

소형선박용 스테인리스강 축의 음극방식 응용

배일용⁺·박정대⁺⁺·강대선⁺⁺·이명훈⁺·김기준⁺

Optimum Cathodic Protection for Stainless Steel Shaft of Small-Size Boat

I-Y Bae⁺, J-D Park⁺⁺, D-S Kang⁺⁺, M-H Lee⁺ and K-J Kim⁺

Abstract : Stainless steel has been stably used closed by passivity oxidation films(Cr_2O_3) is made by neutral atmospheric environment. However, passivity oxidation films of the surface of stainless steel occasionally comes to be destroyed in seawater which is influenced by an environment having halogen ion like Cl^- , then, localization corrosion comes to occur. Stainless steel 304 for shaft system material of the small-size FRP fishing boat on seawater environments made an experiment on simulation of sacrificial anode(Al, Zn). Through these experiment and study, following results have been obtained ; According to the field inspection and corrosion simulation, the corrosion on the 2nd class stainless steel shaft(STS 304) in FRP fishing boat has been verified to occur by crevice corrosion and galvanic corrosion etc.. According to the comparison and analysis of Stainless steel 304 shaft materials after simulation leaving unprotected and applying cathodic protection, unprotected shaft specimen of stainless steel 304 was severely corroded, but, protected shaft specimen was not totally corroded. This result is assumed to be made by the facts that anodic reaction, $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$, has been restricted by the cathodic protection current of sacrificial anode material.

Key words : FRP fishing boat(FRP어선), Sacrificial anode(희생양극), Stainless steel shaft(스테인리스강 축), Crevice corrosion(틈부식), Galvanic corrosion(갈바닉 부식), Cathodic protection method(음극방식)

1. 서론

스테인리스강은 일반 탄소강이나 알루미늄 재에 비하여 도장과 같은 방청처리가 필요 없을 정도로 내식성이 우수함은 물론 강도, 내열성 그리고 외장성이 뛰어나다. 따라서 이러한 스테인리스강은 그 특성을 요구하는 일상 생활용품이나 건축물의 내외장용 자재는 물론 각종 기계부품 및 FRP소형선박의 재료 등으로 많이 사용되어지고 있다. 한편, 이들 중 특히 해수 중에서 사용되는 FRP소형선박용 축 재료인 스테인리스강은 해수와의 화학반응으로 축표면이 거칠어지면서 내부로 파고드는 극심한 부식현상으로 인하여 축계 사고의 주요한 원인이 되고 있는 실정이다. 일반적으로 스테인리스강은 중성환경에서 형성된 Cr_2O_3 라고 하는 20-40 Å의 치밀한 부동태(Passivity) 산화피막으로 인해 안정적으로 사용된다. 그러나 이것이 해수환경 중 Cl^- 등과 같은 할로젠이온이 존재하는 분위기의 조건에 따라서는 스테인리스강 표면에 형성된 부동태 산화피막이 파괴되어 국부부식(Localization Corrosion)을 일으킬 수 있다. 그러므로 스테인리스강은 일반육상 환경중이 아닌 해수환경 중에 사용할 때는 그 사용조건에 따라서 틈부식이나 공식 등의 국부부식 문제가 발생할 수 있음을 고려하지 않으면 안된다. 이에따라 본연구에서는 해수환경 중 사용되는 FRP소형선박용 스테인리스강 축계의 부식문제를 해결할 수 있는 방법의 하나로 음극방식(Cathodic Protection) 원리를 적용하기 위한 최적음극방식전위의 산출 및 방식시물레이션을 통하여 경제적이고 효율적인 방식설계의 응용지침을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

축계 구성재의 부식 및 방식 시물레이션을 위한 시험은 여러 가지 종류의 축 시험편이 놓여진 수조내에 천연해수를 유입-순환시키면서 진행하였다. 이때 수조에 유입하는 천연해수의 온도는

열교환기에 의해 25℃로 일정하게 유지시켰다. 이러한 FRP 어선 축계 시물레이션 실험을 위한 개념도는 Fig. 1에 나타내었다. 또한 축은 총 12개를 제작하여 구동축과 정지축으로 나누었고, 시물레이션용 방식 및 무방식조건인 축 시험편은 Al과 Zn을 조합하여 만들었다. Fig. 1에 나타난 것처럼 ①은 축 내부에 Zn 양극 스프레이 코팅과 Zn 양극 테이프로 피복 시켰고, 수중부는 절연테이프로 피복하였다. ②는 Ring 형태로 Zn 양극을 축의 끝단에 부착하였다. ③은 축내부는 무방식이고, 수중부는 절연피복하였다. ④는 Ring 형태로 Al 양극을 연결하였고, ⑤은 축 내외부에 무방식 처리를 하였다. ⑥은 축 Brush 연결하고 Al 양극을 축에 가장 가깝게 연결하여 각각의 부식 및 방식 특성을 관찰하였다.

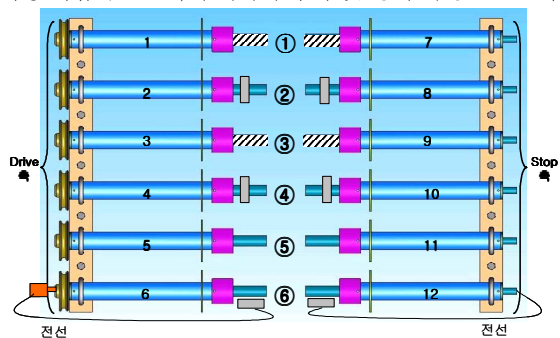


Fig. 1 Design and production of corrosion and protection system for the shaft materials

또한, 시물레이션 구동 실험중의 무방식 및 방식한 스테인리스강 축계 시험편에 대해서는 유입-순환시킨 천연해수 환경중 주기적으로 자연전위(E_{cor})의 변화거동을 측정하였다. 이때 사용한 기준전극(Reference Electrode)은 은-염화은 전극(Silver-Silver Chloride Electrode ; Ag/AgCl, SSCE)을 사용하였다.

+ 배일용, 이명훈, 김기준(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail: corr@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4266

++ 박정대, 강대선(선박검사 기술협회), E-mail: dskang@kst.or.kr, Tel: 032)260-2298-9

3. 실험결과

3.1 해수중에서 스테인리스 304, 316강의 최적음극 방식 전위의 결정

FRP선박의 축계를 구성하고 있는 스테인리스강재의 부식문제를 해결하기 위한 방법으로는 여러 가지를 생각해 볼수는 있겠으나, 가장 효율적이고 경제적인 방법은 이상에서 설명한 음극 방식원리를 응용한 방법이라고 생각된다. 한편, 스테인리스강재의 음극방식설계를 위해서는 우선적으로 이에 적합한 음극방식 전위값을 구해야 한다. 즉, 피방식체인 스테인리스 304, 316강의 음극방식 전위값을 알아야 여기에 조합가능한 희생양극을 선정하여 설계할수 있기 때문이다.

Table 1은 스테인리스강 304, 316의 최적음극방식 전위값을 나타내고 있다. 스테인리스강 304강의 최적방식전위는 -825mV/SCE 이고, 그 최적방식전위구간은 $-775\sim -950\text{mV/SCE}$ 이다. 또한, 스테인리스강 316강의 최적방식전위는 -850mV/SCE 이고, 그 최적방식전위구간은 $-800\sim -900\text{mV/SCE}$ 이다. 따라서 2종 축계 STS 304강재의 음극방식을 위해서는 이 최적 방식전위구간을 유지시킬수 있는 Al 또는 Zn합금 희생양극(Sacrificial anode)을 제작하여 적용하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

Table 1 Determination of optimum cathodic protection potential on the stainless steel shaft materials

Kinds of Steel	E_{cor} mV/SCE	i_{cor} $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Optimum E mV/SCE	Optimum E Range mV/SCE
STS 304	-155	0	-825	-775 ~ -950
STS 316	-190	0	-850	-800 ~ -900

3.2 축계 재료종류별 자연전위 변화측정

상온에서 자연해수 용액중 1cm^2 면적을 노출시켜 제작한 시험편을 장기간 침지시간에 따른 자연전위의 변화거동을 측정하였다. Fig. 2는 115일간 측정된 스테인리스 강 304, 316, 630의 자연전위 변화를 나타낸 그래프이다. 스테인리스 316강이 가장 귀한(Noble)한 값을 나타내고 있다. 이러한 이유는 스테인리스 316강에 소량의 Mo(몰리브덴)를 첨가했기 때문이다. 또한 스테인리스 304와 630의 자연전위는 비슷하게 나타나지만 630이 좀더 비(Active)한 값을 나타내고 있다. 이러한 이유는 스테인리스 630은 석출경화계로써 고경도 강이기는 하지만, 강도를 증가시키기 위해서 Cu(구리)와 Nb(니오븀)를 첨가하였다. 따라서 내식성 향상에 필요한 Cr(크롬)의량은 상대적으로 적게 첨가되었고, 또한 Cu와 Fe의 갈바닉 부식 현상이 촉발되어 강도와 경도는 우수하나 내식성은 떨어지는 것으로 판단된다.

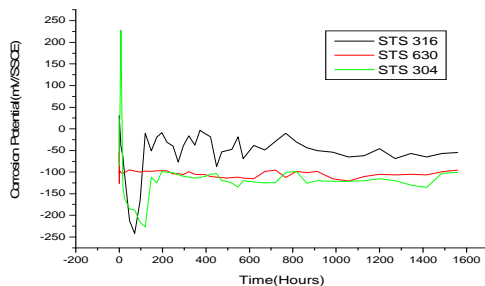


Fig. 2 Measurement of Natural Potential of the shaft materials

3.3 스테인리스강 축에 대한 부식방식 실험결과

Fig.3은 장기간 측정된 시뮬레이션 축 시험재의 자연전위 변

화 그래프이다. 이를 검토하면 다음과 같다. 3, 5, 9, 11번 시험편 자연전위는 $-300\sim +100(\text{mV/SCE})$ 사이에서 변화하고 있다. 이러한 시험편들은 양극을 부착하지 않은 관계로 전위가 귀(Noble, 비활성적인)하게 나타나고 있고, 스테인리스강의 전위값(-80mV/SCE)과 비슷한 수치를 나타내고 있다. 또한 구동축 시험편의 자연전위가 정지축 시험편보다 비(Active, 활성적인)하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 구동축 회전에 의한 유속의 영향으로 리그남바이터 내외간에 산소농도차가 커지므로 인해 정지축 보다 상대적으로 부식이 가속되어서 자연전위값이 낮아진다. 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 12번 시험편 자연전위는 $-600\sim -1100\text{mV/SCE}$ 사이에서 변화한다. 1, 7번 시험편은 축 내부에 아연 페인트 및 테이프를 칠한후 설치한 시험편이고, 4번, 10번은 알루미늄 링을 샤프트에 부착한 시험편이다. 이들 시험편 또한 구동축이 좀더 비한 전위값을 나타내고 있다. 무방식인 경우는 거의 유사한 값을 나타내고 있고, 아연을 연결한 경우도 자연전위 값이 구동축이 약간 비하고 정지축은 약간 귀한 전위값을 나타내고 있다.

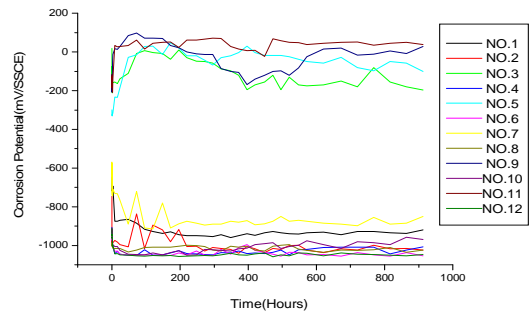


Fig. 3 Corrosion potential measurement variation during simulation test

4. 결론

스테인리스 강 축의 부식원인 규명 및 방지 방법 개발을 위한 실험-연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 것으로 기대된다.

재료종류별 자연전위 측정결과 고강도 및 고경도의 스테인리스강 630이 가장 비한(Active) 전위를 나타내었다. 이러한 이유는 Cu의 첨가와 상대적으로 내식성을 향상시키는 Cr의 양의 감소로 인하여 상대적으로 스테인리스강 304, 316에 비해서 떨어지는 것으로 판단된다.

시뮬레이션 시험종류별 방식 및 무방식한 조건에 대한 축의 상태를 비교분석한 결과에 의하면, 무방식한 것은 스테인리스 축에 많은 부식이 진행되었으나 음극방식한 조건의 경우는 축에 부식이 전혀 진행되지 않았음을 알 수 있었다. 즉, 희생양극에 의해 음극방식한 축의 경우는 희생양극에 의한 음극방식전류의 영향으로 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 의 양극반응이 억제되며 음극방식효과가 현저하게 나타났기 때문이라고 사료된다.

5. 참고문헌

- [1] Z.Szklarska-Smialowska, "Pitting Corrosion of Metal" NACE, p. 39, 1986
- [2] 전대회, "실용방식공학", 태화출판사, 1989
- [3] R. Winston Revie, "Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley & Sons Inc.), 2000