

## Al-Zn-Zr 열용사 코팅의 캐비테이션 거동에 대한 실링의 효과

### Effects of sealing on cavitation behavior of Al-Zn-Zr thermal spray coating and sealing

김성중<sup>a\*</sup>, 한민수<sup>b</sup>, 이승준<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup>목포해양대학교 기관시스템공학부(E-mail:ksj@mmu.ac.kr)

<sup>b</sup>목포해양대학교 기관시스템공학부, <sup>c</sup>목포해양대학교 기관시스템공학부 대학원

**초 록:** The large and high-speed vessels have been greatly advanced, but ship materials have been caused the problem such as corrosion, cavitation and erosion. Cavitation can produce material damage such as pumps, turbines, valves and ship propellers etc. To solve these problems, the cavitation and electrochemical characteristics for thermal spray coating and the sealing are executed to obtain the excellent corrosion protection characteristics in sea water environment.

#### 1. 서론

국가간 무역의 80% 이상을 선박이 담당하고 있으며 해상운송업은 국제적 경쟁산업이며 국가적으로도 아주 중요한 전략산업이다. 따라서 선박의 대형화, 고속화가 크게 진전됨에 따라 캐비테이션과 침식부식과 같은 많은 문제점이 발생하였다. 대부분의 선박은 도장과 희생양극법, 외부전원법 등으로 선체를 방식한다. 그러나 선박의 후미는 조류, 선속, cavitation 및 erosion corrosion같은 가혹한 환경에 노출되어 있어 기존의 방식법을 적용하기는 하나 큰 효과를 발휘하지 못하고 있다. 유체 속에서 작동하는 장치는 유체 충격과 정압의 저하에 따른 국부적 비등으로 인한 캐비테이션 침식이 발생할 수 있으며, 기계부재에 고주파 진동이 발생하면 그 진폭이 작아도 극심한 캐비테이션 침식을 유발하여 기계장치에 치명적인 영향을 미친다

본 연구에서는 선박용 재료로 사용되는 강에 Al-Zn-Zr 합금 선재를 사용하여 용사코팅을 실시하고, 불소실리콘계의 봉공재를 추가로 도포한 두 가지 조건에 대하여 전기화학적, 캐비테이션 특성을 비교, 평가하였다.

#### 2. 본론

본 실험에 사용된 재료는 탄소함량이 0.1617%이고 인장강도가 463MPa인 강을 사용하였으며, 85%Al-14%Zn-1%Zr 합금을 사용하여 400 $\mu$ m 이상 두께로 코팅을 실시하였다.

주사전자현미경을 사용하여 코팅층 표면 및 단면을 관찰하였고, Vickers 경도계를 이용하여 코팅표면의 경도를 측정하였다. 기준전극은 은/염화은 전극을, 대극은 백금전극을 사용하였다. 자연전위 실험은 86,400초 동안 실시하여 시간 경과별 전위 거동을 측정하였고, 양분극과 음분극 경향은 각각 개로전위에서 +4.0V, -3.0V까지 2mV/s의 주사속도로 실시하였다. 정전위 실험은 일정 전위에서 3,600초 동안의 전류밀도 변화와 3,600초 후의 값을 각 조건별로 비교하였으며, 타펠분석 실험에서는 개로전위를 기준으로 1mV의 주사속도로  $\pm 0.25$ V 분극시켜 부식전위와 부식전류밀도를 구하였다. ASTM G-32 규정에 의거하여 캐비테이션 실험을 실시하였으며 60Hz, 220V의 전력을 거쳐 20KHz의 출력을 발생시켰으며 진폭은 50 $\mu$ m로 일정하게 유지하였다. Fig. 1은 Al-Zn-Zr코팅과 코팅+실링 시편의 표면과 단면을 촬영한 사진이다. 시편면 표면을 육안으로 보면 평평한 것으로 보이지만 실제로는 고온으로 용융된 입자가 노즐을 통해 분사되면서 시편 표면과 충돌하면서 용융입자가 방사형으로 형성되었음을 알 수 있다. 이것을 확대해 보면 부분적으로 보이드가 형성되어 있는 것처럼 여겨지기도 하나 실제로는 용사층이 적층되어 있다고 할 수 있다. 일반적으로 다른 용사코팅을 실시하여 실링을 실시한 경우는 거칠기가 적어지고 보이드와 같은 공공을 실링하는 경향을 나타내는데 본 실험에서는 이와는 약간 다른 결과가 확인되었다. 단면 관찰에서는 용사코팅을 실시한 경우 여러 부위에서 보이드가 관찰되었으나 모재와 코팅층과의 밀착력은 양호한 것으로 사료된다. 한편 코팅+실링한 경우, 실링제의 침투에 의해 보이드는 줄어들었으나 모재와의 밀착력 저하는 현저하게 관찰되었다. 알루미늄이나 아연 용사코팅에서 봉공처리한 경우가 밀착력이 좋아져서 캐비테이션 실험 결과 개선된 결과를 나타냈으나 본 연구 결과는 반대의 경향을 나타낼 것으로 예측되었다, 이는 봉공재에 포함된 불소와 실리콘이 코팅층과 반응하여 밀착력을 저하시키는데 기여한 것으로 사료된다. Fig. 2는 용사코팅과 코팅+실링한 경우 타펠분석을 위한 분극곡선 그래프이다. 양분극 곡선에서는 전위 상승에 따라 전류밀도의 차이는 있으나 유사한 형태로 꾸준히 상승하는 경향을 나타냈다. 한편 음분극 곡선에서는 양분극 경향에 비해 코팅+실링에 의해 현저히 낮은 전류밀도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 타펠분석 결과, 용사와 용사+실링을 실시한 경우 각각의 부식전류밀도는 7.2X10<sup>-6</sup>A/cm<sup>2</sup>와 9.9X10<sup>-8</sup> A/cm<sup>2</sup>로 봉공 처리한 시편이 현저히 낮은 값을 나타냈으므로 부식속도가 낮아져서 개선된 반면 부식전위는 유사한 값을 나타냈다.

Fig. 3은 다양한 전위에서 정전위 실험 후의 3,600초에서의 전류밀도를 상호 비교한 결과를 나타낸 그래프이다. 붕공의 유무에 관계없이 -1V에서 가장 낮은 전류밀도를 나타냈는데 이는 개로전위에 가까운 전위이기 때문에 사료되며 -1V의 적용전위를 기준으로 귀방향이나 비방향으로 이행할수록 계속 전류밀도가 증가하는 경향을 나타냈다. 전체적으로 보아 전 구간에서 용사+실링을 실시한 경우가 용사만 실시한 경우에 비해 양호한 특성을 나타냈다.

Fig. 4는 캐비테이션 실험시간에 따른 무게감소량을 나타낸 것이다. 무게 감량 측정 결과, 30분까지는 무게감량이 적게 나타났으며, 120분까지는 유사한 비율로 증가하는 경향을 나타냈음을 알 수 있다. 그 이후 코팅을 실시한 경우는 현저하게 증가폭이 감소하였으나 실링을 실시한 경우는 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다.

Fig. 5는 캐비테이션 실험 후 손상면을 촬영한 사진이다. 실험 20분 경과 후 코팅+붕공 처리된 시편의 피팅이 더 크게 나타났으며, 90분 경과 후에는 두 시편 모두 코팅이 거의 박리되어 모재가 노출되어 손상이 되었음을 알 수 있다. 특히 코팅+실링의 경우 중앙에 큰 pit가 형성되었음을 알 수 있다. 이후 캐비테이션 실험 시간 증가에 따라 그 경향이 현저하게 나타났으며 그 결과 거친 시편의 형성을 나타냈다.

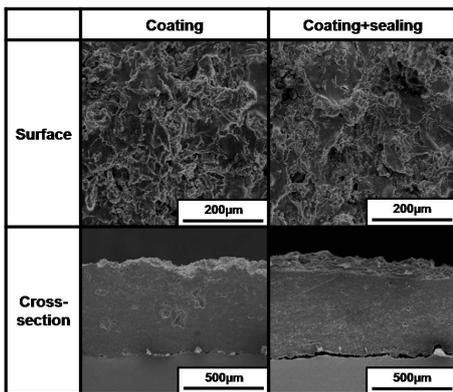


Fig. 1 Surface and cross-section morphology

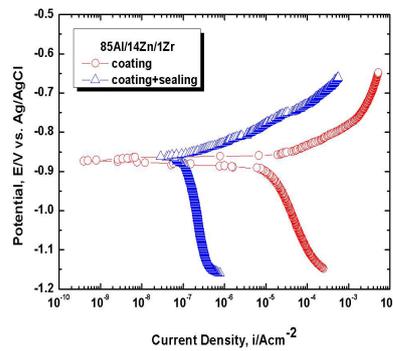


Fig. 2 Polarization curves for Tafel analysis

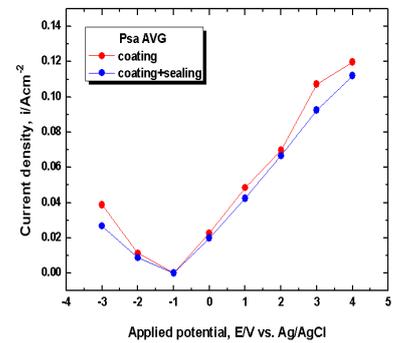


Fig. 3 Comparison of current density after potentiostatic experiment

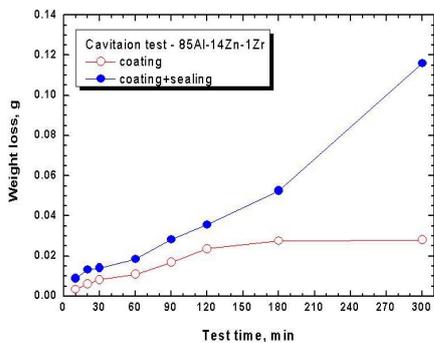


Fig. 4 Weightloss after cavitation test

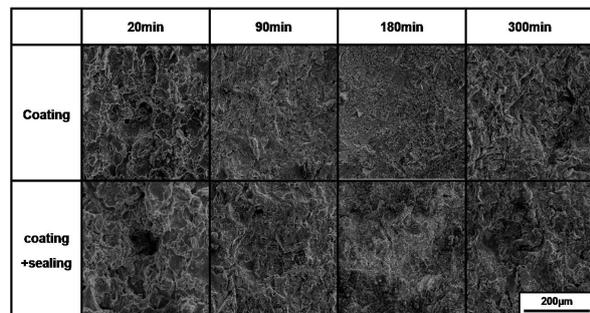


Fig. 5 Surface morphologies after cavitation test

### 3. 결론

85%Al-14%Zn-1%Zr 용사 후 실링 유무에 따른 다양한 전기화학실험결과, 분극경향은 용사코팅+붕공처리한 경우가 낮은 전류밀도를 나타냈으며, 타펠분석 결과 낮은 부식전류밀도를 나타냈다. 또한 다양한 전위에서 정전위 실험 결과 낮은 전류밀도를 나타냈으므로 실링에 의해 개선된 효과를 나타냈다.

그러나 캐비테이션 실험 결과, 코팅+실링한 경우가 오히려 양호하지 않은 경향을 나타냈는데 이는 낮은 정도를 나타냈을 뿐 아니라, 모재와 코팅층간의 밀착력도 낮기 때문에 판단된다. 따라서 본 용사 재료를 사용하여 코팅을 실시한 경우 불소실리콘계 실링은 캐비테이션 환경에는 부적합하며 정적환경에서는 적합할 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 해양수산부 해양과학기술 연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.