

# Weibull형 고장분포를 갖는 선박용 부품의 최적 보전시기의 결정수법에 관한 연구

유 희 한\*

## A Study on the Decision of an Optimal Maintenance Period for Ship's Machinery Items using the Cumulative Hazard Rate Function for Weibull Distribution

H. H. Yoo

**Key words :** Weibull Distribution(와이블분포), Preventive Maintenance(예방보전), Corrective Maintenance(사후보전), Failure Rate(고장율), Cumulative Hazard, Distribution (누적 고장분포), Dynamic Programming(동적계획법), MTBF(평균고장간격시간)

### Abstract

The technology of preventive maintenance and corrective maintenance is widely applied to ships in order to maintain the good voyageable condition. One of the most important fields of marine engineering is to seek the maximum availability and to solve the stochastic maintenance problem such that the cost for corrective maintenance is minimized. Accordingly, for the purpose of making the most suitable maintenance schedule which minimizes the expected cost function, this paper suggests the method to grasp the failure characteristics by the ship's maintenance data that are collected from the the past. And, suggests the method to estimate the optimal maintenance interval by using the dynamic programming and the cumulative hazard rate function attained from the maintenance data.

### 1. 서 론

유니트 또는 시스템 전체를 가동상태로 유지 위하여 부품의 교환 및 수리를 행하는 예방보전 및

사후보전의 기술은 선박의 감항성 유지에도 널리 응용되고 있다<sup>1,2,3)</sup>. 일반적으로 기기의 고장은 어떠한 확률법칙에 따라 발생할 수 있는 것으로 생각할 수 있어 확률적 보전시기의 결정에는 Barlow에 의

\* 정회원, 한국해양대학교 기관시스템공학과(원고접수일 : 2000년 1월)

해 신뢰성의 기초수리(基礎數理)의 분야에서 일반화 되어왔다<sup>4,5)</sup>. 선박에서는 운항을 주 목표로 삼으면 Availability를 최대화 하는 보전문제를 검토해야 하며, 운항비용을 주 목표로 삼으면 고장 및 교환에 드는 비용을 최소화 하는 확률적 보전문제를 연구해야 한다<sup>6)</sup>.

여기에서 예방보전은 상태감시보전(Condition Monitoring Maintenance)과 시간관리보전(Time scheduled Maintenance)으로 대별된다. 전자에 있어서 선박에서는 data logger등의 상태감시 기기를 이용 한다던지 당직자에 의한 직접감시 등에 의해 미리 정한 제한 값을 초과했을 경우에 행하지만, 후자에 있어서 시스템의 수명분포 및 시스템의 운전시간 등으로부터 보전계획을 행하기 위하여 시스템의 고장특성을 어느 정도 과거의 축적된 고장데이터로부터 파악할 필요가 있다<sup>7)</sup>. 또한 수명 데이터가 얻어진 경우, 고장분포를 가정하고, 그 분포의 파라미터를 수명 데이터로부터 추출하는 것으로 판별을 행하고, 검정을 하는 순서를 밟는다. 그러나, 과거의 축적된 보전데이터가 적은 경우나 이용 가능한 관측데이터가 적은 경우에는 기기의 수명을 예측하는 것이 어렵다. 특히 파라미터 추정 및 분포의 적합 정도에 대해 통계적 취급방법이 분석자의 주관에 맡겨지는 경우가 적지 않다. 필자는 고장율이 이미 알려져 있는 경우에 대해서 동적계획법을 이용하여 선박용 기기 및 부품의 최적보전시기를 결정하는 방법을 이미 발표한 바 있다<sup>8)</sup>. 본 연구에서는 기기가 신품 또는 보전완료 후, 일정시간 운전한 상태의 시점에서, 그 후로 어느 일정시간을 계속해서 가동하는 경우의 기대비용 함수를 최소화하는 것을 목적으로, 선박의 고장데이터로부터 Weibull형 누적 hazard 분포함수를 구하고, 동적계획법(Dynamic Programming, 이하 DP라 한다)을 이용하여 최적보전간격을 추정하는 방법을 제안한다.

## 2. DP의 모델링 및 함수방정식

기기의 신품 및 또는 보전완료 후, 일정시간 운전한 상태의 시점에서, 그후로 어느 일정시간을 계속해서 가동하는 경우의 최소비용을 구함에 따라

최적의 보전시기를 결정하는 방법으로서 D.P를 이용하는 방법을 적용하기로 한다.

어떤 기기를 운전하는 경우, 이 기기는 어느 일정시간을 사용하면 고장이 생기며, 고장난 경우에는 해당부품의 교환 및 분해정비가 필요하게 된다. 또한 고장에 따라서는 선박의 운항이 장애를 받거나, 출항지연 및 입항지연에 의해 손실을 가져올 수도 있다. 따라서, 이와같은 고장이 발생하기 전에 미리 예방보전을 한다. 이 때, 해당개소의 부품이 아직은 고장이 나지 않았어도 예비품으로 교환하게 된다. 또한 너무 일찍 교환하면은 고장은 감소되지만 예방보전비용이 올라가게 된다.역으로, 고장이 나고 나서 교환하게 되면 손실이 크게 되어 버린다.

여기에서 예방 및 사후보전에 의한 보전효과는 시스템의 연령과 관계가 없고, 보전을 행함에 따라 기기의 고장율은 고장직전의 상태까지 복귀할 수 있는 것으로 한다. 또한 기기의 고장데이터에는 예방보전에 의해 도중에 중단된 데이터도 포함하고 있으므로 고장분포는 누적 hazard분포와 유사한 데이터로 간주한다.

우선, 최초에 고장날 확률을  $P_0$ , 보전후  $m$ 시간 경과한 기기의 고장확률을  $P_m$ 이라하고, 고장발생 전에 예방보전을 했을 경우의 비용을  $C_1$ , 고장발생 후의 사후보전을 한 경우의 비용을  $C_2$ 로 한다.  $C_2$ 에는 부품대금, 교환에 필요한 비용, 고장에 의한 운항에 수반되는 손실이 포함된다. 따라서,  $C_2 > C_1$ 의 관계가 있다. 또한,  $m$ 시간 운전 후에 그후로  $n$ 시간 계속 사용한 경우의 최소비용을  $F_n(m)$ 이라 한다. 여기에서 우선 이 문제를 해석하기 위해서, 경우1)과 경우2)로 나누어 생각해 본다. 여기에서 경우1)은 기기를 신품 또는 보전완료 직후, 사용을 개시하기 직전의 상태를 가정한 경우를 말하고, 경우2)는 기기를 신품 또는 보전완료 후  $m$ 시간 운전한 상태의 시점에서 다시  $n$ 시간 계속 가동하는 경우를 말한다.

### A) 경우1

기기가 신품 또는 보전완료 직후, 사용을 개시하기 직전의 상태로 가정한 경우의 최소비용  $F_n(0)$ 에 대해서 구하면 다음과 같다.  $m=0$ 이므로  $F_n(m)$ 은  $F_n(0)$ 으로 되어 기기가 신품 또는 보전완료 직후의

상태로부터 기기를  $n$ 시간 가동한 경우의 최소비용을 의미한다. 이 경우에 있어서, 최초의 고장이 나지 않을 확률은  $1-P_0$ , 고장날 확률은  $P_0$ 의 두가지 경우가 고려될 수 있지만 동적계획법의 최적성의 원리로부터 즉 전체로서의 최소비용으로 되기 위해서는 나머지의 프로세스에서도 최소비용으로 되어있지 않으면 안된다.

따라서 최초의 고장이 나지 않을 것으로 가정한 경우에는, 100시간 운전후 나머지  $n-100$ 시간의 비용은  $F_{n-100}(100)$ 이며, 최초고장이 낫것으로 가정한 경우에는, 고장에 의한 부품교환에  $C_2$ 의 비용이 들어간 후,  $n$ 시간 운전한 경우의 최소비용은  $F_n(0)$ 으로 되며, 각각의 확률은  $1-P_0$ 와  $P_0$ 이므로 경우(1)에서의 최소기대비용은 식(1)로 표현할 수 있다.

$$F_n(0) = (1-P_0)F_{n-100}(100) + P_0(C_2 + F_n(0)) \quad (1)$$

위식에서  $F_n(0)$ 를 풀면 식(2)와 같이 된다.

$$F_n(0) = F_{n-100}(100) + (P_0 \cdot C_2) / (1-P_0) \quad (2)$$

여기서  $n=100$ 시간으로 놓으면

$$F_{100}(0) = F_0(100) + (P_0 \cdot C_2) / (1-P_0) \quad (3)$$

여기에서  $F_0(100)$ 은 보전 후 100시간 운전 후, 이후 계속운전을 하기 직전의 비용으로, 즉 기기가 정지 되었을 때의 비용으로 0 이 된다. 여기서,  $P_0=0$  이므로,  $F_{100}(0)=0$ 으로 되며,  $m$ 시간 경과 후, 계속운전을 하기 직전의 최소비용  $F_0(m)=0$ 으로 된다.

B) 경우 2

기기가 신품 또는 보전완료 후  $m$ 시간 운전한 상

태의 시점에서 다시  $n$ 시간 계속 가동하는 경우의 최소비용  $F_n(m)$ 은 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉, 경우 2에서는 다시, 고장발생 전에 부품교환을 포함한 보전을 할 때의 경우(이때의 비용을  $C_1$ 이라 하고  $n$ 시간 가동후의 최소비용은  $F_n(0)$ )와  $m$ 시간 운전 후 보전 및 부품교환을 하지 않는 경우로 나누어서 생각할 수 있다.

후자의 경우에 있어서,  $m$ 시간 후 고장이 나지 않는다고 가정한 경우,  $m$ 시간 운전 후 그후 계속 100시간을 운전 후 나머지  $n-100$ 시간의 비용은  $F_{n-100}(m+100)$ 이며, 이때의 확률은  $1-P_m$ 으로 된다. 또한  $m$ 시간 운전직후에 고장났다고 가정한 경우, 고장에 의한 부품교환에  $C_2$ 의 비용을 들인 후  $n$ 시간 운전하는 경우의 최소비용은  $F_n(0)$ 이며 이들의 확률은  $P_m$ 이다. 따라서 경우 2에서의 기대되는 최소비용은 식(4)로 표현할 수 있다<sup>9,10</sup>.

$$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1-P_m)F_{n-100}(m+100) + P_m(C_2 + F_n(0))] \end{array} \right\} \quad (4)$$

따라서, 상기 2가지 경우에 대하여 동적계획법을 이용하기 위한 함수방정식(식(2),(3),(4))을 도출 하였으므로 위의 식들을 이용하여,  $m$ 시간 운전한 상태의 시점에서 그후 계속  $n$ 시간 가동하는 경우의 최소비용  $F_n(m)$ 을 계산할 수가 있다. 즉,  $C_1, C_2$ 를 결정하고, 고장확률을 산출한 후 100시간 마다의  $m$  및  $n$  을 위 식에 대입 함에 의해 예방보전과 사후보전의 시간을 예측한다.

3. 수치계산

Weibull형 누적 hazard분포에 의한 표본선박의

Table 1. Maintenance data for a F.O. purifier

기기명	예방보전 데이터		사후보전 데이터	
F.O. purifier bowl cleaning/ overhaulchange	예방보전비용	760	사후보전비용	3120
	$C_1$ 계수	1	$C_2$ 계수	4.1
	예방보전공수	4	사후보전공수	24
	예방보전인수	2	사후보전인수	4
	예방보전시간(Hour)	2	사후보전시간(Hour)	6
	예방공수단가(USD)	100	공수단가(USD)	100
	부품가격(USD)	300	부품가격(USD)	600
	부품 제비용 계수	1.2	부품제비용계수	1.2

연료유 청정기(F.O. purifier)의 보전시간의 결정을 위하여 우선, 박용기기의 고장데이터로부터 보전대상이 되는 기기의 평균고장을 및 예방보전, 사후보전에 필요한 공수 및 부품비용을 산출한다. 방법으로서 우선, 예방보전/사후보전에 필요한 조치인원, 시간을 정비일지 및 고장보고를 이용하여 기입한다. 이때 1공수 단가 및 부품비용을 입력한다. 부품취부에 부속하는 제비용 및 운항장애에 의한 손실은 보전비용에 대한 계수로서 입력한다. 이것으로부터 예방보전에 필요한 비용을  $1(C_1=1)$ 로 하고 사후보전계수를  $C_2$ 로 한다.

Table1에 어떤 선박의 연료유 청정기에 대해 예방보전과 사후보전에서 필요한 인원수, 소요시간, 부품가격 등의 제 수치를 나타낸다.

### 3.1 Weibull분포의 파라미터 추정

연료유 청정기의 보전시간의 결정문제의 해석

을 위하여 Table2의 관측자료를 이용하여 연료유 청정기의 Weibull형 누적 hazard분포함수를 구함에 따라 Weibull분포의 누적고장함수 또는 누적신뢰도함수를 구했다. 누적 hazard해석은 고장데이터 중에 예방보전데이터 등의 불완전 데이터가 포함된 경우에도 유효한 수법이다. 여기에서, 누적 hazard 함수  $H(t)$ 와 Weibull분포의 누적고장분포함수  $F(t)$  및 누적신뢰도 함수  $R(t)$  사이에는 다음 식(5)와 같은 관계가 있다.

$$F(t)=1-e^{-H(t)}, R(t)=1-F(t)=e^{-H(t)} \quad (5)$$

식(5)에서  $m$ (형상파라미터),  $\gamma$ (위치파라미터),  $\eta$ (척도모수 또는 특성수명)을 도입하면 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$F(t)=1-e^{-\gamma t-\gamma m t^m} \quad (6)$$

식(6)에서 위치파라미터  $\gamma$ 를 0 으하면 식(7)이 성

Table 2. The weibull type hazard function and failure data of F.O purifier

Date	days	누적day (t)	고장수	누적고장수	hazard수	누적hazard수 $H(t)$	$\ln(t)$	$\ln(H(t))$	
82/11	61	61	7	7	51	0.13725	0.13725	4.11087	-1.98595
83/01	61	122	2	9	44	0.04545	0.1827	4.80402	-1.69991
/03	59	181	3	12	42	0.07143	0.25413	5.1985	-1.36991
/05	61	242	4	16	39	0.10256	0.35669	5.48894	-1.03089
/07	61	303	3	19	35	0.08571	0.4424	5.71373	-0.81554
/09	62	365	2	21	32	0.0625	0.5049	5.8999	-0.68339
/11	61	426	0	21	30	0	0.5049	6.05444	-0.68339
84/01	61	487	6	27	30	0.2	0.7049	6.18826	-0.3497
/03	60	547	1	28	24	0.04167	0.74657	6.30445	-0.29227
/05	61	608	1	29	23	0.04348	0.79005	6.41017	-0.23566
/07	61	669	0	29	22	0	0.79005	6.50578	-0.23566
/09	62	731	1	30	22	0.04545	0.8355	6.59441	-0.17972
11	61	792	2	32	21	0.09524	0.93074	6.67456	-0.07178
85/01	61	853	0	32	19	0	0.93074	6.74876	-0.07178
/03	59	912	0	32	19	0	0.93074	6.81564	-0.07178
/05	61	973	4	36	19	0.21053	1.14127	6.88038	0.13214
/07	61	1034	2	38	15	0.13333	1.2746	6.94119	0.24263
/09	62	1096	1	39	13	0.07692	1.35152	6.99942	0.30123
/11	61	1157	0	39	12	0	1.35152	7.05359	0.30123
86/01	61	1218	1	40	12	0.08333	1.43485	7.10497	0.36106
/03	59	1277	1	41	11	0.09091	1.52576	7.15227	0.42249
/05	61	1338	3	44	10	0.3	1.82576	7.19893	0.602
/07	61	1399	0	44	7	0	1.82576	7.24351	0.602
/09	62	1461	1	45	7	0.14286	1.96862	7.28688	0.67733
/11	61	1522	2	47	6	0.33333	2.30195	7.32778	0.83376
87/01	61	1583	1	48	4	0.25	2.55195	7.36708	0.93686
/03	59	1642	3	51	3	1	3.55195	7.40367	1.2675

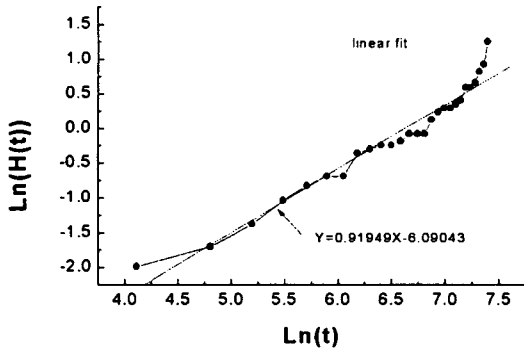


Fig. 1 Cumulative hazard function  $H(t)$  vs the time elapsed

립하게 된다.

$$F(t) = 1 - e^{-\omega\eta^m} \quad (7)$$

따라서, 누적 hazard함수  $H(t)$ 는  $H(t) = (t/\eta)^m$ 가 되므로 이 식에서 양변을 대수함수로 바꾸면 식(8)이 성립한다.

$$\ln H(t) = m(\ln t - \ln \eta) = m \ln t - m \ln \eta \quad (8)$$

식(8)에서 좌변의  $\ln H(t)$ 를 Y축에, 우변의  $\ln t$ 를 X축에 잡은 양 대수 그래프로부터 근사치의  $Y = mX + b$ 를 얻을 수 있다. Table2의 관측데이터로부터 식(8)의 결과를 Fig.1에 나타내었다.

위의 Fig.1으로부터 직선식은  $Y = 0.91948X - 6.9043$ 으로 되어 형상파라미터  $m$ 은 0.91949, 척도모수(또는 특성수명)  $\eta$ 는 752.7283(days)을 얻을 수 있다. 또한, 누적 hazard함수  $H(t)$ 와 고장율  $\lambda$ , 평균치  $\mu$ , 표준편차  $\sigma$ , 고장밀도함수  $f(t)$ 을 정리하면 다음식들과 같다.

$$H(t) = -\ln(1 - F(t)) = (t/\eta)^m = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (9)$$

$$f(t) = [m \cdot ((t/\eta)^{m-1}) / (\eta)^m] \cdot e^{-\omega\eta^m} \quad (10)$$

$$\lambda(t) = m \cdot (t/\eta)^{m-1} = f(t)/R(t) = f(t)/(1 - F(t)) \quad (11)$$

$$\mu = \eta \cdot \Gamma(1 + 1/m) \quad (12)$$

$$\sigma = \eta \cdot [\Gamma(1 + 2/m) - \Gamma^2(1 + 1/m)]^{1/2} \quad (13)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 감마함수로서  $\Gamma(t) = \int_0^\infty (x^{t-1}) \cdot e^{-x} dx$ 로 정의되는 함수이다.

위의 식을 이용하여 감마함수를 계산하고 평균

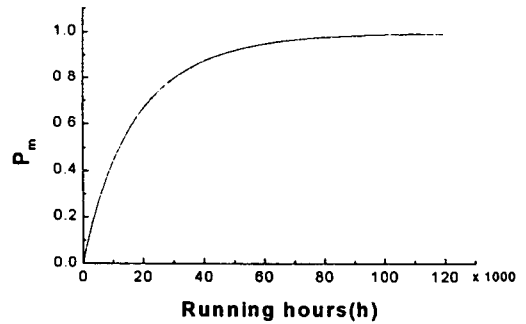


Fig. 2 Cumulative failure probability of a F.O. purifier according to running hours

치 및 누적고장확률함수를 계산하면,  $\mu$ 는 782.83, 로 되며, 식(14)가 성립한다.

$$F(t) = P_m = 1 - e^{-\omega\eta^m} = 1 - e^{-(t/752.7283)^{0.91949}} \quad (14)$$

Fig.2에 연료유 청정기의 고장에 있어서의 누적 고장확률함수( $F(t)$ )와 시간과의 관계를 나타내었다.

### 3. 2 최소 보전비용 $F_n(m)$ 의 계산

연료유 청정기의 고장은 디젤플랜트의 고장기기 중에서도 많은편으로 Table2의 고장데이터로부터 1000시간당 고장율( $\lambda$ )을 구하면 0.090132이다. 따라서, MTBF는 11094시간 전후이다. 여기에서, 보전 결정간격을 100시간 단위로 생각하면 기기가 신품 또는 보전완료직후( $m=0$ )의 경우의 최소보전비용을  $F_n(0)$ 으로 하면 전술의 항목2의 경우1)에서의 최초고장이 날 경우,  $F_n(0)$ 은 0으로 된다. (즉 여기서는  $F_{100}(0)=0$ )

연료유 청정기의 최적보전시기 결정문제에 대해 DP기법을 적용하여 도출해낸 식(2), (3), (4)들을 이용하여  $F_n(m)$ 의 값을 순차 100시간 마다 계산한 결과를 Table3에 나타내고, Table3의 최소보전경비에 대한 최적보전시간과의 관계를 보전계획시간마다로 표시한 것을 Fig.3에 나타내었다.

### 4. 고찰 및 결론

이와같이 Table3 으로 부터, 최소비용은 경계역의 상측과 하측에서 생긴다는 것을 알 수 있다.(즉,

Table 3. Minimum cost for the decision of optimal maintenance period of F.O. purifier (Here,  $n$  : Scheduled maintenance time,  $m$  : Time elapsed after maintenance)

$n$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$C_1 + F_n(0)$	1.0000	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
$m$	$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1 - P_m)F_{n-100}(m+100) + P_m(C_2 + F_n(0))] \end{array} \right\}$									
0	0.0000	0.0343	0.0988	0.1912	0.3097	0.4522	0.6165	0.8007	1.0025	1.2198
100	0.0343	0.0988	0.1912	0.3097	0.4522	0.6165	0.8007	1.0025	1.2198	1.4503
200	0.0647	0.1574	0.2761	0.4187	0.5833	0.7676	0.9696	1.1870	1.4177	1.6597
300	0.0936	0.2132	0.3566	0.5219	0.7070	0.9095	1.1274	1.3586	1.6010	1.8527
400	0.1215	0.2669	0.4339	0.6204	0.8244	1.0435	1.2758	1.5192	1.7717	2.0317
500	0.1487	0.3189	0.5083	0.7149	0.9364	1.1707	1.4159	1.6699	1.9312	2.1982
600	0.1753	0.3694	0.5803	0.8056	1.0434	1.2916	1.5484	1.8007	2.0025	2.2198
700	0.2013	0.4187	0.6500	0.8931	1.1460	1.4069	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
800	0.2268	0.4668	0.7177	0.9775	1.2445	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
900	0.2520	0.5138	0.7835	1.0591	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1000	0.2767	0.5598	0.8475	1.1380	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1100	0.3011	0.6049	0.9098	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1200	0.3252	0.6491	0.9706	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1300	0.3489	0.6925	1.0299	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1400	0.3724	0.7351	1.0877	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1500	0.3955	0.7769	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1600	0.4184	0.8180	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1700	0.4411	0.8584	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1800	0.4635	0.8982	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
1900	0.4857	0.9372	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2000	0.5076	0.9757	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2100	0.5293	1.0135	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2200	0.5508	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2300	0.5721	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2400	0.5932	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2500	0.6141	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2600	0.6348	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2700	0.6554	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2800	0.6757	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
2900	0.6959	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3000	0.7159	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3100	0.7357	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3200	0.7553	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3300	0.7748	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3400	0.7941	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3500	0.8133	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3600	0.8323	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3700	0.8512	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3800	0.8699	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
3900	0.8885	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4000	0.9069	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4100	0.9252	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4200	0.9433	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4300	0.9613	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4400	0.9792	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4500	0.9969	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198
4600	1.0000	1.0343	1.0988	1.1912	1.3097	1.4522	1.6165	1.8007	2.0025	2.2198

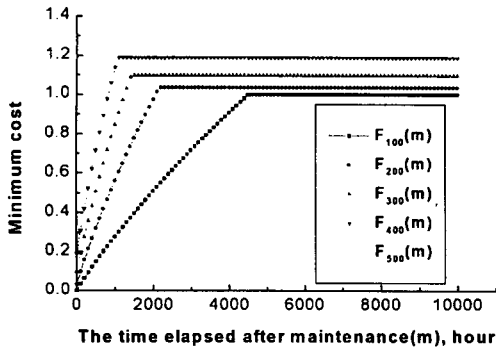


Fig. 3 Minimum cost according to the maintenance time

상측: 사후보전을 한다(고장부품교환을 포함), 하측: 예방보전을 한다.(예비부품의 교환을 포함) 또한, Fig.3에서 보는 바와 같이 연료유 청정기의 사용시간 및 앞으로 사용할 시간에 따른 각 경우에 대해서, 예방보전과 사후보전의 적당한 시간을 알 수 있다.

그러나, 금번의 연구에서는 한번 보전정비를 하면 신뢰도는 1로 되돌아 온다고 가정하였지만 실제로는 경제적으로 감쇠한다. 따라서, 고장확률에 경년열화에 의한 영향, 보전완성도(기술적 숙련도, 경험년수...), 교환부품의 고장변동 등의 변동인자를 고려할 필요가 있다고 생각되며 중대사고에 해당하는 것은 별도 사후보전비용에 추가할 수 있도록 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

參考文獻

- 1) 運輸省 海上技術安全局 船舶信賴性 調査委員會 報告書, 1986~1992.
- 2) T. Hashimoto, T. Harada and K. Kume, "Some Considerations on Developments in Reliability, Manning Indices for Engine Systems during the Past 30 Years in Japan", ICMES93 Paper25.

- 3) H. Kido, "Outline of Diesel Engine Plant and Automation System Reliability", ICMES90 Kobe, Paper F4-13.
- 4) R. E. Barlow and F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, Wiley, New York, 1965.
- 5) 土肥他, "確率的保全問題に對する統計的手法について", 日本信賴性工學會紙, Vol. 18, pp35~42, 1996.
- 6) Marine Media Management Ltd., Ship Maintenance a Quantitative Approach, 1975
- 7) 堀籠教夫, 石毛謙三, "舶用機器に關する信賴性, 保全性評價", 日本舶用機關學會誌, 第29卷 第9, 1994.
- 8) 유희환, 城戶八郎, 橋本武, 하주식, "동적계획법을 이용한 선박용 기기 및 부품의 최적보전시기 결정에 관한 연구", 한국박용기관학회지, 제23권, 제6호, 1999.
- 9) 前田活浪著, オペレーションズリサーチ, 第7章 動的計画法, 1974.
- 10) ERIC V. DENARDO, Dynamic Programming Models and Appliaction, 1982.

저 자 소 개



유희환(柳熙煥)

1956년 1월생. 1979년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1987년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(석사) 1997년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(박사) 1982-1989년 한국기계 연구소 선임연구원 1991-1998년 포항공대 가속기 연구소 선임연구원 1998-현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 전임교수