

## 해수용 열교환기 적용을 위한 열분사 코팅의 침지부식특성 연구

허철<sup>1</sup>, 조맹익<sup>1</sup>, 권정태<sup>2</sup>, 권영철<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양CCS연구단, <sup>2</sup>호서대학교 기계공학부,

<sup>3</sup>선문대학교 기계공학과

### Study on the Immersion Corrosion Characteristics of Thermal Spray Coating for Sea Water Heat Exchanger

Cheol Huh<sup>1</sup>, Meang-Ik Cho<sup>1</sup>, Jeong-Tae Kwon<sup>2</sup> and Young-Chul Kwon<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Offshore CCS Research Unit, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Korea  
Institute of Ocean Science and Technology

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Hoseo University

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

**요약** 본 연구에서는 해수용 열교환기 적용을 위한 열분사 코팅의 침지부식 특성 및 열확산율을 조사하기 위해 실험이 수행되었다. 코팅은 아연과 알루미늄을 열분사 코팅한 뒤 실리콘 및 에폭시 수지를 추가 도포한 총 8개의 시편이며 이를 70℃ 3.5%w NaCl 수용액에 2주간 침지하여 침지 전후의 부식특성 변화를 관찰하였다. 코팅의 부식특성 변화를 관찰하기 위하여 AC 임피던스 측정, SEM 촬영 등을 진행하였으며 레이저 확산법을 이용하여 침지 전후의 열확산율을 측정 및 비교하였다. 침지실험 결과로부터 실리콘 및 에폭시가 추가된 코팅 시편은 표면에 블리스터가 생성되지 않았으며 이에 실러 추가 코팅에 따른 내부부식성 향상효과가 있는 것으로 확인되었다.

**Abstract** In the present study, immersion corrosion characteristics of Zn and Al thermal spray coating with sealer for the seawater heat exchanger are experimentally investigated. Total 8 coating types of Zn and Al thermal spray coating with silicone and epoxy sealer were tested with immersion corrosion testing in 80℃ 3.5%w NaCl solution and compared the corrosion characteristics between each coatings. To investigate the corrosion characteristics of the specimens, AC impedance, SEM, and thermal diffusivity were acquired and analyzed. As a result, on the surface of the specimens with silicone and epoxy sealer, blister did not occurred, so the sealers might be effective at increasing the corrosion resistance of the specimens immersed in the NaCl solution.

**Key Words** : Thermal spray coating, Impedance, Resistance, Sea water, SEM

#### 1. 서론

각국은 에너지 비용 상승 및 지구온난화에 대응하기 위해 친환경, 저탄소, 신재생 에너지자원 개발에 막대한 예산을 투입하여 기술개발에 매진하고 있다.

유한한 화석연료 자원과 달리 해양은 무한한 에너지

자원을 가지고 있으며 해양에 내재된 조력, 파력, 해수 간만의차 등을 이용한 에너지자원 개발 연구가 주목을 받고 있다. 그 외 깊이 변화에 따른 해수 온도차를 이용한 온도차 발전(OTEC), 연중 일정한 수온을 유지하는 심층수의 열원을 이용한 냉난방기술(SWAC) 개발이 주목을 받고 있다[1].

본 연구는 2013년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 “CO2 해양지중저장 기술개발” 및 “해양심층수의 에너지 이용기술개발”의 연구결과로 연구비 지원에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Young-Chul Kwon(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-10-8523-0923 email: yckweon1@sunmoon.ac.kr

Received November 25, 2013

Revised (1st December 19, 2013, 2nd January 3, 2014)

Accepted January 9, 2014

온도차 발전이나 해수냉난방을 위해서는 해수용 열교환기가 필요하며 현재는 대부분의 경우 고가의 티타늄을 재료로 하는 열교환기가 주로 사용되어 왔다. 해수가 흐르는 열교환기 내부는 상시 부식 환경에 노출되어 있으며 이러한 부식을 방지하기 위해 다양한 재료 및 코팅방법이 개발되어왔다.

다양한 코팅 방법 중 열분사 코팅은 모재의 표면에 희생층(Sacrificial Layer) 및 침투방지층(Barrier)을 동시에 생성시킬 수 있는 코팅 방법으로써 고온의 열원을 이용하여 코팅재료를 용융 또는 가열하여 분사함으로써 코팅재료가 모재에 충돌 후 자연 냉각되어 적층되는 코팅방식이다[2].

Barbera[3] 등은 열분사 코팅 시 노즐과 시편의 거리가 코팅층의 부식피로 거동에 미치는 영향을 연구한바 있으며 Arrabal[4]등은 Al/SiC를 Mg-Al합금 표면에 열분사 코팅한 시편의 해수환경에서의 부식특성을 연구한 바 있다. 국내에서는 Moon[5] 및 Shin[6] 등이 아연 및 알루미늄 혼합비에 따른 열분사 코팅의 해수 내식성 평가를 전기 화학적 평가방법으로 수행한 바 있다. 하지만 Moon[4] 등이 언급하였듯이 열분사 코팅의 장기 내식성 향상이 해결되어야 하고 따라서 이에 대한 연구가 필요한 상황이다.

Choi[7] 등은 해수용 열교환기 후보재질로서 알루미늄 및 아연을 SS401 판재에 열분사 코팅한 후 실리콘 및 에폭시 계열의 실러(Sealer)를 추가 도포한 시편을 선정하고 각 코팅의 사이클릭 선도변화 측정 및 SEM 촬영을 통해 시편의 분극저항을 분석·평가하고 시편의 열저항을 비교한 바 있다. 이는 열분사 코팅 및 실러 추가 코팅의 초기 파괴거동을 알아보는데 중요한 자료가 될 것으로 판단된다. 하지만 앞서 언급한 초기 파괴거동 외에 해수용 열교환기 재료 후보군으로서 해수에 장기 침지되었을 때의 열분사 코팅의 내수성·내부식성, 실러 추가 코팅의 열화(Aging) 거동, 그리고 열저항 변화를 알아보는 것은 실제 열교환기 제품을 제작하기에 앞서 반드시 선행되어야 한다고 판단된다.

본 연구에서는 열분사 코팅 및 실러 추가 코팅 시편의 침지부식 특성 파악 및 표면변화 관찰을 수행하고자 2주간의 고온 염수 침지 전후의 AC임피던스 변화를 측정하고 SEM촬영을 통해 표면의 변화를 관찰하였다. 또한 침지부식 진행에 따른 열전달 성능변화를 조사하기 위해 침지 전후 시편의 열확산율을 측정하여 비교하였다.

## 2. 실험 시편 및 실험 방법

### 2.1 실험시편

본 연구에 사용된 열분사 코팅을 하기위한 시편의 모재는 SS401 강판이며 두께는 0.6mm 이다. 열분사 코팅의 코팅 접착력을 높이기 위해서는 표면에 수  $\mu\text{m}$  크기의 앵커(Anchor)가 생성되어야 하고 모재 표면에 존재하는 산화물 등을 제거할 필요성이 있으므로 표면을  $\text{Al}_2\text{O}_3$  로 샌드 블라스팅하였다. 열분사 코팅 재료는 아연 및 알루미늄을 선정하였다. 열분사 방식은 전기 아크 방식을 사용하였으며 코팅 시의 압축공기 압력은 6bar, 코팅재료에 걸리는 전압은 24~26Volt이었다. 코팅 시 고온측 온도는 4000℃이었으며 입자의 속도는 약 150m/s이었다.

Table 1은 열분사 코팅 시편의 종류 및 도막에 관한 정보를 나타낸다. 열분사 코팅 외에 코팅층 내부의 공극을 막고 열분사 코팅 표면의 부식표면적을 감소시키기 위한 실러(Sealer)로서 실리콘 및 에폭시를 추가로 코팅한 시편을 포함하여 8종의 시편을 준비하여 실험하였다.

[Table 1] Thermal Spray Coating Specimens Information

Specimen	Coating Information
Zn200	Zn 200 $\mu\text{m}$
Zn200S	Zn 200 $\mu\text{m}$ + Silicone 5 $\mu\text{m}$
Zn200E	Zn 200 $\mu\text{m}$ + Epoxy 20 $\mu\text{m}$
Zn100	Zn 100 $\mu\text{m}$
Al200	Al 200 $\mu\text{m}$
Al200S	Al 200 $\mu\text{m}$ + Silicone 5 $\mu\text{m}$
Al200E	Al 200 $\mu\text{m}$ + Epoxy 5 $\mu\text{m}$
Al100	Al 100 $\mu\text{m}$

### 2.2 실험장치 및 방법

시편의 해수용액 내에서의 부식거동을 알아보기 위해 3.5%w NaCl 수용액에 2주간 침지시켜 부식실험을 진행하였다. 각 시편의 크기는 가로세로 100×100mm<sup>2</sup>이며 측면 및 후면은 고온용 실리콘을 도포하여 절연함으로써 코팅된 전면부를 제외하고는 용액에 노출되는 것을 방지하였다. 침지 시 부식을 가속화하기 위해 시편의 표면에 텅스텐 펜을 이용하여 폭 0.5mm 길이 70mm의 스크래치를 만들었으며 이때 모재(SS401)가 노출될 수 있는 충분한 깊이로 홈을 내어 침지 시 모재 및 코팅의 접합부가 용액에 노출되어 부식될 수 있도록 하였다. 침지 실험 시 부식속도를 가속시키기 위해 대류 오븐을 이용하여 침지 시 시편의 외부환경을 80℃로 유지하였다.

실험에 사용된 전기화학적 부식 측정장치는 정전위측정장치[8]를 이용하였다. 기준전극은 포화 KCl SCE전극을, 대극은 탄소전극을 이용하였다. 측정 시 시험용액은

3.5%w NaCl 수용액을 사용하였다. 본 연구에서는 AC 임피던스를 측정하였으며 잔전전위 대비  $\pm 10\text{mV}$ 를 인가하여 주파수대역별 임피던스 변화, 즉 Bode 선도를 측정하였다. 임피던스 측정 시 침지 전후의 시편을 직경 15.9mm 크기로 절단한 후 작동전극에 삽입하여 측정을 진행하였으며 이때의 시편 노출면적은  $1\text{cm}^2$ 이었다. 침지 실험 후 측정된 임피던스 데이터의 재현성을 확보하기 위해 각 종류별로 2개 시편의 값을 이용하였으며 이때의 최대 임피던스 값의 차이는 4.19%이었고 이중 높은 값을 본 논문의 데이터로 이용하였다.

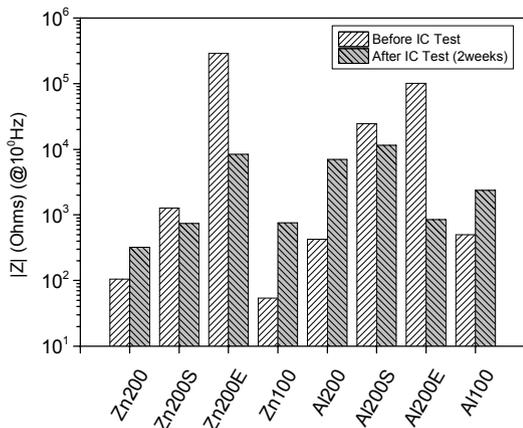
시편의 표면 형상, 즉 열분사 코팅 및 도포된 실러의 표면을 관찰하기 위해 CCD를 이용하여 표면을 촬영하였으며 더불어 SEM 이미지 또한 촬영하였다. SEM 촬영 시 주사된 전자선으로 인해 발생하는 흡수전자로 인한 charge-up 현상 및 이로 인한 불안정한 이미지 획득을 억제하기 위해 시편 표면에 10nm의 백금 및 10nm의 오스뮴을 진공 증착한 후 촬영을 진행하였다.

침지 전후의 시편의 열화산율은 레이저 확산법[9]으로 측정되었으며 열화산을 측정장치로는 LFA447[10]가 사용되었다. 열화산을 측정 시 총 5회 측정한 후 평균값을 취하여 데이터로 이용하였으며 측정불확도는  $\pm 5\%$ 이다.

### 3. 결과

#### 3.1 부식특성 평가

침지로 인한 부식 특성을 분석하기 위하여  $10^0$  Hz에서  $10^5$  Hz 범위의 주파수에서 AC 임피던스 값을 측정하였다. 위 영역 중 저 주파수 영역에서의 값이 분극저항을 나타내므로  $10^0$  Hz에서의 값을 분극저항 값으로 사용하였다.



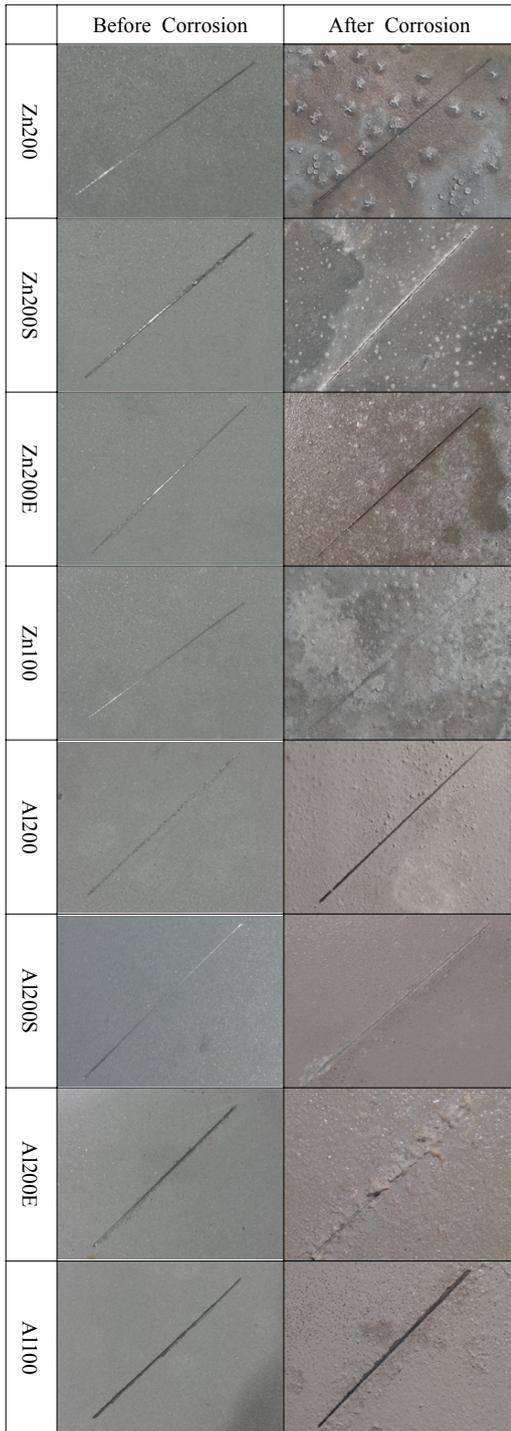
[Fig. 1] Polarization Resistance of Specimens Acquired by Impedance Measurement before and after Immersion Corrosion Test

Fig. 1은 각 시편의 침지부식 실험 전후의 Bode 선도에서 얻어진 분극저항 값을 나타낸다. 침지실험 전의 결과를 살펴보면 Zn계열 열분사 코팅에서는 에폭시 코팅이 추가된 Zn200E 시편의 분극저항이 가장 높은 값을 보였으며 Zn200S, Zn200, Zn100 순으로 분극저항이 높았다. 구체적으로 Zn200S는 Zn200 보다 분극저항이 12배 높았으며 Zn200E는 약 2700배 높았다. Al계열 열분사 코팅에서는 Al200S가 Al200보다 57배 높은 값을 그리고 Al200E는 235배 더 높았다. Zn 및 Al계열 열분사 코팅 모두에서 실리콘 보다는 에폭시 코팅의 분극저항 증가가 두드러지게 나타났다. Al 열분사 코팅에서는 Zn 열분사 코팅에서와 달리 열분사 도막 자체의 두께별 분극저항 변화가 작았으며, Al200보다 Al100시편의 분극저항이 오히려 17% 높은 값을 나타냈다.

각 시편의 2주간의 침지부식 후 분극저항은 Zn계열의 열분사 코팅 결과에서 Zn200 및 Zn100의 경우 침지 전 시편보다 각각 3.04배 및 14.04배 증가하였다. 이는 코팅 층이 부식용액에 노출됨으로써 표면에 부식산화물이 적층됨으로 인한 것으로 판단된다. Zn200S 및 Zn200E의 경우에는 침지 전 분극저항 값의 58% 및 2.9%에 해당하는 저항값을 나타내어 침지 전 보다 분극저항 값이 감소하였다. 이는 침지 부식이 진행됨에 따라 실리콘 및 에폭시 추가 코팅 내부로 부식용액이 침투되어 코팅 층이 열화되었기 때문으로 판단된다.

Al계열의 열분사 코팅 결과는 추가 코팅이 없는 Al200 및 Al100 모두 Zn계열 결과와 유사하게 침지 전보다 분극저항 값이 각각 16.34배와 4.75배 증가하였다. 이는 부식산화물이 표면에 적층됨에 따라 산화물이 부식반응에 대한 저항으로 작용함에 따른 것으로 판단된다. 실리콘 및 에폭시가 추가로 코팅된 Al200S 및 Al200E 또한 Zn계열 결과와 유사하게 침지 전 분극저항 값의 47% 및 0.8%에 해당하는 저항값을 나타내어 분극저항값이 감소함을 확인하였다. 특히 Al200E는 추가 코팅이 되지 않은 Al200 시편보다 침지 후 낮은 분극저항 값을 가진 것으로 나타났다.

Fig. 2는 3.5%w NaCl 수용액에 2주간 침지시키기 전과 후의 시편 표면을 비교한 사진이다. 침지 전, 시편의 부식을 가속화하기 위해 텅스텐 펜을 이용하여 길이 7cm의 스크래치를 발생시켜 SS401모재가 해당 길이만큼 노출되도록 하였으며 분위기 온도는 80°C로 유지하였다. 먼저 Zn200, Zn100, Al200 세 가지 시편의 경우 침지 후 블리스터(Blister)가 관찰되었다. Zn200S의 표면을 살펴보면 흰색의 반점들이 위치하고 있으며 이는 Zn이 용액과 반응하여 부식된 후 생성된 부산물들이 실리콘 코팅 아래에 쌓인 것으로 사료된다. Zn200E 코팅의 경우 에폭



[Fig. 2] Corrosion Characteristics of specimen before and after 2 weeks immersion in 3.5%w NaCl solution

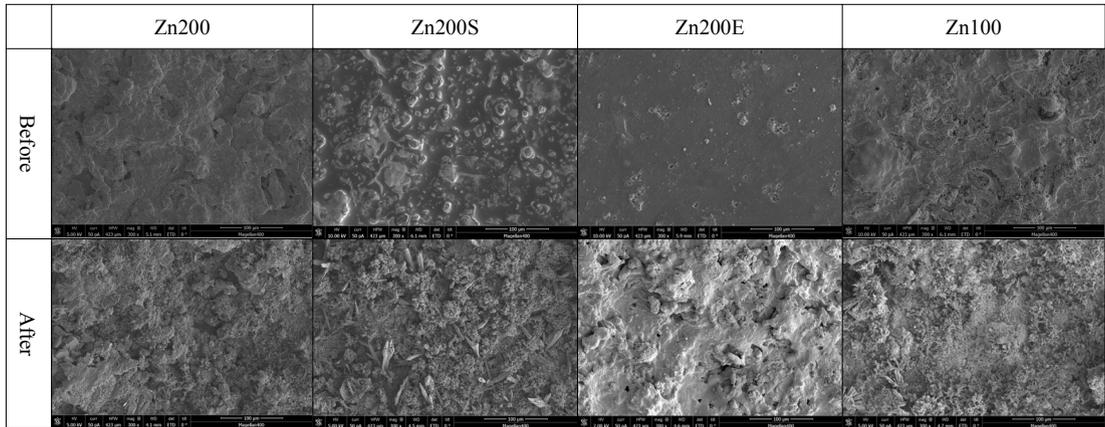
시 코팅 층이 수분을 흡수한 후 부풀어 오른 모습을 확인할 수 있었다. 이는 고온의 염수에 장기간 침지됨에 따른 것으로 사료되며 본 시험에서는 도막이 솟아오르는 블리스터는 확인되지 않았다. Al200S의 경우 Zn200S와는 달리 표면에 생성된 반점의 개소가 상대적으로 소수밖에 관찰되지 않았으며 다만 표면에 생성된 스크래치 주변에서 실리콘 코팅이 부풀어 오른 모습을 일부 관찰할 수 있었다. Al200E의 경우 Zn200E 보다 에폭시 도막이 더 부풀어 오른 모습을 관찰할 수 있었으나 블리스터는 확인되지 않았다. Al100의 경우 블리스터는 확인되지 않았으나 스크래치의 폭이 다소 넓어졌고 폭 내부에서 열분사 코팅이 사라지고 SS401모재가 다소 노출된 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 SEM 촬영 결과

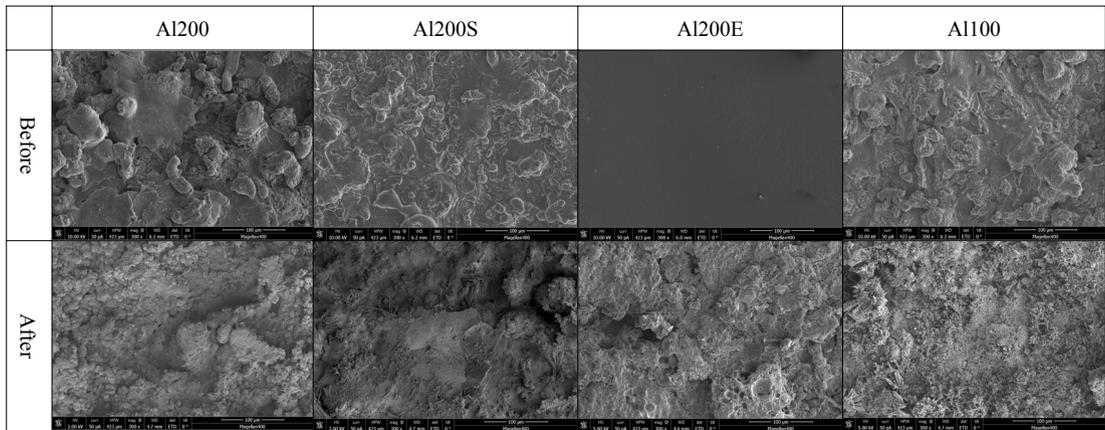
본 연구에서는 침지실험 전후의 코팅표면 변화를 관찰하기 위해 SEM 촬영을 진행하였다. 본 촬영을 위해 침지 전후의 시편을 가로세로 각각 10mm크기로 자른 후 촬영하였다.

Fig. 3은 2주간의 침지부식 실험 전후의 Zn계열 열분사 코팅 시편의 표면을 SEM 촬영한 사진이다. Zn200과 Zn100의 표면을 살펴보면 침지 전 시편 표면에 요철이 다소 존재하는 것을 알 수 있으며 Zn200S의 경우 실리콘이 열분사 코팅 표면을 균일하게 덮고 있으며 또한 볼록한 형상이 관찰되었다. Zn200E 시편의 경우에도 에폭시 코팅이 열분사 코팅을 균일하게 덮은 것을 알 수 있으나 실리콘 추가 코팅의 경우와 달리 열분사 코팅의 볼록한 형상은 관찰되지 않았으며 이는 실리콘 코팅보다 코팅두께가 두꺼운 것에 기인한 것으로 판단된다. 2주간 침지부식 후에 표면을 살펴보면 Zn200 및 Zn100의 경우 전체적으로 균일하게 부식이 진행되었고 수  $\mu\text{m}$  크기의 부식산화물 입자가 표면 전체에서 확인되었다. Zn200S의 경우 다소 길쭉한 결정형상의 부식산화물이 표면에 분포하는 것으로 관찰되었으며 Zn200과 유사하게 수  $\mu\text{m}$  크기의 부식산화물이 표면전체에 분포하였다. Zn200E의 경우 에폭시 코팅이 전체적으로 남아있었으며 부분적으로 파괴된 에폭시 코팅의 틈사이로 부식이 진행된 것을 확인하였다.

Fig. 4는 침지부식 실험 전후의 Al계열 열분사 코팅 시편의 표면을 SEM 촬영한 사진이다. Al200 및 Al100의 경우 전체적으로 Al 열분사 코팅재료의 볼록한 형상이 다수 관찰되었으나, Al200S 및 Al200E의 경우 실리콘 및 에폭시 코팅이 균일하게 코팅된 것을 알 수 있다. 침지부식 후의 SEM 사진은 Al200 및 Al100의 경우 약 십  $\mu\text{m}$  내외의 크기를 가지는 부식산화물 결정들이 표면을 뒤덮



[Fig. 3] Surface SEM Images of Specimen before and after 2 weeks Immersion Corrosion Test( $\times 300$ , Zn Thermal Spray)

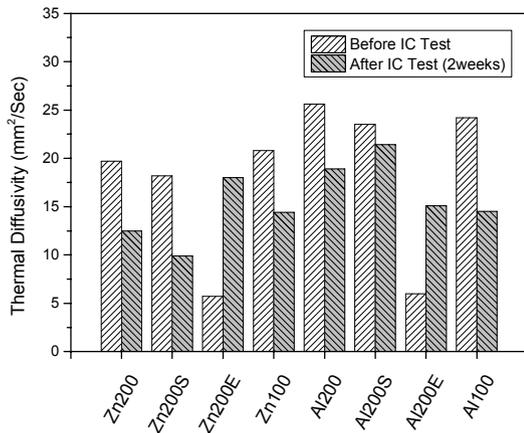


[Fig. 4] Surface SEM Images of Specimen before and after 2 weeks Immersion Corrosion Test( $\times 300$ , Al Thermal Spray)

고 있는 것을 확인하였다. Al200S의 경우 실리콘 코팅이 다소 남아 있었으며 실리콘 코팅이 파괴된 부위에는 산화물이 시편의 표면을 뒤덮고 있었다. 또한 길이 20~30  $\mu\text{m}$  크기의 길쭉한 형상의 부식산화물이 표면에 다소 분포하는 것으로 관찰되었다. Al200E의 경우 Zn200E의 경우와 달리 시편 표면 전체에서 에폭시 코팅이 남아있지 않고 국부적으로 에폭시 코팅이 잔존하는 것을 확인하였으며 다른 Al계열 시편과 달리 부식산화물이 결정형태로 시편표면을 뒤덮은 형상은 보이지 않고 부식산화물 결정이 없는 평활한 부식표면이 관찰되었다. 그러나 표면에는 길이 100 $\mu\text{m}$  이상의 균열이 다수 관찰되었으며 이로 인해 Al계열 시편보다 분극저항이 작게 측정된 것으로 판단된다.

### 3.3 열확산율 측정결과

Fig. 5는 2주간의 침지실험 전후 각 시편의 열확산율 변화를 나타낸다. 전체적으로 에폭시가 추가 코팅된 시편의 경우 침지 후 열확산율이 증가하였으며 그 외의 시편은 열확산율이 감소하였다. 에폭시 실러 도포 시편의 열확산율 증가는 에폭시 코팅이 열화되어 두께가 감소한 것에 따른 것으로 판단된다. 실리콘 코팅의 경우 Zn계열에서 열확산율의 감소는 약 46% 그리고 Al계열에서는 약 9% 감소하였다. 이는 Zn200S의 경우 SEM을 통해 관찰한 바와 같이 실리콘 실러가 대부분 파괴되고 부식산화물로 표면 전체가 뒤덮인 모습이 관찰되었으나 A200S의 경우 실리콘 코팅이 다소 남아있고 부식산화물의 두께가 Zn200S과 비교하였을 때 현저히 작은 것에 따른 것으로 판단된다. 추가 실러가 도포되지 않은 Zn200, Zn100, Al200, Al100의 경우 약 26~40% 정도 열확산율이 감소하였다.



[Fig. 5] Thermal Diffusivity of Specimens before and after 2 weeks Immersion Corrosion Test

#### 4. 결론

해수용 열교환기의 열분사 코팅에 대한 침지부식 특성을 조사하기 위해 시편 8종을 2주간의 고온 염수 침지부식한 후에 실험 전후의 분극저항, 표면형상, 열확산율을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 부식특성 평가를 위해 실리콘 및 에폭시가 추가로 도포된 시편의 경우 침지 전보다 분극저항 값이 감소하였으며, 도포되지 않은 시편의 경우 분극저항 값이 증가하였다. 침지 부식 후의 분극저항이 가장 높은 시편은 Zn계열에서 에폭시 추가 실러가 도포된 시편이 그리고 Al계열에서는 실리콘 추가 실러가 도포된 시편이 가장 높았다.
- 2주간 침지된 SEM 사진으로부터 에폭시 및 실리콘 실러를 열분사 코팅 위에 추가로 도포한 시편에서는 블리스터가 관찰되지 않아 해수부식에 대한 열분사 코팅의 내부식성 향상을 확인할 수 있었다.
- 침지부식 실험 전후의 각 시편의 열확산율 변화를 측정한 결과, 침지 후 에폭시 실러가 추가 도포된 시편의 경우 약 2.5에서 3배정도 열확산율이 증가하였다. 실리콘이 추가로 도포된 경우에 Al계열 보다 Zn계열의 시편의 열확산도가 더 크게 감소하였다. 추가 실러가 도포되지 않은 시편에서는 약 26 ~ 40% 정도 열확산율이 감소함을 확인하였다.

#### 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
- [2] G. Easter, Thermal Spraying - Plasma, Arc and Flame Spray Technology, Wexford College Press, 2008
- [3] J. G. L. Barbera-Sosa, Y. Y. Santana, C. Villalobos-Gutierrez, S. Cabello-Sequera, Effect of Spray Distance on the Corrosion-Fatigue Behavior of a Medium-Carbon Steel Coated with a Colmonoy 88 Alloy Deposited by HVOF Thermal Spray, Surf. and Coat. Tech. Vol. 205, pp. 1137-1144, 2010  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.01.038>
- [4] R. Arrabal, A. Pardo, M. C. Merino, M. Mohedano, P. Casajus, S. Merino, Al/Sic Thermal Spray Coatings for Corrosion Protection of Mg-Al Alloys in Humid and Saline Environment, Surf. and Coat. Tech. Vol. 204, pp. 2767-2774, 2010
- [5] 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.2010.34.5.678>
- [6] 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
- [7] M. I. Cho, C. Huh, Y. C. Kwon, J. T. Kwon, Experimental Study on Corrosion and Thermal Conductivity Characteristics of Thermal Spray Coating for Sea Water Heat Exchanger, J. of the Korea Aca. Ind. Coop. Soc. Accepted(2013)
- [8] VersaSTAT3, Potentiostat/Galvanostat, Princeton Applied Research, AMETEK Inc.
- [9] KS L 1604, Fine ceramics-Determination of thermal diffusivity, specific heat capacity, and thermal conductivity of monolithic ceramics by laser flash method, Kor. Ind. Stand, 2012
- [10] LFA447 NanoFlash, Thermal Diffusivity Measurement, NETZSCH

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

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

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