

옥외 자립형 PANEL에 적용한 전자냉각장치 고찰

옥연호, 임재일, 박지군, 곽원구, 이재흥, 김병기
한국수자원공사, 성림 M & C

The consideration of the electronic cooling device for outside panel

Ok Yeon Ho, Lim Jae il, Park Ji Kun, Kwak Won Ku, Lee Jae Heung, Kim Byung Ki
Hydropower Plant Maintenance Team, Chungju Regional Office, Korea Water Resources Corporation, Sungrim M&C

Abstract - 옥외 현장에 설치되어 있는 PANEL은 하절기에 내부 온도가 높아져 PANEL 내부에 설치되어 있는 제어장치의 정상 동작을 방해할 수 있다. 실제로 하절기 오후 2~3시경 PANEL 내부의 온도는 약 60~75℃ 정도의 고온을 유지한다. 근래에는 현장 PANEL 내부에 PLC 및 컨트롤러 등 전자화된 제어 장치의 설치 비중이 증가하고 있고 대부분의 컨트롤러 사용 온도는 약 0~55℃ 이므로 하절기 고온 상태에서 정상적인 동작을 기대하기는 어렵다. 본 논문에서는 옥외 자립형 PANEL의 냉각 장치를 개발하여 운영하고 그 효과를 분석, 검토함으로써 하절기 고온 상태에서도 안정적으로 설비가 정상 동작하기 위한 방안 제시를 주요 목적으로 한다.

1. 서 론

일반적으로 PANEL을 냉각시키는 방법에는 팬을 이용한 자연순환방식과 일반 에어컨과 같은 소형 기계식 냉동기를 이용하는 방법 등이 있다. 하지만 이것들은 모두 PANEL 내부 전체를 냉각하는 방법으로 태양열로 인하여 냉방부하가 증가할 시에는 제대로 된 냉각효과를 기대하기 어렵다. 태양열을 전기량으로 환산할 때 우리나라의 하루 평균은 3.588kwh/m²으로 정남향으로 설치된 가로 800mm, 세로 2200mm, 높이 500mm의 PANEL이 받는 태양에너지 Q는

$$Q = 0.8m \times 2.2m \times 3.588kwh/m^2 = 6.31488kwh/m^2$$

이며 냉각장치의 효율이 80%일 때 실제 소요전력량 Q₁은

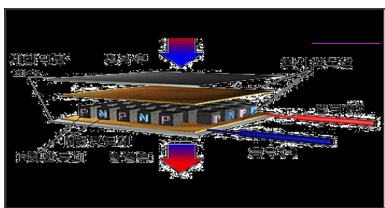
$$Q_1 = 6.31488kwh / 0.8 = 7.8936kwh \text{ 이다.}$$

따라서 냉각장치에 전력량 Q₁에 해당하는 전력량을 공급해야 열평형에 도달하며, 이보다 많은 전력량이 공급되어야 비로소 냉각이 이루어지게 된다. 이처럼 만족할 만한 냉각 효과를 얻기 위해서는 많은 전력량이 필요하게 되어 설비운영 측면에서 효율성이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해 냉각된 공기를 온도에 민감한 특성을 갖는 전자화된 컨트롤러에 국부적으로 주입하여 먼저 냉각하고, 잔여 냉기가 주위로 퍼져나가면서 비교적 온도에 둔감한 마그네틱 콘택터, 푸쉬버튼 등으로 확산되도록 하는 방안이 착안하였다.

2. 본 론

2.1 전자식 냉각방식 개요

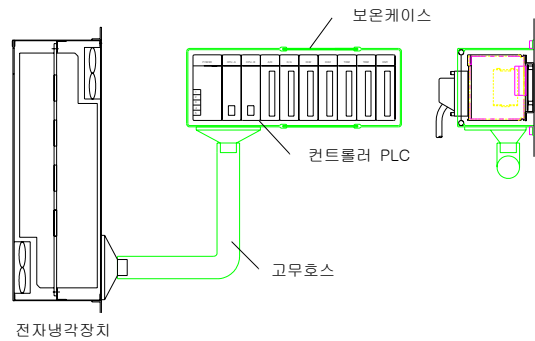
펠터 효과 특성을 갖는 PN접합 소자를 세라믹 기판에 다수 배치하고 P형 반도체 내에서 정공이 유입되면 정공이 열을 실어 나르는 역할을 하게 되며, 그 결과 냉각부 플레이트는 지속적으로 차가워지고 발열부 플레이트는 지속적으로 뜨거워진다. 열의 이동은 회로에 흐르는 전류에 비례하고 열전펄프를 이루는 열전셀의 수에 비례한다. 전자냉각 방식은 구조가 간단하고 기계 구동부가 없어서 마모부분이 없는 장점이 있으나 비교적 열 변환효율이 떨어져 의료용 정밀냉각이나 광 변환기의 레이저 다이오드, 냉온수기의 냉열과 가열용도 등으로 주로 소용량 열부하에 매우 적합한 특징을 지니고 있다. 따라서 컨트롤러만 집중적으로 냉각하고 냉방부하를 파격적으로 줄여서 PANEL 냉각장치에 적용한다면 매우 간단한 구조로 탁월한 냉각효과를 얻을 수 있게 된다.



<그림 1> 전자식 냉각장치 원리도

2.2 총주 제 2수력 수문제어 현장 PANEL 적용

전기 PANEL에 설치되어 있는 컨트롤러 주위를 감싸는 케이스를 설치하고 냉각된 공기를 집중적으로 컨트롤러에 분사하도록 하면 훨씬 적은 용량의 냉각장치를 이용하더라도 효율적인 냉각효과를 얻을 수가 있다.



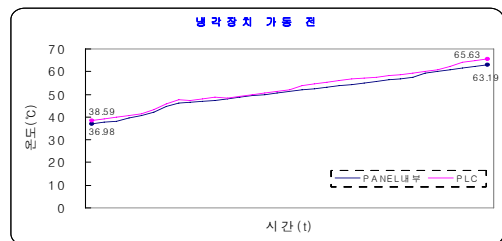
<그림 2> 전자냉각장치 설치도

냉각장치를 제작하여 PANEL 외부의 열면에 부착하였다. 냉각장치는 전자 냉각 기관을 포함하여 송풍용 팬과 PANEL 내부 온도를 감지하여 팬을 구동시키는 컨트롤러 등으로 구성되어있다. 주요 냉각 부위인 PLC 바로 아래쪽에 냉각된 공기가 나오도록 송풍구를 설치했고, 냉각장치와 송풍구를 유도관으로 연결하여 냉각된 공기가 외부 유출없이 PLC로 전달되도록 했다.

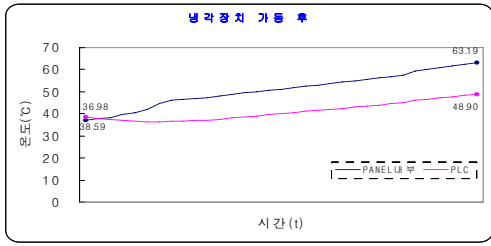


<그림 3> 냉각장치 현장 설치 사진

<그림 4>, <그림 5>에 냉각장치 전후의 PANEL 내부 온도특성을 계측하여 표시하였다.



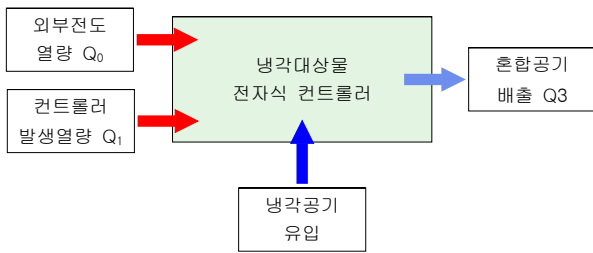
<그림 4> 냉각장치 가동 전



<그림 5> 냉각장치 가동 후

인위적으로 PANEL의 온도를 증가시켜서 냉각장치를 가동 하지 않고 온도 데이터를 취득한 결과 PLC쪽의 온도가 PANEL 내부의 온도보다 2~3℃정도 높게 유지되었다. 냉각장치를 가동하고 온도를 측정할 결과는 PLC쪽의 온도가 현저하게 낮아져 냉각장치가 PLC 쪽 온도 저하에 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

2.3 냉각장치의 열역학적 고찰



<그림 6> 컨트롤러 냉각장치의 냉열량 모델링

Fourier 열전도 법칙에 의하여 PANEL 내부에서 전도되는 열량 Q₀ 는

$$\frac{Q_0}{dt} = k * \frac{dT}{dx} A$$

- dt : 냉각시간 (sec)
- k : 냉각 케이스의 열전도율 (w/m · k)
- dT : PANEL내부 온도 - 냉각대상물 목표온도 차이 (°C)
- dx : 냉각케이스 보온두께 (m)
- A : 냉각 케이스의 면적 (m²)

PANEL 내부온도를 65℃이고 냉각대상물 목표온도를 25℃로 할 때 dT는 dT = 65 - 25 = 40℃

케이스의 크기가 350mm x 450mm x 180mm로 할 때 면적 A는 A = 2 * (0.35 * 0.45 + 0.45 * 0.18 + 0.35 * 0.18) = 0.603 (m²) 이며, 케이스 보온두께는 10mm 울렌트과 5mm ABS 박스로 가정할 때 단위 시간당 열전도량 Q₀는 (평균 열전도율 = 0.08로 함) Q₀ = 0.08 * 40 / 0.015 * 0.603 = 128.64 (W) 이다. 이 때 유입되는 냉각공기의 열량 Q₂는

$$Q_2 = \rho * Cp * \frac{dT}{dt} V$$

- ρ : 비중 (= 1.1614 kg / m³)
- Cp : 유체의 비열 (= 1.0070 KJ/kg · K)
- dT : 냉각대상물 목표온도 - 냉각공기 온도 (°C)
- dt : 냉각시간 (sec)
- V : 냉각공기 유입량 (m³ / sec)

컨트롤러의 사용전력은 30W, 효율은 80%이고 나머지 20%중 75%가 열로 방출한다고 가정할 때 자체 발열량 Q₁은

$$Q_1 = 30 * (0.2 * 0.75) = 4.5 (W)$$

이때, 케이스로 부터 유입되는 열량 Q₀을 합하면 총 냉각열량 Qt는

$$Qt = Q_0 + Q_1 = 128.64 + 4.5 = 133.14 (W)$$

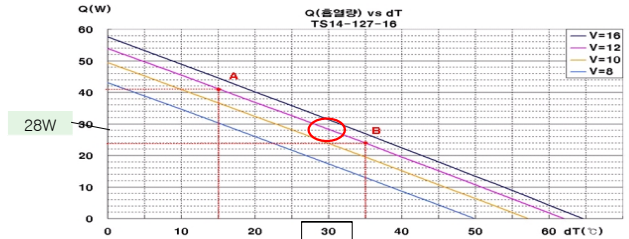
이다. 냉각대상물 목표온도를 25℃로 하고 유입되는 냉각공기 온도를 20℃ 라고 할 때 dT는

$$dT = 25 - 20 = 5℃ \text{ 이고,}$$

공기의 비열이 Cp= 1.0070 (J/kg · K) 이므로 케이스에 유입되는 냉각공기 유입량 (m³ / sec) V는

$$V = Qt / (\rho * Cp * dT) = 133.14 / (1.1614 * 1007 * 5) = 0.022768 (m^3 / sec) => 1.366 (m^3 / min) \text{ 이다.}$$

따라서 실험에서 냉각된 공기를 공급하는 팬은 DC 24V, 최대 풍량은 1.1 (m³/min) 으로 이론값에 비교할 때 작게 선정되었음을 알 수 있다.



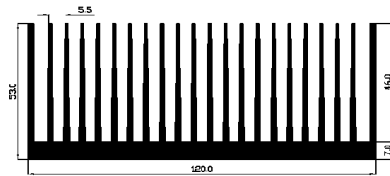
<그림 7> 온도차 dT와 흡열량 특성표

열전소자의 흡열특성은 <그림 7>과 같이 열전소자의 흡열측과 발열측의 온도차 dT가 클수록 흡열특성은 작아지게 된다. dT는 Th-Tc로 열전소자의 흡열부와 발열부의 온도 차이를 의미하며 <그림 7> 에서 보면 dT가 증가할수록 흡열량 Q는 감소한다. 같은 열전소자를 사용하더라도 dT가 15℃일 때 (점 A)와 35℃ (점 B)는 약 2배의 흡열량 차이를 보이므로 따라서 열전소자를 효율적으로 사용하려면 dT를 줄여야 한다. 만일 인가전압을 12V라 하고 여름의 대기온도를 감안하여 발열부의 온도를 50℃로 하고 흡열부의 온도를 20℃로 할 때 dT는 30℃가 되어 위 표에서 흡열량을 구하면 냉각셀 하나당 흡열량 Qc는 28W를 얻을 수 있다. 냉각기에서 중요한 요소는 방열판으로 흡열부와 발열부에서 발생한 열을 주위온도로 환원하는 중요한 역할을 한다. Heatsink에서의 냉각 법칙은 Newton의 냉각원리에 따르며 단위시간당 열의 이동량은 dQ는 다음과 같다.

$$\frac{dQ}{dt} = h * A * (T - T_0)$$

- dQ : 열에너지 이동 (joule)
- h : 대류열전달계수 (w/m² · k)
- A : (PI x l) + (단면적 x 2) (m²)
- T : 물체의 표면온도 (°C)
- T₀ : 주위온도 (°C)
- Δt : 방열기간 (sec)

방열판의 형상은 아래 그림과 같고 이때 단위 길이 당 방열면적 A₀는 A₀ = 22 * 26 * 2 + 120 * 2 = 1384 mm => 1.384 m 길이는 350mm 3개를 사용하므로 L = 350 x 3 = 1050mm => 1.05 m이며, 이때 방열면적 A는 A = A₀ * L = 1.384 * 1.05 = 1.4532 m²



<그림 8> 방열판의 형상

이 방열판에서 방열되는 방열량 Q는 강제냉각방식에서 일반적으로 공기 (Gas)의 대류열전달계수 h는 25~250이며 이 중 h=30로 계산하면

$$Q = h * A * \Delta T = 30 * 1.4532 * 25 = 1089.9 (w)$$

의 방열이 가능하게 된다.

3. 결 론

내부 온도 데이터 취득 결과 PANEL 내부 온도가 증가함에 따라서 PLC쪽의 온도도 증가하지만 고온이 될 수록 PANEL 내부 온도와 PLC쪽의 온도차이가 증가하는 것이 관찰되었다. 향후 냉각장치의 흡열량을 증가하고 흡열측 냉각팬을 좀 더 큰 용량으로 변경하면 냉각 기능이 개선될 것으로 사료되며, 이 밖에 냉각장치의 크기 축소 및 냉각 공기의 유도관 이동 중 열 손실 최소화 등 기능 개선이 이루어진다면 본 데이터 보다 효율적인 냉각효과를 기대할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 위용호, “태양열냉난방시스템”, 도서출판 형제사, 1979. 7
 [2] 하재현, “유체역학”, 성문사, 1977, 2
 [3] http://www.nmb.co.kr
 [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect#Peltier_effect
 [5] http://www.cheresources.com/convection.shtml#boiling