

국내 15개 주요지역의 난방도일 재산정에 관한 연구

조 성 환[†], 김 성 수^{*}, 최 창 용
전주대학교 기계자동차공학과, ^{*}전주대학교 대학원

Study on the Revision of HDD for 15 Main Cities of Korea

Sung-Hwan Cho[†], Seong-Su Kim^{*}, Chang-Yong Choi
Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Korea
^{*}Graduate School, Jeonju University, Korea

(Received May 21, 2009; revision received April 7, 2010)

ABSTRACT: The purpose of this study is to revise the HDD(Heating Degree-Days) of main cities of Korea because the outside temperature rise have been accelerated by global warming recently. Now our HDD(Heating Degree-Days) for the utility design of district heating system had been established in 20 years ago. Therefore new heating degree days for main cities of Korea had been required and determined using long-term measured outside weather temperature data during 30 years. For the analysis of HDD, five different base temperatures ranging from 24 to 16°C were chosen in the calculation of heating degree days. And new yearly heating degree days of 15 cities of Korea were given in the tabular form.

Key words: Heating degree-day(난방도일), Degree-day method(도일법), Global warming(지구온난화)

기 호 설 명

HDD : 난방도일 [$^{\circ}C$ -day]
 T_z : 무부하온도 [$^{\circ}C$]
 T_i : 기본 설정온도 [$^{\circ}C$]
 T_o : 외부 기온 [$^{\circ}C$]
 U : 총괄열전달계수 [W/m^2K]
 A : 건물의 벽체 총면적 [m^2]
 m_k : 난방일 [day]

1. 서 론

오늘날에는 TRNSYS 또는 DOE 등과 같은 동적 시뮬레이션 프로그램을 통해서 건물의 상세한 난방

부하예측이 가능하다. 그러나 이들의 약점은 시간별 기상 데이터 뿐만 아니라 건물구성 재료와 구조 및 운전조건 등에 관한 상세한 입력정보가 요구되며 결과의 정확도는 이들 입력정보의 정확성에 따라서 다르게 나타난다.^(1,2)

따라서 동일한 건물의 지역별 에너지사용량에 대한 특성이나 새로운 지역에너지의 설계를 위해서는 간편하게 냉난방 부하 및 에너지사용량을 예측할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 방법 중의 한 가지 방법이 도일(degree-days)개념에 근거한 난방부하의 예측방법이다. 이 방법은 정밀 계산방법과 비교하여 약간의 오차를 가질 수 있지만, 실내 온도와 내부 열획득(Heat gain)이 일정하다는 가정 하에서는 매우 효과적이고 유용한 방법이다.

최근 지구온난화에 의한 기상변화는 심각한 기온변화를 수반하고 있으며 이에 따라서 에너지 사용량에 민감한 국가들 위주로 난방도일을 재정립하고

[†] Corresponding author

Tel.: +82-63-220-2663; fax: +82-63-220-2056

E-mail address: shcho@jj.ac.kr

있다. 현재 활용되고 있는 난방도일 기준을 검토하여 보면 미국 등에서는 18℃를 기준으로 난방도일을 계산하여 활용하고 있으나 핀란드 등 북유럽에서는 17℃를 기준으로 한 국가들이 많이 있다.⁽³⁾ 또한 미국 등에서는 무부하 온도를 고려하지 않고 난방도일을 계산하고 있으나 핀란드 등 북유럽에서는 무부하 온도를 고려하여 난방도일을 계산함으로써 정확한 난방도일의 활용하기 위한 노력을 기울이고 있다.⁽³⁻⁶⁾ 국내에서는 1980년대에 한국동력자원연구소에서 제시한 설정온도와 무부하온도를 20℃ 및 16℃를 기준으로 한 난방도일을 활용하고 있지만 1980년대 이후의 기온변화에 따라서 새로운 난방도일의 산정이 요구되고 있다.⁽⁷⁾

따라서 본 연구에서는 변화된 기후에 적절한 난방도일의 기준을 설정하기 위해서 국내의 약 30년 동안(1971년부터 2006년까지)의 기상자료를 분석하여 주요 도시별 새로운 난방도일을 제시하고자 하였다.⁽⁸⁾

2. HDD의 정의 및 계산방법

2.1 HDD의 정의 및 계산식

일반적으로 국제적으로 활용되고 있는 난방도일(HDD : Heating Degree Days)의 정의 방법은 아래와 같이 두 가지이다.⁽⁹⁾

MODE 1 :

$$(HDD)_{T_i} = \int_p \| T_i - T_o \| dt \tag{1}$$

$$= (1 \text{ day}) \sum_{\text{days}} \| T_i - T_o \|$$

MODE 2 :

$$(HDD)_{T_i - T_z} = m_k \sum_{k=1}^n (T_z - T_o) \tag{2}$$

$$+ m_k \sum_{k=1}^n (T_i - T_z)$$

여기서 T_o 는 지역의 일평균 기온이며 T_i 는 실내 설정온도이고 T_z 는 무부하온도이다. 계수 m_k 는 0 또는 1값으로 일평균기온(T_o)가 무부하온도(T_z)보다 작을 때는 1day로 계산되며 일평균기온이 크거나 같을 때는 0day의 값으로 계산된다.

즉 Mode 1의 계산 방법은 실내설정 온도(T_i)만을 가지고 난방도일을 계산하는 방법이다. 이 방법은 미국 등에서 주로 활용하고 있는 방법이다.

Mode 2의 방법은 실내기본설정온도와 무부하 온도가 필요하며, 기본설정온도와 무부하온도의 차가 Mode 1의 값에 더해진 값이 된다. 이 방법은 유럽 등에서 주로 활용하고 있는 방법이다. 국내에서도 지금까지 이 방법을 활용하였다.

Table 1 Comparison of HDDs published by the Korea Institute of Energy and Resources and HDDs calculated in this study

City	Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Total
Chun Cheon	Data	743.6	635.4	500.0	270.3	59.8	0.0	0.0	0.0	8.5	237.7	460.0	685.2	3600.5
	New Data	745.7	636.0	500.2	269.4	59.8	0.0	0.0	0.0	8.5	237.7	459.9	685.0	3602.1
	Error(%)	0.28	0.09	0.04	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.02	0.02	0.04	0.04
Seoul	Data	688.7	602.6	480.4	253.1	48.7	0.0	0.0	0.0	0.0	154.3	400.8	631.5	3260.1
	New Data	688.8	602.3	479.1	253.1	49.1	0.0	0.0	0.0	0.0	154.7	400.9	631.2	3259.2
	Error(%)	0.01	0.05	0.27	0.02	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.03	0.05	0.03
Daegu	Data	618.8	536.9	417.3	203.1	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	132.1	360.4	566.8	2852.7
	New Data	618.5	532.4	416.6	203.1	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	132.2	360.4	565.7	2846.1
	Error(%)	0.05	0.85	0.18	0.01	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.20	0.23
Busan	Data	529.6	467.9	379.3	210.2	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	49.5	272.0	462.3	2402.2
	New Data	529.1	467.8	375.7	210.2	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	49.5	272.3	461.7	2397.8
	Error(%)	0.09	0.02	0.94	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.11	0.12	0.18

2.2 계산 방법 및 결과의 타당성

새롭게 계산하는 방법 및 결과의 타당성을 검증하기 위하여 Table 1은 기존의 동력자원연구소의 보고서에서 제시된 난방도일과 본 연구에서 재계산된 난방도일을 비교한 데이터이다.⁽⁸⁾ 이때 사용된 기상데이터는 1971년도에서 1980년까지의 국내 주요지역에 대한 10년 동안의 외기 데이터이다. 표에서 보면 4개 지역에서 월별로 가장 큰 오차를 보인 것이 대구지역으로 2월의 난방도일의 오차가 0.85%로 나타났다. 또한 연간 전체적인 측면에서는 최대가 0.23%의 오차를 나타내어 과거에 계산한 결과와 거의 일치함을 보여주고 있다. 따라서 새로운 계산 방법이 상당한 정확성을 가지고 접근하고 있다는 것을 알 수 있다.

3. 적정 난방도일 기준 선정

3.1 적정모드 선정 기준

기준 설정온도 만에 의한 계산방법인 Mode 1과 무부하온도를 고려한 계산방법인 Mode 2중에서 적절한 방법을 선택하기 위해 Table 2와 Table 3에 주

Table 2 Calculation of HDDs based on the set-point temperatures(Mode 1 method)

Mode1	Chun Cheon	Seoul	Daegu	Busan
HDD ₂₄	4647.9	4130.0	3617.7	3410.2
HDD ₂₂	4048.0	3557.5	3064.3	2809.8
HDD ₂₀	3505.7	3042.2	2564.3	2279.8
HDD ₁₈	3002.6	2571.0	2113.4	1819.4
HDD ₁₆	2548.6	2147.9	1716.5	1412.2

Table 3 Calculation of HDDs based on the unloaded degrees at the setting temperature of 24°C(Mode 2 method)

Classification	Chuncheon		Seoul		Daegu		Busan	
	HDD	φ(%)	HDD	φ(%)	HDD	φ(%)	HDD	φ(%)
HDD ₂₄	4647.9	100.0	4130.0	100.0	3617.7	100.0	3410.2	100.0
HDD ₂₄₋₂₂	4618.0	99.4	4091.5	99.1	3586.3	99.1	3375.8	99.0
HDD ₂₄₋₂₀	4549.7	97.9	4026.2	97.5	3520.3	97.3	3275.8	96.1
HDD ₂₄₋₁₈	4448.6	95.7	3939.0	95.4	3397.4	93.9	3127.4	91.7
HDD ₂₄₋₁₆	4292.6	92.4	3731.9	90.4	3204.5	88.6	2924.2	85.7
HDD ₂₄₋₁₄	4077.8	87.7	3556.1	86.1	3023.9	83.6	2661.1	78.0

요지역에 대한 계산결과를 나타내었다. 이때 Table 3에서는 기준설정 온도를 24°C, 22°C, 20°C, 18°C, 16°C로 한 경우에 대한 것이고 Table 4에서는 기준설정 온도 24°C에 대하여 무부하온도를 22°C, 20°C, 18°C, 16°C, 14°C로 변경한 경우에 대한 것이다. 사용된 기상 데이터는 1997년부터 2006년까지의 최근 10년 동안의 기상자료이다.

표에 의하면 무부하온도를 크게 설정하면 Mode 2와 Mode 1의 결과가 큰 차이를 나타내지 않지만 무부하온도를 적게 하면 큰 차이를 나타내었다. 특히 추운지역인 춘천, 서울 지역보다는 따뜻한 지역인 대구, 부산지역에서 더 큰 차이를 나타내어 기준설정온도 24°C일 때 무부하온도를 14°C로하면 20% 이상까지도 차이를 나타내었다. 따라서 국내와 같이 지역별로 평균 기온의 변화차이가 큰 경우에는 Mode 1보다는 Mode 2 방법이 타당성이 있는 것으로 나타났다.

3.2 적정 환산 연도 선정 기준

현재와 기간별로 지역별 온도 변화가 심한 경우에 난방도일을 위한 기간을 어떻게 설정하느냐에 따라서 계산된 난방도일이 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 2006년을 기준으로 10년, 20년, 30년 전의 기간 동안의 기상 자료를 활용하여 계산된 난방도일 결과를 비교하였다.

Fig. 1는 국내 주요 도시들의 기간별 평균온도와 난방도일을 비교한 그림이다. 좌측의 세로축은 온도 값이며 우측의 세로축은 난방도일을 나타낸다. 지역별로 기간이 길어질수록 평균온도가 낮아지며, 난방도일은 커지는 것을 볼 수 있다. 즉 최근에 가까울수록 외기의 평균기온이 높아지며 이에 따라서 난방도일은 적어지는 것을 알 수 있다.

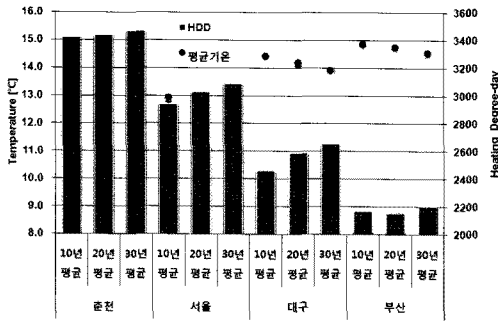


Fig. 1 Comparison of changes in average temperatures and HDDs for 4 main cities.

위의 결과로부터 볼 때 선정된 난방도일은 일평균 외기온을 직접적으로 반영하며, 이를 너무 장기간 고려하게 되면 오랜 과거의 기후변화 영향이 반영되어 오히려 현 시점 이후의 예측 정확도를 떨어뜨리는 효과를 발생시킬 수 있다는 것으로 나타났다. 따라서 30년 동안의 기상자료를 통한 난방도일의 산정보다는 10년 동안의 평균기온 자료기준이 더 적합하다고 할 수 있다.

4. 지역별 난방도일의 계산결과

4.1 난방도일의 변화량

Table 4는 지역별로 기존에 활용되던 난방도일 대비 새롭게 계산한 난방도일을 비교한 테이블이다.

표에서 보면 1971년부터 1980년대 기상 자료를 활용한 기존의 난방도일 보다 새롭게 계산한 난방도일은 년도별로는 거의 유사한 년도도 있지만 전

체적으로 5~10%, 크기는 20%까지도 적어지는 것으로 나타났다. 최근 10년 평균 기상자료에 의한 난방도일은 춘천 지역이 5%, 서울지역이 9.8% 적게 나타났으며 부산지역과 대구지역이 13.7%, 9.7% 적은 것으로 나타났다. 즉 북쪽에 위치한 지역보다는 남쪽 지역으로 갈수록 감소폭이 크게 나타났다

4.2 지역별 난방도일

서울, 대구, 부산 등 국내 주요 지역을 포함한 15개 도시에 대한 새로운 난방도일을 Table 5에 나타내었다. 이를 위하여 사용된 국내기상 자료는 1997년부터 2006년까지의 10년 동안의 자료이며 기준 설정온도는 18℃, 20℃, 22℃, 24이며 각각에 대한 14℃, 16℃, 18℃, 20℃, 22℃이다.

표에서 보면 동일 기준온도에서 HDD가 크게 나타나는 지역은 춘천, 서산, 수원, 인천, 서울의 순으로 크게 나타나며 적게 나타나는 지역은 부산, 포항, 광주, 목포 등의 순으로 적게 나타났다.

5. 결론

국내에서 현재 활용되고 있는 난방도일이 30년 전에 정립된 데이터여서 최근의 기상상태를 고려하여 새롭게 난방도일을 정립하였다. 이때 지역은 국내의 주요 15개 지역을 대상으로 하였으며 기상 자료는 30년(1971년부터 2006년까지) 동안의 기상자료를 분석하여 활용하였다. 연구결과 난방도일을 정의하는 방법은 실내설정 온도만에 의한 난방도일 방법(MODE 1) 보다는 실내 기본설정온도와 무부하온도를 포함하는 난방도일법(MODE 2)이 더 현

Table 4 Comparison of existing HDDs and new HDDs for main cities

Year	Chun Cheon	Difference	Seoul	Difference	Year	Daegu	Difference	Busan
1971~1980 (Average)	3600.5	-	3260.1	-	2852.7	-	2402.2	-
2002	3331.5	-7.5	2921.1	-10.4	2565.1	-10.1	1830.6	-23.8
2003	3382.9	-6.0	2896.7	-11.1	2547.7	-10.7	1872.3	-22.1
2004	3247.6	-9.8	2813.2	-13.7	2342.9	-17.9	1773.3	-26.2
2005	3627.1	0.7	3270.9	0.3	2681.2	-6.0	2198.1	-8.5
2006	3302.7	-8.3	2891.9	-11.3	2411.4	-15.5	2222	-7.5
Recent 10 Years (Average)	3420.6	-5.0	2939.9	-9.8	2460.5	-13.7	2168	-9.7

Table 5 Revised HDDs for fifteen main cities of Korea

City	Chun Cheon	Seoul	Daegu	Busan	Suwon	Cheong ju	Daejeon	Seosan
HDD ₂₄	4647.9	4130.0	3617.7	3410.2	4295.1	4137.5	4070.9	4429.1
HDD ₂₄₋₂₂	4618.0	4091.5	3586.3	3375.8	4264.6	4104.1	4033.5	4401.8
HDD ₂₄₋₂₀	4549.7	4026.2	3520.3	3275.8	4209.2	4055.6	3985.0	4324.3
HDD ₂₄₋₁₈	4448.6	3939.0	3397.4	3127.4	4099.7	3912.3	3834.8	4200.9
HDD ₂₄₋₁₆	4292.6	3731.9	3204.5	2924.2	3924.3	3741.8	3653.6	4058.1
HDD ₂₄₋₁₄	4077.8	3556.1	3023.9	2661.1	3744.4	3548.4	3487.7	3852.6
HDD ₂₂	4048.0	3557.5	3064.3	2809.8	3714.6	3564.1	3493.5	3825.8
HDD ₂₂₋₂₀	4027.7	3534.2	3042.3	2777.8	3699.2	3549.6	3479.0	3802.3
HDD ₂₂₋₁₈	3966.6	3483.0	2969.4	2691.4	3635.7	3464.3	3388.8	3726.9
HDD ₂₂₋₁₆	3856.6	3335.9	2832.5	2546.2	3510.3	3341.8	3257.6	3624.1
HDD ₂₂₋₁₄	3689.8	3198.1	2691.9	2341.1	3370.4	3190.4	3127.7	3464.6
HDD ₂₀	3505.7	3042.2	2564.3	2279.8	3189.2	3043.6	2973.0	3280.3
HDD ₂₀₋₁₈	3484.6	3027.0	2541.4	2255.4	3171.7	3016.3	2942.8	3252.9
HDD ₂₀₋₁₆	3420.6	2939.9	2460.5	2168.2	3096.3	2941.8	2861.6	3190.1
HDD ₂₀₋₁₄	3301.8	2840.1	2359.9	2021.1	2996.4	2832.4	2767.7	3076.6
HDD ₁₈	3002.6	2571.0	2113.4	1819.4	2707.7	2568.3	2496.8	2778.9
HDD ₁₈₋₁₆	2984.6	2543.9	2088.5	1790.2	2682.3	2541.8	2465.6	2756.1
HDD ₁₈₋₁₄	2913.8	2482.1	2027.9	1701.1	2622.4	2474.4	2407.7	2688.6
HDD ₁₆	2548.6	2147.9	1716.5	1412.2	2268.3	2141.8	2069.6	2322.1
City	Incheon	Jeonju	Jinju	Gang neung	Gwangju	Pohang	Mokpo	
HDD ₂₄	4211.0	3861.8	3927.7	3905.1	3754.5	3543.2	3765.0	
HDD ₂₄₋₂₂	4184.0	3829.9	3901.3	3868.8	3717.0	3511.5	3737.8	
HDD ₂₄₋₂₀	4074.5	3782.4	3834.1	3774.9	3663.9	3421.4	3641.0	
HDD ₂₄₋₁₈	3992.2	3647.1	3710.5	3637.2	3531.9	3272.6	3532.8	
HDD ₂₄₋₁₆	3802.8	3474.8	3508.0	3449.7	3370.2	3076.3	3334.6	
HDD ₂₄₋₁₄	3635.2	3310.1	3330.1	3208.4	3182.7	2888.0	3182.7	
HDD ₂₂	3614.0	3301.9	3351.3	3294.8	3187.0	2963.5	3181.8	
HDD ₂₂₋₂₀	3576.5	3286.4	3332.1	3260.9	3169.9	2931.4	3151.0	
HDD ₂₂₋₁₈	3526.2	3207.1	3258.5	3177.2	3091.9	2842.6	3084.8	
HDD ₂₂₋₁₆	3390.8	3084.8	3114.0	3043.7	2978.2	2702.3	2942.6	
HDD ₂₂₋₁₄	3261.2	2956.1	2974.1	2856.4	2832.7	2556.0	2824.7	
HDD ₂₀	3078.5	2790.4	2830.1	2746.9	2675.9	2441.4	2661.0	
HDD ₂₀₋₁₈	3060.2	2767.1	2806.5	2717.2	2651.9	2412.6	2636.8	
HDD ₂₀₋₁₆	2978.8	2694.8	2720.0	2637.7	2586.2	2328.3	2550.6	
HDD ₂₀₋₁₄	2887.2	2602.1	2618.1	2504.4	2482.7	2224.0	2466.7	
HDD ₁₈	2594.2	2327.1	2354.5	2257.2	2211.9	1982.6	2188.8	
HDD ₁₈₋₁₆	2566.8	2304.8	2326.0	2231.7	2194.2	1954.3	2158.6	
HDD ₁₈₋₁₄	2513.2	2248.1	2262.1	2152.4	2132.7	1892.0	2108.7	
HDD ₁₆	2154.8	1914.8	1932.0	1825.7	1802.2	1580.3	1766.6	

실성이 있는 것으로 분석되었다. 위와 같은 결과를 가지고 과거 30년 동안의 기상자료에 의하여 기존의 난방도일과 비교 평가한 결과, 새롭게 정립된 난방도일은 기존의 데이터와 대비하여 10% 이상 까지도 감소하여 건물의 부하 산정 시 설계부하가 상당히 낮아질 수 있음을 나타내었다. 따라서 향후에 난방도일에 의한 에너지 설비의 설계 시에는 본 연구에서 제시된 새로운 난방도일을 활용하는 것이 타당성이 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. TRNSYS 16(Transient System Simulation Program), Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin Madison.
2. Visual DOE, Architecture Energy Corporation.
3. KDHC(Korea District Heating Corporation), 2008, Analysis Study on Calculation Method of HDD (Heating Degree Days) and Corelation between HDD and Thermal Capacity.
4. Orhan Buyukalaca, Husamettin Bulut, and Tuncay Yilmaz, 2001, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy, Vol. 69, pp. 269-283.
5. Papakostas, K. and Kyriakis, N., 2005, Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece, Renewable Energy, Vol. 30, pp. 1873-1880.
6. 2006, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 671-686.
7. Korea Institute of Energy and Resources, 1981, Study on Utility and Technology Standard of Thermal Supply Utility, pp. 112-117.
8. Korea Meteorological Administration, Weather Data(1971~2006).
9. The Society of Air Conditioning and Refrigeration Engineers of Korea, 1991, Handbook of Air Conditioning, Refrigeration and Sanitary Engineering, Part 2, Air Conditioning.