

유하액막식 흡수기를 이용한 은 나노입자의 열전달 특성연구

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

Effect of Ag Nano-sized Particle on Heat Transfer in Falling Film-type Absorber

Seungwoo Kang, Chan Ho Lee, Sung-Hyun Kim*
Dept. of Chemical & Biological Eng., Korea University
(kimsh@korea.ac.kr*)

서론

최근에 나노크기의 입자가 열전도도 향상에 기여한다는 연구 결과가 보고되어 이를 토대로 대표적인 흡수공정으로 많은 연구가 진행되어 온 암모니아-물 흡수과정에 나노입자의 영향에 대한 연구를 수행하게 되었다[1]. 본 연구에서는 유체가 유동하는 상태에서의 열전달 효율을 측정할 수 있도록 유하액막식 흡수기를 실험실 규모로 제작하였으며, 여기에 Ag 나노유체를 적용하여 열전달 성능 측정 실험을 수행하였다.

이론

본 연구에서 측정하고자 하는 유하액막의 개별 열전달계수 h_0 는 총괄 열전달계수 U , 냉각수의 개별 열전달계수 h_i , 열교환기의 열전도도 k_m 으로 다음(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_0 = \left[\frac{1}{U} - \frac{d_0}{d_i} \frac{1}{h_i} - \frac{d_0}{d_L} \frac{x_w}{k_m} \right]^{-1} \quad (1)$$

총괄 열전달계수 U 는 물성을 알기 쉬운 냉각수(물)의 총 열교환량(2)으로 부터 구한다.

$$Q = m_c C_p [T_{c,in} - T_{c,out}] \quad (2)$$

앞에서 구한 총 열교환량 Q 는 총괄 열전달계수 U 와 전열면적 A 그리고 열전달에 대한 구동력인 ΔT 로 다음 식과 같이 나타낼 수 있으므로 구하고자 하는 총괄 열전달 계수 U 는 식 (3)를 이용하여 구할 수 있게 된다.

$$\therefore U = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \quad (3)$$

그리고 데이터 해석 과정에서 열전달에 대한 구동력인 ΔT 는 식 (4)와 같이 정의한 대수 평균온도차(Log Mean Temperature Difference, LMTD)를 이용하였다.

$$LMTD = \frac{(T_{s,in} - T_{c,out}) - (T_{s,out} - T_{c,in})}{\ln \frac{(T_{s,in} - T_{c,out})}{(T_{s,out} - T_{c,in})}} \quad (4)$$

반응기 재질에 기인하는 k_m 은 STS 316의 열전도도 값(= 16.26 [w/m · °C])을 이용하였고, 다음으로 냉각수 측의 열전달계수 h_i 는 난류 유동 열전달 상관식을 이용하여 구하였다.

실험

본 연구에서 제작한 유하액막식 흡수기 실험장치에 대한 개략도를 Fig. 1.에 도시하였다. 테스트 셀의 경우 Fig. 2.에 나타낸 것처럼 일반적인 이중관 열교환기를 응용하여 제작하였다. 즉 이중관 내부로는 냉각수 또는 가열수가 흐르면서 이중관 외부에서 발생하는 열을 제거하거나 또는 열을 공급할 수 있도록 제작하였으며 이중관 상부 안쪽에는 STS barrier를 공급된 용액의 리시버 역할을 할 수 있도록 가공하였다. 따라서 공급된 용액은 먼저 리시버에 모이게 되고 용액의 수위가 리시버의 높이 이상으로 증가하게 되면 용액은 이중관 바깥쪽으로 얇은 막을 형성하며 흘러내리게 된다. Fig. 1.에 나타낸 것처럼 실험 장치는 순환시스템으로 구성하였으므로, 소량의 용액으로도 실험이 가능하게 하였다. 또한 형성되는 액막을 관찰하며 실험을 수행하기 위해 아크릴 재질로 흡수기 body를 제작하였다. 각 셀의 냉각수와 가열수 입, 출구 라인에 1/8" 외경의 K-type 열전대(thermocouple)을 설치하여 온도를 측정하였다. 실험과정에서 냉각수 및 가열수의 온도는 $\pm 0.1K$ 의 정밀도로 유지하였다. 마지막으로 실험 데이터를 측정하기 위해 흡수기 중심으로 용액과 냉각수 입, 출구 라인에는 K-type 열전대(thermocouple)을 설치하였고 용액 순환라인에는 KRONE 사의 질량 유량계(mass flow meter)를 가스 순환 라인에는 KOGIMA 사의 부유형 유량계를 설치하였다. 측정된 데이터들은 전체 20채널 사용이 가능한 YOKOGAWA 데이터 로고를 이용하여 PC에 온라인으로 데이터 저장이 가능하도록 데이터 취득 시스템을 구축하였다. PC모니터에 나타나는 각 온도 구배가 steady-state가 될 때의 데이터만을 활용하였다.

결과 및 토론

1. 증류수를 용매로 한 Ag 나노유체의 열전달

유하액막식 흡수기에 증류수를 적용한 경우와 Ag 나노입자를 0.5 질량 퍼센트 주입한 증류수를 적용한 경우를 대상으로 용액 유속 변화에 따른 열전달계수 변화를 측정하여 Fig. 3.에 나타내었다. 증류수는 일반적으로 알려져 있는 것처럼 용액 유속이 증가함에 따라 열전달계수가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 용액 유속이 증가함에 따라 대류가 활발하게 일어나기 때문이다. Ag 나노입자가 0.5 질량 퍼센트 첨가된 증류수의 경우도 동일한 거동에 비슷한 절대값들로 나타나고 있다.

2. 암모니아 수용액을 용매로 한 Ag 나노유체의 열전달

유하액막식 흡수기에 암모니아 농도 20%인 암모니아 수용액을 적용한 경우와 Ag 나노입자를 0.5 질량 퍼센트 주입한 암모니아 수용액을 적용한 경우를 대상으로 용액 유속 변화에 따른 열전달계수 변화를 측정하여 Fig. 4.에 나타내었다. 먼저 Fig. 4.을 통해 암모니아 수용액의 경우에도 증류수에서와 같이 나노입자의 주입여부에 상관없이 열전달계수가 용액 유속에 따라 증가하는 동일한 거동을 보이고 그 절대값 또한 두 경우에 큰 차이가 없이 나타나고 있다. 증류수와 암모니아 수용액 등 용매에서 Ag 나노입자를 첨가함으로써 열전도도가 상승하고 Ag 농도가 증가할수록 열전도도의 증가도 더욱 커진다는 연구결과와 비교하여, 열전달효과가 미비한 것은 장치의 열손실로 인하여 정밀하지 못한 실험이 수행되었기 때문이다[1]. 본 연구실은 이중관 열교환기를 제작하여 유하액막식 장치의 문제점을 수정, 보완할 것이다.

감사

본 연구는 유변공정연구센터(한국과학재단 ERC)의 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 이찬호, 강승우, 조상준, 남승백, 김태형, 김성현, 대한설비공학회 2003하계학술발표대회 논문집; 761~765(2003)
2. 강용태: “흡수식 냉동기 및 열펌프 워크샵”, 한국정밀화학공업 진흥회(1999)
3. Kang, Y. T., Akisawa, A. and Kashiwagi, T., International Journal Refrigeration 22; 250-262(1999)
4. A. T. Conlisk, Chemical Engineering Science 50; No. 4 (1995)
5. S. Lee, S.U.-S. Choi, S. Li, J.A. Eastman, Journal of Heat Transfer 121; 280-289(1999)
6. Y. Xuan, Q. Li, International Journal Heat Fluid Flow 21; 158-164(2000)

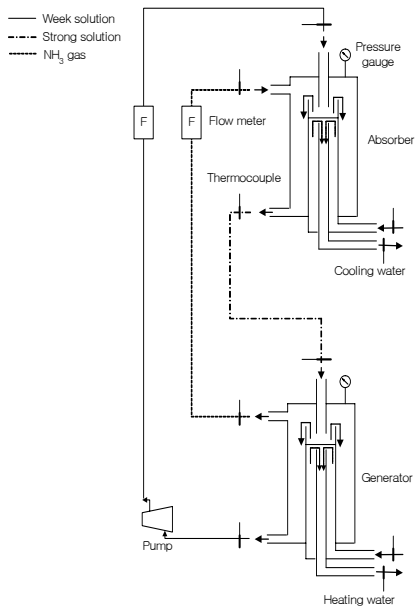


Fig. 1. 유하액막식 흡수장치 개략도

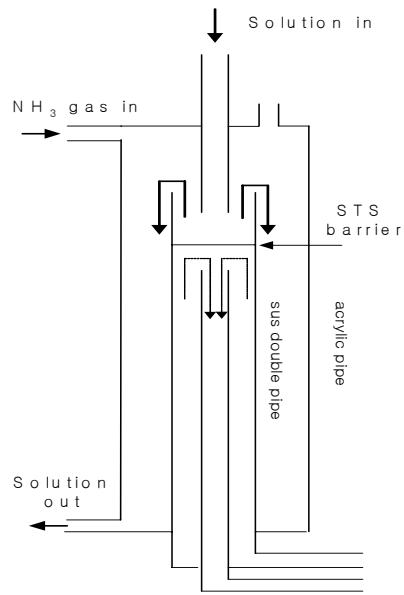


Fig. 2. Test cell

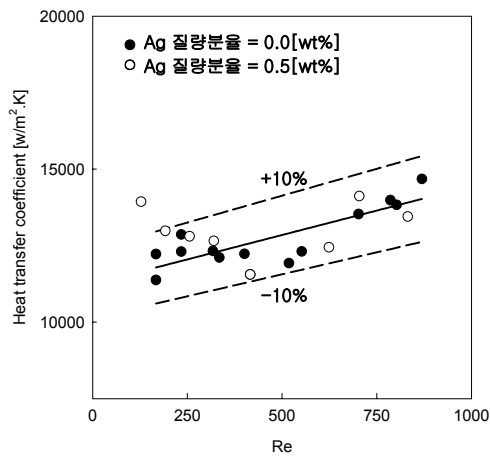


Fig. 3. Heat Transfer Coefficient of Water and Ag nanofluid according to Solution Flow Rate

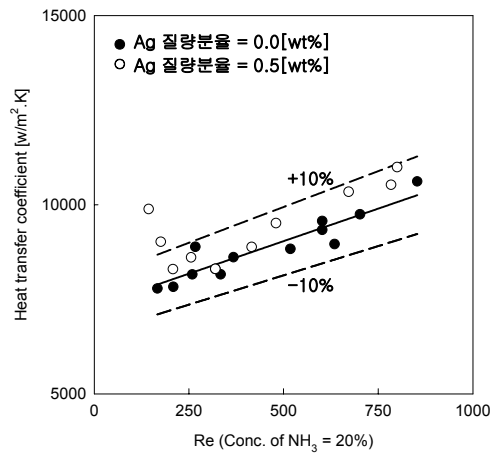


Fig. 4. Heat Transfer Coefficient of Aqueous Ammonia Solution and Ag nanofluid according to Solution Flow Rate