
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 35 卷 第 2 號 1998年 5月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 35, No. 2, May 1998

유조선 종강도부재의 확률론적 부식속도 예측모델의 개발

백점기*, 박영일**

A Probabilistic Corrosion Rate Estimation Model for Longitudinal Strength Members of Tanker Structures

by

Jeom Kee Paik* and Young Eel Park**

요 약

본 연구에서는 유조선 구조의 종강도부재를 대상으로 확률론적 부식예측모델을 개발하였다. 이를 위해 유조선 종강도부재의 부식계측자료를 수집하고, 구조 부위별로 통계분석을 통하여 부식속도 (년간 부식량)의 평균치와 분산치를 계산하였다. 구조부재의 부식진행특성은 코팅방법이나 화물 적재방법에도 큰 영향을 받으며, 본 연구에서는 코팅방법에 따라 코팅수명이 달라진다는점에 착안하여 부식속도특성에 대한 코팅수명의 영향을 분석하였다. 통계자료를 바탕으로 분석한 결과의 정도는 통계자료량에 의존하며, 본 연구에서는 추후 부식 계측자료가 더욱 축적되면 이들 자료의 추가 통계분석이 용이하도록 전용 해석프로그램을 개발하였다.

부식손상효과를 고려한 노후선박의 구조강도성능과 신뢰성을 평가하기 위하여는 선령의 증가에 따른 선체구조 주요부재의 부식속도를 예측할 수 있는 계산 모델이 필요하며, 본 연구에서 개발한 부식속도 예측모델은 그 같은 목적으로 유용하게 활용할 수 있으리라 기대된다.

Abstract

The twin aims of the present study are to develop a PC program for the statistical analysis of the measured corrosion data and to suggest a probabilistic corrosion rate estimation model for longitudinal members of tanker structures. A data analysis for the corrosion rate statistics (i.e., mean, standard deviation) as a function of the corrosion parameters is established for

발 표 : 1997년도 대한조선학회 추계연구발표회('97. 11. 13)

접수일자 : 1997년 12월 12일, 재접수일자 : 1998년 3월 18일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과 교수, 기계기술연구소 선체구조역학 연구실장

** 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과, 석사과정

various structural member categories/locations of interest. Development of the computer program is focused on possible operation together with future addition of more corrosion data as they become available. To investigate the influence of the corrosion protection scheme, a series of the corrosion analysis varying the life of coating are carried out, and several different corrosion models as a function of time are suggested depending on the coating life.

기호설명

c_1	부식속도
c_2	계수
X	$= \ln x$
Y	$= \ln[-\ln(1 - F_{c_1}(x))]$
y	코팅이 벗겨진후의 경과시간 ($= y_a - y_0$)
y_a	선령
y_0	코팅의 수명
α	최도계수
γ	부식으로 인한 판두께 감소량
λ	형상계수
μ_{c_1}	부식속도의 평균값
μ_{cl}	코팅수명의 평균값
σ_{c_1}	부식속도의 표준편차
σ_{cl}	코팅수명의 표준편차

1. 서론

초대형 유조선은 보통 선령이 25년이 넘도록 사용하고 있으며, 최근에 노후선박의 구조손상에 관한 사례가 많이 조사, 보고되고 있다. 노후선박의 수명을 결정짓는 가장 중요한 인자는 부식에 의한 부재의 판두께 감소와 피로균열 등이다. 피로균열 문제에 관하여는 지금까지 많은 연구가 수행되어져 왔으며, 선박의 피로수명 평가법이나 기준도 어느정도 확립되어지고 있다 [1]. 그러나, 선박의 부식에 관해서는 선체 부식상태의 선급검사 기준

을 강화한다든가 [2], 과대하게 부식된 선체부재에 대한 수리지침 등 [3]이 제시되고 있지만 전반적으로 부식에 의해 선체강도가 어떤 영향을 받는지 구체적으로 연구한 예는 많지 않다.

각국 선급 (예를들면 ABS [4])에서는 선박종류별, 구조부위별 부식여유치를 설정하고 있으며, TSCF [5-7]에서는 유조선에 대한 부식을 조사, 연구하였다. 또한 Hart [8], Viner & Tozer [9], Pollard [10], Løseth [11]등도 유조선에 대한 주요 부재의 부식속도 (Corrosion rate, mm/year) 모델을 제시하였다. 이들은 구조부재의 위치나 부식환경등에 따라 단일 및 이중선각 유조선에 대한 부식속도의 평균치와 변동계수를 제시하였다. 가장 최근에 Paik 등 [12-14]은 선령의 증가에 따른 노후 선박의 부식효과를 고려한 최종강도 신뢰성 및 살물운반선의 종강도부재에 대하여 확률론적 부식속도 예측모델개발에 관한 연구를 수행한바 있다.

그러나, 구조부재의 부식손상특성은 각종 불확실 인자의 영향을 받으며, 보다 정밀한 부식속도 모델의 개발을 위한 연구가 더욱 필요한 실정이다.

본 연구에서는 유조선의 종강도부재를 대상으로 부식손상 계측자료를 통계처리하여 확률론적 부식 예측모델을 개발하고자 한다.

2. 확률론적 부식속도 평가모델 이론

선체구조의 부식속도는 일반적으로 코팅방법, 부식방지 장치의 설치 및 보수유지 시스템, 구조 설계 방법 등에 따라 달라지며, 운항시의 부식환경, 이를테면 밸러스트의 기간, 탱크청소의 주기 및 방법, 적재화물의 종류 및 온도등에도 영향을 받는다. 부식에 관계된 다양한 불확실성을 고려하기위해서 확률론적 처리가 필요하다.

코팅과 같은 부식방지시스템이 존재할때, 부식의 진행은 코팅의 수명에 영향을 받는다. 특히 코팅 방법에 따라 부식의 시작시기가 달라지며, 타르 에폭시 코팅의 경우 건조후 약 8~13년이 지난 후부터 본격적으로 부식이 일어나기 시작한다는 것이 알려져 있다 [11]. 그러나, 건조후 3~5년이 지난후부터 부분적으로 구조부재에 부식이 시작되는 것이 보통이다.

일반적으로 부식속도 (Corrosion rate)는 부식에 의한 연간 판두께 감소량으로 정의되며, 그 단위는 보통 mm/year 를 사용한다. 선체구조부재의 부식후 잔존 판두께의 측정방법으로 보통 초음파에 의한 측정장치를 이용하고 있다. 또한, 부식의 형태는 보통 다음과 같이 분류하고 있다.

- 1) 일반부식 (General corrosion): 가장 일반적으로 나타나는 부식형태로서 화학적 또는 전기화학적 작용에 의해 발생하며, 부재의 표면을 거의 균일하게 부식시킴.
- 2) 국부부식 (Localized corrosion): 국부적으로 제한적인 부위에 발생하는 부식형태로서 보통 높은 부식속도에 기인되므로 부재에 구멍이 발생하는등 심각한 문제를 초래할 위험성이 있음.
- 3) 침식 (Pitting corrosion): 매우 높은 부식속도로써 극히 국부적으로 발생하는 부식형태로서 구조강도에는 그다지 영향을 미치지 않음.
- 4) 전기 화학적부식 (Galvanic corrosion): 상이한 재료에 의해 발생하는 전기자장에 기인되어 생기는 전기화학적 부식형태.

2.1 코팅의 수명

코팅의 수명은 선박이 건조된후 부식이 시작될 때까지의 시간이며, 코팅의 수명은 다음과 같은 정규분포를 따른다고 가정한다.

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{cl}} \exp\left\{-\frac{(y - \mu_{cl})^2}{2\sigma_{cl}^2}\right\} \quad (1)$$

여기서,
 μ_{cl} = 코팅수명의 평균값

σ_{cl} = 코팅수명의 표준편차
 y = 코팅이 벗겨진후의 경과시간

코팅의 수명에 관한 확률분포특성도 코팅의 종류, 방법 및 실제 코팅수명의 통계데이터를 바탕으로 규명할 수 있을 것이다. 그러나, 현실적으로 이같은 통계데이터를 얻을 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 코팅수명에 따른 부식속도의 변화를 분석하기 위하여 0, 5, 10, 15 및 20년등 5종류의 코팅수명을 단순 가정하여 부식손상자료를 해석하였다.

2.2 부식의 진전

부식에 의한 판 두께의 감소량은 부식의 시작후 경과된 시간의 함수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = c_1 y^{c_2} \quad (2)$$

여기서,
 r = 부식으로 인한 판두께 감소량

(2)식에서의 계수 c_2 는 보통 1/3 이거나 [15], 보수적으로 1로 취하기도 한다. c_1 은 부식속도이다.

본 연구에서는 Yamamoto 등 [16]이 분석한바와 같이 부식속도의 확률밀도함수가 Weibull 분포를 따른다고 가정하였다. 따라서, 계수 c_1 의 누적분포함수는 다음과 같이 된다.

$$F_{c_1} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^\lambda\right] \quad (3)$$

여기서,
 a = 척도계수, λ = 형상계수

(3)식을 이용하면 c_1 의 확률밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$f_{c_1} = \frac{\lambda}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{\lambda-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^\lambda\right] \quad (4)$$

부식의 확률론적 특성을 평가하기 위하여는 c_1 의 평균치와 표준편차값을 구해야 한다.

일반적으로 (4)식을 직접 풀어서 확률론적 특성을 계산하는것은 어려우므로 본 연구에서는 근사적인 방법을 채용한다. 이를 위해 (4)식을 다음과 같이 변환시킨다.

$$Y = \lambda X - \lambda \ln a \tag{5}$$

여기서,

$$X = \ln x$$

$$Y = \ln[-\ln(1 - F_{c_1}(x))]$$

(5)식에서 척도계수 a 와 형상계수 λ 는 부식손상 통계자료를 바탕으로 최소자승법을 이용하여 계산할 수 있으며, 이들은 각 주요부재마다 다른 값을 주게 된다. 이때 보다 정밀한 계산을 위해서는 부식손상자료를 세분화하여 통계처리할 필요가 있으며, 본 연구에서는 부식속도와 상대빈도를 계산할때 부식속도의 간격을 0.005 mm/year로 설정하였다.

척도계수 a 와 형상계수 λ 가 구해지면 계수 c_1 에 대한 평균값과 표준편차값은 Gamma 함수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mu_{c_1} = \int_0^{\infty} x \cdot f_c(x) dx = a\Gamma\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \tag{6.a}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{c_1}^2 &= \int_0^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f_c(x) dx \\ &= a^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\lambda}\right) - \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right\}^2 \right] \end{aligned} \tag{6.b}$$

3. 유조선 종강도부재의 확률론적 부식 속도 모델

본 연구에서는 부식손상 데이터의 통계분석에서 부터 (6)식의 계산에 이르기까지의 전과정을 자동화 시킨 컴퓨터 프로그램 CORDAM을 개발하였다.

여기서는 컴퓨터프로그램 CORDAM을 이용하여 유조선 종강도부재의 확률론적 부식속도 계산 모델을 개발한다.

3.1 계측자료의 분류

단일선체 유조선 40척을 대상으로 합계 33,181개의 부식손상 계측자료를 수집하였으며, 그 결과를 Table 1, Fig. 1 및 Table 2, Fig. 2에 나타내고 있다. 선체 부위별 판재 및 보강재에 대해 각각 18종류 및 14종류로 분류하여 계측자료를 정리하였다.

Table 1 Type of plates

No.	Plate Section Type	Plate ID
1	Bottom	BTM
2	Bilge	BLG
3	Side	SHL
4	Upper Deck	DEC
5	Inner Bottom	INB
6	Inner Skin Bulkhead	INS
7	Other Bulkhead	OTH
8	Centerline Bulkhead	CTR
9	Swash Bulkhead	SWH
10	Non-Tight Bottom Girder	NBG
11	Deck Girder	DKG
12	Bottom Girder	BGR
13	Stringer	HST
14	Keel Plate	KPL
15	Sheer Strake	SHS
16	Gunwale	GWR
17	Miscellaneous	MSC
18	Non-Tight Stringer	NTS

Table 2 Type of stiffeners

Stiffener Type	Stiffener ID
Inverted Equal Angle	EANG
Inverted Unequal Angle	UANG
Inverted Large Angle	LANG
Bulb Flat (Holland Profile)	HOLB
Jumbo Bulb	JBLB
Rolled Flange Welded to Plate Web	NANG
Rolled Tee	RTEE
Built Up Tee Section (balanced)	BTEE
Built Up Tee Section (unbalanced)	UTEE
Built Up non-Tee Section	NTEE
Flat Bar	FLAT
Built Up Angled Offset Face Bar	AOFB
Built Up Angled Tee	AOTE
Built Up Multi-Stiffener Profile	MSTF

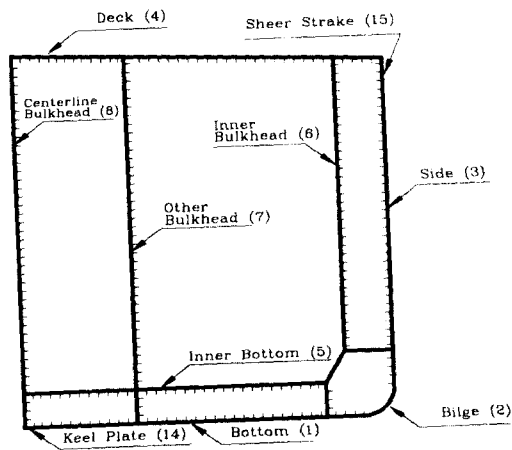


Fig. 1 Section ID number

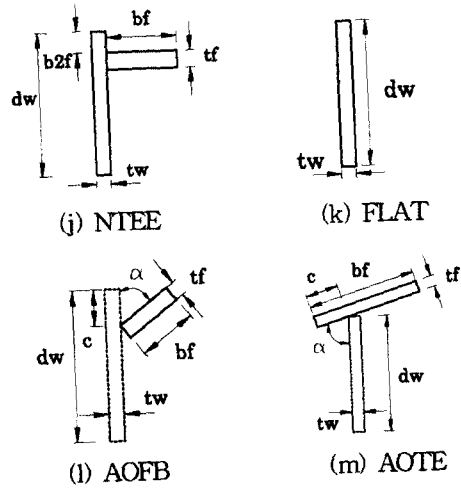


Fig. 2 Available types of stiffeners

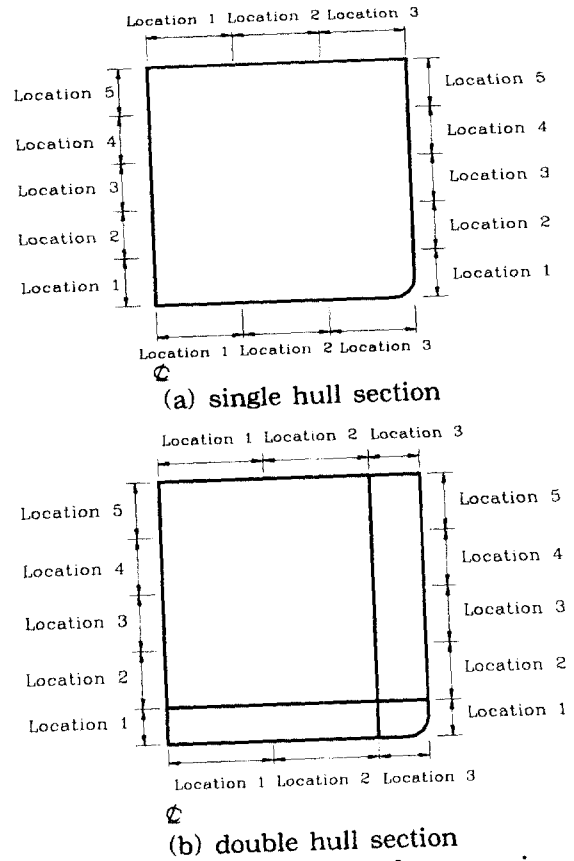
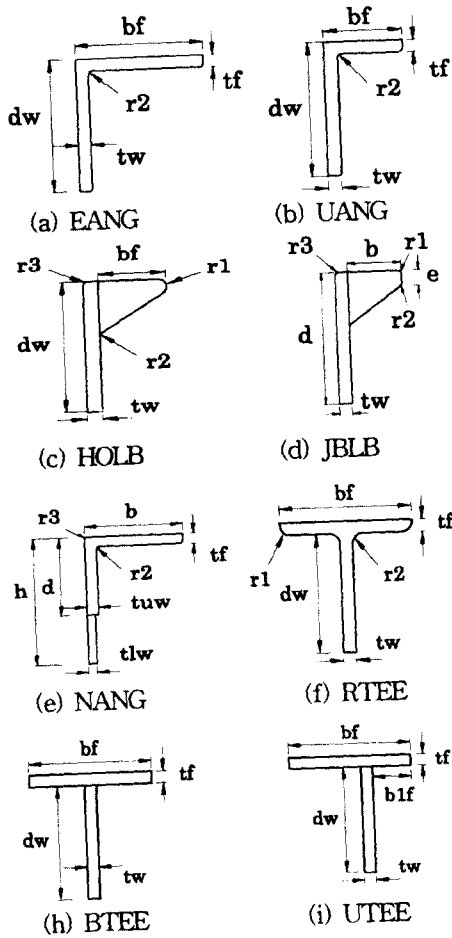
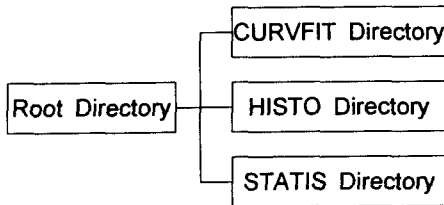


Fig. 3 Member categories for corrosion rate estimation

일반적으로 부식손상의 발생과 진전 특성은 각종 인자의 영향을 받으며, 특히 부재의 위치에 따라 서로 달라질 수 있다. 예를들어 선저외판, 갑판, 선측의 경우에도 부위에 따라 부식손상특성이 다르다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 3에 나타내는 바와 같이 수평판 (즉, 선저외판 또는 갑판)은 3개의 영역, 수직판 (선측외판 및 종격벽등)은 5개의 영역으로 분할하여 구획별로 보다 자세한 부식속도예측이 가능하도록 하였다. 이때 단일선체구조에 대해서는 Fig. 3(a)에 나타내는 바와 같이 등간격으로 분할하였으며, 이중선체구조에 대해서는 Fig. 3(b)에 나타내는 바와 같이 이중선저 또는 이중선측을 1개의 영역으로 취하고 나머지에 대해 등간격으로 분할하였다.

3.2 프로그램의 실행

프로그램 CORDAM을 실행시키면 주요부재 (즉, 각종 판부재, 보강재웨브 및 보강재플랜지)에 대해 전술한 5종류 (0, 5, 10, 15 및 20년)의 코팅수명별로 각 Directory상에 다음의 결과가 자동 생성되도록 하였다. 즉,



여기서 각 Directory에 생성되는 계산결과는 다음과 같다.

- 1) CURVFIT Directory: (5)식의 미지수 α, λ 를 최소자승법을 이용하여 계산한 결과.
- 2) HISTO Directory: 선령의 증가에 따른 부식에 의한 판두께 감소량의 빈도치와 부식속도의 상대빈도값의 계산결과.
- 3) STATIS Directory: 각 부재별/구획별 부식속

도의 평균값, 표준편차 및 상대빈도값의 계산결과.

3.3 계산결과 및 고찰

Fig. 4에는 (5)식의 미지수 α, λ 를 구하는 예로서 코팅수명이 5년일때 선저외판에 대한 계산결과를 나타내고 있다. 또한, Table 3 및 Fig. 5에는 선저외판에 대한 각 부식수명별 부식률의 빈도분포와 부식속도의 상대빈도분포 계산예를 보여주고 있다.

Table 4와 Fig. 6에는 코팅수명을 5년으로 가정한 경우의 부식속도 확률특성을 나타내고 있으며, Table 5 및 Fig. 7에는 코팅수명을 10년으로 가정한 경우의 결과를 보여주고 있다.

이들 계산결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 측면탱크에서 부재의 부식속도는 중앙탱크보다 높다. 이것은 보통 측면탱크가 밸리스트창으로 사용하거나 밸리스트 및 화물창으로 겸용되며, 코팅을 하지 않기 때문이라고 판단된다.
- 2) 탱크내의 수평부재가 수직부재보다 부식이 심하게 나타나고 있으며, 특히 내부종격벽에 붙은 수평부재의 부식이 심하다. 이것은 수평부재가 수직부재보다 수분을 비롯한 부식환경에 더 오래 노출되고 있기 때문이다.
- 3) 본 연구에서 개발된 부식속도 확률특성은 실제 유조선구조를 대상으로 계측된 방대한 통계자료를 바탕으로 한 것으로서 실제 부식진전 상황을 잘 나타내고 있다. 이 부식모델은 선령의 증가에 따른 구조부재 수리계획의 수립이나 강도특성 분석에 유용하게 활용할 수 있으리라 기대된다.

4. 결 론

1990년대 이후 살물운반선을 포함한 노후선박의 침몰사고가 빈발하고 있는 것을 계기로 선박의 수명 평가 문제가 주요 과제중의 하나로 대두되고 있다.

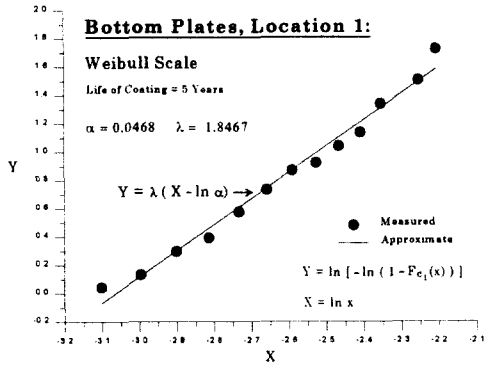


Fig. 4.a Curve fit for determining the unknown parameters of bottom plate (location 1)

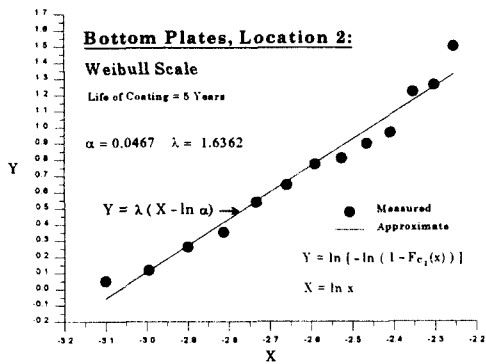


Fig. 4.b Curve fit for determining the unknown parameters of bottom plate (location 2)

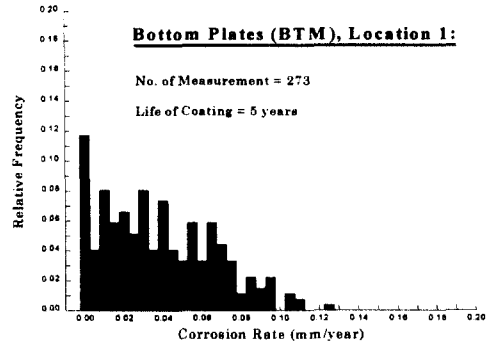


Fig. 5.a The relative frequency distribution of corrosion rate for bottom plates(location 1), at coating life = 5 years

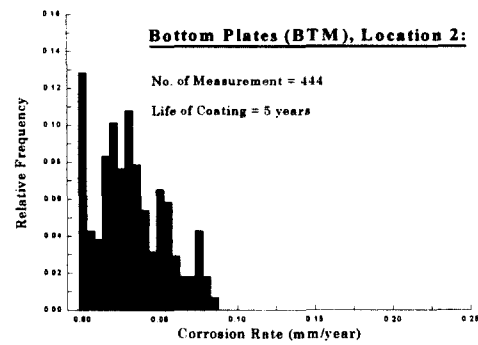


Fig. 5.b The relative frequency distribution of corrosion rate for bottom plates (location 2), at coating life = 5 years

Table 3.a Wear of thickness due to corrosion for bottom plates (location 1)

Time (year)	Depth of corrosion (mm)								
	0	~0.25	~0.50	~0.75	~1.00	~1.25	~1.50	~1.75	~2.00
11~12									
12~13	2								
13~14									
14~15									
15~16									
16~17									
17~18									
18~19		3	2	3	2			1	
19~20	4	4	4	1	3	1	1	1	
20~21	1	11	9	9	16	11	3	3	
21~22	4	2	19	18	10	11	3	4	
22~23	16	17	9	12	4	9	3	2	
23~24	5	11	8	9	1	1			

Table 3.b Wear of thickness due to corrosion for bottom plates (location 2)

Time (year)	Depth of corrosion (mm)								
	0	~0.25	~0.50	~0.75	~1.00	~1.25	~1.50	~1.75	~2.00
11~12									
12~13	4								
13~14									
14~15									
15~16									
16~17									
17~18									
18~19			3	5	3	1	3		
19~20	14		2	3	4	6	4		
20~21	1	8	25	18	16	15	7	5	
21~22	7	7	20	47	15	11	4	13	
22~23	20	11	24	29	10	15	1	6	
23~24	11	11	18	9	5	1	2		

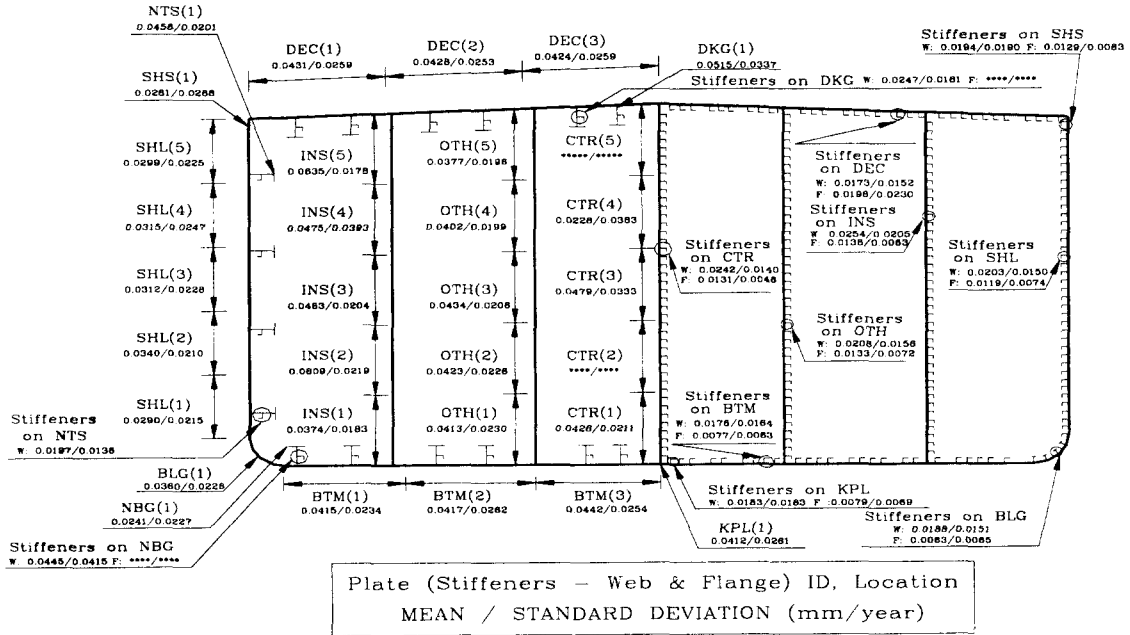


Fig. 6 Computed corrosion model for plate/stiffener regions of each section type at coating life = 5 years

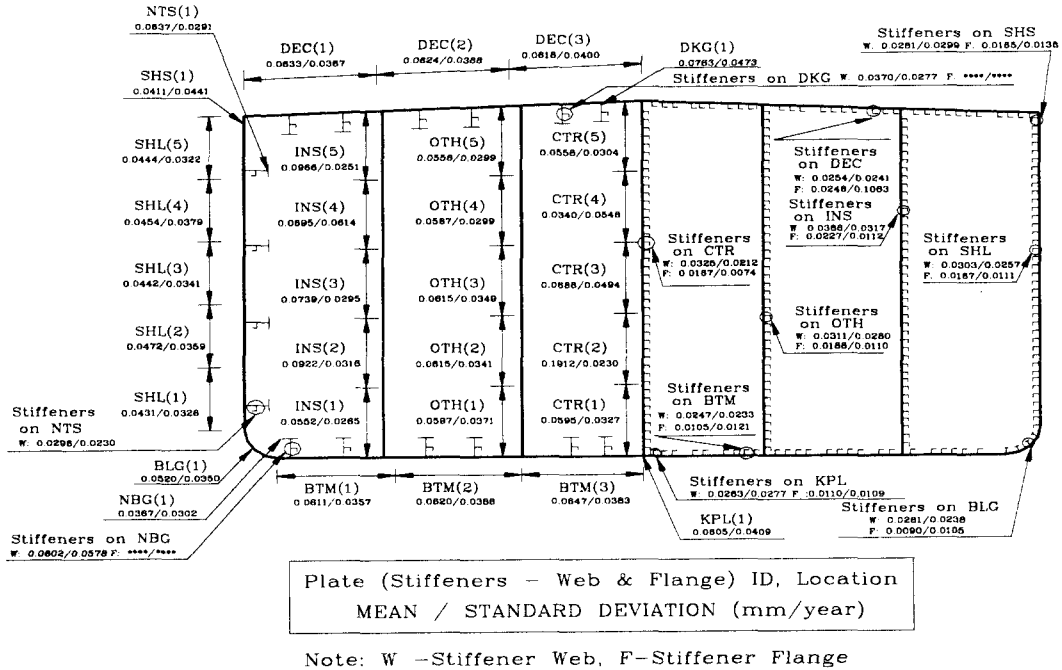


Fig. 7 Computed corrosion model for plate/stiffener regions of each section type at coating life = 10 years

Table 4.a Computed results of corrosion statistics for plate regions at coating life = 5 years

Section Type	ID	Location	Mean	Standard Dev.	COV
BTM	1	1	0.0415	0.0234	0.5636
BTM	1	2	0.0417	0.0262	0.6280
BTM	1	3	0.0442	0.0254	0.5752
BLG	2	1	0.0360	0.0226	0.6276
SHL	3	1	0.0290	0.0215	0.7402
SHL	3	2	0.0340	0.0210	0.6191
SHL	3	3	0.0302	0.0228	0.7544
SHL	3	4	0.0315	0.0247	0.7859
SHL	3	5	0.0299	0.0225	0.7514
DEC	4	1	0.0431	0.0259	0.6010
DEC	4	2	0.0428	0.0253	0.5919
DEC	4	3	0.0424	0.0259	0.6114
INS	6	1	0.0374	0.0183	0.4898
INS	6	2	0.0609	0.0219	0.3602
INS	6	3	0.0483	0.0204	0.4222
INS	6	4	0.0475	0.0393	0.8276
INS	6	5	0.0635	0.0178	0.2806
OTH	7	1	0.0413	0.0230	0.5580
OTH	7	2	0.0423	0.0226	0.5345
OTH	7	3	0.0434	0.0208	0.4802
OTH	7	4	0.0402	0.0199	0.4945
OTH	7	5	0.0377	0.0196	0.5184
CTR	8	1	0.0426	0.0211	0.4945
CTR	8	2	-	-	-
CTR	8	3	0.0479	0.0333	0.6965
CTR	8	4	0.0228	0.0383	1.6781
CTR	8	5	-	-	-
NBG	10	1	0.0241	0.0227	0.9412
DKG	11	1	0.0515	0.0337	0.6556
KPL	14	1	0.0412	0.0261	0.6330
SHS	15	1	0.0281	0.0288	1.0247
NTS	18	1	0.0456	0.0201	0.4416

Table 4.b Computed results of corrosion statistics for stiffener regions at coating life = 5 years

Section Type	ID	Stiffener Web			Stiffener Flange		
		Mean	S. D.	COV	Mean	S. D.	COV
BTM	1	0.0178	0.0164	0.9310	0.0077	0.0063	0.8258
BLG	2	0.0188	0.0151	0.8074	0.0063	0.0065	1.0212
SHL	3	0.0203	0.0150	0.7387	0.0119	0.0074	0.6191
DEC	4	0.0173	0.0152	0.8764	0.0196	0.0230	1.1751
INS	6	0.0254	0.0205	0.8069	0.0138	0.0063	0.4565
OTH	7	0.0208	0.0156	0.7515	0.0133	0.0072	0.5381
CTR	8	0.0242	0.0140	0.5777	0.0131	0.0046	0.3530
NBG	10	0.0445	0.0415	0.9323	-	-	-
DKG	11	0.0247	0.0161	0.6515	-	-	-
KPL	14	0.0183	0.0183	1.0013	0.0079	0.0069	0.8779
SHS	15	0.0194	0.0190	0.9812	0.0129	0.0083	0.6442
NTS	18	0.0197	0.0136	0.6885	-	-	-

Table 5.a Computed results of corrosion statistics for plate regions at coating life = 10 years

Section Type	ID	Location	Mean	Standard Dev.	COV
BTM	1	1	0.0611	0.0357	0.5837
BTM	1	2	0.0620	0.0388	0.6255
BTM	1	3	0.0647	0.0383	0.5924
BLG	2	1	0.0520	0.0350	0.6734
SHL	3	1	0.0431	0.0326	0.7567
SHL	3	2	0.0472	0.0359	0.7603
SHL	3	3	0.0442	0.0341	0.7708
SHL	3	4	0.0454	0.0379	0.8357
SHL	3	5	0.0444	0.0322	0.7254
DEC	4	1	0.0633	0.0387	0.6120
DEC	4	2	0.0624	0.0388	0.6215
DEC	4	3	0.0618	0.0400	0.6474
INS	6	1	0.0552	0.0265	0.4802
INS	6	2	0.0922	0.0316	0.3430
INS	6	3	0.0739	0.0295	0.3991
INS	6	4	0.0695	0.0614	0.8832
INS	6	5	0.0966	0.0251	0.2602
OTH	7	1	0.0597	0.0371	0.6210
OTH	7	2	0.0615	0.0341	0.5547
OTH	7	3	0.0615	0.0349	0.5675
OTH	7	4	0.0587	0.0299	0.5088
OTH	7	5	0.0556	0.0299	0.5387
CTR	8	1	0.0595	0.0327	0.5495
CTR	8	2	0.1026	0.0124	0.1212
CTR	8	3	0.0688	0.0494	0.7185
CTR	8	4	0.0340	0.0548	1.6102
CTR	8	5	0.0558	0.0304	0.5452
NBG	10	1	0.0367	0.0302	0.8234
DKG	11	1	0.0783	0.0473	0.6041
KPL	14	1	0.0605	0.0409	0.6755
SHS	15	1	0.0411	0.0441	1.0743
NTS	18	1	0.0637	0.0291	0.4565

Table 5.b Computed results of corrosion statistics for stiffener regions at coating life = 10 years

Section Type	ID	Stiffener Web			Stiffener Flange		
		Mean	S. D.	COV	Mean	S. D.	COV
BTM	1	0.0247	0.0233	0.9438	0.0105	0.0121	1.1554
BLG	2	0.0281	0.0238	0.8458	0.0090	0.0105	1.1648
SHL	3	0.0303	0.0257	0.8483	0.0167	0.0111	0.6646
DEC	4	0.0254	0.0241	0.9509	0.0546	0.1063	1.9483
INS	6	0.0388	0.0317	0.8150	0.0227	0.0112	0.4945
OTH	7	0.0311	0.0280	0.9004	0.0188	0.0110	0.5829
CTR	8	0.0325	0.0212	0.6506	0.0167	0.0074	0.4416
NBG	10	0.0602	0.0578	0.9600	-	-	-
DKG	11	0.0370	0.0277	0.7506	-	-	-
KPL	14	0.0263	0.0277	1.0524	0.0110	0.0109	0.9933
SHS	15	0.0281	0.0299	1.0629	0.0185	0.0136	0.7340
NTS	18	0.0296	0.0230	0.7765	-	-	-

선박의 수명을 결정짓는 가장 중요한 요인은 피로균열과 부식문제이다. 피로균열에 관하여는 국내외적으로 방대한 연구가 수행되어 상당한 연구 성과를 얻고 있는데 비하여 후자의 부식문제에 관하여는 아직도 밝혀야 할 과제가 많이 남아있다. 또한, 선체구조의 안전성 평가시에는 각종 불확실성 특성을 가진 인자들의 영향이 매우 크기 때문에 이들 불확실성을 합리적으로 고려할 수 있는 확률론적 수법에 의한 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 부식손상 계측자료의 해석을 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 유조선의 중강도 부재에 대한 확률론적 부식속도 평가모델을 제안하였다.

프로그램 CORDAM은 앞으로 추가로 부식손상 계측자료가 확보되면 부식속도 특성을 용이하게 재계산할 수 있도록 작성되어졌다.

본 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 선체구조부재의 확률론적 부식속도 특성의 실용적인 계산법을 확립하였다.
- 2) 본 연구에서는 실제 단일선체 유조선구조를 대상으로 계측된 부식손상자료 33,181개를 바탕으로 합리적인 부식속도 예측모델을 개발하였으며, 분석결과 실제 부식진전특성을 잘 나타내고 있다는 것을 알았다. 본 연구에서 제시한 예측모델은 수리 또는 재코팅에 관한 확률특성은 고려되어 있지 않으나, 추후 이에 관한 구체적인 정보가 얻어지면 수정해 나갈 예정이다.
- 3) 본 연구에서 개발한 확률론적 부식속도 예측모델은 부식손상을 고려한 유조선구조의 강도 신뢰성 평가시에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.
- 4) 보다 정밀한 부식속도 모델의 개발을 위해서는 보다 많은 양의 부식손상 계측자료가 필요하며, 특히 최근에 건조되기 시작한 이중선체 유조선에 대한 통계자료의 확보가 이루어져야 한다. 또한, 선급협회에서는 선박의 정기 검사시에 부식손상량을 계측하고 있으며, 이때 보다 정확하고 다양한 정보 (이들때면 구획/부위별 코팅상태, 벨러스트나 화물적재방법, 기타 부식환경 등)를 기록 정리하여 추후 통계처리에 활용

할 수 있도록 할 필요가 있다. 이를 위해서 각국 선급의 정기검사 기록표에 이들 항목도 추가할 것을 제안한다.

- 5) 통계자료를 바탕으로 도출된 확률특성은 통계자료가 바뀌면 그 특성도 달라질 수 있으며, 보통 기초 통계량이 많아질수록 그 특성은 안정적으로 수렴하게 된다. 이같은 측면에서 본 연구에서 개발된 부식속도 모델도 완성된것이라기 보다 현 시점에서 확보된 기초통계량을 바탕으로 한 개발도상에 있는 모델이며, 추후 추가로 부식손상 계측모델이 얻어지는 대로 개량해 나갈 예정이다. 이를 위해 본 연구에서 개발한 프로그램 CORDAM도 부식자료의 추가 확보에 의한 확률특성의 재계산이 용이하게 이루어지도록 작성되어졌다.

참 고 문 헌

- [1] Capanoglu, C.C., "Fatigue technology assessment and strategies for fatigue avoidance in marine structures", Ship Structure Committee, Report No. SSC-367, 1993.
- [2] IACS, "Bulk carriers: Guidelines for surveys, assessment and report of hull Structure", International Association of Classification Societies, 1994.
- [3] DnV, "Draft guidelines for corrosion protection of ships", Det norske Veritas Classification A/S, Høvik, Norway, November 1991.
- [4] ABS, "Rules for building and classing steel vessels (incorporating SafeHull)", American Bureau of Shipping, New York, NY, 1995.
- [5] TSCF, "Guidance manual for inspection and condition assessment of tanker structures", Tanker Structure Co-operative Forum, Witherby & Co., London, 1986.
- [6] TSCF, "Condition evaluation and maintenance of tanker structures", Tanker Structure Co-operative Forum, Witherby & Co., London, 1992.
- [7] TSCF, "Guidance manual for tanker

- structures", Tanker Structure Co-operative Forum, Witherby & Co., London, 1997.
- [8] Hart, D.K., Rutherford, S.E. and Wickham, A.H.S., "Structural reliability analysis of stiffened panels", Trans. RINA, Vol. 128, pp. 293-310, 1985.
- [9] Viner, A.C. and Tozer, D.R., "Influence of corrosion on ship structural performance", Contribution to Report of Committee III. 3, 9th ISSC, St. Margherita, Italy, 1985.
- [10] Pollard, R.R., "Evaluation of corrosion damage in crude and product carriers, Study No. 2 on Corrosion Damage Evaluations", Report SMP-2-1 of the Berkeley Structural Maintenance for New and Existing Vessels Project, June 1991.
- [11] Løseth, R., Sekkeseter, G. and Valsgård, S., "Economies of high tensile steel in ship hulls", Marine Structures, Vol. 7, No. 1, pp. 31-50, 1994.
- [12] Paik, J.K., Kim, S.K., Yang, S.H. and Thayamballi, A.K., "Ultimate strength reliability of corroded ship hulls", Trans. RINA, Vol. 140, 1998, pp. 1-18.
- [13] Paik, J.K., Kim, S.K. and Lee, S.K., "A probabilistic corrosion rate estimation model for longitudinal strength members of bulk carriers", to appear in Ocean Engineering, 1998.
- [14] Paik, J.K., Thayamballi, A.K., Kim, S.K. and Yang, S.H., "Hull girder ultimate strength reliability considering corrosion", to appear in J. of Ship Research, Vol. 42, No. 2, 1998.
- [15] Kondo, Y., "Prediction method of corrosion fatigue crack initiation life based on corrosion pit growth mechanism", Trans. of the Japanese Society of Mechanical Engineers, Vol. 53, No. 495, pp. 1983-1987, 1987 (in Japanese).
- [16] Yamamoto, N., Kumano, A. and Matoba, M., "Effect of corrosion and its protection on hull strength (2nd report)", J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 176, pp. 281-289, 1994 (in Japanese).