

해수용 열교환기 적용을 위한 열분사 코팅의 부식 및 열전도 특성에 관한 실험적 연구

조맹익¹, 허철^{1*}, 권영철², 권정태³

¹한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양CCS연구단

²선문대학교 기계공학과, ³호서대학교 기계공학과

Experimental Study on Corrosion and Thermal Conductivity Characteristics of Thermal Spray Coating for Sea Water Heat Exchanger

Meang-Ik Cho¹, Cheol Huh^{1*}, Young-Chul Kwon² and Jeong-Tae Kwon³

¹Offshore CCS Research Unit, Maritime & Ocean Engineering Research Insititue
Korea Institute of Ocean Science and Technology

²Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

³School of Mechanical Engineering, Hoseo University

요 약 본 연구에서는 해수용 열교환기 적용을 위한 열분사코팅의 종류에 따른 부식특성 및 열전도 성능을 조사하기 위해 실험이 수행되었다. 코팅은 아연과 알루미늄을 열분사코팅한 뒤 실리콘 및 에폭시 수지를 추가 도포한 시편을 선정하였다. 코팅의 부식특성 변화를 관찰하기 위하여 사이클릭 전도변화 측정 및 SEM촬영을 이용하였다. 시편의 열전도 성능을 측정하기 위해서 레이저 확산법을 이용하여 열전도도를 비교하였으며 추가도포를 실리콘으로 한 경우 3 ~ 4% 에폭시로 한 경우 70 ~ 75%의 열전도도 하락이 발생하였다.

Abstract In the present study, the characteristics of corrosion and thermal conductivity of thermal spray coatings for seawater heat exchangers were examined experimentally. The coating types of the Zn and Al thermal spray coatings with additional epoxy and silicone sealers were tested. To examine the corrosion characteristics of the thermal spray coating, the cyclic voltamogram curve was measured followed by SEM imaging for surface characterization. The laser flash method was used to measure the thermal conductivity of the specimen. The conductivity test results showed that thermal conductivity decreased by 3 ~ 4% with the silicone sealer and decreased by 70 ~ 75% with the epoxy sealer

Key Words : Thermal Spray Coating, Impedance, Resistance, Sea water, SEM

1. 서론

유가상승 및 화석연료의 고갈에 따라 인류는 지속가능한 에너지자원 개발에 매진하고 있으며 세계 각국은 막대한 예산을 투입하여 태양광, 태양열, 조력, 파력, 지열 등의 에너지원 기술개발에 매진하고 있다. 또한 지구온난

화 및 이상기후현상에 대비하기 위해 저탄소에너지 활용 기술의 필요성이 대두되고 있으며 미래의 탄소제로 사회로의 전환을 위해 친환경 에너지자원의 활용은 필수불가결한 것으로 판단된다.

해양은 무한한 에너지 자원을 가진 보고이며 이를 활용한 친환경 에너지 변환 기술들이 속속 연구되고 있다.

본 연구는 해양수산부에서 지원하는 “해양심층수의 에너지 이용기술개발” 결과로 연구비 지원에 감사드린다.

*Corresponding Author : Cheol Huh(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-10-8582-1628 email: chuh@kiost.ac

Received November 1, 2013 Revised November 19, 2013 Accepted December 5, 2013

앞서 언급한 조력, 파력 등이 지속가능한 에너지원으로써 활발히 연구되고 있으며 최근에는 이와 같은 해양의 유동 에너지 외에 열에너지를 활용하고자 하는 노력이 부각되고 있다. 이를 위해 표층수와 심층수의 온도차를 이용한 온도차 발전, 심층수의 저온열원을 이용한 냉방 및 이를 활용한 난방사이클 개발은 국내에서도 활발히 진행되고 있다[1].

연중 일정한 저온을 유지하는 심층수는 이를 열침(Heat Sink) 또는 저온 열원으로 직접 활용하는 1차적 방법과 냉매 및 냉각수와의 열교환을 통해 2차적으로 활용하는 방법이 가능하다. 한편 어느 방법을 활용하여도 심층수와 같은 해수 적용 가능한 열교환기의 개발은 반드시 필요하다. 특히 해수를 이용한 열교환기는 열전달 성능 뿐 만 아니라 내부식 성능이 매우 중요하다.

이러한 내부식성을 고려하여 지금까지는 주로 고가의 티타늄을 소재로 한 판형 열교환기가 주로 사용되어 왔다. 해수열교환기는 내부유로에 해수가 흐름으로 인해 부식 환경에 노출되어 있으며 사용조건 및 환경 등에 따라 더욱 가혹한 부식 조건에 노출될 가능성이 높다. 이러한 부식을 방지하기 위한 방식법에는 음극방식, 양극방식, 피복코팅, 용액 내 부식억제제 첨가 등이 있다[2]. 이 중 금속피복 코팅에 해당하는 열분사법은 고온의 열원을 이용하여 열분사재료를 반응용 상태로 분사시킴으로써 열분사재료가 모재에 충돌 후 자연 냉각되어 적층되는 코팅방식이다[3].

Paredes[4] 등은 화염, 아크, 고속화염 등의 열분사 방식 및 분사 전 모재시편의 가열에 따른 알루미늄 열분사 코팅의 부착력, 표면 조도, 코팅재료의 적층 형태 등을 분석한 바 있다. Rodriguez[5] 등은 알루미늄 코팅 재료를 화염 및 아크 열분사 방식으로 코팅한 후 염수분무 시험을 시행하고 부식된 시편의 단면 및 표면의 형태를 분석한 바 있다. Jeong[6]등은 발전소 탈황설비의 블레이드 팬에 Diamalloy3004재질을 고속화염 열분사 코팅함으로써 황산 폐액 및 회 입자 등의 부식환경에의 노출에 따른 부식특성을 평가한 바 있다. Moon[7] 과 Shin[8] 등은 아연 및 알루미늄 그리고 두 재료의 혼합물 비에 따른 열분사도막의 내식성 평가를 해수용액에서 전기화학적 부식 실험을 통해 수행한 바 있으며 각 도막의 부식표면 양상 등을 관찰하였다. 하지만 지금까지 연구된 바로는 아연 및 알루미늄 열분사 도막의 경우 장기 내식성이 문제되고 있다.

본 연구는 열분사도막의 해수용 열교환기에의 적용가능성을 조사하는 기초연구의 일환으로 수행되었다. 이를 위해 기존의 열분사코팅의 한계를 극복하기 위해 실러(Sealer)를 적용하는 방안을 연구하였다. 코팅재질로써 아

연 및 알루미늄을 SS401 판재 위에 두께별로 열분사 코팅한 후 실리콘 및 에폭시 계열의 실러(Sealer)를 추가 도포하여 코팅종류별 내부식성을 향상시키고자 하였으며 이를 전기화학적 부식측정 및 SEM 촬영을 통해 분석 및 평가하였다. 이를 위해 사이클릭 선도변화를 측정하였고 각 샘플 표면을 관찰하기 위해 SEM을 이용하였다. 또한 열교환기에 적용하였을 경우 열전달 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 각 도막 종류별 열전도도를 측정하여 비교하였다.

2. 실험 시편 및 실험 방법

2.1 실험시편

본 연구에 사용된 시편의 모재는 두께 0.6mm SS401 판재를 사용하였으며 표면을 샌드 블라스팅 처리하여 탈청한 후 아크 열분사법을 이용하여 열분사도막을 형성하였다. 샌드 블라스팅 재료는 Al₂O₃ Grit을 이용하였으며 압력은 6kg/cm², 블라스팅 후 모재에 생성된 앵커(Anchor)의 평균 조도는 1.3~1.5 μ m이다. 열분사 재료로는 아연 및 알루미늄 2종류를 사용하였으며 아크 열분사 시의 압축공기 압력은 6bar, 전압은 24~26V, 전류는 약 120A 이었다. 열분사 시 모재와 열분사노즐의 거리는 15~20cm로 유지하였으며 열분사 시 고온측 온도는 400 $^{\circ}$ C, 분사된 입자속도는 약 150m/s이었다.

본 연구에 사용된 총 8종의 열분사코팅 시편의 종류 및 도막의 두께에 관한 정보를 Table 1에 도시하였다. 도막의 두께는 각 재료별로 200 μ m 및 100 μ m 2가지이다. 열분사코팅의 특성상 도막인 코팅층이 다공성 특징이 나타나므로, 즉 내부에 공극이 발생하는 것이 불가피하므로, 이러한 공극을 통해 도막 내부로 부식용액이 침투하는 것을 저감시키기 위한 실러(Sealer)로서 실리콘 및 에폭시를 각 재료의 200 μ m 두께의 열분사코팅 위에 추가적으로 코팅하였다.

[Table 1] Test Specimen

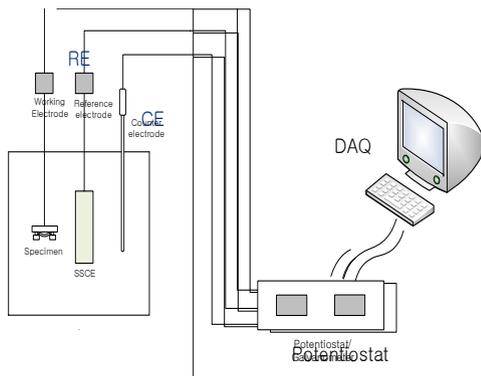
Test Specimen	Kinds of Coating
Zn200	Zn 200 μ m
Zn200S	Zn 200 μ m + Silicone 5 μ m
Zn200E	Zn 200 μ m + Epoxy 20 μ m
Zn100	Zn 100 μ m
Al200	Al 200 μ m
Al200S	Al 200 μ m + Silicone 5 μ m
Al200E	Al 200 μ m + Epoxy 20 μ m
Al100	Al 100 μ m

2.2 실험장치 및 방법

본 연구에서는 전기화학적 내부식 특성 평가를 위해 사이클릭 선도변화를 측정하였으며 선도변화 측정 전후의 시편의 표면을 관찰하였다. 실험에 사용된 측정장치는 Fig. 1과 Fig. 2에 도시한 바와 같이 PA Research사의 VersaSTAT3을 이용하였으며 기준전극은 포화 KCl SCE 전극을 사용하였고 대극은 탄소전극을 이용하였다. 각 전기화학적 측정 전 2시간의 안정화 시간을 거친 후 계측을 시작하였다. 시험용액은 3.5%w NaCl 수용액을 사용하였다. 사이클릭 선도변화 측정 시 주사속도는 10mV/s이었으며 범위는 포화 KCl SCE 기준전극대비 -0.65V ~ -0.25V영역에서 측정되었다. 측정 시 용액에 노출되는 시편의 면적은 1cm²이었다.



[Fig. 1] Photograph of Experimental Apparatus



[Fig. 2] Schematic Diagram of Experimental Apparatus

2.3 SEM 촬영

시편의 형상, 즉 열분사도막 및 도포된 실러의 부식 전후의 시편 표면을 관찰하기 위해 SEM을 이용하여 촬영하였다. SEM 촬영은 전자선을 시편 위로 주사할 때 발생하는 신호 중 2차전자 및 반사전자를 감지함으로써 표면의 정보를 얻는 분석 방법이며 이때 발생하는 흡수전자에 의해 시료에 전자가 모이는 charge-up에 따른 불안정 현상을 억제하기 위해 시편 표면에 10nm의 백금 및 추가

로 10nm의 오스뮴을 진공 증착한 후 촬영하였다. 추가로 증착된 물질은 20nm 두께이므로 도막 및 실러의 두께에 비해 현저히 작아 표면관찰 시 이의 영향은 무시할 만하다.

2.4 열전도도 계측방법

열전도도는 측정된 열확산율 및 비열, 그리고 시편의 밀도를 이용하여 계산되었다. 열확산율 측정은 레이저 확산법을 이용하여 KS M 1604 방법으로 측정되었으며 비열은 시차주사 열량 분석기를 이용하여 KS M ISO 11357-1 방법으로 측정되었다. 열확산율 측정기는 Netzsch 사의 LFA447, 시차주사 열량 분석기는 TAI의 Q200이 사용되었다.

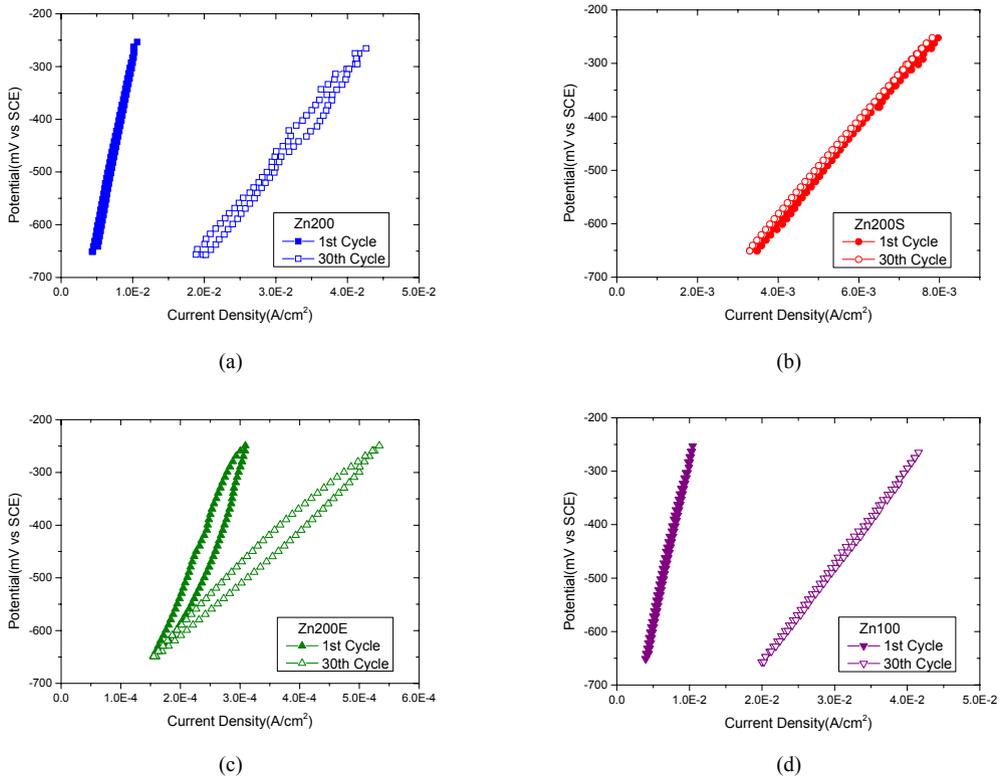
3. 결과

3.1 사이클릭 선도변화 측정

Fig. 3은 각 Zn계열 열분사 코팅 시편의 사이클릭 선도변화 중 1회 및 30회의 선도변화를 나타낸다. Table 2는 1회 및 30회의 선도변화 측정 값 중 가장 높은 전압인 -250mV에서의 전류밀도 값을 비교하여 도시하였다. 먼저 전류밀도 값을 비교한 결과 Zn계열 열분사 코팅의 경우 첫 번째 사이클에서 분극저항이 높은 순서는 Zn200E, Zn200S, Zn100, Zn200 순이며 1회 사이클릭 선도변화에서 분극저항 순서가 30회 사이클릭 선도변화에서도 동일하게 나타난 모습을 보인다. Fig. 3(a) 및 (d)를 살펴보면 Zn200 및 Zn100 시편의 경우 30회 사이클릭 선도변화 측정 후 분극저항 변화가 크게 나타났음을 알 수 있으며 Table 2의 전류밀도 값을 비교하면 Zn200 및 Zn100 모두 약 4배정도 전류밀도가 증가하였다. Fig. 3(b)의 실리콘 실러가 추가 도포된 Zn200S 시편의 경우 30회 사이클릭 선도변화 측정 후의 분극저항 변화가 크지 않았으며 -250mV에서의 전류밀도 값을 비교한 결과 30회 사이클

[Table 2] Comparison of Current Density at -250mV(vs SCE) of Cyclic Voltamogram for Zn Thermal Spray Specimens

Kinds of Coating	Current Density(A/cm ²) @ -250mV vs SCE	
	1st Cycle	30th Cycle
Zn200	1.064E-02	4.261E-02
Zn200S	7.960E-03	7.820E-03
Zn200E	3.089E-04	5.335E-04
Zn100	1.044E-02	4.155E-02

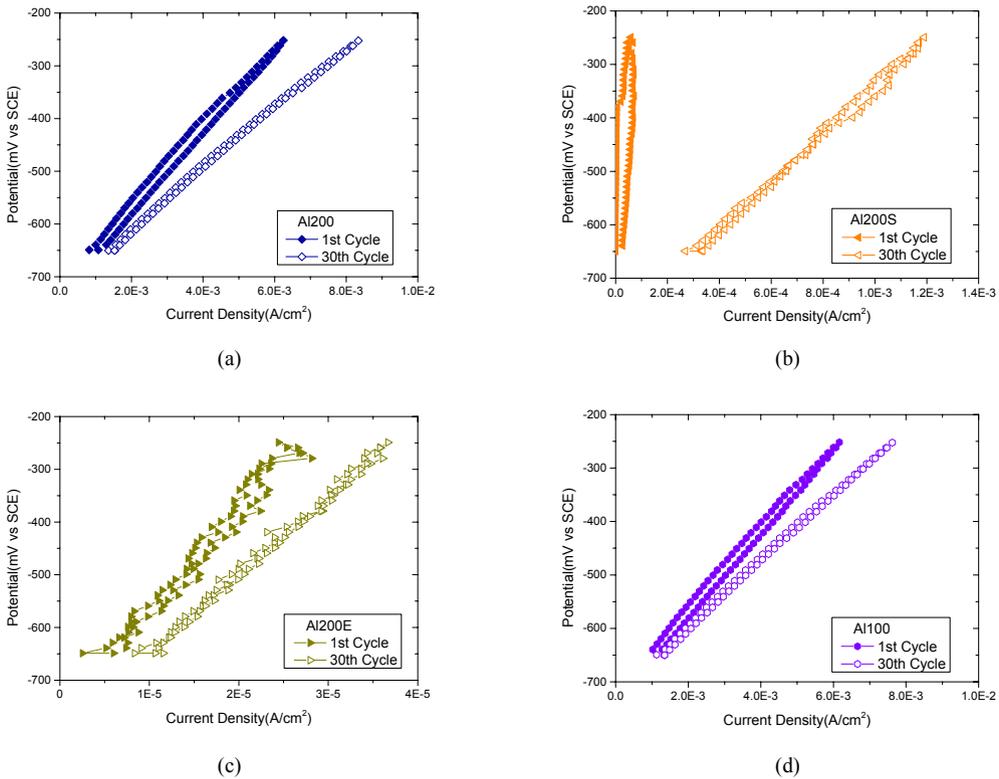


[Fig. 3] Variation of Cyclic Voltamogram Curve of Zn Thermal Spray Coatings

후 오히려 약 1.8%정도 감소한 결과를 나타내었다. Fig. 3(c)의 예폭시 실러가 추가 도포된 Zn200E 시편의 경우에는 선도변화의 폭이 크게 나타났으며 -250mV에서의 전류밀도 값이 약 1.7배 증가한 것으로 나타났다. 다만 첫 번째 사이클에서는 Zn200대비 2.9%, Zn200S대비 3.88%에 해당하는 낮은 전류밀도를 보였고 30회 사이클 후에도 Zn200대비 1.25%, Zn200S대비 6.82%에 해당하는 낮은 전류밀도 값을 나타냈으므로 타 코팅시편 대비 분극저항이 현격히 높은 것으로 판단되며 코팅의 내부식성 또한 현저히 낮아지는 모습은 보이지 않았다. 이는 Zn 계열 열분사 코팅을 해수 열교환기에 적용할 경우 내부식성 측면에서 예폭시 실러가 가장 적합한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Al계열 열분사 코팅 시편의 사이클릭 선도변화를 나타내며 Table 3는 1회 및 30회의 선도변화 측정값 중 -250mV에서의 전류밀도를 비교한 값을 나타낸다. 전류밀도 값을 살펴보면 Al계열 열분사 코팅의 경우에는 Al200E, Al200S, Al100, Al200 순으로 분극저항이 높은 것으로 판단되며 Al 계열 열분사 코팅에서 또한 Zn 계열 열분사 코팅과 같이 1회 사이클릭 선도변화에서의 분극

저항 순서가 30회 사이클릭 선도변화에서도 동일하게 나타난 모습을 보인다. Fig. 4(a) 및 (d)를 살펴보면 Al200 및 Al100 시편 모두 코팅이 부식되어 분극저항이 낮아지는 모습을 보였으며 Table 3의 전류밀도를 살펴보면 각각 1.3배 및 1.2배 증가한 것을 알 수 있다. 이러한 전류밀도의 증가는 Zn계열 열분사 코팅에 비해 크지 않은 것으로 분석 되었다. Al200S시편의 경우 Zn200S시편과는 다르게 분극저항이 크게 낮아지는 모습을 보였으며 Table 3의 전류밀도 값을 살펴보면 약 18배 증가한 것을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 1회 대비 30회에서의 사이클릭 선도변화가 가장 크게 변한 시편이다. 다만 전류밀도 값은 Zn200S와 비교하여 첫번째 사이클에서의 전류밀도는 0.85%에 해당하는 값을 보이고, 30회 사이클 후에도 15%에 해당하는 전류밀도 값을 나타내므로 분극저항 자체는 Zn200S보다 높은 것으로 판단된다. Fig. 4(c)의 Al200E시편의 경우 30회 사이클릭 선도변화 측정 후 다소 낮아진 분극저항을 보였으며 Table 3의 전류밀도 값을 비교하면 선도변화 측정 후 약 1.5배 증가하였고 본 연구의 Zn 및 Al 계열 열분사 코팅 8종 중 가장 낮은 전류밀도 값을 보였다.



[Fig. 4] Variation of Cyclic Voltamogram Curve of Al Thermal Spray Coatings

[Table 3] Comparison of Current Density at -250mV (vs SCE) of Cyclic Voltamogram for Al Thermal Spray Specimens

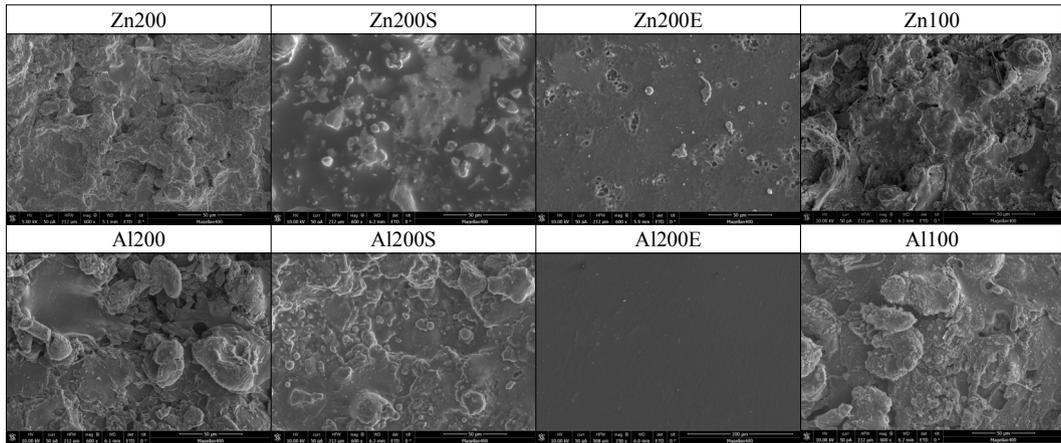
Kinds of Coating	Current Density(A/cm ² @ -250mV vs SCE)	
	1st Cycle	30th Cycle
Al200	6.240E-03	8.340E-03
Al200S	6.732E-05	1.190E-03
Al200E	2.443E-05	3.666E-05
Al100	6.160E-03	7.620E-03

3.2 SEM 촬영 결과

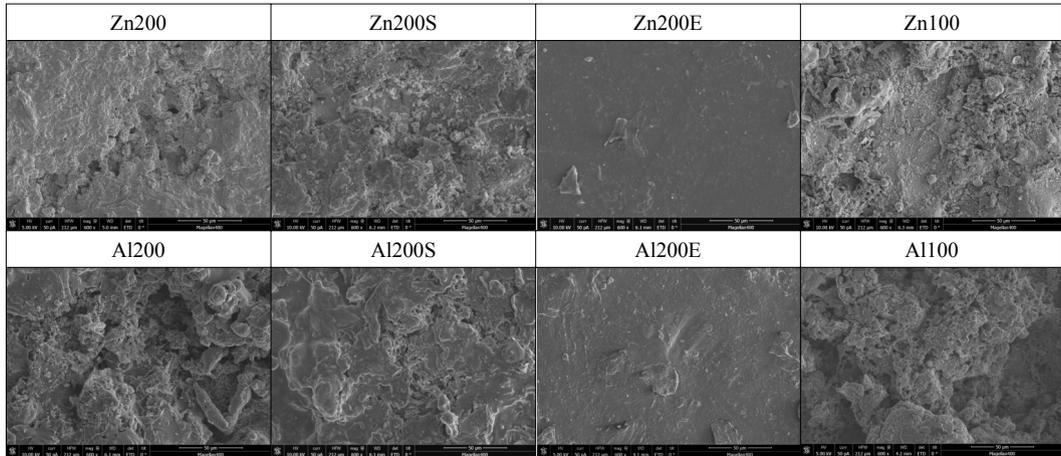
Fig. 5는 각 열분사코팅의 표면을 SEM 촬영한 사진이다. Zn200과 Zn100의 경우에는 표면의 요철이 다소 존재하였다. Zn200S의 경우 실리콘 코팅이 열분사코팅을 균일하게 덮은 것으로 사료되나 열분사코팅의 불룩한 부분의 형상이 다수 관찰된다. Zn200E의 경우에는 표면이 균일하게 에폭시로 덮여있는 모습을 보이며 경화 시 기포가 내부에서부터 빠져나갈 때 생긴 것으로 사료되는 땀플 형상이 관찰되었다. Al200 및 Al100의 경우, 표면은

평탄한 것으로 사료되나 Al 재료가 모재와 충돌될 때 압착되지 않고 방물모양의 형상이 남아있는 입자가 표면에서 다수 관찰되었다. Al200S의 경우 Zn200S의 표면과는 달리 실리콘 코팅 후에도 알루미늄 열분사코팅의 형상이 다소 선명하게 남아있는 모습을 보이며 Al 열분사코팅의 오목한 부분을 실리콘 코팅이 메워주는 양상이 관찰되었다. 반면에 Al200E의 경우 에폭시 코팅으로 열분사도막이 전체적으로 덮여졌으며 평탄한 형상을 보였다.

Fig. 6은 30회 사이클릭 선도변화 측정 후의 부식된 각 시편의 표면을 SEM 촬영한 사진이다. Zn200 및 Zn100의 경우 표면 전체에 걸쳐 균일하게 부식된 양상을 보이며 표면이 다소 평탄해진 모습을 보인다. Zn200S의 경우 도포된 실리콘 코팅 표면이 전체적으로 파괴된 양상을 보였으며 지름 10 μ m 이하의 공극이 다수 관찰되었다. Zn200E의 경우에는 표면의 형태가 사이클릭 선도변화 측정 전과 유사한 양상을 보였으며 특별히 코팅이 파괴된 흔적을 찾을 수 없었다. Al200 및 Al100 코팅의 경우 수 μ m 크기의 공극이 발생된 형태를 관찰할 수 있었으며 이는 알루미늄 표면에 존재하는 산화막에서 부식저항이 상대적으로 낮은 곳에서 선택적으로 부식이 일어났기 때



[Fig. 5] Surface SEM Images of Specimen Before Cyclic Voltametry($\times 600$)



[Fig. 6] Surface SEM Images of Specimen After Cyclic Voltametry($\times 600$)

문인 것으로 사료된다. Al200S은 Zn200S과는 달리 전체적으로 코팅의 파괴가 발생된 것이 아닌 표면의 몇몇 국소위치에서만 선택적으로 코팅이 파괴된 것을 관찰할 수 있었다. 다만 파괴가 일어난 오목한 곳의 경우 폭 및 깊이가 Zn200S의 경우 보다 넓고 깊은 것으로 판단되며 이때의 폭은 대략 30~100 μ m인 것으로 확인되었다. Al200E도 Zn200E와 유사하게 표면에서의 코팅파괴를 의심할 만한 양상은 관찰되지 않았다.

3.3 열전도도 측정결과

Table 4는 각 시편의 열전도도 측정결과를 나타낸다. 에폭시 실러가 도포된 시편의 경우 열전도도가 현격히 낮아진 것을 볼 수 있으며 실리콘 실러가 도포된 경우 Zn200S는 Zn200대비 3.5% 낮고 Al200S는 Al200대비 4.4% 낮은 열전도도 값을 보였다. 에폭시 코팅이 추가된

[Table 4] Thermal Conductivity Values of Specimens Acquired by Laser Flash Method

Kinds of Coating	Thermal Conductivity(W/m·K)
Zn200	65.3
Zn200S	63.0
Zn200E	18.9
Zn100	71.6
Al200	75.2
Al200S	71.9
Al200E	18.3
Al100	79.5

경우는 각각 70.1% 및 75.6% 낮은 값을 보였다. 실러가 추가도포 되지 않은 시편에서는 열분사코팅 두께가 얇을수록 열전도도 값이 높게 나왔으며 이는 열분사코팅 내부의 기공 및 열분사재료가 층돌 적층 시 생기는 접촉저항이 그 원인으로 추정된다.

위 결과에서 알 수 있듯이 에폭시 도막의 경우 열전도도를 현저히 감소시킴으로 인해 열교환기의 열전달 성능에 현격한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 다만 최근 연구 사례[9]를 살펴보면 열교환기 내의 재료를 열전도도가 약 10배 이상 차이 나는 티타늄(22W/mK)과 구리(385W/mK) 두 종류로 지정하여 해석하였을 때 동일 조건에서 구리 열교환기가 티타늄열교환기 보다 단 2.9%의 열교환 성능 향상만을 얻은 결과가 보고되었다. 이는 해수 적용 열교환기의 열전달 성능에 있어 전도열전달의 영향은 대류 열전달에 비해 작은 것에 기인한 것이다. 따라서 에폭시 실러를 적용한 열분사 코팅 방법이 지닌 내부식성 장점이 낮은 열전도도의 단점을 상쇄할 수 있다면 이를 해수용 열교환기에 적용하는 방안이 고려 가능할 것이다.

4. 결론

해수용 열교환기 재료로서 열분사코팅의 적용가능성을 조사하기 위해 아연 및 알루미늄 열분사코팅 및 추가로 실리콘 및 에폭시 실러를 도포한 시편 총 8종을 선정하여 부식특성 및 열전도도를 측정하고 부식된 시편의 표면을 관찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사이클릭 선도변화 측정 시 시편의 분극저항은 에폭시 실러를 도포한 시편이 가장 우수한 것으로 나타났다. 실리콘 실러를 추가도포한 시편은 선도변화 측정 후에도 추가실러를 도포하지 않은 시편보다 분극저항이 높게 나타나 실리콘 코팅의 내부식성 증대 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 사이클릭 선도변화 측정 후 부식된 시편의 표면을 SEM 촬영 결과 에폭시 실러가 추가 코팅된 시편의 파괴는 관찰되지 않았으며 실리콘 코팅의 경우 Zn200S는 전체적으로, Al200S는 국부적으로 코팅이 파괴된 양상을 관찰할 수 있었다. Zn200 및 Zn100 열분사코팅의 경우 평탄한 부식이 진행되었고 Al200 및 Al100의 경우 수 μ m 크기의 공식형상의 부식이 진행되었음을 관찰하였다.
- 3) 열전도도 측정결과 에폭시 실러가 추가 도포된 경우 약 70%이상의 열전도도 감소가 나타났으며 실리콘 실러가 추가 도포된 경우 약 3~4%의 열전도도 감소가 나타났다. 또한 열분사도막의 두께가 증가할수록 열전도도는 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 에폭시 실러 및 실리콘 실러의 내부식성 향상이 뚜렷하였으며 특히 에폭시 실러의 경우 탁월한 내부식성 향상을 보이는 바 해수용 열교환기 적용 가능

성이 있는 것으로 판단되며 다만 에폭시 실러 추가 도포 시 약 75%의 열전도도 감소가 나타났으나 열교환기 전체의 열저항을 고려하였을 경우 열교환기 성능 하락에 미치는 영향이 3% 미만일 가능성이 있으므로 열교환기 적용 가능성은 충분한 것으로 판단된다.

References

- [1] J. H. Kim, G. T. Kim, S. H. Park, W. Y. Oh, H. J. Kim, A Feasibility Study on Thermal Energy Resource in Deep Ocean Water, J. of the Korean Soc. for Marine. Env. Eng, Vol. 15, No. 1, pp. 9-18, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.4491/eer.2010.15.1.009>
- [2] D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Prentice Hall, 1996
- [3] L. Pawlowski, The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, Wiley, 2008
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470754085>
- [4] R. S. C. Paredes, S. C. Amico, A. S. C. d'Oliveira, The Effect of Roughness and Pre-heating of the Substrate on the Morphology of Aluminium Coatings Deposited by Thermal Spraying, Surf. and Coat. Tech. Vol. 200, pp. 3049-3055, 2006
- [5] R. M. H. P. Rodriguez, R. S. C. Peredes, S. H. Wido, A. Calixto, Comparison of Aluminium Coatings Deposited by Flame Spray and by Electric Arc Spray, Surf. and Coat. Tech. Vol. 202, pp. 172-179, 2007
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.05.067>
- [6] B. Y. Jeong, J. H. Lee, Y. K. Yeo, S. J. Moon, H. S. Yoo, Protective Coating Material Selection for a Booster Fan Blades of Desulfurization Facilities in a Thermoelectric Plant, Proc. of the Kor. Soc. Mech. Eng. 2010 Autumn Annual Meeting. pp. 2568-2576, 2010
- [7] K. M. Moon, J. H. Shin, M. S. Oh, M. H. Lee, S. Y. Lee, Y. H. Kim, An Electrochemical Evaluation on the Corrosion Property of Metallizing Film, J. of the Korean Soc. of Marine Eng. Vol. 34, No. 5, pp. 670-677, 2010
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2010.34.5.670>
- [8] J. H. Shin, K. M. Moon, An Electrochemical Evaluation on the Corrosion Property of Metallizing Film, Corr. Sci. and Tech. Vol. 9, No. 6, pp. 325-330, 2010
- [9] J. T. Kwon, C. K. Lee, C. Huh, M. I. Cho, K. Y. Kim, Y. C. Kwon, A Fundamentals Study on Heat Exchanger using Deep Ocean Water: Effects of Material on Heat

Transfer Performance, J. of the Korea Aca. Ind. Coop. Soc. Vol. 14, No. 10, pp. 4658-4688, 2013

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

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

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

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