

동적계획법을 이용한 선박용기기 및 부품의 최적보전시기 결정에 관한 연구

유희한* · 城戸八郎** · 橋本武*** · 하주식*

A Study on the Decision of Optimal Maintenance Period of Ship's Machineries using Dynamic Programming

H. H. Yoo · Hachiro Kido · Tacheshi Hashimoto · J. S. Ha

Key words : Availability(적용성), Preventive Maintenance(예방보전), Corrective Maintenance(사후보전), Failure Rate(고장율), Dynamic Programming(동적계획법), MTBF(평균고장간격시간)

Abstract

There are two kinds of method in ship maintenance. One is the corrective maintenance and the other is the preventive maintenance. For these maintenances, recently the stochastic techniques are widely used to keep ships in good voyageable conditions and in these maintenances it is most important to seek the maximum availability and the optimal maintenance period minimizing a given cost function. Thus, this paper suggests a method to decide the optimal policy of ship's maintenances by using dynamic programming and the effectiveness of the method is verified through several examples in which failure rates and maintenance data of ship's machineries and parts are given.

1. 서 론

선박의 기기를 운전관리하는 경우 고장이 발생한 후에 보전을 행하는 사후보전(Corrective maintenance)과 고장이 발생하기 전에 미리 보전을 행

하는 예방보전(Preventive maintenance)이 있다. 사후보전을 행하는 경우, 일반적으로 치명적인 고장이 발생할 뿐만 아니라, 때에 따라서는 선박의 출입항 지연 또는 항해중의 정선이 요구되는 등으로 운항계획에 차질을 가져와 큰 손실을 볼수도 있

* 정회원, 한국해양대학교 기관시스템공학부(원고접수일 : 99년 9월)

** 日本海技大學校

*** 神戸商船大學

다. 예방보전의 경우는, 해당개소의 부품이 아직은 고장이 나지 않았어도 예비품으로 교환하게 되는 것으로, 너무 일찍 교환하면은 고장은 감소되지만 보전비용이 증가하게 된다. 그러므로, 선박의 운항 계획에 따라 적당한 보전시기를 결정하는 것이 필요하다.^{1,5,6)}

예방보전은 상태감시보전(Condition Monitoring Maintenance)과 시간관리보전(Time scheduled Maintenance)의 두가지 방법이 있다. 전자는 선박에서는 data logger 등의 상태감시기기를 이용한다든지 당직자에 의한 직접감시등을 이용하여 기기의 상태가 미리 정한 제한값을 초과했을 경우에 행하지만, 후자는 시스템의 고장통계 및 시스템의 운전시간 등으로부터 보전계획을 수립하는 것으로 과거의 축적된 고장데이터로부터 시스템의 고장특성을 파악할 필요가 있다. 일반적으로 기기의 고장은 어떠한 확률법칙에 따라 발생한다고 볼 수 있으므로 확률적 방법으로 보전방법을 결정하는 연구가 많이 이루어지고 있다.^{2,7)} 선박에서는 운항계획의 차질없는 실행을 주목표로 삼으면 Availability를 최대로 하고, 운항비용 감소를 주목표로 삼으면 고장 및 교환에 드는 비용을 최소화하는 확률적 보전문제를 생각해야 할 것이다. 본 연구에서는 일선 선박에서 축적된 고장데이터를 이용하여 신품 또는 보전완료된 기기로, 일정시간 운전한 상태에서, 그 후, 어느 일정시간을 계속해서 가동하는 경우의 최소보전비용을 구함으로써, 최적의 보전시기를 결정하는 문제에 동적계획법을 이용하는 방법을 제안하고, 실예를 이용하여 분석, 고찰 하고자 한다.

2. 동적계획법을 이용한 모델링

우선, 신품 또는 보전완료후 전혀 사용하지 않은 상태에서 대상기기가 고장날 확률을 P_0 라하고, 대상기기의 보전후 m 시간 경과한 기기의 고장확률을 P_m 이라하고, 고장발생전에 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. 또

한, m 시간 운전 후에 그 후로 n 시간 계속 사용한 경우의 최소비용을 $F_n(m)$ 이라 한다(본 연구에서는 n 및 m 을 100시간 단위로 한다). 여기서 동적계획법을 이용한 모델링을 하기 위하여 다음의 2가지 경우를 생각한다.

2.1 신품 또는 보전완료 후 사용을 개시하는 상태

이 경우의 최소비용 $F_n(0)$ 을 구하면 다음과 같다. 즉, $m=0$ 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 전체로서 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 날 것으로 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 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 식(3)과 같이 된다.

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

여기에서 $F_0(100)$ 은 보전후 100시간 운전후, 이후 계속운전을 하지 않는 경우의 보전비용으로 0이 된다. 또한, $P_0=0$ 으로 되어 $F_{100}(0)=0$ 로 되며, m 시간 경과후, 계속운전을 하기 직전의 최소비용 $F_0(m)=0$ 으로 된다.

2.2 보전완료후 또는 신품을 m 시간 사용한 상태에서 다시 n 시간 계속 가동하는 경우

이 경우의 최소비용 $F_n(m)$ 은 다음과 같이 된다. 고장발생전에 부품교환을 포함한 보전을 할 때의 비용을 C_1 이라 하고 n 시간 가동후의 최소비용은 $F_n(0)$, 또한 m 시간 운전후 보전 및 부품교환을 하지 않는 경우에 있어서 m 시간 후 고장이 나지 않는다고 가정한 경우, m 시간 운전후 그후 계속 100시간을 운전후 나머지 $n-100$ 시간의 비용은 $F_{n-100}(m+100)$ 이며, 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 $1-P_0$ 와 P_0 이므로 아래의 관계식이 성립한다³⁾.

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

따라서, 상기 2가지 경우에 대하여 동적계획법을 이용한 대상기기의 최적보전시기 결정을 위한 모델링이 함수방정식 식(2), (3), (4)로 도출되었으므로 이 식들을 이용하여, m 시간 운전한 상태의 시점에서 그후 계속 n 시간 가동하는 경우의 최소비

용 $F_n(m)$ 을 계산할 수가 있다. 즉, C_1, C_2 를 결정하고, 고장확률을 산출한 후, 100시간 마다의 m 및 n 을 위식에 대입함에 의해 예방보전과 사후보전의 시기를 예측한다.

3. 적용에 및 고찰

우선, 동적계획법으로 모델링된 함수방정식을 적용하기 위하여 어떤 선박의 기기의 고장데이터로부터 보전대상으로 되는 기기의 평균고장률 및 예방보전, 사후보전에 필요한 공수 및 부품비용을 산출한다. 우선 예방보전/사후보전에 필요한 조치인원, 시간을 정비일지 및 고장보고를 이용하여 기입한다. 이때 1공수단가 및 부품비용을 입력한다. 부품취부에 부속하는 제비용 및 운항장해에 의한 손실은 보전비용에 대한 계수로서 입력한다. 이것으로부터 예방보전에 필요한 비용을 $1(C_1=1)$ 로

Table 1 Examples of average failure rate of ship's machineries

기기명	평균고장율 (λ)	평균고장간격시간 (MTBF)
Main Engine Exh. Valve	0.0263	38,023 hours
Main Engine Piston Ring	0.01	100,000
Strainer	0.0687	14,556
Motor Bearing	0.02	50,000

Table 2 Maintenance data for ship's machineries

기기명		Main Engine Exh. Valve	Main Engine Piston Ring	Strainer	Motor Bearing
예 방 보 전	예방보전비용	1,300	2,760	210	1,810
	C_1 계수	1	1	1	1
	예방보전공수	12	24	2	18
	예방보전인수	3	4	2	3
	예방보전시간(hour)	4	6	1	6
	예방공수단가(USD)	100	100	100	100
	부품가격(USD)	100	300	10	10
	부품제비용 계수	1	1.2	1	1
사 후 보 전	사후 보전비용	7,105	4,400	2,320	5,424
	C_2 계수	5.5	1.6	11	3
	사후보전공수	60	32	16	48
	사후보전인수	5	4	4	4
	사후보전기간(hour)	12	8	4	12
	공수단가(USD)	100	100	100	100
	부품가격(USD)	850	1000	600	520
	부품제비용 계수	1.3	1.2	1.2	1.2

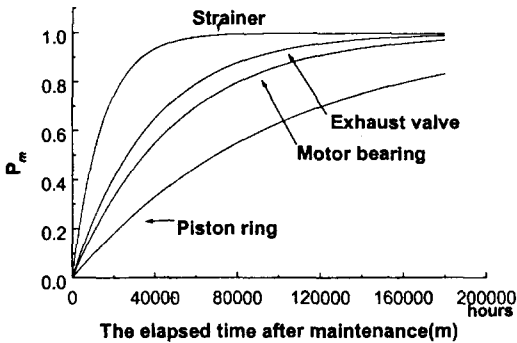


Fig.1 Cummulative failure probability of each item

하고 사후보전계수 C_2 를 결정한다. 1000시간당의 평균고장률(λ)로부터 기기의 고장형태는 지수분포에 따른다고 가정하고 100시간 경과 때마다의 고장확률, 신뢰도를 계산한다. 예로서, Table 1에 디젤주기관 배기밸브, 주기관 피스톤링, 주기관 연료유계통 스트레이너, 모터베어링에 대한 평균고장을 및 평균고장간격시간을 나타내고, Table 2에 상기 부품들에 대한 예방보전비용 및 사후보전비용에 대한 관련 자료를 나타낸다.

상기의 대상기기에 대한 자료를 이용하고, 고장형태를 지수분포로 가정하여 대상기기의 보전 후 m 시간 경과한 기기의 고장확률 P_m 은 식(5)를 이용하여 구하였으며, 각기기의 시간 경과에 대한 누적고장확률을 Fig.1에 나타내었다.

$$P_m = 1 - e^{-\lambda m} \quad (5)$$

식(5)에서 λ 는 평균고장률이고, m 은 보전후 경과된 시간이다.

Table1에서 알 수 있는 바와 같이, 디젤주기관의 배기밸브, 주기관 피스톤링, 주기관 연료유계통 스트레이너, 모터베어링의 MTBF는 거의 모두 10000시간을 넘는다. 식(2), (3), (4)에 C_1, C_2, P_m 의 값을 대입하고, 100시간 마다 $F_n(m)$ 을 순차적으로 계산한 결과를 Table 3, 4, 5, 6에 나타낸다. 또한, Fig.2, 3, 4, 5는 최소보전경비에 대한 최적보전시간과의 관계를 보전계획시간마다로 표시한 것이다. 이와같이 표 및 그래프로 부터 Table3, 4, 5, 6의 경계영역의 위쪽은 사후보전(고장부품 교환을

포함)이, 경계영역의 아래쪽에서는 예방보전(예비부품의 교환을 포함)의 쪽이 보전비용이 적게 든다는 것을 나타내고 있다. Fig.2, 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 각 기기의 사용시간 및 앞으로 사용할 시간에 따른 각 경우에 대해서 예방보전 및 사후보전의 최적시간을 알 수 있다.

4. 결 론

이상으로 본 연구에서는 동적계획법을 이용하여 선박에서 각종기기에 대한 최적보전시기를 결정하는 방법을 제안하고, 일선 선박에서 얻은 고장데이터를 이용하여 실제로 이 방법을 적용한 결과 합리적인 결과를 얻었다. 앞으로 선박의 주기관의 종류에 따른 각종기기 및 부품에 대한 고장데이터가 많이 축적되면 본 연구에서 제안한 방법에 의하여 보다 신뢰성이 높은 있는 최적보전시기를 결정할 수 있으리라 생각된다. 그러나, 본 연구에서는 한번 보전정비를 행하면 신뢰도는 1로 되돌아 온다고 가정하였지만 실제로는 경제적으로 감소한다. 따라서, 고장확률에 경년열화에 의한 영향, 보전완성도(기술적 숙련도, 경험년수 등), 교환부품의 고장변동율을 고려해야 할 것으로 생각되며, 고장분포도 지수분포로 가정하였지만, 앞으로 Weibull분포 등, 보다 일반적인 고장형태의 것으로 하여 고장분포의 파라미터를 고장데이터로부터 직접 추출하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 3. Minimum maintenance cost function for the decision of optimal maintenance period of M/E exh.valve

(Here, n : Scheduled maintenance time, m : Time elapsed after maintenance)

n		0	100	200	300	400	500	600	700	800
$C_1 + F_n(0)$			1.0000	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
m	P_m	$F_0(m)$	$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1 - P_m) F_{n-100}(m+100) + P_m (C_2 + F_n(0))] \end{array} \right\}$							
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0433	0.0863	0.1433	0.2141	0.2981	0.3951
100	0.0026	0.0000	0.0144	0.0433	0.0863	0.1433	0.2141	0.2981	0.3951	0.5046
200	0.0052	0.0000	0.0289	0.0719	0.1290	0.1998	0.2839	0.3809	0.4904	0.6118
300	0.0079	0.0000	0.0432	0.1004	0.1714	0.2556	0.3528	0.4624	0.5839	0.7168
400	0.0105	0.0000	0.0576	0.1288	0.2134	0.3109	0.4208	0.5426	0.6758	0.8196
500	0.0131	0.0000	0.0719	0.1570	0.2551	0.3656	0.4879	0.6216	0.7660	0.9204
600	0.0157	0.0000	0.0861	0.1851	0.2965	0.4197	0.5542	0.6993	0.8545	1.0190
700	0.0182	0.0000	0.1003	0.2130	0.3375	0.4732	0.6196	0.7759	0.9415	1.1157
800	0.0208	0.0000	0.1145	0.2408	0.3782	0.5262	0.6841	0.8512	1.0269	1.2103
900	0.0234	0.0000	0.1287	0.2684	0.4187	0.5787	0.7478	0.9254	1.1107	1.3031
1000	0.0260	0.0000	0.1428	0.2959	0.4587	0.6306	0.8107	0.9985	1.1931	1.3939
1100	0.0285	0.0000	0.1568	0.3232	0.4985	0.6819	0.8728	1.0703	1.2739	1.3951
1200	0.0311	0.0000	0.1709	0.3504	0.5380	0.7328	0.9340	1.1411	1.2981	1.3951
1300	0.0336	0.0000	0.1849	0.3775	0.5771	0.7830	0.9945	1.2108	1.2981	1.3951
1400	0.0362	0.0000	0.1988	0.4044	0.6160	0.8328	1.0542	1.2141	1.2981	1.3951
1500	0.0387	0.0000	0.2128	0.4312	0.6545	0.8821	1.1131	1.2141	1.2981	1.3951
1600	0.0412	0.0000	0.2266	0.4578	0.6928	0.9308	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
1700	0.0437	0.0000	0.2405	0.4843	0.7307	0.9790	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
1800	0.0462	0.0000	0.2543	0.5107	0.7684	1.0267	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
1900	0.0487	0.0000	0.2681	0.5369	0.8057	1.0740	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2000	0.0512	0.0000	0.2818	0.5629	0.8428	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2100	0.0537	0.0000	0.2955	0.5889	0.8795	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2200	0.0562	0.0000	0.3092	0.6147	0.9160	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2300	0.0587	0.0000	0.3228	0.6404	0.9522	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2400	0.0612	0.0000	0.3364	0.6659	0.9881	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2500	0.0636	0.0000	0.3500	0.6913	1.0237	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2600	0.0661	0.0000	0.3635	0.7166	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2700	0.0685	0.0000	0.3770	0.7417	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2800	0.0710	0.0000	0.3905	0.7667	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
2900	0.0734	0.0000	0.4039	0.7916	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3000	0.0759	0.0000	0.4173	0.8163	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3100	0.0783	0.0000	0.4306	0.8409	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3200	0.0807	0.0000	0.4439	0.8654	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3300	0.0831	0.0000	0.4572	0.8898	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3400	0.0855	0.0000	0.4705	0.9140	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3500	0.0879	0.0000	0.4837	0.9381	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3600	0.0903	0.0000	0.4968	0.9621	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3700	0.0927	0.0000	0.5100	0.9859	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3800	0.0951	0.0000	0.5231	1.0096	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
3900	0.0975	0.0000	0.5362	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
4000	0.0999	0.0000	0.5492	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
5000	0.1232	0.0000	0.6777	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
6000	0.1460	0.0000	0.8029	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
7000	0.1681	0.0000	0.9248	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
7500	0.1790	0.0000	0.9846	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
7600	0.1812	0.0000	0.9964	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951
7700	0.1833	0.0000	1.0000	1.0144	1.0433	1.0863	1.1433	1.2141	1.2981	1.3951

Table 4. Minimum maintenance cost function for the decision of optimal maintenance period of piston ring
 (Here, n : Scheduled maintenance time, m : Time elapsed after maintenance)

n	0	100	200	300	400	500	600	700	800	
$C_1 + F_n(0)$		1.0000	1.0016	1.0048	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444	
m	P_m	$F_0(m)$	$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1 - P_m) F_{n-100}(m + 100) + P_m (C_2 + F_n(0))] \end{array} \right.$							
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0048	0.0096	0.0159	0.0239	0.0334	0.0444
100	0.0010	0.0000	0.0016	0.0048	0.0096	0.0159	0.0239	0.0334	0.0444	0.0569
1000	0.0100	0.0000	0.0159	0.0333	0.0520	0.0721	0.0935	0.1162	0.1402	0.1653
2000	0.0198	0.0000	0.0317	0.0643	0.0978	0.1322	0.1673	0.2032	0.2398	0.2770
3000	0.0296	0.0000	0.0473	0.0947	0.1423	0.1899	0.2375	0.2851	0.3327	0.3801
4000	0.0392	0.0000	0.0627	0.1246	0.1854	0.2453	0.3043	0.3623	0.4193	0.4753
5000	0.0488	0.0000	0.0780	0.1538	0.2273	0.2986	0.3678	0.4350	0.5001	0.5633
6000	0.0582	0.0000	0.0932	0.1824	0.2679	0.3498	0.4283	0.5034	0.5755	0.6446
7000	0.0676	0.0000	0.1082	0.2105	0.3074	0.3990	0.4858	0.5679	0.6458	0.7196
8000	0.0769	0.0000	0.1230	0.2381	0.3456	0.4463	0.5405	0.6287	0.7114	0.7889
9000	0.0861	0.0000	0.1377	0.2650	0.3828	0.4917	0.5925	0.6859	0.7725	0.8530
10000	0.0952	0.0000	0.1523	0.2915	0.4188	0.5354	0.6421	0.7398	0.8296	0.9121
11000	0.1042	0.0000	0.1667	0.3174	0.4538	0.5773	0.6892	0.7906	0.8828	0.9667
12000	0.1131	0.0000	0.1809	0.3428	0.4878	0.6176	0.7340	0.8385	0.9325	1.0172
12500	0.1175	0.0000	0.1880	0.3554	0.5044	0.6371	0.7556	0.8613	0.9560	1.0410
14000	0.1306	0.0000	0.2090	0.3922	0.5527	0.6935	0.8172	0.9260	1.0220	1.0444
16500	0.1521	0.0000	0.2434	0.4511	0.6285	0.7802	0.9101	1.0217	1.0334	1.0444
16600	0.1530	0.0000	0.2447	0.4534	0.6315	0.7835	0.9136	1.0239	1.0334	1.0444
19500	0.1772	0.0000	0.2835	0.5181	0.7124	0.8735	1.0075	1.0239	1.0334	1.0444
19600	0.1780	0.0000	0.2848	0.5202	0.7151	0.8765	1.0105	1.0239	1.0334	1.0444
19700	0.1788	0.0000	0.2861	0.5224	0.7177	0.8794	1.0134	1.0239	1.0334	1.0444
19800	0.1796	0.0000	0.2874	0.5246	0.7204	0.8823	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
24500	0.2173	0.0000	0.3477	0.6211	0.8364	1.0062	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
24600	0.2181	0.0000	0.3489	0.6231	0.8387	1.0086	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
24700	0.2189	0.0000	0.3502	0.6250	0.8410	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
32500	0.2775	0.0000	0.4440	0.7660	1.0000	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
32600	0.2782	0.0000	0.4451	0.7677	1.0018	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
32700	0.2789	0.0000	0.4463	0.7693	1.0036	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
32800	0.2796	0.0000	0.4474	0.7710	1.0048	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
49000	0.3874	0.0000	0.6198	1.0007	1.0048	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
49100	0.3880	0.0000	0.6208	1.0016	1.0048	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444
98100	0.6251	0.0000	1.0000	1.0016	1.0048	1.0096	1.0159	1.0239	1.0334	1.0444

Table 5. Minimum maintenance cost function for the decision of optimal maintenance period of F.O line strainer

(Here, n : Scheduled maintenance time, m : Time elapsed after maintenance)

n	0	100	200	300	400	500	600	700	800	
$C_1 + F_n(0)$		1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863	
m	P_m	$F_0(m)$	$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1 - P_m) F_{n-100}(m+100) + P_m (C_2 + F_n(0))] \end{array} \right.$							
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0753	0.2249	0.4468	0.7379	1.0947	1.5125	1.9863
100	0.0068	0.0000	0.0753	0.2249	0.4468	0.7379	1.0947	1.5125	1.9863	2.5107
200	0.0136	0.0000	0.1501	0.3725	0.6641	1.0213	1.4395	1.9137	2.4385	2.9863
300	0.0204	0.0000	0.2244	0.5180	0.8771	1.2970	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
400	0.0271	0.0000	0.2982	0.6616	1.0857	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
500	0.0338	0.0000	0.3714	0.8032	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
600	0.0404	0.0000	0.4442	0.9429	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
700	0.0470	0.0000	0.5165	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
800	0.0535	0.0000	0.5882	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
900	0.0600	0.0000	0.6595	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1000	0.0664	0.0000	0.7303	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1100	0.0728	0.0000	0.8006	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1200	0.0791	0.0000	0.8705	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1300	0.0854	0.0000	0.9398	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1400	0.0917	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1500	0.0979	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1600	0.1041	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1700	0.1102	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1800	0.1163	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
1900	0.1224	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863
2000	0.1284	0.0000	1.0000	1.0753	1.2249	1.4468	1.7379	2.0947	2.5125	2.9863

Table 6. Minimum maintenance cost function for the decision of optimal maintenance period of motor bearing

(Here, n : Scheduled maintenance time, m : Time elapsed after maintenance)

n	0	100	200	300	400	500	600	700	800	
$C_1 + F_n(0)$		1.0000	1.0060	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649	
m	P_m	$F_0(m)$	$F_n(m) = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} [C_1 + F_n(0)] \\ [(1 - P_m) F_{n-100}(m+100) + P_m (C_2 + F_n(0))] \end{array} \right.$							
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0180	0.0358	0.0596	0.0891	0.1242	0.1649
100	0.0020	0.0000	0.0060	0.0180	0.0358	0.0596	0.0891	0.1242	0.1649	0.2109
1000	0.0198	0.0000	0.0594	0.1235	0.1921	0.2649	0.3417	0.4223	0.5064	0.5937
2000	0.0392	0.0000	0.1176	0.2364	0.3561	0.4764	0.5971	0.7181	0.8390	0.9598
2500	0.0488	0.0000	0.1463	0.2912	0.4345	0.5760	0.7156	0.8533	0.9888	1.1223
2600	0.0507	0.0000	0.1520	0.3020	0.4499	0.5954	0.7386	0.8793	1.0176	1.1533
2700	0.0526	0.0000	0.1577	0.3128	0.4652	0.6147	0.7614	0.9051	1.0459	1.1649
3000	0.0582	0.0000	0.1747	0.3449	0.5106	0.6717	0.8284	0.9806	1.1242	1.1649
3500	0.0676	0.0000	0.2028	0.3975	0.5844	0.7637	0.9356	1.0891	1.1242	1.1649
4200	0.0806	0.0000	0.2417	0.4695	0.6841	0.8864	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
5200	0.0988	0.0000	0.2963	0.5688	0.8195	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
6800	0.1272	0.0000	0.3815	0.7198	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
10200	0.1845	0.0000	0.5536	1.0060	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
20300	0.3337	0.0000	1.0000	1.0060	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
20400	0.3350	0.0000	1.0000	1.0060	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649
20500	0.3363	0.0000	1.0000	1.0060	1.0180	1.0358	1.0596	1.0891	1.1242	1.1649

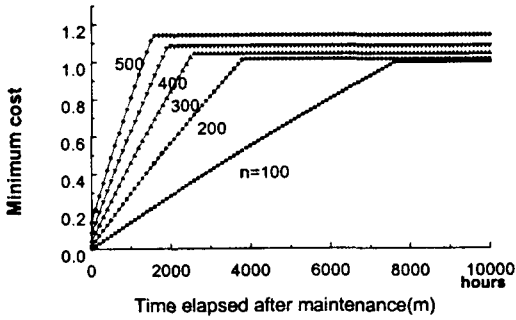


Fig. 2 Minimum maintenance cost function according to maintenance time of M/E exhaust valve

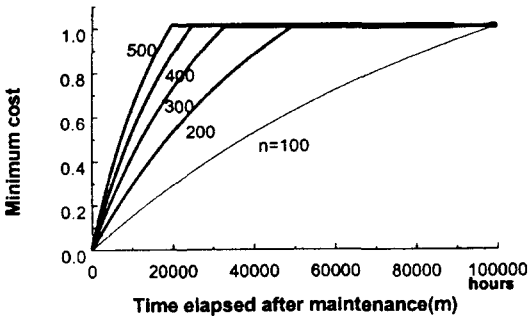


Fig. 3 Minimum maintenance cost function according to maintenance time of piston ring

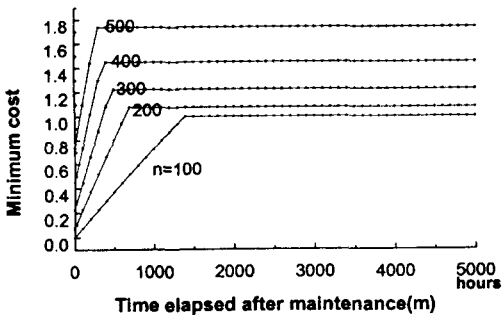


Fig. 4 Minimum maintenance cost function according to maintenance time of F.O line strainer

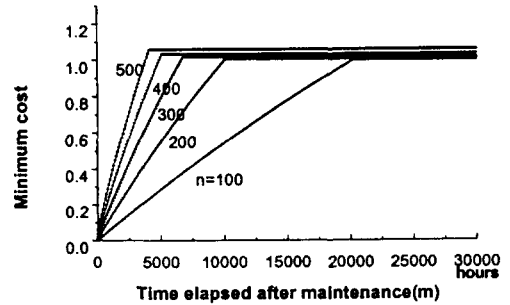


Fig. 5 Minimum cost according to maintenance time of motor bearing

參考文獻

- 1) 하주식, "기기 또는 시스템의 고장과 신뢰성 및 보 전성", 한국박용기관학회지, 제11권 제1호, pp.10~28, 1987
- 2) R. E. Barlow and F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, Wiley, New York, 1965
- 3) 前田活浪著, オペレーションズリサーチ, 第7章 動的計劃法, 1974
- 4) 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
- 5) 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
- 6) H. Kido, "Outline of Diesel Engine Plant and Automation System Reliability", ICMES90 Kobe, Paper F4~13
- 7) 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, pp.35~42, 1996

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. 1998년-현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 전임교수.



城戸八郎 (Hachiro Kido)

1943년생. 1969년 일본 고오베상선대학 상선학부 기관과 졸업. 1976-1989년 NYK (Nihon Yusen) 승선(3기사~기관장). 1985년-현재 일본 해기대학교 기관과 조교수. 1998년-현재 일본 고오베상선대학 대학원 박사과정 재학중.



橋本武 (Tacheshi Hashimoto)

1938년 4월생. 1961년 일본 코베상선대학 상선학부 기관과 졸업. 1986년 일본 오오사카대학 대학원 졸업(박사). 1973년 일본 박용기관학회상 수상. 1992년-1993년 일본 박용기관학회 메카트로닉스분과 위원회 위원장. 1961년-현재 일본 코베상선대학 교수.



허주식 (河注植)

1933년 7월생. 1957년 한국해양대학 기관학과 졸업. 1965년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1968년 일본동경공업대학 대학원 제어공학 전공 졸업(석사). 1972년 일본동경공업대학 대학원 제어공학 전공 졸업(박사). 1974년 일본계측자동제어학회 논문상 수상. 1963-1988년 한국해양대학교 교수. 1988-1990년 한국박용기관학회 회장. 1988-1992년 한국해양대학교 학장. 1992-1998년 한국해양대학교 교수. 1998년-현재 한국해양대학교 명예교수