◀解　說▶

冷藏設備의 冷凍負荷(作業熱負荷와 侵入熱負荷)

李　昌　植*

前報(11권3호)에 이어서 냉장 설비의 냉동 부하 중 侵入熱負荷와 作業熱負荷에 대하여 記述하기로 한다. 앞에서 다룬 바와 같이 발생열부하에는 ① 식품의 호흡열과 ② 팬의 운전에 따른 발생열로 크게 나뉜다. 여기서는 팬 운전에 따른 열부하에 대하여 알아보기로 한다.

② 팬의 운전에 따른 발생열

일반으로 냉각기의 냉각관에 주어지는 공기 유속을 u m／sec, 공기량을 G_a kg라 하면 공기에 유속 u를 주기 위한 동력은 $G_a u$ kg m／sec 가 된다. 이것은 $AG_a u$ kcal／sec 의 열로 되어 공기에 주어진다. 여기서 A는 일의 열당량이다.

전동팬 및 전동기와 손실에너지의 총합에 대한 유효 동력에 대한 비율을 y라 하면 G_a kg의 공기에 유속 u m／sec를 주기 위하여 실제로 소비되는 동력은 $(1+y)\,G_a u$ kg m／sec 이고, 이것만큼의 동력이 모두 열로 변하여 $A(1+y)\,G_a u$ kcal／hr 의 열량의 실내 공기에 주어진 결과가 된다.

표4는 전동기에 의한 발생 열량을 나타낸 것이다.

표4　전동기에 의한 발생 열량

전동기용량 (kW)	손실동력의 비　율(Y)	1kW당발열량 (kcal／hr)
0.083~0.33	0.7	1,450
0.33 ~3	0.5	1,300
3　~10	0.2	1,000

지금 H kW의 전동팬이 전부하로 운전되고 있을 때의 발생열부하 Q_{2g} 는 다음 식으로 표시한다.

$$Q_{2g} = 860\,(1+y)\,H \text{ kcal／hr} \quad (11)$$

하나의 例로써 0.5 kW의 전동팬 4基를 사용하는 냉장실의 발생열부하를 계산하여 보면 표 4에서 $y = 0.5$ 이므로

$Q_{2g} = 860\,(1+0.5)\times 4\times 0.5 = 2{,}580$ kcal／hr 가 된다.

만일 전동기는 室外에 설치되고 팬만이 냉장실내에 설치되어 있는 경우에는 $Q_{2g} = 860H$ 로 표시된다.

(4) 侵入熱負荷

냉장실로 침입하는 열부하는 하나의 냉장실에 대하여 살펴보면 그 절연벽은 바깥쪽벽, 칸막이벽, 천정, 바닥 등의 전열 조건이 다른 몇개로 나누어 생각할 수 있다.

지금 그림 6과 같은 하나의 냉장실에서 냉장실의 온도를 t_r ℃, 절연벽 제 n 구간에서의 전열 면적, 열통과율을 각각 F_{wn} ㎡, U_{wn} kcal／㎡ hr℃라 하면 냉장실로 침입하는 열부하 Q_3 kcal／hr 는 다음 식으로 표시된다.

$$Q_3 = \sum_{n=1}^{m} U_{wn} F_{wn} (t_n - t_r) \quad (12)$$

여기서 t_r : 절연벽 제 n 구분에서의 外側溫度(℃)이다. 그림에서 C는 냉장실이고 H는 非冷藏室이다.

위의 식에서 F_w는 벽의 內面積을 취한다.

절연벽의 外側溫度는 외기에 접하는 절연벽에서는 外氣溫度, 다른 냉장실에 접하는 경우

*正會員, 漢陽工大 機械科

에는 그 인접한 방의 온도를 잡는다. 따라서 인접한 방의 온도가 낮을 경우에는 $t_n - t_r$ 이 (-)로 되는 경우도 있다.

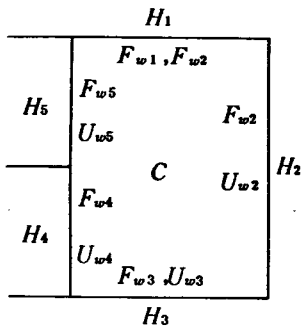


그림 6

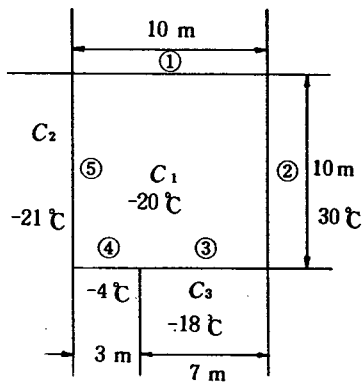


그림 7

그림 7에 표시된 바와 같은 구조를 갖는 냉장실 C_1에서의 침입열부하 Q_3를 구하여 보면 표 5와 같다.

표 5

벽구분 No.	F_w m²	절연층 두께 mm	U_w kcal/m²hr℃	t_n ℃	$t_n - t_r$ ℃	$U_w F_w (t_n - t_r)$ kcal/hr
①	35	200	0.22	30	50	385
②	35	200	0.22	30	50	385
③	24	120	0.25	-18	2	12
④	8	120	0.25	- 4	16	32
⑤	35	100	0.32	-21	- 1	- 11.2
바 닥	100	150	0.22	35	55	1,210
천 정	100	150	0.22	20	40	880
					계	2,892.2

따라서 $Q_3 = \Sigma U_{wn} F_{wn} (t_n - t_r) = 2,892.8$ kcal/hr 가 된다.

냉장고 전체가 침입열부하는 냉장실의 침입열부하의 총합으로 구할 수 있다.

(5) 作業熱負荷

작업열부하는 식품을 넣거나 꺼낼 때 또는 내부 점검을 위한 작업에서 냉장실의 공기에 주어지는 열에 의한 부하로서 주로 냉장실의 문을 열 때 외부로부터 고온 공기가 들어오는 경우와 실내 작업자의 발생열, 작업을 위한 점등 장치로부터 나오는 열 등을 들 수 있다.

① 냉장실 문으로부터 들어오는 열

냉장고에 밖으로부터 공기가 들어오면 여기에 상당하는 양만큼의 공기는 유출되므로 유출입한 공기는 換氣가 이루어짐을 의미한다. 즉 문을 열었을때 고온 공기는 문의 상부를 통하여 차거운 공기는 아래로 유동하게 된다. 또 환기에 의한 열부하는 침입열부하나 식품부하에 비하면 작은 것이므로 일반으로 換氣回數로써 환기량을 추정하고 있다.

냉장실의 內容積이 Vm³인 냉장고에서 1일 환기 체적이 V_am³/day 일 경우

$$n = \frac{V_a}{V}$$

로 표시하고 n을 換氣回數라 한다. 따라서 n은 回/24 hr 또는 回/day 로 표시된다.

換氣回數 n을 적당히 선정하면 그 냉장고의 환기 체적 V_am³/day는 위의 식에서

$$V_a = nV$$

가 된다. 표 6은 冷藏室內容積 Vm³에 따른 換氣回數 n 回/24 hr 를 나타낸 것이다.

표 6 . 換 氣 回 數

냉장실내의 체 적 Vm³	환 기 회 수 n회/day	냉장실내의 체 적 Vm³	환 기 회 수 n회/day
50	9.9	750	2.25
100	6.7	1,000	1.9
200	4.6	1,500	1.55
300	3.75	2,000	1.3
400	3.15	3,000	1.05
500	2.8		

문을 통하여 들어오는 공기의 비체적을 U_am³/

kg라 하면 환기 체적 V_am³/day 에서의 환기량 G_a kg/day는

$$G_a = \frac{V_a}{U_a} \quad (13)$$

로 표시된다. U_a는 空氣의 溫度, 濕度등에 따라 변화하므로 이 경우에는 냉장실 내의 온도, 습도에서의 공기가 갖는 비체적 U_{a1}과 외기 온도와 습도에 대한 비체적 U_{a2}의 평균치를 취하면 된다. Ua의 값은 대체로 U_a = 0.80 ~ 0.84 m³/kg 정도이다.

한편 환기에 의하여 냉장고에 가해지는 열량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q_{4a} = G_a (h_{a2} - h_{a1}) \quad (14)$$

여기서

G_a : 환기량 kg/day

h_{a1} : 냉장실의 溫度, 濕度에서의 공기의 엔탈피 kcal/kg

h_{a2} : 外氣의 溫度, 濕度에서의 공기의 엔탈피 kcal/kg

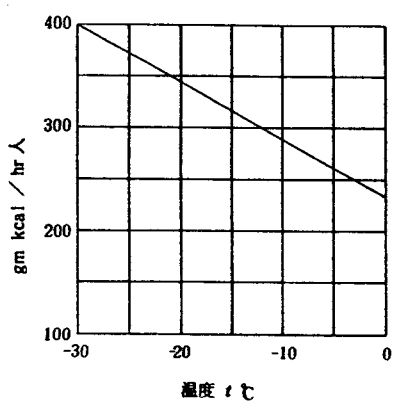
② 作業者로부터의 發生熱

人體는 신진 대사에 의하여 항상 열이 발산되며 그 열량은 온도가 낮을 수록 크다. 하나의 냉장실에서 작업자가 Z인 있을 때 냉장실에서 1일 작업자가 내는 열량 Q_{3z}는 다음 식으로 표시된다.

$$Q_{4z} = Z \cdot m \cdot q_m \quad (15)$$

여기서 m은 1일 全作業時間이다.

그림 8은 人體로부터의 방열량 q_m kcal/hr人과 溫度와의 관계를 나타낸 것이다.



③ 電燈으로부터의 發生熱

전등에 주어지는 전력은 모두 열로 되어서 실내 공기에 가해진다.

室의 전등이 전 소요 전력을 P kW라 하면 전등으로부터의 발생열 $Q_{4\phi}$ kcal/day는

$$Q_{4\phi} = 860\ P \cdot m \quad (16)$$

로 표시된다.

여기서 m은 1日 전 전등의 점등된 시간수이다.

(6) 冷凍負荷의 選定

① 冷藏室의 冷凍負荷

냉장실의 냉동부하 Q kcal/hr은 위에서 구한 食品負荷 Q_1, 發生熱負荷 Q_2, 侵入熱負荷 Q_3, 및 作業熱負荷 Q_4의 合으로 표시된다.

따라서

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad \text{kcal/hr}$$

로부터 各室의 냉동부하를 결정한다.

② 冷藏庫의 冷凍負荷

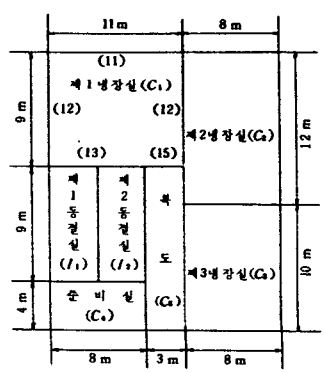
냉장실, 준비실, 복도등의 전체의 실의 수가 m라 하면 제 n실의 冷凍負荷 Q_n kcal/h를 구하고 이들을 모두 합하면 되므로

$$Q = \sum_{n=1}^{m} Q_n \quad \text{kcal/hr}$$

로 표시된다.

(7) 冷凍負荷計算例

이상에서 구한 냉장실의 냉동부하와 냉장고의 냉동 부하를 다음과 같은 구조를 갖는 냉장고에 대하여 계산하여 보기로 한다.



이 냉장고의 운전조건은 다음과 같다.

표 7. 작동 조건

실의종별	냉 장 실			준비실	복 도
실	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
유지온도 (t_r℃)	-18	-18	-18	-5	-2
냉각방식	천정 코일식	천정 코일식	천정 코일식	천정 코일식	천정 코일식
냉장식품	동결어류	동결어류	동결어류	생선류	
냉장가동주기	30	30	30	1	
냉장량(kg)	12,500	12,500	100,000	5,000	
작업자수	2인	2인	2인	2인	2인
전작업시간 (hr/day)	2	2	2	1	4
전등의 소요전력(W)	1,000	1,000	1,000	400	400

벽체 구조는 다음과 같다.

냉장실 : 외벽, 바닥, 천정의 두께 150 mm

냉장실 간의 칸막이 벽 100 mm

동결실과의 칸막이 벽 150 mm

준비실과 복도사이의 벽 125 mm

준비실, 복도 : 외벽, 천정, 바닥 두께 100 mm

준비실과 복도 사이의 칸막이 벽 100 mm

동결실 사이의 칸막이 벽 200 mm

外氣條件은 외기 온도 32℃, 지붕 위 35℃ 바닥 20℃이다.

I_1실의 온도는 16℃, I_2실의 온도는 10℃이다.

① 식품 부하 Q_1 kcal/hr

식품 부하의 계산은 표 8과 같다.

표 8. 식품 부하의 계산

실	C_1	C_2	C_3	C_4
품목지수 (a×b×h) m	2.0×6.5×3.5	2.25×5.8×3.5	2.0×5.2×3.5	1.0×3.0×1.8
품목의 표면적 A_0 m²	85.5	82.4	71.2	20.4
품 목 수	3	3	3	1
냉각표면적 A m²	256.5	247.5	213.5	20.4
실 온 t_r ℃	-18	-18	-18	5
t_0-t_r ℃	12	12	12	15
냉장가동주기 일	30	30	30	1
계 수 f_0	0.175	0.175	0.175	0.65
t_0-t_r ℃	2.1	2.1	2.1	9.75
식품표면의 열전달율 k kcal/m² hr ℃	5.8	5.8	5.8	5.8
$Q_1=kA(t_0-t_r)$ kcal/hr	3,124.7	3,014.55	2,600.43	1,153.62

② 발생열 부하 Q_2 kcal/hr

수용물이 동결어류 및 생선류이므로 발생열은 없다. 또 냉각 방식도 천정 코일식이므로 발생열은 없다고 볼 수 있다.

③ 침입열부하 Q_3 kcal/hr

침입 열부하는 표 9와 같이 계산한다. 여기서 $F_{11}=47.0$ m², $F_{12}=38.0$ m², $F_{13}=33$ m², $F_{15}=12$ m², $F_{12}=38$ m², $F_{cl}=91$ m², $F_{fe}=91$ m² 이다.

여기서 F_{cl} 은 천정, F_{fl} 은 바닥의 전열 면적이다.

벽 (11) : $Q_{3(11)}=U_w F_{w11}(t_{11}-tr)=$
$0.24\times 47\times 50=564$ kcal/hr

벽 (12) : $Q_{3(12)}=U_w F_{w12}(t_{12}-tr)=$
$0.24\times 38\times 50=456$ kcal/hr

벽 (13) : $Q_{3(13)}=U_w F_{w13}(t_{13}-tr)=$
$0.24\times 33\times 31=245.52$ kcal/hr

칸막이 벽 (15) : $Q_{3(15)}=U_w F_{w4}(t_{15}-tr)=$
$0.28\times 12\times 16=53.76$ kcal/hr

칸막이 벽 (12) : $Q_{3(c1)}=U_w F_{wcl}(t_{cl}-tr)=$
$0.34\times 38\times 0=0$ kcal/hr

천 정 : $Q_{3(cl)}=U_w F_{wcl}(t_{cl}-t_r)$
$0.24\times 91\times 53=1,157.52$ kcal/hr

바 닥 : $Q_{3(fl)}=U_w F_{wfl}(t_{fl}-t_r)=$
$0.24\times 91\times 38=829.92$ kcal/hr

計 3,306.72 kcal/hr

이와 같은 방법으로 제 2, 제 3, 제 4, 제 5, 실에 대하여 각각 침입열부하를 계산하고 이들을 합하면 총침입열부하가 계산된다. 따라서 $Q_3=(3,306.72+Q_{3r})$ kcal/hr 가 되고, Q_{3r} 은 나머지 냉장실의 침입열부하의 총합이다.

④ 작업열부하 Q_4 kcal/hr

냉장실의 총내용적은 (복도를 포함하고, 동결실 및 준비실은 제외)은 $V=\{(11\times 9)+(12+10)(8)\}\times 4.5=1,237.5$ m³≒ 1,300로 잡으면 $n=1.7$ 정도이다. $U_e=0.80$ m³

/kg이면 換氣量 $G_a = nv/ua = 1.7 \times 1,300 / 0.8 = 2,762.5$ kg/day가 된다. 따라서 $Q_{4a} = G_a(h_{a2} - h_{a1}) = 2,762.5(18.7 - (-4.0)) = 62,708.75$ kcal/day가 된다. 한편 제5실에 대하여도 $Q_{4(a5)} = 62,708.75$ kcal/day, 또 제4실은 외기에 직면하는 문을 가지나 냉장실로의 통로는 없다고 본다. 따라서 제4실에 대하여는 환기량을 0.42 kg/sec 정도로 추정하여 1일 총문을 여는 시간을 15분이라고 잡으면 실온 -5℃($h_a = -0.4$ kcal/kg)이므로 $Q_{4(4a)} = 25 \times 15(18.7 - (-0.4)) = 7,162.5$ kcal/day가 된다.

또한 작업자 및 전등으로부터 발생하는 열량 Q_{4z} kcal/day와 Q_{4p} kcal/day는

$$Q_{4z} = \sum_{n=1}^{5} Q_{4(nz)}$$

$Q_{4(1z)} = 300$ kcal/hr 人 $\times$ 2人 $\times$ 2hr/day $= 1,200$ kcal/day

$Q_{4(2z)} = 300 \times 2 \times 2 = 1,200$ kcal/day

$Q_{4(3z)} = 1,200$ kcal/day

$Q_{4(4z)} = 250 \times 2 \times 0.5 = 250$ kcal/day

$Q_{4(5z)} = 250 \times 2 \times 4 = 2,000$ kcal/hr

$$Q_{4p} = \sum_{n=1}^{5} Q_{4(np)}$$

$Q_{4(1p)} = 1$kW $\times$ 2 hr/day $\times$ 860 $= 1,720$ kcal/day

$Q_{4(1p)} = Q_{4(2p)} = Q_{4(3p)}$

$Q_{4(4p)} = 0.4 \times 1 \times 860 = 344$ kcal/day

$Q_{4(5p)} = 0.4 \times 5 \times 860 = 1,720$ kcal/day

따라서 작업열 부하 Q_4는 Q_{4a}, Q_{4z}, Q_{4p}의 합으로 표시된다.

$Q_{41} = 2,920$ kcal/day,

$Q_{42} = 2,920$ kcal/day

$Q_{43} = 2,920$ kcal/day

$Q_{44} = 7,764$ kcal/day

$Q_{45} = 9,991$ kcal/day

구하고자 하는 冷凍負荷 Q는 각 室의 冷凍負荷를 구하여 이들을 모두 합하면 된다. 제1실의 冷凍負荷를 Q_{c1}, 제2실, 제3실 ····· Q_{c2}, Q_{c3}, ·····, 라 하면

$$Q = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} + Q_{c4} + Q_{c5}$$

Q_{c3}, Q_{c3} ·····, 라 하면

$$Q = \sum_{n=1}^{5} Q_{cn}$$

으로 표시된다.

3. 結 言

이상은 주로 여러 개의 냉장실로 구성된 냉장고의 냉동 부하 계산에 대하여 살펴 본 것이다.

냉장 설비는 비교적 다양한 열부하가 작용하므로 이들에 대한 냉동 부하를 계산하고, 이를 바탕으로 전체냉장 설비에 대한 부하를 결정하는 것이 필요하다. 냉동 부하의 계산은 앞에서 다룬 바와 같이 외기 조건이나 실내 조건, 구조체의 전열 특성, 작업 환경 등에 많은 영향을 받게 되므로 이들에 대한 적절한 여러가지 계수들을 알맞게 선정함으로써 경제적인 설계가 이루어질 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. 李昌植: "冷藏設備의 冷凍負荷" 空氣調和冷凍工學, Vol.11. No. 4