

# 散積運搬船 船體構造部材의 腐蝕損傷防止에 關한 研究

朴 命 圭\* · 金 讚 宗\*\*

## A Study on Protection against Corrosion Damage to Structure Members of Bulk Carrier's Hull and Equipment

Myung-Kyu Park\* · Chan-Jong Kim\*\*

< 목 차 >	
Abstract	7. 結 論
1. 序 論	참고문헌
2. 船 構 造 의 一 般 損 傷 과 壽 命	부 록
3. 腐 蝕 損 傷 의 種 類 와 防 蝕	A. 산적화물선 선체구조부재의 손
4. 散 積 貨 物 船 의 腐 蝕 · 衰 耗 現 狀	상개요와 보수방법
5. 現 存 散 積 貨 物 船 의 防 蝕 對 策	B. 현존선의 선체구조부재 및 의
6. 新 造 散 積 貨 物 船 의 防 蝕 對 策	장품 부식손상현상

### Abstract

A ship, Compared with common steel structures on land, must be placed in extremely severe corrosive environments. Apart from the cases caused by disaster at sea, most of damages of the hull structure members are those caused by corrosion and waste. These are the major factors for damages occurring to the structural members of ship during operation

Therefore, it is necessary that the persons concerned should pay full attention to protect against corrosion and waste in order to prevent hull damages and to service more efficiently and safely. In addition, precautionary steps to help prevent accidents include training with crews, guidances, supervisors, and system improvements, and repairing any structural vulnerability of the ship herself. If the repairing of structural vulnerability is carried out, the above mentioned accidents are sure to be prevented. For the sake of this situation, a full survey in advance and the establishment for an efficient plan are more important than any others.

Among all sorts of examples investigated and reported as damage cases during the process of achieving the Classification Society about ships by periodical surveys on servicing, matters about moreenhanced examinations related to the corrosion and waste in the hull structure members of

\* 한국해양대학교 조선해양공학부 교수

\*\* (사) 한국 선급 선체검사원(일본 고베지사)

solid cargo bulk carriers must be surveyed and analyzed intensively.

By presenting on this basis, the efficient method count plan for the construction of new ships to stabilize the repair and up-keep of a fleet, this thesis is written with the motive of contributing to the competitiveness of a bulk carrier fleet and decreasing of the economic loss of ships upon servicing

## 1. 序 論

선박은 일반 육상구조물에 비하여 극히苛酷한腐蝕環境에 처하여 있다. 즉, 선체외면의 대부분은 항시 해수에 잠겨있거나飛沫을 뒤집어쓰고 있고, 또한 선체내부의 탱크(Tank)는 해수 발라스트(Ballast), 청수, 화물유 등에 접하는 것은 물론이거니와 건화물창에 있어서도 온도, 습도의 환경조건은 부식이 촉진되기 쉬운 상태에 있고, 경우에 따라서는 Tank와 화물창 할 것 없이腐蝕性物質이 적재되는 일이 있기 때문이다.

각종 선박이 손상통계에서 알 수 있는 바와 같이, 해난에 의한 손상을 제외한 선체구조부재의 일반손상 가운데 많은 부분이腐蝕(Corrision)·衰耗(Wear and Tear, Relaxation)에 의한 손상임이 잘 알려져 있는 사실로 보아,腐蝕(Corrision)·衰耗(Wear and Tear, Relaxation)가 취약중인 선박의 구조부재에 발생하는 손상의 주요요인이 되고 있다. 따라서, 선체손상을 방지하여 선박을 더욱 안전하고 효율적으로 운항하기 위하여는腐蝕(Corrision)·衰耗(Wear and Tear, Relaxation)의 방지에 선박 운항 관계자가 충분한주의를 기울일 필요가 있다.

최근에는鑛石 등의 특히比重이 높은 고체산적화물(High density solid bulk cargoes)을 주로 운송하는 산적운반선(산적화물선, Bulk carrier)과原油, 精製油 등의 액체산적화물(Liquid bulk cargoes)을 운송하는 산적운반선(유조선, Tanker)의 해난사고가 빈번히 발생하여 왔으며, 이는隔艙積載 및 선체구조부재의 부식등으로 인한 선체강도 부족이 주요 원인인 것으로 분석되었다.

또한, 이들 유조선과 산적화물선의 계속되는 해난사고로 인하여 인명손실 및 해양오염이 증가함

에 따라, 각국 정부는 자국의 해양보호를 위하여 항만국 통제(Port State Control, PSC)를 강화하고 있으며, 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)는 산하 해양환경보호위원회(MEPC)와 해사안전위원회(MSC)에서는 이들 선박에 대한 검사를 강화하도록 결의하였다.

이에 따라 國際船級聯合會(International Association of Classification Societies, IACS)에서는 유조선과 산적화물선에 대한 검사강화방안(Enhanced survey programme)으로 IACS UR(Unified Requirement) Z10.1 및 Z10.2를 마련하였으며, 사단법인 한국선급(Korean Register of Shipping, KR)에서도 1993년 7월 1일부터 이들 선박에는 무기부호 'ESP'(Enhanced Survey Programme)를 부여하여 동 제도를 시행하고 있다.

이 제도에 의하면, 산적화물선의 경우 일반선적에 비하여 선체 검사항목 및 범위가 증가하고 있으며, 특히 선령은 10년을 넘는 산적화물선의 경우에는 연차검사시에도 모든 화물창에 대한 전반적인 현상검사를 실시하도록 하는 등의 검사범위가 대폭 증가하였다.

선박의 화재, 침몰, 좌초, 전복 등의 사고는 많은 재산의 손실뿐만 아니라, 무엇보다도 귀중한 인명이 손실되는 경우가 자주 있기 때문에, 이를 방지하기 위하여는航法の規制, 직원의 훈련, 항해기기와 防爆 및 防火設備를 정비 개선하여 과오에 의한 사고를 방지하고, 만일의 사고를 대비하여 소화, 구명설비의 개선 촉진이 배려되는 것은 당연하다 하겠다.

반면, 인위적인 사고는 승무원에 대한 교육 훈련, 지도 및 감독과 제도개선을 통하여 예방될 수 있겠으나, 일차적으로 선박 자체의 구조적인 취약점의 보완이 선행되어야만 사고를 미연에 방지할

수 있을 것이며, 이를 위하여는 무엇보다도 충분한 사전 검토와 효과적인 계획의 수립이 중요하다 하겠다.

그러나 해상에서의 사고방지가 어느 한 국가의 노력만으로는 이루어지지 않으므로, 각 국가간의 긴밀한 협조가 필요하다.

이에 따라, 國際海事機構(International Maritime Organization, IMO)에서는 新造 뿐만 아니라 現存 산적화물선에 대하여도 안전기준을 강화시키기 위하여 생존능력 기준, 설계 및 구조 기준, 운항기준, 검사요건, 운항관리 및 선원교육 등에 관하여 필요한 요건을 개발하도록 결의하였으며, 1996년 7월 1일 발효된 RES A. 744(8)에 따라 1996년 5월 28일에서 6월 6일까지 영국 런던에서 개최된 제 68차 해사안전위원회 대표적인 화물선 선종인 벌크캐리어의 안전기준을 대폭 강화하여 이 기준을 1999년 7월 1일부터 시행토록 했다.

여기에는 산적화물선의 안전과 관련하여 港灣 當國, 旗國, 선주 및 선급이 취하여야 할 권고사항이 포함되어 있다.

본 논문에서는, 현지 취항중인 선박들에 대한 선급의 정기적 검사 수행 과정에서 조사된 각종 손상 사례중 정비 및 검사가 한층 강화된 산적화물선의 선체 구조부재의 腐蝕(Corrosion), 衰耗(Wear and Tear, Relaxation)에 관련된 사항을 집중적으로 조사, 분석하였다.

이를 토대로 하여, 취항중인 산적화물선의 안정적인 보수, 유지를 위하여 필요한 방식 대책을 도출함과 아울러 신조시의 효과적인 방식 대책을 제시함으로써, 선박 운항시의 보수에 필요한 시간 및 경비를 줄이고 손상사고를 미연에 방지하여 경제적 손실 감소와 상대적으로 경쟁력 향상에 기여하고자 하였다.

## 2. 船體構造의 一般損傷과 壽命

### 2.1 선체구조의 일반손상

충돌, 폭발, 좌초, 화재등 선원의 잘못 판단에 의한 손상(즉, 해난손상)을 제외한 손상을 일반손상이라고 하며, 선원이 통상 주의하여 운항한다면

이러한 손상은 일어나지 않을 수 있기 때문에 그 발생을 극력 방지하는 것이 조선 관계기술자에게 요구됨은 지극히 당연한 일이라 하겠다. 일반손상의 방지를 위하여는 종래부터 선박의 설계, 재료, 공작 및 검사의 각 공정을 통하여 충분한 주의가 기울여지고 있으나, 손상이 全無하게 되고는 있지 않다. 이것은 선박의 경우 상대가 해상이라고 하는 자연현상과 遭遇하고 있기 때문에 외력의 정확한 예측과 선체 자신의 응답 추정이 극히 곤란한 점도 원인중의 하나이다.

그러나 최근에 있어서 파랑외력과 선체응답에 관한 연구, 구조설계의 개선, 건조공사의 품질관리, Tank내 방식대책등 일련의 조치에 의하여 선체구조의 일반손상 건수는 차츰 감소하는 경향이 있다.

### 2.2 선체손상의 일반적인 경향

#### 2.2.1 일반손상의 원인

선체구조의 일반손상의 원인은 다음의 5가지라고 볼 수 있으나 선박이 노령화할 경우에는 유지, 보수의 소홀에 따른 선체부식이 주 요인이라고 할 수 있다. 특히, 선주측은 구조적으로 취약할 뿐 아니라 화물에 의한 부식발생 정도가 높은 부위로서 이 부분의 손상이 全損事故의 대부분을 차지한다.

- (1) 황천, 통상과 적부계수에 따른 과도한 종강도 발생 유발 또는 과도한 적하상태로의 무리한 운항에 의하여 선체구조에 과대한 응력을 유발할 경우.
- (2) 선체진동이나 항행 중에 받는 하중에 의하여 선체 불연속 구조부에 과대한 응력, 특히 반복 응력 즉, 장기간에 걸친 피로하중이 응력집중부에 계속하여 작용할 경우.
- (3) 건조시의 각종 공작 결함이 원인이 되어 그 부위에 과대한 응력이나 변형을 유발할 경우
- (4) 선령의 증가나 석탄 등 잔유화물의 화학성분에 의한 특별한 부식환경이 원인이 되어 구조부재가 전체적 또는 국부적으로 衰耗(Wear and Tear, Relaxation)하여 부재의 응력이 과대해지고 선체강도를 저하시킬 경우

(5) 구조부재의 재질이 불량하거나 화물의 Loading/Unloading시 Grab 등의 하역장비에 의한 기계적 손상을 유발할 경우

(1)에 대하여는 운항자로부터 조선기술자에게 충분한 사전정보가 주어져야 마땅하고 조선기술자도 충분히 검토하여야 할 것으로 생각된다. 통계적으로 볼 때 수백년에 한 번 있을 정도의 황천을 자유롭게 항행하기 위하여는 육중한 선체구조가 되어야 할 것이다. 따라서, 이런 황천은 피해가거나 어쩔 수 없이 황천에 조우한 경우에는 선체에 과대한 응력이 유발되지 않도록 운항하는 것이 당연히 바람직하다고 생각된다.

또한 (2)와 (3)에 의한 손상의 방지는 주로 조선설계 및 공작기술자에게 주어지는 과제이다. 현재까지 건조된 5,000G.T 이상의 선박 약 1,200척에 대하여 조사한 결과의 의하면, 가장 중요한 구조부재인 외판이나 강력갑판에 균열손상이 발생된 선박은 100척이고, 그 손상 건수는 144건이었다. 이 144건의 균열손상은 구조설계의 잘못에 기인한 것이 과반수를 점하고, 공작결함에 의한 것은 약 1/4에 달한다. 구조설계의 잘못에 기인한 것은 그 대부분이 내부구조부재의 불연속 구조부에 발생된龜裂(Cracking)로 미루어 구조설계에 개선의 여지가 있음을 알 수 있다.

또한(4)에 의한 손상의 방지는 보선관계자 및 방식기술자의 과제라고 생각된다. 일반적으로 선박이 노령화함에 따라 선체내부의塗裝膜이 손상되고 부식이 진행되는 한편, 반복하중에 의한 피로의 누적으로 구조부재의 연결부에 균열을 일으키는 경우가 많다. 표 2-1은 일반화물선에 발생된 선체손상 건수와 선령과의 관계를 나타낸 것으로, 선령 22~23년 된 일반화물선의 전체 평균 연간 손상 건수를 100으로 할 경우의 해당 평균 연간 손상 건수를 보이고 있으며, 선령 12~13년까지는

표 2-1. 일반화물선의 연간 평균 손상 건수비

선령 비율	4~5	6~7	8~9	10~11	12~13	14~15	16~17	18~19	20~21	22~23
선체손상건수	8	6	13	11	8	13	50	51	39	100
부식손상건수	-	-	-	-	3	9	42	42	31	76

손상건수가 적고 안정된 상태이나, 선령 14년 이상이 되면 손상건수가 급격히 증가하고 그 증가원인의 대부분이 부식인 것으로 생각된다.

### 2.2.2 균열과 변형의 현상

선체손상은 대부분 균열이 아니면 변형으로 나타난다. 통상, 균열은 인장응력에 의하여, 변형은 압축 또는 전단응력에 의하여 발생되지만 경우에 따라서는 균열과 변형이 동시에 발생하는 것도 있다. 이것은 그 부재에 압축(또는 전단)과 인장응력이 교대로 작용하고 있음을 보여준다.

균열에는 연성파괴, 취성파괴 및 피로파괴의 3 종류가 있고 특히 선박에서, 피로파괴는 근래에 비교적 많이 발생하는 손상으로, 구조상의 불연속부에 발생하는 균열의 대부분은 피로에 의한 것이다. 피로균열은 발생건수가 가장 많으나 진행이 느리고 녹으로 변색되어 있는 것이 보통으로, 불연속 구조부 등 발생하는 장소의 예측이 쉽고, 취항후의 정기적인 검사 등을 통하여 짧은 균열일 때 발견하여 보수, 보강하면 수에 비하여 손상사고에 직결되는 경우는 드물다. 그러나 구조부재가 부식이 발생하면 제법 큰 균열이 단기간에 발생하는 경우가 있으므로 노령선 등에는 주의를 요한다.

### 2.3 선체 구조부재의 손상 개요

선체 구조부재의 손상은 해난에 의한 손상, 설계상의 문제에 의한 손상, 진동에 의한 손상에 의한 손상 등의 여러 가지가 있으나 이들 선체손상 중에서 부식에 의한 손상이 어느정도 선체의 안정성과 경제성을 汎濫하고 있는지의 실태를 파악하는 것은 방식대책을 세울 때에 아주 중요한 점이다. 이를 위하여 선급에 등록된 선박의 검사를 통하여 조사한 선체관계 일반손상(해난손상을 제외한 손상) 현황을 검토하였다. 표 2-2에 의하면 일반건화물선(목재운반선, 일반화물선, 석탄운반선 및 광석운반선)의 손상 척수는 총손상 척수의 54.4%를 차지하고 있다. 표 2-3에는 원인별 손상 건수의 내역을 보이고 있으며 쇄모손상 건수는 총손상 건수의 68.1%로 대단히 큰 비율을 차지하고 있다.

표 2-2. 총 손상선박의 선종별 비율

선종	부재 운반선	일반 화물선	Tanker	석탄 운반선	차량 운반선	광석 운반선	Container	기타
비율	29.3%	14.8%	13.4%	6.3%	4.3%	4.0%	2.4%	25.5%

표 2-3. 총 손상건수의 원인별 비율

원인	부식, 쇠모	Handling	진동	과열	심계	공작	화물적부	원인불명
비율	68.1%	10.1%	4.3%	1.9%	1.1%	0.9%	0.5%	13.1%

또한, 그림 2-1에는 선령에 따른 손상의 변화를 각 선령에 있어서 손상 건수(손상건수가 많은 선령 12년째의 값을 100으로 함) 및 손상선박 척수(손상선이 많은 선령 8년째의 값을 100으로 함)를 보입과 동시에 쇠모에 의한 손상의 내역을 보이고 있다. 이 그림에 의하면 손상 건수 및 손상선박 척수는 검사의 시기에 따라 증감은 있으나, 8년째 내지 12년째까지 최고에 달한 후 점차 감소하고 있다. 또한 6년째까지의 손상은 피로균열 등의 쇠모 이외의 요인에 의한 손상이 많고, 8년째 이후

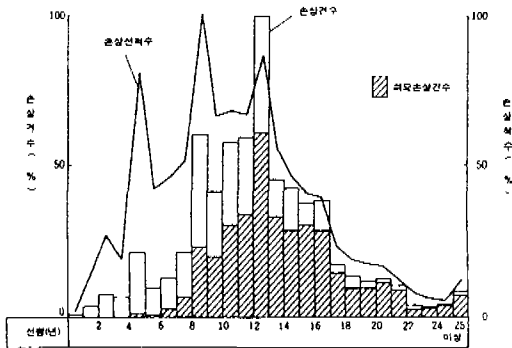


그림 2-1. 총 손상건수 및 손상척수의 선령별 내역

는 쇠모에 의한 손상이 지배적이다.

다음에 선종별로 어느 부재에 어떤 손상이 많은가를 검토하였다.

(1) 표 2-4에 선종별로 손상 건수를 쇠모, 변형, 균열과 기타의 손상 형태별로 그 비율을 나타낸

표 2-4. 선종에 따른 손상 형태 비율

(단위: %)

손상	선종	목재 운반선	Tanker	일반 화물선	석탄 운반선	차량 운반선	Container	광석 운반선
부식, 쇠모		63.8	39.0	73.7	66.6	18.1	20.9	55.5
변형		21.2	9.3	15.2	12.9	12.5	27.9	11.3
균열		12.2	50.3	9.6	17.4	69.4	51.2	31.6
기타		2.8	1.4	1.5	3.1	-	-	1.6
계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

다. 이 표에서 보면 목재운반선, 일반화물선, 석탄 운반선 및 광석운반선에 있어서 쇠모가 손상의 큰 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

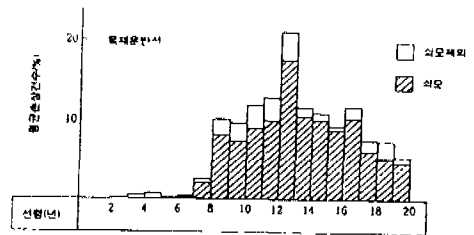


그림 2-2 (a) 목재운반선 1척당 창내능률 손상 건수

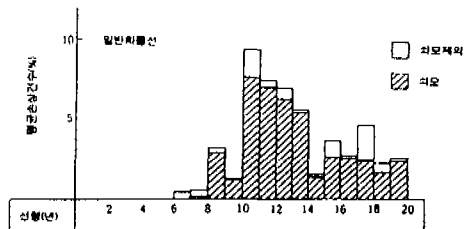


그림 2-2 (b) 일반화물선 1척당 창내능률 손상 건수

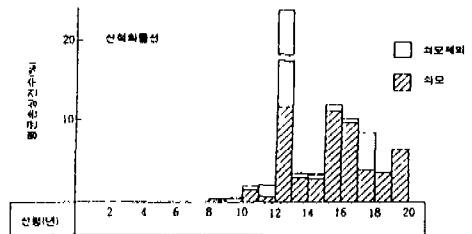


그림 2-2 (c) 석탄운반선 1척당 창내능률 손상 건수

(2) 그림 2-2 (a), (b) 및 (c)에는 목재운반선, 일반화물선 및 석탄운반선의 창내늑골의 손상 건수를 선령별로 보이고, 동시에 그 손상을 쇠모가 원인인 것과 기타가 원인인 것으로 나누어 나타내었다. 이 그림들에서 손상은 선령 8년째 이후부터 증가하고 있고, 그때부터 보수가 필요한 것을 알 수 있다.

### 2.4 부재의 연간 쇠모율

앞에서는 손상현상을 손상 건수 측면에서 검토 하였으며, 여기서는 선박 구조 부재의 부식, 쇠모가 년간 어느정도로 진행되는가를 검토하고자 한다.

표2-5에는 선령 4년 이상의 총 519척의 선박에 대한 선체구조부재 두께 계측결과로부터 대표적인 선종에 대한 쇠모량을 연간 평균 쇠모율의 단순평균치(쇠모량을 단순히 선령으로 나눈 값) 및 초과확률에 대한 연간쇠모율(어떤 년간 평균 쇠모율을 초과하는 수가 전체 중에서 차지하는 정도)로 나타낸 것이다.

이 표에서 각 선박의 연간 평균쇠모율(각 건수 마다의 평균치)의 단순평균치를 보면 석탄운반선과 목재 운반선이 타 선종에 비하여 대단히 큰 값을 보이고, 더욱이 각 선박의 연간 최대쇠모율(각 건수마다의 최대치)의 단순평균치를 보면, 일반화물선을 제외하고 연간쇠모가 0.40~0.55mm가 되며, 이 중에서 특히 석탄운반선 및 목재화물선의 쇠모가 큰 수치를 보이고 있다. 또한 각 선박의 최대 연간 쇠모율을 초과확률에 대하여 보면, 광석운반선, 석탄운반선 및 목재운반선에 있어서 초과 확률 50%의 연간쇠모율이 0.45~0.50mm이므로, 10년 후의 어떤 검사에서 두께계측을 해보면 두께 10mm 전후의 어떤 부재는 10척중 5척의 비율로 최대쇠모량이 5mm 전후로 되고, 더욱이 초과확률 10%의 연간쇠모율을 0.76~0.90mm이므로 10척에 1척은 10년~12년에 파공될 경우도 있다.

또한 각 선급협회에서는 부식이 심한 해수 발라스트 탱크(Ballast Tank) 등의 구조부재에 대한 연간쇠모율이 0.50mm에 달하는 것으로 가정하여 정기적인 검사시의 부재교환 필요 여부를 결정하고 있다.

표 2-5 판두께 계측치의 평균 및 최대치 (단위 : mm/year)

선종	영부 각수	각선의 연간평균 단순평균치		각선의 연간최대 단순평균치		각선의 연간평균치의 초과확률에 대한 연간 쇠모율		각선의 연간최대치의 초과확률에 대한 연간 쇠모율	
		평균 치	최대 치	평균 치	최대 치	50%	10%	50%	10%
전세선박	519	0.10	0.08	0.34	0.23	0.10	0.25	0.32	0.61
Oil Tanker	89	0.10	0.08	0.40	0.21	0.11	0.22	0.39	0.63
광석운반선	27	0.12	0.08	0.46	0.18	0.14	0.27	0.50	0.76
일반화물선	216	0.09	0.06	0.29	0.15	0.10	0.20	0.28	0.48
목재운반선	37	0.20	0.11	0.55	0.47	0.20	0.37	0.48	0.90

(비고) 전세 선박의 척수와 각 선박의 척수의 합계의 차는, 그 이외의 선박 114척이 있기 때문이다.

### 2.5 선체손상의 경년 변화

선박뿐 만이 아니라, 일반적으로 상기간에 걸쳐 사용하는 기계 계통의 제품은 인간의 유소년기, 청장년기 및 노년기와 유사한 개념을 도입하여 다음의 세가지 시기로 구별할 수 있다.

초기 단계에는 설계 또는 공작의 초보적인 오작이나 진동 및 핸들링(Handling)의 문제에 기인하는 것이 많고 중대 사고에 버금가는 것도 적지아니하다. 이 시기는 대개 조선소의 보증기간 이내이나 이 기간에 발생하는 손상으로 그 제품의 품질이 평가되는 경향도 있다.

우발 단계는 고장손상의 건수는 적으나 도장의 품질불량에 따른 부식이나 상세구조설계의 오작에 의한 피로균열등 쇠모의 초기단계와 초기고장이 혼재한다. 선령으로는 3년에서 8년 사이를 지칭한다고 생각되나 이 기간의 후기에는 부식과 피로의 손상 건수가 증가한다.

쇠모 단계는 선령 12년에서 15년 사이이나 대규모의 부식과 그것에 기인하는 좌굴 등에 의하여 판의 교환이나 재도장이 행하여진다. 또한 기장품 및 선장품 등은 대개 이 시기에 차례로 교환된다.

한편, 선체의 상세구조는 경험공학적 또는 이론적으로도 선령 20년을 목표로 설정되고 있다. 따라서 선령 12~15년에서 부재를 충분하게 교환하여도 합계 선령 24~30년에 재교환을 하여야 하며, 선령이 30년을 넘으면 피로설계(혹은 상세설계)가 문제가 되는 부재의 대부분이 원래 가지고 있던 壽命安全率을 잃고 손상에 이르게 된다.

## 2.6 부식과 수명

선박의 정기적인 검사시에 선급협회의 규칙과 검사원의 판단에 의하여 해당 선체구조부재에 대한 두께계측을 실시하게 되며, 원두께의 25~30% 정도가 부식 쇠퇴하면 동 부재는 교환이 지시된다. 이 검사에서 계측되는 것은 부재의 단순 평균적 부식최모량이다. 또한 부식에 의한 두께 감소로 인하여 부재가 경미한 좌굴이나 붕괴를 일으키는 일도 있으나, 그것이 큰 사고를 유발하지 아니한다 고하는 보장이 없으므로 직결한 검사와 교환 기준이 필요하게 된다.

부식은 孔蝕(Pitting)을 동반하나 孔蝕에 의하여 재료의 역학적 성질, 특히 파단시의 伸張이 변화하는 것이 지적되고 있다. 이것은 부식에 의하여 구조의 殘留延性が 적세되는 것을 시사한다. 또한 부식은 재료의 韌性이 저하되도록 영향을 미치며, 부식에 의한 孔蝕(Pitting)은 노치(Notch)로서의 응력집중을 형성하여 피로강도의 저하를 가져온다.

이러한 사실들에 의하여, 부식은 선박의 수명과 안전에 대한 신뢰성을 低下시키고 있음이 명백하나 이 신뢰성 저하, 즉, 노후선의 구조 파괴에 대한 안전성 저하를 수직적으로 표시하는 것은 어려우며, 또 특수한 경우를 제외하고 사고에 직결되었다는 보고도 없는 실정이다.

## 2.7 선박 수명의 결정 요인

선박뿐 만이 아니라 일반의 구조물의 耐用年數 및 수명은 그 요인별로 '物理壽命', '經濟壽命', '機能壽命'으로 나눌 수 있다.

물리수명은 피로 균열이 발생한다 든가, 부식·쇠모 등에 따라 필요한 신뢰성, 안전성 기준을 유지할 수 없게 되어 사용 불가능할 때까지의 기간을 말한다.

이 경우에 실제 발생된 균열에 따라 漏水 또는 漏油現狀이 심화된다는가, 취성적인 대좌괴로 진행된다는가 또는 부식에 따른 두께감소 구조로서 성립하지 아니하게 되는 것을 의미하는 것은 아니다. 따라서 필요한 안전율을 상실하는 정도의 손상을 받는 시점을 물리수명에 달하였다고 이해하

면 된다. 부품 및 부재에 대하여는 교환이 요구되는 기준에 달한 시점이 수명이다.

경제수명은 부품 및 부재의 손상에 따른 수선비의 증대나 가동율의 저하에 따라 경제적 採算性이 부족하게 되는 시점이다.

기능수명은 새로운 기기나 수송수단 등의 등장에 따라 效用性이 부족하게 되는 시점이다. 다른 업계에도 잘 알려진 선박의 기능수명은 효율적인 수송 및 유통방식에 따라 정기화물선 보다 훨씬싼 비용과 보다 빠른 수송의 컨테이너선이 발전함으로써 일반정기화물선을 구축한 것은 일반정기화물선이 수명에 달한 예이다.

## 3. 腐蝕 損傷의 種類와 防蝕

여기서는 각종 防蝕方法을 이해하는 데 필요한 腐蝕構成 및 방식에 대한 개요를 설명한다.

### 3.1 腐蝕機構

금속이 환경과 화학적 또는 전기화학적 반응에 의하여 표면부터 消耗되는 현상을 총괄하여 부식이라고 한다. 부식에는 필히 화학적인 작용이 관여하는데, 물리적인 원인만으로 損耗하는 경우에도 부식이라고 하나, 그 원인에 따라서 擦傷, 磨耗(Abrasion), Erosion등이라고 한다. 또한 두 가지의 작용이 共存할 경우에는 擦過, 腐蝕(Abrasion), 부식마모 또는 Erosion Corrosion라고 한다.

水分을 동반하지 않는 부식을 乾蝕, 수분을 동반하는 부식을 濕蝕으로 대별하며, 전자는 고온의 공기 또는 反應性 氣스에 의한 경우이며 화학반응으로 진행하고, 후자는 電解質 溶液내에서의 경우로 전기화학반응으로 진행한다.

선박은 그 사용목적에 따라서 구조가 다르나, 일반적인 부식상황의 개요는 표3-1과 같고, 그 부식환경을 ① 電導性이 높은 해수에 항시 잠겨있는 부분, ② 해양의 대기에 폭로된 부분, ③ 해수와 습한 공기 또는 화물에 접하는 3부분으로 나눌 수 있으며, 선박에 있어서의 부식은 수분이 관여되는 습식이므로 그 機構는 전기화학습식이다.

습식에는 迷走電流의 電解作用에 의하여 생기

표 2-1. 일반화물선의 여간 평균 손상 건수비

부위	개설	부식환경	부식형태
수선라부 외관, 軸	탄소강	항시 해수에 침김	용접 또는 해수중의 생물 부착에 의한 도막손상 부위의 局部腐蝕
구선기	동합금	*	구부부식(Erosion, Cavtation)
해수관	탄소강	*	주관에서 직각으로 되는 관의 입구 Valve, Cooler 또는 Pump에 접속 되는 관의 腐蝕 全面腐蝕
각류 Valve류	동합금	*	구부부식
수선상부외관, 기터	탄소강	해양의 대기에 폭포	液膜劣化나 수생부분의 구부부식
화분장	탄소강	화물 Gas 또는 습한 공기가 존재함	주재 또는 도막손상 부분의 부식, 부분의 부식
수선상부 외관 해수 Ballast tank	탄소강	해수와 습한 공기가 교대로 존재함	도막손상 부분의 부식, 응력집중 부분의 부식
유입관		油蒸氣	硫化物에 의한 부식

는 부식, 즉 電蝕이 있으며, 미주전류가 존재하지 않는 경우의 부식과 같고 본질적으로 전기화학적 부식기구에 의하여 일어나는 금속의 Ion화 반응으로 설명된다. 無水有機化合物을 적재하는 케미컬 탱커는 局部電池 형성의 주요 요건의 하나인 電解質이 존재하지 않으므로, 그 부식은 순화학적인 부식에 속하는 것으로 생각할 수 있으나, 물을 함유한 불순물의 혼입에 의하여 특이하게 부식이 촉진되는 경우가 있으므로 역시 전기화학적 부식기구로 생각함이 좋다.

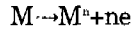
3.1.1 濕蝕

어떠한 금속도 건조한 常溫의 공기 중에 방치할 경우에는, 눈에 보이지 않는 정도의 얇은 酸化膜 그 표면에 나타난다. 그러나 그것은 투명하고 일정한 두께 이상으로 生長하지 않는 것이므로 금속 특유의 광택도 상실하지 않는다.

이것은 녹이라고 하지 않으며, 금속의 온도를 높이면 이 막은 성장하여 두꺼운 산화막이 되고 녹을 생기게 하지만, 이것은 아주 건조한 자연상태에서는 발생하지 않는다. 자연상태에서 금속이 녹스는 것은 필히 금속표면에 물이 접촉하고 있기 때문이며 이러한 자연상태에서의 금속의 부식을 습식이라고 한다.

3.1.2 부식의 전기 화학적 기구

수중에 있어서 금속의 부식반응은 그 대부분이 전기 화학적 반응에 의한 것이다. 부식 진행과정에 있어서 結晶格子중의 金屬原子(M)은 그의 금속 결합력을 상실하고 금속 Ion이 되어 부식환경중으로 이동한다.



이것이 전자를 방출하는 酸化反應 (Anode 반응)이며, 산화반응은 同一系内에서 이것에 대응하는 還元反應(Cathode 반응)이 따르지 않으면 진행되지 않는다.

3.1.3 부식반응의 原動力

부식(습식)은 전기화학적 반응이지만, 그 원동력(Driving Force)은 전기적에너지이므로 반응에 따른 電子의 교환이 이루어지고, 이때 흐르는 전류를 부식전류(Corrosion Current)라 한다. 이때 부식전류와 부식량 사이에는 Faraday 법칙이 적용된다. 이 전류의 발생을 위한 원동력, 즉 부식의 원동력은 전해질 용액 안에 있어서의 陰陽極으로 이루어지는 부식전지(Corrosion Cell)의 전위(Potential)이다.

일반적으로 해수 중에서의 철의 자연 부식속도는 0.1mm/Year라고 알려져 있으며, 이는 평균 0.01mA/cm<sup>2</sup> 정도의 부식전류가 흐르고 있기 때문이다.

3.2 현존선에서의 부식의 形態

3.2.1 銲接線部の 부식

용접선에는 溝狀腐蝕이 많이 발견되는데, 이것은 모재와 용접 열영향부 조직의 차이에 기인하는 것으로서, 부식환경이 비교적 온화할 경우, 예를 들어 전기 방식이 불충분한 경우에 舵나 선저부의 용접부에서 볼 수 있다. 부식환경이 과격하면 모재도 같이 부식하여 구별하기 어려운 경우가 있다. 또한 도장에 의하여 방식을 한 경우, 용접 배드는 표면에 凹凸이 있기 때문에 표면처리가 불충분하기 쉬워 도막이 떨어지기 쉽고, 동시에 도막이



얇은 부분이 생기며, 流速이 빠른 경우에는 이러한 塗膜剝離部를 따라 부식이 발생한다.

### 3.2.2 응력이 집중되는 부분의 부식

금속의 부식 생성물이 금속표면에 부착되면 산소의 공급이 阻害되어 초기의 부식속도를 줄이는 부식억제효과가 생긴다. 그러나 이 녹층은 도장만큼 견고하지 않고 녹층의 성장에 따라 내부응력의 增加와 외부응력의 附加로 인하여 파괴되며 금속부가 노출되어 초기부식에 더하여 부식이 급가속 촉진된다.

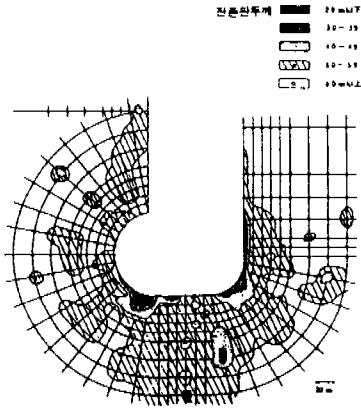


그림 3-1 Girder Web의 Slot부분의 판두께 계측결과와 부식분포(준공후 3년 경과, 원두께 9mm)

그림 3-1은 도장 상태가 불량한 Girder Web의 Slot 부분에 반복응력이 작용하여 부식이 진행된 상태의 판두께 계측결과와 부식분포의 一例를 보인 것으로 응력집중부분의 두께가 선박 인도 후 3년내에 6mm정도 감소되었다. 따라서 응력이 높은 부분의 부식이 타 부분보다 현저히 증가함을 알 수 있다.

녹층의 파괴응력은  $6.5\text{kg/cm}^2$  정도인 것으로 보고되고 있으며, 화불의 심고 내림, 기관 진동, 파랑, 온도의 차이 등에 의하여 발생하는 반복 응력이 부식을 촉진하는 원동력이다.

그러나 부식환경, 응력의 크기, 응력의 附加時點에 따라서 부식촉진 시작 시기가 다르므로 주의 를 요한다. 이와 같은 부식환경 하에서는 응력이

큰 부분의 부식속도가 현저히 증가하게 된다.

### 3.2.3 해수가 滯留하는 부분의 부식

발라스트 겸용 화물유 탱크의 수평부재 상면과 같은 수분이 남기 쉬운 수평부분에 부식이 발생한다. 전기방식이 시공되어 있어도 화물유가 적재되지 않은 때에는 流電作用이 없고 수분이 滯留하여 화물유에서의 각종 가스( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  등)가 용해하면서 부식을 가일층 촉진한다.

화물유 탱크와 부식환경이 유사한 화물유관에도 수평부분이 있는 화물유관 외측 상면과 화물유관 내면의 하부에 관의 길이 방향을 따라 부식이 발생한다.

### 3.2.4 부식쇠모의 형태

부재의 평균쇠모는 도장 및 보수 유지의 상태에 따라 다르나, 일반적으로는 두께에 관계하여 쇠모가 진행된다. 이는 외판이나 상갑판 등 두꺼운 부재가 쇠모로 인한 문제가 발생되기 전에 그 보다 얇은 내부부재는 상당한 범위까지 쇠모가 진행됨을 의미한다. 또한 국부쇠모는 선박에 따라 약간의 차이는 있으나 빠른 것은 건조후 4~5년 경부터 발생되는 경우도 있다.

## 3.3 부식손상의 방지

부식손상을 방지하기 위한 방식법에는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 물과의 접촉을 방지하는 방법
- (2) 回路抵抗을 크게하는 방법
- (3) 電位差를 消滅시키는 방법
- (4) 貴金屬類와 유사한 성질을 부여하는 방법
- (5) 分極을 크게하는 방법

도장, Lining, 방식 Tape 등에 의한 방식법은 (1)과 (2)이고, 전기방식법은 (3)을 主로 하고, 아연도금은 자신을 희생하면서 내부의 鐵을 보호하는 犧牲防蝕法이며, 이는 (3)에 해당되나 아연의 耐蝕性을 향상시키기 위하여 Chromite처리가 실시되면 (4)의 방식법이 된다. 방청제의 첨가는 (3)과 (4)의 방식법이 된다.

3.3.1 도장에 의한 방식 방법

선박의 부식환경과 부식구성은 물과 산소가 존재할 때에 일어나는 습식이며 전기화학반응이 기초이다. 이러한 이유에서 도장에 의한 방식방법도 이 전기화학반응을 어떻게 억제하는가 하고 말할 수 있다.

따라서 대부분의 경우 금속의 표면에 도료를 도장하여 금속의 부식을 줄일 수가 있다. 그러나 특히 도료를 금속 방식의 목적으로 사용할 경우에는, 이 전기화학적 반응을 장기간 동안 실질적으로 억제하는 기능이 요구되며, 이러한 기능을 가진 도료를 防蝕塗料라고 한다.

표 3-2는 도장에 의한 방식기구와 그에 대응하는 방식도료의 종류를 나타내었다.

방식도료는 화물조건이나 대상물의 종류에 따라 단독 또는 조합하여 조건에 가장 적합한 도료계를 선정하여 사용한다. 최근에는 경제적인 면에서 도장의 보수시기를 가급적이면 연장하는 방향으로 진행되고 있으며, 이 때문에 Initial Cost가 비싸더라도 Life cost가 싼 重防蝕塗料(無機 Zinc 도료, Epoxy, Tar Epoxy도료 및 Polyurethane 도료 등)의 도장계가 각광을 받게 되었다.

종래의 방식도료에 너하여, 이러한 중방식도료의 방식기능을 완전히 발휘하게 하기 위하여는 다음의 세가지 조건을 기본적으로도 충분히 관리함이 무엇보다도 중요하다.

※ 목적에 알맞는 도장계의 선정

표 2-1. 일반화물선의 년간 평균 손상 건수비

방식기구의 분류		방식도료의 종류
A. 부과성이 적은 도막을 만들고, 금속 표면의 물이나 Ion의 부과를 적게한다.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phenol 도료</li> <li>• Rubber chloride 도료</li> <li>• Epoxy 도료</li> <li>• Glass flake 도료</li> <li>• Tar epoxy 도료</li> <li>• Vinyl chloride 도료</li> <li>• Aluminium 도료</li> </ul>
B. 저항 도막을 만들고, 희로저항을 크게 하여 흐르는 전류량을 적게한다.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epoxy 도료</li> <li>• Polyurethane 도료</li> <li>• 방침안료를 함유한 각종 방치도료</li> <li>• Tar epoxy 도료</li> <li>• Glass flake 도료</li> </ul>
C. 선류의 발생을 억제한다.	도막층에 함유된 방침안료에 의하여 금속을 부동화한다.	방침안료를 함유한 각종 방치도료
	기초금속에 대하여 양극이 되는 금속 분말 또는 안료를 함유하여 도막을 형성한다.	기초금속보다 Ion화 경향이 큰 금속 분말을 함유한 도료(예 : Zinc 도료, Epoxy zinc primer, Inorganic zinc 도료)
D. 충격, 아교 등의 외적조건에 견디는 도막을 형성한다		<ul style="list-style-type: none"> <li>Epoxy 도료</li> <li>Polyurethane 도료</li> <li>Inorganic zinc 도료</li> <li>Tar epoxy 도료</li> <li>Glass flake 도료</li> </ul>

- ※ 적절한 표면처리
- ※ 적절한 도막 두께 관리

3.3.2 電氣防蝕法

이 방식법은, 방식체를 음극에 접속시켜 방식전류를 흐르게 하고, 그때 발생하는 陰分極을 이용하여 금속표면 電位를 부식하지 않는 안정영역이 되게하는 음극방식법(Cathodic Protection)과 방식체를 양극으로하여 안정영역을 陽分極化하여 방식하는 양극방식법(Anodic Protection)이 있다.

선박관계 방식에 있어서는 양극방식법은 이용되지 않고, 음극방식법이 주로 이용되고 있다.

전기 방식법은 각종 土壤이나 水溶液(담수, 해수, 알칼리용액) 안에서의 철강, 주철, 구리, 황동, 납, 주석, 아연, Aluminium, Nickel, Stainless강 등의 제금속과 합금의 부식을 방지하는데 이용된다. 또한 응력부식절손, 부식피로, 粒界腐蝕, 孔蝕, Cavitation손상, 세균부식 등이 전기방식에 의하여 방지 혹은 경감된다. 그러나 동시에 종중 2차적 작용을 수반하는 경우가 있으며, 그것에는 주로 다음과 같은 것이 있다.

(1) 被膜 形成

전기방식을 적용한 경우, 수소 Ion이나 산소의 환원에 의하여 금속표면에 Alkali가 생성되고 금속표면액의 pH가 상승한다. 철강에 대하여는 pH의 상승이 부식방지효과를 높인다. 또한 생성된 Alkali가 해수, 하천수등에서는 용해성분과 반응하여 석회질 피막을 형성한다. 이것을 電解被膜(Electro Coating)이라고 한다. 전해피막은 CaCO<sub>3</sub>와 Mg(OH)<sub>2</sub>가 주성분이며, 이 피막은 한 번 형성되면, 소요방식전류가 크게 줄어들어도 금속면상의 방식전류의 분포를 균일하게 하고 방식전류의 중단후에도 상당기간동안 금속면을 방식하는 성능을 가지고 있다.

(2) 過防蝕의 영향

1) 陰極腐蝕

Aluminium, 납, 아연과 같은 兩性金屬은 과잉 방식전류가 적용되면, 생성된 Alkali에 의하여 2차적 부식(이것을 음극부식이라 함)이 생기고 부

식량이 증대하여 수而腐蝕을 일으킨다. 따라서 이와 같은 금속의 전기방식에는 적절한 전위범위를 유지함이 필요하다.

2) 水素의 영향

과잉 방식전류로 인하여 금속표면에서 수소를 발생시키는 경우에는 原子狀水素가 금속 안에 침입하여 절손을 일으키는 수도 있다. 그러나 인장강도  $60\text{kg/mm}^2$  이하의 鋼은 이로 인한 절손이 거의 없다.

4. 散積貨物船의 腐蝕·衰耗 現狀

4.1 산적화물선의 구조 개요

산적화물선은, 일반적으로 화물구역 내에 있는 갑판이 단층구조이고 Top Side Tank 및 Bilge Hopper Tank를 가진 구조로써, 주로 고품의 선화물을 산적하여 운송하는 선박을 말하며 광석운반선, 석탄운반선, 복재운반선, 곡류운반선 등이 이에 속한다. 이는 예전에 곡류 등의 소위 Grain Cargo를 일반화물선으로 수송하였지만 곡류의 해상수송량의 증가로 인하여 그에 적합한 현재의 선형이 채용되기에 이르렀으며, 그 후 석탄, 광석등도 운송하게 되고 목재, 차량, 원유 등을 운반하는 겸용선도 출현하였다.

산적화물선의 대표적인 구획배치도를 그림4-1에 보이고, 또한 구조의 개요를 서술한다.

4.1.1 Top Side Tank

산적화물선은 화물표면의 침하와 이동으로 발생하는 橫傾斜모멘트(Transverse Shifting Moment)를 억제하여 이에 대한 충분한 안정성을 확보할 수 있도록 화물창의 양현에 Top Side Tank를 설치하고 있다. Top Side Tank의 傾斜底板은 화물, 특히 곡류의 표면침하에 의한 空所가 형성되지 않도록 수평면에 대하여  $30^\circ$  이상의 경사를 가진 구조를 채택하고 있다. 또한, Top Side Tank는 이중저와 함께 발라스트 확보의 중요한 탱크로 사용되고 있으며, 그 구조방식은 대부분의 선박이 중늑골식 구조를 채택하고 있음에 따라서

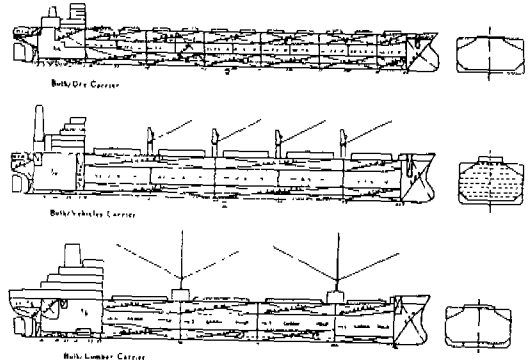


그림 4-1. 산적화물선의 대표적인 구획배치도

적당한 간격으로 Web Girder 또는 Diaphragm을 설치하는 것이 일반적이다.

4.1.2 이중저 및 Bilge Hopper Tank

산적화물선은 이중저의 양측에 Bilge Hopper Tank를 갖는 것이 큰 특징으로, 이 Hopper Tank의 경사판은 산적화물의 Self-Trimming 특성을 활용하여 하역효율을 높이기 위한 것으로 수평면에 대하여  $40\sim 60^\circ$  정도의 경사를 가지도록 설치된다. 산적화물선은 유조선과 같은 종격벽에 의한 지지가 없기 때문에 선박이 대형화하면 선측외판 및 횡격벽으로 둘러싸인 이중저가 큰 Panel이 되지만, Hopper Tank에 의하여 Panel의 크기가 다소 감소된다. 이중저 및 Bilge Hopper Tank는 모두 중늑골구조방식을 채택하고 있다.

4.1.3 화물창내의 선측구조 및 횡격벽구조

선측구조는 횡늑골식의 Single Hull 구조가 일반적이지만 일부는 Double Hull구조의 것도 있다. 창내늑골은 전체적으로 동일 흔법의 것을 배치하는 경우와 3~6개 마다 특설늑골을 배치하는 경우가 있으나 전자가 일반적이다.

횡격벽구조는 수직 보강식 평면격벽, 수직과형격벽, 수평과형격벽등이 있으나 수직과형격벽이 대부분을 차지한다. 또한, 적하의 Self-Trimming이나 격벽의 Panel 면적 증가의 억제를 위하여 하부(및 상부)에 Stool을 설치하기도 한다.

#### 4.1.4 Ballast Tank 및 화물창

겸용선을 제외한 산적화물선은 그 특성상 往航이 Ballast 항해로 되는 경우가 많으므로 Ballast Tank는 매우 중요한 역할을 한다. 중소형선에서는 이중지, Top Side Tank, 선수미 탱크로써 필요한 용량을 확보할 수 있지만, 대형선에는 이것만으로 부족하여 중앙부 화물창을 발라스트 겸용창 구조로 하는 것이 일반적이다. 또한, 화물창은 비중이 큰 화물운송을 대비한 Alternate Loading이 가능하도록 설계 및 배치되는 것이 통상적이다.

### 4.2 산적화물의 손상推移

#### 4.2.1 손상의 개요

산적화물선 1척에 대한 평균손상건수별 균열, 변형 및 쇄모의 각 손상형태별, 선령별의 추이에 대한 사항을 선령 15년의 값을 100으로 한 비율로 표시하여 그림4-2에 나타내었다. 이에 따르면, 손상건수는 4년마다 시행하는 정기 검사의 2회째 시기에 해당하는 선령 8년째부터 증가하기 시작하여 3회째 12년에 급증하고, 그후 1~2년은 감소하지만 다시 15년째가 최대가 됨을 알 수 있다. 또, 손상형태별로서는, 선령 10년 이후에 있어서는 쇄모손상이 지배적으로 많음을 나타내고 있다.

#### 4.2.2 부재별 손상발생율

손상이 발생한 모든 산적화물선에 대하여, 각 구획별 손상발생이 많은 구조부재를 살펴보면 창내늑골 및 Hatch Coaming이 많고, 다음으로 Top Side Tank 내의 손상이 많으며, 그 내역은 아래와

같다.

(1) 화물구획의 창내늑골의 손상이 가장 많으며, 이는 쇄모가 주원인이다.

(2) Hatch Coaming의 손상이 그 다음이며, 주로 쇄모손상 또는 균열손상이다.

(3) 상갑판의 Cross Deck, Top Side Tank의 경사저판에 손상이 많으며, 이 역시 쇄모에 의한 손상이 대부분이다.

(4) 창내 횡격벽, Bilge Hopper 내의 수밀 Floor, Top Side Tank 내의 수밀격벽에 손상이 많으며, 이 손상의 대부분은 쇄모에 의한 균열 또는 파공이다.

### 4.3 쇄모로 인한 구조부재의 손상사례

#### 4.3.1 창내늑골의 손상

4.2.2에서와 같이, 쇄모로 인한 손상이 가장 많은 구조부재가 창내늑골이다. 이는 특히 철광석 또는 석탄을 운송하는 산적화물선에서 심하며, 이것은 철광석이나 석탄 등을 운송하는 경우, 화물창 내부를 도장하여도 하역시의 충격등으로 인하여 창내늑골 등의 도막이 쉽게 떨어져 부식발생이 쉬운 환경으로 되는 것도 영향이라고 생각된다. 이 경우에, 쇄모는 창내늑골의 상하단부의 응력이 큰 개소에서 面材보다 Web부분으로부터 부식이 시작되어 균열파단에 이르게 된다.

Single Hull 구조의 산적화물선에 있어서는, 창내늑골의 손상이 외판의 균열을 초래하여 艙内浸水を 유발하여 감항성에 지장을 가져오는 중대한 사고를 초래하는 경우도 있으므로 창내늑골의 보수관리를 충분히 하는 것은 선박의 안정성 확보를 위하여 대단히 중요하다.

그림 4-3은 산적화물선에 있어서 중대 손상 사례로, 창내늑골이 쇄모 파단함으로 인하여 선측외판에 균열이 발생하여 화물창 내에 浸水事故를 일으킨 선령 10년인 선박에 대한 손상개소 부근 늑골의 두께 계측을 행한 결과를 나타낸 것이다. 본선의 창내늑골은 신조 이후 교환되지 않았고, 손상발생 당시의 Web는 두께 4~5mm 정도로 쇄모된 상태이었다.

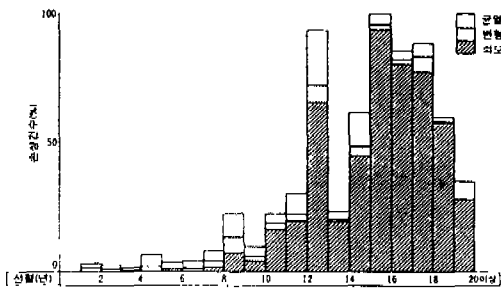


그림 4-2. 산적화물선 1척당 평균 손상건수

의 각 부위에 대한 부식·쇠모 현상과 보수, 유지 실태 및 추후 대책 등을 요약하여 나열하였다.

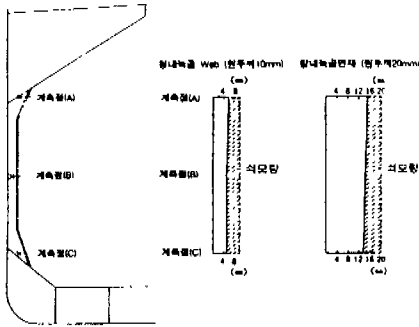


그림 4-3 중대손상을 일으킨 산적화물선의 창내늑골

### 4.3.2 艙內肋骨의 두께 計測

그림 4-4에는 광석 또는 식탄을 운송하는 몇 척의 대표적인 대형 산적화물선에 대하여 측정된 창내늑골의 판두께 계측치를 나타내었다. 이 수척의 선박들에 대한 조사 결과, 선령 10년 정도된 선박의 Frame Web와 Face Plate의 쇠모량은 공히 3.5mm에서 4.0mm이며 그후 년간 0.4mm에서 0.5mm의 비율로 쇠모가 진행되는 경향을 알 수 있다. 또한, 창내늑골 상단부 및 하단부의 잔존 판두께는 큰 차이가 없으므로 쇠모 진행양상은 동일하다 하겠다.

### 4.4 현존선의 부식·쇠모 실태

표 4.1과 표 4.2는 다음의 표들에 취항중인 선박

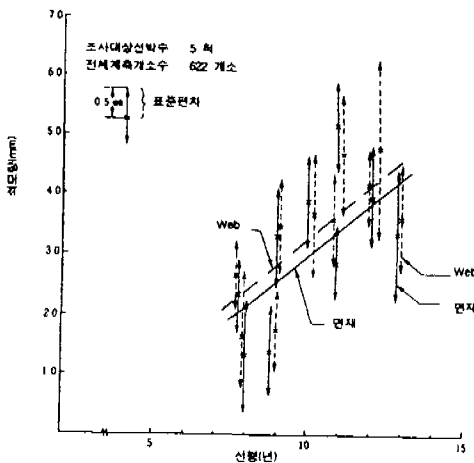


그림 4-4 창내늑골의 판두께 계측 결과

## 5. 現存 散積貨物船의 防蝕 對策

### 5.1 구조부재에 대한 수리와 보강

표 4-1 외판 및 삼감판

부위	현상	현상
외현부 및 수선부	① 전 선박은 매 입거시에 외현부 및 수선부의 전면 또는 일부에 대한 도장보수를 시행함	④ 신조시의 도막두께는 입거 간격을 고려하여 결정한다. 예를 들면, 입거 간격이 2년인 경우에는 CRAC × 120μ 이상이 바람직하다.
	② 규돌 등의 용접부에 발청이 많음.	⑤ 다른 물체와의 접촉이 많은 개소의 AC로는 PE 또는 TE 등의 사용이 바람직하다.
선저부	③ 광석운반선, 산적화물선 등에는 Round Gunwale 부에 발청이 현저함.	⑥ 광석 등의 낙하충격이 있는 광석운반선 등의 Gunwale 부에는 충격에 강한 도료를 사용한다.
	④ 부재쇠모는 선체의 외현부 외판에서 최대 0.04mm/year, 수선부 외판에서 최대 0.01mm/year정도임.	⑦ 입거시마다 도장보수를 한다면 부식·쇠모에 대하여는 CRAC가 충분하다고 생각된다.
삼감판	① Paint의 마모가 심한 것으로 보이는 선수부근의 용접 Seam에 발청이 나타남.	⑧ 도막의 부풀음은 CR의 경우에 한정되는 것으로 보이나 이를 위하여 TEAC의 채용을 검토함이 좋다.
	② ICCP(Impressed Current Cathodic Protection)을 채용한 선박은 과방식에 기인한 도막의 불풀음이 발생함	⑨ 입거시는 청수로 완전히 세척하는 것이 필요하다.
외판	③ 선저 Flat부에 잔류염분에 기인한 것으로 생각되는 도막의 박리가 생김.	⑩ 해당부분 외판의 쇠모는 최대 0.14mm/year 정도임
	④ 해당부분 외판의 쇠모는 최대 0.14mm/year 정도임	⑪ 상감판은 입거시 만이 아니라 승무원에 의한 항행중의 보수작업이 필요하다.
삼감판	① FE의 경우에는 3~4년째부터 부분적 보수가 필요함.	⑫ 내충격성이 좋은 도료의 채택이 필요하다.
	② 산적화물선의 Cross Deck 쇠모는 최대 0.14mm/year 이고, 광석운반선의 Cross Deck 쇠모는 0.5mm/year 에 달하는 경우도 있음.	
외판	③ 광석운반선에는 화불의 낙하에 의한 발청의 경우도 있음.	

표 4-2 화물창 및 Tank 등

부위	현상	원인
화물창	① 산적화물선의 창내늑골의 쇠모량은 0.35mm/year 정도로 크기 때문에 선령이 10년 이상인 선박은 창내늑골을 교환하는 경우가 많음. 또한 8년째 경부부터 Bilge Hopper Plates의 용접부에 균열이 발생. Grab 등의 사용에 의한 Mechanical Damage 보나 부식, 쇠모에 의한 손상이 많음. ② 광석운반선의 종격벽, 이중저성판 등의 화물과 접촉하는 부분의 쇠모량은 0.48mm/year 정도로 크기 때문에 부재의 교체나 보강이 8년째부터 증가함.	② 창내늑골, Bilge Hopper Plates 등의 쇠모가 심한 부분에 대하여는 선조시에 두께를 증가시키고, 입기시마다 충분한 도장보수의 실사가 필요하다. 곡류등을 적재하는 선박에는 화물창의 도장에 유의할 필요가 있고, 사용도료는 FDA(Food and Drug Administration of United State Public Health Service)등의 규격에 적합한 도장시약을 채택하여야 한다. ③ 종격벽에 대하여는 화물창 측으로부터의 방식이 곤란하므로 Ballast Tank 측으로부터 충분한 방식 대책을 실시할 필요가 있다.
선서부	① 선기방식에서 중방식으로 사양이 변하면서 선각보수는 대폭 감소하고 있음. ② 여러 종류의 도료가 사용되어 왔지만 TE에 수렴되고 있음.	④ 일반적으로는 TE×200μ이 좋으나 광석운반선 등의 종격벽에는 TE×250μ이상이 바람직하다. ⑥ 도장관리를 충분히 실시하는 것이 대단히 중요하여 방식수명에 큰 영향을 미친다.
상갑판	① Water Cement에서 중방식(주로 PE)로 사양이 변하고 있으며, 선각보호보다 청수의 수직보호가 우선임. ② Sharp Edge부나 Tank의 부에 도막 손상이 많음. ③ 보통형(OL, CR)이나 고급형(TE, IZ)도료 전부가 사용되고 있음. ④ 광석운반선은 다른 선종에 비하여 Void Space가 크고, 땀이 나거나 변형으로 도막이 열화하기 쉽다.	③ PE 2회 이상(두께 합계 200μ 이상)이 필요하다. ④ 가능한 Grinder로 모서리를 등갈게 연마한 후에 붓으로 선행도장을 실시함이 수질 보호에 유효하다. ⑤ OL, CR로도 분체는 없으나, 땀이 나는 등으로 물이 고이기 쉬운 곳에는 TE 도장이 바람직하다. ⑥ 광석운반선은 타선종에 비하여 선각에의 영향이 가혹하므로 방식성을 높이기 위하여 TE도장이 좋다.

현재 운항중인 선박에 대하여는 정기적인 검사시에 선체손상의 조기 발견과 적절한 보수 보강에 의한 손상의 재발 방지가 필요하다. 특히 대형선과 高密度船(예, 정기항로 Container)에 있어서는 정기적인 검사시기 이외의 시기에 손상발견과 보수를 위한 정선은 큰 손실(停船 損失費)을 초래하는 등으로 정기적 검사와 수리의 기간에 대한 단축이 강하게 요구되고 있다. 따라서 발생된 손상을 단기간 내에 요령있게 발견하기 위하여는, 그동안에 발견된 본선의 손상 내용과 유사선의 손상 상태를 사전에 선급검사원에게 통보하는 것이 바람직하다.

이러한 관점 및 검사강화의 차원에서, 각 선급협회에서는 유조선이나 산적화물선 소유자가 검사원이 검사시 쉽게 이용할 수 있도록 다음의 서류를 선내에 비치하고 유지하도록 의무화하고 있다.

- (1) 의심구역, 정밀검사범위, 두께계측범위 및 Tank시험 등을 고려한 검사준비, 검사 보조시설과 검사장비에 관한 사항이 포함되고 선급의 검사원과 협의하여 작성한 정기검사계획서
- (2) 이전의 선체구조부재 검사보고서, 검사요약서와 판두께 계측보고서
- (3) 화물 및 발라스트기록, 수리 기록과 주요 구조도면
- (4) 일반적인 구조의 손상 유무, 격벽 및 관장치의 누출 유무, 도장 상태 등에 대한 선박소유자의 검사기록

### 5.1.1 선체손상 정보 시스템

선급은 선박의 건조부터 취항, 해체까지의 검사업무를 통하여 일관되게 손상정보를 수집하여 종합하기 좋은 입장에 있다.

따라서, 한국선급을 비롯한 각 선급협회는 손상정보를 활용하기 위한 Feed Back System을 구축하고 있다. 이에 의하면, 선박의 정기적인 검사를 통하여 각 선박의 선체구조, 기관 및 의장에 대한 손상정보가 수집 입력되고, 이 자료를 배의 종류, 크기, 선령, 구조부재와 함께 분류 집계한 다음에 이것을 Data Base로하여 여러 가지 각도에서 정보를 추출한다. 그리고 추출된 정보를 해석하여 규

직의 제정이나 개칭 부문, 도면 심사부문에 반영하고, 차기 선박감사시 손상정보를 제공하여 보다 효율적인 선박검사가 이루어지도록 하는 등, 감사부문에 각각 필요한 정보를 제공하게 된다.

또한 선체손상정보의 피이드 백에 의하여 산적 화물선의 구조 가운데 손상이 일어나기 쉬운 개소에 대한 설계구조 개선이 이루어지고 부록 A와 같다. 예를 들면, 유조선이나 광탄선 등 대형전용선의 Girder 구조는 종래에는 주로 압힘응력을 고려하여 촌빔이 걸렸되었으나, 전단응력에 의한 좌굴이나 균열 손상이 발생하는 일이 있어 새로이 선단강도도 고려, Girder의 촌빔을 증가하므로써 이러한 손상은 감소하였다. 또한 Girder와 Stiffener 또는 Longitudinal과의 교차부의 Slot 주위에는 균열손상이 자주 발생하는 경우가 있었으나, Slot 부에 Collor plate 설치, 그 위에 Backing Bracket 를 취부하는 등으로 손상을 방지하였다.

5.1.2 구조부재의 손상에 대한 고려

어느 선박의 구조부재에서 일반손상을 발견한 경우, 곧 강도부족이라고 판단하여 복선은 물론 타 선박까지 점검하여 보강하는 것은 과대평가가 되는 경우가 많다. 손상이 발견된 경우의 조치에 대하여 아래에 서술한다.

- (1) 손상은 보수하여 원상태로 복구한다.
- (2) 손상의 원인이 2.2.2의 (1)내지 (5)의 어디에 해당하는지를 검토한다. 비정상적인 환경에 조우하거나 비정상적인 積敷에 기인한 것이라면 원상태로 복구하면 된다.
- (3) 구조상의 불연속이 원인이라면 불연속 구조를 완화한다던가 또는 구조치수를 증가하여 응력을 감소시킨다.
- (4) 공작결함이나 재질불량이 원인이라면 결함을 제거하거나 부재를 교체한다.
- (5) 부식·쇠모가 원인이라면 적당한 크기의 것으로 새로이 교체후 방식 조치한다.
- (6) 그 부재와 동종의 부재를 조사하여 손상의 징후가 있으면 손상부재와 동일한 조치를 취한다.
- (7) 통상의 해상기후나 직부상태에서 중대한 손상이

일어난 경우에는 동형·동종의 선박에 대하여 손상 또는 그 이외의 징후의 여부를 조사한다.  
 (8) 동종의 선박에서 같은 손상이 발생되어 있는 경우에는 구조강도 해석 등의 상세한 검토를 행하여 적절한 보강대책을 마련하는 것과 함께 이후에 건조되는 신조선에 피이드 백 한다. 이러한 일련의 조치가 시스템화하여 기능하는 것이 이상적이지만 현실적으로 공기, 조사기간과 방법 등의 관계에서 완전하게 기능되기는 어렵다. 그러나 다소 불완전하여도 선조, 조선소 및 선급의 끊임없는 노력이 계속되고 있다.

5.1.3 선체구조부재의 衰耗限度

선체구조부재 및 강재 의장품의 보수 필요 여부를 판단할 때의 쇄모한도의 기준치에 대한 예를 표 5-1에 보이며, 여기서 쇄모한도라 함은 허용되는 쇄모한계치를 말한다. 그러나 종강도 부재의 경우에는 선체가 종강도상의 쇄모한도에 도달하지 않은 것을 조건으로 적용되어야 하며, 표 상의 쇄모한도의 75%이상 부식된 과도한 부식이 발견될 경우에는 상세한 조사를 통하여 수리에 대한 계획을 세워야 한다.

표 5-1 선체구조부재의 쇄모한도

부재명칭	쇄모한도
외판, 강력감판, 상력감판 및 현축후판의 중봉부재, Deep Tank의 격면판, 이중저 내저판	원래 두께의 20% + 1mm
이중저의 Floor, Girder, 큰 팔재의 Web 및 면재	원래 두께의 25%
상내수골의 Web 및 Bracket	원래 두께의 25% 또는 2.5mm 중 큰값
작은 팔재의 Web와 면재 및 Bracket, 수밀 격벽, 유효상판, Hatch Cover, Hatch Beam	원래 두께의 30%

(비고) 쇄모한도의 값은 부재의 균등 쇄모시의 한계치를 표시하고, 국부적인 부식의 경계에는 원래 두께의 35%를 기준으로 하며, 작은 골재는 다른 보강재를 지지하지 않는 부재를 말한다.

5.2 도장에 대한 보수

앞에서 신조선의 방식사양을 언급하였음에도 불구하고 실제로는 이런 종류의 방식방법이 항구적으로 유효하지는 않기 때문에 이를 기대한다면

식질한 보수가 필요하다. 여기서는 그 목적을 달성하는 방법을 기술한다.

### 5.2.1 방식도장의 耐久性.

鐵은 부식이라고 하는 숙명적인 결함이 있어서 적절한 방식수단을 취하지 않는 한 점차 부식하여 자연에 환원된다. 따라서 특히 심각한 부식환경에 노출되는 선박에서는, 아무리 우수한 선박일지라도 식질한 방식도장을 실시하지 않을 경우에는 급격한 속도로 부식이 진행되어 선박 자체의 耐用年數가 단축될 뿐만 아니라 재도장이나 강새를 교체할 동안 운항을 중지하여야 하고 보수에 막대한 비용이 소요된다. 이러한 이유로 방식도장의 도장계 검토는 초기 비용 뿐만 아니라 Life - Time Maintenance를 충분히 고려한 종합적인 관점에서 실시함이 가장 이상적이다.

그러나 실제 방식도장의 경제성을 검토할 경우에는 몇 년후에 도장보수가 필요한가, Touch-up 비율은 몇 %인가, 또는 대폭적인 재도장을 하기까지 耐用年數는 몇 년인가 등을 정확히 추정하는 것은 대단히 어렵다. 방식도장의 내용년수를 정확히 추정하기 위하여는 피도장물 자체의 부식환경 즉, 온도변화, 대기의 영향, 침적조건, 화학적 환경 등을 정확히 알 필요가 있으나, 피도장물이 항시 이동하는 선박이므로 이를 추정함이 거의 불가능하다.

반면에 도장 그 자체도 도료나 도장계의 종류, 표면처리, 도장기술 및 도장환경 등에 의한 영향을 받는다. 더욱이 이들 요소가 조합될 수 있는 경우의 수는 무수하고, 각각의 조합에 대하여 실험하는 것은 실제적으로 불가능에 가깝다. 따라서 방식도장의 내용년수 추정은 塗料 개개의 요소에 대한 실험결과와 실선의 실적을 종합하여, 부식환경 가운데 가장 부식을 촉진하는 조건과 그에 대한 도장계의 내구성을 조합함으로써 실용적인 내용년수를 비교적 정확하게 추정할 수 있다.

### 5.2.2 再塗裝 時期

강구조물의 재도장은 도막의 劣化나 녹의 발생이 그다지 진행되기 전에 실시함이 매우 중요하다.

다. 특히 녹이나 剝離가 상당히 진행된 후에는 표면처리에 막대한 비용이 소요될 뿐만 아니라 재도장에 상시간을 소요하게 된다. 따라서 防蝕의 관점에서 보면 재도장의 시기는 빠르면 빠를수록 좋으나 너무빨리 시행하면 오히려 비경제적이다. 재도장 시기의 결정은 도막의 劣化 정도 또는 녹의 상태를 파악하여 판단하여야 하나 부식환경과 도장계의 종류에 따라서 다르기 때문에 상당히 어려운 문제이다. 특히 그 시기는 경제적으로 가장 유리한 시기를 선택하여야 하나 이것에 관한 자료는 거의 찾을 수가 없다. 다만, 경험적인 관점에서 다음과 같은 판단기준을 제시될 수 있을 뿐이다.

(1) 국부적인 보수의 경우(IACS분류 Fair 상태에 해당)

평면부에 면적의 5%, Edge부에 면적의 30%에 달하는 도막결함(녹, 부풀음, 剝離등)이 발생한 때.

(2) 대폭적이거나 선택적인 재도장의 경우(IACS분류 Poor상태에 해당)

전체 면적의 20%이상에 달하는 도막결함(녹, 부풀음, 박리등)이 발생한 때.

### 5.2.3 도막열화의 관별 방법

도막의 劣化度를 현장에서 간단하게 관별하는 방법을 다음에 설명한다.

#### (1) 작은 눈 테이프 테스트

날이 얇은 칼을 이용하여 도막에 부재면까지 달하는 작은 눈을 자르고, 그 위에 Cellophane Tape를 붙였다가 떼어내어 부착력을 시험한다. 이때 도막이 떨어져 나온다면 열화된 도막이라고 판정한다. 다만, 도막의 두께에 따라 각각 다음과 같이 작은 눈을 절단한다.

- 100 $\mu$  이하의 경우 2~3mm 작은 눈 절단
- 100~150 $\mu$ 의 경우 3~5mm 작은 눈 절단
- 150 $\mu$  이상의 경우 5~10mm 평형하게 절단

#### (2) 도료의 덧칠 테스트

도막에 예리한 칼등으로 부재면까지 달하는 상처를 내고, 거기에 덧칠에 사용하는 도료를 칠하여 약 16시간 정도 방치한 후, 도막의 상태를 보아서 塗膜의 부풀음이나 줄어듬이 없으면 活膜이라



고 판정할 수 있다. 도막은 얼핏 보아 붙어있는 것처럼 보이지만 보수용 도료를 덧칠할 경우에는, 덧칠한 도료의 硬化에 따라 구도막이 들리는 일이 있다.

**5.3 재도장시의 주의사항**

(1) 표면처리

도장보수시의 표면처리도 신조시와 기본적으로는 다름이 없지만, 보수의 경우에는 工具, 시간 등의 제약에 의하여 충분한 처리는 어렵다. 그러나, 식어도 다음의 항목들은 만족시킬 필요가 있다.

- 불, 기름등은 완전히 제거한다.
- 흘러나온 녹, 부풀음등은 Scrubber, Disk Sander 등으로 제거한다.
- 강재 표면의 녹은 Wire Brush, Power Brush, Disk Sander 등으로 제거한다.
- Tar Epoxy 도막 등의 도장간격에 제한이 있는 도막면의 덧칠한 부분은 Sand Paper, Disk Sander 등으로 면을 약간 거칠게 한다.
- Chalking을 일으키고 있는 Epoxy 도막등은 물로 씻어 表層의 白堊化層을 제거한다.
- 내대적이거나 전면적인 재도장의 경우에는 신조시와 동일한 표면처리가 바람직하다.

(2) 환기

도료에는 溶劑가 포함되어 있어, 탱크등의 밀폐 구역을 도장하면 휘발된 용제 가스가 축만하여 위험한 상태가 된다. 또한, 도막의 건조과정에 있어서 용제의 휘발이 완전하지 않으면, 용제가 도막에 잔류하여 도막기능을 저하시킨다. 따라서, 안전위생관리나 정상적인 도막을 얻기 위하여는 충분한 환기가 필요하다.

(3) 도막의 건조경화 덧칠 간격

재도장시에는 작업시간의 제약 때문에 덧칠 간격을 충분하게 삼을 수 없는 경우가 많다. 그러나, 下層의 도막이 충분하게 경화하지 않은 경우에는, 쏠어들거나 얼룩, 번짐 등 여러 가지 장애가 생긴다. 도료의 종류에 따라 다소 다르나, 일반적으로 말해서 덧칠을 하여도 좋은 시기는 손가락으로 도

막을 눌러서 指紋이 찍히지 않게 된 때, 이른바 硬化乾燥 이후이다. 그것은 휘발해야 할 용제가 말산하여 도막의 섞임 등의 화학반응이 거의 종료된 시점이다. 그러나, 화학반응이 종료(완전건조)하기까지는 역시 긴 시간을 요한다. 도막의 건조경화의 機構는 도료의 종류에 따라 다르고, 그에 따라 덧칠 시간도 달라진다.

다음의 표5-2에 대표적인 도료의 건조경화 기

표 5-2 각종도료의 건조기구와 최단 덧칠 시간

도료의 종류	신조의 종류	건조경화의 기구	최단 덧칠 시간
油性 塗料	溶劑 揮發, 酸化 重合	용제 휘발 후 공기중의 산소의 산화 중합하여 굳어짐	약 18시간
鹽化고무도료 鹽化 Vinyl樹脂도료	용제 휘발	용제가 휘발하는 것 만으로 건조되며 굳어짐	약 3~5시간
Epoxy 수지도료	용제 휘발, 중합 반응	용제 휘발과 같이 성분 상호가 무가중합하여 굳어짐	약 8~16시간

구와 최단 덧칠 시간을 보인다.

표5-2에 보인 최단 덧칠 시간은 20℃에서 각각 도료의 표준 두께에서의 목표를 나타낸 것으로 제조자에 따라서 다소 달라진다. 실제 도장작업시에는 사용하는 도료 제조자의 기술사료를 참조함이 좋다.

염화고무도료나 염화 Vinyl 수지도료등과 같이 용제의 휘발에 의해 건조경화하는 것은 온도에 의한 영향은 적으나, 화학반응에 의해 건조경화하는 Epoxy 수지도료등은 온도의 현저한 영향을 받는다. 그 때문에 저온의 경우에는 경화가 늦어지고, 경화되지 않은 시점에서 結露나 降雨가 있게 되면 수분에 의해 도막중의 경화제가 溶出되어 경화불량이나 도장면의 白化 등을 일으켜 도막성능에 악영향을 끼치는 일이 있다. 곧, 도장후의 天候에 유의할 것, 또한 탱크내 도장의 경우에 물을 채우기까지의 시간이 부족한 경우는 온도를 높여 도장하는 것이 필요하다.

도장후 환기나 온도, 습도 등의 관리를 실시하여 충분한 건조경화의 과정을 따르는 것은 중요한 일로써 이 과정을 養生期間이라고 말하며, 탱크

등의 注水까지의 乾燥期間을 의미한다. 양생기간은 도료의 종류, 도막 두께, 온도 및 환기 조건 등에 차이가 있으므로 역시 제조사의 기술자료를 참조함이 바람직하다.

### 5.4 Anode의 교환

#### 5.4.1 無塗裝 Ballast Tank의 전기방식 보수

##### (1) 탱크내 陽極의 확인방법

Tank내에 취부되어 있는 양극은 물이 차면 방식전류를 발생하고, 그 漲水實積에 비례하여 소모된다. Mg양극은 소모되어도 양극의 표면에 水酸化物이 부착되지 않는다. 그러나, Zn, Al양극은 수산화물로 덮인다. 따라서 양극의 남은 중량을 측정할 경우는 양극표면을 Hammer등으로 두드려서 수산화물을 제거하고 양극의 칫수를 측정할 필요가 있다.

##### (2) 양극의 耐用 日數

실제 측정한 양극의 칫수에 의하여 중량을 산출한다.

Al양극의 잔여 중량(kg) = 체적(cm<sup>3</sup>) × 2.7

Zn양극의 잔여 중량(kg) = 체적(cm<sup>3</sup>) × 7.1

따라서 대략의 잔여수명 즉, 내용일수는

$$\text{내용일수} = \frac{\text{잔여양극중량(kg)} \times \text{조사한 때까지의 漲水日數}}{\text{최초의 양극중량(kg)} - \text{잔여양극중량(kg)}}$$

이렇게 계산한 내용일수에 여유가 없는 경우에는, 양극을 교환하거나 증설하여야 한다.

#### 5.4.2 塗裝 Ballast Tank의 陽極補充

신조시 취부한 Back-up용 양극은, 일반적으로 2년 후에 교환되도록 취부하나, 탱크내부가 도장이 되어 있으므로 양극의 수명이 4배 정도, 즉 8년 후에 교체하여도 될 정도로 길어지는 일이 많다. 따라서 입거시 탱크 내의 양극의 칫수와 중량을 확인하여 양극이 완전히 소모되거나 조금 남아있을 경우에는 교환할 필요가 있다. 교환할 때의 양극은 신조시와 같은 양극형을 사용하면 좋다.

#### 5.4.3 도장 Ballast Tank의 電氣防蝕 보수

완전한 도장면에 대하여는 전기방식을 할 필요가 없고, 또한 방식전류도 유입되지 않는다. 진기 방식은 도막의 손상부나 Pin Hole, 도막이 열화하여 절연저항이 低下된 箇所를 대상으로 시공되는 것이다. 도장한 탱크에 대하여 중간에 양극을 취부할 경우는, 塗裝系의 經年 劣化와 전기방식 시공시의 도장 박리변적, 더욱이 공사에 수반되는 도막의 손상면적을 합하여 필요한 방식전류가 얻어지도록 양극 취부수량을 결정한다.

양극의 壽命, 양극의 취부시기는 도장계의 내용년수에 관계되나 대개 표5-3과 같다.

표 5-3 양극의 수명과 취부 시기

塗裝系	耐用年數	양극 취부 시기
Epoxy 계, Tar epoxy	제8~15년	약 8년 후, 도막열화 민식이 해당 Tank의 2~3%에 달할 시기에 취부

#### 5.4.4 외판 방식용 流電陽極의 보수

##### (1) 양극이 완전히 소모된 경우

入渠時에 선체외판에 취부되어 있는 流電陽極이 완전히 소모되어 있으나 부식이 발생하지 않은 경우에는, 자기 입거까지의 안전율을 감안하여 신조시에 취부된 양극보다 두께가 5~10mm 두꺼운 것을 동일 위치에 취부한다.

##### (2) 양극은 남아 있으나 부식이 발생한 경우

입거시에 선체외판에 취부되어 있는 流電陽極이 남아 있으나 Propeller, Stern Frame 등의 선미부 구조물에 부식이 발생한 경우에는 방식전류가 부족하므로 동형의 양극을 증설할 필요가 있다.

#### 5.4.5 外部電源方式의 외판양극 보수

외판에 취부된 외부전원방식의 양극은 내용년수가 굉장히 길고, 그다지 문제를 일으키지 않는다. 그러나, 취부된 양극수가 부족하여 장치에 고장을 일으키면 충분한 방식이 되지 않는다. 이러한 경우, 양극전류가 흐르고 있으며 선체 電位가 -800mV인 때는 문제가 없다. 그러나, 방식전류가 상당히 적고 선체전위가 방식전위에 달하지 않는

경우에는, 방식전류가 부족하다고 생각되므로 장치 취급설명서를 참조하여 승무원이 직접 조정한다. 이 방법이 적절치 못하다고 생각되면 제조자에게 통보하여 전문 기술자의 점검을 받을 필요가 있다.

## 6. 新造 散積貨物船의 防蝕 對策

이 장에서는 실선에 대한 손상통계 조사결과를 기초하여 신조시의 실제 도장방법과 주의할 요하는 부분, 그리고 확실한 방식방법에 대하여 기술한다.

### 6.1 도장작업과 방식

#### 6.1.1 표면처리

선박용 강재의 도장전 표면처리에는 강재의 Mill·Scale 제거를 주목적으로 한 1차 표면처리와 방식을 위하여 시행하는 첫 번째 방청도장진에 피도장면을 깨끗하게 할 목적으로 녹, 오염물질, 油脂分, 水分 등을 제거하는 2차 표면처리의 2종류가 있다. 1차 표면처리는 Shot Blast Machined에 의하여 Steel Shot를 鋼板이나 型鋼 등의 素材에 쏘아서 행하는 것이 보통이다. 1차 표면처리가 완료된 강재는 Stock, 가공, 조립기간 중에 녹의 발생을 방지하기 위하여 Shop Primer가 도장된다. 2차 표면처리는 방청도료의 성능을 충분히 발휘시키기 위하여는 아주 중요한 작업이다. 방청도료는 강재표면에 확실히 부착되어야만 그 성능을 발휘할 수 있기 때문에, 그 방청효과는 표면처리상황의 良否에 의하여 결정된다고 한다. 따라서, 어떤 방청도료를 사용하는 경우에도 완전한 표면처리를 실시하면 좋은 결과가 기대된다는 것을 명확하다.

현재 도장을 전제로 한 강재 표면처리의 Grade 판단기준으로 각종의 것을 사용하고 있으나, 조선소에서 사용하는 기준은 주로 「塗裝前鋼材表面處理基準」- 日本造船研究協會(JSRA-SPSS, 1984년), 「新造船塗裝檢査基準」- 日本造船工業會(1984년), 「SVENSK STANDARD SIS 055900-1967」- Sweden 규격, 「미국철강구조물

규격(SSPC-SP)- Steel Structure Painting Council; Surface Preparation Specification, ASTM(미국), BS-4232(영국).

CGSB-31-GP-404(Canada) 등이다.

#### 6.1.2 도장작업

도료 및 그 도장계는 균일한 도막을 형성하여야 처음부터 소정의 기능을 발휘하는 것이다. 도장작업이란, 균일한 도막을 형성하게 조작하는 것, 즉 도료의 調整에서 도장, 도막이 건조 경화하기까지의 작업을 말하며, 도료의 기능 발휘에 큰 영향을 미치므로 각기의 도료에 적합한 도장조건과 작업환경을 설정하는 것이 중요하다.

선박의 도장은 긴 역사 속에 도장 관련기기의 개발이나 Shop Primer 방식, 또는 Block 도장방식에서 보는 바와 같이 시공법등에서 크게 발전하고 있다.

### 6.2 신조시의 塗裝 사양

#### 6.2.1 塗裝系

신체의 부위별로 적용되는 각종 방식도장 仕樣에 대하여는 표 6-1의 그 적용 예를 보인다.

표 6-1의 신조시의 도장사양 가운데서 각 사양의 Grade 및 耐用年數는 아래의 기준으로 정한다.

(1) 期待 耐用年數란, 본선 취항 후의 耐久性에 따라서 2가지로 나누어 생각할 수 있다. 여기서는 도막의 결함상태를 감안하여, 눈으로 보아서 결정하는 개략적인 년수를 말하며, 後者를 나타낸다.

\* 補修年數... 해당장소의 도막결함(녹, 부풀음, 떨어짐 등)이 눈으로 보아서 5%이상인 경우, 5% 이하인 경우에는 Touch-up으로 처리한다.

\* 耐用年數... 해당장소의 도막결함이 눈으로 보아서 20%이상인 경우

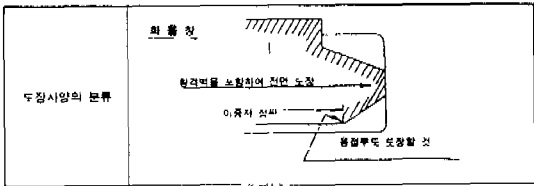
(2) 部位別 도장사양의 Grade는 조선소 및 도료 제조자의 표준이나 과거의 실적을 종합적으로 검토하여 정하였다.

\* Grade A... 上級으로 일반적인 내구성이 우수하나 도장 비용이 비교적 高價이다.

\* Grade B, C... 내구성 및 도장비용 면에서 일반

표 6-1 신조시의 산적화물선의 도장 사양의 예

노상상기	노상시양	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D
	노상계	Epoxy 계	변성 Epoxy계	Tar epoxy계	Chloride 계
회질상의 진성, 박	1차 표면처리 Grade	JSRA Sh 2			
	적용 Shop primer	WP, ZP, IZP			
	2차 표면처리 Grade	JSRA Pt 2-3			
	1회에 노상(노막두께)	PERP (125 $\mu$ )	ME (150 $\mu$ )	TE (150 $\mu$ )	CRRP (40 $\mu$ )
	2회에 노상(노막두께)	PEHP (125 $\mu$ )	-	-	CRRP (40 $\mu$ )
3회에 노상(노막두께)	-	-	-	CRHP (40 $\mu$ )	
노막 전체 두께	250 $\mu$	150 $\mu$	150 $\mu$	120 $\mu$	
이중저정부	노상 없음				
기대 내용된수		6~8	5~6	4~5	2~3
도장계의 특징	상점	노막상도 양면 1명수명 양호	노막상도 양면	내수성 우수	작업성 양호 보수가 용이
	낙점	노상산기 제한	노상산기 제한	노상성이 적다 내연성이 약함 노상산기 제한	노막상도 양면



주) Glass flake가 함유된 두꺼운 도막형 Epoxy 도료(도막 두께 500 $\mu$ , 1회 도장 등)도 사용가능함.

적으로 사용하기 쉽다. 다만, 부위에 따라서 Grade C는 필요한 최소사양도 된다.

\* Grade D.....내구성의 관점에서 필요한 최소 사양이며, 도장비용도 가장 싸다.

(3) 도장계 표내의 건조도막두께는 평균도막두께를 나타낸다.

### 6.2.2 도장전 유의 사항

Glass Flake 가 함유된 Epoxy계 도료의 경우에, 사용된 Shop Primer가 도료 제조자에 의한 제거율이 다르므로 사전에 확인할 필요가 있다. 또한 이 도장은 超厚膜型(Ultra-Thick Type)이기 때문에 도장기구의 선정과 도장작업 진행에는 충분한 사전 검토가 필요하다. 아울러 취항후 예상되는

손상이나 선급협회사 선주의 요구사항을 충분히 검토하여 반영하도록 한다.

#### (1) 취항후 예상되는 손상

- 1) 석탄의 자연 發熱에 의하여 도막 軟化를 일으키므로 석탄에 접하여 있는 도장면 선체의 거의 30~70%에 걸쳐 손상 상처(Scratch)가 생길 수 있다.
- 2) 적하시 화물의 낙하에 의한 충격, 양하시의 Grab 또는 Bulldozer 등에 의한 기계적 손상이 이중저 정판, 이중저 정부 Hopper Plate와 횡격벽 하부의 도막에 Cracking, Flaking 그리고 Scratching을 일으킨다.
- 3) 발라스트 검용장에는 Ballasting의 빈도가 높으므로 기계적 손상에 추가하여 발라스트 탱크의 경우와 유사한 손상이 발생한다.

#### (2) 선급협회의 규정 사항

- 1) Deep 탱크, 이중저 탱크, 선수미 탱크 또는 원료유 탱크에 선급협회의 승인을 받은 방식조치를 실시할 경우에는 선급협회가 인정하는 바에 따라 그 구조부재의 치수를 적절히 경감할 수 있다.
- 2) 선체외판의 일부를 형성하는 모든 해수 발라스트 탱크에는 도료 제조자가 정하는 요건에 따라 유효한 방식도장을 하여야 한다. 이때 사용하는 도료는 운항중에 발생할 수 있는 손상 등의 발견이 쉽도록 흰색이거나 이 계통에 속하는 밝은 색을 사용하도록 한다.
- 3) 산적화물선의 화물창은 도료 제조자가 정하는 요건에 따라 유효한 방식도장을 하여야 하며, 그 부위에는 화물과 접하는 늑골과 端部 Bracket를 포함한 선체외판 및 횡격벽판이 해당된다. 이때 횡격벽은 하부 Stool의 頂部로부터 하방 300mm이내의 Stool을 포함하며, 선체외판은 늑골 상하부 Bracket의 끝으로 300mm까지 범위내의 Blige Hopper 및 Tank Top Side Tank를 포함하여야 한다.

### 6.3 건조공사의 품질관리와 검사의 개선

선체손상정보 피이드 백에 의하여 어떠한 공작 결함이 손상 원인이 되는지가 명확해지고, 그러한

공작 결함은 없애기 위하여 조선소의 품질관리항목과 공작상 허용한계치가 명확하게 되었다. 이를 대면, 배제되어야 할 공작결함이란 부세의 치수들, 용입 부족, 취부 누락, 용접 누락등이 주된 것으로 이것들을 방지하는 것이 관리 목표가 된다.

용접 공작에 있어서는 외부결함 뿐아니라 내부결함도 유해한 결함이므로 용접 전후의 작업관리를 충분히 행하는 것과 함께 비파괴 검사기기를 활용하여 이러한 결함을 용이하게 발견하도록 함도 중요하다.

### 6.4 부식의 방지 대책

부식에 의한 손상은 노령선을 포함하여 상당한 긴수에 달하고 있어 방지 대책은 점점 중요한 일이 되고 있다. 대형 해수 발라스트 탱크에 지금까지는 금속전극에 의한 전기방식법이 채용되고 있지만 전기방식이 유효하게 유지되도록 하기 위한 발라스트 조긴 실정이 현실적으로 무리이기 때문에 탱크의 상부에는 급격한 부식이 진행되고, 이것이 내부재 손상의 원인이 되었다.

그런 까닭으로 각 선급협회에서는 대형 발라스트 탱크에 대하여 갑판하 깊이의 1/3 위치(개소)까지 특수도장을 행하고, 그 하부는 계획 방식전류밀도의 표준치를 규정하는 등 방지대책이 강구되어 부식의 감소 및 손상이 급격하게 줄어들고 있다.

### 6.5 방지대책의 경제적 평가

선체구조부재는 그대로 방치하면 부식 쇠퇴하고 결국에는 손상에 이르게 되나 이것을 방지하기 위한 방지대책 비용과 그 효과의 관계에 대하여는 부재의 부식상태와 방지효과 쌍방이 여러 가지 경우에서 서로 다르기 때문에 종래에도 수치적인 판단은 하지 않았다. 하지만, 부식에 기인하는 선체구조부재의 손상을, 그 보수에 막대한 비용이 소요되는 과거의 어려웠던 경험으로 인하여, 이를 방지하기 위한 대책을 사전에 실시하는 것이 경제적이라고 판단된다.

여기서는 조사 및 검토 결과를 근거로 몇 가지 대표적인 방지대책을 시행한 경우의 횡수에 따른 비용 변화를 無對策의 경우와 비교함으로써 가능

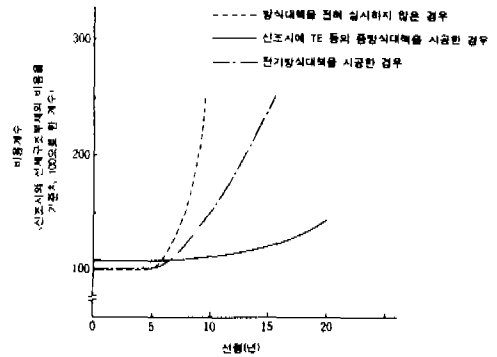


그림 6-1 부식·쇠모가 현저한 Ballast tank에 대한 비용을 횡수 경과에 따라 비교

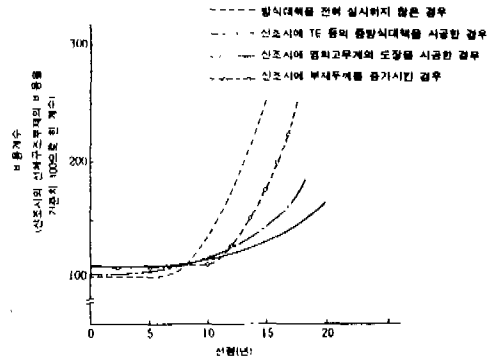


그림 6-2 부식·쇠모가 현저한 창내늑골에 대한 비용을 횡수 경과에 따라 비교

한 정량적인 부식방지대책의 경제적 평가를 시도하고자 하였으며, 그 내용은 그림 6-1 및 6-2와 같고 이를 정리하여 다음과 같이 기술한다.

- (1) 부식·쇠모가 심한 선체구조부재에 대하여는 重防蝕 塗裝을 시행하는 것이 가장 경제적이다. 곧, 광석 또는 석탄을 운송하는 산적화물선의 발라스트 탱크가 이에 해당된다.
- (2) 발라스트 탱크의 상부는 여러 가지 영향에 의한 부식·쇠모가 가장 심하므로 어떤 선종이던 지 중방식 도장이 가장 경제적이고 필요하다.
- (3) 고온의 환경이 아니고 발라스트 비율이 높은 이중저 탱크는 부식·쇠모가 비교적 덜하므로 탱크 頂部를 제외한 부분에 전기방식 방법의 사용이 가장 경제적이다.

- (4) 석탄 또는 광석을 운송하는 산적화물선의 장내늑골은 예전에는 無塗裝의 사례도 있었으나 부식·쇠모가 심하므로 증방식도장이 가장 경제적이다. 다만, 物理的 磨耗를 고려하여 판두께를 증가 시킴도 부식·쇠모에 대하여 더 많은 여유를 가지는 것이 되므로 신조시에 늑골의 두께를 증가시키는 것도 효과적인 방법중의 하나라고 판단된다.
- (5) 이외에 부록 B의 부식·쇠모 사례 부위처럼 선체구조부재나 의장품을 막론하고 부식이 심한 부분에는 증방식 도장등 신조시에 직결한 방식대책을 시행하는 것이 경제적이다.

### 6.6 선박의 손상방지과 Maintenance free 船

선체의 일반손상은 피이드 백 시스템의 활용에 따라 줄어들고 있으나 그에 따른 선가의 상승은 피할 수 없다. 그러나 약간의 신가 상승이 있더라도 취항 후의 일반손상에 따른 수리 비용과 그로 인한 운항손실이 없어지면, 그림 6-1 및 6-2에 보인 바와 같이 대략 8~10년 정도의 限界 船齡 以上에서는 경제적으로 오히려 유리하게 된다. 특히 대형선이나 고밀도선 등의 선가가 비싼 선박에 대하여는 일반손상이 적고 保船을 위한 검사나 수리에 비용이나 시간을 요하지 않는 Maintenance Free船의 건조를 선주가 희망하고 있다. Maintenance Free船의 건조는 그렇게 어려운 것이 아니고, 현재에도 Scantling을 대폭 증가시키기만 하면 손상 건수는 대폭 감소될 수 있다. 그러나 이 방법에는 자원의 낭비가 있다고 하겠다.

Scantling의 대폭적인 증가를 피하고, 선체손상 정보 피이드 백과 구조, 공작, 防蝕의 개선에 의하여 신뢰성이 높은 Maintenance Free船의 건조가 급후 조선계의 중요한 과제라 믿고 있다.

## 7. 結 論

앞에서 기술한 바와 같이, 완전한 腐蝕防止對策을 기대하는 것은 초기 투자가 막대하므로 운항경비의 측면에서 어렵고, 몇 년이 경과한 후에는 부

식·쇠모가 선박에 따라 다소의 정도 차이는 있겠으나 이를 피할 수는 없는 실정이다.

한편, 선체구조부재의 부식방지대책으로, 각 선급협회의 규칙에는 화물창이나 해수 발라스트 탱크 등에 유효한 도장을 시공하도록 규정되어 있지만, 塗裝常況, 온도나 습도 등의 環境狀態, 선체구조의 응력분포 등에 의하여 수년 후에는 도장의 劣化, 도막의 파괴, 선체구조의 녹이나 균열등의 발생이 생긴다.

이러한 관점에서, 본 연구는 선급협회의 정기적인 검사시에 조사한 운항중인 선박의 실제 상태에서 기초하여 선체구조부재의 부식·쇠모 현상과 재래적인 방식 방법의 효과적인 기준을 제시하고자 하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 산적화물선의 손상 사고는 3년내 들어 차츰 감소하고 있음이 명확하며, 특히 해수 발라스트 탱크 등에서는 감소 경향이 뚜렷하다. 이는 重防蝕塗裝(Tar Epoxy 등의 특수도장)의 효과와 해난사고 및 선박손상에 대한 관계자의 새로운 認識으로 선박의 整備 保守에 힘쓴 결과인 것으로 판단된다.
- (2) 산적화물선에 있어서 쇄모에 기인하는 손상 건수는 화물창내의 구조부재, 즉 창내늑골과 Top Side 발라스트 탱크 傾斜板의 쇄모손상이 가장 많다. 특히, 광석, 석탄 등의 화물을 적재하는 선박에서는, 재래식 방식도장의 경우, 신조후 8년째부터 계획적인 수리가 요구되기도 하므로 주의를 요한다.
- (3) 1980년 이후에 건조된 선박에 대한 조사자료가 불충분하여 최근에 건조된 선박의 손상개요 연구가 미흡하였다. 최근에는 高張力鋼을 다량 사용하여 건조하는 산적화물선이 증가하고 있으나 아직까지 고장력강 사용에 기인하는 것으로 볼 수 있는 특징적인 손상경향은 확인되지 않고 있다. 그러나 대체적으로 軟鋼과 유사한 부식손상경향이 있는 것으로 판단된다.
- (4) 해수 발라스트 탱크에는 20년 이상의 양호한 사용실적이 확인된 Tar Epoxy 도장이 부재의

현저한 부식 속도를 방지하는 유효한 방식법이다. 또한 탱크의 사용환경조건에 대응하여 적절히 설치, 보완되어진다면 電氣防蝕法도 충분히 유효한 방식법이다.

- (5) 선박의 壽命은 취항후의 검사, 보수관리에 많은 영향을 받는 것은 말할 것도 없으며, 특히 실적이 없고 장기적 수명이 기대되는 高價格 船舶(LNG선, Double Hull VLCC)이나 대형 해양구조물에 있어서는 취항후 뿐만이 아니라, 설계, 건조단계에서부터 예방적 검사, 보수관리계획의 수립이 불가피하다.
- (6) 앞으로도 Tar Epoxy도료는 다른 도료보다 지속적으로 사용될 것이나, 새로운 도료나 도장 기술의 개발이 요망된다.

또한, 선체구조부재에 대한 腐蝕疲勞壽命 예측법의 개발과 향상으로 검사기술의 개발 방향 설정 및 선박의 長壽命化가 이루어짐과 더불어 구조부재의 부식피도에 의한 일반손상이 발생되지 않아야 하겠고 환경에 안성맞춤선박(Environmentally Firendly ship)설계가 이루어져야 한다.

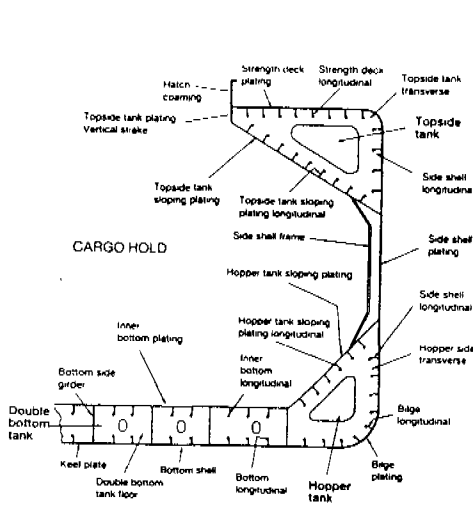
### 참 고 문 헌

- (1) 세화 편집부 : “도장실무 핸드북”, 도서출판 세화, 1990년
- (2) 고려화학 주식회사 : “도장 안내 및 제품 설명서”, 1980년
- (3) 이장우 : “塗膜厚(Paint Thickness)의 현상과 문제점”, 울산공업전문대학 연구논문집 제5권 1호
- (4) 船舶腐蝕防止對策研究委員會 : “船舶의腐蝕防止對策指針”, 일본해사협회, 1986년
- (5) 박준현 : “산적화물선의 손상”, (사)한국선급, 1995년
- (6) Research Committee for the Prevention of Ship Corrosion : A Summary of ‘Guide to Protection against Corrosions of Ship’s Hull

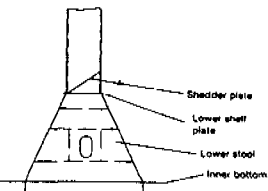
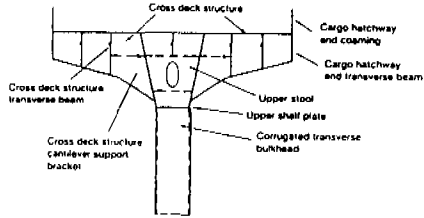
- and Equipment’, NK Technical Bulletin, 1987
- (7) Masashiro Ohyagi : “Statistical Survey on Wear for Ship’s Structural Member”, NK Technical Bulletin, 1987
- (8) 指田 均 外 : “ばら積貨物船の損傷”, 日本海事協會會誌 No. 191, 1985(Ⅱ)
- (9) 양재하·박명규 : “연근해 어선 외판 부식에 대하여”, 동원공업전문대학 연구보고 제4권
- (10) (사)한국선급, “선급 및 강선규칙” 제1편 및 제5편, 1996년
- (11) 박명규외 4인 : “박용의장”, 청문각, 1990
- (12) 신대회 : “선체의 방식과 방오의 동향”, 1973년
- (13) 박중희 : “일반화물선과 원목운반선의 선각외판 부식도의 선령별 변화”, 1981
- (14) Christian Strobel : “Bulk Carrier Casualties – Probable Reasons and Lesson Learned”, Det Norske Veritas, 1991
- (15) “Coating System – A Guidance Manual for Field Surveyors”, American Bureau of Shipping & Affiliated Company, 1995
- (16) “IACS Bulk Carriers : Guidelines for Surveys, Assessment and Repair of Hull Structure” International Association of Classification Society, 1994
- (17) “Survey Report on Bulk Carriers loss”, Nippon Kaiji Kyokai, 1992
- (18) “Corrosion in Marine Environment”, Pratical Experience Coating, 1977
- (19) 朴命圭·崔學仙 : “散積貨物船의 設計와 運航經濟性과의 評價에 關한 研究”, 韓國航海學會誌, 第16卷 第2號, 1991
- (20) 朴命圭·朴永松 : “初期 船舶設計時 船體 租度 및 防재자료에 起因된 速力損失評價에 關한 研究, 韓國航海學會誌 第18卷 第2號, 1994
- (21) 朴命圭의 2인 : “船舶生産性向上 및 船舶建造工期短縮에 關한 研究”, 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 논문집 제11집, 1993
- (22) 한국계측(주) 게이징매뉴얼 자료집, 1995

부록A. 산적화물선 선체구조부재의 손상개요와 보수방법

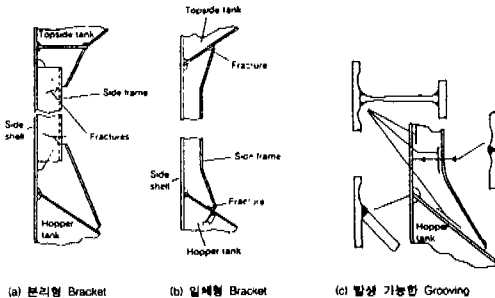
1 산적화물선의 대표적인 화물창 횡단면 부재 명칭



2 산적화물선의 대표적인 수일항력벽 구조 명칭

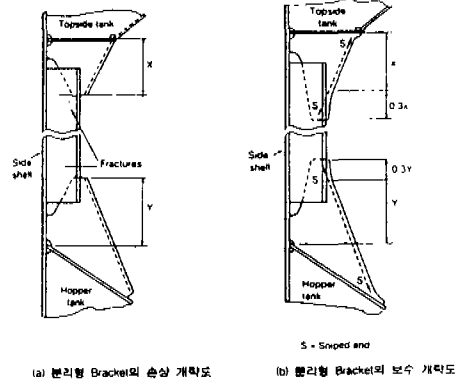


3 창내 선속측골의 손상 현상 (1)

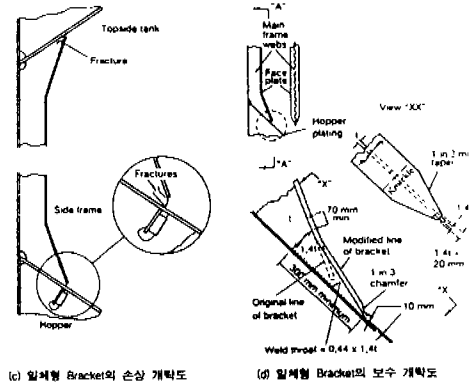


(a) 분리형 Bracket (b) 일체형 Bracket (c) 발생 가능한 Grooving

4 창내 선속측골의 손상 현상 (2)

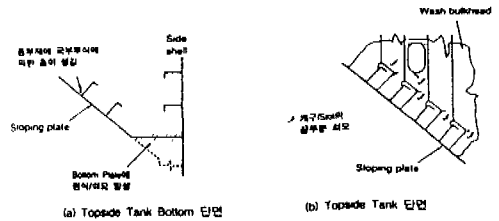


(a) 분리형 Bracket의 손상 개략도 (b) 분리형 Bracket의 보수 개략도

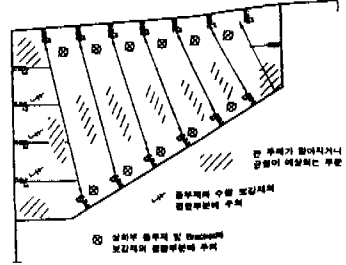


(c) 일체형 Bracket의 손상 개략도 (d) 일체형 Bracket의 보수 개략도

5 Topside Tank 내부부재의 부식 쇄모 현상 (1)



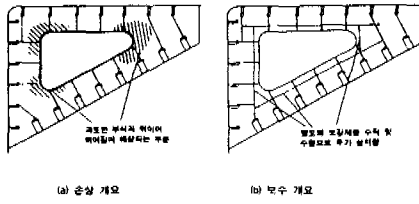
(a) Topside Tank Bottom 단면 (b) Topside Tank 단면



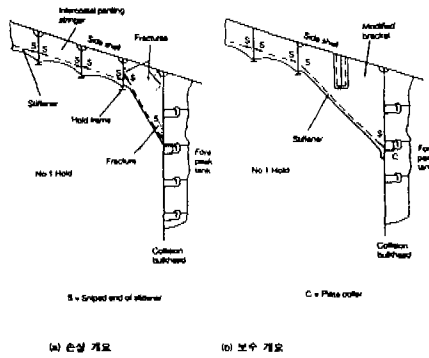
(c) 수일 항력벽 단면



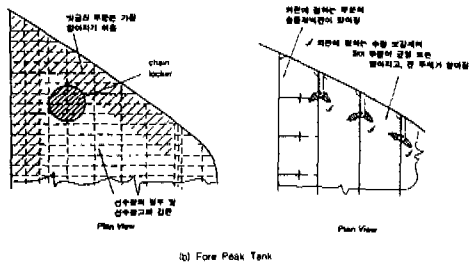
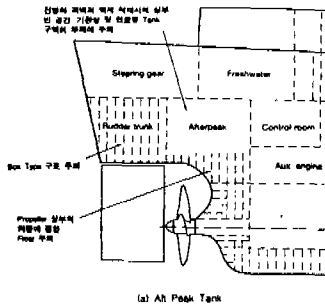
6 Topside Tank 내부부재의 부식 쇠퇴 현상 (2)



7 선수 좌물창 前部의 손상 현상



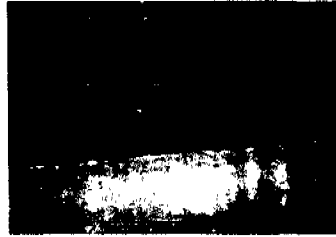
8 선수미 Tank의 손상 현상



부록B. 현존선의 선체구조부재 및 의장품 부식손상현상



선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 Cargo Hold (선구조별 부재)  
현상 Supporting Bracket 및 Side Spacing 부재 용접으로 부식 손상됨



선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 D.H.W.H.116Pa  
현상 Watertight Center Gable 선수측 지붕 부재 외단 파손됨



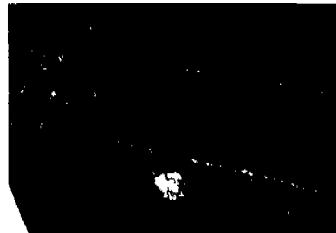
선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 Cargo Hold (선구조별 부재)  
현상 Supporting Bracket 부재 용접부



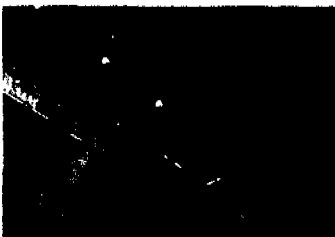
선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 D.H.W.H.116Pa  
현상 Watertight Center Gable 선수측 외단 부재 용접부



선종 Bulk Carrier  
총톤수 14053 톤  
선형 19 년  
위치 No.1 T.S.W.H.116Pa  
현상 Side Frame 지붕 부식외로써 사진부 일부에 고인 한 부의 상해됨



선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 D.H.W.H.116Pa  
현상 Bottom Longitudinal 부식외로써 파손 및 변형됨



선종 Bulk Carrier  
총톤수 6997 톤  
선형 22 년  
위치 No.1 Cargo Hold  
현상 Hatch Cover (116Pa) 부재 용접부 부식외로써



선종 General Cargo Ship  
총톤수 1272 톤  
선형 20 년  
위치 Cargo Hold  
현상 Hatch Cover Way 슬러 Wall 부재 파손됨



선종 General Cargo Ship  
총톤수 1272 톤  
선형 20 년  
위치 Cargo Hold  
현상 Steel Plate Cover Hatch 부재 부식외로써



선종 General Cargo Ship  
총톤수 1272 톤  
선형 20 년  
위치 Cargo Hold  
현상 Hatch Cover Way 슬러 Weathering Deck 부재 파손됨



선종 General Cargo Ship  
총톤수 1272 톤  
선형 20 년  
위치 Cargo Hold  
현상 Hatch Cover Water Way 부식됨

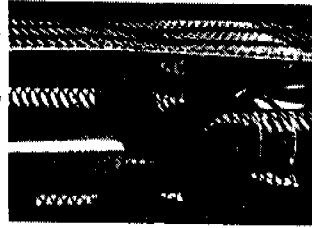


선종 General Cargo Ship  
총톤수 1272 톤  
선형 20 년  
위치 Rear Deck 상부 Funnel  
현상 Engine Room 상부 Deck Plate 부재 파손됨

散積運搬船 船體構造部材의 腐蝕損傷防止에 關한 研究



선종 General Cargo Ship  
 총톤수 1452 톤  
 선령 13 년  
 위치 Poop Deck 상부  
 현상 Mastcross Ventilator Cover 부식됨



선종 Bulk Carrier  
 총톤수 100 톤  
 선령 13 년  
 위치 Deck  
 현상 Mast Cross 부식됨



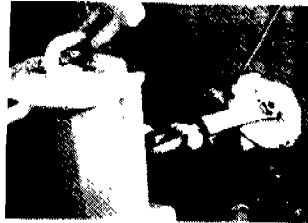
선종 General Cargo Ship  
 총톤수 1272 톤  
 선령 20 년  
 위치 Masthead 상  
 현상 Air Pipe Heads 부식  
 이도됨



선종 General Cargo Ship  
 총톤수 422 톤  
 선령 3 년  
 위치 Masthead  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨



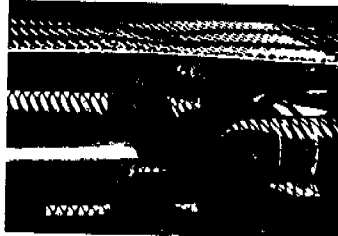
선종 General Cargo Ship  
 총톤수 1452 톤  
 선령 13 년  
 위치 Poop Deck 상  
 현상 Gooseneck Ventilators 부식됨



선종 Bulk Carrier  
 총톤수 422 톤  
 선령 3 년  
 위치 Masthead 상  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨



선종 General Cargo Ship  
 총톤수 1272 톤  
 선령 20 년  
 위치 Masthead 상부  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨



선종 Bulk Carrier  
 총톤수 1053 톤  
 선령 3 년  
 위치 Masthead 상  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨



선종 Bulk Carrier  
 총톤수 14053 톤  
 선령 17 년  
 위치 Engine Room  
 현상 Sanitary Pipe 누수  
 파손됨



선종 General Cargo Ship  
 총톤수 422 톤  
 선령 3 년  
 위치 Masthead 상  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨



선종 Bulk carrier  
 총톤수 14053 톤  
 선령 17 년  
 위치 Engine Room  
 현상 해수 흡입 Valve  
 부식 파손됨



선종 General Cargo Ship  
 총톤수 422 톤  
 선령 3 년  
 위치 선수부 Masthead 상  
 현상 Mast Head 부식  
 이도됨