

열전냉각 시스템 설계에 필요한 정보

2011. 10. 26.

해피코 / 최현화

happyco2010@chol.com



열전냉각시스템 설계에 필요 정보

1. 냉각 열부하에 대해
2. 열전소자 모델 선정
3. 방열에 대하여
4. 주위환경에 대하여
5. 단열에 대하여
6. 사용전원에 대하여
7. 사용온도 조건에 대하여

1-1. 냉각 열부하에 대해

- 냉각할 물질은 발열체인가 아닌가? 발열체라면 발열량은 얼마인가? (보통 발열체의 발열량은 발열체 소비전력($\text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Amp}$)과 거의 같음)
- 냉각할 물질의 종류와 크기, 초기 온도에서 목표 온도까지 얼마나 빠른 시간에 온도를 낮춰야 하는지?
- 전도 · 대류 · 복사 등에 의해 외부로부터 유입되는 침입열의 양은 어느 정도인가? (침입열을 줄이기 위해 단열이 중요함)
- 냉각열부하 : 피냉각물 무게 $\times$ 비열 $\times$ 온도차(dT)/냉각 시간 + 침입열 + 발열량(발열체인 경우)

1-2. 냉각 열부하 계산 예 (물)

- 20℃ 물 2리터를 30분 사이에 10℃까지 냉각하는데 필요한 흡열량은?

물 2리터의 무게 : 2,000g

물의 비열 : 4.186J/g℃ (=1cal/g℃)

20℃에서 10℃로 냉각하는 온도차(dT) : 10℃

냉각시간 : 1,800sec (=30분)

흡열량(Q)

$$= (2,000\text{g} \times 4.186\text{J/g}^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C}) / 1800\text{sec}$$

$$= 46.5\text{J/sec} = 46.5\text{W}$$

1-3. 냉각 열부하 계산 예 (물▶얼음)

- 5℃ 물 0.5리터를 -5℃까지 30분 안에 냉각하는데 필요한 흡열량은?

물의 비열 : $4.186\text{J/g}^{\circ}\text{C}$ ($=1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$)

물의 응고열 : 333.55J/g

얼음의 비열 : 약 $2.05\text{J/g}^{\circ}\text{C}$

냉각시간 : $1,800\text{sec}$ ($=30\text{분}$)

흡열량(Q)

$$\begin{aligned} &= \{(500\text{g} \times 4.186\text{J/g}^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C}) \\ &\quad + (500\text{g} \times 333.55\text{J/g}) \\ &\quad + (500\text{g} \times 2.05\text{J/g}^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C})\} / 1800\text{sec} \\ &= 101.3\text{J/sec} = 101.3\text{W} \end{aligned}$$

1-4. 냉각 열부하 계산 예 (수증기▶얼음)

- 130℃ 수증기 500g을 1시간에 -5℃까지 냉각하는데

필요한 흡열량은?

수증기의 비열 : $1\text{J/g}^{\circ}\text{C}$ ($=0.24\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$)

수증기의 응축열 : $2,256\text{J/g}$ ($=539\text{cal/g}$)

물의 비열 : $4.186\text{J/g}^{\circ}\text{C}$ ($=1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$)

물의 응고열 : 333.55J/g ($=79.68\text{cal/g}$)

얼음의 비열 : $2.09\text{J/g}^{\circ}\text{C}$ ($=0.5\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$)

냉각시간 : $3,600\text{sec}$ ($=1\text{시간}$)

$$\begin{aligned}\text{흡열량}(Q) &= 500\text{g} * \{ 1\text{J/g}^{\circ}\text{C} * 30^{\circ}\text{C} + 2256\text{J/g} \\ &\quad + 4.186\text{J/g}^{\circ}\text{C} * 100^{\circ}\text{C} + 333.55\text{J/g} \\ &\quad + 2.09\text{J/g}^{\circ}\text{C} * 5^{\circ}\text{C} \} / 1800\text{sec} \\ &= 423.4\text{J/sec} = 423.4\text{W}\end{aligned}$$



1-5. 냉각 열부하 계산 예 (알루미늄)

- 100 X 150 X 10mm 알루미늄 블록을 100℃에서 20℃로 5분간 냉각하는데 필요한 흡열량은?

알루미늄블록 무게(비중 2.7g/cc X 150cc) : 405g

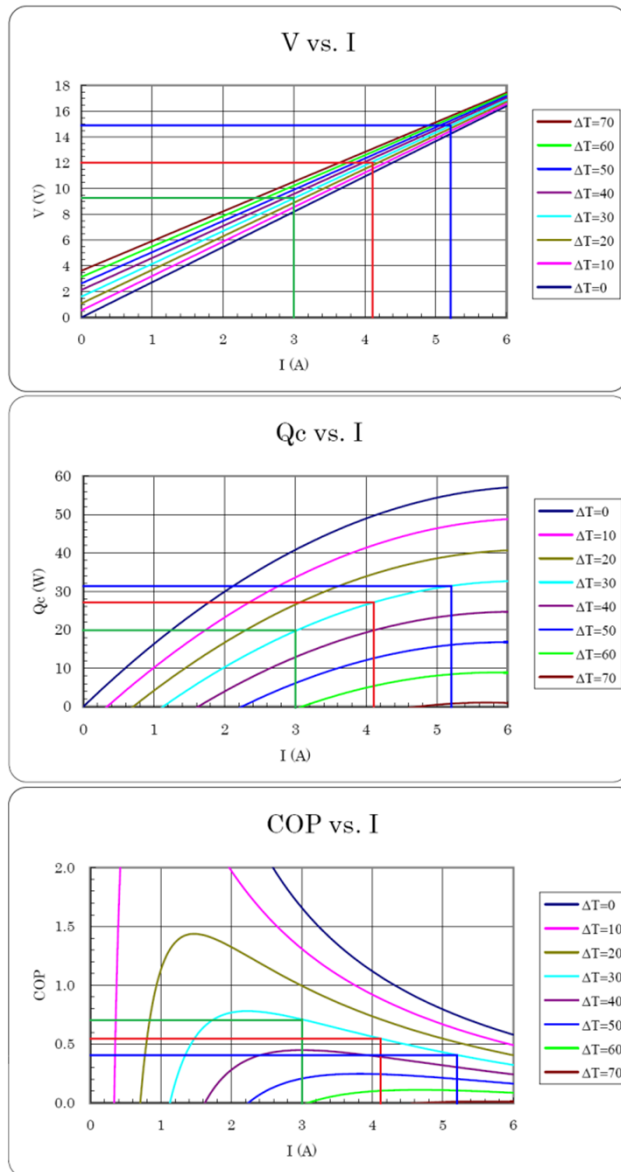
알루미늄 비열 : 약 0.9J/g℃

100℃에서 20℃까지 온도차(dT) : 80℃

가열시간 : 300sec(=5분)

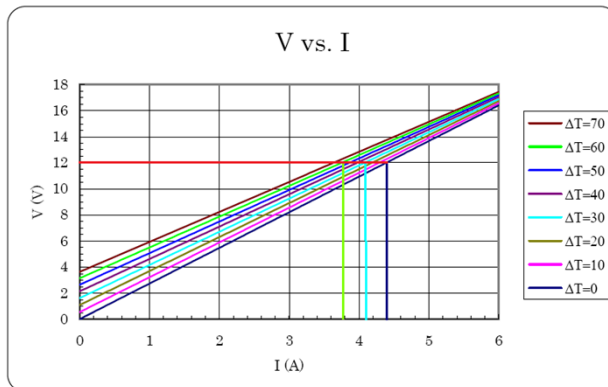
$$\begin{aligned}\text{흡열량}(Q) &= (405\text{g} \times 0.9\text{J/g}^\circ\text{C} \times 80^\circ\text{C}) / 300\text{sec} \\ &= 97.2\text{J/sec} = 97.2\text{W}\end{aligned}$$

2-1. 열전소자 모델 선정의 팁

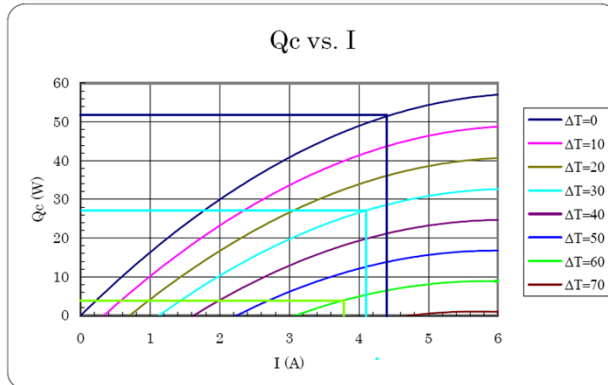


- V vs I 그래프와 같이 열전소자는 인가 전압에 비례하여 전류도 증가하므로 소비전력도 비례하여 증가합니다.
- 그런데 Q_c vs I 그래프에서 I_{max} 의 70% 이상의 Q_c 는 소비전력 증가량 대비 Q_c 증가량이 줄어 효율이 떨어집니다. 따라서 보통 **Vmax의 70%정도의 전압을 인가하여 사용할 것을 추천**합니다.
- 효율면에서는 COP vs I 그래프와 같이 I_{max} 의 70%일 때 $COP(=Q_c/\text{소비전력})$ 보다 50%일 때가 COP가 더 좋습니다.
- 그러나, Vmax의 50%를 인가할 경우, COP는 좋아지지만 Q_c 가 작아져 필요한 냉각부하량에 모자랄 수 있고, dT 도 60°C 정도로 줄어 듭니다.
- 따라서, Q_c 가 큰 모델을 선정하여 COP가 좋게 Vmax의 50%정도의 전압을 인가하는 것도 고려해볼 필요가 있습니다.

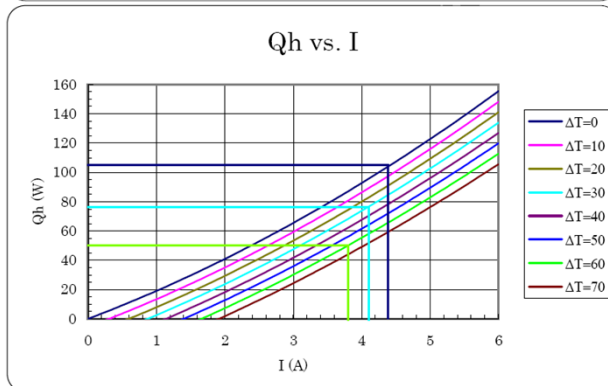
2-2. 9500/127/060B에 70% 인가한 경우



- Vmax 17.5V의 70%인 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0°C이므로, 전류는 4.4A 흐른다. 이 때 흡열량(Q_c)은 52W가 되고, 방열량(Q_h)은 소비전력 52.8W ($=12V \times 4.4A$)와 Q_c 52W를 합한 104.8W가 됩니다.

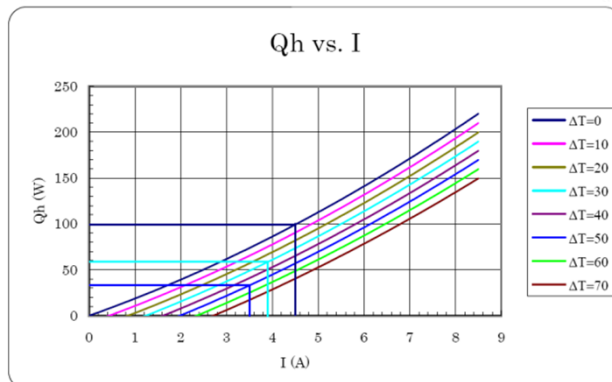
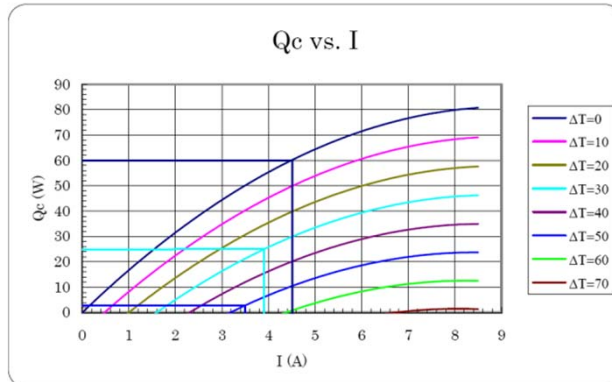
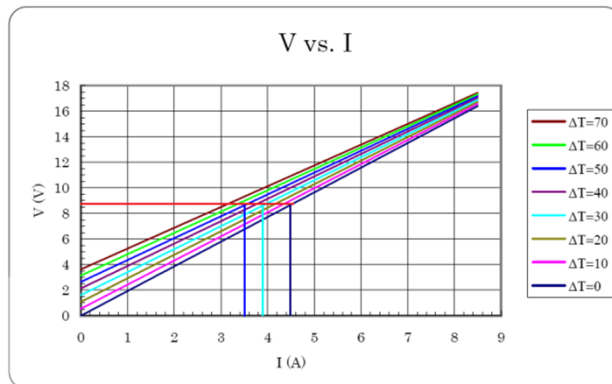


- 시간이 지나 dT 가 30°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 4.1A로 줄고, Q_c 도 27W로 줄며, Q_h 는 소비전력 49.2W ($=12V \times 4.1A$)와 Q_c 27W를 합한 76.2W가 됩니다.



- dT 가 60°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.8A로 줄고, Q_c 도 4W로 줄며, Q_h 는 소비전력 45.6W ($=12V \times 3.8A$)와 Q_c 3W를 합한 49.6W가 됩니다.

2-3. 9500/127/085B에 50% 인가한 경우



- V_{max} 17.5V의 50%인 8.75V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0°C 이므로, 전류는 4.5A 흐른다. 이 때 흡열량(Q_c)은 60W가 되고, 방열량(Q_h)은 소비전력 39.4W ($=8.75\text{V} \times 4.5\text{A}$)와 Q_c 60W를 합한 99.4W가 됩니다.
- 시간이 지나 dT 가 30°C 가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.9A로 줄고, Q_c 도 25W로 줄며, Q_h 는 소비전력 34.1W ($=8.75\text{V} \times 3.9\text{A}$)와 Q_c 25W를 합한 59.1W가 됩니다.
- dT 가 50°C 가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.5A로 줄고, Q_c 도 3W로 줄며, Q_h 는 소비전력 30.6W ($=8.75\text{V} \times 3.5\text{A}$)와 Q_c 3W를 합한 33.6W가 됩니다.

3-1. 방열에 대하여

- 자연의 법칙은 높은 수위의 물이나 고온의 열이 낮은 수위나 저온 쪽으로 이동하여 평형을 이루려고 합니다.
- 열전소자는 자연의 법칙에 역으로 낮은 수위의 물을 높은 수위 쪽으로 이동시키는 펌프와 같이 전기에너지를 이용하여 저온의 열을 고온 쪽으로 이동시킬 수 있는 히트펌프 역할을 하는 반도체소자입니다.
- 열전소자는 열의 이동을 원활하게 하기 위해, 입구에 해당하는 흡열면에 이동시킬 열이 잘 들어갈 수 있도록 열교환이 잘 될 수 있는 구조를 하여야 하고, 출구에 해당하는 방열면에도 이동시키려고 흡열면에서 갖고 온 열과 열전소자 자체의 구동 열에너지를 막힘 없이 바로 대기 등에 배출할 수 있도록 방열판 등 열교환 능력이 좋은 기구를 반드시 부착하여야 합니다.



3-2. 방열방식에 대하여

- 자연공냉 :
방열판과 주위 공기의 온도차에 의해 자연대류로 방열하는 방식.
열저항이 크기 때문에, 큰 사이즈의 방열판이 필요합니다.
(자연대류에 의한 공기의 대류열전달계수 : $2 \sim 25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
- 강제공냉 :
방열판에 팬을 달아 강제로 공기와 열교환이 되도록 하는 방열 방식.
(강제대류에 의한 공기의 대류열전달계수 : $25 \sim 250 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
- 수 냉 :
물과 방열면 사이의 열교환이 잘 되도록 워터자켓을 설치하여 물을 순환시켜 방열하는 방식.

3-3. 방열방식에 따른 열저항치

■ 열저항이란?

열저항은 어떤 물체의 두 지점에 1W의 열류가 흐를 때 두 지점의 온도차 $dT(^{\circ}\text{C})$ 를 말하며, $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 의 단위를 사용.

- 열전소자의 방열면온도(T_h)는 주위 공기온도에 방열량(Q_h)과 방열판의 열저항에 의해 상승한 온도를 더한 온도가 T_h 입니다. 주위 공기 온도가 30°C 이고, Q_h 가 75W 인 열전소자에 열저항이 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 인 방열판을 사용하면, T_h 는 공기온도 30°C 에 방열판의 열저항에 의한 온도상승 $22.5^{\circ}\text{C}(=75\text{W} \times 0.3^{\circ}\text{C}/\text{W})$ 를 합한 52.5°C 가 됩니다.

	사이즈별 대략적인 열저항치($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)		
	50 X 50mm	100 X 100mm	200 X 200mm
수 냉	0.05	0.03	0.01
강제공냉	1	0.3	0.1
자연공냉	8	2	1

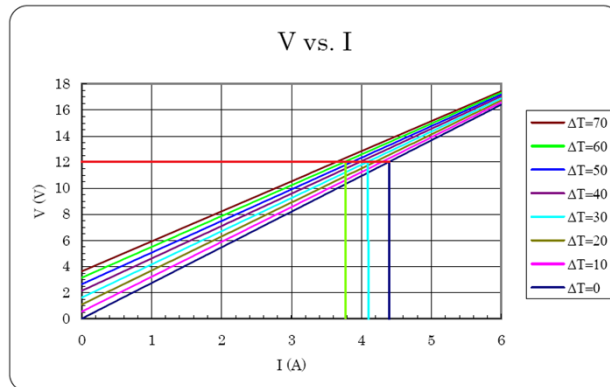
(상기 수치는 대표적인 경우의 값으로, 핀의 형상이나 수 등 여러 조건에 따라 값이 변함)



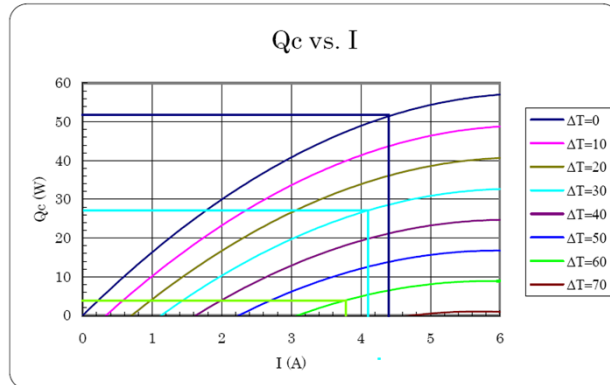
3-4. 방열량

- 열전소자는 흡열량과 소비전력을 합한 열량을 방열해야만 합니다.
{방열량(Q_h) = 흡열량(Q_c) + 소비전력($V \times I$)}
- 12V를 인가하면 4A가 흐르는 열전소자의 Q_c 가 24W인 경우, Q_h 는 소비전력 48W($=12V \times 4A$)에 Q_c 24W를 더한 72W를 방열해야 합니다.
- 이 때, 사용하는 방열판의 방열능력이 60W이면, 소비전력은 그대로 48W이므로 흡열량이 12W로 줄어들 수밖에 없어, 24W 열전소자 흡열능력의 50% 성능밖에 사용할 수 없습니다.
- 따라서, 방열판 등 방열능력(열저항치)이 열전냉각 시스템의 성능을 좌우합니다.

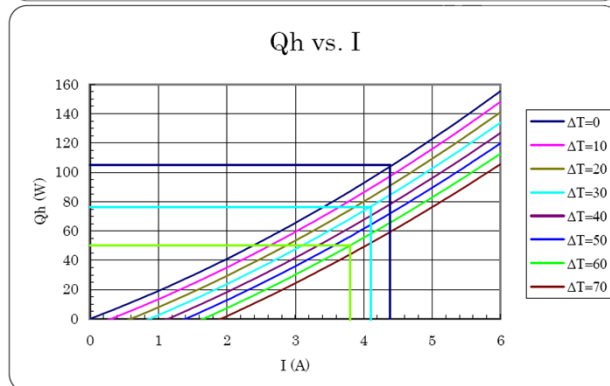
3-5. 9500/127/060B 모델의 방열량



- 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0°C이므로, 전류는 4.4A 흐른다. 이 때 흡열량(Q_c)은 52W가 되고, 방열량(Q_h)은 소비전력 52.8W ($=12V \times 4.4A$)와 Q_c 52W를 합한 104.8W가 됩니다.

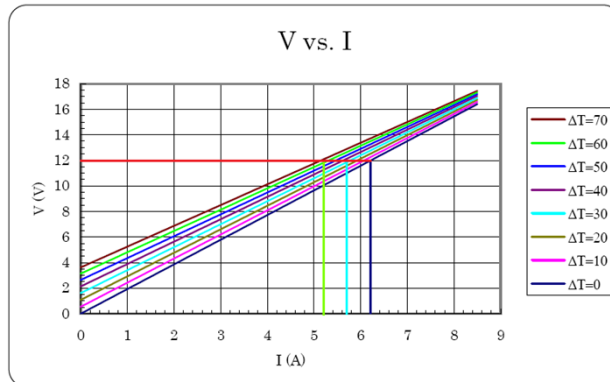


- 시간이 지나 dT 가 30°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 4.1A로 줄고, Q_c 도 27W로 줄며, Q_h 는 소비전력 49.2W ($=12V \times 4.1A$)와 Q_c 27W를 합한 76.2W가 됩니다.

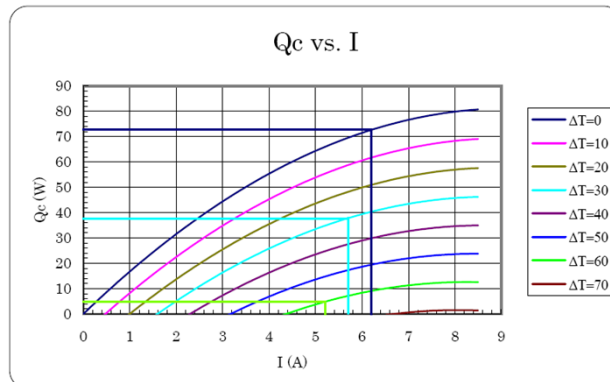


- dT 가 60°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.8A로 줄고, Q_c 도 4W로 줄며, Q_h 는 소비전력 45.6W ($=12V \times 3.8A$)와 Q_c 3W를 합한 49.6W가 됩니다.

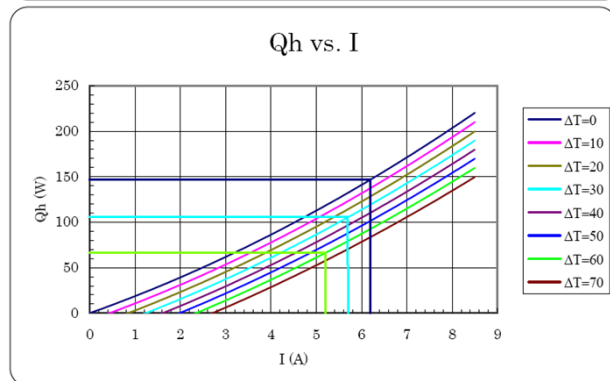
3-6. 9500/127/085B 모델의 방열량



- 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 dT가 0°C이므로, 전류는 약 6.2A 흐른다. 이 때 Q_c 는 73W가 되고, Q_h 는 소비전력 74.4W ($=12V \times 6.2A$)와 Q_c 73W를 합한 147.4W가 됩니다.



- 시간이 지나 dT가 30°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 5.7A로 줄고, Q_c 도 38W로 줄며, Q_h 는 소비전력 68.4W ($=12V \times 5.7A$)와 Q_c 38W를 합한 106.4W가 됩니다.



- dT가 60°C가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 5.2A로 줄고, Q_c 도 5W로 줄며, Q_h 는 소비전력 62.4W ($=12V \times 5.2A$)와 Q_c 5W를 합한 67.4W가 됩니다.

3-7. 방열판 열저항에 따른 방열면온도

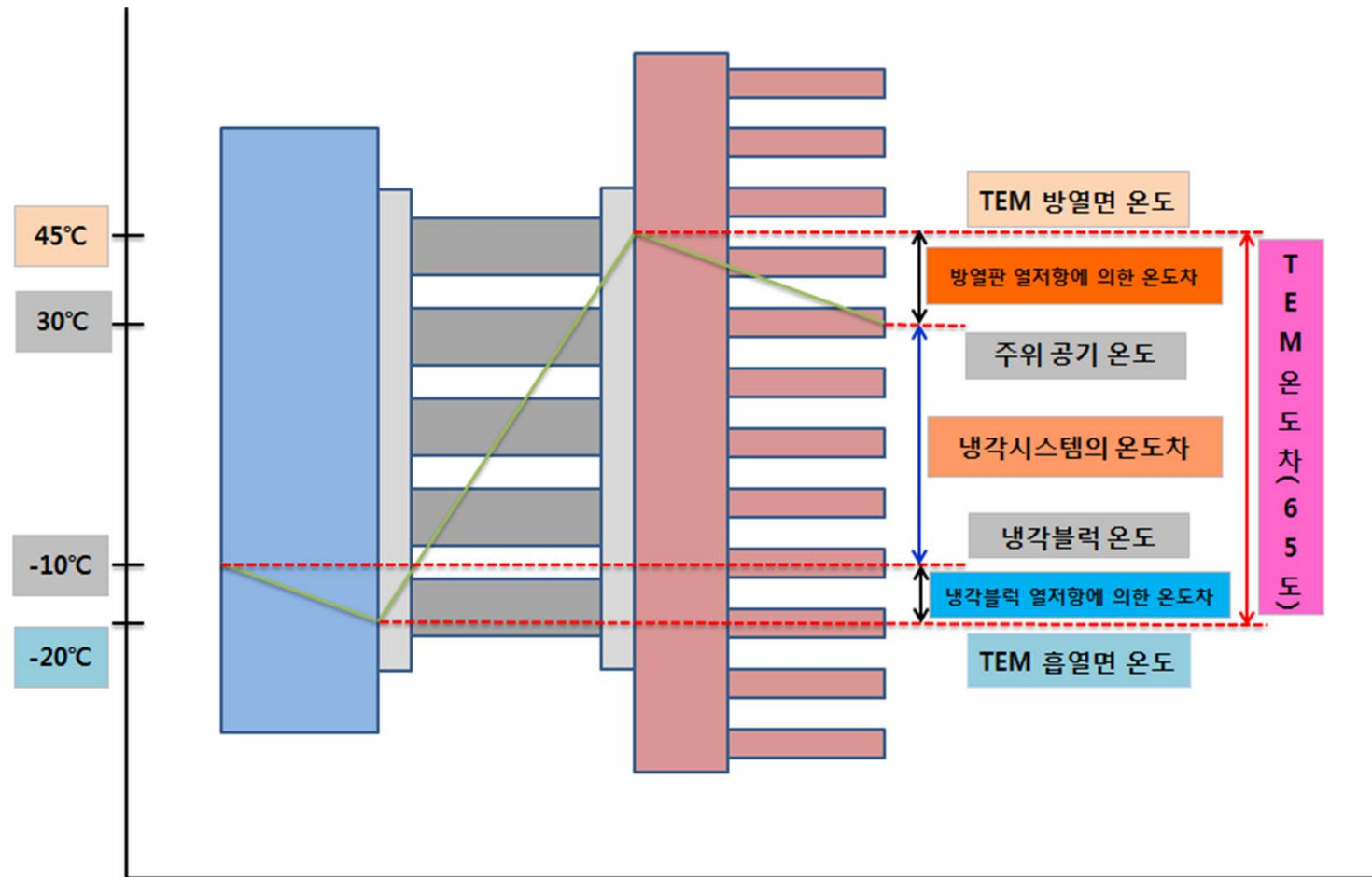
- 열전소자의 방열면온도(T_h)는 주위 공기온도에 방열량(Q_h)과 방열판의 열저항에 의해 상승한 온도를 더한 온도가 T_h 가 됩니다.
- 주위 공기온도가 30°C 이고, 열전소자 Q_h 가 75W 이고, 열저항이 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 인 방열판을 사용할 경우, T_h 는 Q_h 와 방열판열저항에 의해 상승한 $15^{\circ}\text{C}(=75\text{W} * 0.2^{\circ}\text{C}/\text{W})$ 와 주위온도 30°C 를 더한 45°C 가 T_h 입니다.
- 주위 공기온도가 30°C 이고, 열전소자 Q_h 가 75W 이고, 열저항이 $0.4^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 인 방열판을 사용할 경우, T_h 는 Q_h 와 방열판열저항에 의해 상승한 $30^{\circ}\text{C}(=75\text{W} * 0.4^{\circ}\text{C}/\text{W})$ 와 주위온도 30°C 를 더한 60°C 가 T_h 입니다.
- 따라서 T_h 를 최대한 낮추기 위해서는 열저항($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)이 낮은 수냉 자켓이나 방열핀의 수가 많고 사이즈가 커서 열교환 능력이 좋은 (열저항이 적은) 방열판과 팬을 사용한 강제공냉 방식을 채택할 필요가 있습니다.

3-8. 방열면온도에 따른 흡열면온도

- 열전소자는 T_h 와 인가전압에 따라, T_h 와 T_c 의 온도차(dT)인 dT 가 변하므로, 최대한 낮출 수 있는 T_c 도 변합니다.
- T_h 가 50°C 이고 V_{max} 전압을 인가할 경우 dT_{max} 는 72°C 이나, T_h 가 50°C 이고 V_{max} 의 70%정도의 전압을 인가한 경우 dT 는 65°C 정도 이고, T_h 가 25°C 이고 70%정도의 전압을 인가한 경우 dT 는 60°C 정도로 조금 낮아 집니다
- T_h 가 50°C 이고 dT 가 65°C 인 경우, T_c 는 최대 -15°C ($=T_h - dT$)까지 낮출 수 있으나, 방열판 열저항이 커서 T_h 가 60°C 가 되면 T_c 는 최대 -5°C ($=60^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}$)밖에 낮출 수 없습니다.
- 수냉자켓을 사용하여 T_h 를 25°C 로 낮추면 dT 는 60°C 로 줄지만 T_c 는 최대 -35°C ($=25^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$)까지 낮출 수 있습니다.
- T_h 를 낮추면 dT 는 조금 낮아지지만, T_c 는 T_h 가 낮아지는 만큼 비슷한 정도로 낮아지므로, T_c 를 낮추기 위해서는 T_h 를 낮출 수 있는 수냉자켓이나 열저항이 작은 방열핀이 많은 방열판과 팬 등을 사용하여 T_h 를 최대한 낮출 필요가 있습니다.

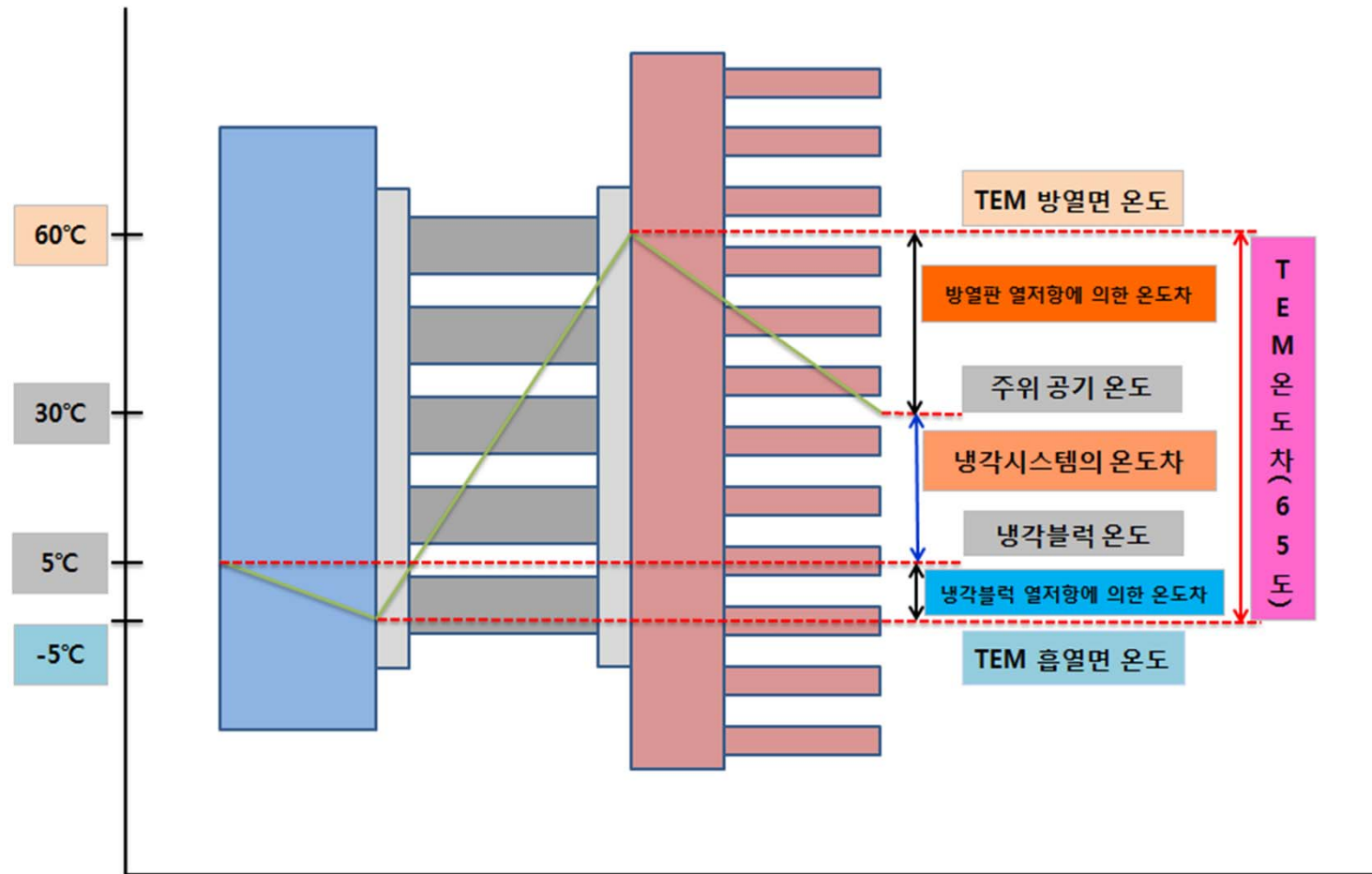


3-9. 방열판 열저항이 15°C 인 경우 냉각온도





3-10. 방열판 열저항이 30°C 인 경우 냉각온도





3-11. 성능지수(COP)와 방열량

- 열전소자의 COP(= Q_c /소비전력)가 0.5인 경우, 소비전력(= $Q_c/\text{COP}=Q_c/0.5=2Q_c$)은 Q_c 의 2배가 되고, Q_h 는 Q_c 에 소비전력을 더한 값이므로, Q_h 는 Q_c+2Q_c 로 Q_c 의 3배가 됩니다.
- COP가 1인 경우, 소비전력과 Q_c 가 같으므로, Q_h 는 Q_c 의 2배로 줄어 방열이 용이합니다.
- 따라서, Q_c 가 큰 모델을 선정하여 COP가 좋게 $V_{\max}$ 의 50~60% 정도의 전압을 인가하여 사용하면, Q_h 가 줄어 T_h 도 낮아지므로 T_c 도 낮출 수 있습니다.



4. 주위환경에 대해

- 여름 등 악조건인 경우 주위 공기온도는 얼마까지 올라 갑니까?
- 밀폐된 공간, 완전 오픈 된 공간 등 어떤 조건의 공간에서 사용할 계획입니까?
- 밀폐 공간에서 사용할 경우, Q_h 에 의해 주위 공기온도가 상승하고, 주위온도의 상승이 T_h 를 상승시키고, T_c 도 같은 정도 상승하므로, 원하는 냉각온도까지 낮출 수 없게 되는 점도 고려해야 합니다.



5. 단열에 대해

- 내 · 외부 온도차로 인해, 전도 · 대류 · 복사 등에 의한 침입열은 어느 정도 입니까?
(침입열이 냉각 열부하를 증가시켜, 냉각성능을 저하시키므로, 침입열을 최소화할 수 있도록 충분한 단열이 필요)
- 어떤 종류의 단열재를 어느 정도의 두께로 사용할 것 계획입니까?
- 구조적으로 충분한 단열 공간을 확보할 수 있습니까?
- 불충분한 단열로 인해, 열손실 및 **결로**가 발생할 우려가 있습니다.



6. 사용전원에 대해

- 검토한 열전소자 모델에 적합한 직류전원 공급이 가능합니까?
- 열전소자는 직류 전원을 인가하면, 흡열면에서 열을 흡수하여 반대 방열면으로 열을 이동시키는 히트펌프 역할을 하는 부품으로, 전원의 극성이 바뀌면 열의 이동 방향도 반대 방향으로 바뀌게 됩니다.
- 따라서, 교류전원을 사용하면 원하는 방향으로 열을 이동시킬 수 없습니다.



7. 사용온도 조건

- 열전소자는 p형 반도체와 n형 반도체 여러 쌍을 세라믹기판 사이에 직렬로 지그재그로 배치하여, 동전극에 솔더(땀납)로 고정시켜 만듭니다.
- 따라서, 사용온도가 높으면 솔더가 녹거나 약해지는 문제로 사용온도에 제한이 있습니다.
- Ferrotec 열전소자의 최대 권장사용온도는 135°C 이하이고, 순간 내열온도는 200°C 입니다.