

심층수 이용 열교환기 개발을 위한 기초연구: 열교환기 부식이 열교환기 성능에 미치는 영향

권영철¹, 이석현¹, 허철², 조맹익², 이창경³, 권정태^{3*}

¹선문대학교 기계공학과, ²한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양CCS연구단, ³호서대학교 기계공학부

A Fundamentals study on Heat Exchanger using Deep Ocean Water: Effects of Corrosion on Heat Transfer Performance

Young-Chul Kwon¹, Seok-Hyun Lee¹, Cheol Huh², Meang-Ik Cho²

Chang-Kyung Lee³ and Jeong-Tae Kwon^{3*}

¹Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

²Offshore CCS Research Unit, Maritime & Ocean Engineering Research Insititue, Korea Institute of
Ocean Science and Technology

³School of Mechanical Engineering, Hoseo University

요 약 본 논문은 심층수용 열교환기 재질로 티타늄, 알루미늄, 스테인리스, 구리와 알루미늄을 코팅하여 재질의 특성 및 부식이 미치는 영향을 조사하기 위하여 이중관 열교환 실험장치를 활용하였다. 열교환기 재질은 티타늄, 스테인리스, 구리, 알루미늄, 카본 코팅된 알루미늄 등 6종이 비부식관과 부식관에 대하여 해석과 실험이 수행되었다. 해석은 EES 프로그램을 사용하였다. 부식의 영향을 살펴보기 위하여 부식 제조장치를 제작하고, 3.5%의 염수를 70℃의 온도로 약 6주간 담가서 가속부식을 실시하였다. 부식된 관으로 이중관 열교환기의 성능실험을 실시하여 비부식관과 비교하였다. 실험결과로부터 티타늄을 대체용으로 알루미늄 코팅관(카본 블랙 150 μ m)의 가능성을 확인하였다.

Abstract This paper presents the effects of the tube materials and corrosion on the heat transfer performance of double-tube heat exchangers for the development of heat exchangers using deep sea water. Heat exchangers made of titanium, aluminum, stainless steel, iron, copper, and aluminum with electro-deposition coatings(Carbon black_15 μ m, Carbon black_150 μ m) were tested. Also, the heat transfer rate of each heat exchanger was calculated by using EES program. For the acceleration of corrosion by sea water, the temperature of sea water 70℃ and the concentration of salt 3.5% were considered. And the specimens were immersed in sea water during 6 weeks. From the above experiment and analysis, aluminum with electro-deposition coating(Carbon black_150 μ m) can be considered the most promising candidate for the replacement of titanium heat exchanger.

Key Words : Deep ocean water, Heat exchanger, Heat transfer, Corrosion

기 호 설 명

h : 열전달계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
Pr : Prandtl 수
Re : Reynolds 수

Nu : Nusselt 수
V : 속도 [m/s]
D : 직경 [m]
k : 열전도도 [$W/m \cdot ^\circ C$]
L : 길이 [m]

본 연구는 해양수산부에서 지원하는 '해양심층수의 에너지 이용 기술 개발' 결과임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Jeong-Tae Kwon (Hoseo University)

Tel: +82-10-2614-4734 email: jtkwon@hoseo.edu

Received October 14, 2013 Revised November 5, 2013 Accepted November 7, 2013

- \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
- C_p : 비열 [J/kg·°C]
- T : 온도 [°C]
- R : 열저항 [m·°C/W]
- A : 단면적 [m²]

그리스 문자

- ρ : 밀도 [kg/m³]
- μ : 동점성 계수 [kg/m·s]
- ϵ : 유용도

하첨자

- Hi : 내관 입구
- Ci : 외관 입구
- Ho : 내관 출구
- Co : 외관 출구
- H : 고온수
- C : 저온수

1. 서론

최근 해수용 에너지를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그들 중 하나로 해양 심층수를 이용한 열교환기의 연구가 다양한 형태로 수행중이다. 해수 열에너지는 자연 에너지로서 온도의 계절변동이 하천수에 비해 적고, 동결 온도가 약 -2°C로 낮아 하천수보다 저온까지 열이용이 가능하며, 냉·난방 시 대기와 5~10°C 정도의 온도차를 가지고 있으므로 히트펌프의 열원으로서 아주 우수한 특성을 가지고 있다. 이러한 장점 때문에, 북유럽의 스웨덴, 노르웨이 등에서는 1982년부터 해수 열원 기기를 지역난방용으로 이용하고 있다.[1] 하지만 이러한 장점이 있는 만큼 단점 또한 없을 수가 없다. 해양심층수를 이용함에 있어서 가장 문제시 되고 있는 점은 바로 부식이다. 부식 환경에 노출된 금속표면 전체가 전기화학적 또는 화학적 반응에 의해 균일하게 침식되는 전면 부식, 두 개의 금속 혹은 같은 금속이라 할지라도 부식 환경조건이 국부적으로 다름에 의해 두 지점 간에 전위차이가 있을 때 전자의 이동에 따른 산화환원반응을 하는 갈바닉 부식, 부동태 피막을 형성할 수 있을 정도의 높은 산화도를 가진 용액 내에서 부동태 피막을 파괴시킬 수 있는 염소 이온과 같은 원소가 존재할 때 발생하여 구멍 내부는 양극, 외부 전체는 음극이 되어 부식이 급속히 진행되는 틈새 부식 등.[2] 이러한 주요 부식은 열교환기의 효율 감소 및 수명

감소, 그리고 과열사고와 환경오염을 유발하는 주된 원인이라 할 수 있다. 따라서 우리는 부식에 따른 문제점을 해결하기 위해, 특히 열교환기의 효율 및 수명 감소를 막기 위하여 비부식관과 부식관의 실험을 통한 실험 값 비교, 부식을 막을 수 있는 방법을 실험을 통해 모색(전착 도장, 블랙카본 코팅 등), 그 중 가장 효과적인 방법이 무엇인지 알아보고 비부식관과 비교하였을 때 효율이 어느 정도 발휘될 수 있는지 알아보는 실험을 하였다. 이러한 해양심층수를 이용한 열교환기 개발이 현재도 많이 진행되고 있다. 현재로서 부식에 있어서 가장 강하면서 효율 또한 좋은 금속으로는 티타늄이 꼽히고 있으며 기존 심층수 이용 열교환기에 상당수 적용되어 왔다. 하지만, 가공성이 떨어지고 고가라는 문제점이 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 티타늄을 대체할 금속에 관한 연구도 진행되고 있는 상태이다.[3] 이러한 이유로 본 연구에서는 티타늄을 대체할 만한 금속을 알아보기 위해 실험하였다. 먼저, 열교환기로서의 높은 효율을 내기 위해서 열전달률이 높은 재질이 무엇인지 알아보았고, 그것이 현재 해양심층수 이용 열교환기의 재질로 쓰이고 있는 티타늄을 대체할 수 있는 금속인지 조사하였다. 이전 연구결과를 참고하여 가볍고 가격이 싸다는 장점을 가지고 있으면서 열전달률도 좋은 알루미늄을 선택하였으며, 부식 문제를 보완하기 위하여 알루미늄 관을 블랙카본으로 코팅하였다. 본 실험을 통하여 코팅의 비부식성과 관의 열전달률 감소 등을 연구하였다.

2. 열교환기 설계

열교환시 온도차이를 10°C로 만들기 위하여 온수 공급장치에서는 30°C의 물을 흘려보내고, 저온수의 경우는 심층수의 온도를 고려하여 7°C로 설정하였다. 실험용 관은 직경 12.7(mm), 두께 0.7(mm), 길이 1500(mm)로 동일하게 하였고, Table 1에 재질에 따른 열전도도, 비열 등의 물성치를 제시하였다.

관 재질로서는 지금 해양 심층수용 열교환기에 많이 쓰이고 있는 티타늄을 중점으로 SUS304, Al과 Carbon black 코팅된 Al 등으로 정하여 이중관 열교환기로 해석하여 열전달률을 구하였다. 비부식관의 경우에는 Table 1의 물성치를 통해서 Al, Cu가 높은 열전도도와 비열을 가지는 것이 확인되므로 어느 정도 높은 열전달률을 얻을 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

Reynolds 수는 표면의 거칠기, 자유흐름 속도, 표면의 온도, 유체의 종류 등 여러 가지에 의해 좌우되며, 정의는 식 (1)과 같다.

[Table 1] Characteristics of materials and diameter of the tube

	k[W/mK]	Cp[J/kgK]	ρ [kg/m ³]
Ti	22	522	4500
SUS304	16.2	500	7900
Al	237	903	2698
Cu	385	385	8930
Diameter of the tube[mm]			
Ti	12.7 * 0.7t * 1500L		
SUS304	12.7 * 0.9t * 1500L		
Al	12.0 * 1.0t * 1500L		
Cu	12.7 * 1.0t * 1500L		
Al_carbon_15 μm	12.0 * 1.0t * 1500L		
Al_carbon_150 μm	12.1 * 1.1t * 1500L		

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1)$$

Reynolds 수에 대하여 Nusselt 수를 구한 후 열전달계수는 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad (2)$$

대류열전달 계수 h 는 표면의 형상, 유체운동의 특성, 유체의 물성치 및 유체 속도 등 대류에 영향을 주는 모든 변수에 따라 달라지며, 실험에 의해 구해지는 파라미터이다.

관의 열저항 (3)과 열용량률 (4), 최대 열전달율 (5)를 다음과 같이 구하였다.

$$R = \frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$C = \dot{m} Cp \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{H,in} - T_{C,in}) \quad (5)$$

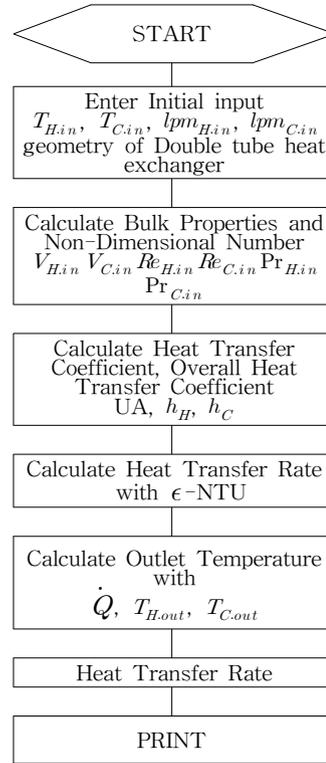
이중관 열교환기는 대향류로 설계하였고 열전달은 식 (6), (7)과 같이 열전달 특성을 예측하기 위하여 유용도 NTU법을 사용하여 구하였다.[4]

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C)]} \quad (6)$$

$$\dot{Q} = \epsilon \dot{Q}_{\max} \quad (7)$$

3. 열교환기 해석 및 실험

3.1 열교환기 해석



[Fig. 1] Analysis algorithm of double pipe heat exchangers

Fig. 1은 해석 알고리즘과 계산과정을 나타내는 순서도를 보여준다. 모델링한 이중관 열교환기에 초기 입력변수로 $T_{H,in}$ (고온수 입구온도), $T_{C,in}$ (저온수 입구온도), lpm_H (고온수 유량), lpm_C (저온수 유량) 등을 설정하였다. 여기서 구해진 Reynolds 수와 Prandtl 수를 식 (8)에 적용하여 Nusselt 수를 구하였다.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (8)$$

구해진 Nu 수를 식 (2)를 통하여 열전달계수 h_H , h_C

와 평균 열전달계수를 구하였다. 이들 과정을 통해서 식 (7)에 명시되어 있는 Q_{max} 를 구한 뒤, 식 (6)과 같이 ϵ -NTU 방법을 통해 유용도 ϵ 을 구하였다. 해석수행 알고리즘은 내관의 고온수를 기준으로 하여 끝으로 열전달률 및 물의 출구온도를 계산하였다. 그리고 이중관 열교환기의 다양한 유량 및 온도조건에 대한 해석을 위해 EES(Engineering Equation Solver) 프로그램을 사용하였다.

3.2 열교환기 실험

Fig. 2는 열교환 실험장치의 사진과 실험장치의 개략도를 보여준다. 내관 고온수의 입구온도를 30°C, 외관 저온수의 입구온도를 7°C로 유지하였다. 그리고 1차 실험은 외관의 유량을 10 lpm으로 유지한 채, 내관의 유량을 1, 2, 3, 4 lpm으로 변경해 가면서 실험하였고, 2차 실험은 그 반대로 내관의 유량을 2 lpm으로 유지시키고 외관의 유량을 6, 8, 10, 12 lpm으로 조절하면서 실험하였다.

이중관 열교환기 실험장치의 온도 센서는 PT100Ω을 사용하였고 오차는 ±1.5%이며 유량계는 터빈 유량계로

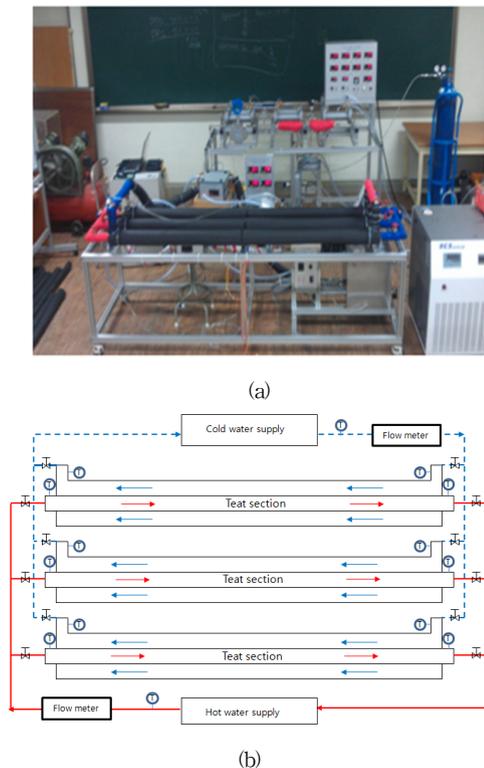
±1%의 오차를 갖는다. 측정오차로부터 불확실성 해석을 수행한 결과 열전달률의 불확실성은 ±1.8%이다.

비부식관과 부식관의 비교를 위해서 Ti, Al, SUS, Cu 그리고 블랙카본으로 코팅된 Al 관을 부식이 되지 않은 상태로 실험한 후에, 부식제조장치를 이용하여 6주 동안 실험용 관들을 부식시킨 뒤 실험하였다. 이를 통해 고온수 및 저온수의 입·출구 온도차와 열전달률을 확인하여 부식관과 비부식관의 열전달률 감소를 확인하였다. 실험시 온도센서와 유량센서의 보정, 반복 측정 및 단열로 불확실성을 최대한 줄여, 모든 실험 데이터는 ±5% 미만의 오차를 보였다.

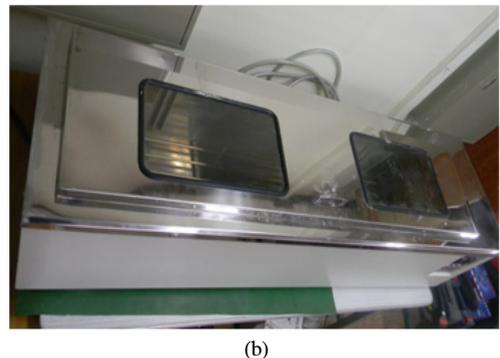
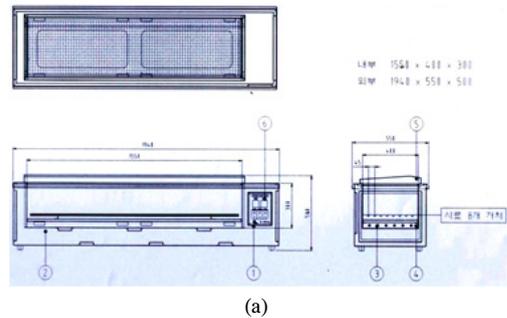
3.3 부식관 제조

3.3.1 부식관 제조장치

이중관 열교환기가 해수에 노출이 되어 부식이 되는 경우, 열교환기에 미치는 영향을 조사하기 위해 Fig. 3과 같은 부식관 제조장치를 만들었다. 부식은 증류수에 3.5%의 염화나트륨을 혼합한 뒤, 그것을 70°C로 가열하는 방법으로 약 6주간 진행되었다. 해수농도는 약 3.5% 일 때 금속의 부식속도가 가장 빠르며, 온도가 10°C 상승할 때 부식속도는 약 30% 증가하며 70~80°C까지 부식



[Fig. 2] (a) experimental apparatus, (b) Schematic diagram of the experimental apparatus

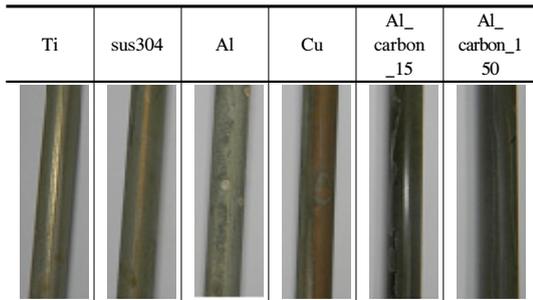


[Fig. 3] Corrosion tube manufacturing unit
(a) Design drawings of corrosion tube manufacturing unit, (b) Picture of corrosion tube manufacturing unit

속도가 증가 한다고 보고되고 있다.[5,6] 따라서 본 실험에서는 금속과 코팅의 부식속도를 높이기 위해 순수제조 장치와 NaCl을 이용하여 농도 3.5%의 인공해수를 제조하고 70℃에서 6주간 침지하였다. 데이터의 재현성 및 반복성을 확인하기 위하여 5개의 시편 데이터를 이용하였다.

3.3.2 부식판 제조 결과

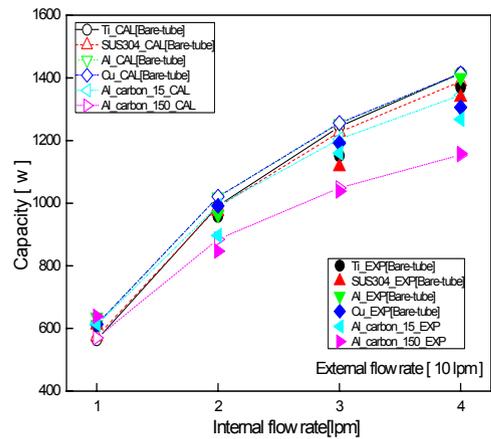
Fig. 4의 사진은 단관 6개를 6주 동안 상온 70℃, 염도 3.5%에 노출 시킨 후에 찍은 사진이다. 육안관찰을 통해 Al에서 가장 많은 부식이 일어난 것을 확인하였다. Al_carbon_15μm 코팅의 경우는 얇은 두께로 인하여 부식이 일어나 코팅이 벗겨진 부분이 발견되었다. 코팅의 두께가 너무 얇으면 열전달 효율은 높으나 코팅의 안전성이 낮아짐을 알 수 있다. 이는 관에 코팅할 때 코팅재료가 관 표면에 잘 도착되도록 해야 한다는 것을 의미한다.



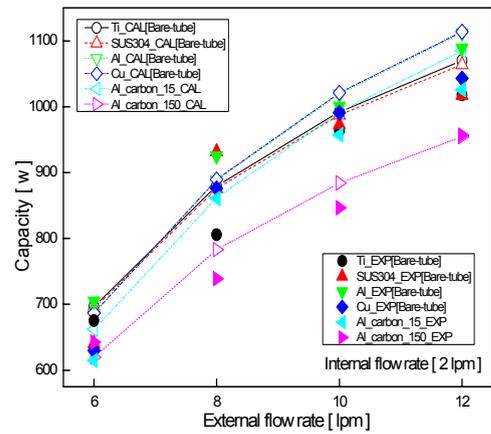
[Fig. 4] Six week single corrosion

4. 열교환기 해석 및 실험 결과

Fig. 5는 내관과 외관의 유량변화에 대한 비부식관의 열전달률 실험값 및 해석값을 비교한 그래프이다. 고온수는 30℃, 저온수는 7℃로 설정되었다. Fig.5 (a)는 외관의 유량을 10lpm으로 고정하였고 내관의 유량은 1, 2, 3, 4lpm으로 변경하면서 획득한 열전달률이다. 4lpm에서 Al이 1401W의 가장 높은 열전달률을 보였고, 다음으로는 Ti (1370W), SUS304(1338W), Cu(1306W), Al_carbon_15μm(1267W), Al_carbon_150μm(1158W) 순으로 높은 열전달률을 보였다. EES 프로그램을 통해 얻은 해석값으로는 Al이 1411W, Ti(1415W), SUS304(1388W), Cu(1414W), Al_carbon_15μm(1345W), Al_carbon_150μm(1154W)의 값을 나타내었다. 실험값과 EES 해석값을 비교하면 Al은 0.7% 정도 편차를 보였고, Ti은 3.3%,



(a)



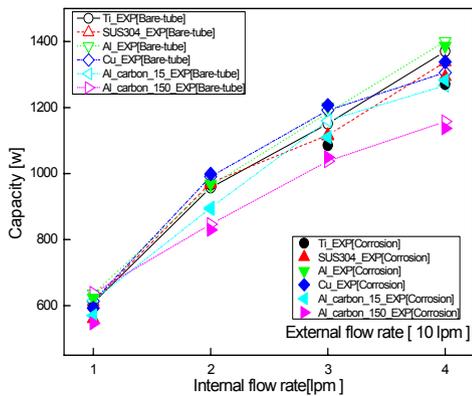
(b)

[Fig. 5] Comparison of experiment and analysis result by the heat transfer rate of each tube according to flow rate of the inner and outer tube

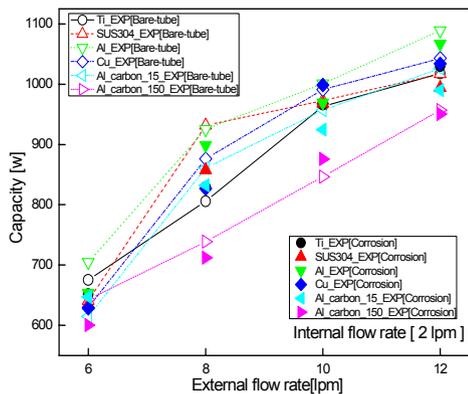
SUS는 3.7%, Cu는 8.3%, Al_carbon_15μm는 6.1%, Al_carbon_150μm는 0.3%의 편차를 보였다. 즉, 실험값과 EES 해석값이 평균적으로 4% 이내의 편차를 보였다.

Fig. 5(b)는 내관의 유량을 2lpm으로 고정하는 반면, 외관의 유량은 6, 8, 10, 12lpm으로 변경하면서 실험한 결과이다. 각 관들은 유량이 가장 높은 12 lpm에서 가장 높은 열전달률을 보였다. 우선 Al 관이 1089W로 가장 큰 열전달률을 보였고, 다음으로는 Cu(1043W), Al_carbon_15μm(1026W), Ti (1018W), SUS304(1017W), Al_carbon_150μm(957W)의 순으로 높은 열전달률을 보였다. 외관의 유량이 많아질 때 보다 내관의 유량이 많아질 때, 열전달률이 더욱 높아지는 것을 그래프를 통해 알 수 있었다. 또한, EES 프로그램을 통해 Al(1112W), Cu(1114W), Al_carbon_15μm(1085W), Ti (1070W),

SUS304(1064W), Al_carbon_150 μ m(954.5W)의 해석값을 얻을 수 있었다. 여기서 실험값과 EES 해석값을 비교해 보면 Al은 7.7%의 편차와, Cu는 6.8%, Ti는 5.1%, SUS304는 4.4%, Al_carbon_15 μ m는 5.8%, Al_carbon_150 μ m는 0.3%의 편차를 각각 보여주었다. 즉, 실험값과 해석값은 약 5% 정도의 편차를 나타내었다. Fig. 5의 결과로부터 본 연구에서 개발된 EES 프로그램은 실험값을 해석하거나 예측하는데 충분한 신뢰성을 가지는 것으로 보인다. 한편, 외관의 유량을 고정하고 내관의 유량을 변경하였을 때 열전달률이 내관의 유량을 고정하고 외관의 유량을 변경하였을 때 보다 더 높은 값을 가졌다. 내관의 유량변화가 열전달률에 더 높은 영향을 미치는 것으로 보인다. 이는 직경이 좁아 유속이 높은 내관이 Re 수에 큰 영향을 미쳐 열확산이 높아짐에 따라 열전달률이 높아진 것으로 판단된다.



(a)



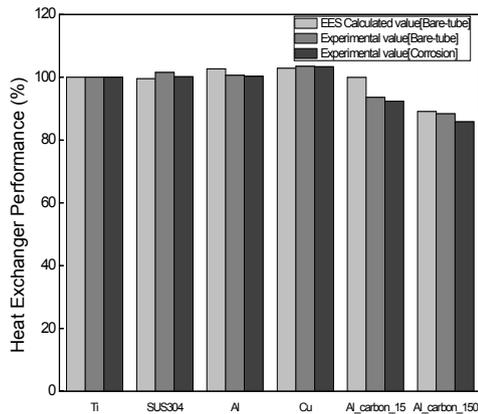
(b)

[Fig. 6] Comparison of bare tube and corrosion tube by the heat transfer rate of each tube according to flow rate of the inner and outer tube

Fig. 6는 비부식관과 부식관에서 내관과 외관 유량 변화에 따른 결과이다. Fig. 6(a)는 내관의 유량 1, 2, 3, 4lpm, 외관의 유량 10lpm인 경우의 부식관의 실험값으로 Al(1387W), Cu(1338W), SUS304 (1293W), Al_carbon_15 μ m(1283W), Ti(1271W), Al_carbon_150 μ m(1137W)의 열전달률을 보였다. 앞의 Fig. 5(a)에 제시되어 있는 비부식관의 실험값과 비교하여 보았을 때, Al은 약 1.0% 열전달률이 감소하였고, Cu는 2.4%, SUS304는 3.4%, Al_carbon_15 μ m는 1.25%, Ti은 7.2%, Al_carbon_150 μ m은 1.8%의 열전달률이 감소하였다. 평균적으로 약 3% 정도의 열전달률이 감소하는 것이다. Fig. 6(b)는 내관의 유량 2lpm, 외관의 유량 6, 8, 10, 12lpm인 경우의 부식관의 실험값은 Al(1067W), Cu(1034W), Ti(1030W), SUS304 (993.8W), Al_carbon_15 μ m(989.8W), Al_carbon_150 μ m(950.5W)의 열전달률을 보였다. 즉, 열전달률 감소율은 Al이 약 2.0%, Cu가 0.9%, Ti은 1.2%, SUS304는 2.3%, Al_carbon_15 μ m가 3.5%, Al_carbon_150 μ m은 0.7%를 나타냈다. 평균적으로 약 2%의 열전달률이 감소하는 것을 알 수 있었다. 부식으로 인해 부식관이 비부식관보다 열전달률이 감소한 것을 확인할 수 있었지만, 부식관과 비부식관에서 모두 Al이 가장 높은 열전달률을 보여주었다. 하지만 관을 부식하는 실험을 통해서 Al이 부식이 잘되는 것도 확인할 수 있었다. Al이 부식관 실험에서도 높은 열전달률이 나왔지만, 부식의 문제로 인해서 환경오염을 유발시킬 수도 있는 점은 생각해야 한다. 그리고 그것이 좀 더 장기적으로 이어진다면 코팅을 입히지 않은 Al 관은 결국 심각한 열전달률 감소 및 환경오염 문제를 유발할 것이다.

그 대체법인 Al_carbon_15 μ m와 Al_carbon_150 μ m의 결과를 비교해 보면, Al_carbon_15 μ m의 경우 열전달률도 그리 감소하지 않으면서 어느 정도 높은 열전달률을 보여주고 있다. 그에 비해 Al_carbon_150 μ m은 코팅의 두께가 두꺼움으로 인해서 열전달률이 감소하는 것은 매우 낮지만, 높은 열전달률은 얻을 수 없는 것을 알 수 있었다. 따라서 현재 실험으로서 Al_carbon_15 μ m가 Al_carbon_150 μ m보다 대체 가능성이 높은 것으로 보인다. 또한, 내관의 유량을 조절했을 때가 외관의 유량을 조절했을 때 보다 평균적으로 열전달률이 1%정도 더 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 직접적으로 부식에 영향을 받은 내관의 유량을 조절했을 때, 열전달률 감소가 더 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7은 위 Fig. 5와 Fig. 6의 결과 값들을 종합하여 내관의 유량을 2lpm, 외관의 유량을 10lpm으로 고정된 상태에서 각 관의 실험값과 계산값을 Ti과 각각 비교한



[Fig. 7] Comparison of experimental(Bare tube, Corrosion tube) and analytical values of the heat transfer performance

결과이다. Ti의 계산값, 비부식관과 부식관의 실험에서 얻어진 열전달량을 100%라고 하였을 때 SUS304, Al, Cu, Al_carbon_15 μ m, Al_carbon_150 μ m 관을 비교하였다. EES 계산값의 Ti 열전달량을 100%로 보았을 때 Cu가 102.9%으로 약 3% 증가하여 가장 큰 값을 가졌으며 SUS304, Al, Al_carbon_15 μ m, Al_carbon_150 μ m는 각각 99.5%, 102.7%, 99.9%, 89.1%으로 Al_carbon_150 μ m이 가장 효율이 낮았다. 해석결과는 각 관들이 약 -10~3%의 효율로 대부분 티타늄 열교환기와의 비슷한 열전도 성능을 가지고 있음을 보였다.

비부식관의 실험값은 Cu가 103.4%로 가장 높았으며 SUS304, Al, Al_carbon_15 μ m, Al_carbon_150 μ m는 각각 101.5%, 100.6%, 93.6%, 88.3% 정도이었다. 부식관 실험값에서는 구리가 103%로 가장 높은 값을 보였으며 SUS304, Al, Al_carbon_15 μ m, Al_carbon_150 μ m는 각각 100.1%, 100.2%, 92.3%, 85.8% 정도이었다. 평균적으로 Cu가 Ti보다 3.1% 정도의 더 높은 열교환 성능을 보였지만, Ti과 비교했을 때, 가격도 저렴하면서 평균적으로 1.2% 높은 열교환 성능을 보여주는 Al을 대체 가능한 금속으로 꼽을 수 있었다. 하지만 Al은 부식이 잘 일어나기 때문에 Al_carbon_15 μ m와 Al_carbon_150 μ m 값을 Ti과 비교함으로써 대체 가능성을 확인해보았다. Al_carbon_15 μ m은 Ti과 비교하였을 때, 열교환 성능이 평균적으로 4.7%가 감소하고, Al_carbon_150 μ m은 평균적으로 12.3%가 감소하였다. 따라서 Al_carbon_15 μ m보다 감소율이 약 3배인 Al_carbon_150 μ m은 대체 가능성이 떨어지는 것을 볼 수 있었고, 그에 비해 Al_carbon_15 μ m는 5%미만의 감소율을 가지면서 대체 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 심층수를 이용한 열교환 시스템에 사용하기 위하여 재료의 특성에 따른 기초연구를 수행하였다. 기존의 해양 심층수 이용 열교환기에서 많이 쓰이는 티타늄 열교환기의 대체 금속을 알아보기 위해 이중관 열교환기 실험을 통하여 6개의 재료에 대해 비부식관과 부식관을 비교 분석하였다.

- (1) 실험값 대비 EES 해석값의 평균편차가 5% 미만으로 본 연구에서 개발된 EES 해석 프로그램의 신뢰성을 확보하였다.
- (2) 비부식관 실험값과 EES 해석값을 비교하였을 때, Al이 편차가 적음으로 인해 신뢰도 가능하면서 열전달률이 높은 결과 값을 갖는 것을 알 수 있었고, 내관의 유량조절이 열전달률에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 부식관과 비부식관의 실험값을 비교하였을 때, Al이 가장 높은 열전달률을 보여주었다. 하지만 Al의 부식문제를 보완하기 위해 Al_carbon_15 μ m와 Al_carbon_150 μ m 코팅을 하였고, 그 결과값들의 비교를 통해서 Al_carbon_15 μ m가 대체 가능성이 높은 것으로 보였다.

References

- [1] G. C. Jang, Y. J. Baek, H. S. Ra, J. Y. Kim, J. H. Lee, The Operation characteristics of a sea water source heat pump system, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Collected papers of summer research meeting, pp.1353-1357, June, 2008.
- [2] J. G. Kim, K. H. Kim, S. J. Kim, G. H. Park, K. M. Moon, An Electrochemical Study on the Corrosion Property of Materials for Sea Water Heat Exchange System, International Conference on Marine Engineering, Vol.26, No 1, pp.99-107, 2002.
- [3] K. Y. Kim, K. W. Lee, Y. C. Kwon, J. T. Kwon, C. Huh, Study on metal corrosion characteristics according to the long-term corrosion under high temperature, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 475-477, November, 2012.
- [4] O. B. Kwon, Introduction to Thermodynamics & Heat Transfer, 4th ed, McGraw-Hill, pp 346-391, 2008.
- [5] U. G. Lim, G. C. Jeong, S. Y. Lee, Corrosion and Protection of Mechanical Materials, Hyung Seoul Pub., 2006.

[6] D. A. Jones, Principles and prevention of Corrosion, Prentice Hall, 2004.

권 영 철(Young-Chul Kwon) [정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한국전력 전력연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
냉동공조, 열전달, 전산해석

이 석 현(Seok-Hyun Lee) [준회원]



- 2013년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (대학원)

<관심분야>
냉동공조, 전산해석

허 철(Cheol Huh) [정회원]



- 1995년 2월 : 경희대 원자력공학과 (공학사)
- 1997년 1월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 4월 : 삼성 엔지니어링
- 2006년 2월 : 포스텍 기계공학과 (공학박사)
- 2008년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>
해양플랜트, 공정해석, 열전달, 이산화탄소 포집 및 저장

조 맹 익(Meang-Ik Cho) [정회원]



- 2005년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학사)
- 2007년 6월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 7월 ~ 2008년 12월 : (주) 한라공조
- 2008년 12월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원

<관심분야>
이산화탄소 포집 및 저장, 열전달, 이상유동

이 창 경(Chang-Kyoung Lee) [정회원]



- 2006년 2월 : 호서대학교 기계공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>
냉동공조, 열전달

권 정 태(Jeong-Tae Kwon) [정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 포스텍 기계공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2005년 2월 : 남부대학교 자동차기계공학과 교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학부 교수

<관심분야>
냉동공조, 열전달, 나노유체