

최근 개발중인 배의 방식법에 관한 소개

구 종 도 <해군사관학교 교수>

1. 머릿말

1990년대 들어서면서 최근 2년간에 상선들 중 침수나 침몰이란 중대 사고로 손실된 상선이 20척이고 희생자가 300명으로 증가되었다. 그런데 조사보고에 의하면 이들 사고들 대부분은 평균 선령이 18년으로 고령이었고 사고의 원인도 ① 용접 접합부의 탈락에 기인한 선측 외판의 균열때문에 생긴 창내 늑골의 탈락, ② 선측에 초과된 쇄모 현상에 의한 선측 외판, 창내 늑골과 Web 늑골의 부식에 기인한 강도 저하, ③ 바람과 파고 등의 해상 상태 때문에 생긴 침수 현상 ④ 화물창 구조 부재에 의한 부식과 쇄모 현상 등에 의한 사고 들이었다.

이러한 부식의 원인은 화물의 화학적인 성분과 화물창인 경우 Ballast Tank겸용시의 도장의 시공 문제 등으로서 이들 원인을 통해 부식 개시 시기가 시시각각으로 달라진다. 파구는 창내 늑골에서의 부식과 쇄모현상에서 시작되어 선측 외판의 단 선각(Single Hull) 부분의 탈락이나 해당부의 균열때문에 생기고 해난 사고도 이러한 파구를 통한 창내의 침수에 기인해서 발생된다고 생각이 된다.

예를 들면, 부식이 화물창내에서 계속적으로 진행 중인 경우에는 부식으로 인한 판두께의 감소현상이 창내 늑골에서 빨라지면서 두께가 얇은 늑골 Web가 가장 먼저 파탄이 생기게 되고 창내 늑골은 기본치수와 형상이 같게 설계가 된 구조로부터 부식 쇄모 현상이 진행중이면 부식 치수, 형상과 방식 시방이 같은 창내 늑골의 전체에서 같은 정도로 진행되는데 이들 중 하나라도 부식으로 강도상의 파탄이 오면 방요 효과가 상실되면서 해당 부분이 부담케 되는 하중이 인접한 단면에 부담을 주면서 창내 늑골의 하중 부담

이 증가된다. 증가된 하중을 부담케 되는 창내 늑골이 만일 충분한 보수가 되어 있다면 다소의 하중 부담 증가를 견디어 낼 수가 있지만, 부식이 그 구조 전체에 같은 정도로 진행중인 경우에는 인접한 단면의 늑골도 똑 같은 쇄모 현상을 일으키면서 과도한 하중으로 용이하게 이 부분이 파탄이 되어 선측 구조의 기능을 상실케 된다. 다시 말해서 창내 늑골의 방호효과를 잃게 되면 선측 외판이 밖으로 크게 구부러지면서 지지면이 이중 선측 부분의 상,하면을 따라 선측 외판에 수평 방향과 종 방향으로 균열이 생긴다.

쇠모속도는 늑골의 하부쪽보다는 상부쪽이 빨라지면서 균열은 창내 늑골이 방호효과는 잃는 한계가 이르게 되면 더욱 커지게 되고 선측 구조에도 전체의 길이에 균열이 생겨 방호효과를 완전히 잃어버리게 되며 또 한편으로는 단선각의 상,하면에 큰 균열이 발생된 선측 외판은 이런 균열이 없는 면에도 변위 현상이 되풀이가 되면, 이러한 큰 Panal도 창내의 격벽 위치나 이따금 다른 늑골보다 안전한 상태에 있는 창내 늑골의 위치는 하나의 지지면으로 작용은 하겠지만, 이러한 변들을 따라서 세로 방향의 균열이 생기게 된다. 이러한 세로 방향의 균열은 Panal의 상,하면의 균열과 연결이 되면서 선측 외판에 거형인 파구를 만들고 이러한 파구에 기인한 창내의 침수가 많은 해난 사고를 발생케 한다.

상기와 같은 예를 통해서 배에서의 보수와 관리가 얼마나 중요한가를 입증하면서 여기서는 해난 사고의 주범인 부식에 관한 대책으로서 방식법에 관해 간단하게 기술코자 한다.

2. 방식 관리법

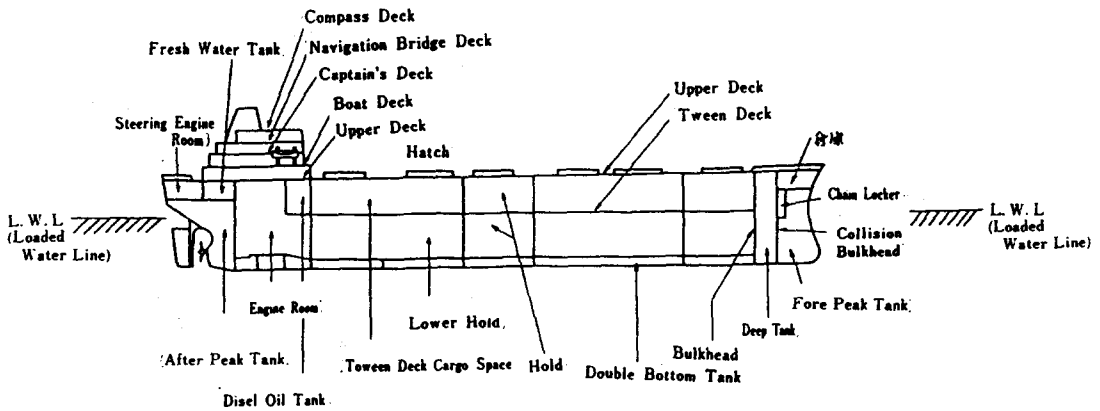
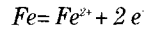


그림 1. 배의 각부 명칭

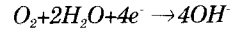
배는 해양이라는 부식 환경 아래에서 사용되고 있는 구조물이기 때문에 부식을 실제적으로 피할 수가 없고 또 배의 손상에 관한 표 1과 같이 통계에 의하면 선체의 구조적인 결함에 기인한 손상의 원인에는 주로 부식에 의한 것이 대부분이다. 부식이란 금속이 주변 환경이나 화학적 또는 전기 화학적인 반응에 의해 금속 표면이 소모되고 있는 현상으로서 수분을 수반하지 않은 부식(건식)과 수분을 수반하는 부식(습식)의 두 종류가 있는데 전자는 고온인 공기나 반응성 가스에 의한 화학 반응 때문에 발생하고 후자는 전해질 중에 포함되어 전기 화학 반응 때문에 발생한다. 배의 부식 환경으로는 ① 전도성이 높은 해수에 항상 침적된 부분, ② 해상에서의 대기에 관한 폭로 부분, ③ 해수, 습한 공기, 기름, Product 및 화물유에 대해 교호로 폭로되는 부분으로 대별하지만 배의 부식은 습식, 즉 전기 화학적인 부식이 대부분이다.

해수중에서의 철의 전기 화학적인 부식 과정에서 화학적인 결정 격자중에 Fe의 원자는 금속의 결합력

을 잃어버린 금속 Ion으로서 부식 환경속으로 이동하여



인 관계와 해수가 용존된 산소를 포함한 약 Alkali 성이란 사실로 부터 산소 환원반응 즉,



이 되면서 $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ 이라는 적철이 생긴다. 따라서 부식 반응이 생기면 전자의 교환이 이루어지면서 부식 전류가 흐르는데 이런 전류의 발생 원동력은 부식 전지에 의한 전위이며 동일 금속에서도 금속이나 용액의 불균일성 때문에 전위차가 발생하여 국부 전지가 형성되면서 부식 전류가 흐른다. 이때 다른 종류의 금속은 이것과의 접촉에 기인되어 부식이 촉진 되는 경우가 있는데 이것을 Galvaning(접촉) 부식이라 일컫는다. 그래서 금속이 부식이 될려면 ① 원자가가 낮은 금속일것, ② 물과 접촉할 것, ③ 전위차가 존재할 것, ④ 용존 산소나 H^{+} 등의 復極材가 존재할 것 등의 조건이 필요한데 이들 중 하나가 부족하더라도 부식은 발생하지 않는다. 따라서 방식을 하기 위해서는 상기의 조건들 중 하나 이상의 조건을 제거하는 수단을 강구하면 된다. 그리고 방식법에는 도장, Lining, 전기 방식, 방식재의 첨가 등의 방법이 있는데 여기서는 방식 도장과 전기 방식에 관계 기술하기로 한다.

배의 보수 도장 시기를 연장시키려면 일반적으로 중(重) 방식 도료를 사용하는데 ① 그 목적에 적합한 도장계의 선정, ② 적절한 Edge와 표면 처리, ③ 적절한 막두께의 관리 등을 기초로한 종합적인 도장 관리가 필요하다. 그래서 도장이 불량한 개소를 근절하게 보수 도장하는것이 어렵지만 어느 시기까지는

표1 구조 부재의 손상 원인

원 인	모든 배	노령인 배
부식(부식피로 포함)	77-79%	86-92%
진 동	6-4%	거의 0%
설계/공작 불량*	4-11%	거의 0%
과잉 하중 기타	6-4%	6-4%
피 로	7-3%	8-4%

주) * : Low Cycle fatigue를 포함한 초기 결함도 포함함

Maintenance Free 한 것이 필요하기 때문에 선조선시의 도장 시공이 매우 중요하다. 그리고 전기 방식으로는 일반적으로 아연판의 희생 양극을 장치하는 방법이 주로 배에 채용이 되는데 이 방법은 배의 건조시부터 방식 도장과 병용하든가 부식이 어느정도 발생이된 단계에서 도입을 하는 경우도 있지만 배를 장기간 건전한 상태를 유지하려면 배의 건조 당시부터 방식 도장과 병용하는 것이 바람직하다. 즉 방식 관리는 배의 선조선시의 방식 공사에 관한 감독처럼 취항중의 방식 관리도 중요하지만 배의 선조선시의 방식 공사의 감독이 충분치 못하면 취항중의 유지, 관리 및 보수에 다대한 노력과 많은 경비가 들게 된다.

3. 방식 도료

철을 소재로 해서 건조되는 선체 구조 부재는 철의 발생이나 진행중인 부식에 대한 방지 대책이 충분치 않으면 구조상의 결함이나 노후화 때문에 장기적인 사용에 제공이 될 수 없는 경제적으로 막대한 손실을 가져온다. 배의 건조 방식이 Block 건조 방식을 도입함에 의해 배는 주로 현재까지 Block도장 방식을 채용하고 있는데 이 방식은 표면처리 작업에서부터 도장 작업까지가 거의 인접 작업이 주체가 되면서 공수가 상당히 들게 된다. 이와 같은 조건 도장은 다른 산업에서 보여주고 있는 도장 방식처럼 거의 개선이 없어서 구태의연한 그대로이다. 그 이유는 도장해야 할 구조물들이 크기가 다르고 복잡한 형상을 가졌기 때문에 도장에 대한 기술 개발이 늦어졌다는 생각이다. 배는 그림 1과 같이 많은 구획으로 구성이 되

표2 각 부식 환경에 대한 도장계의 적용

부 위	종래 도장 시방	만능 도장 시방
1. 폭로 Deck	CR PR 60 μ ×2 CR DK 40 μ ×2	UNI AC 150 μ ×1 + CR DK 50 μ ×1또는 EP DK μ ×1
	EP PR 60 μ ×2 EP DK 40 μ ×2	
2. 상부구조 및 Deck 의장품	CR PR 60 μ ×2 CR DK 40 μ ×2	UNI AC 150 μ ×1 + CR FP 50 μ ×1또는 EP FP μ ×1
	EP PR 60 μ ×2 EP FP 40 μ ×2	
3. Engine Room 1) 천정, 벽 2) Tank Top	CONV. PR 80 μ ×1 CONV. FP 35 μ ×1	UNI AC 150 μ ×1 CONV. FP 35 μ ×1
	BTE 100 μ ×2	UNI AC 200 μ ×1
4. 거주구 1) 일반부 2) 내장재 아래 3) Deck부	CONV. PR 80 μ ×1 CONV. FP 35 μ ×1	UNI AC 75 μ ×1 CONV. FP 35 μ ×1
	CONV. PR 80 μ ×1	UNI AC 80 μ ×1
	CONV. PR 80 μ ×1 CONV. DK 35 μ ×1	UNI AC 150 μ ×1
5. (Dry) Cargo Hold	CR PR 35 μ ×2 CR HP 35 μ ×2	UNI AC 150 μ ×1
	BTE 100 μ ×2	UNI AC 200 μ ×1
6. Void 및 Cofferdam	TEN 80 μ ×1	UNI AC 125 μ ×1
	TE 125 μ ×1	

약호 : CONV=유성, CR=염화 Gum, EP=Epoxy, TE=Tar Epoxy, BTE=변성 Epoxy, TEN=역청질 PR=Primer, DK=Deck 도료, FP=상도 도료 HP=Hold 도료, UNIAC=만능방식 도료

표2 각 부식 환경에 대한 도장계의 적용

부식환경 \ 도장계	도장계					
	유성	염화 Gum	염화 Vinyl	Tar Epoxy	변성 Epoxy	Epoxy
일반해양폭로부	○	◎	◎	◎	◎	◎
해수비말부	△	○	○	◎	◎	◎
해수물수부	×	○	○	◎	◎	◎
청수침적부	×	○	○	◎	◎	◎
약산성 분위기	△	○	◎	◎	◎	◎
고온환경 80℃(대기)	△	△	△	△	○	○

주) 적정 기준 ◎ ○ △ ×
적 ↔ 부

어 있고 부위마다 부식 환경이 다르기 때문에 경제성 측면에서는 표 2와 같이 부식 환경에 따라 각종 도료와 도장계를 채용하고 있는데 부위에 따라서는 유성계, 염화 Gum계 및 Epoxy계의 방식 도료가 적용이 되면서 이러한 도장 관리의 시공의 간소화로 방식 도료의 종류를 통일시키는 작업이 많은 학자들에 의해 연구되어 왔다. 그 결과 최근에는 선저 외판부와 밸러스트 탱크 등과 같은 특수 부위를 제외한 대다수의 부위에 표 3과 같이 특수 Epoxy계 수지를 두텁게 도장하는 만능 방식 도료(UNI-AC)가 출현하기에 이르렀다.

이 도료는 ① 방식 성능이 우수하다. ② 한번 칠하는데 150-250 μ m의 도장이 가능하다. ③ Inteval

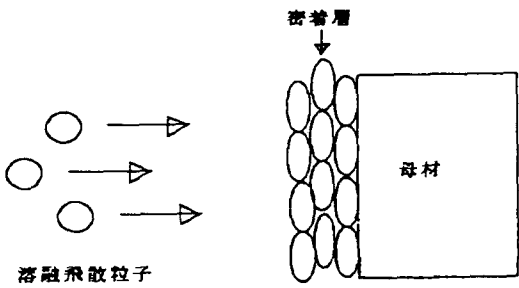


그림 2. 용사에 대한 개념도의 한 예

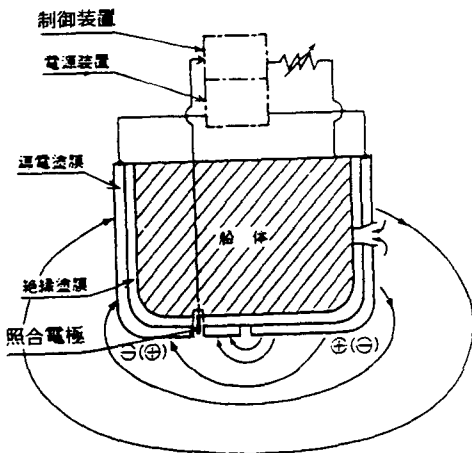


그림 3. 도전도막 방식에 의한 방오(防汚)와 방식(防食) System의 한 예

이 free하다. ④ 유성계, 염화 Gum계 및 Epoxy계 도료 등의 밀착이 가능하다는 등의 잇점이 있는 반면에 ① 도료의 종류가 많다. ② 도장 구획 마다의 도료와 도장의 관리가 어렵다. ③ 도장을 겹쳐야 할 경우에 관리가 어렵다. ④ 도장의 횡수가 많다는 등의 단점도 있다.

그리고 유조선의 2중 선각의 밸러스트 탱크용 도료로는 ① 도장 면적이 단저 구조의 약 2배 정도로 증가 되었고, ② 2중 선각 구조의 밸러스트 탱크가 표면처리, 도장 작업 및 검사를 포함한 도장 공정으로부터 기술상 어려운 구조로 되어 있기 때문에 도장 작업의 기계화와 자동화가 맞물려서 계속 검토중에 있다.

현재까지 이런 개소의 도장 재료로는 장기적인 내구성과 경제성의 양면에서 역점질의 장단점인 내수성과 경제성, 그리고 Epoxy수지의 장단점인 밀착성,

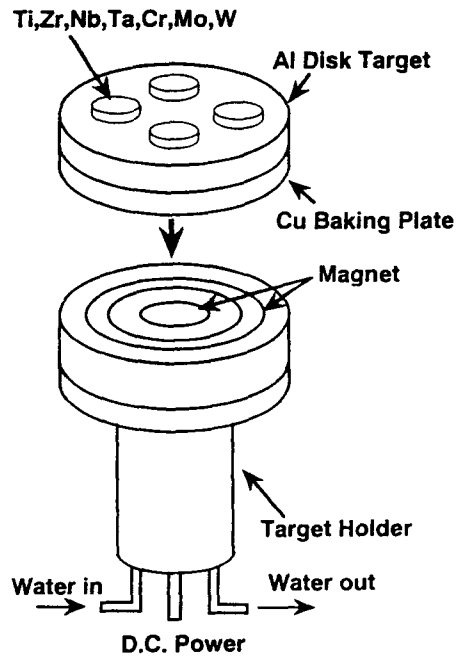


그림 4. Sputter용 Target의 모식도(模式圖)의 한 예

강인성과 내약품성을 조절한 도료인 Tar-Epoxy도료를 사용해 왔다. 그런데 이 도료는 Coal Tar를 함유하고 있기 때문에 색상의 제한을 받게 되지만 물수부와 해수 밸러스트 탱크 등의 겹 방식 도장에서 주체가 되면서 Epoxy수지 도료에 비해 상당히 값이 싸지게 되었다. 그러나 2중 선각 구조의 밸러스트 탱크용 도료는 ① 도장 공정을 단축하기 위한 초고속 경형 도료, ② 도장 작업과 검사의 효율화를 위한 밝은 색을 갖는 도료, ③ 급수가 낮은 표면 처리에 적용이 가능한 도료, ④ 탈 Tar화 시킨 도료등의 요망사항이 요구된다. 그래서 이들의 요망사항에 적절한 도료로는 변성 Epoxy도료가 주의를 끌게 되었는데 이 도료는 Tar이외의 물질을 사용하여 수지도료의 색상과 결점을 개량한 것으로서 Tar이나 Pitch대신에 Asphalt, 석유의 Bottom유, 중합성 C₂의 중분으로부터의 유도체(포럼 알데히드, 縮合物, 키시렌 수지, 웨놀 수지)등을 이용한 도료이다. 그런데 방식 도료가 방청 기능을 완전하게 발휘할 수가 있을까하는 문제는 표면 처리 작업에서 제청(除靑)의 정도가 중요한 해결 방안이 된다. 청락을 시키는 작업에는 많은 시간과 일손 및 경비가 드는데 이러한 것들을 절감시키기 위해서는 표면 처리면에서 충분한 방식 기능을

얻을 수 있는 도료가 필요하다. 그리고 이런 종류의 도료가 폭로 갑판, Cargo Hold, Hatch Cover, 거주구의 내외면 등의 방식 도료로 사용이 되어 많은 실적을 쌓은 결과, 변성 Epoxy도료의 기능을 유지하는 외에도 또 다른 새로운 기술 방법, 즉 ① 수지 조성중에 침투력이 큰 성분, ② 청층의 수분과 반응하는 성분, ③ 소지(素地)를 Etching하여 부착을 시키는 성분 등을 배합시킨 저연소면(低研掃面)용 도료로서 청층에 잘 침투하여 수분 배제와 동시에 청을 고정시키면서 소지와 도막 경계면을 엄밀히 충전시킨다. 이 도료의 장점으로는 ① Super Primer 도장면과 저연소제의 청면에 적용 가능하다. ② 장기 방식성이 우수하다. ③ 오래된 각종 도막상에도 직접 도장이 가능하다. ④ 색 마무리가 가능하다. ⑤ 도막의 물성이 우수하다. ⑥ 두껍게 도장하는 작업성도 우수하다. ⑦ 주로 Deck, Cargo Hold, Hatch Cover, 거주구의 내외면 등에 사용된다 등이다.

최근에는 환경 규제와 더불어 도장하기전의 표면 처리에 대한 작업 환경, 안전 위생, 분진, 소음 공해 등의 문제로부터 새로운 방식 도료의 개발이 요망되면서 많은 학자들이 기술 개발에 몰두하고 있는데 환경규제의 면에서는 해양오염과 수질 오염 방지가 엄격하게 규제가 되고 있다.

방식 도료에 관해서는 VOC(휘발성 유지 물질)의 배출 규제가 구미에서 결정이 되면서 세계 각국에서는 이것에 대응한 도료가 필요케 된 한편 작업 환경 등에서는 표면 처리에서 건식 Sand Blaster가 금지되면서 분진, 소음 공해와 생자원 및 후처리 공정의 절감을 위해 Water Jet 공법에 의한 표면 처리 방법이 계속 증가 추세에 있고 그리고 상기와 같은 요망 사항에 적절한 도료로는 저연소면 High Solid Epoxy도료와 같은 개발이 실행 중에 있다.

이 도료로는 ① 낮은 점도를 갖는 Epoxy수지, ② 반응성 희석제, ③ 비 반응 희석제, ④ 안료, ⑤ 첨가제, ⑥ 변성 Amino 등으로 구성이 되는데 이 도료의 요구될 기능은 ① Super High Solid 도료이다. ② 저연소면에서의 방식성이 우수하다. ③ 범용 Airless 도장 방법에서 작업성이 좋다. ④ 두껍게 도장하는 성질이 좋고 한번 칠을 하는데 250 μm이상의 도막의 두께를 얻을 수 있다는 등의 점이다.

4. 개발중인 방식 방법

(1) 아연-알루미늄 막의 용사(溶射) 도장 : 해역에서 이용되는 강구조물의 수명과 Maintenance비

용이란 양면으로부터 큰 문제인데 이런 문제에 대한 새로운 방법으로 아연-알루미늄 용사 도장법이 최근에는 외판과 갑판의 도장에 채용되는 경우가 종종 있다. 용사란 그림 2와 같이 용융 상태나 그것에 근사한 상태의 분말이나 입자를 소지(素地)의 표면에 충돌시켜 피막을 형성시키는 금속의 표면 처리법의 일종이다.

아연-알루미늄 용사 도장은 아연-알루미늄 합금(Zn : 87%, Al : 3%)의 Wire재료를 전기 Arc로 연속적으로 용융시켜 압축 공기로 미세화시키면서 표면에 내뿜어서 아연-알루미늄 피막을 형성시키는 방법이다.

(2) 도전도막(導電塗膜)에 의한 무공해 해양 생물 부착 방지 System : 배의 외판의 물수부에 각종 해양 생물의 부착으로 기인한 선속의 저하나 연료 소비량의 증대는 예전부터 큰 문제가 되어서 그 대책으로 지금까지는 방오도료가 사용되어 왔는데 이런 방오도료가 유기성 화합물로서 제 2종 특종 화학 물질로 지정이 되면서 해양 환경 오염의 요인이 된다는 연구 결과로 사용에 대한 규제를 받게 되었다.

그래서 최근에는 학자들의 많은 실험과 그 결과에 대한 평가를 통해 이런 방오 도료를 사용하는 대신에 방오 효과가 뛰어난 도전도막을 이용한 해양 생물 부착 방지와 선체 방식 System이 제안 되었다. 배의 방식법에는 아연이나 알루미늄 등의 희생 양극을 선체에 설치하는 유전 양속 방식과, 직류 전원을 이용한 백금계 등의 보조 전극을 설치하여 그것을 양극으로 하고 선체를 음극으로 하여 통전하는 외부 전원 방식의 2가지가 있는데 후자는 방식 기능도 견비하고 있다.

도전도막에 의한 방오와 방식 System은 그림 3과 같이 ① 선체 외판에 절연도막을 끼워서 포장된 도전도막, ② 이런 도전도막으로서의 통전량을 조종하는 직류 전원장치, ③ 조합 전극으로 구성이 됨으로 소형선에는 적용이 가능하지만 앞으로 대형선에 관해서는 실용화에 대한 연구가 필요하다.

(3) 새로운 내식 재료에 의한 표면 Coating : Amorphous합금중 일반적인 금속 재료가 견디어 낼 수가 없는 부식 환경에서도 안정된 초내식 합금이 많다는 사실이 알려지고 있다. 내식성은 원래 금속 재료의 표면이 산화 작용을 통해 두께가 수 mm인 얇은 산화물이나 Oxi 수산화물로부터 발생하는 동태 피막에 의해 자연스럽게 덮혀진다는 사실을 기초로

하고 있는데 이런 현상을 자기 부동태라하고 자기 부동태화하는 금속은 햇빛을 쏘이면 보호 피막이 자연스럽게 덮혀진다. Amorphous 합금도 이런 원리에 의해 부동태 피막이 신속하게 생성이 되면서 부동태 피막 중에 안정된 피막 형성을 위한 유효한 Ion이 현저하게 농축이 되어 있다. 그래서 수용액 중에 설치된 이 합금에 합금 원소의 유효한 Ion이 뚜렷하게 농축되고 있는 부동태 피막의 신속한 생성을 위해 부동태 피막 형성에 불필요한 합금 원소를 수용액 중에 신속히 용해시킬 필요가 있다. 그리고 Amorphous 합금은 열역학적으로 준 안정성을 갖고 있으면서 화학적으로는 활성이어서 불요한 원소의 신속한 용해를 보증한다. 그러나 Amorphous 합금 중에는 고내식성 합금이 있지만, Bulk상의 내식 Amorphous 합금을 만드는 것이 어렵고 일반적인 용접법은 Amorphous 합금을 결성시키는데 적용할 수가 없다. 그래서 초내식 Amorphous 합금의 실용화를 지향하는 방법이 저내식인 실용 금속 표면에다 고내식 Amorphous 합금을 제작시키는 것인데 그 방법에는 ① 그림 4와 같이 알곤 가스 등의 저압 가스를 전리시켜 가스 이온을 고체의 Target 표면에 충돌시켜 나온 원자를 기판 표면에다 Amorphous 합금을 형성시키는 Spatter 법, ② Laser Beam이나 전자 Beam과 같은 높은 Energy 밀도를 갖는 Beam을 이용하여 Amorphous 합금을 저내식 금속 재료 표면에 Coating시키는 용융금냉법, ③ 부동태 피막이 금속상에 두께가 2-3mm인 산화물을 생기게 하면서 보호성이 우수한 내식 염화물에 의한 피복법 등이 있다.

5. 맺음말

배에서는 부식과 쇠모 현상이 해상 상태와 주변 환

경에 의해 성장하게 되면 파구가 생기면서 이로 인해 해난 사고의 원천적인 원인이 된다는 사실을 여기서 예를 들어서 기술했다. 이런 이유로부터 어떤 방법을 사용하는 간에 배의 방식에 관한 배려가 충분히 이루어져야만 하겠으며 그리고 배에서 방식에 대해 어느 정도의 Cost가 들었는가 배의 경제적인 가치를 좌우한다고 본다. 즉 배에서는 반드시 신조시에는 충분한 방식 대책을 강구를 해서 적절한 보수 관리를 행하는 방법이 초기 투자액을 확보하는 것보다도 안정성에 부가해서 경제적으로도 상당히 유리하다는 사실이 상기의 사실로부터 알 수가 있다.

방식 시방도 경년(經年)의 열화 현상으로 인해서 산만해짐이 상당히 큰데 이것도 취항후의 방식 관리에 의존케 되지만 신조시의 방식 검사의 정조(精組)의 정도가 주요한 원인이라고 볼 수 있기 때문에 신조시의 방식 검사의 중요성을 충분히 인식하는 것이 매우 중요하다. 그리고 [개발중인 방법]은 일반적인 방법이 아니기 때문에 앞으로 많은 연구가 있어야 하겠다.

참고 문헌

- [1] 惠美洋彦 他 : "船舶 海洋 構造物 の 壽命 評價 に 關 する 基礎 研究", 日本 海事 協會 誌, No. 217 (1991)
- [2] 石川時昭 : "船舶用 防食 塗料 の 動向 と 開發 課題", 塗裝 技術 (1993)
- [3] 宇佐美, 植田, 友重 : "導電塗膜 による 無 公害 海洋 生物 附着 防止 システム の 開發", 日本造船學會誌, No. 750 (1991)
- [4] 橋本 功二 : "新しい 耐食 材料 による 表面 코팅", 日本造船學會誌 No. 767 (1993)