

冷凍裝置의 設計

金 鳳 彬*

1. 序 論

冷凍裝置의 設計는 空氣調和 및 冷凍工學分野에 從事하는 사람은 누구나 할 수 있다고 自負하고 있는 것이 우리나라의 實情인 것 같다. 그 理由는 容量이 작은 것은 家庭用 電氣冷藏庫 및 쇼오케이스(show case) 製作에서부터 容量이 큰 것은 製氷工場 및 冷凍裝置를 要하는 生産工場의 冷藏庫建立에 이르기까지 우리나라의 技術者에 依하여 遂行되고 있다.

設計 製作 및 施工이 優秀하게 遂行되어 正常的인 運轉이 되는 工場도 있지만 그 反面에 設計에서부터 無理가 있어 數年間을 無理한 運轉을 하며 完全한 機能을 發揮하지 못하는 冷凍裝置를 여러곳에서 보고 들었다. 앞으로는 이러한 事例가 적어지게 되고 또한 새로이 冷凍工學에 關心을 갖게 되는 技術者를 爲하여 多少나마 參考가 되기를 바라며 連載하고자 한다.

2. 冷凍負荷 計算

冷凍負荷 計算을 進行하기 爲하여는 다음 事項을 調査하고 方針을 定하게 된다.

(가) 環境에 關한 事項

- ① 敷地 및 公害(有毒가스, 騒音, 其他냄새) 方止策이 必要할 것인가?
- ② 電力 및 用水의 確保가 容易한가?
- ③ 大型機器를 搬入할 수 있는 進入路가 있는가?
- ④ 荷役作業이 容易할 것인가?
- ⑤ 排水施設을 할 수 있는가?

(나) 收容物品과 收容客量에 關한 事項

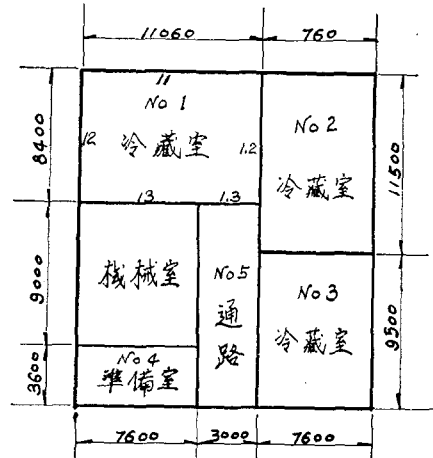
- ① 企業主 또는 建築設計者가 冷藏 冷凍의 크기 및 室內維持溫度 및 溫度를 定하였을 때는 그 要求에 따름.
- ② ①과 같이 定하지 않았다면 1日 收容量과 收容期間을 定함
- ③ 收容될 物品의 種類別 冷藏室이 必要한가를 定함.
- ④ 收容物品의 勾裝有無와 最大許容冷却時間 凍結時間

2-1 建物에서의 侵入熱負荷

冷凍負荷의 計算에 必要한 式은 理解하면서도 實際로 適應시키는 것이 서툴러서 本意아닌 失手를 하는 事例를 보게 되므로 이번 機會에는 例題로서 說明하기로 試圖하였다.

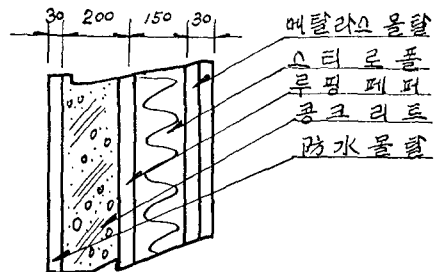
例題 2.1. 그림 2.1. 과 같은 冷藏室에 對한 冷凍負荷를 算定하라.

但 建物에 對한 諸要素는 表로 提示한다.



天井高 4500

그림 2.1. 平面圖



單位 mm

그림 2.2. 外壁構造의 例

* 正會員, 漢陽大學校 工科大學 講師

冷凍裝置의 設計

表 2.1.

冷藏室使用條件

設計溫度 外氣 32°C db. 27°C wb. 屋上 35°C 床下 20°C					
室의 種別	冷 藏 室			準 備 室	通 路
室의 No.	1	2	3	4	5
室內維持溫度	-18	-18	-18	-5	-2
冷却方式	天井코일	左 同	左 同	유니트쿨러	유니트쿨러
收容食品	凍結魚物	左 同	左 同	生 鮮	—
收容量 Ton	100	100	80	5	—
冷凍稼動周期	30	30	30	1	
作業人員	6	6	6	4	2
作業延時間 h/day	2	2	2	0.5	4
電燈의 電力 kw	1	1	1	1.4	1.4

表 2.2. 熱絕緣두께와 熱傳達係數

區 分		熱絕緣두께 mm	熱傳達係數 kcal/m ² h°C
冷藏室	外壁, 天井, 바닥	150	0.20
	冷藏室 相互 間壁	100	0.34
	準備室 通路와의 間壁	125	0.28
	機械室과의 間壁	150	0.24
準備室 通路	外壁, 天井, 바닥	100	0.34
	機械室과의 間壁	125	0.28

但 各室의 出入門은 內壁의 熱傳達係數와 同一함

【解】 (1) 建物의 熱負荷

그림 1.2. 의 外壁의 熱傳達係數를 求함

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

No. 1. 冷藏室의 建物에서의 侵入熱負荷

區分 및 壁番號	面 A m ² 積	熱傳達係數 K kcal/m ² h°C	室 t _r °C 溫	外側溫度 t _o °C	t _o - t _r °C	熱 量 Q Kcal/H Q = KAΔt
外 壁 11	47.7	0.20	-18	32	50	477
外 壁 12	37.8	0.20	//	32	50	378
機 械 室 側 13	34.2	0.24	//	30	48	394
間 막 이 1.2	37.8	0.34	//	-18	0	0
間 막 이 1.3	13.5	0.24	//	-2	16	52
天 井	89	0.20	//	35	53	944
바 닥	89	0.20	//	20	38	676
計						2,925

$$= \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{0.2}{1.3} + \frac{0.15}{0.033} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{1}{8}}$$

$$= \frac{1}{4.924} \div 0.20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

內壁 및 天井等의 熱傳達係數는 위의 式과 같은 方法으로 求함.

위의 같은 方法으로 No.2 冷藏室부터 No.5 通路까지를 求하면 다음과 같이 된다.

建物에서의 侵入熱量

室番號	1	2	3	4	5	計
Q _w Kcal/H	2,925	2,970	2,770	1,400	540	10,605

2-2 換氣에 依한 熱量

冷藏庫에서의 換氣의 必要性은 作業人에게 新鮮한 空氣를 供給하는 同時에 收容物이 特히 野菜나 果物일 때

는 이들 物品의 生命이 남아 있을 때는 呼吸을 하며 CO₂를 排出하게 되므로 庫內에 새로운 空氣가 要求된다.

冷藏庫는 一般의 無窓建物이고 出入門틈으로 隙間風으로 또는 出入門 開閉時에 風壓에 依하여 門의 下半部로 室內의 空氣가 흘러나가고 上半部로는 外氣가 室內로 흘러들어오는 煙突效果에 依한 換氣가 이루어진다. 이때 換氣量을 計算하는 것은 空氣의 流速을 想定하고 稼動條件에 따르는 出入門의 開閉回數와 1回當의 開放時間을 經驗에 依하여 定한다.

冷藏室의 內部體積을 Vm^3 이고 1日當의 換氣量 V_d m^3/day 라면

$$n = \frac{V_d}{V} \quad (2.2)$$

n 를 換氣回數라고 하며 n 는 回/day 或은 回/24H의 單位로 表示한다.

設計時에 參考로 할 수 있는 換氣回數 n 을 表 2.3.에 그리고 이 換氣量에 對한 熱量은 濕空氣線圖에서 엔탈피를 찾아 計算하는 것이 簡單하다.

表 2.3. 換 氣 回 數

冷藏室內部體積 Vm^3	換 氣 回 數 n 回/24H
50	9.9
100	6.7
200	4.6
300	3.75
400	3.15
500	2.8
750	2.25
1,000	1.9
1,500	1.55
2,000	1.3
3,000	1.05

冷藏室의 換氣熱은 實際에 있어서 建物の 侵入熱負荷 Q_w 와 食品의 熱負荷 Q_f 에 比하면 大端히 少量이다.

그 理由는 그림 1.1.에서 보는 바와 같이 冷藏室의 出入門은 準備室과 通路를 통한 後에 位置하므로 換氣는 準備室과 通路를 통하여 豫冷된 後에 冷藏室에 들어가게 된다. 또한 準備室이나 通路의 出入門은 外面에 直面하고 物品의 搬入과 搬出의 時間이 길 때는 出入門에 에어커튼(Air Curtain)을 設置하여 冷熱이 外部로 흘러

나오고 外氣가 흘러들어가는 것을 積極의 防止하고 있다.

위에서 說明한 바와 같이 準備室과 通路는 換氣에 對한 熱負荷가 그 冷凍負荷의 主體라고도 할 수 있으므로 Unit Cooler의 熱負荷를 換氣에 對한 熱量을 充分히 考慮하여야 한다.

換氣에 依한 熱量

例題 2.2. 그림 1.1.의 準備室 및 通路에 對한 換氣에 依한 熱量을 計算하라.

但 出入口를 통한 換氣量은 25kg/min로 하고 門의 開放은 作業時間 1回當 平均 15分으로 想定한다.

【解】(1) 準備室에 對한 換氣熱量 Q_{v1} 準備室 $-5^{\circ}C$ 에 對한 엔탈피 $-0.4kcal/kg$, 外氣 $32^{\circ}C$ 60%일때의 엔탈피 $18.7kcal/kg$.

$$Q_{v1} = 25 \times 15 \times (18.7 + 0.4) = 7,150kcal/day \quad (2.3)$$

(2) 通路에 對한 換氣熱量

冷藏室의 總內部體積 $V=1,120m^3$ 이므로 表 2.3.에 서 大略 $n=1.8$ 을 擇하고, 換氣의 比體積을 $0.83m^3/kg$ 로 하면 換氣量 G_a 는

$$G_a = \frac{V_d}{v_a} = \frac{nV}{v_a} = \frac{1.8 \times 1,120}{0.83} \approx 2,430kg/H \quad (2.4)$$

$$Q_{v2} = G_a(i_{a2} - i_{a1}) = 2,430 \times (18.7 + 4) \approx 55,200kcal/day \quad (2.5)$$

即 全換氣量의 通路를 各冷藏室로 流入되는 것으로 하고 이 熱量을 通路의 熱負荷로 한다.

2-3 收容物品의 熱負荷

冷藏庫의 使命은 室內溫度를 設計溫度까지 低下시켜 維持함으로써 收容된 食品의 品質低下를 防止하는데 있다. 一般의 冷藏室에 收容되는 食品의 溫度는 室溫度 即 室內의 空氣溫度보다 높다. 따라서 食品과 室內의 空氣와의 溫度差에 依하여 熱은 食品으로부터 室內 空氣로 傳達되어 室內溫度를 높이기 되므로 傳達된 熱量을 除去하여야 된다. 이 熱을 食品熱負荷라고 한다. 食品中에서 野菜, 菓物等을 冷藏할 때는 이들 靑果物이 呼吸할 때에 呼吸熱을 發生한다. 이 熱은 食品熱負荷와는 別途로 發生熱負荷로서 分類한다.

食品熱負荷를 Q_f 라고하면

$$Q_f = \alpha \cdot S \cdot (t_f - t_r) \text{ kcal/H} \quad (2.6)$$

α : 食品表面에서의 熱傳達率 $kcal/m^2h^{\circ}C$

S : 空氣에 接하는 食品의 表面積 m^2

t_f : 食品의 表面溫度 $^{\circ}C$

t_r : 冷藏室溫度 $^{\circ}C$

食品의 溫度가 低下되는 模樣은 複雜하다. 特히 食品의 凍結點以下에서의 溫度低下의 機構는 더욱 複雜하므로 여기서 凍結點以上에서의 溫度低下에 對하여 簡單히

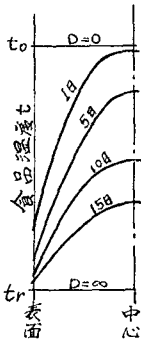


그림 2.3.

說明한다. 그림 2.3.에서 最初는 $D=0$ 일 때는 溫度 t_o 로서 水平線으로 表示되는 溫度分布가 되고 1日後에는 1日이라고 表示한 曲線으로 表示된 溫度分布가 된다. 이때도 表面溫度 t_f 는 아직도 室內溫度 t_r 보다 높으므로 熱은 繼續하여 空氣로 傳達되고 또한 表面과 中心과도 溫度差가 커서 熱은 內部에서 表面으로 移動된다.

食品을 幅 2m의 블록(Block)狀으로 積荷하였을 때의 變化를 表示하면 그림 2.4.와 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 表面溫度가 降下되었다고 하여서 食品의 中間에서도 表面溫度와 같이 溫度가 降下되었다고 생각하여서는 안된다.

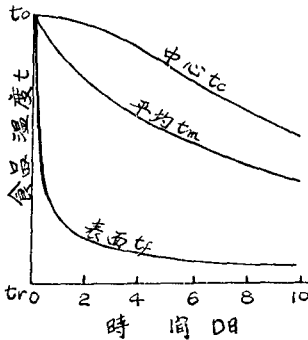


그림 2.4.

表面溫度 t_f 가 降下되는 狀態는 그림 2.4.에서 보는 바와 같이 時間이 經過됨에 따라 1日乃至 2日間에 急激하게 變하므로 $(t_f - t_r)$ 도 變하게 된다. 그러므로 $(t_f - t_r)$ 에 對하여 平均表面溫度差 φ_m 에 對한 係數를 稼動期間 m 에 關하여 定하는 것이 옳을 것이다. 勿論 φ_m 는 稼動期間 뿐만이 아니고, 食品의 收容寸수에도 關係된다. 그림 2.6.은 收容블록의 幅이 2m보다 클 때의 φ_m 值와 稼動週期 m 日과의 關係를 表示한 것이다.

그림 2.5.는 $(t_f - t_r)$ 의 變化에 따라 食品의 熱負荷도 急激히 變하는 것을 表示하였다.

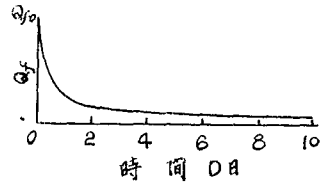


그림 2.5.

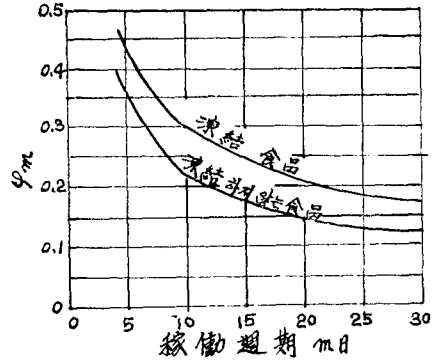


그림 2.6.

例題 2.3.

그림 2.1.의 No.2冷藏室에 入庫時의 食品溫度 -5°C 이고, 稼動週期가 15日일 때 平均 表面溫度를 求하라.

【解】 그림 2.6.에서 凍結食品에 對한 曲線에 依하여 $m=15$ 日에 對한 $\varphi_m=0.25$ 를 찾는다.

$$\text{平均表面溫度差}(t_f - t_r) = \varphi_m(t_o - t_r) \quad (2.7)$$

式 (2.7)에 依하여

$$(t_f - t_r) = 0.25 \times (-5 + 18) = 3.25$$

例題 2.4

그림 2.1.의 No.1冷藏室에 表 2.1.과 같은 條件으로 食品을 收容한다. 食品의 收容狀態는 $2.5\text{m} \times 4.0\text{m} \times 3.2\text{m}$ 의 直方面體狀의 부록으로 부록數는 $N=4$ 로 貯藏되며 稼動週期 15日, 食品의 入庫時 溫度는 -5°C , $\alpha=8 \text{ kcal/m}^2\alpha^{\circ}\text{C}$ 로 할때 食品熱負荷를 計算하라.

【解】 食品의 表面積 S 를 計算하면

$$S = 2N(ab + ah + bh)m^2 \quad (2.8)$$

N : 부록數

a : 幅 m

b : 長 m

h : 높이 m

式 (2.8)에 依하여

$$S = 2 \times 4 \times (2.5 \times 4 + 2.5 \times 3.2 + 4 \times 3.2) = 246\text{m}^2$$

式 2.6에 依하여

$$Q = \alpha \cdot S \cdot \varphi_m(t_o - t_r) = 8 \times 246 \times 0.25(-5 + 18)$$

$$= 1,599\text{kcal/H}$$

(次號에 繼續)