

# 야전 환경에서 기계구조물 표면처리 개선에 관한 실험적 연구

김종화<sup>1)</sup> · 현종훈<sup>2)</sup> · 강석중<sup>\*,3)</sup>

<sup>1)</sup> 고려대학교 일반대학원

<sup>2)</sup> LIG넥스원(주) PGM생산기술실

<sup>3)</sup> 고려대학교 기술경영전문대학원(TGM)

## Experimental Study on the Improvement of Surface Treatment of Mechanical Structures in Field Environment

Jongwha Kim<sup>1)</sup> · Jonghun Hyun<sup>2)</sup> · Seokjoong Kang<sup>\*,3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Science and Technology Studies, Korea University, Korea

<sup>2)</sup> PGM Production Technical Lab, LIG Nex1 Co. Ltd., Korea

<sup>3)</sup> Graduate School of Management of Technology, Korea University, Korea

(Received 8 January 2021 / Revised 2 February 2021 / Accepted 29 March 2021)

### Abstract

Mechanical structures of military equipment have been mainly applied with black oxide coating due to the limitation of surface treatment thickness. However, the mechanical structures applied by the black oxide coating treatment is constantly being corroded by calcium chloride and humidity. Since this can cause serious problems in the operation of equipment, a review to improve surface treatment and corrosion resistance is required. Therefore, in this study, surface treatment methods that can enhance corrosion resistance were selected and corrosion resistance performance was verified through experiments describing harsh field conditions. Thus, applying a proven surface treatment method to future military equipment will prevent corrosion.

Key Words : Corrosion Resistance(내식성), Surface Treatment(표면처리), Plating(도금), Field Environment(야전 환경)

### 1. 서론

야전 환경에 상시 노출되는 군용장비는 장비 보호를 위한 내식성과 함께 적에게 쉽게 노출되지 않도록 도장된 볼트 또는 스크류와 같은 부품을 사용하여 제

작되나, 도장을 할 수 없는 철강 제품에는 흑색산화피막처리 적용이 매우 광범위하게 활용<sup>[1]</sup>된다. 또한 흑색산화피막처리는 화성피막처리로써 수  $\mu\text{m}$  단위의 피막을 형성시키는 표면처리 기술로써 치수 제약이 필요한 곳에 적용되고 있다.

그러나 일반적인 금속 재료는 이러한 표면처리를 하더라도 부식 발생을 완전히 차단하기 어려우며, 장시간 방치 시 부식이 가속화되어 운용 성능에 영향을

\* Corresponding author, E-mail: sjkang64@korea.ac.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

미치게 된다. 특히 군용장비의 기계구조물 역시 흑색산화피막처리가 일반적이는데, 대표적으로 유도무기 기계구조물 조립체는 타 군용장비와 달리 내식성, 위장성 외에도 구동되는 구성품이 존재하여 10 μm 이하의 표면처리 두께 제약이 추가적으로 있어 철강 제품의 표면처리로 흑색산화피막이 주로 적용되어 있었다. 하지만 이러한 구조물들은 외부의 야전 환경에 계속적으로 노출되고, Fig. 1와 같이 염화칼슘 및 이물질에 의해 부식이 가속화됨이 확인되었다. 따라서 구조물들이 부식된 채로 방치될 경우 실제 작전 시 장비 운용에 있어 심각한 문제가 예상되므로 제품 수명 연장을 위한 표면처리 개선 및 내식성을 향상시킬 수 있는 방안 검토가 필요하다.



Fig. 1. Corrosion of mechanical structure

따라서 본 논문에서는 표면처리 방식에 따른 내식성을 분석하기 위해 각 시편을 제작하고, 습도 및 염소분무 실험을 실시한다. 이에 따라 야전 환경에 노출되는 유도무기 기계구조물에 있어서 표면처리 방법별 비교 실험 및 해석을 통하여 내식성을 보다 더 강화할 수 있는 방안을 제시한다.

## 2. 내식성 개선 실험

본 장에서는 내식성을 상대 비교하기 위한 실험 대상 선정, 실험 시편, 실험 방법에 대하여 기술한다.

### 2.1 실험 대상 선정

본 연구에서 실험하고자 하는 기계구조물인 유도무기 조립체의 하위 구성품의 재질은 Stainless Steel(이하 STS) 304로 설계되어 있다. STS 304는 가정에서 흔히 찾아볼 수 있는 스테인리스강 재질이다. STS 304가 자주 사용되는 이유는 크롬 성분을 포함하고 있고, 이 크롬산화층이 내식성을 좋게 하여 습기 노출에 우수하기 때문이다.

유도무기 조립체<sup>[2]</sup>의 야전 환경은 Table 1과 같이 도

금 규격 KS D 8330<sup>[3]</sup>에서 분류한 사용 조건 중에서도 4단계에 속하며, 이는 대단히 가혹한 환경에 속한다. 즉, 야전 환경은 옥외 노출로써 강수와 강설 등에 수시로 노출되어 내식성이 우수한 STS 304라 할지라도 야전 환경에서 계속적으로 노출된다면 부식은 피할 수 없게 된다.

Table 1. Conditions of use

단계	사용 조건	상세 내용
4	대단히 가혹함	(심한 부식 환경 또는 마모 저항성이 요구되는) 실외
3	가혹함	(일반적인 온도에서의) 실외
2	보통	(약간의 김 서림이 있는) 실내
1	순함	(건조한 대기의) 실내

따라서 군용 제품의 내식성을 보장하기 위해서 표면처리를 추가한다. 이 때 표면처리의 대상이 되는 제품의 재질, 요구 환경/조건 등을 고려하여 설계하는 것이 중요하다. 또한 유도무기 기계구조물 조립체의 하위 기구품은 두께에 대한 제한적인 요소가 있으며, 야전 환경에서 사용하기 위한 내식성은 물론, 위장성도 함께 요구된다.

그러나 STS 304의 표면처리는 내식성 금속이기 때문에 별다른 표면처리를 하지 않고, 부동태 처리 하는 것이 일반적이다. 단, 이는 STS 304의 색상 때문에 위장성을 부과할 수 없다. 뿐만 아니라 전기 도금은 최소 12 μm 이상이 되었을 때 표면처리 규격(ASTM B 633)에 명시된 내식성이 발휘될 수 있다고 알려져 있으므로 이러한 조건을 고려하여 지금까지 STS 304에 흑색산화피막을 적용하게 된 것이다. 흑색산화피막은 STS 304의 표면에 산화 피막을 만들어 내식성을 보장할 뿐 아니라 산화 피막 색상이 흑색이므로 위장성도 동시에 구현 가능하기 때문이다. 이는 화성피막처리의 종류 중 하나로써 수 μm 정도로 아주 얇은 피막으로 치수 변화가 거의 없는 이점이 있다. 그러나 표면처리 규격에 준하는 내식성을 가짐에도 불구하고 야전 환경을 버티기에는 역부족이었다. 이에 따라 STS 304에 대체 적용 가능한 표면처리법은 Table 2와 같다.

인산염피막의 경우, 흑색산화피막처리와 같이 화성 피막으로 수 μm의 얇은 피막을 형성시켜 치수 변화를 줄일 수는 있겠지만, 도장하지용으로 사용되는 표

면처리법으로 단독 사용에는 장시간 버티기 어려울 수 있다. 뿐만 아니라 유도무기의 조립체 하위 기구물의 경우, 장비 조립 및 운용성을 고려하여 표면처리 두께를 최대 10 μm을 초과할 수 없어 표면처리 규격서에 명시된 내식성 시간으로 내식성의 우위를 결정 지을 수 없다. 따라서 방산 및 우주/항공 산업에서 많이 사용하는 철강용 표면처리 중에서 내식성이 우수하다고 알려진 아연 도금, 카드뮴 도금을 두께 10 μm으로 적용하여 실험 대상으로 선정하였다.

Table 2. Type of surface treatment

구분	아연 도금	인산염 피막	카드뮴 도금
규격	KS D 8304	Mil-P-16232	AMS-P-416

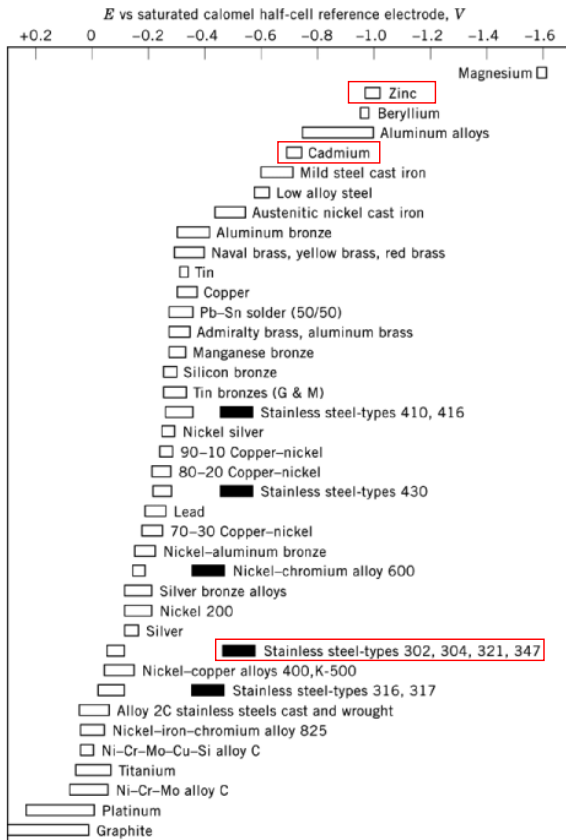


Fig. 2. Standard electrode potential of materials<sup>[4]</sup>

카드뮴 도금과 아연도금은 Fig. 2의 표준 전극 전위 표에서 볼 수 있듯이 STS 304 재질보다 표준 전극 전

위가 낮아 모재보다 먼저 전자를 잃고 산화되는 자기 희생 전극을 형성하여 모재를 상대적으로 보호하는 표면처리 기법이다. 특히 카드뮴은 아연보다 모재인 STS 304와의 표준 전위차가 적기 때문에 동일한 부식 환경 속에서도 상대적으로 부식 진행 속도가 더디게 되어 얇은 두께에서도 우수한 내식성을 갖는다.

그러나 표준 전극 전위는 단순히 산화-환원반응의 자발성 정도를 판단할 수 있으며, 실제 부식 기구는 부식생성물 등이 매우 중요한 영향<sup>[5]</sup>을 미치게 된다. 카드뮴 도금의 경우에는 카드뮴의 유해성<sup>[6]</sup>으로 인해 최근에는 거의 사용되지 않지만 기본적으로는 아연과 유사한 특성을 보인다.

### 2.2 실험 시편

본 실험에서는 야전 환경을 고려하여 방산 제품에 공통적으로 적용되는 환경 시험을 기준으로 습도 시험 및 염수분무 시험을 구성하였다.

실험 준비를 위해 제품 단위의 형상 시편과 시트 단위의 판재 시편을 각각 준비하였다. 형상 시편은 대전차 유도무기 조립체의 하위 기구품 중 블록을 대표로 선정하여 Fig. 3과 같이 실제 제품으로 실험하고자 하였다.

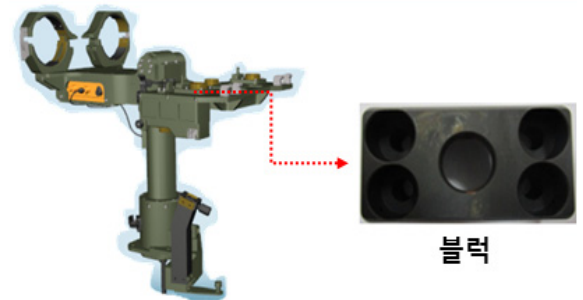

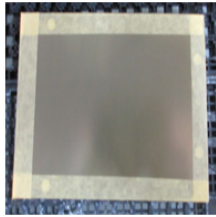


Fig. 3. Assembly block

또한 다른 구성품들을 대신할 판재 형태의 시편을 Table 3와 같이 제작하였다. 판재 시편은 본 실험에서 확인해보고자 하는 염수분무 시험 규격(KS D 9502)<sup>[7]</sup>을 참조하여 가로(100 mm 이하), 세로(100 mm 이하), 높이(1 mm) 크기로 제작하였으며, 시트 재질은 현재 하위 기구품의 재질과 동일한 KS D 3705의 STS 304를 적용하였다. 표면처리는 흑색산화피막(대조군), 아연 도금 및 카드뮴 도금(실험군)으로 나눠 각각 제작하였다.

Table 3. Plating sample

구분	전기아연 도금	카드뮴 도금
규격	KS D 8304의 2중 3급 흑색	AMS QQ-P-416, TYPE2, CLASS2
형상		

2.3 실험 방법

습도 시험은 현재 앞서 언급한 내용과 같이 유도부기 조립체에 적용된 MIL-STD-810G<sup>[8]</sup> 시험 규격을 인 용하였으며, 상세 규격은 Table 4, Fig. 4와 같다.

Table 4. Humidity test condition

구분	조건
온도	60°C, 최저표준대기조건(23°C)
습도	최고 95% R.H., 최저 50% R.H.
주기	10주기(24시간)
제품 상태	비포장, 비운용상태(운용점검시 전원인가)

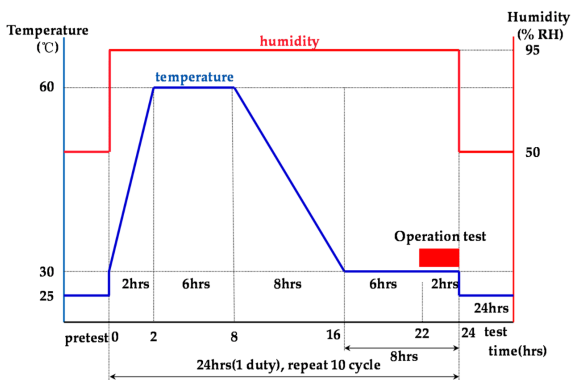


Fig. 4. Humidity test profile

습도 시험 장비는 일반적인 기계구조물 조립체들의 온/습도 시험을 수행하는 항온항습조 장비(듀오콤 HS-

1800)를 통해 수행하였으며, Fig. 5-6와 같이 시편을 설치하고 시험하였다.

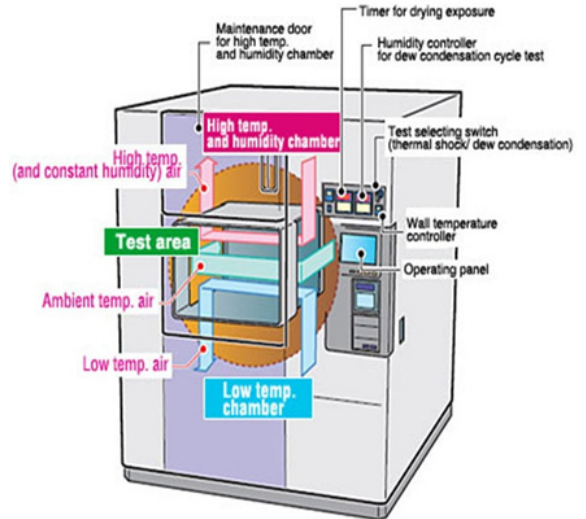


Fig. 5. Humidity test equipment system<sup>[9]</sup>

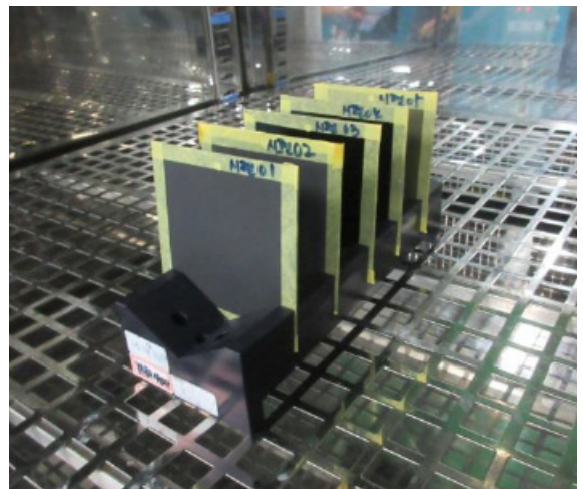


Fig. 6. Take the humidity test

염수분무 시험은 각 도금의 규격이 아닌 야전 환경이 고려된 MIL-STD-810G<sup>[10]</sup>의 염수분무 규격을 인 용하였고, 총 96시간 연속으로 염수를 분무하는 연속 분무시험이 아닌 총 96시간 동안 24시간 염무, 24시간 건조, 24시간 염무, 24시간 건조하는 사이클 시험을 적용하여 시험의 강도를 증가시켰으며, 상세 규격은 Table 5와 같다.

Table 5. Salt spray test condition

구분	조건
조건	(5±1)% 중성염수분무
주기	2주기(24시간, 건조2회, 염무2회)
제품 상태	비포장, 비운용상태(운용점검시 전원인가)

염수분무 시험 장비 또한 일반적인 기계구조물 조립체들의 염수분무 시험을 수행하는 장비(듀옴, HD-3400)를 통해 수행하였으며, Fig. 7-8와 같이 시편을 설치하고 수행하였다.

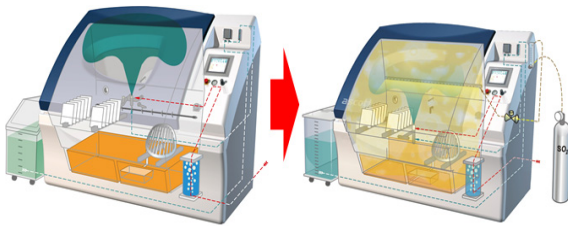


Fig. 7. Salt spray test equipment system<sup>[11]</sup>

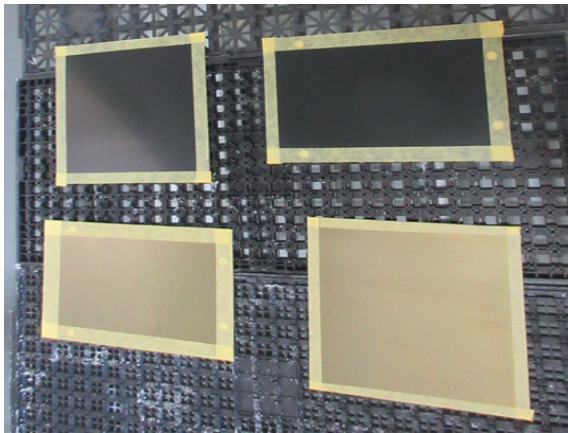


Fig. 8. Take the salt spray test

### 3. 실험 결과 및 해석

#### 3.1 습도 시험 결과

현재 기계구조물 조립체 규격인 흑색산화피막처리(대조군)와 내식성 개선 대상 시험군으로 선정된 아연

도금 및 카드뮴 도금의 습도 시험 결과는 Table 6와 같다.

Table 6. Humidity test result



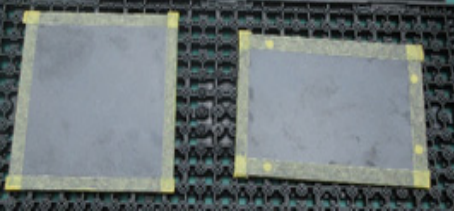
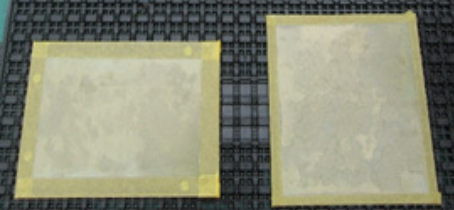
구분	시험 결과
대조군	
아연도금	
카드뮴도금	

흑색산화피막처리로 제작된 시편은 부분적으로 적갈색 부식이 발생하였으며, 습도에 취약함이 확인되었다. 이는 야전 환경의 기계구조물들이 습도가 높은 상황에 부식이 발생됨을 판단할 수 있다. 반면에 아연도금으로 제작된 시편은 약간의 얼룩만 발생하였을 뿐, 부식은 발생되지 않았다. 카드뮴 도금으로 제작된 시편은 얼룩 및 부식이 발생되지 않았다.

#### 3.2 염수분무 시험 결과

현재 야전 환경에서 사용되는 기계구조물 조립체의 현품과 제작된 시편의 시험군의 염수분무 시험 결과는 Table 7와 같다.

Table 7. Salt spray test result

구분	시험 결과	
현 품	흑색산화피막	전기아연도금
		
아 연 도 금		
카 드 림 도 금		

가혹한 염수분무 시험에서 기구물 현품은 흑색산화 피막처리일 경우 부식이 발생하였음을 확인할 수 있었으며, 아연 도금의 경우 부식이 발생하지 않았다. 이를 통해 야전 환경에서의 현재 적용되는 흑색산화 피막처리는 부식이 발생할 것으로 판단된다. 반면에 아연 도금을 적용한 현품을 제작하여 염수분무 시험을 수행한 결과, 부식이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

아연 도금 및 카드뮴 도금으로 제작된 시편으로 염수분무 시험 결과, 두 도금 모두 부식이 발생하지 않았으며, 이로써 아연 및 카드뮴 도금은 야전 환경에서 뛰어난 내식성을 확보할 것으로 판단된다.

### 3.3 실험 해석

습도 시험 및 염수분무 시험 결과, 카드뮴 도금이 아연 도금보다 내식성이 우수하였고, 아연 도금이 흑색산화피막처리보다 내식성이 우수한 것으로 확인되었다.

## 4. 결 론

야전 환경에 오랜 시간 노출되는 기계구조물들은 시간이 지남에 따라 부식 발생은 필연적이다. 특히 군용장비의 기계구조물에 광범위하게 적용되는 흑색산화피막처리가 계속적으로 부식이 발생함에 따라 장비 운용에 문제가 예상되고, 표면처리 개선 및 내식성을 향상시킬 수 있는 검토가 요구되었다.

이에 따라 본 연구에서는 기계구조물의 표면처리 방식에 따른 내식성을 분석하기 위해 실험군으로 선정된 아연 도금 및 카드뮴 도금의 시편을 제작하여 습도 및 염수분무 시험을 수행하고 내식성 개선 성능을 확인하였다.

결과적으로 야전 환경에서의 기계구조물 내식성능 확보를 위해서 흑색산화피막처리가 아닌 카드뮴 혹은 아연 도금으로 적용한다면, 기계구조물의 내식성 결여 현상은 개선될 것으로 판단된다.

## References

- [1] KDS 0115-0023 6.1, Black Oxide Coating.
- [2] KDS 1427-4009, Defense Standard Guided Weapon System for Ground Attack, AT-1K.
- [3] KSD 8330, Domestic Standard for Electrolytic Tin Plating, 2017.
- [4] M. G. Fontana, "Corrosion Engineering," 3rd Edition, McGraw Hill, New York, 1986.
- [5] K. Jung, et. al., "Investigation on Localized Corrosion of Stainless Steel by Experimental Design," KISE Annual Conference, pp. 129-129, June, 2020.
- [6] J. Park, "Heavy Metal Poisoning," Hanyang Medical Reviews, Vol. 30, No. 4, pp. 319-325, 2010.
- [7] KSD 9502, Domestic Standard for Salt Spray Test, 2019.
- [8] Mil-STD-810G-507.6, Military Standards 810G Humidity, 2008.
- [9] HAIDA International (2018), "Programmable Thermal Shock Test Chamber," <https://www.hdtestchamber.com/product/Programmable-thermal-shock-test-chamber.html> (accessed Jan 2, 2021).
- [10] Mil-STD-810G-509.6, Military Standards 810G Salt Fog, 2008.

- [11] ASTM International, “Standard Practice for Modified Salt Spray(Fog) Testing,” Annual Book of ASTM Standards, 2011.
- [12] J. Kim, et. al., “Experimental Study on the

Improvement of Corrosion Resistance of Mechanical Structures in Field Environment” KIMST Annual Conference Proceedings, No. 76, pp. 153-154, Nov, 2020.