

船舶構造物の 腐蝕實態와 各種 浸蝕 - 腐蝕環境에 適用 可能한 防蝕法

Corrosion Status of Marine Structures and Applicable Protection Methods for
Those Erosion-Corrosion Environments

김 윤 해

Y. H. Kim



- 1961년 6월 19일생
- 본 학회 편집위원
- 부산·울산 중소기업청 기술지원교수
- 부산시 지방건설기술 심의위원
- 중소기업 이업종 기술연구조합 자문위원
- 한국해양대학교 재료공학과 교수

1. 서 론

선박에는 여객선을 비롯해 유조선, 광석 운반선, 자동차 운반선, 일반 화물선, 특수 합정 그리고 어선등이 있다. 이들은 각기 다양한 항로와 운항조건으로 해양을 운항하므로 모든 교통기관 중에서도 부식으로 인한 안전상의 위협과 건조 비용에 대한 경제성 등의 관점에서 장기간의 수명을 요(要)하므로 방식문제는 매우 중요하다. 그래서 모든 선박은 신조선 인도 이후 정기적인 입거(入渠)·상가(上架) 또는 선상(船上)에서 차기 운항을 위한 점검 사항과 함께 부위별로 선체보호, 기관보호를 위한 방식정비를 필요로 하며, 이때 부터를 통상적으로 수리선이라 칭한다. 그러나 수리선의 방식정비는 신조선 작업과 비교시 제한된 공사기간 안에서 부분적으로 진행되므로 완벽한 정비가 되지 못하는

경우가 있다. 따라서 초기의 완공은 필수적이고 재차(再次) 입거 수리시, 방식자재 등의 선택 및 시공 절차 등에 많은 노력을 기울여야 하며, 안전성, 유지관리의 편리성, 경제성등 종합적인 면에서 가장 합리적인 방식법을 선정해야 하는 점이 당면의 주요과제이다.

본 해설에서는 선박에서의 각종 부식환경에 있어서 구조물의 부식실태와 그러한 손실을 줄이거나 또는 사전예방을 위한 접근방법과 대처방안에 관해 해설하고자 한다.

2. 선박에서의 각종 구조물의 부식실태

2.1 부식의 원인

해수는 담수에 비해 일반적으로 부식작용이 심한데, 이는 해수가 각종 원인에 의한 전기화학적 부식

을 일으키기 쉬운 전해질 용액이기 때문이다. 따라서 선박의 경우는 항상 다량의 염분을 포함하는 해수에 노출된 채로 해양을 항해하므로 대기(大氣) 폭로에 의한 부식이 심하며 특히 야간의 기온저하로 인해 염분을 다량으로 포함한 강전해질이 강판위에 응집되므로써 국부적으로 부식되는 경우가 많다. 그 밖에 부식에 영향을 미치는 인자로는 온도, 염분농도, PH, 수중 오염물질 그리고 유속등이 있는데 그 중에서도 해수 중에서의 염소이온의 작용으로 내식성이 양호한 금속이라도 그 보호피막이 파괴되어 부식이 발생하는 경우를 종종 확인할 수 있다.

2.2 각종 부식 사례

2.2.1 엔진블럭 O-Ring면의 침식과 틈부식 상태 및 프로펠러 축 Sleeve면의 탈아연화 마모부식

엔진 블럭(Engine Block)의 해수냉각 장소는 해수의 온도 상승과 해수가 순환하는 과정에서의 침

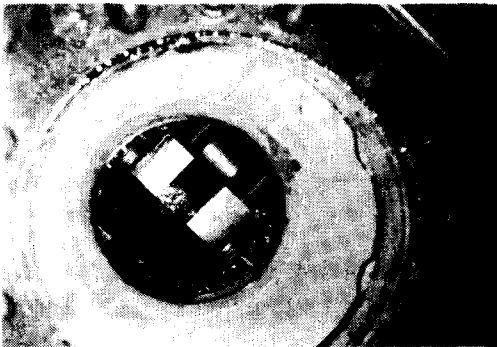


Photo. 1 Erosion · crevice corrosion in contact face of engine block O-ring



Photo. 2 Dezincification in propeller shaft sleeve

식·부식현상은 응력작용 아래서의 부식과 전기화학적 부식등 인자가 복합적으로 작용한다. 이러한 부식현상은 주물로 제작되어진 엔진블럭 오링 접촉면에 국부적으로 틈부식 및 유동현상으로 인한 침식이 발생하여 급기야는 엔진오일 챔버(Chamber) 내부에 해수가 유입되므로 기계적 손상이 더욱 커지게 되고 안전운항에도 많은 문제점을 초래하게 된다. 또한 프로펠러 축(Propeller Shaft)의 글랜드 패킹(Gland Packing)면은 샤프트 슬리브(Shaft Sleeve)가 청동(Bronze)으로 제작되어져 있으나 계속 해수와 접촉되면서 글랜드 패킹과의 마찰로 인한 마모 부식이 일어나 탈아연(脫亞鉛)화 부식현상이 일어나며, 그 결과 해수의 유입이 시작되면서 집중적으로 부식이 진행되어 내부의 축 모재(母材)에 부식이 촉진되었을 때는 축의 절단등 대단히 위험한 사고를 유발하기도 한다

2.2.2 선박의 Rudder와 Kort Nozzle의 고속 유수로 인한 Cavitation-침식상태

프로펠러 블레이드(Propeller Blade), 펌프 임펠러, 타(Rudder) 그리고 Kort Nozzle등은 고속유체에 접하고 있으므로 부식작용이 극대화되며, 그 유속이 증가 하거나 와류 및 난류현상으로 인해 Cavitation 침식 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상은 금속의 재질에 따라 조금 차이가 있지만 아무리 좋은 소재일지라도 여러 환경의 요인으로 영구적인 방식 대책은 기대할 수 없는 실정이다. 특히, 대부분의 부품이 고가(高價)인 선박의 경우에 손상이 발견된 후 대체한다면, 비용이 많이 발생할 뿐만 아니라 선박의 운항속도 등에 많은 차질을 가져온다.

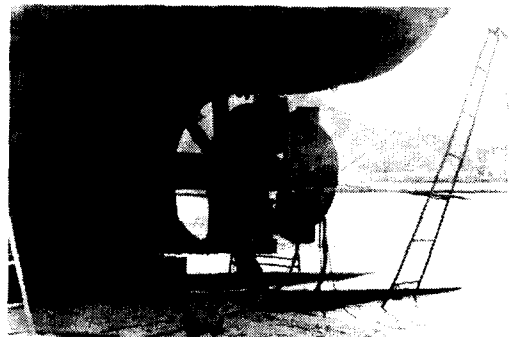


Photo. 3 Cavitation of kort nozzle

2.2.3 선체 외판의 전기적인 부식으로 인한 피팅(Pitting) 상태

해수 중에서의 철판의 부식율은 연평균 0.1mm 정도이지만 국부부식과 피팅으로 인해 비교적 조기에 손상되는 경우가 많다. ABS, KR, NK 그리고 LR등 각국 선급에서는 부식 허용한도로서 선체 외판의 경우 본래 두께의 75% 전후에서 교환토록 하는 등의 내규를 정하고 있다. 그러나 선체 외판의 전기적인 부식 현상이 발생할 때 국부적으로 철판에 피팅이 심하게 발생하게 되며 용접선(Seam)등이 움푹 패이는 부식현상을 종종 확인할 수 있다. 선령(船齡)이 오래되지 않은 어선의 경우, 이와 같은 현상이 발견될 때에는 오랜동안 입거(入渠; Dry Dock)·상가(上架; Slip Way)기간을 할애해야 하며, 또한 외판을 신환할 경우 내장재의 재(再)시공 등 많은 경제적 부담을 안게 되는 실정이다.

2.2.4 청수탱크 내부의 도막 부풀음으로 인한 담수 부식상태

청수 중에서의 강한 부식은 해수에 비해 약하지만 도막에 대해서는 해수보다 가혹한 측면이 있다. 그것은 곧 침투압으로 인한 부풀음 작용이다. 이로



Photo. 4 Pitting in hull

인하여 내부에 도막이 부풀고, 확산 탈착되어 용접선, 코너부위, Angle의 Edge부위등이 집중적으로 부식되어 수질 보전 및 장기적인 탱크 유지 관리에 많은 문제점을 갖고 있다. 또한, 도장재의 잘못된 선택으로 수질이 독성을 가지게 되는 어려운 문제점 등을 안기도 한다.

3. 선박의 각종 방식법

3.1 방식법의 분류

녹충은 외부적 환경에 의해서 계속 부식이 진행되는데 이를 방지하기 위한 방식기술은 대단히 필수적이라 하겠다. 철에 사용되는 금속재료의 방식기법은 주로 사용환경에 따른 합금성분을 조절하는 금속의 물성변화와 철소지의 표면에 코팅을 하는 표면보호법이 널리 쓰이고 있다. 이와 같이 2가지의 방식기법을 적절한 방법에 맞추어 적용하여 금속 구조물의 유지보수비를 경제적으로 상당히 절감할 수 있다.

현재 가장 널리 쓰이는 일반 강구조물의 방식방법으로는 주로 표면에 보호막을 만드는 페인트 도장기법이다. 과거에는 주위 환경이 현재처럼 열악하지 않았기 때문에 단순한 페인팅 도장으로 충분한 방식효과가 있었으나 현재에 이르러서는 산성비, 아황산가스등 각종 공해물질로 인하여 환경이 열악해졌기 때문에 고가의 기술수준, 또한 방식성이 있는 금속의 성분으로 철강재의 표면에 도포하는 금속도금법과 전기방식법, 특수 신소재 및 각종 수지 제품인 유기 및 무기질 피복 라이닝법등 방식



Photo. 5 Corrosion in fresh water tank of ship

법이 이용되어지고 있다.

이와 같이 방식법을 분류할 경우 목적에 따라 몇 개의 방법이 있다. 기본적인 분류 방법으로서 부식 억제제의 원리적(原理的)인 면(面)에서 분류하면 첫째, 적정재료의 선정을 들 수 있다. 일반적으로 비교적 가혹한 사용조건이나 사용환경에 있어서는 소재부터 검토할 필요가 있다. 둘째, 표면을 환경으로부터 차단한다. 이 방식법은 방식의 가장 기본적인 수법이라 할 수 있다. 소재를 환경으로부터 차단하기 위해 다른 재료를 표면에 피복하기 때문에 그 피복한 재료와 환경 또는 피복한 재료와 소

재와의 관계가 내식성에 영향을 미친다. 셋째, 환경조건을 제어한다. 이러한 방법을 적용하기 위해서는 당연히 제어가 가능한 한정된 영역이 필요하다. 부식을 촉진하는 성분의 제거와 부식을 억제하는 성분을 첨가하는 2가지 방법이 있다. 부식을 촉진하는 성분은 물과 산소가 대표적이다. 이때는 제습과 함께 탈산소제가 사용되어지며 부식을 억제하는 기화성 부식 억제제를 포함한 도장을 하기도 한다. 마지막으로 전기화학적으로 제어한다. 금속이 부식할 경우 반드시 전자의 이동이 일어난다. 이러한 전기 화학적 반응을 멈추거나 전자를 역방

방식기법의 분류

분류	내용	기술성	시장성	내구성	경제성
도장법	일명 도장공사업이라 하며, 페인팅 기법으로서 구조물의 환경에 알맞는 도료의 성분을 적용해야 함.	매우 다양한 소재의 개발이 이루어지고 있지만 ①미적 가치를 위한 이용도가 가장 높고 ②거의 대기부식에 해당하는 용도가 대부분이다.	① 해수중 침, 부식의 환경 ② 화학물질의 환경 ③ 건축, 토목 분야 및 해양 구조물 ④ 선박과 교량 : 해수, 담수 등에 의한 심한 부식 방지 용도로 사용되어진다.	1-2년내에 한 번씩 혹은 그 이상의 보수도장을 해야 함.	paint의 가격은 저렴하나 자주 보수해야 하는 문제로 인건비 및 간접 경비가 많이 든다.
유기 피막법	일명 유기라이닝 증방식업이라고 하며 도막의 두께를 1mm이상으로 유지시키며 고분자수지 및 충전물을 구성하여 매우 우수한 방식효과를 가지게 됨.	① 극심한 기계적 내마모 환경의 장소 ② 내열온도가 매우 높은 특정장소 등에 사용되어진다.	재료에 따라 다르지만 내구성이 보통 10-50년이상.	대형구조물로서 기계설비가 대부분임. 사용목적에 따라 페인트의 가격 보다는 5배-10배 이상 가격이 비싸다. 내구성에 따른 경제성 효과가 있음.	
무기 피복법	일명 메탈라이징법이라고 하며 무기질의 세라믹 등의 재료를 고온으로 금속에 용착시켜 방식효과를 기대하는 방법	① 건축용 각종 부품 ② 가전기기 ③ 자동차 등 산업설비 소재가 매우 작은 것이 특징이며 대단히 넓은 시장을 갖고 있다.	도막이 두꺼우면 균열, 박리가 일어나며 다공질이 다. 따라서 특정장소에는 거의 반영구적이지만 사용년만에 매우 기술적인 연수가 필요함.	시공의 크기나 조건이 매우 까다로워서 가격은 매우 고가이므로 시장성이 한정되어 있다.	
금속 피복법	일명 용융도금법이라고 하며 금속피복의 대표적인 방법으로 희생anode형 피복법을 든다. 즉, 철소지를 cathode화시켜 방식되는 원리이다.	① 도시가스 배관 ② 해수중에 있는 시설 ③ 선박 및 각종 공장의 철 구조물 ④ 해안가에 위치한 시설이 주요 대상이며 근래에는 도시가스등 토양 부식에 대한 시장성도 성장하고 있음.	① 1-2년. ② 주기적인 보수가 필요함.	대량으로 적용시에는 경제적이지만 소량은 매우 가격이 비싸다.	
전기 방식법	부식의 원리를 이용하여 금속 전체를 음극으로만 존재하게 하여 부식으로부터 보호하는 방법.	① 도시가스 배관 ② 해수중에 있는 시설 ③ 선박 및 각종 공장의 철 구조물 ④ 해안가에 위치한 시설이 주요 대상이며 근래에는 도시가스등 토양 부식에 대한 시장성도 성장하고 있음.	10년 - 50년	매우 고가이며 기술적으로 전문적인 지식이 필요하다.	

*자료 출처 : 포항산업과학연구원 Coatech '96

향으로 흐르게 하므로써 부식을 방지하는 방법이 전기방식(電氣防蝕) 또는 음극방식(陰極防蝕: cathodic protection)이라 한다. 방식법의 분류에서 알 수 있듯이 방식기법의 종류는 목적에 따라 또한 환경조건에 맞게 사용하는 방식기술이 필요하다. 이와 같은 방식 기법을 대별하면 다음 표와 같은 도장법, 유기피막법, 무기피복법, 금속피복법 그리고 전기방식법 등의 방법이 있다.

3.2 방식 시공 사례

3.2.1 엔진블럭의 O-Ring면과 프로펠러 축의 방식 사례

먼저 현재까지의 엔진블럭의 방식정비 보수방법은 철 분말 성분의 빠대상 제품으로 침식된 면을 육성하여 임시적으로 해수 누출을 방지하여 사용하여 왔으나 철 성분이 부식되므로써 부식촉진이 한층 심화되어 계속적인 문제발생의 요인이 되고 있다. 또 하나의 다른 방법으로는 침식된 면에 특

수 용접을 한 후, Portable 선반으로 가공하는 방법등도 사용해 왔으나 주물의 특수성과 정밀한 원형을 유지하는 문제에 있어서 열로 인하여 변형이 생기는 것을 볼 수 있었다. 이러한 문제점을 완전히 해결할 수 있는 소재는 내부식성이 강하며 열을 가하지 않고도 침식된 부분을 육성보수하고 가공할 수 있는 세라믹 금속 보수제를 이용하여 금속의 부식촉진을 멈추게 하고, 해수침식의 문제점을 완전히 해결하고 있다. (Photo. 6) 그리고, 프로펠러 축의 Gland Packing면의 마모부식 자리는 메탈라이징(metallizing) 등을 이용하여 그동안 사용해 오고 있었다. 그러나 Shaft Sleeve면은 황동 합금의 금속소지로서 되어 있는 데 그곳에 여러 소재를 메탈라이징처리 하므로써 많은 문제가 되어 오고 있었다. 그러나 마모부식된 자리에 내마모성과 내열성이 우수한 세라믹 금속 보수제를 육성후 재가공하므로써 장기간의 내마모로 인한 마모 부식방지를 하고 있다.(Photo. 7)

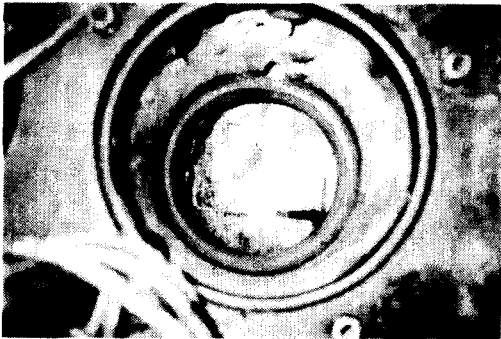


Photo. 6 Protection for O-ring surface of engine block

3.2.2 선박의 Rudder와 Kort Nozzle의 방식법

선박의 프로펠러는 황동계 합금의 종류로 제작되어 있으며 Rudder 또는 Kort Nozzle은 SS41 등으로 되어 있다. 이 두 종류는 선미에서 추진력을 내거나 방향을 조정하는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 이곳은 10 - 30m/s 정도이상의 높은 유속을 갖게 되므로써 유속이 국소적으로 빨라져 그 압력이 유체의 증기압이 하가 될 때 기포가 생성되는 데 이것은 유속이 저하되는 곳에서 유체의 높은 압력으로 인해 기포가 파괴된다. 이 현상을 케

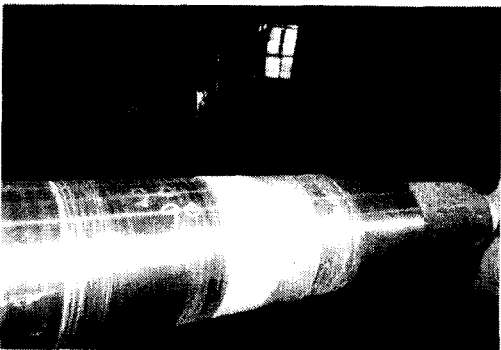


Photo. 7 Protection for gland packing of propeller shaft

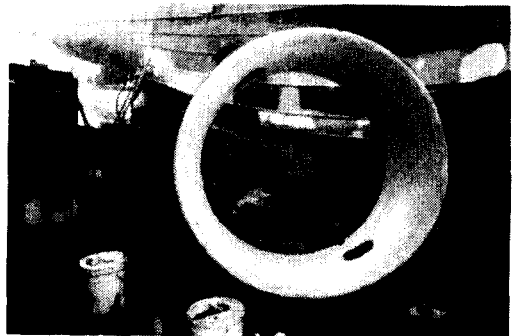


Photo. 8 Protection for kort nozzle

비테이션 손상이라고 한다. Cavitation 손상은 고체의 표면에서 발생하기 쉬운 데 금속의 경우 이 기포가 파괴될 때 금속표면에 손상을 입힌다. 이러한 손상으로 화학적으로 부식작용이 관여하며 그것은 담수보다 해수쪽이 훨씬 손상이 크다. 이러한 케비테이션 부식에 대처한 방식법은 금속소재를 새로이 개발하거나 금속에 네오플렌, 고무 등의 탄성체 피복을 하여서 손상의 정도를 최소화하는 실정이다. 그러나 이 현상은 매우 복잡한 인자가 형성되므로 영구적인 방식법을 채택하기는 역시 불가능하다.

이에 대한 훌륭한 방식법으로 탄성체 피복을 다른 어떤 소재보다도 우수한 재질을 개발한 Flexiclad System 재료를 이용해 Rudder 및 Kort Nozzle 등에 Lining하므로써 보다 장기간 케비테이션으로부터 보호하는 방식법을 채택하여 놀라운 경제적인 효과를 얻고 있다.(Photo. 8)

3.2.3 선체의외판의 방식법

선체의외판의 부식여분에 대해 NK에서는 3.5mm로 규정하고 있지만 Effective Corrosion Control 또는 Special Protective Coating을 실시할 경우는 부식 여분을 경감해도 좋다는 것이 각 선급협회에서 의결된 바 있다. 그러나 그에 따른 많은 코팅재료중에 해수로부터의 방식도료를 완벽한 보호를 목적으로 채택하는 데에는 많은 문제점이 있다고 본다. 특히, 선체의외판에는 전기방식법의 일환으로 희생양극법의 Anode를 채택시키고 병행하여 도장방식을 실시하고는 있으나 내식성 도장재 선정에 있어서의 문제점과 시공의 문제점등으로 인하여

선체의외판에 전기적인 부식현상으로 부분적 공식이 발생하는 경우를 볼 수 있다.

이러한 공식부위에 용접으로 육성한 후 일반에 폭시 수지계통으로 도장했을 경우, 그 주위에서 더욱 심한 부식이 발생하기도 한다. 그래서 용접을 하는 방법은 매우 좋지 않은 것을 발견하였다. 이에 대한 방식법으로 비닐에스테르 수지나 폴리에스테르 수지에 유리입자를 적절히 섞은 방식재료를 이용하여 공식부위를 육성하고 부식된 주위를 부분 방식 lining하여 전기적인 부식을 차단시켜 완벽한 방식체계를 이루고 있다.(Photo. 9)

3.2.4 청수 탱크내부의 방식법

선박의 탱크는 탱크의 종류 및 그 사용조건에 따라 부식상황도 다르다. 특히, 청수탱크는 일반적으로 Epoxy Coating과 시멘트 몰탈 라이닝을 시행하고 있으나 대체적으로 도막의 부풀음으로 인한 확산 탈착부식이 매우 많으며 특히, 용접선, 코너부위, Angle의 Edge부위 등에 부식이 두드러지게 나타난다. 그러나 적절한 방식정비 대책이 수립되지 않고 있으므로 식수수질 보전을 기대하기 어려우며 특히 열악한 조건에서 시공을 해야 하는 전처리과정이 매우 어려운 실정이다. 방식대책으로 첨단 신소재로 만들어진 코팅 시스템을 이용하여 녹위에 바로 코팅하므로써 녹과 화학반응을 통해 피막이 형성된 후 그 위에 핀홀(Pin hole)을 제거할 수 있는 유리입자 Coating 체계 System을 형성시킨후 Top 코팅하므로써 완벽한 방식체계가 유지될 수 있고, 특히 전처리 인건비 절감에 매우 많은 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.(Photo. 10)

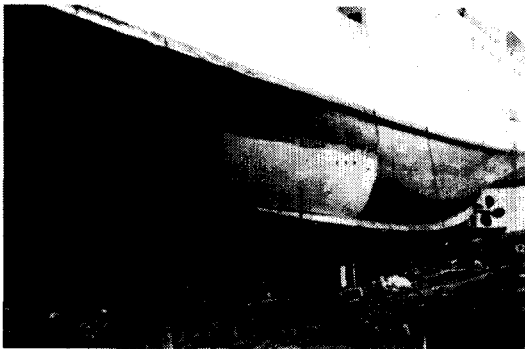


Photo. 9 Protection for hull



Photo. 10 Protection for fresh water tank inside

4. 각종 침식 - 부식 손상부위에 적용 가능한 고기능성 방식재료

4.1 마모, 침식부위에 적용 가능한 방식재료

알루미늄과 지르코늄이 주성분인 폴리머(Polymer) 합성물의 Metalclad Duralloy(Enecon) 방식재료가 손상 또는 마모된 모든 유형의 기계장비 즉, 깨어진 베어링에 의해 손상된 샤프트의 원상복구, 균열되어 새는 파이프, 파손된 엔진블럭 등의 영구적인 보수가 가능한 것으로 알려져 있다. 이 방식재료는 특히 드릴가공, 탭가공, 선반가공이 가능하며, 연마와 광택을 낼 수 있는 등의 특성을 지니고 있다.

4.2 케비테이션에 적용 가능한 방식재료

폴리머 레진(Resin)과 지르코늄이 주성분으로 이루어진 탄성 폴리머 합성물의 Flexiclad Dura-tough(Enecon) 방식재료가 케비테이션 문제에 아주 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 강도, 내구성, 접착력 등이 우수하고 유연성, 내마멸성과 탄력성이 특별히 뛰어난 선박의 프리펠러, 타, 코트노즐, 열교환기, 엘보우(Elbow) 등의 기계장비의 성형 또는 재생에 효과적인 것으로 알려져 있다.

4.3 전기적인 부식에 적용 가능한 편상의 유리입자 강화 고기능성 복합 방식재료

특수 열경화성 수지와 미세한 크기의 유리 입자로 구성된 방식재료로 내침식, 내마모, 내 Under-cutting, 내열성 및 내화확성이 우수하고 내침투성이 특히 뛰어나 전기적인 부식에 의해 손상된 기기 즉, 선체의외판, 해수배관, 펌프케이싱 등에 유용한 것으로 알려져 있다.

4.4 식수 환경부식에 적용 가능한 방식재료

특수 열경화성 수지와 미세한 크기의 유리입자로 구성되어 청수탱크 등의 식수 환경의 방식을 주목적으로 개발된 방식재료로 까다로운 전처리 과

정을 필요치 않고 간단한 수작업만으로 코팅(Coating)이 가능하게 하는 특성을 지니고 있기 때문에 기존의 청수탱크 작업에 소요되는 시간을 단기간내에 끝낼 수 있어 큰 경제적 효과를 낼 수 있는 것으로 알려져 있다.

5. 결 론

상기에서 살펴본 바와 같이 선박에서의 부식상태는 매우 다양한 형태로 진행되는 것을 알 수 있었다. 선박의 올바른 유지관리 측면에서의 활동에 있어서 매우 중요한 것은 올바른 방식법에 의한 방식정비이며, 이러한 올바른 방식법을 보다 우수한 기술로 부각시키고 발전시켜 나갔을 때 모든 선박회사는 원활한 경영활동을 유지하리라 보여진다. 특히 자원고갈문제에 대처하기 위해 신에너지 개발, 에너지 절약개선, 자원재생이용 등의 과제가 세계적 문제로 계속되지만 부식방지의 분야에서도 이들의 과제에 무관하지 않고 오히려 적극적으로 담당하여야 하는 입장에 있다. 부식방지란 본래 자원보호, 시설의 안전성 및 신뢰성의 향상이라고 하는 사회적 요청에 의해 발전해온 기술분야이고 오늘날과 같은 IMF체제하에 있어서는 더욱 그 진가를 발휘해야만 할 분야라고 생각되어진다. 현실적으로 선박은 해수의 환경과 열악한 부식인자등으로 인한 기기의 소모, 열화, 고장 등의 악순환이 계속될 것이다. 그래서 초기 프로젝트 엔지니어링 단계에서의 설계입안도 중요하지만 메인テナンス(Maintenance) 엔지니어링시 방식의 테크닉을 잘 운영해야만 경제성이 추구되어 질 것이며 안전성 또한 보장되어 질 것으로 생각된다.

선진국에서는 부식방지에 대한 경제성 분석활동이 매우 활성화되어 있으나 국내에서도 경제적 측면에서의 분석활동이 아주 미흡하기 때문에 산업별 조사기법 개발 및 산학연 공동으로 컨소시엄 등을 지속적으로 운영하는 것도 좋은 방법이 될 것이다.

參考文獻

- 1) 김기태, "강관의 부식 현황조사 및 방식대책연구" 산업과학기술연구소 1994

- 2) 김영식, 김윤해, “최신기계재료학”, 蝸雪出版社, 1997
- 3) 민병일, 박영희, 조재익, “유기피복에 의한 부식 방지기술”, 포항산업과학연구원, 1995
- 4) 이의호, “국내건설 및 산업계의 부식문제와 그 대처방안에 관한 연구”, 한국건설방식기술연구소, 1995
- 5) 전대회, “腐蝕과 防蝕의 관리(개정판)” 일중사 1985
- 6) E.J. Hasler : Corr. Prev. & Control., 5, No.7, 1985
- 7) J.F.Koehler : Corrosion, 1, No.11, 1959
- 8) N. D. Tomashov : Theory of Corrosion and Protection of Metals(1966), P367[Mac. Millan Co.] ; Corrosion, 20, 7t (1964)
- 9) P. J. Sereda : ASTM, Spec. Tech. Pub, 558, 7-22(1974)
- 10) W.B.Jupp : Corrosion, 9, No.11, 1953
- 11) 김윤해, 해양환경에 적용하기 위한 최첨단 복합신소재(방식재)의 유용성에 관한 연구, '98 항만건설기술 세미나, 해양수산부, 9999 - 114, 1998
- 12) 김진우, “부식방지업의 경제적 효과와 육성대책에 관한 연구”, 동의대학교 석사학위 논문