

船用 디젤機關의 실린더 라의너 및 피스톤 링의 異常摩耗에 關하여

鄭 太 準\*

On the Abnormal Wear of Cylinder Liners and Piston Rings of the Marine Diesel Engine

by

Tae Choon Chung

Abstract

Since the fuel oil of the bunker C grade, which is commonly burnt in the large marine diesel engine, causes the corrosive wear of cylinder liners and piston rings, a cylinder oil of high alkalinity is frequently used to prevent the wear. This practice, however, brings us another problem to cause the abnormal wear.

In this study the author made an investigation of the mechanism of the abnormal wear by the experiments surveying the influences of the alkalinity of a cylinder oil and the temperature of cylinder wall on the wear. The major results obtained from this study are as follows;

A cylinder oil of low alkalinity is clearly effective for the prevention of the abnormal wear. Therefore, it is recommended that, prio to using a cylinder oil of high alkalinity, a cylinder oil of low alkalinity should be used until bringing an end to the initial wear.

It is also observed that the abnormal wear depends largely on the temperature of the cylinder wall, that is, the higher the temperature goes up the severer the wear grows.

1. 序 言

近來 大型船用 diesel 機關의 燃料로 低質의 C 重油가 使用되는데, 이러한 低質燃料은 機關의 腐食摩耗를 일으키기 때문에 이를 防止하기 爲하여 高 alkali 性 cylinder oil 이 使用되고 있다. 이 高 alkali 性 cylinder oil 은 腐食摩耗를 막는데는 效果가 있으나, 反面에 cylinder 內와같은 高溫度에 있어서 軟質異物을 發生하여 cylinder liner 와 piston ring 의 接觸을 境界潤滑狀態로 만든다.[4]\*\* 特히 初期 round 가 없는 ring 에 있어서 는 粘性潤滑이 되지않아 scuffing 이 일어난다. 따라서 cylinder liner 및 piston ring 의 硬質摩耗粉이 二次的으로 abrasive 摩耗를 일으키며, 이것이 異常摩耗의 原因이라 生覺된다.

異常摩耗는 running in 期間에 일어나며 數百~數千時間 계속된다[1]. 따라서 機關 製作者나 使用者는 短時間內에 初期摩耗를 完了시켜 正常으로 돌아가게 함으로써 機關의 補修維持費의 節約을 꾀하고자 努力하고

接受日字 1971年 5月 10日

\* 正會員, 仁荷工科大学

\*\*[ ]內的 數字는 本文 末尾에 記載된 參考文獻의 番號임.

있다.

本報文에서는 異常摩耗의 性格을 調査하여 cylinder oil, cylinder 壁의 溫度等 여러가지 要因에 對하여 實驗的 方法으로 어떤 因子가 異常摩耗를 防止하는데 效果가 있는가를 調査하였다.

## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

### 2-1 實驗裝置

實驗에는 Table 1 과 같은 諸元 및 性能을 가지는 日本國 九州大學 工學部の NDT 19/35 型 單 cylinder 2 cycle 機關이 使用되었는데, Fig. 1 이 實驗裝置의 schematic arrangement 이고 Fig. 2 는 實驗機關의 標準指 壓線圖이다.

Table 1. Particulaus of the Test Engine

Engine type	NDT 19/35, Single cylinder 2 cycle, Crosshead type
Cylinder diameter	$D=190$ mm
Max. r.p.m.	$N=510$ r.p.m.
Max. output	$L=110$ PS
Mean effective pressure	$P_{me}=10$ kg/cm <sup>2</sup>
Mean piston speed	$c=6$ m/sec
Scavenging air pressure	$P_s=1.0$ kg/cm <sup>2</sup> (gage)
Max. cylinder pressure	$P_{max}=100$ kg/cm <sup>2</sup> (gage)
Stroke	$S=350$ mm
Scavenging method	uniflow, 4 exhaust valve

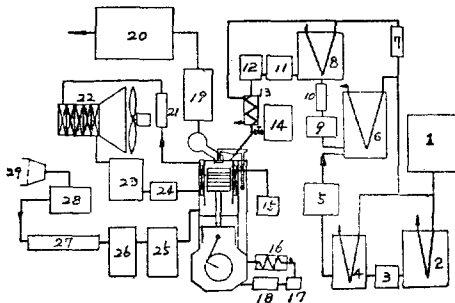


Fig. 1 General Arrangement of the Test Stand.

1 steam generator, 2 fuel tank, 3 fuel oil transfer pump, 4 fuel oil heating tank, 5 purifier, 6 settling tank, 7 steam, 8 service tank, 9 fuel oil transfer pump. 10 fuel oil, 11 fuel oil measuring instrument, 12 booster pump 13 fuel heater 14 light oil, 15 cylinder oil squirt, 16 lubricating oil cooler, 17 lubricating oil pump, 18 lubricating oil tank, 19 muffler, 20 silencer, 21 cooling liquid, 22 cooler, 23 cooling liquid tank, 24 cooling liquid pump, 25 No.2 surge tank, 26 No.1 surge tank, 27 air cooler, 28 roots blower, 29 air inlet.

燃料油로서는 Table 2 와 같은 物性を 갖는 Mitsubishi 重油를 使用했으며, 燃料油系統은 Fig. 1 에 보이는 바와 같이 全線에 걸쳐 蒸氣로 加熱시킴으로서 燃料油를 80~85°C 로 維持하였다.

潤滑은 cylinder 潤滑과 system 潤滑로 나누어 行했는데 使用된 cylinder oil의 物性は Table 3 과 같다.

給氣는 roots blower 로 壓力을 上昇시켜 주었는데, 壓力이 上昇함에 따라 空氣溫度가 上昇함으로(50~60°C). 이

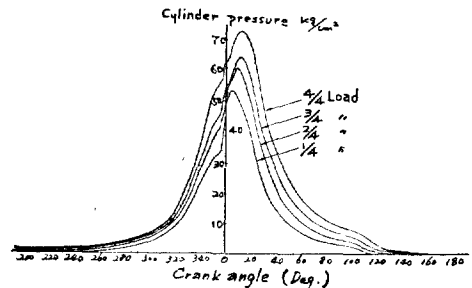


Fig. 2 Indicator Diagram of the Test Engine

Table 2 Characteristics of the Fuel Oil

Fuel oil grade	bunkerC	diesel
Specific gravity, 15/4 °C	0.942	0.838
Flashing point, °C	120	101
Viscosity, cst 50°C	116	
cst 30°C		4.1
Pour point, °C	+5	-15
Carbon residue, wt. %	8.60	0.01
Water, wt. %	0.05	Nil
Ash, wt. %	0.013	Nil
Sulfur, wt. %	2.86	0.69
Heat value, kcal/kg	10350	10600

Table 3 Characteristics of the Lubricating Oil

Oil No.	40-5B	40-60B
Lubricating oil type	parafin	parafin
T.B.N. grade	5	60
SAE No.	40	40
Specific gravity, 15/4°C	0.8926	0.9280
Flashing point	270	252
Viscosity, cst. 37.8°C	166.9	153.9
98.9°C	15.04	14.86
Diesel index (JIS K2284-69)	98	104
T.B.N. KOH, mg/g	5.2	59
T.A.V. KOH, mg/g	1.1	3.3
Carbon residue, wt. %	0.65	6.56

를 途中에서 水冷却시켜 15~20°C로 낮추어주었다. 또 脈動을 막기 爲하여 2次 surge tank를 設置했다.

cylinder 壁의 冷却에는 水冷却外에 溫度를 自由로히 조절할 수 있게끔 高沸點을 갖는 110番 diamond을 使用했고, 순환 oil을 冷却시키기 爲하여 5個의 radiator와 fan을 設置했고 每回의 test run에서의 二定溫度維持는 on-off 制御에 依하였다.

2-2 實驗方法

實驗 施行計劃은 Table 4에 表示한바와 같이 燃料油, cylinder oil 및 cylinder 壁의 溫度에 對하여 6種의 組合을 擇하였다.

Table 4. The Schedule of the Test Runs

Test run No.	Fuel oil*	Cylinder oil**	Temp. of Cylinder wall
1	diesel oil	low alkality	(145° at 4/4 load)
2	diesel oil	high alkality	(215° at 4/4 load)
3	bunker C	low alkality	160°C
4	bunker C	low alkality	180°C
5	bunker C	high alkality	160°C
6	bunker C	high alkality	180°C

Note; \*Refer to Table 2

\*\*Low alkality; 40-5B, High alkality; 40-60B, Refer to Table 3

正常摩耗와 異常摩耗의 性格을 調査하기 爲하여 test run No.1은 正常摩耗, test run No. 2는 異常摩耗 [1] [2]로, 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 load에서 各各 4~6.5時間씩 運轉시켰고, test run No.3,4,5,6은 cylinder oil의 alkali性 및 cylinder 壓의 溫度 等の 因子가 異常摩耗에 어떻게 影響을 주는가를 調査하기 爲하여 4/4 load에서 各各 4時間씩 運轉시켰다.

供試 cylinder liner는 어느 것이나 vanadium 鑄鐵材(V=0.25%)로써, test run No.1만은 bite 仕上(pitch=5mm, depth=0.03mm)하고 其他의 liner는 grinder 仕上하였다.

cylinder liner의 溫度測定은 Fig. 3에 圖示한바와 같이 最高溫度인 P點(T.D.C) 最低溫度인 R點(B.D.C) 그리고 그 中間 Q點等 各處에서 cylinder 摺動面下 1mm 位置에 熱電對를 끼워서 測定했다.

cylinder liner의 表面粗度 測定은 test run No.1, No.2의 경우 圓周方向으로 4個所, 摺動方向으로 3個所



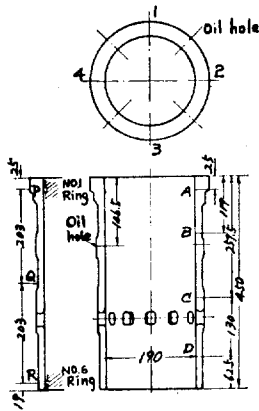


Fig. 3 Cyliner Liner

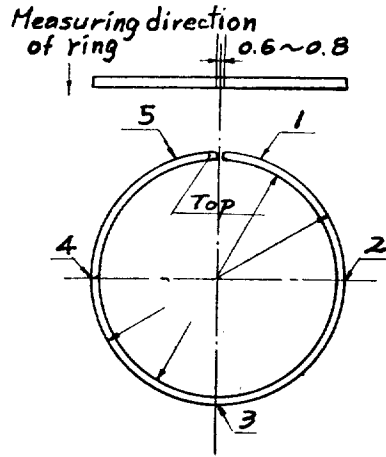


Fig. 4 Piston Ring

(P,Q,R) 計 12個所에서 (Fig. 3 參照), test run No. 3, 4, 5, 6,의 경우 圓周方法으로 4個所, 摺動方向으로 4個所(A,B,C,D) 計 16個所에서 行하였는데, P 2 接着劑로서 型을 떠서 오자카(小坂)式 SE-3 型 萬能表面形狀測定機를 使用하여 Vicker's 壓痕法[2]에 依해 摩耗量을 測定했다. piston ring의 粗度測定은 Fig. 4에 圖示한바와 같이 5個所(1,2,3,4,5)를 擇하여 萬能表面形狀測定機로 測定했다.

摩耗粉의 測定을 爲해서는 採油점시를 掃氣室에, 設置하였으며 機關運轉中에 掃氣壓을 利用하여 cylinder 滴下油를 採取하여 이를 비이커에서 沈澱시켜 不溶分을 磁石으로 물어갓이고 金屬顯微鏡으로 觀察하였다.

한편, 各 test run 에서의 機關運轉狀態는 Table 5에 表示하는 바와 같다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1 Test run No. 1 No. 2

Fig. 5, Fig. 7은 正常摩耗(test run No. 1), Fig. 6, Fig. 8은 異常摩耗(test run No. 2)時의 piston ring의 摺動面 變化를 나타낸 것인데 正常摩耗는 22時間, 異常摩耗는 24.5時間 運轉後의 piston ring 摺動面變化는 어느 것이나 中心線平均粗度( $R_a$ )가  $0.1\mu$  以下였으나 上3段이 下3段보다 若干 摩耗가 심했다.

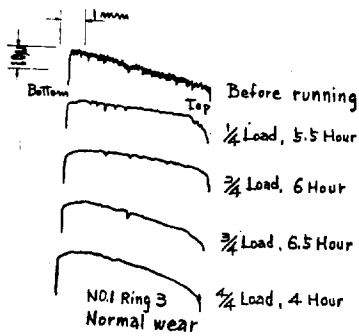


Fig. 5 Change of the Piston Ring Profile

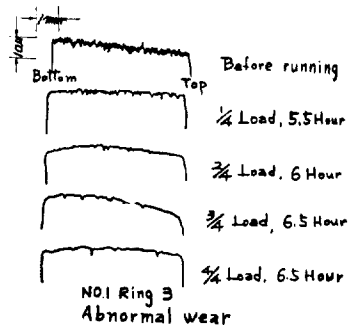


Fig. 6 Change of the Piston Ring Profile

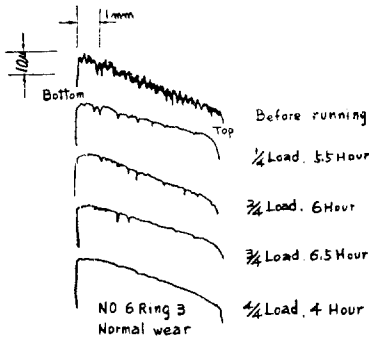


Fig. 7 Change of the Piston Ring Profile

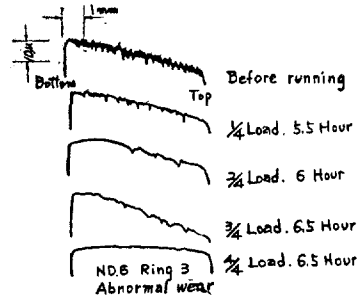


Fig. 8 Change of the Piston Ring Profile

이것은 上 3 段의 ring 이 摺動面溫度 및 ring 背壓이 높기 때문이라고 생각된다. piston ring 의 摺動面은 最初平坦한 것이었으나 兩端의 edge loading 에 依해서 급격히 round 가 생기고 그後 점차 smooth 한 round 된다[3]. 4/4 運轉後  $H=8\mu$  였으므로 摺動面幅 7mm 에 依한  $H/B \cong 1/1000$  에 달했다. 이것은 一般的으로 running in 後 長期間 運轉한 ring 이  $H/B \cong 1/1000$  이므로[1] 工場試運轉에서 일한 running in 이 完了되었다고 보아도 좋으리라 생각된다.

또 Fig. 6 을 보면 2/4 load 에서 部分的으로 scuffing 의 경향이 보이고 ring 周圍에 걸쳐 多量의 摩耗가 나타난 것은 4/4 load 때이다. 다시 말하면 4/4 에서 異常摩耗를 發生시키고 있다.

Table 6 은 piston ring 의 摩耗量을 表示한 것인데 上 3 段이 큰것은 cylinder 內의 溫度와 壓力이 높기 때문이다 생각된다. Fig. 9 은 正常摩耗, Fig. 10 은 異常摩耗時의 piston ring 의 摩耗量을 나타낸 것이며 4/4 load 後 正常摩耗時는  $Ra \cong 0.05 \sim 0.1\mu$  이었으나 異常摩耗時는  $Ra \cong 0.15 \sim 0.18\mu$  이었다.

Table 6. Piston Ring Wear.

Test run Ring \ Load	No. 1 (Normal wear)				No. 2 (Abnormal wear)			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
No. 1	7.0	11.0	15.0	23.0	3.0	4.8	6.0	442
No. 2	6.4	13.0	19.4	33.0	4.4	4.8	6.4	613
No. 3	6.0	8.4	10.2	11.6	2.8	5.4	7.2	291
No. 4	5.4	8.4	9.3	12.4	1.4	2.6	7.2	95.8
No. 5	4.8	6.8	8.8	10.8	1.8	4.2	5.2	99.2
No. 6	5.4	7.4	10.0	14.2	3.0	5.0	6.1	103

Fig. 11, Fig. 12 는 cylinder liner 의 摺動面變化를 表示한 것인데 摺動面의 凸部는 相當히 摩耗되고 凹部는 거의 變化를 發見할 수 없다.

反面 piston ring 의 中央部가 若干凹部로 나타났다. 이것은 ring 의 摺動面幅  $B$  와 cylinder 面의 bite pitch  $P$  사이에  $P < B < 2P$  인 관계가 있어 ring 摺動行程이 tilting motion 을 일으켰다는 것을 보여준다.

Fig. 13 은 異常摩耗時의 cylinder liner 의 摩耗量 變化를 나타낸 것인데 3/4 load 以前(即 正常摩耗過程)에 있어서는 stroke 中央部보다 上死點부근이 크다. 다음 4/4 load 以後(即 異常摩耗發生 以後)에서는 stroke 의 上部보다 中央部 下部에서 현저히 增加되었다. 이것은 高 alkali 性 cylinder 油를 使用했기 때문에 生成된 異物質이 cylinder liner 面을 部分的으로 scuffing 을 일으켰기 때문이다 생각된다.

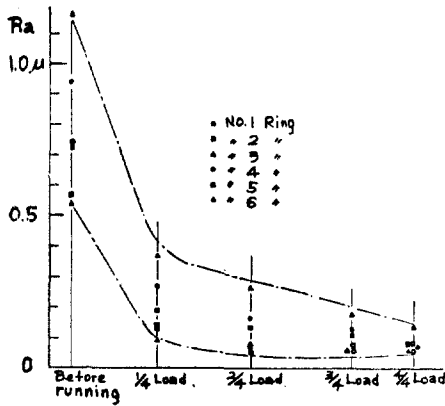


Fig. 9 Normal Wear of the Piston Ring (Test Run No. 1)

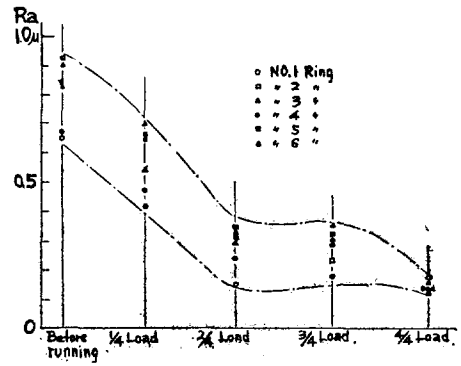


Fig. 10 Abnormal Wear of the Piston Ring (Test Run No. 2)

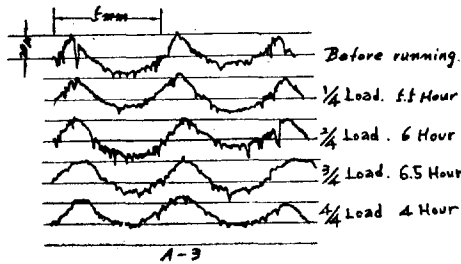


Fig. 11 Change of the Cylinder Liner Profile

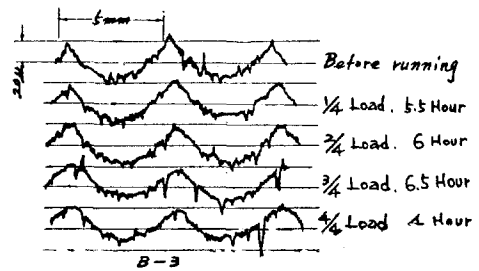


Fig. 12 Change of the Cylinder Liner Profile.

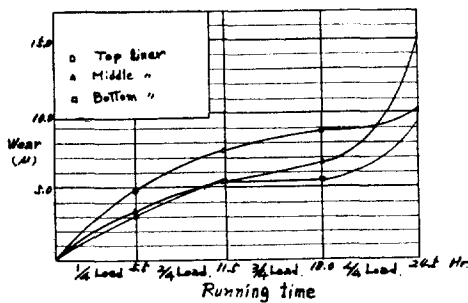


Fig. 13 Running Time-Wear Curve

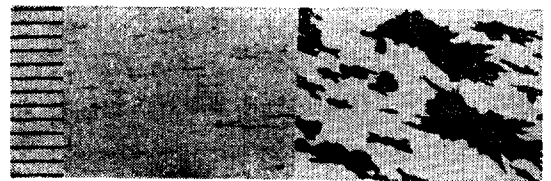


Fig. 14 Photograph of Wear

Fig. 14 에 摩耗粉의 사진을 表示한다. 左端은 눈금(한눈금=10μ) 中央이 正常摩耗粉, 右端이 異常摩耗粉이다. 正常摩耗粉이 1μ 程度인데 比해 異常摩耗粉은 10μ 數程度이다.

### 3-2 Test run No. 3, No. 4, No. 6

Fig. 15 는 cylinder liner 摩耗量을 表示한 것인데 test run No. 3, No. 4 (低 alkali)는 摩耗量이 5μ 以下이다. test run No. 5, No. 6 (高 alkali)는 5~14μ 이다.

한편 piston ring의 摩耗量은 Fig. 16과 같이 test run No. 3, No. 4는  $5\mu$  이하이나 test run No. 5, No. 6는  $15\mu$  이상이다. 따라서 No. 5, No. 6,는 異常摩耗를 일으켰음을 보여준다.

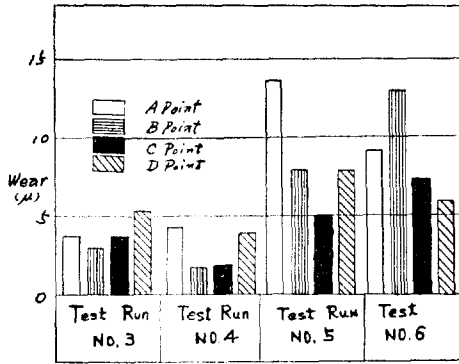


Fig. 15 Wear of the Cylinder Linder

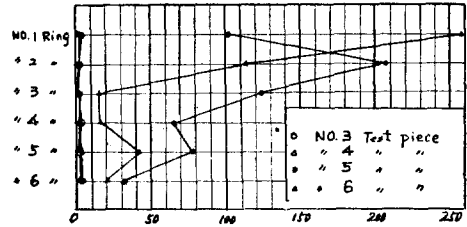


Fig. 16 Wear of the Piston Ring

그리고 同種의 高 alkali性 cylinder oil을 使用하였을 경우 高溫의 경우가 低溫의 경우보다 摩耗量이 크게 나타났다.

#### 4. 結 言

叙上한 考察로부터 燃料油, cylinder 壁의 溫度 및 cylinder liner 및 piston ring 등의 條件이 같을때, 低 alkali性 cylinder oil을 使用하는 편이 高 alkali性 cylinder oil을 使用할 경우에 比하여 異常摩耗 防止에 效果가 큼을 考慮하여 工場試運轉 과정 또는 cylinder liner 및 piston ring을 新品으로 交換했을 初期에, 低 alkali性 cylinder oil을 使用하여 短時間內에 初期摩耗를 完了시켜서 正常摩耗狀態를 인은후에 高 alkali性 cylinder oil을 使用하는 것이 效果의임을 알 수 있다.

한편, 같은 種類의 燃料油 및 cylinder oil에 對해서는 cylinder 壁의 溫度가 높을수록 異常摩耗가 더 甚하다.

#### 後 記

本實驗을 爲하여 實驗裝置의 使用을 許容해주었고 또 研究進行 過程에서 많은 指導를 해 주신 九州大學 工學部 和票 및 小野兩教授에게 感謝를 드린다. 또 實驗을 도와준 阿部 및 尾山 두분의 勞苦에 謝意을 表한다.

#### 參 考 文 獻

[1] 和票, 矢野, 光武, 小野; “船用 Diesel 機關 Piston Ring의 過大摩耗에 關하여”, 日本 機械學會 論文集 29卷 208號, 1963年 12月

[2] 和票, 勝田; “Diesel 機關 cylinder用 添加 潤滑油의 效果”, 潤滑第5卷 6號, 1960年

[3] 和票; “大型 Diesel 機關의 潤滑과 摩耗”, 潤滑第8卷 第6號, 1963年

[4] F. P. Bowden and D. Tabor; “The Friction and Lubrication of Solids,” Oxford University Press., 1954