standard deviation of daily average temperature from 1999 to 2010 for Busan and Seoul

부산		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1999	Tm	4.2	5.3	9.5	14.3	18.2	21.2	23.5	25.2	23.9	17.7	11.7	5.7
	Sd	3.5889	3.7294	2.6589	2.7030	1.1120	1.7236	1.7848	1.7289	2.0742	2.8931	3.9034	3.9363
2000	Tm	4.3	3.2	9.1	13.2	17.3	20.2	25.3	26.7	21.9	18.2	12.1	7.3
	Sd	3.9102	2.6995	2.5232	1.5978	2.5266	1.3914	1.5161	1.4866	2.0962	2.4156	3.0885	3.8058
2001	Tm	2.7	5.8	9.5	15.0	19.1	21.7	26.2	27.4	22.8	18.5	11.5	4.8
	Sd	3.9475	3.2232	4.3236	2.4293	2.3051	1.5452	2.0532	1.8761	2.2033	1.3405	2.7879	2.6777
2002	Tm	4.9	6.6	10.6	14.3	17.0	20.9	24.0	24.2	21.7	16.4	8.8	6.5
	Sd	4.2421	2.7840	2.5757	2.0084	2.6582	1.8365	1.9462	2.6265	2.0046	4.2009	2.8570	4.4309
2003	Tm	2.5	6.3	8.6	13.8	16.9	20.7	21.3	24.1	22.5	16.6	13.1	5.2
	Sd	3.5240	2.2001	2.8989	2.4232	2.0533	1.1440	1.5814	1.8609	2.4833	2.6056	3.2096	3.5862
2004	Tm	2.9	6.6	8.8	14.0	17.2	20.9	24.2	25.2	22.0	16.8	12.5	7.4
	Sd	3.7323	3.9844	4.2063	2.8527	1.6416	1.4383	2.2949	2.6487	2.0261	1.8358	2.8379	4.1979
2005	Tm	2.0	2.5	7.1	13.9	17.1	21.0	23.8	25.7	22.7	17.1	11.6	1.2
	Sd	2.9116	3.5297	3.7455	2.4176	2.0739	2.0521	2.2593	1.8412	2.3397	3.1189	3.5851	3.0806
2006	Tm	3.9	4.1	8.0	12.1	16.3	20.2	22.6	27.4	21.3	20.0	13.1	6.7
	Sd	3.1987	3.9955	3.5448	1.8687	1.6280	2.1255	2.6720	1.8108	1.7369	1.5800	3.2924	3.2779
2007	Tm	5.2	7.8	9.1	13.1	17.7	20.4	22.7	26.7	22.8	18.3	11.9	7.3
	Sd	2.3694	3.0319	3.8704	2.7410	2.0150	1.7200	2.3463	1.6886	1.8054	2.5680	3.1928	2.9429
2008	Tm	4.7	3.8	9.5	13.9	17.4	19.7	25.6	25.0	22.9	19.1	11.6	6.6
	Sd	2.7689	2.5474	1.9795	1.6428	2.1570	1.4942	1.8756	1.9397	2.1857	2.3509	4.1618	4.2630
2009	Tm	3.5	8.3	9.7	14.3	18.5	21.4	23.3	25.0	22.7	18.8	11.1	5.4
	Sd	3.3852	3.2447	2.9599	2.4742	1.5819	2.1507	1.3956	1.6343	0.8630	1.4131	4.7277	4.5975
2010	Tm	3.0	5.8	7.8	11.5	17.2	22.0	25.2	27.9	24.1	18.3	11.3	5.2
	Sd	4.2497	4.2022	2.8527	2.2910	1.9201	1.4897	2.1960	1.2047	3.0066	3.0789	2.7333	4.9499
서울		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1999	Tm	-0.8	0.7	6.6	13.9	17.5	23.1	25.9	26.0	22.9	14.3	7.9	0.4
	Sd	4.6215	3.8605	3.1858	4.5501	2.0993	2.2048	1.7398	2.7007	3.0449	3.4796	4.3853	4.1383
2000	Tm	-2.0	-1.7	6.2	11.7	17.3	23.5	26.6	25.9	20.5	14.8	6.9	0.8
	Sd	3.8558	2.5224	3.3533	2.3206	2.7274	1.9032	1.3367	2.2244	2.4542	3.5926	4.0018	4.3936
2001	Tm	-4.2	-0.3	4.9	13.5	19.0	22.5	25.8	26.4	22.4	16.5	7.1	-0.6
	Sd	5.1641	3.6250	4.2637	3.8477	2.6967	1.5219	1.4324	1.9140	2.6849	1.4541	2.8743	2.9459
2002	Tm	0.3	2.9	7.6	13.5	18.2	22.2	25.2	24.2	21.5	12.8	4.0	1.7
	Sd	4.9546	2.8099	2.8349	3.7450	2.2215	2.3335	2.0936	1.8742	2.2590	4.7712	3.4205	4.9086
2003	Tm	-2.5	2.6	6.5	13.1	19.5	21.6	23.8	24.1	20.9	13.9	9.5	0.8
	Sd	4.4952	2.5475	3.3696	2.6294	2.8495	2.0294	1.7216	1.7410	1.4200	3.2687	3.5943	3.3488
2004	Tm	-1.5	2.3	6.3	13.1	17.6	23.2	24.8	26.1	21.7	15.2	9.1	1.9
	Sd	4.8700	4.1038	4.9619	3.8793	2.0176	1.9934	2.6353	2.6026	2.3089	2.6775	3.2785	4.9185
2005	Tm	-2.5	-2.0	4.1	13.2	17.7	22.7	25.3	25.1	21.8	14.7	8.6	-3.9
	Sd	3.2771	3.8909	3.7307	3.2258	3.0283	2.0357	2.2170	2.6406	2.5271	3.1369	4.4265	3.3877
2006	Tm	-0.2	0.1	5.1	11.5	18.4	21.8	23.1	27.0	21.1	17.9	8.3	1.4
	Sd	3.5851	4.5950	3.7157	2.4468	1.9636	2.1394	2.1016	1.7370	2.1992	2.8668	4.0442	3.8993
2007	Tm	0.4	4.0	6.0	11.3	18.1	23.2	24.2	26.5	21.5	15.1	6.8	1.8
	Sd	2.6223	3.5428	4.2090	2.9034	2.3748	2.1596	2.1430	1.5028	1.9568	3.4671	3.9748	3.1920
2008	Tm	-1.7	-1.2	7.3	14.1	17.6	21.5	25.1	25.3	22.0	16.1	7.6	1.1
	Sd	3.2192	2.9864	3.2295	3.6429	2.9069	2.5133	1.7491	2.5990	3.3872	3.3390	4.5336	4.9627
2009	Tm	-1.9	2.9	6.0	12.7	19.1	22.4	24.3	25.7	21.7	16.0	6.9	-1.0
	Sd	4.2843	3.8076	4.1397	3.5582	2.9090	2.2601	1.5686	1.9901	1.7151	2.1999	5.6769	5.6389
2010	Tm	-4.5	1.4	4.3	9.5	17.1	23.4	25.8	26.5	21.8	14.5	6.5	-1.2
	Sd	4.4410	5.8202	2.6143	3.2918	2.4564	2.1454	1.2168	1.8163	3.8303	3.7739	3.6783	5.8167

www.kma.go.kr.

13. 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.
14. Lee, H. R. and Jung, J. H., 2011, Calculation of cooling and heating degree days using the method of weighting factor per 10 years, Proceedings of the 2011 Regional Association of Architectural Institute of Korea Conference, pp. 421-426.
15. Schoenau, G. J. and Kehrig, R. A., 1990, Method for calculating degree-days to any base temperature, Energy and Buildings, Vol. 14, No. 4, pp. 299-302.
16. Mourshed, M., 2012, Relationship between annual mean temperature and degree-days, Energy and Buildings, Vol. 54, No. 11, pp. 418-425.
17. Thevenard, D. and Gueymard, C. A., 2010, Updating the ASHRAE climatic data for design and standards., ASHRAE Transactions, Vol. 116, No. 2, pp. 444-459.
18. Thevenard, D., 2011, Methods for estimating heating and cooling degree-days to any base temperature, ASHRAE Transactions, Vol 117, No. 1, pp. 884-890.
19. Meteorological Resources Map (MRM), <http://www.greenmap.go.kr>.