HappyCo

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(Watt = Volt X 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 x 비열 x 온도차(dT)/냉각시간 + 칩입열 + 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)
= (2,000g X 4.186J/g℃ X 10℃) / 1800sec
= 46.5J/sec = 46.5W

1-3. 냉각 열부하 계산 예 (물►얼음)

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

물의 비열 : 4.186J/g℃(=1cal/g℃)
물의 응고열 : 333.55J/g
얼음의 비열 : 약 2.05J/g℃
냉각시간 : 1,800sec(=30분)

흡열량(Q)
= {(500g X 4.186J/g℃ X 5℃)
+ (500g X 333.55J/g)
+ (500g X 2.05J/g℃ X 5℃)} / 1800sec
= 101.3J/sec = 101.3W

1-4. 냉각 열부하 계산 예 (수증기►얼음)

- 130℃ 수증기 500g을 1시간에 -5℃까지 냉각하는데
  필요한 흡열량은?

  수증기의 비열 : 1J/g℃(=0.24cal/g℃)
  수증기의 응축열 : 2,256J/g(=539cal/g)
  물의 비열 : 4.186J/g℃(=1cal/g℃)
  물의 응고열 : 333.55J/g(=79.68cal/g)
  얼음의 비열 : 2.09J/g℃(=0.5cal/g℃)
  냉각시간 : 3,600sec(=1시간)

흡열량(Q) = 500g*{1J/g℃*30℃ + 2256J/g
+ 4.186J/g℃*100℃ + 333.55J/g
+ 2.09J/g℃*5℃)} / 1800sec
= 423.4J/sec = 423.4W

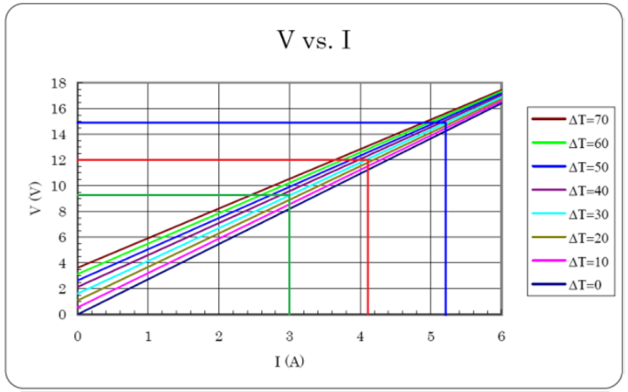
1-5. 냉각 열부하 계산 예 (알루미늄)

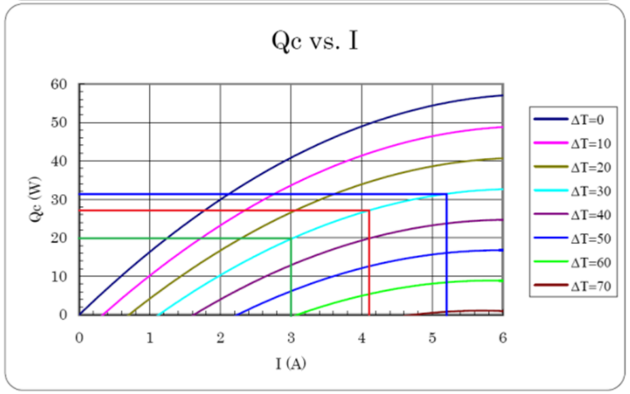
- 100 X 150 X 10mm 알루미늄 블록을 100℃에서 20℃로 5분간 냉각하는데 필요한 흡열량은?

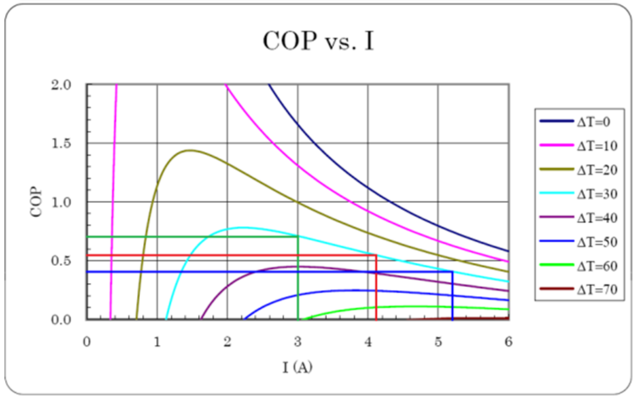
  알루미늄블록 무게(비중 2.7g/cc X 150cc) : 405g
  알루미늄 비열 : 약 0.9J/g℃
  100℃에서 20℃까지 온도차(dT) : 80℃
  가열시간 : 300sec(=5분)

흡열량(Q) = (405g X 0.9J/g℃ X 80℃) / 300sec
= 97.2J/sec = 97.2W

2-1. 열전소자 모델 선정의 팁



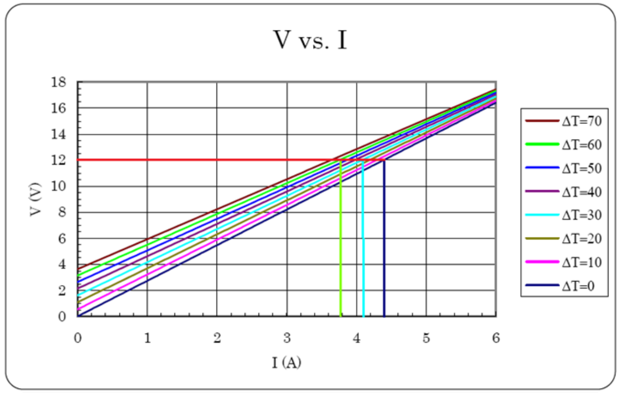


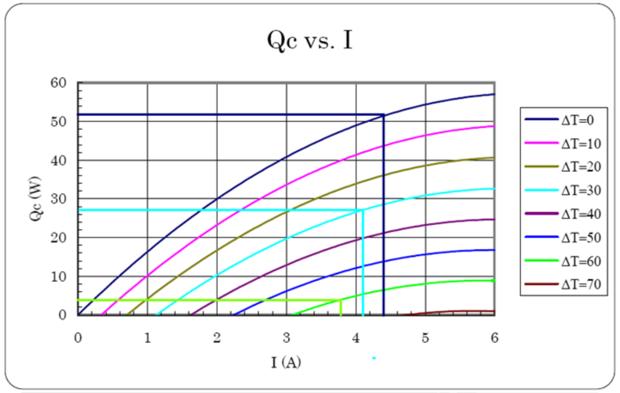


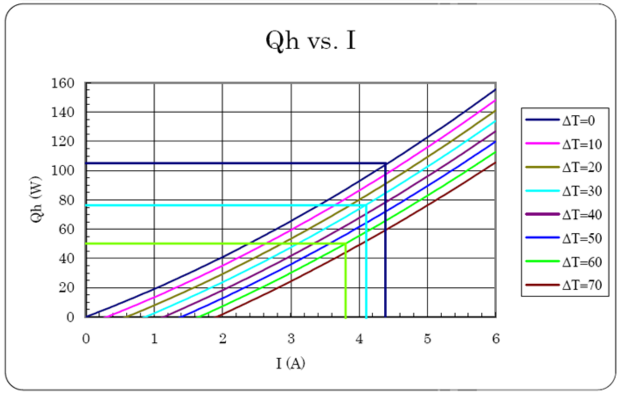
- V vs I 그래프와 같이 열전소자는 인가 전압에 비례하여 전류도 증가하므로 소비전력도 비례하여 증가합니다.
- 그런데 Qc vs I 그래프에서 Imax의 70% 이상의 Qc는 소비전력 증가량 대비 Qc 증가량이 줄어 효율이 떨어집니다. 따라서 보통 Vmax의 70%정도의 전압을 인가하여 사용할 것을 추천합니다.
- 효율면에서는 COP vs I 그래프와 같이 Imax의 70%일 때 COP(=Qc/소비전력) 보다 50%일 때가 COP가 더 좋습니다.
- 그러나, Vmax의 50%를 인가할 경우, COP는 좋아지지만 Qc가 작아져 필요한 냉각부하량에 모자랄 수 있고, dT도 60℃ 정도로 줄어 듭니다.
- 따라서, Qc가 큰 모델을 선정하여 COP가 좋게 Vmax의 50%정도의 전압을 인가하는 것도 고려해볼 필요가 있습니다.

HappyCo

2-2. 9500/127/060B에 70% 인가한 경우

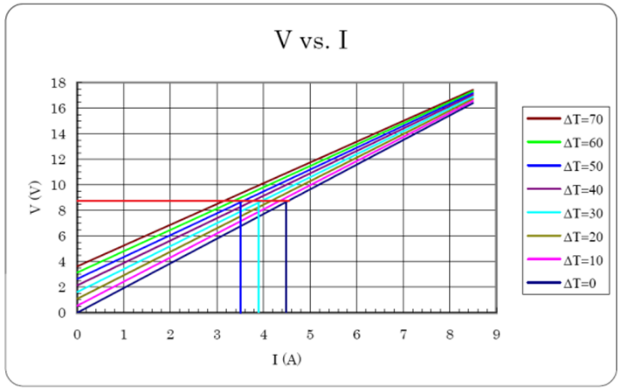


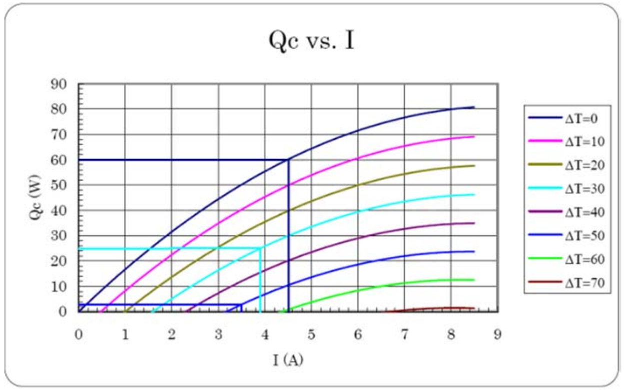


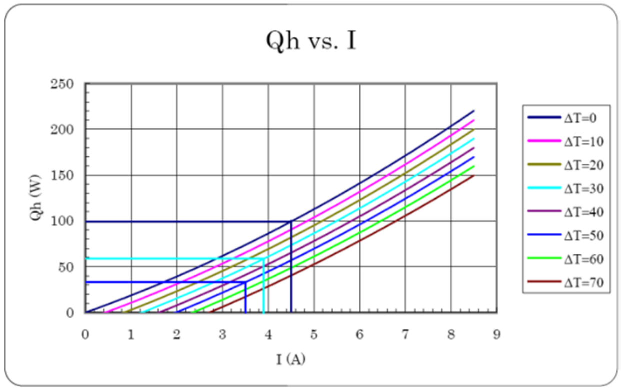


- Vmax 17.5V의 70%인 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0℃이므로, 전류는 4.4A 흐른다. 이 때 흡열량(Qc)은 52W가 되고, 방열량(Qh)은 소비전력 52.8W (=12V*4.4A)와 Qc 52W를 합한 104.8W가 됩니다.
- 시간이 지나 dT가 30℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 4.1A로 줄고, Qc도 27W로 줄며, Qh는 소비전력 49.2W (=12V*4.1A)와 Qc 27W를 합한 76.2W가 됩니다.
- dT가 60℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.8A로 줄고, Qc도 4W로 줄며, Qh는 소비전력 45.6W (=12V*3.8A)와 Qc 3W를 합한 49.6W가 됩니다.

2-3. 9500/127/085B에 50% 인가한 경우







- Vmax 17.5V의 50%인 8.75V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0℃이므로, 전류는 4.5A 흐른다. 이 때 흡열량(Qc)은 60W가 되고, 방열량(Qh)은 소비전력 39.4W (=8.75V*4.5A)와 Qc 60W를 합한 99.4W가 됩니다.
- 시간이 지나 dT가 30℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.9A로 줄고, Qc도 25W로 줄며, Qh는 소비전력 34.1W (=8.75V*3.9A)와 Qc 25W를 합한 59.1W가 됩니다.
- dT가 50℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.5A로 줄고, Qc도 3W로 줄며, Qh는 소비전력 30.6W (=8.75V*3.5A)와 Qc 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 반도체소자 입니다.
- 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 : 2~25W/m^2 °C)

- 강제공냉 :
  방열판에 팬을 달아 강제로 공기와 열교환이 되도록 하는 방열 방식.
  (강제대류에 의한 공기의 대류열전달계수 : 25~250W/m^2 °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(℃)를 말하며, ℃/W의 단위를 사용.

- 열전소자의 방열면온도(Th)는 주위 공기온도에 방열량(Qh)과 방열판의 열저항에 의해 상승한 온도를 더한 온도가 Th입니다. 주위 공기 온도가 30℃이고, Qh가 75W인 열전소자에 열저항이 0.2℃/W인 방열판을 사용하면, Th는 공기온도 30℃에 방열판의 열저항에 의한 온도상승 22.5℃(=75W* 0.3℃/W)를 합한 52.5℃가 됩니다.

	사이즈별 대략적인 열저항치(℃/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(Qh) = 흡열량(Qc) + 소비전력(V x I)}

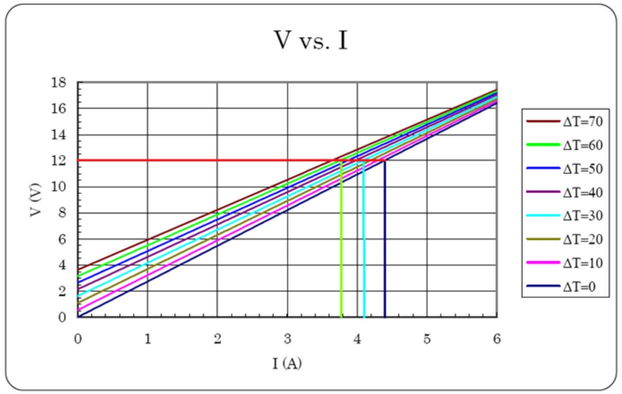
- 12V를 인가하면 4A가 흐르는 열전소자의 Qc가 24W인 경우, Qh는 소비전력 48W(=12V*4A)에 Qc 24W를 더한 72W를 방열해야 합니다.

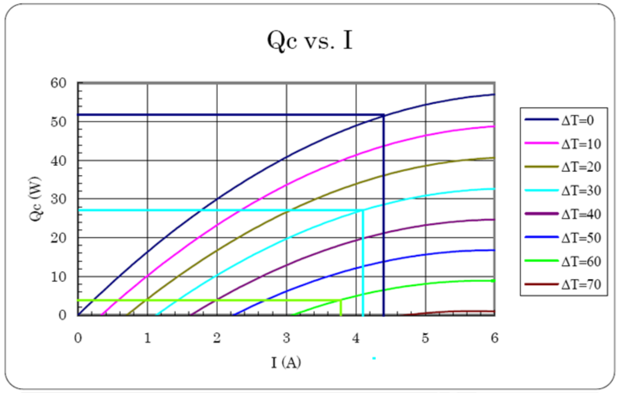
- 이 때, 사용하는 방열판의 방열능력이 60W이면, 소비전력은 그대로 48W이므로 흡열량이 12W로 줄어들 수밖에 없어, 24W 열전소자 흡열능력의 50% 성능밖에 사용할 수 없습니다.

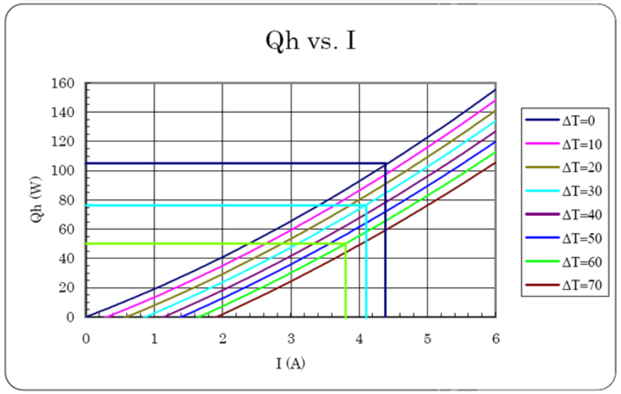
- 따라서, 방열판 등 방열능력(열저항치)이 열전냉각 시스템의 성능을 좌우합니다.

HappyCo

3-5. 9500/127/060B 모델의 방열량





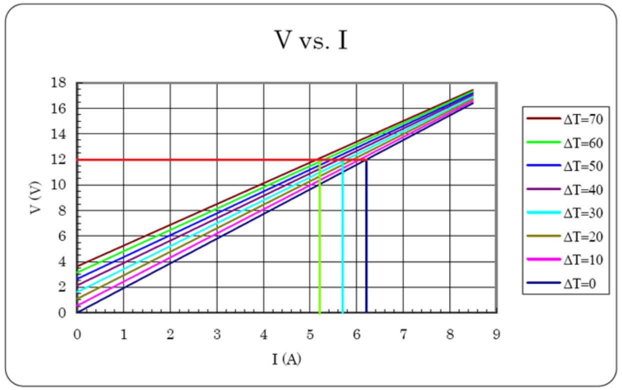


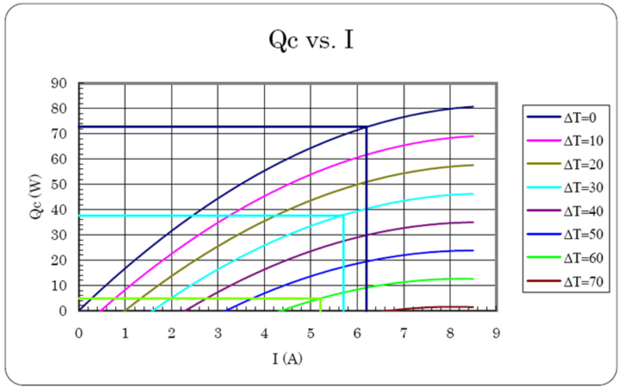
- 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 흡열면과 방열면의 온도차(dT)가 0℃이므로, 전류는 4.4A 흐른다. 이 때 흡열량(Qc)은 52W가 되고, 방열량(Qh)은 소비전력 52.8W (=12V*4.4A)와 Qc 52W를 합한 104.8W가 됩니다.

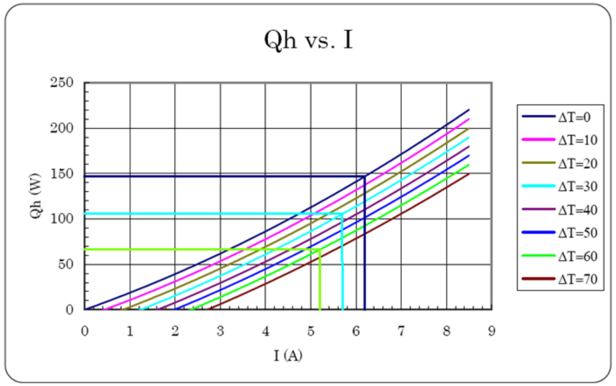
- 시간이 지나 dT가 30℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 4.1A로 줄고, Qc도 27W로 줄며, Qh는 소비전력 49.2W (=12V*4.1A)와 Qc 27W를 합한 76.2W가 됩니다.

- dT가 60℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 3.8A로 줄고, Qc도 4W로 줄며, Qh는 소비전력 45.6W (=12V*3.8A)와 Qc 3W를 합한 49.6W가 됩니다.

3-6. 9500/127/085B 모델의 방열량







- 12V의 전압을 인가한 경우, 초기에 열전소자의 dT가 0℃이므로, 전류는 약 6.2A 흐른다. 이 때 Qc는 73W가 되고, Qh는 소비전력 74.4W (=12V*6.2A)와 Qc 73W를 합한 147.4W가 됩니다.

- 시간이 지나 dT가 30℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 5.7A로 줄고, Qc도 38W로 줄며, Qh는 소비전력 68.4W (=12V*5.7A)와 Qc 38W를 합한 106.4W가 됩니다.

- dT가 60℃가 되면, 열전소자에 흐르는 전류는 5.2A로 줄고, Qc도 5W로 줄며, Qh는 소비전력 62.4W (=12V*5.2A)와 Qc 5W를 합한 67.4W가 됩니다.

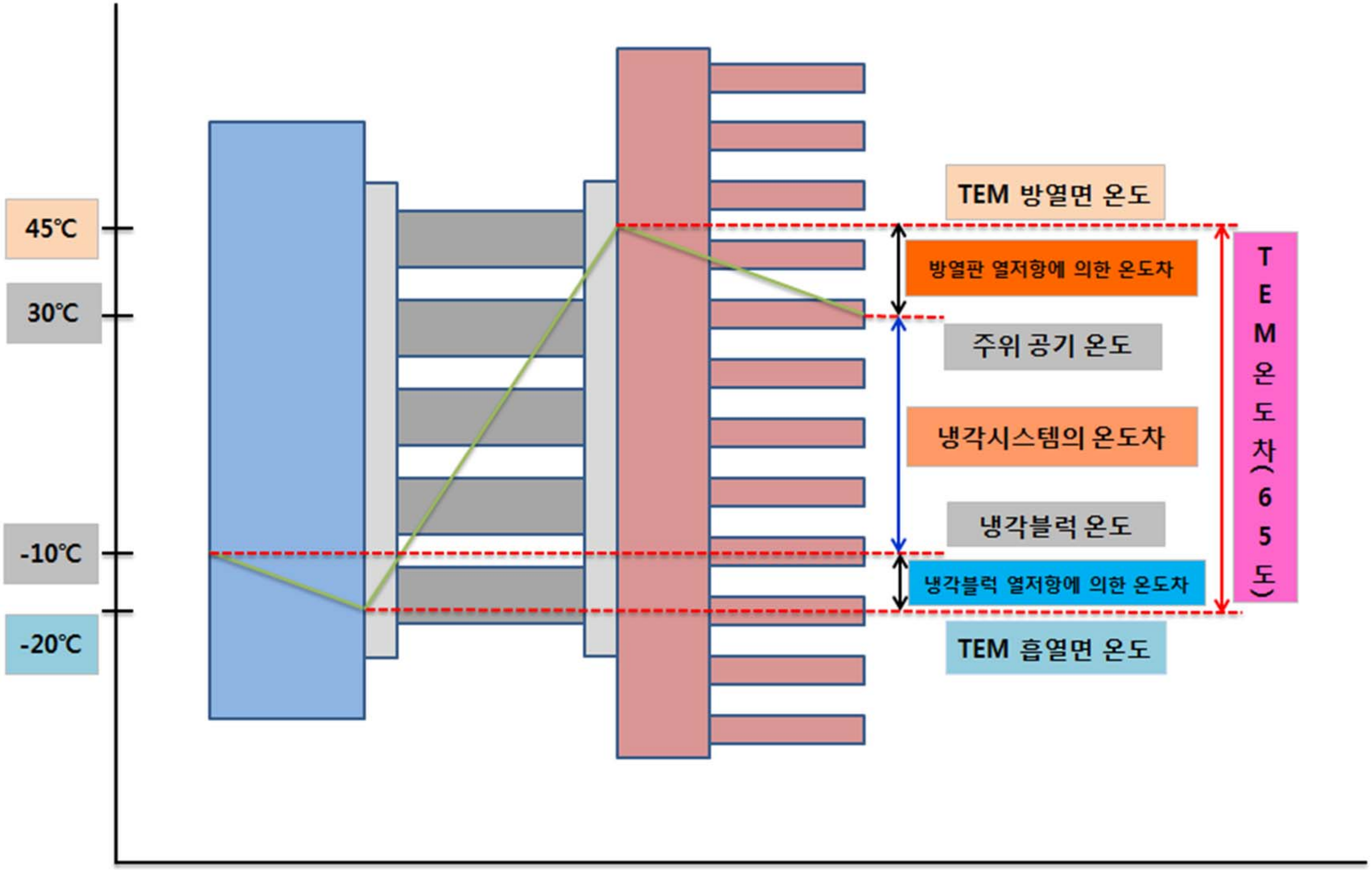
3-7. 방열판 열저항에 따른 방열면온도

- 열전소자의 방열면온도(Th)는 주위 공기온도에 방열량(Qh)과 방열판의 열저항에 의해 상승한 온도를 더한 온도가 Th가 됩니다.
- 주위 공기온도가 30℃이고, 열전소자 Qh가 75W이고, 열저항이 0.2℃/W인 방열판을 사용할 경우, Th는 Qh와 방열판열저항에 의해 상승한 15℃(=75W *0.2℃/W)와 주위온도 30℃를 더한 45℃가 Th 입니다.
- 주위 공기온도가 30℃이고, 열전소자 Qh가 75W이고, 열저항이 0.4℃/W인 방열판을 사용할 경우, Th는 Qh와 방열판열저항에 의해 상승한 30℃(=75W *0.4℃/W)와 주위온도 30℃를 더한 60℃가 Th 입니다.
- 따라서 Th를 최대한 낮추기 위해서는 열저항(℃/W)이 낮은 수냉자켓이나 방열핀의 수가 많고 사이즈가 커서 열교환 능력이 좋은(열저항이 적은) 방열판과 팬을 사용한 강제공냉 방식을 채택할 필요가 있습니다.

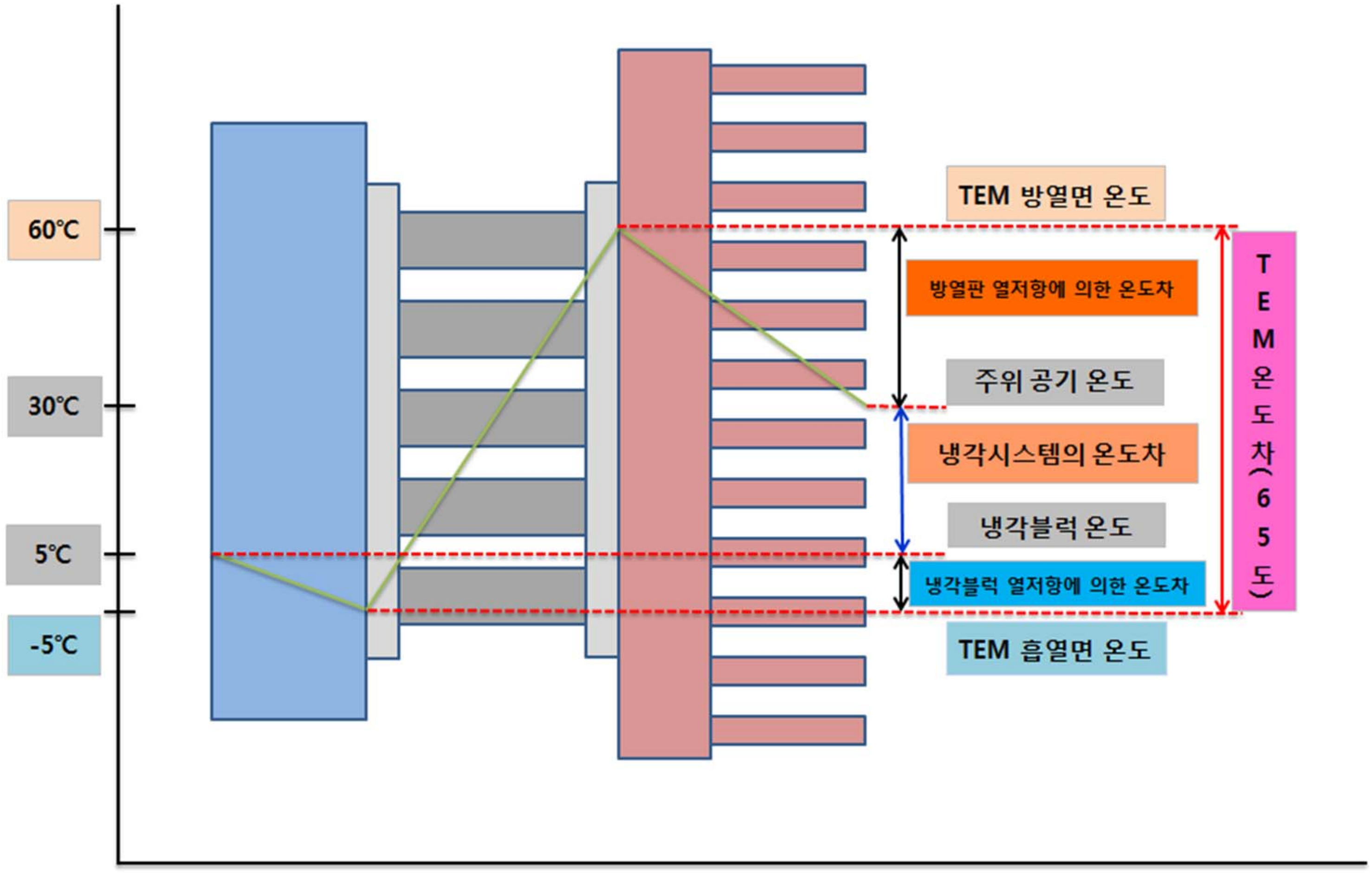
3-8. 방열면온도에 따른 흡열면온도

- 열전소자는 Th와 인가전압에 따라, Th와 Tc의 온도차(dT)인 dT가 변하므로, 최대한 낮출 수 있는 Tc도 변합니다.
- Th가 50℃이고 Vmax 전압을 인가할 경우 dTmax는 72℃이나, Th가 50℃이고 Vmax의 70%정도의 전압을 인가한 경우 dT는 65℃정도 이고, Th가 25℃이고 70%정도의 전압을 인가한 경우 dT는 60℃정도로 조금 낮아 집니다
- Th가 50℃이고 dT가 65℃인 경우, Tc는 최대 -15℃(=Th-dT)까지 낮출 수 있으나, 방열판 열저항이 커서 Th가 60℃가 되면 Tc는 최대 -5℃(=60℃-65℃)밖에 낮출 수 없습니다.
- 수냉자켓을 사용하여 Th를 25℃로 낮추면 dT는 60℃로 줄지만 Tc는 최대 -35℃(=25℃-60℃)까지 낮출 수 있습니다.
- Th를 낮추면 dT는 조금 낮아지지만, Tc는 Th가 낮아지는 만큼 비슷한 정도로 낮아지므로, Tc를 낮추기 위해서는 Th를 낮출 수 있는 수냉자켓이나 열저항이 작은 방열핀이 많은 방열판과 팬 등을 사용하여 Th를 최대한 낮출 필요가 있습니다.

3-9. 방열판 열저항이 15℃인 경우 냉각온도



3-10. 방열판 열저항이 30℃인 경우 냉각온도



3-11. 성능지수(COP)와 방열량

- 열전소자의 COP(=Qc/소비전력)가 0.5인 경우, 소비전력(=Qc/COP=Qc/0.5=2Qc)은 Qc의 2배가 되고, Qh는 Qc에 소비전력을 더한 값이므로, Qh는 Qc+2Qc로 Qc의 3배가 됩니다.
- COP가 1인 경우, 소비전력과 Qc가 같으므로, Qh는 Qc의 2배로 줄어 방열이 용이합니다.
- 따라서, Qc가 큰 모델을 선정하여 COP가 좋게 Vmax의 50~60% 정도의 전압을 인가하여 사용하면, Qh가 줄어 Th도 낮아지므로 Tc도 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, Qh에 의해 주위 공기 온도가 상승하고, 주위온도의 상승이 Th를 상승시키고, Tc도 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 결로가 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(땜납)로 고정시켜 만듭니다.

- 따라서, 사용온도가 높으면 솔더가 녹거나 약해지는 문제로 사용온도에 제한이 있습니다.

- Ferrotec 열전소자의 최대 권장사용온도는 135℃이하이고, 순간 내열온도는 200℃입니다.