

희생양극을 적용한 잠수함 선체 부식 방지 연구

김규민, 장호성*
국방기술품질원

A Study on Corrosion Protection with Sacrificial Anode System for a Submarine

Kyumin Kim, Ho-Seong Chang*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 논문은 잠수함의 선체 부식을 선제적으로 방지하기 위해 현재 방식 방법을 분석하고 추가적인 방식 대책을 마련함으로써 잠수함의 생존성을 향상시키고자 하였다. 잠수함은 수상함 함정과 비교하여 구조적으로 빌지구역 내 해수 유입 가능성이 크며, 만약 부식이 발생한다면 생명과 직결되는 심각한 위험을 초래한다. 또한, 함정의 구조적 특징에 따라 빌지구역 등 부식에 취약한 구역이 동일하지 않다. 특히 잠수함은 현재까지 건조된 척수가 적어 설계적 관점에서 선체 부식 방지에 대한 면밀한 분석이 필요하나 이에 대한 연구가 부족하다. 본 논문에서는 함정에 일반적으로 적용되는 선체 부식 방지법인 희생양극 방법 및 함정 설계 시 정량적으로 적절한 희생양극 설치 중량을 계산하기 위한 방법을 소개한다. 그리고 이를 바탕으로 ○○○급 잠수함의 희생양극 적용에 있어서 설계 단계에서 확인되지 않은 취약 구역을 식별하여 해당 구역에서 부식을 유발할 수 있는 빌지위터의 성분을 채취 및 분석하고 적절하게 희생양극을 설치함으로써 잠수함의 부식 방지 대책을 개선하였다.

Abstract This article describes the improvement of submarine survivability using a sacrificial anode system developed by this research to prevent the submarine from corroding. In particular, this system was developed after analyzing the present corrosion prevention system for submarines. Generally, corrosion prevention for submarines is necessary because a submarine structurally has a high probability of seawater inflow at the bilge areas of the submarine than the corresponding probability for a surface ship. In particular, hull corrosion of a submarine incurs danger to human life associated with the submarine. Therefore, a corrosion prevention system for submarines needs to be designed more conservatively with an in-depth analysis considering that few submarines have also been built in South Korea. However, only a few studies have been conducted on this system. Hence, this research developed a sacrificial anode system, one of the most used systems to prevent corrosion, and a mathematical method of designing a proper sacrificial anode system for submarines. This research also found risks that were probably not considered carefully at the design phase of a submarine and improved the sacrificial anode system of submarine corrosion prevention with more sacrificial anodes by analyzing the ingredients of bilge water.

Keywords : Submarine, Ship, Corrosion Protection, Sacrificial Anode System, Galvanic Anode

*Corresponding Author : Ho-Seong Chang(Defense Agency for Technology and Quality)

email: hschang@dtaq.re.kr

Received April 11, 2022

Accepted July 7, 2022

Revised May 10, 2022

Published July 31, 2022

1. 서론

부식이란 금속을 미시적으로 볼 때 국부적인 에너지 차이가 발생하는데, 이 때 상대적으로 에너지가 높은 양극에서 안정화되려는 경향을 가지게 되고 이로 인해 발생하는 산화 반응이다[1]. 선박의 선체 부식은 원인에 따라 다양하게 분류된다. 염분이 포함된 대기에 의한 부식, 해수에 의한 부식, 유속에 의한 부식, 선체의 끊임없는 피로에 의한 부식피로 등으로 나뉘며[2], 실제로는 이러한 요인들이 복합적으로 작용하기도 한다. 부식 방지는 방식이라고도 불리며, 도장은 대표적인 방식 방법 중 하나이다. 부식 방지용 방청 도료를 이용해 선박 실내외 전반에 걸쳐 도장을 실시한다. 하지만 도장은 해양 환경에 의한 손상 및 캐비테이션, 기타 구조물에 의한 기포 발생 등 가혹한 작전 수행 환경에서 영구적인 사용이 어렵다[2]. 다른 방식법으로 용융아연도금이나 용융알루미늄도금 등 각종 도금을 이용하거나, 각종 특수강 및 크롬강 등 내식재료를 사용한다. 하지만 이러한 방법들도 마찬가지로 성능이나 효율 측면에서 한계가 존재한다. 따라서 일반적으로 앞서 언급한 부식 방지법과 함께 선체 외판에 희생양극이라 부르는 유전양극을 설치하는 음극방식법[3]을 사용한다. 이 방법은 희생양극 방식(Sacrificial Anode System)이라고도 불린다. 그리고 또 다른 방식 방법으로 강제전류 부식방지장치(Im impressed Current Cathodic Protection, ICCP)[2,4], 능동 축 접지장치(Active Shaft Grounding, ASG) 등이 사용되며 보통 이를 적절하게 함께 사용한다.

선박에 이러한 여러 가지의 방식 기술이 적용된 이유는 선체 부식이 가지는 위험성 때문이다. 선박은 해수 환경에서 상시 운항되어야 하므로 해수에 의한 부식 위험에 노출되기 쉽다. 4,000TEU급 이상의 고속 컨테이너선에서는 부식으로 인한 사고가 1년에 50척 이상 발생하기도 하였으며, 순수 수리비가 건당 1억 5천 만원 이상 소요될 정도로 선체 부식은 큰 손실을 야기한다[3]. 따라서 방식에 관한 연구는 과거부터 꾸준히 수행되어 왔다. 특히 해군 함정의 경우, 다양한 환경에서 작전을 수행하기 때문에 가혹한 해수 환경에 노출되기 쉬우므로 함정의 선체 부식 방지를 위한 여러 연구가 이미 진행되었으며[2-4], 그 결과로써 다양한 형태의 방식 기술을 적용되고 있다. 그러나 함정 중 잠수함의 경우에는 수상함과 달리 스노클 항해 또는 잠항 후 빌지구역에 해수가 잔류할 가능성이 존재하며, 선체 부식 발생 시 생명과 직결된 심각한 위험을 초래할 수 있음에도 불구하고 현재까지 이에

대한 연구가 부족하다. 또한, 함정은 함형에 따라 구조적 특징이 달라 부식에 취약한 구역이 획일화되어 있지 않고, 더군다나 잠수함은 현재까지 건조된 척수가 적어 방식 설계에 대한 면밀한 검토가 부족하다.

본 논문에서는 함정에서 사용하는 방식 방법을 소개하고 잠수함의 구조적, 운용적 특징을 분석하여 기존의 방식 설계를 보완하였다. Fig. 1과 같이 실제 ○○○급 잠수함에서 부식에 쉽게 노출될 수 있는 취약 구역을 식별하고 해당 구역의 빌지워터를 분석하였다. 이를 통해 정량적인 해석을 수행하고 효율적인 부식 방지 개선 대책을 수립하여 잠수함의 생존성을 높이고자 하였다.

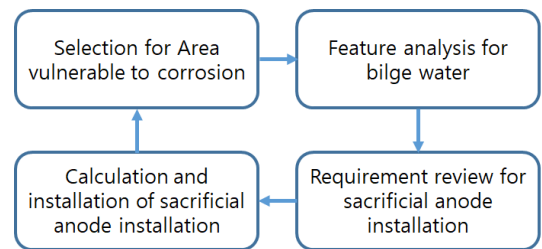


Fig. 1. Process to improve corrosion protection system

2. 본론

2.1 함정 수동 선체 부식 방지법

현재 해군 함정에서 운용 중인 주요 부식 방지 방법은 크게 능동 부식 방지법과 수동 부식 방지법으로 구분할 수 있으며 대표적인 방법으로 강제전류 부식방지장치(ICCP)와 희생양극 방식이 있다. 능동 부식방지 장치 중 하나인 ICCP는 함정의 배전반으로부터 전원을 공급받아 양극을 통해 방식전류를 흘려보내 해수와 선체 간 전위차 발생을 억제한다. 일반적으로 능동 부식방지장치는 Fig. 2과 같이 전원공급장치 등 추가적인 장비가 필요하다. ICCP는 수명 등에서 강점을 보이나, 특히 전류흐름으로 인해 자기장이 발생한다는 단점을 가진다[5]. 희생양극 방식은 수동 부식 방지 방법 중 하나이며 전통적인 음극보호방식으로 신뢰도가 높고 구성이 단순하여 이미 대부분의 함정에 널리 사용되고 있다. 희생양극은 선체보다 전위가 낮은 양극을 선체에 부착하여 선체를 음극화하여 부식으로부터 보호한다. 이 방식은 고전위의 금속으로부터 금속이온이 용출되면서 시간이 지남에 따라 소모가 되므로 정기적인 교체가 요구된다는 단점이 있다. 해수 내의 염화나트륨은 방식전류의 저항을 감소시

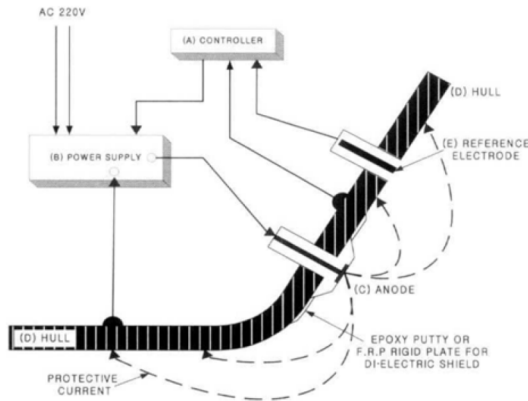


Fig. 2. Schematic of the ICCP system for ship [2]

켜 부식촉매 역할을 하므로 부식 반응속도에 영향을 주고 해수 온도 등도 부식에 영향을 미치는데, 이는 다시 말해 환경 조건에 따라 수동 선체 부식 방지를 위한 희생양극의 교체 주기가 좌우될 수 있으므로 희생양극 설치 시 환경 조건 분석이 중요하다.

일반적으로 방식 설계에서 희생양극을 설치할 때 고려해야 할 사항은 세 가지이다. 첫 번째 고려 요소는 희생양극의 설치 방식이다. 희생양극은 구성이 단순한 대신 일반적으로 용접에 의한 설치가 필요하다. 따라서 용접이 불가능한 구역에서는 희생양극을 적용하기 어려우며, 희생양극이 설치될 구역의 특징에 따라 Fig. 3와 같이 설치에 유리한 희생양극 형상이 구분된다. Stand-off형(Fig. 3(a))은 상대적으로 큰 해양구조물에 적용되며 함내 탱크의 늑골에 설치한다. Flush 마운트형(Fig 3(b))은 선체와 더 가깝게 설치되고 유체 저항 측면에서 형상이 유리하여 함외, 함내 대부분을 차지하며, Bracelet형(Fig. 3(c))은 파이프 라인에 적용하기 위해 주로 사용된다.

두 번째로 고려해야 할 요소는 희생양극의 종류이다. 양극 종류는 크게 Al-anode, Mg-anode, Zn-anode가 있다. Al-anode는 비중이 작아 운반 및 시공 등 취급이 용이하며 중량, 전류 발생량 등에서도 유리하다. 그러나 GL Rule에 따르면 Al-anode 설치 시 낙하에너지저고

려하여 10 kg당 바닥으로부터 최대 2.75 m까지 설치할 수 있으므로 설치 위치에 따른 제약이 크다[6]. Mg-anode는 일반 토양과 담수계통의 희생양극으로 사용되며 해수에는 사용되지 않는다. Zn-anode는 3가지 양극 중 비중이 가장 크고 희생양극 특성 중 하나인 유효전기량이 비교적 작아 중량 면에서는 불리하나 충격 시 스파크가 발생하지 않아 밀폐된 구역에 많이 설치되는 등 신뢰성이 좋고 효율이 우수하다는 장점을 가진다. 또한, 다른 두 양극과는 다르게 전해 생성물이 적어 청소가 따로 필요 없을 뿐만 아니라 생성물이 주위 철 표면에 부착되어 오히려 부식을 방지하는 역할을 하므로 Zn-anode가 해당 구역에 가장 적합한 양극으로 함정에서는 대부분 Zn-anode를 사용한다.

희생양극 설계 시 세 번째 고려 요소는 희생양극의 중량이다. 희생양극의 요구 중량은 함 외부의 경우 해수접촉 표면적을 통하여 계산된다. 수상함은 VG81256에 따라 함의 해수접촉 표면적 계산을 위한 추정식을 이용하며[7], 잠수함은 설계 시 도출되는 표면적을 계산한다. 그리고 GL에 따라 보호기간을 계산하여 Eq. (1)과 같이 희생양극의 총 중량을 구할 수 있다[6].

$$m_{G, ext} = \frac{A_G J_S t_S}{Q_G} \quad (1)$$

여기서 $m_{G, ext}$, A_G , J_S , t_S , Q_G 는 각각 함 외 필요한 희생양극의 중량 [kg], 보호되어야 할 전체 면적 [m^2], 방식 전류 밀도(Corrosion protection current density) [A/m^2], 보호기간 [hour], 전류 함유량 [Ah/kg]이다.

함 내의 경우에도 마찬가지로 VG81256, GL을 따르며, 운항 시간의 최소 절반 이상 동안 충분한 전도성을 지닌 용액에 노출되는 표면에만 적용한다. 함내 필요한 희생양극의 중량은 함 외부에 적용한 수식과 거의 유사하다. 하중 계수가 수식에 추가되나, 충수된 탱크와 같이 일정한 하중을 받으면 하중 계수는 1이 되므로 결과적으로 함 내 희생양극의 총 중량은 수식 Eq. (2)로 도출되며, 이는 함 외부에 적용한 수식 Eq. (1)과 동일하다.

$$m_{G, int} = \frac{A_G J_S t_S F_B}{Q_G} \quad (2)$$

여기서 $m_{G, int}$, A_G , J_S , t_S , F_B , Q_G 는 각각 함내 필요한 희생양극의 중량 [kg], 보호되어야 할 전체 면적 [m^2], 방식 전류 밀도(Corrosion protection current



(a) Stand-off type (b) Flush mounted type (c) Bracelet type
Fig. 3. Different types of anode

density) $[A/m^2]$, 보호기간 [hour], 하중 계수, 전류 함량 $[Ah/kg]$ 이다.

그리고 반대로 희생양극의 중량이 설계상 이미 정해져 있다면, 수식 Eq. (1), (2)을 이용해 희생양극이 보호할 수 있는 면적을 계산할 수 있다. 다시 말해, 설계 시 특정한 형상과 무게의 희생양극이 사용된다고 가정한다면, 희생양극을 설치할 장소의 면적을 알 경우 해당 장소를 보호하기 위해 설치해야할 희생양극의 양을 알 수 있다.

2.2 잠수함 선체 부식 방지법 개선 방안

앞서 언급한 바와 같이 희생양극의 설치 위치는 함 외, 함 내 설치 장소로 구분되는데, 함 외 설치에 대해서는 해수접촉 표면적 계산을 통해 수동 선체 부식 방지의 총량이 결정된다. 함 내의 경우에는 일반적으로 부식이 쉽게 일어나는 트림탱크, 보상탱크, 빌지탱크, 연료탱크 등에 설치가 된다.

부식은 음극방식과 동일한 메카니즘으로 진행된다. 유류와 같이 비저항이 높은 매개체에서는 침수된 구조물의 이온 이동이 크게 제한되며 이에 따라 부식도 감소한다. 따라서 경험적으로 부식이 쉽게 일어나는 구역에 대해 예측이 어느 정도 가능한 하나, 함점마다 구조적 특징, 운용 환경이 다르기 때문에 희생양극의 설치 구역은 획일화되어 있지는 않다. 예를 들어 연료유, 윤활유, 해수 등이 고일 수 있는 구역을 빌지구역이라고 하는데, 보기실은 대표적인 빌지구역이며 보통 선저에 물이나 유류가 고일 수 있으므로 희생양극을 설치한다. 그러나 빌지웰의 위치, 선저에 고이는 유류의 특성에 따라 설계적 관점에서 희생양극이 설치가 필요하지 않을 수 있다. 다시 말해, 빌지구역이라 해도 함정의 구조적 특징 및 액체의 비저항, 염분 등의 특성에 따라 희생양극이 설치 여부는 달라질 수 있다.

○○○급 잠수함의 경우에는 함 내에는 트림탱크, 보상탱크, 빌지탱크 등 일반적인 구역에 희생양극이 설치되었으며, 설계 초기 단계에서는 기관실 등 일부 빌지구역에는 희생양극 설치가 고려되지 않았다. 그러나 잠수함은 수상함과 비교하여 스노클 항해, 잠항 등 운용 방식이 상이하므로 부식 발생 구역 예측이 어렵고, 선체에 부식이 발생할 경우에는 생명과 직결된 안전 문제가 발생할 수 있기 때문에 수상함 함정에 비해 더 보수적인 관점에서 방식 대책 수립이 필요하다. 따라서 설계 초기 단계에서는 희생양극 설치가 제외되었으나 잠수함의 운용적, 구조적 특징에 따라 부식 발생 가능성이 있는 빌지구역을 선정하고, 해당 구역의 빌지워터의 성분을 측정 및 분석하여 희생양극의

설치 필요성을 확인하였다. ○○○급 잠수함에는 총 ○개의 빌지구역이 존재한다. 이 중 부식에 취약한 구역 선정은 빌지워터 제거를 위한 빌지펌프가 존재하여 물리적 충격에 의해 도장이 손상될 수 있는 구역, 함 구조상 침수 가능성이 높은 구역을 선정하였다. 이러한 기준에 따라 기관실, 수직발사관실, 보기실이 선정되었으며, Fig. 4와 같이 각 구역의 빌지워터를 측정하였다.

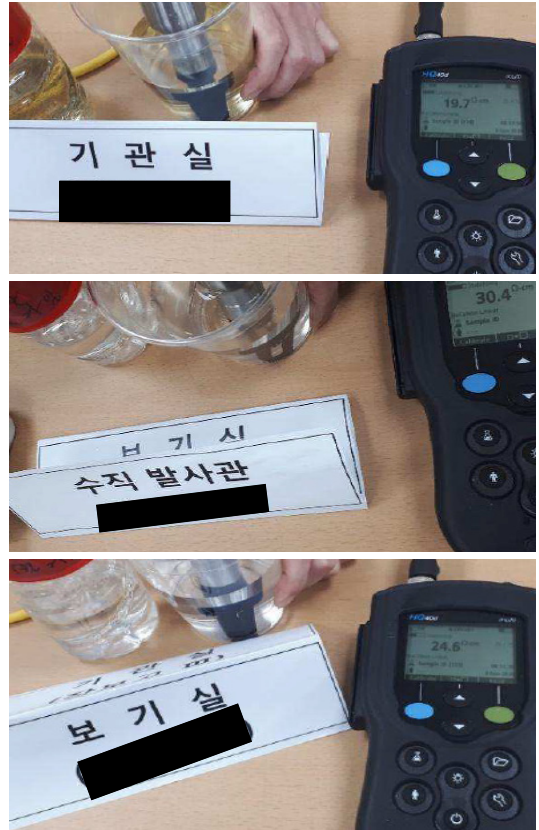


Fig. 4. Analysis of bilge water at bilge areas

빌지워터의 염도를 측정하기 위해 ATAGO사의 PAL-03S 염도계, 비저항 측정을 위해 HACH사의 HQ40d/CDC401을 사용하였다. Table 1은 ○○○급 잠수함의 구역 별 빌지워터 염분 및 비저항을 측정한 결과이다. 일반적으로 염분은 동해의 경우 약 3.3 %이며, 비저항 값은 해수는 약 $20 \Omega \cdot cm$, 바닷물과 강물이 혼합된 기수는 약 $100 \Omega \cdot cm$, 청수는 $4000 \Omega \cdot cm$ 이다. 이와 비교하여 빌지워터는 구역마다 약간의 차이는 있으나, 염분 농도가 2.3~3.4 %, 비저항은 $19.7 \sim 30.4 \Omega \cdot cm$ 로 염분은 해수 대비 70~103 %, 비저항은 해수 대비 99~154 %이다.

Table 1. Ingredients of bilge water by area

Area	Salt Concentration [%]	Concentration relate to East Sea [%]	Resistivity [$\Omega\cdot\text{cm}$]	Resistivity relate to East Sea [%]
Engine room bilge water	3.4	103	19.7	99
Vertical launching system room bilge water	2.3	70	30.4	154
Auxiliary room bilge water	2.6	79	24.6	124

측정값의 부식 영향성을 검토하기 위해서 일반적으로 선체에 사용하는 고장력강에 대한 연구 결과를 확인하는 것이 가장 정확하나, 고장력강의 부식과 염분 농도, 비저항 간의 상관 관계에 대한 연구가 부족하여 일반적인 철강에 대한 연구 결과를 토대로 경향성을 참고하였다. 염분 농도 2~4 %에서 부식 속도는 유의미한 차이를 보이지 않았으며[8], 비저항도 마찬가지로 유의미하게 변화하지 않는다[9]. 따라서 각 구역의 빌지워터는 부식에 대하여 해수와 유사한 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 기관실, 수직발사관실, 보기실은 빌지워터에 의한 부식 가능성이 존재하므로 희생양극의 설치가 필요하다는 것을 알 수 있다.

희생양극을 빌지구역에 설치하기 위해 앞선 방법과 동일하게 희생양극의 설치 방식, 중량, 양극 종류가 선정되어야 한다. 양극 종류는 잠수함의 빌지구역의 특성상 밀폐된 구역에 많이 설치되기 때문에 다른 구역과 마찬가지로 Zn-anode가 적합하다. 그리고 희생양극은 일반적으로 상용품을 사용하기 때문에 규격이 정해져 있으며 GL에 따르면 같은 중량일 경우 소수의 큰 희생양극보다는 다수의 작은 희생양극이 전류 분포에 유리하므로 실제 설치 및 운용을 고려하여 3.5 kg 희생양극을 선정하였다. 이에 따라 희생양극 하나당 순중량이 3.5 kg으로 정해졌기 때문에 빌지구역당 희생양극의 수량에 대한 계산이 필요하다. 이는 다시 말해 3.5 kg의 희생양극 1개당 부식을 방지하는 유효 범위를 알아야하며, 이는 Eq. (2)를 이용하여 도출할 수 있다. 이 때 보호기간(Period of protection)은 잠수함의 경우 중량과 야전정비 주기를 고려하여 결정된다. 보호전류밀도(Protection current density)는 도장에 부과되는 하중과 접근도에 따라 $0.02 \text{ A/m}^2 \sim 0.10 \text{ A/m}^2$ 사이의 값을 가지는데, 해당 구역은 0.05 A/m^2 를 적용하였다. 전류 함유량은 Zn-anode를 사용하기 때문에 GL Rule에 따라 Zn의 전류 함유량

780 Ah/kg을 적용한다. 그리고 여유치를 적용하여 수식에 대입하면 희생양극 3.5 kg당 21.3 m^2 의 방식유효범위를 가지며, 희생양극을 설치할 빌지구역의 넓이를 고려하여 희생양극의 설치 수량이 결정된다. 기관실, 수직발사관실, 보기실에 필요한 방식 면적은 각각 0 m^2 , 0 m^2 , 0 m^2 이므로 희생양극의 수량은 각각 1개, 1개, 2개가 필요하다. 이에 따라 000급 잠수함의 빌지구역 내 희생양극을 실제 설치함으로써 함정별 특수성을 고려한 효과적인 선체 부식 방지 방안을 수립하였다.

3. 결론

본 논문에서는 함정에서 사용되는 선체 부식 방지법과 잠수함의 특수성을 고려한 선체 부식 방지 개선 방안에 대해 연구하고, 잠수함의 생존성을 향상시키고자 하였다. 잠수함은 수상함과 비교했을 때 가혹한 환경 조건, 운용 중 발생하는 구조적 문제, 선체 부식 발생 시 발생하는 대규모 피해 등을 고려한다면 선체 방식은 더욱 중요한 의미를 가진다. 그러나 아직 잠수함에 대한 선체 방식 연구 및 잠수함 건조 경험이 부족하여 방식 설계 시 고려되지 않는 요소가 발생할 수 있다. 따라서 설계 초기에는 고려되지 않았지만, 잠수함의 특성상 빌지워터 발생이 예상되는 구역을 선정하고 해당 구역의 빌지워터를 분석하여 선체 부식 방지법을 개선하고자 하였다. 000급 잠수함에서 식별된 빌지구역은 총 3구역이며, 각 구역의 빌지워터의 성분을 분석한 결과, 빌지워터는 부식의 관점에서 해수와 유사한 성분을 지니고 있는 것을 확인하였다. 그리고 VG81256, GL에 따라 잠수함의 특성 요소를 대입하여 희생양극의 양을 산출하였으며 적절하게 희생양극을 설치함으로써 기존에 식별되지 않던 000급 잠수함의 부식 위험 가능성을 감소시키고 잠수함의 선체 부식 방지법을 개선하였다.

References

- [1] K. J. Kim, "Corrosion and Prevention Measures on Ships", Journal of Korea Ship Safety Technology Authority, Vol 17, pp 44-54, 2005.
Available From: <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO200568317862002&oCn=JAKO200568317862002&dbt=JAKO&journal=NJOU00291860>
- [2] S. M. Choi, K. L. Cho, J. H. Lee, and Y. K. Beak,

"Interoperability verification for ICCP of naval surface vessel", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 43, No. 3, pp. 197~203, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.5916/ikosme.2019.43.3.197>

- [3] S. J. Kim, "Apparatus on Corrosion Protection and Marine Corrosion of Ship", Journal of The Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 44, No. 3, pp 105-116, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5695/JKISE.2011.44.3.105>
- [4] Y. K. Beak, and S. M. Choi, "A Study on the Efficient Anti-corrosion Method for Structural Safety Improvement of Naval Surface Warship", Fall Conference Korean Society for Quality Management , pp 126-126, 2020.
- [5] H. Kim, S. Lim, and J. Doh, "The Magnetic Treatment Method for Low-Observable Naval Vessel", Journal of the Korean Magnetism Society, Vol. 24, No. 4, pp 128-113, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2014.24.4.128>
- [6] GL, "CATHODIC CORROSION PROTECTION", 2006
- [7] VG 81256 "Cathodic protection of ships-External protection by galvanic anodes", 1990.
- [8] N. Ali, T. E. Putra, Husaini, V. Z. Iskandar and S. Thalib, "Corrosion Rate of Low Carbon Steel for Construction Materials in Various NaCl Concentrations", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012015>
- [9] U. J. Lim, H. S. Kim, B. D. Yun, "Effect of the Specific Resistance of Water on Corrosion Characteristics of STS 304 for Gas Boiler", Journal of Fisheries and Marine Science Education, Vol. 19, No. 3. pp 323-328, 2007.
Available From:
<https://koreascience.kr/article/JAKO200710103481618.page>

장 호 성(Ho-Seong Chang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학과 (공학사)
- 2014년 12월 : 현대중공업 전기전자시스템사업부 전기구조 설계
- 2015년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

전투체계, 소나체계, 수중음향, EMI/EMC

김 규 민(Kyumin Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2019년 8월 : 대구경북과학기술원 정보통신융합전공 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정보통신, 국방