

## 베어링 합금材의 캐비테이션 浸蝕 - 腐蝕舉動에 미치는 乳化 潤滑油의 影響

林 祐 助\* · 李 鎮 烈\*\*

### Influence of Lubricating Oil Emulsified on the Behaviour of Cavitation Erosion - Corrosion at Bearing Metals

U. J. Lim · J. Y. Lee

**Key words :** Cavitation erosion-corrosion(캐비테이션 浸蝕-腐蝕), Piezoelectric vibrator(壓電振動子), Lubricating oil emulsified(乳化 潤滑油) Weight loss(무게 減少量), Corrosion sensitivity(腐蝕 感受性), Chromate inhibitor(크롬산염 抑制劑), Protective efficiency(抑制率), Oil space(油隔), Slide bearing metals(슬라이드 베어링 합금材)

#### Abstract

Recently, because the lubricating oil showed a tendency to be emulsified and oxidized by high speed, high output and the extension of maintenance & conservation of marine engine, the cavitation erosion - corrosion at such an environment became a big problem on effective performance of engine.

Therefore, there was a need to study the behaviour and protection of erosion-corrosion damage, and then applied inhibitor to a protective method of cavitation erosion - corrosion damage. At this time, test environments were marine lubricating oil & various emulsified oil that mixed distilled water and sea water etc., and also used 20KHz, 24 $\mu$ m piezoelectric vibrator as an experimental apparatus of cavitation erosion.

With this apparatus, we investigated an influence of the emulsified oil on characteristics of erosion - corrosion and protection for erosion - corrosion by inhibitor at slide bearing metals.

#### 1. 序 論

액체를 취급하는 機械裝置는 流速 및 回轉速度

등이 빠르게 되면 流體衝擊과 靜壓의 저하에 따른 局部的 沸騰으로 인해 캐비테이션(cavitation)현상이 발생하며, 이러한 캐비테이션 현상에 따라

\* 正會員, 釜山水產大學校

\*\* 正會員, 韓國海洋大學校

騒音과 振動을 초래하고, 또한 氣泡의 崩壞에 따른 衝擊壓으로 캐비테이션 浸蝕損傷이 일어남으로써 機械效率과 性能을 저하시킬 수 있다. 더욱이, 腐蝕性 액체중에 사용되는 機械裝置의 金屬材料에는 캐비테이션 浸蝕과 동시에 電氣化學的인 腐蝕이 일어나게 되며, 캐비테이션에 의한 浸蝕-腐蝕(erosion-corrosion)이 중첩하여 발생하는 경우는 浸蝕과 腐蝕이 상호간에 가속하는 上昇效果로 인해 機械裝置의 수명에 치명적인 影響을 미친다<sup>1)</sup>.

이와 같은 캐비테이션 現象의 발생은 電氣化學的으로 안정된 非電解質의 潤滑油中에서는 腐蝕性이 거의 없는 機械的인 浸蝕作用만 있지만, 최근 각종 機關의 出力과 回轉速度가 증가되는 추세에 따라 潤滑油의 劣化가 촉진됨으로써 腐蝕性에 의한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕이 報告되고 있다<sup>2-4)</sup>. 특히, 自動車用 內燃機關, 船舶用 디젤 機關, 發電機用 터빈 또는 高壓 壓縮機의 베어링 合金材等에서도 캐비테이션 浸蝕이 문제가 되고 있으므로<sup>5-7)</sup>, 슬라이드 베어링 合金材(slide bearing metals)의 캐비테이션 浸蝕舉動에 관한 研究가 요구되고 있다.

이러한 요구에 따라 Blount과 James 등<sup>8,9)</sup>은 베어링 合金材에서의 浸蝕損傷을 발생장소에 따라 研究한 바는 있다. 그러나 大洋에서 航海中인 船舶 潤滑油가 凝水 및 海水의 混入으로 인하여 乳化(emulsion)油中에서 슬라이드 베어링 合金材에 대한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕舉動은 명확하게 밝혀져 있지 않다.

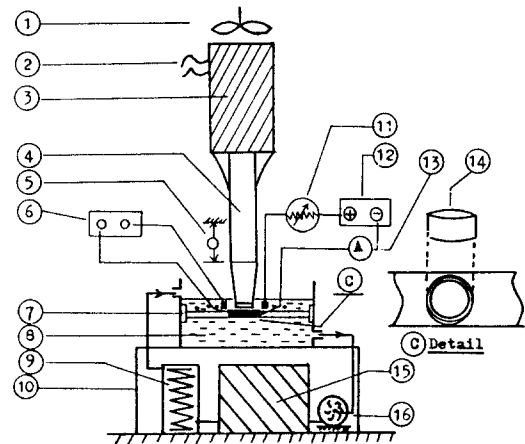
따라서 本 研究에서는 船舶用 潤滑油中에 清水 및 海水의 混入에 의한 베어링 合金材의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕舉動 및 抑制劑(inhibitor)에 의한 浸蝕-腐蝕抑制에 관한 研究를 하기 위하여, 超音波 振動裝置의 캐비테이션 발생장치에 의해 乳化된 潤滑油中에서 베어링 合金材에 대한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實驗을 실시하였다. 이 實驗을 토대로 하여 蒸溜水 및 海水의 混入에 따른 乳化油中에서 浸蝕-腐蝕特性 및 腐蝕感受性을 究明하고, 腐蝕 抑制劑에 의한 浸蝕-腐蝕抑制效果를 考察함으로써 船舶用 슬라이드 베어링 合金材의 潤滑에 대한 基礎設計資料에 寄與하고자 한다.

## 2. 試料 및 實驗方法

### 2-1. 試驗材料 및 實驗裝置

本 實驗에 사용한 試驗材料는 船舶 機關用 슬라이드 베어링 合金材인 Sn基 white metal 1種(W.M 1), Pb基 white metal 7種(W.M 7) 및 Cu-Pb基 kelmet 4種(K.M 4)等이며, 이들 각 試驗材料의 化學的成分 및 特性은 Table 1 과 같다.

Fig.1의 캐비테이션 發生試驗機는 自作한 對向二面形式의 振動加速裝置의 개략도로서 超音波 振動을 이용하고, 축에 해당하는 振動子 혼(horn)는 공진 주파수 20KHz, 진폭 24 $\mu$ m로서 아크릴 板에 고정된 試驗片과 平行하게 間隔을 조정하여 상하로 振動하였다<sup>10)</sup>. 또 Fig.1의 14番은 저속 밀링으로 加工製作한 試驗片의 形狀을 보이고 있으며 有效露出表面은 사포 및 oil lapping 으로 정밀연마한 후 아세톤으로 脫脂하고, 나머지 부분은 電氣絶緣을 위하여 에폭시 樹脂로 2회 塗裝.絶緣하였다. 또한 陰極防蝕法中 外部電源法에서 不溶性陽



- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Cooling fan        | 9. Temp. regulator    |
| 2. Power supply       | 10. Stand bed         |
| 3. Transducer         | 11. Rheostats         |
| 4. Horn skirt         | 12. DC power supply   |
| 5. Dial gauge         | 13. Ampere meter      |
| 6. Potentiometer      | 14. Specimen          |
| 7. Specimen supporter | 15. Power control box |
| 8. Soluble liquid     | 16. Circulating pump  |

Fig. 1 Schematic diagram of cavitation erosion test apparatus.

**Table 1. Chemical composition and properties of bearing metals used at cavitation erosion experiment.**

Alloy metals of bearing (Wt %)	Sn	Pb	Cu	Sb	Ni	Hardness (Hv)	Density (mg/cm <sup>3</sup> )	Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
Sn Base (W.M 1)	90	-	4	6	-	31	7368	7.55
Pb base (W.M 7)	12	73	1	14	-	20	9534	6.40
Cu - Pb base (K.M 4)	0.5	25	73.5	-	1	71	9338	18.50

**Table 2. The properties of various oil environments used at cavitation erosion tests.**

Name of oil used	Specific Gravity (60/60°F)	Viscosity (cSt.40°C)	pH	Flash Point (°C)	Sediment Vol(%)
System oil(S.O)	0.9165	109.0	7.8	260	trace
S.O with D.W(3%)	0.9452	88.4	6.6	303	0.18
S.O with S.W(3%)	0.9541	91.3	6.3	310	0.232

極은白金電極, 基準電極은 포화 카르멜 전극(SCE)이고,犧牲陽極法에서陽極은 Al-합금으로하였다.

### 2-2. 實驗方法

環境溶液으로는 船船用潤滑油인 시스템油(system oil, S.O) 및 그潤滑油에 蒸溜水(比抵抗:  $15 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ ) 와 天然海水(比抵抗:  $25 \Omega \text{cm}$ ) 를 混入한 乳化油等이며, 각油環境의 特性은 Table 2 와 같다.

또한 腐蝕抑制劑(inhibitor)는 크롬산염(chromate,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , pH 6~7)으로 本 研究의 著者가 이미 研究報告<sup>1)</sup>된 캐비테이션 浸蝕-腐蝕의 抑制效果가 우수한 混合比였던 25 ppm 濃度로 하였다. 그리고 浸蝕-腐蝕實驗 環境槽는 電氣化學的인 影響을 제거하기 위하여 플라스틱材로 製作하였으며, 溶液의 濃度變化를 방지하기 위하여 循環水 펌프로 每分當 2.8 리터量을 순환시켰다. 또한 試驗片의 무게 減少量은 自動停止 timer 에 의해 試驗時間을 調整하여 測定하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3-1. 乳化된 潤滑油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕 損傷面의 樣相

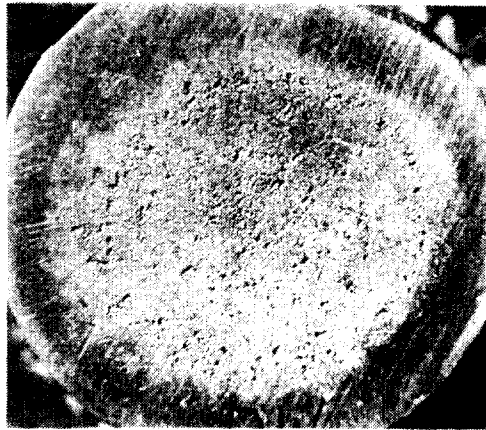
Photo.1은 Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7)에

대해 蒸溜水(D.W)를 1, 2, 3 및 4%(wt)의 比率로 混入하여 乳化된 시스템油(S.O) 環境에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 損傷面의 樣相을 나타낸 것이며, 潤滑油의 油膜두께인 間隔은 0.8mm이고, 實驗時間은 30분동안이다.

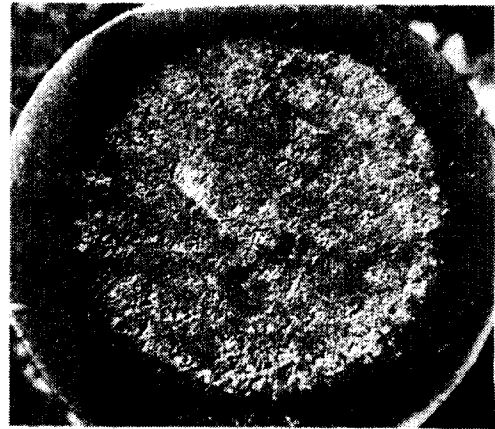
이에 의하면 蒸溜水의 含量이 가장 적은 1%(Wt)의 乳化油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕損傷面에는 全 試驗片의 有效露出表面에 微小小孔이 조밀하게 존재하지만 小孔이 적고 얇다. 한편 蒸溜水의 혼합비가 증가한 乳化油 環境일수록 浸蝕-腐蝕에 의한 小孔은 점차 더 크게 되고, 이와 같은 小孔周邊部에 금속의 脫落現象이 강한 것으로 추정되는 樹枝狀의 小孔이 서로 混合되어 散存하고 있는 樣相을 나타내고 있다. 이러한 양상의 原因은 乳化된 潤滑油 環境中에서 캐비테이션 氣泡의 崩壞時 油보다 比重이 더 큰 水分의 확산에 의해 浸蝕의 세기가 크게 되는 동시에 油보다 電氣化學的으로 불안정한 乳化油中에서 腐蝕活性化를 촉진시킴으로써 金屬의 表面層이 쉽게 脫離되기 때문이라 생각된다.

### 3-2. 乳化된 潤滑油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕特性

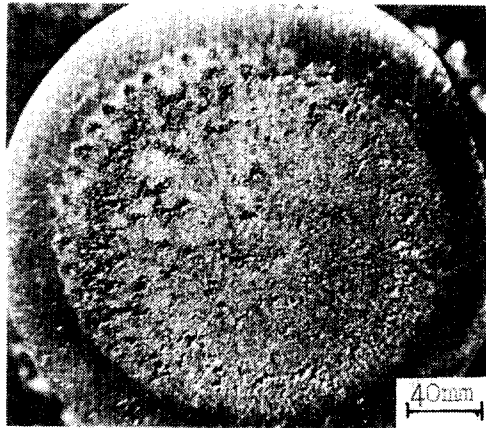
Fig. 2는 Photo.1의 乳化된 潤滑油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕 損傷을 베어링 合金材의 種類와 乳化油의 種類 및 乳化程度에 따라 좀더 구체적으로 고찰하기 위하여, Sn基 베어링 合金材 1種



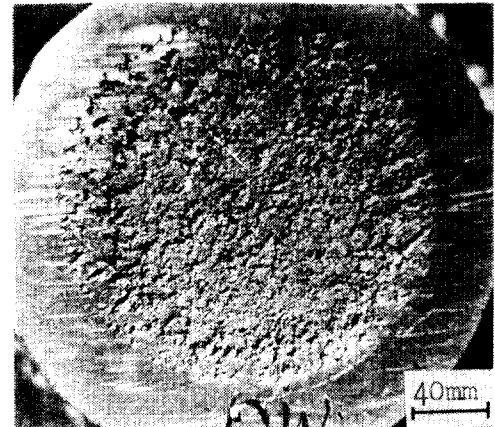
W.M 7, 1.0%(D.W)



W.M 7, 2.0%(D.W)



W.M 7, 3.0%(D.W)



W.M 7, 4.0%(D.W)

**Photo. 1 Damaged surfaces by cavitation processes at system oil that mixed 1.0, 2.0, 3.0 & 4.0%(wt), the ratio of D.W for W.M 7.(test duration : 30min, space : 0.8mm)**

(W.M 1), Pb基 베어링 합금材 7種(W.M 7), Cu - Pb基 베어링 합금材 4種(K.M 4)에 대한 潤滑油(S. O) 그리고 潤滑油에 蒸溜水(D.W)와 海水(S.W)를 1, 2, 3 및 4 % (wt)의 비율로 混入한 乳化油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量을 나타낸 것이며, 潤滑油의 油膜인 間隔은 0.8mm이고, 實驗時間은 300분동안 실시한 것이다.

이에 의하면 潤滑油에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아질 수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 각 베어링 합금材의 무게 減少量은 蒸溜水 및 海水가 전혀 混入되지 아니한 潤滑油中에서 캐비테이션 浸蝕에 의한 베어링 합금材의 무게 減少量 보다

점차 더 증가하는 樣相을 나타내고 있으며, 특히 潤滑油에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아질 수록 蒸溜水가 混입된 乳化油中에서의 무게 減少量보다 海水가 混입된 乳化油中에서의 무게 減少量이 더욱 크게 증가하고 있다. 그리고 각각의 환경 조건에 있어서 W.M 7의 베어링 합금材가 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量이 가장 크게 되고, K.M 4의 베어링 합금材가 가장 낮게 되고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 潤滑油에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아질 수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 각 베어링 합금材의 무게 減少量이 증가하는 樣相을

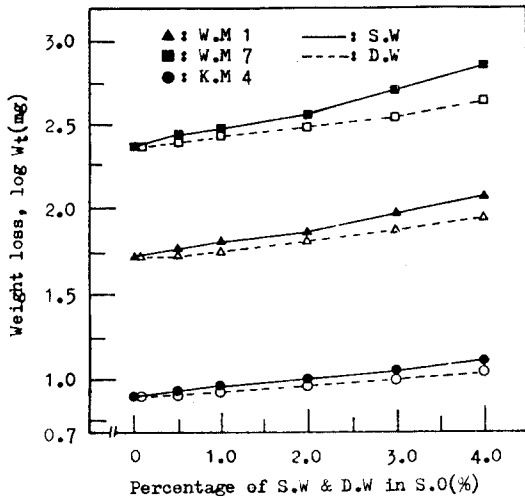


Fig. 2 Weight loss vs percentage(%) of sea water (S.W) & distilled water(D.W) in system oil (S.O) for materials.(test duration : 300min, space : 0.8mm)

좀더 정량적으로 究明하기 위하여, Fig.3에 Sn基 베어링 合金材 1種(W.M 1), Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7) 및 Cu-Pb基 베어링 合金材 4種(K.M 4)의 슬라이드 베어링 合金材에 대해 캐비테이션 浸蝕-腐蝕이 무게 減少量에 미치는 海水 및 蒸溜水의 混入比率에 따른 腐蝕感受性を Fig.2의 각

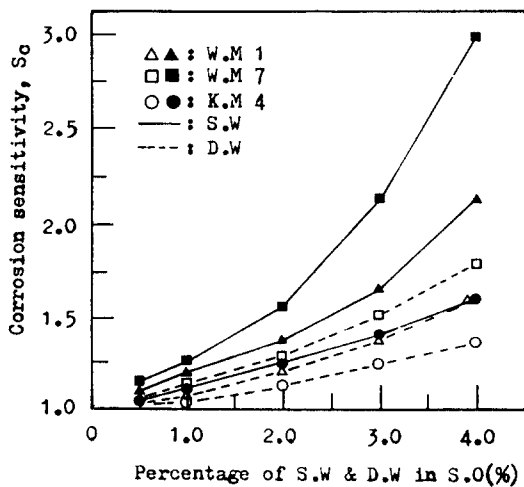


Fig. 3 Corrosion sensitivity vs percentage of sea water(S.W) & distilled water(D.W) in system oil(S.O) for materials. (test duration : 300min)

실험치를 적용하여 計算에 의해 정리한 것이다. 여기서 腐蝕感受性( $S_c$ )은 다음 式과 같이 計算하였다.

腐蝕感受性( $S_c$ )=

海水 및 蒸溜水가 混入된 乳化油中에서의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量/潤滑油中에서의 캐비테이션 浸蝕에 의한 무게 減少量 (1)

(단, 潤滑油中에서 무게 減少量은 非電解質의 油이므로 腐蝕이 없는 機械的인 浸蝕作用만 있는 것으로 간주함)

Fig.3의 결과에 의하면 潤滑油中에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아지는 乳化油일수록 캐비테이션 발생에 의한 浸蝕-腐蝕에 미치는 腐蝕感受性は 급격히 증가하는 樣相, 즉 腐蝕에 민감함을 알 수 있으며, 특히 海水의 混入比率이 높아짐에 따른 腐蝕感受性は 蒸溜水에 비하여 더욱 민감하게 나타나고 있다. 그리고 W.M 7의 베어링 合金材의 腐蝕感受性は 다른 베어링 合金材에 비해서 潤滑油中에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아질수록 가장 민감한 樣相을 나타내고 乳化油 環境中에서 K.M 4 베어링 合金材의 腐蝕感受性이 가장 둔감하였다.

이와같이 潤滑油中에 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 증가할수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 베어링 合金材의 무게 減少量이 크게 되고 腐蝕感受性に 민감한 원인은 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높게 될수록 乳化된 潤滑油 環境中에서 캐비테이션 氣泡 崩壞時 油보다 물의 比重이 크므로 水分의 확산이 潤滑油의 확산속도보다 더 빠르게 되어 浸蝕의 세기가 크게 됨과 동시에 電氣化學的인 金屬面의 腐蝕活性化 作用이 가속되기 때문이라 생각된다. 또한 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 증가할수록 海水에 의한 乳化油에서 腐蝕感受性이 蒸溜水에 의한 乳化油에서 보다 더 증가하는 이유는 比抵抗이 15,000 $\Omega$ cm인 蒸溜水中에서 보다 强電解質의 Cl 이온 함유량이 증가되어 比抵抗이 작은 25 $\Omega$ cm인 海水中에서 腐蝕電流密度가 더 크게 배류되어 腐蝕活性化됨으로써 機械的인 浸蝕에 더하여 전기化學적인 腐蝕의 상승효과에 의

해 浸蝕-腐蝕이 일어나기 때문이라 추정된다<sup>12)</sup>. 그리고 蒸溜水 및 海水가 混入되어 유화된 潤滑油中에서 K.M 4 베어링 合金材의 腐蝕感受性이 W.M 1 및 W.M 7 베어링 合金材의 腐蝕感受性보다 둔감한 原因은 海水中에서 각 金屬의 腐蝕電位列에 의하면 K.M 4 베어링 合金材의 主成分인 Cu가 다른 베어링 合金材의 主成分인 Pb 및 Sn 보다 더 高電位列(cathode 側)에 있으므로 腐蝕에 둔감한 耐蝕性材料이고,<sup>13)</sup> Table 1에 의하면 K.M 4가 다른 베어링 合金材에 比하여 경도가 높기 때문인 것으로 思料된다.

3-3. 乳化油中에서 Inhibitor 適用에 의한 浸蝕-腐蝕 抑制特性

Fig.4는 乳化油中에서 Inhibitor 適用에 의한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕을 억제하기 위하여, Sn基 베어링 合金材 1種(W.M 1), Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7) 및 Cu-Pb基 베어링 合金材 4種(K.M 4)에 대해 蒸溜水 및 海水를 각각 3%(Wt) 混입한 乳化油와 이들 각각의 乳化油 環境中에 크롬산염 抑制劑(chromate inhibitor)를 25ppm濃度로 添加한 乳化油 環境中에서의 무게 減少量을 實驗時間

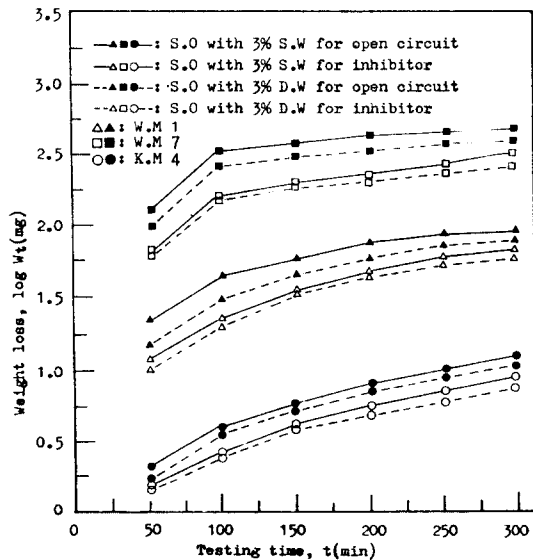


Fig. 4 Weight loss vs testing time at system oil(S.O) with 3% sea water(S.W) & distilled(D.W) under inhibitive protection for materials. (space : 0.8mm, inhibitor : 25ppm chromate)

에 따라 정리한 것으로, 油膜두께인 間隔은 0.8mm로 하였다.

이에 의하면 蒸溜水 및 海水를 각각 3%로 混입한 乳化油에서 보다 이 乳化油中에 抑制劑를 첨가한 乳化油에서의 무게 減少量이 크게 억제되고 있으며, 특히 蒸溜水를 混入한 乳化油에 比하여 腐蝕性이 강한 海水를 混入한 乳化油에서가 抑制劑에 의한 무게 減少量이 더 둔화되고 있다. 그리고 K.M 4의 베어링 合金材에서 抑制劑에 의한 무게 減少量의 抑制作用이 다른 베어링 合金材에 比하여 미약하게 나타났다.

이와 같이 抑制劑에 의해 3% 蒸溜水 및 海水를 混入한 乳化油에서 무게 減少量의 증가가 억제되는 이유는 크롬산염 抑制劑가 金屬表面의 皮膜形成型(film forming type)의 일종으로서 陽極인 베어링 合金材의 試驗片에 不動態 皮膜(passive film)을 형성시켜 溶存酸素, Cl 이온의 吸着 및 水分의 擴散 등이 방지함으로써 캐비테이션 氣泡의 衝擊力에 의한 金屬粒子의 脫離作用이 억제되고, 혼과 試驗片의 異種金屬間에서 야기되는 갈바니 電極(galvanic electrode)作用에 의한 局部電池도 억제하기 때문이라 생각된다<sup>14)</sup>. 또한 3% 蒸溜水 混入인 油環境에 比하여 3% 海水混入인 乳化油에서 무게 減少量이 抑制劑에 의해 크게 감소되는 原因은 電導性인 Cl 이온에 의한 油粒子의 陰極電荷(negative charge)의 移動이 양호하여 陽極인 試驗片의 腐蝕電流가 감소하여 浸蝕-腐蝕의 上昇效果가 둔화되기 때문이라 추정된다.

3-4. Inhibitor에 의한 3% 蒸溜水 및 海水混入인 乳化油에서의 浸蝕抑制率 評價

Fig.5는 3%(Wt) 蒸溜水 및 海水를 混입한 乳化油中에서 25ppm의 크롬산염 抑制劑에 의한 浸蝕-腐蝕抑制 效果를 좀더 정량적으로 考察하기 위하여, Sn基 베어링 合金材 1種(W.M 1), Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7) 및 Cu-Pb基 베어링 合金材 4種(K.M 4)에 대한 浸蝕-腐蝕抑制率(Pe, %)을 實驗時間에 따라 계산하여 정리한 것이며, 潤滑油의 油膜두께인 間隔은 0.8mm이다. 여기서 浸蝕-腐蝕 抑制率(Pe)은 다음 式과 같이 계산하

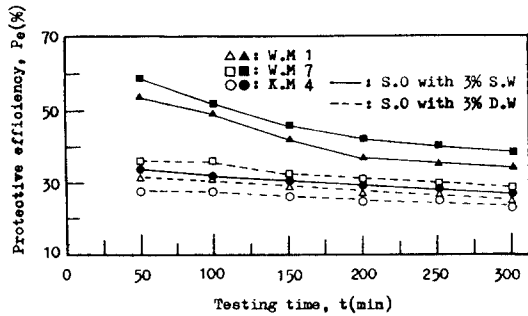


Fig. 5 Protective efficiency vs testing time at system oil(S. O) with 3% sea water(S.W) and distilled water(D.W) under inhibitive protection for materials. (space : 0.8mm, inhibitor : 25ppm chromate)

였다.

$$Pe=1 -$$

$$\frac{\text{抑制劑를 첨가한 乳化油中에서의 무게 減少量}}{\text{乳化油에서의 무게 減少量}} \times 100(\%) \quad (2)$$

Fig.5에 의하면 浸蝕-腐蝕抑制率は 實驗初期에는 상당히 우수하나 實驗時間이 경과함에 따라 減少하는 傾向이고, 3% 海水(S.W)를 혼합한 乳化油에 크롬산염 抑制劑를 첨가한 潤滑油中에서의 浸蝕-腐蝕抑制率は 3% 蒸溜水を 혼합한 乳化油에 크롬산염 抑制劑를 첨가한 潤滑油中에서 보다 더 억제되고 있으며 3% 海水를 혼합한 乳化油中에서의 浸蝕-腐蝕抑制率は 25~60% 정도 나타나고 있다. 그리고 W.M 1 및 W.M 7 에서의 浸蝕-腐蝕抑制率 效果가 크고 K.M 4 에서의 浸蝕-腐蝕抑制率 效果는 미소하다.

이와 같이 實驗時間의 경과에 따라 浸蝕-腐蝕抑制率이 감소하는 傾向을 보이는 것은 氣泡의 衝擊力에 의한 乳化油의 劣化作用 및 試驗片에 부착되었던 크롬산염 保護皮膜이 캐비테이션 氣泡의 충격으로 파손되기 때문이라 思料된다<sup>15)</sup>. 또한 다른 베어링 合金材에 比하여 K.M 4 베어링 合金材에서 抑制率이 저조한 것은 K.M 4 베어링 合金材가 耐 浸蝕-腐蝕性이기 때문에 乳化油의 酸化 및 劣化作用에 둔감하기 때문이라 사료된다<sup>16)</sup>.

#### 4. 結 論

超音波 振動의 캐비테이션 發生 試驗裝置에 의해 船舶用 潤滑油 및 蒸溜水와 海水가 混入한 乳化油中에서 각종 슬라이드 베어링 合金材에 대한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕特性 및 그 抑制에 대해 研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아지는 乳化油일수록 캐비테이션 발생에 의한 腐蝕感受性は 더욱 민감하며, 蒸溜水에 比하여 海水混入에 의한 乳化油에서 腐蝕感受성이 민감해진다.

2. 蒸溜水 및 海水의 混入比率이 높아지는 乳化油일수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕의 損傷面은 小孔이 크지고, 小孔周邊部에 金屬의 脫離現象이 가속된다.

3. 크롬산염 抑制劑에 의한 海水를 混입한 乳化油中에서의 浸蝕-腐蝕抑制率は 蒸溜水を 混입한 乳化油보다 더 크게 나타나고, Cu-Pb基 베어링 合金材의 浸蝕-腐蝕抑制率이 가장 미약하다.

#### 參考文獻

- 1) 日本機械學會, 腐食と破壊, 日本工業出版社, 67-73(1986)
- 2) 西本榮司, 油壓系の潤滑問題, 機械の研究, 34卷, 1號, 207-209(1982)
- 3) 荒木良一郎, 岸木勝, 吉田辛一, 蒸氣タービン用 チタン動翼の 耐 エロージョン評價, 日本機械學會論文集(B編), 56卷, 527號, 2085-2087(1990)
- 4) 益子正文, 岡田和三, O/W エマルジョンの トライボロジー, トライボロジスト, 36卷, 6號, 369-374 (1991)
- 5) 吉野達治, エロージョン コロージョン(流體による 材料の 侵食), 裳華房, 109-120(1987)
- 6) 日本潤滑學會, 潤滑故障例とその對策, 養賢堂, 16 (1985)
- 7) S.H Frederick and H.Capper, Materials for Marine Machinery, Marine Media Management, Ltd, 211-212 (1981)
- 8) G.N Blount and R.D James, Proc 9th Leeds-Lyon Symp. on Tribology 1982, IME, 297 (1983)
- 9) R.D James and G.N Blount, 2nd Int. Conf. on Cavitation, IME Paper C-216, 229 (1983)

- 10) Annual Book of ASTM Standard, 03.02 Wear and Erosion : Metal erosion, G32 - 85, ASTM, 115 - 119 (1989)
- 11) 이진열.임우조, 內燃機關用 슬라이드 베어링材의 캐비테이션 浸蝕舉動과 腐蝕 영향 및 潤滑油의 舉動에 관한 研究, 어업기술, 28, 2, 171 - 183(1992)
- 12) 岩井善郎.岡田庸敬. 外 2人, 高含水 作動液中におけるキャビテーション-エロージョン(第 2報), 트라이ボ로지스트, 35卷, 10號, 45 - 49(1990)
- 13) Denny A. Jones, Principles and Pervation of Corrosion, Maxwell Macmillan International Editions, 342 - 395(1992)
- 14) 庵井善良.岡田庸敬, 高含水作動液中におけるキャビテーション・エロージョン, 潤滑, 33卷, 12號, 907 - 908(1988)
- 15) C.C.Nathan, Corrosion Inhibitor, National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas, 179 - 180 (1981)
- 16) 紫田俊夫, 腐蝕と酸化, 産業圖書(株), 63 - 68(1983)