

# 열전소자를 이용한 액체 냉각기의 냉각열전달 특성

박 민 영, 이 근 식<sup>†</sup>

울산대학교 대학원, 울산대학교 기계자동차공학부

## Cooling characteristics of a Liquid cooler Using Thermoelectric Module

Min Young Park and Geun Sik Lee<sup>†</sup>

**ABSTRACT:** In this study, the cooling characteristics of a liquid cooler using thermoelectric module was experimentally investigated. The experiment was conducted for various inner structures of liquid cooler (4 cases), hot fluid flow rates (0.15-0.25 L/min), number of T.E module (2, 4, 6 set), and the cooling water flow rates (200-600 cc/min) for both parallel and counter flow types. Among the results, better cooling performance geometry was selected. And experiment was also carried out to examine further enhancement of cooling performance by inserting coils (pitches: 0.2, 3, 6 mm) into the hot-fluid channel. Present results showed that the short serpentine type(case2) indicated the best cooling performance. In the case of coil pitch of 3 mm, the best cooling performance was shown, more than 10% increase of the inlet and outlet temperature difference, compared with the case of the cooler without coil. Consequently, the inserted coil pitch should be properly selected to improve cooling performance.

**Key words:** Liquid cooler(액체냉각기), Thermoelectric module(열전소자), Coil pitch(코일 피치)  
Cooling performance(냉각 성능)

### 기 호 설 명

- $T$  : 온도 [°C]
- $L$  : 길이 [mm]
- $Q$  : 냉각수 유량 [cc/min],
- $\dot{V}$  : 등유 유량 [L/min]

### 하첨자

- $i$  : 냉각기 입구
- $o$  : 냉각기 출구
- $k$  : 등유

### 1. 서 론

열교환기의 성능은 입·출구온도차, 전열 면적, 유로의 형상, 유로 내부 유체의 통과 유량, 냉각 시키고자 하는 유체의 물리적 성질 등에 따라 달라진다.

열전소자를 이용한 냉각은 저온부에서 흡수한 열을 고온부에서 방열시키는 간단한 구조이며, 열전소자의 방열기는 방열핀(fin)과 방열팬(fan) 방식을 이용하고 있으나 최근 열전냉각 방식에 관해 많은 연구가 진행 중이다. Phelan et al.<sup>(1)</sup>은 열전소자의 냉각시스템에서 열전소자의 고온부에 부착되는 방열기의 설계에 대한 연구를 하였다. Yoo et al.<sup>(2)</sup>은 열전소자의 고온부를 액체 냉각하는 시스템의 성능에 대한 실험적 연구를 하였으

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-52-259-2135; fax: +82-52-259-1680  
E-mail address: gslee@mail.ulsan.ac.kr

며, Huang et al.<sup>(3)</sup>는 열전소자의 최대냉각성능은 열전소자 고온측의 충분한 방열 조건에서 이루어질 수 있다는 연구 결과를 발표하였다. Lee et al.<sup>(4)</sup>은 열전소자의 냉각 자켓(water jacket)의 설계인자가 열전냉각 시스템에 미치는 효과에 대한 연구를 하였다.

본 연구에서는 액체냉각기 표면에 열전소자

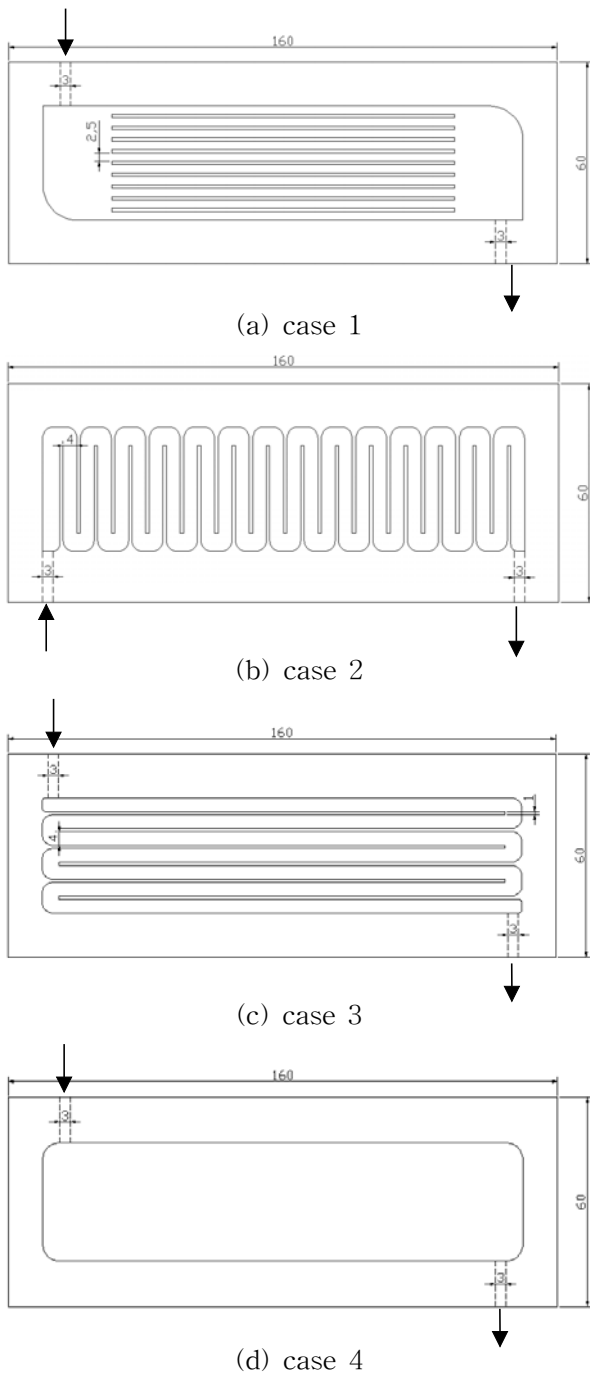


Fig. 1 Inner structure of a liquid cooler.

(thermoelectric module, 이하 T.E module)를 부착한 액체 냉각기에서 냉각기 내부의 유로 형상, 유량, 냉각수 유량 변화가 냉각 특성에 미치는 영향에 대해 알아보려고 한다. 이를 위해 냉각기 내부에 고온 유체(등유, kerosene)가 흐르고 열전소자를 이용하여 표면을 냉각시키는 액체냉각기를 고안하여 내부 유로형상의 변화, 열전소자의 작동 개수, 냉각수 유량의 변화에 따른 냉각 특성에 대한 실험을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구의 실험에 사용된 열교환기의 형상을 나타낸다. 열교환기 내부 형상은 유로 중간에 채널이 있는 경우(a), 길이방향으로 짧은 채널이 있는 경우(b), 긴 채널이 있는 경우(c), 유로 내부에 아무것도 없는 경우(d)의 4가지 형태를 전체 크기 160×60×10mm이고, 유로 깊이 5mm로 알루미늄소재를 이용하여 가공하였다.

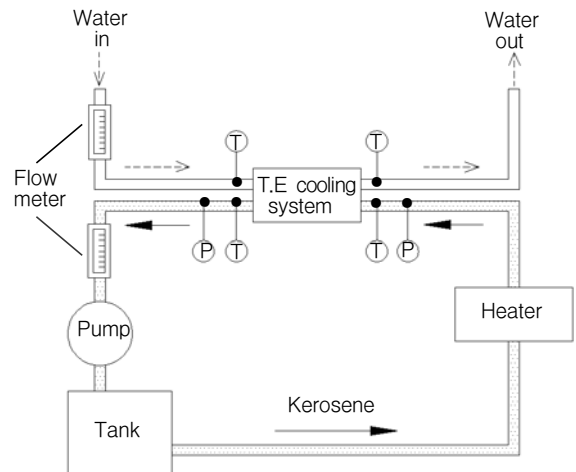


Fig. 2 Schematic diagram of experiment.

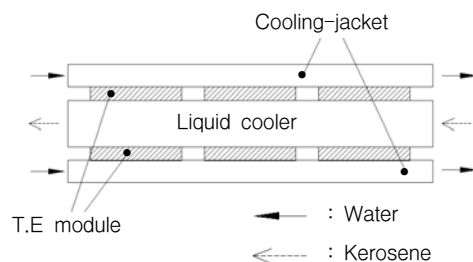


Fig. 3 T.E module cooling system.

Fig. 2에 실험장치의 전체적인 개략도이며, 고온유체 등유는 펌프에 의하여 순환되는 강제 순환루프이고, 냉각수는 상온의 물이 열교환기를 통과하여 배출되는 방식이다. 고온유체 순환루프는 펌프, 가열기(heater), 냉각기, 열전대, 압력계, 유량계 등으로 구성되고, 냉각수 루프는 온도계, 유량계, 냉각 자켓(cooling jacket) 등으로 구성되어 있다.

고온유체인 등유는 펌프에 의해 지속적으로 순환하고 히터에서 배관의 일부가 물에 중탕되어 일정한 온도(85°C)를 유지한다. 실제로 냉각기 입구에서는 배관의 열손실로 인해 약 71-73°C로 유입된다. 냉각기 입·출구에서 온도와 압력을 측정하고, 순간유량계(CSS-1)에 의해 일정 유량으로 조정한다. 냉각수는 순간유량계(RMA)에 의하여 유량이 조절되고, 냉각 자켓 입·출구에서 온

도를 측정한다. 또한 냉각수는 실험에 따라 병행류(parallel)와 대향류(cross)로 통과한다.

Fig. 3은 액체냉각기와 열전소자 냉각장치(T.E module cooling system)의 세부적인 모습을 나타낸다. 열전소자는 공급 전압 12V, 전류 5A, 크기 40×40×3mm를 사용하였다. 열전소자의 저온부는 액체냉각기에 고온부는 냉각 자켓에 각각 부착하였다. 이 때 열전소자의 접촉 열저항을 최소화하기 위해 방열컴파운드(SE-102)를 얇게 도포한 후 냉각기와 상하의 냉각 자켓 사이에 각각 3개씩 6개를 부착하고 장치들을 고정시켰다. 또한 실험장치는 형상이 다른 액체냉각기로 교체가 용이하도록 제작하였다.

실험은 가열된 등유의 유량을 0.15, 0.20, 0.25 L/min로 증가시키고, 냉각기 입구에서부터 차례로 상·하의 열전소자를 한 쌍씩(2, 4, 6개) 작동

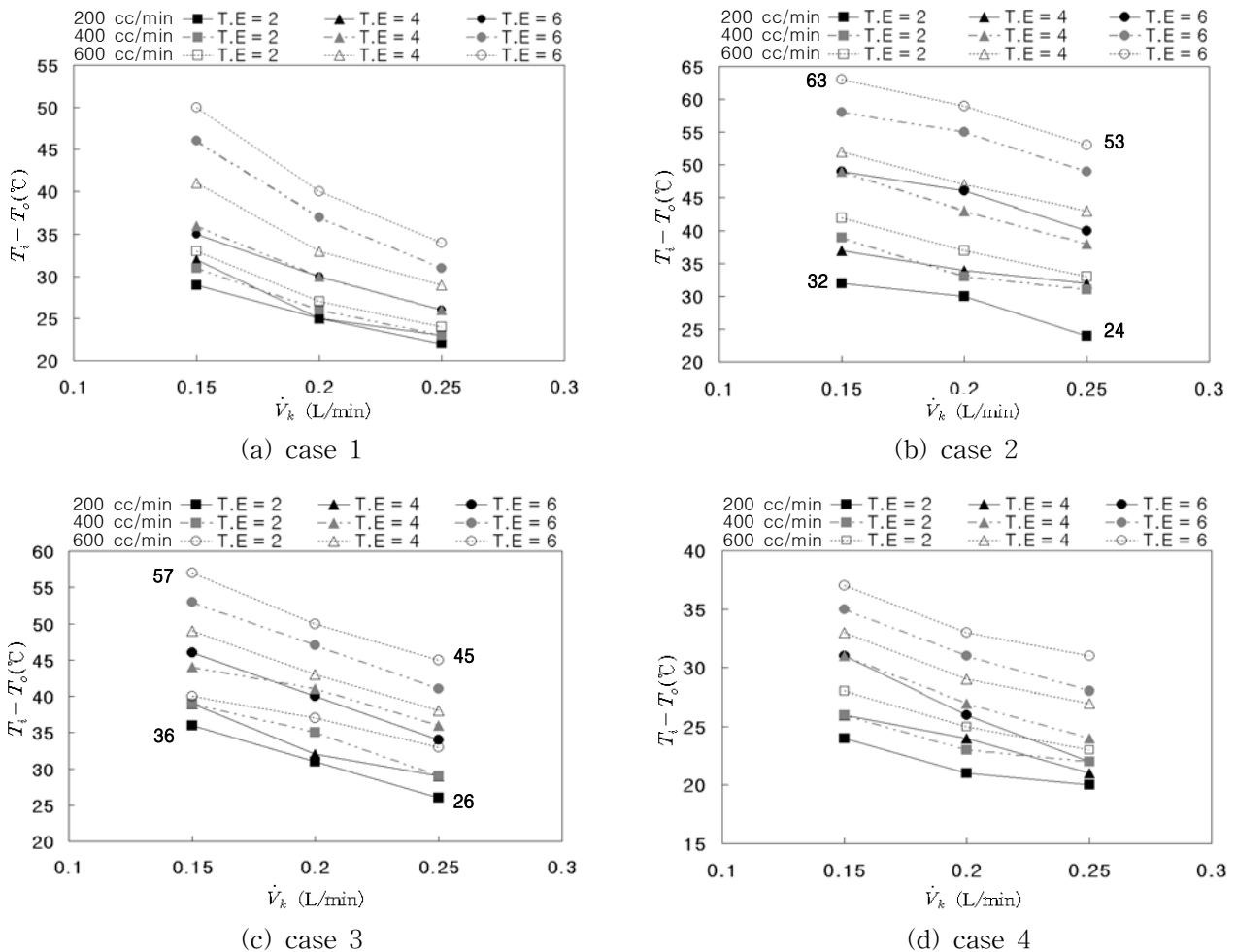


Fig. 4 Temperature vs. flow rate for various cooling flow rates and number of T.E modules with parallel flow type.

시켰다. 또한 냉각 자켓의 냉각수는 병행류(등유와 동일 유동방향)로 유량 200, 400, 600 cc/min로 증가 시켜가며 냉각기 입·출구의 온도를 측정하였다. 여기서 냉각성능이 양호한 형상을 선택하고 냉각수를 대향류(등유와 반대유동방향)로 하여 동일한 조건에서 다시 실험을 하였다. 또한 추가적으로 병행류와 대향류 실험에서 가장 우수한 성능을 나타내는 냉각기 형상(case)을 선택하고, 냉각기 내부 유체의 열확산율을 높이기 위해 유로내부에 구리 coil을 삽입하여 coil의 피치변화에 따른 냉각기의 냉각성능 실험을 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 냉각수 병행류

Fig. 4는 냉각수 유량을 200, 400, 600 cc/min로 각각 고정시키고, 열전소자의 개수와 열교환기를 통과하는 등유의 유량을 변화시키면서 실험한 결과이며, 수직축은 냉각기 입·출구의 온도차를 나타낸다. 전체적인 경향은 동일한 등유 유량에서 열전소자의 개수가 증가할수록, 냉각수의 유량이 증가할수록 출구 온도가 감소하여 냉각성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 이에 대해 Hwang and Kang<sup>(5)</sup>은 열전모듈 냉방기에서 열전모듈 개수가 감소할수록 열전 모듈 개당 입력전압이 증가하여 열전모듈 자체에서 발생하는 열이 증가하고, 고온 측에서 발생한 열이 저온 측으로 전도되어 냉방성능이 저하된다고 하였다.

한편 등유 유량이 증가할수록 냉각기 입·출구의 온도 차가 감소함을 알 수 있다. 여기서 냉각수 600 cc/min, T.E=6 일 때, 등유 유량의 증가에 따른 냉각기 입·출구 온도차를 살펴보면, case2는 63°C, 59°C, 53°C으로 case3은 57°C, 50°C, 45°C로 4가지의 case중 이 두 가지가 양호한 결과를 보였다.

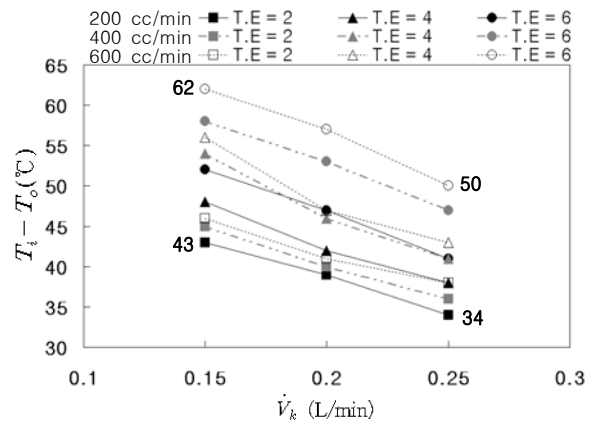
case1의 경우 냉각기 입구에서 유입된 유체가 내부의 채널로 균일하게 분배되지 않아 적절한 냉각이 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 이러한 경향에 대해 Yoon<sup>(6)</sup>은 분배관, 가지관 및 합류관으로 구성된 열교환기에서 유체가 균일하게 분배되지 않으면 국부적으로 고온부가 생기거나 전열계수가 저감되어 열교환기 성능이 감소한다고 하였다.

case4의 경우, 입·출구의 관 직경 3 mm에 비해 매우 큰 공간으로의 돌연 확대·축소로 인한 냉각기 내부 유체의 불균일한 유동 때문에 냉각이 균일하지 않은 것으로 판단된다.

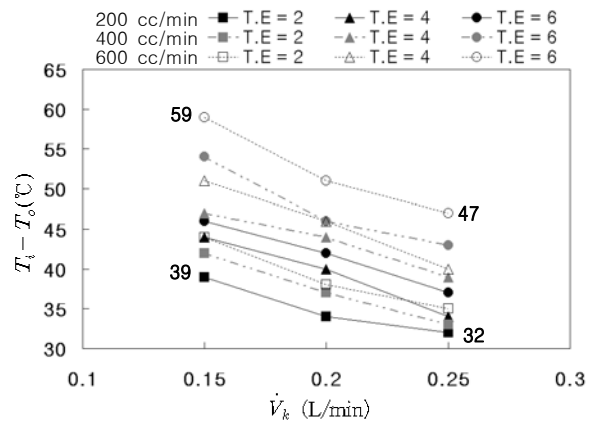
#### 3.2 냉각수 대향류

병행류 실험결과로부터 냉각성능이 양호한 case2와 case3을 선택하고 냉각수 흐름을 대향류로 하여 동일한 조건으로 실험하여 Fig. 5와 같은 결과를 얻었다. 병행류 실험 결과와 유사하게, 냉각수 유량과 열전소자의 작동개수가 증가할수록 냉각성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

case 2의 실험결과 냉각수량이 600 cc/min, 열전소자 작동개수 6개 이고, 등유 유량이 0.15 L/min, 0.2 L/min, 0.25 L/min 일 때 각각 냉각기



(a) case 2 - counter flow



(b) case 3 - counter flow

Fig. 5 Temperature vs. flow rate for various cooling flow rates and no. of T.E modules with counter flow type.

의 입·출구 온도차는 62℃, 57℃, 50℃ 이고, case 3의 실험결과 동일한 조건에서 입·출구의 온도차는 59℃, 51℃, 47℃로 나타났다.

각각의 case는 냉각기 내부에 동일한 단면적 (4×5mm<sup>2</sup>)과 총길이(980mm) 갖는 유로를 유체의 유입 방향으로 짧은 채널, 수직방향으로 긴 채널로 각각 가공되었다.

여기서 case2는 열전소자의 냉각면을 따라 채널의 개수가 많은 형상으로 유체의 유동방향에 따라 열전소자에 의한 냉각이 점진적으로 일어나 냉각기의 전체에 균일하고, 적절하게 냉각이 된 것으로 생각된다. 이러한 경향은 Lee et al.<sup>(4)</sup>의 연구에서 열전소자 냉각 자켓의 채널수가 많아질수록, 그리고 냉각수의 유량이 증가할수록 냉각 성능이 향상된다는 결과와 유사하다.

지금까지의 결과로부터 4가지의 열교환기 형상 중에서 case 2의 경우 열전소자 6개 모두 작동시키고 냉각수 유량을 증가할수록 열전소자의 방열 성능이 향상되고, 냉각기의 냉각성능 또한 향상되는 것을 알 수 있다.

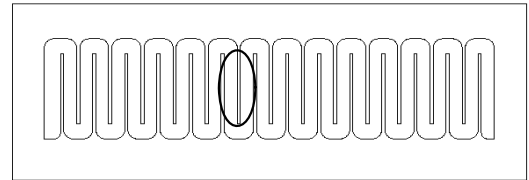
### 3.3 Coil 삽입

본 연구에서는 추가적으로 냉각기의 성능을 향상시키기 위하여 실험결과로부터 가장 좋은 결과를 나타내는 형상인 case2를 선택하여 유로 내부에 구리 coil을 삽입하고 coil의 피치(pitch)를 각각 다르게 하여 열교환 성능에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 수행하였다.

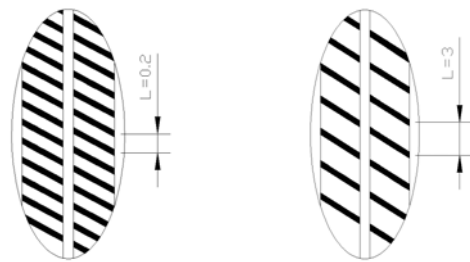
Fig. 6은 냉각기 내부의 유로에 coil을 삽입한 모습이다. 피치의 길이는 각각 short(0.2mm), middle(3mm), long(6mm) 3가지 경우에 대하여 열전소자의 냉각기의 조건은 앞선 실험결과에서 최대냉각효과를 나타내는 냉각수 유량 600 cc/min, 열전소자 작동 개수 6개로 하고, 냉각기의 등유 유량을 0.15 ~ 0.6 L/min으로 증가시키며 실험을 수행하였다.

Fig. 7의 실험결과에서 유로내부에 coil이 없을 경우에 대하여 short 피치 coil은 열교환 성능이 오히려 떨어지는 현상이 나타났고, long 피치일 경우 coil이 없을 때보다 열교환 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. middle 피치 coil의 경우 등유 유량이 0.25 L/min이상에서 입·출구 온도차는 59℃, 43℃, 30℃로 가장 우수한 성능을 나타냈

다. 이러한 coil의 영향은 일종의 관 내부벽면에 유체의 유동방향으로 얇은 판(baffle)이 주기적으로 부착된 형태와 유사하다.



(a) Channel without coil for case 2



(b) Short pitch(0.2mm) (c) Middle pitch(3mm)



(d) Long pitch(6mm)

Fig. 6 Geometric configurations of inserted coils.

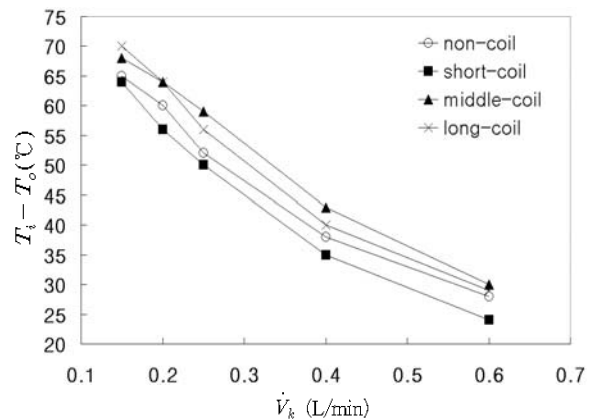


Fig. 7 Temperature vs. flow rate for various inserted coil pitches.

이에 대해 Hwang et al.<sup>(7)</sup>은 평판에 장애물을 부착하면 유동불안정성을 촉진하고 열교환기에 있어서는 전열면적의 확대와 유동의 혼합(mixing) 및 분산(dispersion)현상을 초래하여 열전달효율을 높여준다고 하였다. 또한 배플 사이의 간격과 평판사이의 거리의 비(baffle ratio, BR)를 변경시키며 수치 해석을 수행하여, BR이 작을 경우 배플 뒷면에서 유동의 재부착점이 생성되지 않고 유동 불안정성을 감소시키는 결과를 얻었다. 이는 Fig. 7에서 보는 것처럼 coil의 피치가 짧은 경우 피치 사이에서 유동은 BR 값이 작은 경우와 유사하게 거동하여 열전달에 방해요소로 작용하였다고 볼 수 있다. 따라서 냉각기 내부에 coil을 삽입할 때 적절한 피치를 선정함이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 열전소자를 이용한 액체 냉각기의 내부 형상, 열전소자의 작동개수, 냉각수 유량, 고온 유체(등유) 유량을 변화시켜 우수한 성능의 형상을 선택하였으며, 내부에 코일을 삽입하여 실험한 결과 본 실험 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 열전소자의 고온부 냉각수가 냉각기 내부 유체와 병행류로 흐를 때, 4가지 냉각기 형상들 중 냉각기의 길이 방향으로 짧은 채널(case2)과 긴 채널(case3)이 있는 경우 냉각수량 600 cc/min이고 열전소자의 작동개수가 6개일 때 우수한 냉각 성능을 나타냈다.
- (2) 열전 모듈의 고온부 냉각을 병행류보다는 대향류로 흐를 때 동일한 조건에서 3쌍의 열전 모듈의 성능이 양호하게 작동하므로 냉각성능이 좋으며, 길이방향으로 짧은 채널(case2)이 있는 경우 고온의 등유를 냉각 하는데 가장 우수한 성능을 나타냈다.
- (3) 냉각기 내부에 coil을 삽입한 경우 coil의 피치에 따라 각기 다른 결과를 나타냈다. 이는 유량과 coil의 피치 크기에 따라 유동박리 및 재부착점이 달라지므로 유량과 코일피치의 적절한 조합을 선정함으로써 냉각기의 열전달 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 울산대학교 2007년도 교내 연구비의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Phelan, P. E., ChHiriatic, V. A., and Lee, T.-Y. T., 2002, Current and Future miniature refrigeration cooling technologies for high power microelectronics, IEEE Transaction on Components and Packaging Technologies, Vol. 25, No. 3, pp. 208-218.
2. Yoo, S, Y., Hong, C, P., and Shim, W, S., 2004, A Study on the performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 62-69.
3. Huang, B, J., Chin, C, J., and Duang, C, L., 2000, A design method of thermoelectric cooler, International Journal of Refrigeration, Vol. 23, pp. 208-218.
4. Lee, J, E., Park, S, H., Kim, K., and Kim, D., 2007, An Experiment Study on the effects of the Cooling Jacket Design Parameters on the Performance of Thermoelectric Cooling System, Proceedings of the KSME, pp. 2079-2084.
5. Hwang, J., and Kang, B, H., 2007, Effect of Thermoelectric Module Arrangement on the Performance of a Thermoelectric Air-Cooling System, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 162-168.
6. Yoon, Y, H., 2000, Study on Measurements of Flow Distribution in a Heat Exchanger, J. Changwon National University, Vol. 14, pp. 15-21.
7. Hwang, I, S., Yang, K, S., and Kim, D, H., 2001, Parametric Study of instability in Obstructed Channel Flow, KSME, Vol. 25, No. 4, pp. 546-553.