

## 이중관 열교환기 시스템을 이용한 나노절연유의 열전달 특성연구

강승우, 이찬호, 김성현\*  
 고려대학교 화공생명공학과  
 ( kimsh@korea.ac.kr )

Effect of Nano insulating oil on heat transfer  
 in double-pipe heat exchanger system

Seung Woo Kang, Chan Ho Lee, Sung Hyun Kim\*  
 Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University  
 ( kimsh@korea.ac.kr )

### 서론

최근에 나노크기의 입자가 열전도도 향상에 기여한다는 연구 결과가 보고 되어 이를 토대로 유체가 유동하는 상태에서 열전달 효율을 측정하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이중관 열교환기 시스템을 자체 제작하여, Ag 나노입자를 이용한 열전달 성능 측정 실험을 수행하였고 그 결과로 열전달 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 그러나 증류수 자체의 열전달 계수가 크기 때문에 나노입자를 첨가함으로써 열교환 시스템에서 열전달 성능이 획기적으로 향상되기는 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 증류수와 비교하여 상대적으로 열전달 성능이 떨어지지만, 변압기 내에서 절연능력을 수행하는 특수한 열전달 매체인 절연유를 대상으로 기초 실험을 수행하였고 향후 나노입자에 의한 열전달 성능 향상 연구를 수행 할 예정이다.

### 이론

본 연구에서 측정하고자 하는 총괄 열전달계수  $U$ 는 냉각수(물)의 총 열교환량  $Q$  로부터 구한다.

$$Q = m_c C_p [T_{c,in} - T_{c,out}] \quad (1)$$

앞에서 구한 총 열교환량  $Q$ 는 총괄 열전달계수  $U$ 와 전열면적  $A$  그리고 열전달에 대한 구동력인  $\Delta T$ 로 나타낼 수 있으므로 구하고자 하는 총괄 열전달 계수  $U$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\therefore U = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \quad (2)$$

그리고 열전달에 대한 구동력인  $\Delta T$ 는 식 (3)과 같이 정의한 대수평균온도차(Log Mean Temperature Difference, LMTD)를 이용하였다.

$$LMTD = \frac{(T_{s,in} - T_{c,out}) - (T_{s,out} - T_{c,in})}{\ln \frac{(T_{s,in} - T_{c,out})}{(T_{s,out} - T_{c,in})}} \quad (3)$$

### 실험

본 연구의 실험장치 모식도를 Fig.1에 나타내었다. 이중관은 열전달이 일어날 수 있도록 60cm길이에 내관 1/4", 외관 1/2"로 제작하였다. 내관으로는 나노유체가 흐르게 하였고 외관으로는 냉각수 또는 가열수가 흐르면서 이중관 내부에서 발생하는 열을 제거하거

나 열을 공급할 수 있도록 하였다. Fig.1에 나타낸 것처럼 실험 장치는 순환시스템으로 구성하였으므로, 소량의 나노유체로도 실험이 가능하게 하였다. 각 열교환기의 입 출구, 냉각수와 가열수의 입 출구 배관엔 측온저항체를 설치하여 온도를 측정하였다. 실험과정에서 용액, 냉각수 그리고 가열수의 온도는  $\pm 0.1K$ 의 정밀도로 유지하였다. 용액 순환 라인에는 질량 유량계(KRONE Co.)를 설치하였다. 측정한 데이터들은 전체 20채널 사용이 가능한 데이터 로고(YOKOGAWA Co.)를 이용하여 컴퓨터에 온라인으로 데이터 저장이 가능하도록 데이터 취득 시스템을 구축하였으며, 시스템이 정상상태일 때 실험을 수행하였다. 그리고 나노유체에 이용된 Ag 용액에 관한 물성을 Table 1에 정리하였다.

## 결과 및 토론

실험 데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 증류수를 가지고 예비실험을 수행한 결과를 Fig.2에 제시하였으며, 그림에서 보는 바와 같이 열수지가 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 다음으로 본 연구실에서 수행한 Ag 나노유체의 열전도도 측정실험 결과를 Fig.3에 제시하였는데, Ag 농도가 2.5%이상으로 증가하여도 열전도도 향상이 거의 없기 때문에 열교환 실험은 Ag 2.5%인 경우를 대상으로 수행하였다[이찬호, 2003]. 다음으로 유속에 따른 증류수와 Ag 나노유체의 열전달계수의 변화를 Fig.4에 나타내었다. 레이놀즈수 2,000을 기준으로 증류에서는 성능향상을 확인할 만큼 증가가 있었으나, 전이영역에서는 효과가 두드러지지 않음을 알 수 있었다. 또한 증류수 자체의 열전달 계수가 크기 때문에 나노입자의 효과는 증류에서도 열전도도와 비교하여 상대적으로 작은 것을 알 수 있었다. 따라서 서론에서 제시한 것처럼 변압기내에서 절연능력을 수행하는 절연유를 대상으로 한 연구계획을 수립하였고, 예비실험을 수행하여 Fig.5에서 보는 바와 같이 증류수에 비해 상대적으로 낮은 열전달 계수를 가짐을 확인하였다.

## 결론

유동상태에서 나노유체의 열전달 성능실험을 통해, 증류영역에서는 5~13%의 나노입자에 의한 성능향상을 확인했으나, 전이영역에서는 성능향상의 경향성을 확인할 수 없었다. 열전달능력이 낮은 절연유에 나노입자를 사용함은 절연유의 냉각능력의 향상에 좋은 방법이 될 수 있을 것이며 본 연구실은 이를 확인하기 위해서 계속적으로 연구를 수행해 나갈 것이다.

## 감사

본 연구는 유변공정연구센터(ARC, 한국과학재단 ERC 지정)의 연구 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 이찬호, 강승우, 조상준, 남승백, 김태형, 김성현, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집; 761~765(2003)
- K.U. Leuven, 1999, Applied Thermal Engineering 20(2000) 417-437
- Lee, S.U., S. Choi, S. Li and J. A. Eastman, 1999, Journal of Heat Transfer, **121**, 280-289
- Xie, H., J. Wang, T. Xi and Y. Liu, 2002, International Journal of Thermophysics, **23**, 571-580
- Xuan, Y. and Q. Li, 2000, International Journal Heat Fluid Flow, **21**, 158-164

Table 1. Properties of Fluid Suspended 5% Ag-Nanoparticles

Item	Specification
Silver Purity	Above 99%
Particle Size	$10 \pm 5$ nanometer
Specific Gravity	$1.05 \pm 0.1$ g/cm <sup>3</sup>

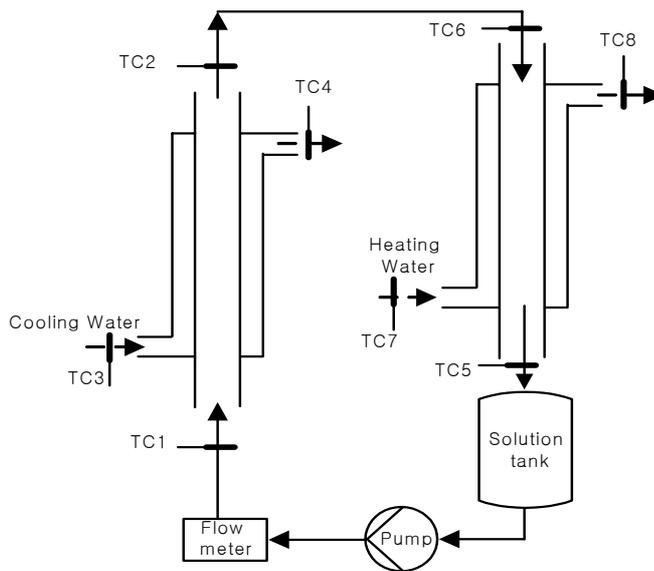


Fig. 1 Experimental apparatus

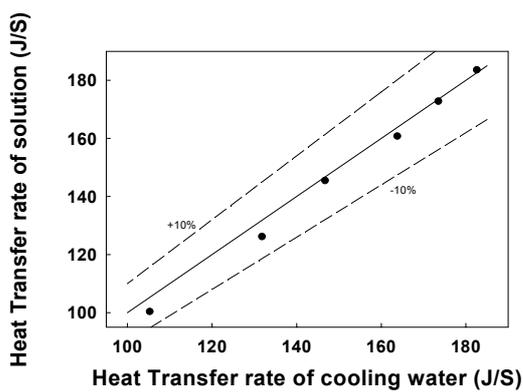


Fig.2 Heat balance of system

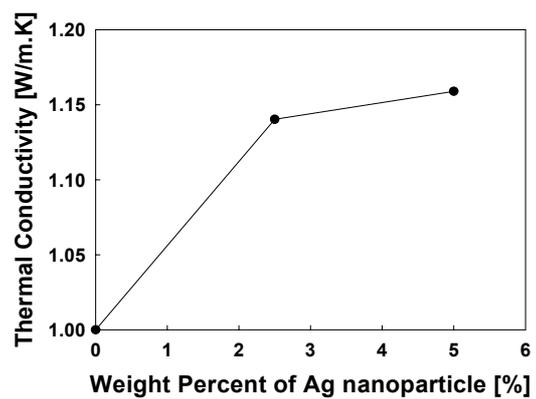


Fig.3 Effect of Ag nano particles on thermal conductivity

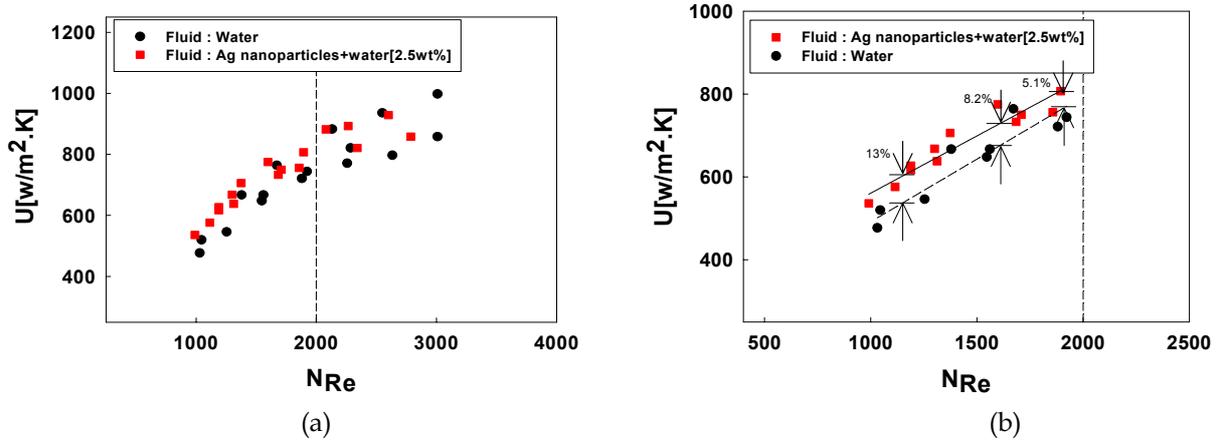


Fig.4 Effect of Ag nano particles on overall heat transfer coefficient: (a) laminar and transient region and (b) laminar region

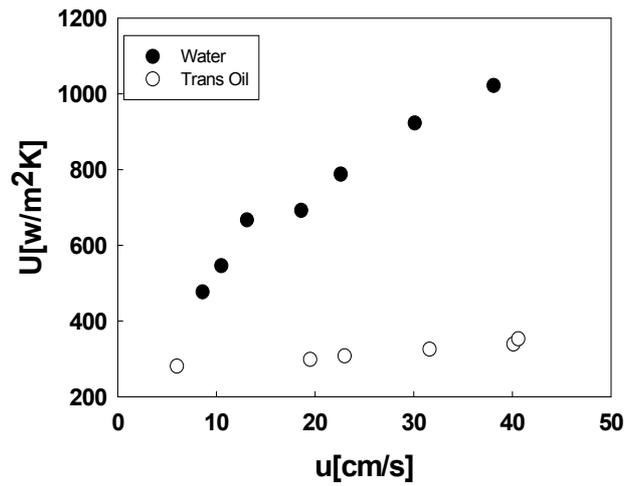


Fig.5 Comparison between overall heat transfer coefficient of water and transformer oil