

建物の空調用 에너지所要量 算定法

Method of Estimating Energy Requirements of Air Conditioning Systems in Building

閔 滿 基*
Man- Ki Min

1. 序 論

우리나라의 住居用 및 商用 建物の 冷暖房에 消費되는 에너지는 全體消費에너지의 30% 以上에 이르고 있으며 美國의 境遇에도 數年前에 25%이었던 것이 해마다 增加하여 現在는 約 40%에 이르고 있다. 이러한 實情下에서 建物에너지의 正確한 算定法을 活用한다는 것은 冷暖房裝置의 設計와 性能分析에 있어서 매우 重要할 뿐만 아니라 國家的인 에너지節約 側面에서 必須的인 일이다. 建築物과 HVAC 시스템을 에너지節約側面에서 본다면 三大基本要素로서 建物の 外皮(Building Envelope), HVAC 機器 그리고 制御 등을 들 수 있다. 外壁의 熱絶緣, 侵入空氣의 封鎖, 窓門의 크기의 縮少 및 遮陽使用 등의 措置는 建築物 外皮의 에너지節約效果를, 暖房 및 冷房裝置의 適正한 設計, 施工 및 整備는 動力消費量의 減少를 그리고 micro processor 및 minicomputer를 사용한 EMCS(Energy Monitoring and Control System) 등의 制御시스템은 에너지管理 및 HVAC 機器의 最適化 등으로 에너지節約을 한다. 그밖에도 廢棄되는 에너지를 回收하거나 極小化하는 여러가지 試圖가 이루어지고 있다.

運轉에 所要되는 에너지 所要量 및 燃料消費량을 算定하는 것은 設計用 熱負荷를 計算하는 것보다 훨씬 더 힘들다. 왜냐하면 時間에 따라 變할 수 있는 因子가 너무 많으며 이들 因子의 影響을 綜合하여야 하기 때문이다. 이르기 때문에 建物에서 過去의 運轉實績을 參考해서 에너지消費량을 求하는 것은 가장 믿을 만한 方法이며 앞으로의 燃料所要량을 豫測하는 正確한 基礎가 된다. 이러한 運轉實績의 記錄이 없을 때에는 計算을 하여야 한다. 設計中에 있는 新築建物이나 改修하는 建物에 있어서는 특히 그럴 수 밖에 없다.

2. 에너지 算定法

오늘날 에너지價의 上昇 및 化石에너지의 供給威脅으로 建物の 暖冷房에 所要되는 長期 및 短期 燃料消費량의 正確한 算定이 要求되고 있다. 이 量의 算定에는 많은 影響因子가 時間에 따라 變하며, 또 이들 因子는 그 積算量이 所要되므로 熱負荷 또는 冷暖房 裝置의 容量을 算定하는 것보다 훨씬 어렵다. 따라서 建物에 대한 過去의 運轉實績은 앞으로의 燃料所要량을 豫想하는 가장 信賴性이고 正確한 根據를 준다. 그러나 新築建物에서 처럼 運轉實績이 없는 境遇 또는 新築이 아니더라도 運

空氣調和 및 暖房시스템의 短期 또는 長期

* 正會員, 高麗大學校 工科大學 教授

轉實績이 없는 建物에서는 計算에 따라 에너지 所要量을 算定하여야만 한다.

에너지 所要量의 算定法에는 여러가지가 있지만 그 技巧에 있어서는 큰 差異가 있다. 그러나 이들 算定法은 다음의 共通點을 갖고 있다 (그림 1 참조).

(1) 空間負荷의 算定
 (2) 2次機器(熱媒分配 機器) 負荷의 算定
 (3) 1次機器(熱源裝置)의 에너지 所要量 算定
 첫번째의 것은 室內空間의 熱的 快適性을 維持하기 爲해서 除去(또는 供給)하여야 될 時間當 에너지量으로서 여기에는 定常狀態下의 熱負荷와 外氣條件과 運轉特性에 대한 時間別 變動모양(hourly profile)을 基礎로 한 非定常下의 熱負荷의 두가지로 나뉘어진다.

두번째의 것은 空間負荷의 값을 2次시스템 機器에 걸리는 負荷의 값으로 求하는 것이다. 여기에는 덕트 配管 或은 變風量시스템(VAV System)의 複雜한 時間別 시뮬레이션(hour-by-hour simulation)에 의한 熱取得(또는 熱損失), 팬 및 펌프動力 뿐만 아니라 칠드워터(또는 溫水)의 에너지 등이 이에 屬한다.

세번째의 것은 以上の 負荷 등을 充足시키기 爲하여 熱源機器(冷凍機 또는 보일러 등)

가 必要로 하는 燃料과 에너지量을 求하는 것이다. 여기에서는 機器의 定格 또는 部分負荷의 效率 그리고 特性 등을 考慮하지 않으면 안된다.

에너지 算定法에는 크게 다음의 세가지 方法이 있다.

(1) 單一量法(Single-Measure Method): 가장 簡單한 方法으로서 에너지 所要量은 外氣溫度 하나만의 函數라고 假定해서 求하는 度日法(Degree Day Method)이 이에 屬한다.

(2) 複數量概算法(Simplified Multiple-Measure Methods)

特定 運轉條件下에 豫想되는 運轉時間數와 같은 資料를 使用해서 위의 方法보다 높은 正確度를 얻을 수 있는 方法으로서 가장 잘 알려져 있는 Bin Method (箱子法)가 이에 屬한다.

(3) 시뮬레이션 精密法(Detailed Simulation Method): 現在 使用되고 있는 가장 精巧한 方法으로서 이 方法에서는 어느 解析期間(普通은 一年)에 걸쳐서 每時期의 에너지 平衡計算을 한다. 이 方法은 每時間의 氣象資料 뿐만 아니라 電燈 및 在室者 등에 대한 매시간의 內部 負荷를 必要로 한다.

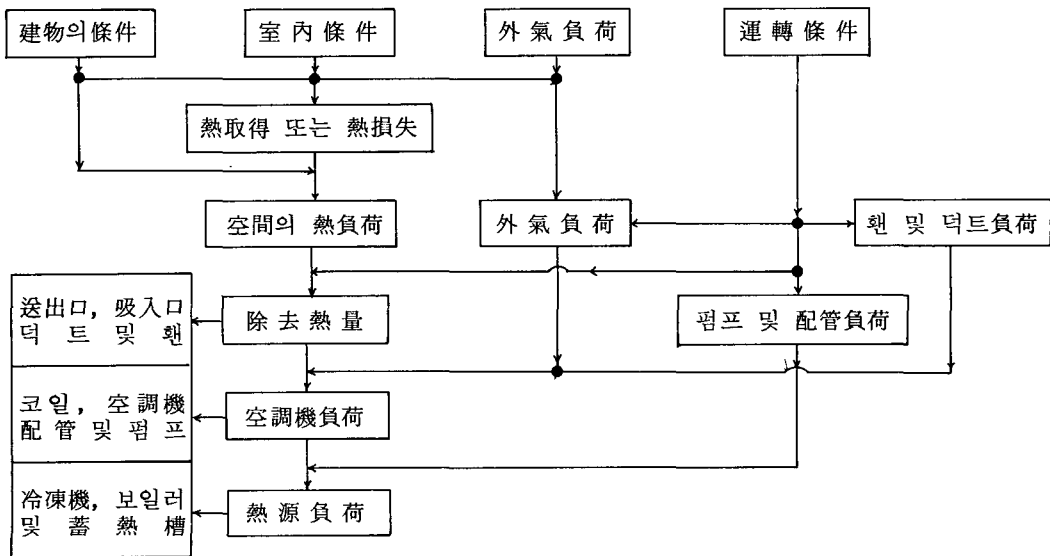


그림 1 除去熱, 空調負荷 및 熱源負荷

冷房에 所要되는 에너지量算定에 等價全負荷 時間技法이 小形 商用建物에 종종 使用되지만 一般的으로 이 單一量法은 住宅에만 適用되는 方法이다. 生活慣習의 差때문에 同一한 두 住宅의 境遇에도 에너지使用 樣式(energy use pattern)이 크게 달라질 수 있다.

3. 暖房에너지量

3.1 度日法

暖房에너지 所要量算定の 度日法은 長期間의 平均値를 보아 太陽熱 및 內部熱取得이 하루의 平均 外氣溫度가 18.3°C(65°F)일 때 熱損失을 相殺하며 또 燃料消費量은 이 하루의 平均 外氣溫도와 18.3°C(65°F)의 差에 比例한다는 假定에 根據를 둔 算定法이다.

이 概念은 에너지消費量이 算定期間中の 度일에 比例한다는 것을 나타내어 다음의 式으로 表示할 수 있다.

$$E = \frac{H_L \cdot D \cdot 24}{\Delta t \cdot k \cdot V} (C_D) \dots\dots\dots (1)$$

여기서

E = 算定期間中の 燃料 또는 에너지消費量, kWh 또는 kcal

H_L = 侵入空氣 및 換氣를 包含한 設計熱損失, W 또는 kcal/h

D = 算定期間中の 18.3°C(65°F)基準의 度日數

Δt = 設計溫度差, °C(°F)

k = 定格 全負荷效率, 部分負荷性能, 지나치게 큰 容量 및 에너지節約 裝置 등의 影響을 包含한 修正係數

V = 燃料의 發熱量, (H_L 및 E 의 單位와 一致되는 單位)

C_D = 暖房效果對 18.3°C(65°F) 度일에 대한 經驗修正係數

이 式에서 $H_L/\Delta t$ 는 全體 熱傳達係數(UA)를 그리고 D 는 하루에 대해서 平均을 取한 內外溫度差로 볼 수 있으므로 그 相乘積은 하루에 대한 暖房負荷를 意味한다. 燃料의 發熱量으로 나누면 하루에 所要되는 理想的인 燃料量을 준다. 24는 1日 24時間인 單位變換

常數다. 係數 k 및 C_D 는 經驗値로서 各定義에서 言及한 各種 影響을 考慮하고자 한 것이다. 暖房負荷 H_L 은 에너지所要量을 求하고자 하는 特定住宅에 대하여 求하여야 한다. 이때 建物の 크기, 材料, 用途 및 氣候條件등을 考慮하여야 하고 一般的으로 尖頭設計 暖房負荷를 使用한다. ASHRAE Handbook에는 各主要都市의 月間 및 年間度日의 平均數를 掲載하고 있다. 이 값들은 30年期의 期間에 대한 月間平均溫도의 統計로부터 計算된 것이다.

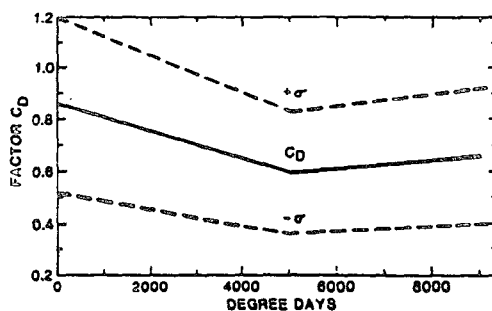


Figure 2. Correction Factor, C_D , vs. Degree Days

그림 2 度日 對 修正係數 C_D

18.3°C(65°F) 基準의 算定方法에서 固有한 誤差는 經驗係數 C_D 를 使用해서 調整할 수 있다. 그림 2는 이 값을 보여준 것으로서 典型的인 現代式 單一世帶 構造(ASHRAE 規格 90-80)를 使用해서 計算한 것이고 一般的으로 電氣設備의 經驗値와 一致한다.

度日法은 適用이 쉬운 것, 迅速한 計算에 適合한 것 그리고 方法의 簡便性 등 長點을 지니고 있으나 在室者 生活慣習의 多樣性과 이 方法에서 세운 假定 등 때문에 實際의 燃料使用量과 큰 差異를 보여주는 短點을 갖는다.

例題 1. 美國 오하이오의 톨레도(暖房度日 3,608°C-day)의 한 新築住宅에 輕油보일러를 設置하였다. 이 住宅의 熱損失은 19,200 W이고 輕油의 發熱量은 11,100 Wh/l 다. 톨레도의 外氣設計溫度는 -23°C이고 室內設計溫度는 21°C다. 보일러의 暖房季節中 燃料消

費量을 求하여라. 輕油보일러의 全負荷效率, 部分負荷特性, 크기 및 에너지節約裝置 등의 影響을 考慮한 修正係數, k 는 0.65로 보고 經驗 修正係數, C_D 는 0.6이다.

(풀이)

$$E = \frac{19,200(3,608)24}{[21 - (-23)](0.65)11,100} (0.60)$$

$$= 3,142 \ell$$

例題 2. 오하이오의 클리블랜드에 있는 한 事務所 建物の 熱損失이 800,000 kcal/h이다. 에너지節約을 하고자 하루중 8時間(밤 11時에서 아침 7時까지) 동안 室內溫度를 21°C에서 18°C로 낮춘다. (1) 時間加重平均 室內溫度와 (2) 暖房季節中の 水蒸氣의 節約百分率을 求하여라. 클리블랜드의 暖房度日은 3,413°C-day이고 外氣設計溫度는 -18°C이다. 蒸氣 1kg當의 放出熱量은 551 kcal/kg이다. 修正係數, C_D , k 는 各各 0.61 및 0.6으로 본다.

(풀이) 먼저 室內外 設計溫度差가 21 - (-18) = 39°C일 때의 季節에 所要되는 蒸氣量을 求한다. 季節中の 所要 暖房熱量, E 는

$$E = \frac{800,000(4,413)24}{39(0.6)} (0.61)$$

$$= 1,708 \times 10^6 \text{ kcal}$$

따라서 蒸氣所要量, S 는

$$S = \frac{1,708 \times 10^6}{551} = 310 \times 10^4 \text{ kg}$$

(1) 加重平均 室內溫度, t_{avg}

$$t_{avg} = \frac{(24 - 8)21 + (8)18}{24} = 20^\circ\text{C}$$

(2) 클리블랜드의 月別 平均度日은 다음과 같다.

月	8 및 9月	10月	11月	1月
度日	59	197	380	635
月	2月	3月	4月	6 및 7月
度日	593	487	307	35

10月 1日에서 5月 31日까지의 日數는 243

日이다. 暖房期間을 243日로 잡고 이 期間의 平均外氣溫度, t_o 는

$$3,413 = 243(18.3 - t_o)$$

$$t_o = 4.3^\circ\text{C}$$

室內溫度 21°C일 때 季節中에 必要한 水蒸氣量 310 × 10⁴ kg은, 室內溫度를 20°C(위의 t_{avg})라고 본다면 다음과 같이 減少한다.

$$S = 310 \times 10^4 \left(\frac{20 - 4.3}{21 - 4.3} \right)$$

$$= 310 \times 10^4 (0.94)$$

$$= 291 \times 10^4 \text{ kg/season}$$

따라서 節約率(%)은 6%이다.

3.2 可變基準度日法

可變基準度日法(Variable base degree day, VBDD)은 널리 使用되고 있는 度日法을 一般化시킨 것이다. 이것은 잘 알려지고 있는 度日의 概念을 지니고 있으면서 建物이 暖房이나 冷房을 要하지 않는 平均外氣溫度로 定義한 平衡點溫度(balance point temperature)를 基準으로 한 度日을 計算에 넣고 있다.

建物로부터 傳達되어 나가는 에너지는 室內空間과 外氣 사이의 溫度差에 比例하지만, 度日의 計算過程은 暖房機器는 照明, 電熱機器, 在室者 그리고 太陽熱 등과 같은 內部熱源으로부터 나오는 공짜의 熱이 많고 있지않는 部分만을 充足시킬 필요가 있다는 것을 알려주고자 하고 있다.

바꿔 말하면 이 공짜의 熱은 空間의 에너지 所要量이 平衡點溫도와 外氣溫度와의 差에 比例하는 最上限인 平衡點溫度까지(室內溫度로부터 아래를 向하여 平衡點溫度까지)의 에너지要求量을 맡고 있다.

平衡溫度 T_b 는 室內溫度, 建物の 熱特性, 電熱機器의 熱, 太陽 및 그 밖의 空調裝置와 關聯이 없는 熱源 등에 따라 달라진다. 定常狀態下的 建物の 暖房所要量 Q_H 는

$$Q_H = BLC(T_i - T_o) - Q_g \dots\dots\dots (2)$$

여기서

- BLC : 建物の 損失係數, W/°C
- T_i : 室內溫度, °C
- T_o : 外氣溫度, °C
- Q_g : 空調裝置와 關聯이 없는 空間의 모든 熱取得量, W/°C

여기서, 平衡溫度는 $Q_H = 0$ 으로 놓고 求할 수 있다. (2)式에서 $T_o = T_b$ 로 놓고 이에 대하여 풀면

$$T_b = T_i - Q_g / BLC \dots\dots\dots (3)$$

—但 平衡溫度가 求해지면 에너지消費量은 다음과 같이 求할 수 있다.

$$E_H = \frac{24 \cdot BLC \cdot DD_{Tb}}{k} \dots\dots\dots (4)$$

여기서

- DD_{Tb} : 基準溫度 T_b 까지에 對하여 計算한 度日
- k : (1)式에서의 같은 修正係數

E_H 는 며칠 程度의 短期間 그리고 한 季節 程度의 長期間의 여러가지 期間에 對하여 計算할 수 있기 때문에 VBDD의 概念에 固有하게 存在하는 相當한 伸縮性이 있다.

萬一 E_{Hi} 를 季節全體보다 짧은 期間에 對하여 計算한다면 總季節所要量 E_{HT} 는 다음과 같이 된다.

$$E_{HT} = \sum_{i=1}^N E_{Hi} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 N 은 月別로 計算한다면 $N = 12$ 가 된다.

從來의 18.3 °C 基準度日은 1930 年代에 만들어진 것이다. 그때 以來 內部熱源 으로부터의 熱取得量은 相當하게 增加하였고 建物の 熱量流量은 保溫의 強化로 줄어 들었다. 이 두가지는 (3)式의 平衡點 溫度를 低下시켰다. 따라서 18.3 °C基準의 度日法計算은 大部分 現代의인 建物에서의 에너지負荷를 過大하게 豫測해 준다.

VBDD法은 基本的으로 住居用 建物에 使用되는 方法이다. 修正度日法에 比하여 이

VBDD法에서의 主要改善點은 變化하는 內部熱取得量과 太陽熱取得量을 直接 모델링할 수 있는 能力이다. 따라서 VBDD法은 小形의 商用 및 産業用을 包含한 廣範圍한 建物에도 適用할 수 있다.

4. 冷房에너지量

冷房에너지 所要量을 求하는 單一量法은 暖房에 對한 것보다 잘되어 있다고 볼 수 없다. 冷房時의 內外溫度差가 暖房時보다 훨씬 작으며 따라서 冷房負荷는 太陽熱과 內部熱 등의 因子에 크게 左右되기 때문이다. 그리고 이들 負荷는 建物の 生김새에 따라 아주 달라지기 때문에 溫度差만 가지고 冷房에너지 所要量과의 關係를 求한다는 것은 成功的인 方法이라고 볼 수 없다. 그럼에도 不拘하고 冷房에너지 所要量의 算定에는 等價全負荷時間法과 冷房度日法의 두가지가 있다.

4.1 等價全負荷時間法

이 方法은 正常的인 冷房季節의 期間中 適正規模의 機器가 全負荷로 運轉한다고 볼 때 求하여지는 等價運轉時間을 電氣設備會社가 室內溫度 23.9 °C (75 °F)를 잡고 調査 研究한 資料, ERFLH (Equivalent Rated Full Load Hour) 表 1로부터 年間에너지 所要費用을 算定하는 方法이다.

表 2는 各種의 機械式 壓縮사이클 空調機에 對하여 設計條件下에서의 大略的인 電力入力 PI (冷凍容量當)을 나타낸 것이다. 따라서 空調機容量 CC라 할 때 年間電氣에너지 入力 AEEI는 아래 式으로부터 求할 수 있다.

$$AEEI \text{ (kW-h/season)} = PI \text{ (kW/kW)} \cdot CC \text{ (kW)} \cdot ERFLH \text{ (h/season)} \dots (2)$$

住宅用은 낮은 값을 그리고 小形商用 建物は 높은 값을 使用한다.

4.2 冷房度日法

暖房度日과 같은 方法으로 冷房所要에너지를 豫想할 수 있다. 基準 溫度(base temper-

表 1 正常的인 冷房季節期間의 適正規模機器에 對한 等價全負荷 運轉時間의 調査資料

Estimated Equivalent Rated Full Load Hours of Operation for Properly Sized Equipment During Normal Cooling Season

Albuquerque, NM	800-2200	Indianapolis, IN	600-1600
Atlantic City, NJ	500-800	Little Rock, AR	1400-2400
Birmingham, AL	1200-2200	Minneapolis, MN	400-800
Boston, MA	400-1200	New Orleans, LA	1400-2800
Burlington, VT	200-600	New York, NY	500-1000
Charlotte, NC	700-1100	Newark, NJ	400-900
Chicago, IL	500-1000	Oklahoma City, OK	1100-2000
Cleveland, OH	400-800	Pittsburgh, PA	900-1200
Cincinnati, OH	1000-1500	Rapid City, SD	800-1000
Columbia, SC	1200-1400	St. Joseph, MO	1000-1600
Corpus Christi, TX	2000-2500	St. Petersburg, FL	1500-2700
Dallas, TX	1200-1600	San Diego, CA	800-1700
Denver, CO	400-800	Savannah, GA	1200-1400
Des Moines, IA	600-1000	Seattle, WA	400-1200
Detroit, MI	700-1000	Syracuse, NY	200-1000
Duluth, MN	300-500	Trenton, NJ	300-1000
El Paso, TX	1000-1400	Tulsa, OK	1500-2200
Honolulu, HI	1500-3500	Washington, DC	700-1200

表 2 動力入力の 近似值

Approximate Power Inputs

System	Compressor kW/kW (kW/ton)	Auxiliaries kW/kW (kW/ton)
Window Units	0.415 (1.46)	0.091 (0.32)
Through-Wall Units	0.466 (1.64)	0.085 (0.30)
Dwelling Unit, Central Air-Cooled	0.423 (1.49)	0.040 (0.14)
Central, Group, or Bldg. Cooling Plants (3 to 25 tons) Air-Cooled	0.341 (1.20)	0.057 (0.20)
(25 to 100 tons) Air-Cooled	0.330 (1.18)	0.060 (0.21)
(25 to 100 tons) Water-Cooled	0.267 (0.94)	0.048 (0.17)
(Over 100 tons) Water-Cooled	0.225 (0.79)	0.057 (0.20)

ature)는 18.3°C (65°F)를 잡을 수 있으나 7.2°C (45°F)에서 18.3°C (65°F) 사이의 범위에 대한 度日이 만들어져 있다. (表 3)

5. 箱子法

外氣溫도의 變化에 따라 空氣調和機 및 熱펌프의 性能은 크게 달라지고 暖房 및 冷房負荷係數의 變化에 따라서도 이들 機器의 性能이 달라진다. 住宅의 暖冷房裝置에서 에너지의 消費에 至大한 影響을 주는 이러한 要因들을 考慮하지 않고 위의 單一量法에 의하여 에너지消費量을 豫測한다면 結果는 아주 不正確한 結果를 나타낸다. 이처럼 熱펌프의 性能은 外氣溫의 影響을 너무나 크게 받으므로 度日法의 使用은 失敗를 가져온다. 이에 따라 하나 이상의 變數를 使用해서 에너지를 算定하는 複數量概算法이 考慮되었다. 이 方法에는

表 3 冷房 度日

Cooling Degree Days (CCD), to Base 18.3°C (65 F) and Cooling Hours (CH) over 26.7°C (80 F)*

City, State	CCD °C-days (F-days)	CH h
Albuquerque, NM	747.2 (1345)	922
Albany, NY	273.2 (492)	267
Amarillo, TX	698.9 (1258)	951
Atlanta, GA	816.1 (1469)	695
Birmingham, AL	918.9 (1654)	1020
Bismark, ND	293.3 (528)	545
Brownsville, TX	2159.4 (3851)	2304
Butte, ID	416.1 (749)	715
Boston, MA	374.4 (674)	310
Buffalo, NY	222.2 (400)	157
Burlington, VT	204.4 (368)	232
Charleston, SC	1101.7 (1983)	1084
Cheyenne, WY	171.1 (308)	299
Chicago, IL	396.1 (713)	377
Cincinnati, OH	637.2 (1147)	663
Cleveland, OH	377.3 (670)	364
Columbia, MO	669.4 (1205)	765
Detroit, MI	381.7 (687)	372
Dodge, KS	736.7 (1326)	986
El Paso, TX	1083.9 (1951)	1576
Fort Worth, TX	1389.9 (2500)	1872
Fresno, CA	910.6 (1639)	1377
Great Falls, MT	190.6 (343)	299
Houston, TX	1525.0 (2745)	1593
Indianapolis, IN	501.1 (902)	542
Jackson, MS	1311.7 (2361)	1490
Jacksonville, FL	1517.2 (2731)	1509
Kansas City, MO	819.4 (1475)	1034
Lake Charles, LA	1462.8 (2633)	1463
Los Angeles, CA	198.3 (357)	73
Louisville, KY	670.6 (1207)	696
Lubbock, TX	876.1 (1557)	1234
Madison, WI	235.6 (424)	293
Medford, OR	253.2 (456)	358
Memphis, TN	1040.9 (1872)	1272
Miami, FL	2327.2 (4189)	2495
Minneapolis, MN	496.7 (894)	607
Nashville, TN	831.1 (1496)	893
New Orleans, LA	1473.9 (2653)	1419
New York, NY	570.6 (1027)	377
Norfolk, VA	754.4 (1358)	634
Oklahoma City, OK	1045.8 (1883)	1280
Omaha, NE	559.4 (1007)	738
Philadelphia, PA	600.6 (1081)	563
Phoenix, AZ	1852.2 (3334)	2710
Pittsburgh, PA	406.7 (732)	390
Portland, ME	162.2 (292)	181
Portland, OR	137.8 (248)	200
Raleigh, NC	752.8 (1355)	750
Richmond, VA	686.7 (1236)	684
Sacramento, CA	540.6 (973)	851
Salt Lake City, UT	532.2 (958)	844
San Antonio, TX	1588.9 (2860)	1816
San Diego, CA	313.3 (600)	55
San Francisco, CA	54.4 (98)	58
Saint Louis, MO	772.2 (1390)	927
Seattle, Tacoma, WA	74.4 (134)	116
Tampa, FL	1751.1 (3152)	1794
Tulsa, OK	955.0 (1719)	1142
Washington, DC	828.3 (1491)	939

*From NOAA's ten reference year (TRV) weather tapes.

表 4 例題 3 의 熱펌프特性

Heat Pump Characteristics for Example								
Outdoor Coil Entering Air Temp. °C (F)	-12.2 (10)	-6.7 (20)	-1.1 (30)	4.4 (40)	7.2 (45)	10.0 (50)	15.6 (60)	21.1 (70)
Heating Capacity, W	5566.9	718.	8643.4	9961.9	10 547.9	11 133.9	11 954.3	12 364.5
Btu/h	19 000	24 500	29 500	34 000	36 000	38 000	40 800	42 200
Unit kW Input	3.17	3.45	3.73	3.99	4.11	4.23	4.47	4.67
COP	1.75	2.07	2.32	2.51	2.58	2.63	2.68	2.62

表 5 氣象出現時間數

LOCATION	HOURLY WEATHER OCCURRENCES																			
	OUTDOOR TEMPERATURE, °F																			
	23.2	19.4	16.7	13.9	11.1	8.3	5.6	2.0	0.0	-2.0	-5.0	-8.2	-11.1	-13.9	-16.7	-19.4	-23.2	-25.0	-27.0	
Louisville, KY	869	758	693	654	619	634	649	703	631	332	169	97	45	25	8	0	0	0	0	1
Lubbock, TX	833	829	688	700	642	618	620	546	490	345	180	86	33	7	3	1	0	0	0	0
Memphis, TN	977	798	715	690	618	633	614	532	376	195	76	25	10	4	0	0	0	0	0	0
Miami, FL	1705	810	452	277	147	71	26	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Milwaukee, WI	597	733	749	634	582	591	611	774	613	659	421	285	176	116	93	47	18	4	0	3
Minneapolis, MN	621	690	695	602	528	482	500	560	632	609	516	383	311	246	186	119	62	31	10	0
Mobile, AL	1411	1038	882	698	609	506	377	214	109	60	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Nashville, TN	933	838	738	697	637	619	627	563	453	303	132	67	20	9	3	1	1	0	0	0
New Orleans, LA	1189	987	850	692	621	449	262	128	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
New York, NY	926	877	754	745	722	796	838	858	693	330	168	2	26	10	1	0	0	0	0	0
Oklahoma City, OK	851	769	717	643	645	611	641	570	458	307	133	77	56	12	3	1	0	0	0	0
Omaha, NB	726	721	606	538	339	543	543	653	631	311	390	207	109	115	93	49	15	1	0	0
Philadelphia, PA	863	809	735	710	863	701	758	818	654	335	189	100	32	0	0	0	0	0	0	0
Phoenix, AZ	762	776	767	769	639	540	391	182	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pittsburgh, PA	722	910	799	678	637	587	631	683	809	776	350	333	159	60	30	7	1	0	0	0
Portland, ME	407	627	780	808	760	748	722	839	620	599	499	293	159	169	69	20	13	3	1	0
Portland, OR	373	581	1021	1316	1274	1271	1238	772	343	123	49	10	6	1	0	0	0	0	0	0
Raleigh, NC	1087	937	848	762	707	612	638	523	410	235	103	36	11	1	0	0	0	0	0	0
Reno, NV	416	477	373	690	843	909	850	829	733	510	387	237	101	37	15	6	1	0	0	0
Richmond, VA	953	850	784	745	690	673	699	632	478	283	130	67	19	2	1	0	0	0	0	0
Sacramento, CA	430	773	1071	1329	1298	1049	701	355	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salt Lake City, UT	569	615	614	635	682	683	753	831	790	904	380	180	60	41	10	3	0	0	0	0
San Antonio, TX	1086	943	789	669	569	443	387	190	64	31	11	6	1	1	0	0	0	0	0	0
San Francisco, CA	285	665	1264	2341	2341	1153	649	99	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seattle, WA	258	448	750	1272	1462	1463	1408	914	427	104	39	20	3	0	0	0	0	0	0	0
Shreveport, LA	1063	886	772	679	619	609	516	361	223	72	23	6	2	0	0	0	0	0	0	0
Sioux Falls, SD	566	684	669	605	322	498	501	625	712	385	220	648	293	208	132	102	50	49	10	0
St. Louis, MO	823	728	646	575	583	378	620	671	650	411	219	134	77	40	15	7	1	0	0	0
Syracuse, NY	627	735	723	717	656	641	651	720	610	547	392	282	190	102	53	20	9	3	2	0
Tampa, FL	1387	1187	877	570	345	216	137	48	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waco, TX	909	830	701	622	651	558	501	334	316	24	24	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Washington, DC	960	766	740	673	690	684	790	744	542	234	138	54	17	2	0	0	0	0	0	0
Wichita, KS	758	709	641	603	589	593	611	584	497	426	273	161	83	43	14	3	1	0	0	0

(1) 箱子法(Bin method)
 (2) 修正箱子法(Modified Bin method)
 (3) 圖式方法(Graphical method)
 등이 있다.
 이 중 箱子法에 對해서만 아래에 說明한다.
 溫度頻度를 使用한 箱子法 또는 溫度頻度法(temperature frequency method)을 使用해서 暖房 및 冷房負荷를 算定할 수 있다. 이것은 數個의 다른 外氣乾球溫度에서 各 瞬間의 에너지計算을 하고 各 結果值에 各 bin 에서의 溫度出現時間數를 곱하여 加重計算을 하는 過程을 밟는다. 各 bin은 普通 2.78 °C(5 °F)幅의 크기로 잡고 8時間 3部制로 資料를 수집

한다. 各 乾球溫度 bin에 對한 그때의 平均濕度資料를 使用해서 侵入空氣와 換氣의 潛熱冷房負荷를 計算한다. 建物の 在室 및 非在室狀態를 모두 考慮하고 平衡點溫度를 調整하여 内部負荷에 對해서도 配慮를 한다.
 例題 3. 溫度差 33.3 °C(60 °F)에서 19.04 kw(65,000 Btu/h)의 設計 熱損失量을 가지고 있는 Washington, DC 所在의 한 住宅의 에너지 所要量을 求하라. 表 4에 定하여져 있는 特性을 가진 熱펌프(10.55 kW(3-ton)의 容量)를 設備하고 있다. 度日에 對한 修正係數 C_D는 0.79이다.

(풀이)

1도에 대한 熱損失을 위의 修正係數로 調整하면

$$(H_L/4t) C_D = \left(\frac{19.04}{33.33}\right) 0.79 = 0.4513 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$(855.7 \text{ Btu/h} \cdot \text{F})$$

이 451 W/°C의 값으로부터 表 4 및 表 5 등의 값을 使用해서 表 6이 作成된다. 表 6에 示 熱펌프 入力에너지 10,243 kW/h와 補助抵抗 熱에너지 1,238 kW/h를 얻는다. 따라서 總 에너지 所要量은 11,481 kW/h가 된다.

表 6 熱펌프에너지의 計算(例題)

Table 7 Calculation of Heat Pump Energy (Example)

Outdoor Temp A	Heat Loss per Degree B	Outdoor Temp - Balance Temp C	Heat Pump Heating						Supplementary Heating			
			Heat Loss (B × C) D	Heat Pump Capacity (Table 4) E	Frac. On-Time for Pump (D/E) F	Pump Input Power (Table 4) G	Seasonal Heating Hours (Table 5) H	Pump Input Energy (F × G × H) I	Resist. Heat Req'd (D - E) J	Resist. Heat Input (J/1000) K	Resist. Heat Energy (H × K) L	
Part A. SI Units												
°C	W/°C	°C	W	W		kW	h	kWh	W	kW	kWh	
16.7	Constant	1.6	722	12 036	0.060	4.51	740	200	0	0	—	
13.9		4.4	1987	11 705	0.170	4.40	673	506	0	0	—	
11.1		7.2	3251	11 295	0.288	4.28	690	853	0	0	—	
8.3		10.0	4515	10 778	0.419	4.16	684	1192	0	0	—	
5.6		12.7	5734	10 213	0.561	4.04	790	1806	0	0	—	
2.8		15.3	6998	9578	0.731	3.91	744	2135	0	0	—	
0		18.3	8263	8907	0.928	3.78	542	1903	0	0	—	
-2.8		21.1	9527	8199	1.0	3.65	254	927	1328	1.33	338	
-5.6		23.9	10 790	7466	1.0	3.51	138	484	3324	3.32	458	
-8.3		26.6	12 010	6710	1.0	3.37	54	182	5300	5.30	286	
-11.1		29.4	13 274	5889	1.0	3.23	17	55	7385	7.39	126	
-13.9		32.2	14 538	OFF	—	—	—	2	—	14 538	14.54	29
-16.7												
-19.4												
-25.0												
-27.8												
Totals									10 243			1237
Part B. Customary Units												
F	Btu/h · F	F	Btu/h	Btu/h		kW	h	kWh	Btu/h	kW	kWh	
62	Constant	3	2568	41 080	0.063	4.51	740	200	0	0	—	
57		8	6848	39 960	0.171	4.40	673	506	0	0	—	
52		13	11 128	38 560	0.289	4.28	690	853	0	0	—	
47		18	15 408	36 800	0.419	4.16	684	1192	0	0	—	
42		23	19 688	34 800	0.566	4.04	790	1806	0	0	—	
37		28	23 968	32 650	0.734	3.91	744	2135	0	0	—	
32		33	28 248	30 400	0.929	3.78	542	1903	0	0	—	
27		38	32 528	28 000	1.0	3.65	254	927	4528	1.33	338	
22		43	36 808	25 500	1.0	3.51	138	484	11 308	3.31	457	
17		48	41 088	22 850	1.0	3.37	54	182	18 238	5.34	288	
12		53	45 368	20 100	1.0	3.23	17	55	25 268	7.40	126	
7		58	49 648	OFF	—	—	—	2	—	49 648	14.55	29
2		63										
-3		68										
-8		73										
-13		78										
-18		83										
Totals								10 243			1238	