

캐비테이션에 의한 베어링材의 浸蝕-腐蝕舉動에 관한 研究(2) - 船用潤滑油에 混入한 海水의 영향 -

林 祐 助* · 李 鎮 烈**

*釜山水産大學校, **韓國海洋大學校

A Study on the Behaviour of Erosion-Corrosion at the Bearing Metals by Cavitation(2)

- for Influence of Sea Water at Marine Lubricating Oil -

Uh-Joh Lim* and Jin-Yeol Lee**

*National Fisheries University of Pusan

**Korea Maritime University

Recently, as marine lubricating oil appeared at tendency to be emulsified and oxidized according to the high speed, high output and extension of maintenance & conservation of engine, the cavitation erosion-corrosion problem of sliding bearing metals at such an environments became important for effective engine performance.

Therefore, there was a need to study the behavior and protection of erosion-corrosion damage, and also applied chromate inhibitor to a protective method of cavitation erosion-corrosion damage. At the same time, test environments were the marine system oil & emulsified oil contained sea water, and the behaviour of cavitation erosion was studied by 20 KHz, 24 μ m piezoelectric vibrator.

With this test results, we investigated influence of emulsion on the characteristics of erosion-corrosion and protection for erosion-corrosion by inhibitor at sliding bearing metals under lubricating oil.

1. 序 論

液體를 취급하는 機械 혹은 裝置는 流速 및 回轉速度 등이 빠르게 되면 流體衝擊과 靜壓의 低下에 따른 局部的의 비등으로 인해 캐비테이션(cavitation) 현상이 발생하며, 이러한 캐비테이션 현상에 따라 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 液體中에 사용되는 機械 혹은 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 혹은 裝置의 수명에 치명적인 影響을 미친다.¹⁾

이와 같은 캐비테이션 현상의 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 各種 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 캐비

테이션 浸蝕-腐蝕이 報告되고 있다.^{2~4)} 특히, 自動車用 內燃機關, 船用 디젤 機關, 發電機用 터 어빈 또는 高壓 壓縮機의 베어링 合金 等에서도 캐비테이션 浸蝕이 문제가 되고 있으므로,^{5~7)} 슬라이드 베어링 合金材(sliding bearing metals)의 캐비테이션 浸蝕舉動에 관한 研究가 요구되고 있다.

이러한 요구에 따라 Blount과 James 등^{8,9)}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 船用機關의 潤滑油에 冷却水 및 海水의 混入으로 인한 乳化(emulsion)油中에서의 슬라이드 베어링 合金材에 대한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕舉動은 명확하게 밝혀져 있지 않다.

따라서 本 研究에서는 海水混入에 의한 船用 潤滑油中에서의 베어링 合金材에 대한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕舉動 및 腐蝕抑制劑(inhibitor)에 의한 浸蝕-腐蝕抑制效果를 研究하기 위하여, 超音波 振動裝置에 의해 캐비테이션을 발생하여 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 海水混入에 따른 乳化油中에서 浸蝕-腐蝕特性 및 腐蝕感受性を 究明하고, 腐蝕抑制劑에 의한 浸蝕-腐蝕抑制效果를 考察함으로써 船用 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

實驗材料 및 實驗方法是 前報(第1輯)와 같다. 다시 簡略하게 說明하면 다음과 같다.

2.1 試驗材料 및 實驗裝置

本 實驗에 사용한 試驗材料는 船用 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 kelmex 4種(K.M 4) 등이며, 이들 각 試驗材料의 化學的 成分 및 特性은 Table 1과 같다.

그리고 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 개략도로써 超音波 振動을 이용하고, 축에 해당하는 振動子 혼(horn)은 공진 주파수 20kHz, 진폭 24 μ m로서 아크릴 판에 고정된 試驗片과 平行하게 間隔을 調整하여 上下로

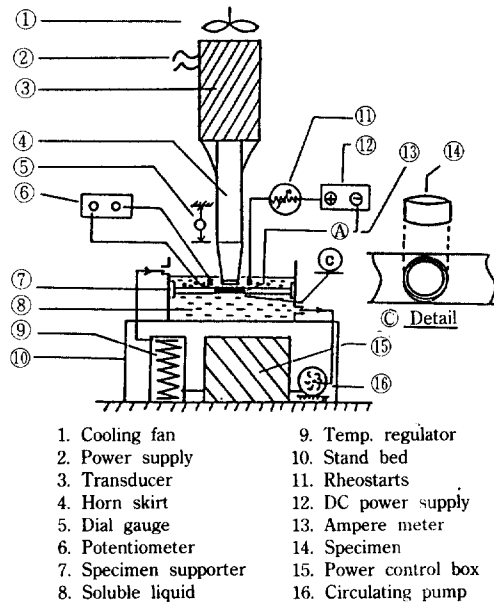


Fig. 1. Schematic diagram of cavitation erosion test apparatus.

Table 1. Chemical compositions and properties of sliding bearing metals used for cavitation erosion-corrosion experiment

Alloy metals of bearing	Sn	Pb	Cu	Sb	Ni	Hardness (Hv)	Density (mg/cm ³)	Tensile strength (kgf/mm ²)
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

振動케 하였다.¹⁰⁾ 또 Fig. 1의 14는 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 lapping으로 精密研磨한 後 아세톤으로 脫脂하고, 나머지 부분은 電氣絶緣을 위하여 에폭시 樹脂로 2회 塗裝·絶緣하였다.

2.2 實驗方法

腐蝕溶液으로는 Table 2와 같은 船用 潤滑油인 시스템油(system oil)을 基本油로 하고, 이 潤滑油에 天然海水(比抵抗: 25Ωcm)를 混入한 乳化油를 사용하였다.

또한 腐蝕 抑制劑(inhibitor)는 크롬산염(chromate, Na₂CrO₄·4H₂O, pH 6~7)으로 本 研究가 이미 報告¹¹⁾한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實驗에서 우수한 抑制效果를 보였던 25ppm 濃度로 하였다. 그리고 浸蝕-腐蝕 環境槽는 電氣化學的인 영향을 받지 않게하기 위하여 플라스틱材로 製作하였으며, 溶液의 濃度變化를 방지하기 위하여 循環水 펌프로 每分當 2.8리-터 量을 순환시켰다. 또한 試驗片의 무게 減少量은 自動停止 timer에 의해 試驗時間을 調整하여 測定하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 캐비테이션 浸蝕-腐蝕特性에 미치는 海水混入 乳化油의 影響

Fig. 2는 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)의 슬라이드 베어링 合金材에 대한 潤滑油 그리고 潤滑油에 海水를 0.5, 1, 2, 3 및 4%의

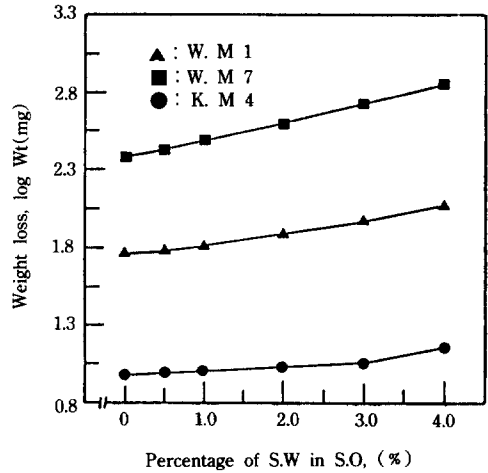


Fig. 2. Weight loss vs percentage(%) of sea water (S.W) in system oil(S.O) for various materials. (test duration : 300min, Space : 0.8mm).

比率로 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 0.7mm이고, 實驗時間은 300분동안 실시한 것이다.

이에 의하면 潤滑油에 海水의 混入比率이 높아 질수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 각 슬라이드 베어링 合金材의 무게 減少量은 海水가 전혀 혼합되지 아니한 潤滑油中에서 캐비테이션 浸蝕에 의한 베어링 合金材의 무게 減少量보다 점차 더 증가하는 樣相을 나타내고 있다. 그리고 Pb基 white metal 7種(W.M)의 슬라이드 베어링 合金材가 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게減少량이 가장 크게 되고, Cu-Pb基 kelmet 4種(K.M 4)의 슬라이드 베어링 合金材가 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少량이 가장 낮게 되고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 潤滑油에 海水의 混入比率이 증가되는 乳化油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少량이 증가하는 樣相을 좀더 具體的으로 究明하기 위하여, Fig. 3에 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)의 슬라이드 베어링 合金材에 대해 海水의 混入比率에 의한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實

Table 2. The properties of lubricating oil used at cavitation erosion-corrosion tests for sliding bearing metals

Name of oil used	Specific gravity (60/60°F)	Viscosity (cSt, 40°C)	pH	Flash point (°C)
System oil(S.O)	0.9165	109.0	7.8	260

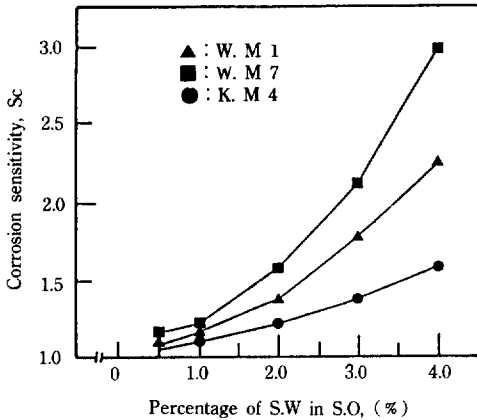


Fig. 3. Corrosion sensitivity vs percentage(%) of sea water(S.W) in system oil(S.O) for various materials(test duration : 300min, Space : 0.8mm).

驗에서의 무게 減少量에 따른 腐蝕感受性を 계산하여 정리한 것이다. 여기서 腐蝕感受性(Sc)은 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{腐蝕感受性(Sc)} = \frac{\text{海水가 混入된 乳化油中에서의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量}}{\text{潤滑油中에서의 캐비테이션 침식에 의한 무게 減少量}} \quad (1)$$

(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)

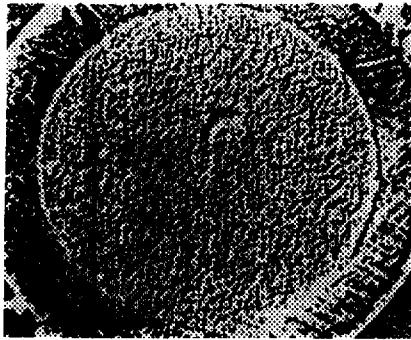
이에 의하면 潤滑油中에 海水의 混入比率이 높아지는 乳化油中일수록 캐비테이션 발생에 의한 무게 減少量에 미치는 腐蝕感受성은 급격히 증가하는 樣相, 즉 敏感함을 알 수 있다. 특히 Pb基 white metal 7種(W.M 7)의 슬라이드 베어링 合金材의 腐蝕感受성은 다른 베어링 合金材에 比하여 潤滑油中에 海水의 混入比率이 높아질수록 더욱 민감한 樣相을 나타내고, Cu-Pb基 kelmets 4種(K.M 4)의 슬라이드 베어링 合金材의 腐蝕感受성이 가장 鈍感함으로 본 研究의 슬라이드 베어링 合金材中에서는 Cu-Pb基 kelmets 4種의 耐蝕성이 가장 우수하였다.

潤滑油中에 海水의 混入比率이 증가할수록 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 베어링 合金材의 무게 減少率이 크게 되고 腐蝕感受성에 민감한 원인은 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 水分의 확산이 潤滑油의 확산속도보다 빠르게 되어 浸蝕의 세기가 크게 되면서 強電解質인 Cl^- 이온의 함유량이 증가하여 機械的인 浸蝕과 電氣化學的인 腐蝕의 上昇效果에 의해 金屬의 表面層에 浸蝕-腐蝕이 일어나기 때문이라 생각된다.¹²⁾ 그리고 본 研究의 대상인 슬라이드 베어링 合金材中 海水가 混入된 潤滑油中에서 Cu-Pb基 kelmets 4種의 耐蝕성이 가장 우수한 이유는 海水中에서의 腐蝕電位列에 의하면 Cu-Pb基 kelmets 4種의 主成分인 Cu가 다른 베어링 合金材의 主成分인 Pb 및 Sn보다 더 高電位列에 있기 때문에 耐蝕성이 우수한 것으로 思料된다.

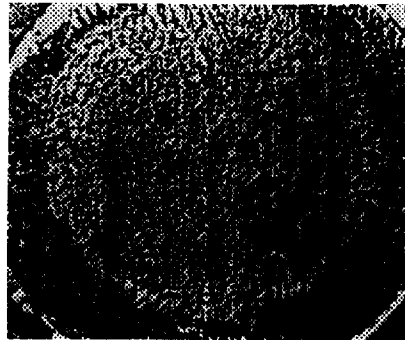
3.2 캐비테이션 浸蝕-腐蝕의 損傷面에 미치는 海水混入의 영향

海水混入된 乳化油中에서의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕作用에 의한 슬라이드 베어링 合金材中 Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7)의 損傷小孔 樣相이 가장 明確하게 나타나므로, Photo. 1은 Pb基 베어링 合金材 7種(W.M 7)에 대해 天然海水를 1, 2, 3 및 4%의 比率로 혼합하여 乳化된 시스템油 環境中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 損傷面의 樣相을 나타낸 것이며, 潤滑油의 油膜인 間隔인 0.8mm이고, 實驗時間은 30분동안이다.

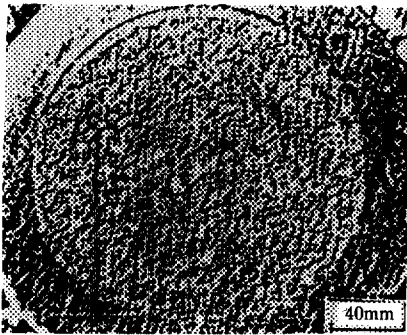
이에 의하면 海水의 含量이 가장 적은 1%의 乳化油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕 損傷面에는 全試驗片의 有效露出表面에 微小小孔이 조밀하게 존재하지만 海水의 混入量이 증가한 乳化油中일수록 浸蝕小孔은 더 크게 되고 試驗片 全表面에 散在하고 있으며, 小孔은 金屬粉의 脫離現象이 촉진되고 小孔壁이 歪曲하게 되는 樣相을 나타내고 있다. 이러한 小孔樣相의 원인은 海水 混入에 의해 乳化된 潤滑油中에서 캐비테이션 氣泡 崩壞時 水分의 확산에 의한 浸蝕의 세기가 크게 되고, 強電解質인 Cl^- 이



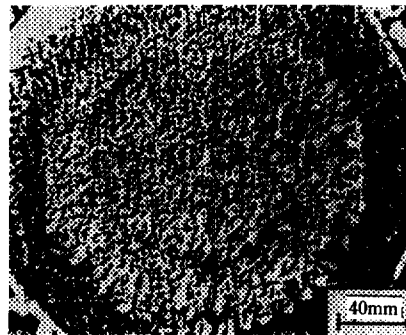
W.M 7, 1.0% (S.W)



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



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



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

Photo. 1. Damaged surfaces by cavitation process in system oil(S.O) containing S.W(1, 2, 3, 4%) for W.M 7(test duration : 30min, Space : 0.8mm).

온이 侵入하여 腐蝕活性化를 촉진하여 金屬粒子가 쉽게 脫離되기 때문이라 생각된다.

3.3 Inhibitor에 의한 乳化油의 浸蝕-腐蝕抑制效果

Inhibitor에 의한 浸蝕-腐蝕作用의 抑制效果가 베어링 合金材中에서 Sn基 white metal 1種(W.M 1)이 時間經過에 따라 명확함으로써 代表的인 베어링 合金材로 說明하였다. 즉 Fig. 4는 Sn基 white metal 1種(W.M 1)의 슬라이드 베어링 合金材에 대한 潤滑油, 潤滑油에 3% 海水(S.W)를 혼합한 乳化油 및 3% 海水(S.W)를 혼합한 乳化油에 크롬산염 抑制劑(chromate inhibitor, 25ppm)를 첨

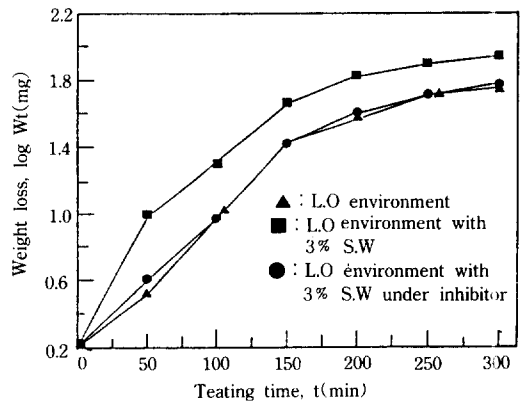


Fig. 4. Weight loss vs testing time under various system oil(S.O) condition for W.M 1.(Inhibitor : 25ppm Chromate).

가한 油中에서의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量을 정리하여 나타낸 것이며, 潤滑油의 油膜인 間隔은 0.8mm이다.

이에 의하면 3% 海水를 혼합한 乳化油中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게 減少量은 潤滑油中에서 보다 더 증가하고, 여기에 크롬산염 抑制劑를 첨가한 경우에는 무게 減少量이 抑制되고 있다.

이와 같이 乳化油中에서 inhibitor에 의한 각 슬라이드 베어링 合金材의 浸蝕-腐蝕抑制 效果를 좀더 定量的으로 考察하기 위하여, Fig. 5는 Sn基 white metal 1種(W.M 1)의 슬라이드 베어링 合金材에 대한 抑制率(Pe)를 계산하여 정리한 것이다. 여기서 抑制率(Pe)은 다음 式과 같이 계산하였다.

$$\text{抑制率}(pe) = 1 - \frac{\text{抑制劑를 첨가한 乳化油中에서의 무게減少量}}{\text{3\% 海水를 혼합한 乳化油에서의 무게減少量}} \times 100(\%) \quad (2)$$

3% 海水가 混入한 乳化油中에서 크롬산염 抑制劑에 의한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕 抑制率은 W.M 1의 슬라이드 베어링 合金材에 대해서 약 50% 정도의 浸蝕-腐蝕 抑制效果가 나타나며, 시간이 경과함에 따라 抑制率은 점차 低下되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 3% 海水가 혼합된 乳化油中에 inhibitor를 적용함으로써 浸蝕-腐蝕抑制效果가 나타나고 있는 원인은 潤滑油中の 크롬산염 粒子가 陰極電荷(ne-

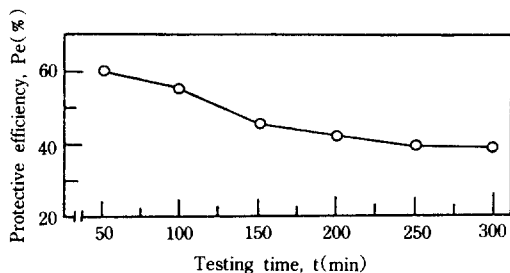


Fig. 5. Protective efficiency vs testing time under system oil(S.O) with 3% S.W by 25ppm chromate inhibitor for W. M 1. $Pe = [1 - (\text{weight loss with inhibitive oils} / \text{weight loss with 3\% S.W oils})] \times 100\%$.

gative charge)을 갖고 陽極인 試驗片에 부착할 때 保護皮膜(protective film)이 형성되어 溶存酸素, Cl^- 이온의 吸着 및 水分의 擴散 등을 방지함으로써 浸蝕과 腐蝕의 上昇作用을 抑制하기 때문이라 생각 되고, 시간이 경과함에 따라 浸蝕-腐蝕抑制率은 점차 低下되는 원인은 試驗片의 크롬산염 保護皮膜이 캐비테이션 氣泡의 衝擊으로 파손되기 때문이라 思料된다.¹³⁾

4. 結 論

超音波 振動의 캐비테이션 發生 試驗裝置에 의해 船用 潤滑油 및 海水가 混入한 乳化油中에서 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. 潤滑油中에 海水의 混入比率이 높아지는 乳化油中일수록 캐비테이션 發生에 의한 무게 減少量에 미치는 腐蝕感受性은 민감하다.
2. 海水의 混入에 의한 乳化油中에서 腐蝕感受性은 슬라이드 베어링 合金材中 Pb基 white metal 7種(W.M 7)가 가장 민감하고, Cu-Pb基 kelmet 4種(K.M 4)의 耐蝕性이 가장 우수하였다.
3. 海水의 混入에 의한 乳化油中에서 浸蝕-腐蝕의 損傷面은 海水의 混入比가 증가할수록 浸蝕-腐蝕에 의한 小孔이 커지고, 小孔周邊部에 金屬의 脫離現象이 촉진된다.
4. 3%의 海水가 混入한 乳化油中에서 크롬산염 抑制劑에 의한 슬라이드 베어링 合金材의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕 抑制率은 약 50% 정도의 效果가 있다.

參 考 文 獻

1. 日本機械學會, 腐蝕と破壊, 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·岸本勝·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), 装華房, 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. 李鎮烈・林祐助, “內燃機關用 슬라이드 베어링材의 캐비테이션 浸蝕舉動과 腐蝕影響 및 潤滑油의 舉動에 관한 研究”, 韓國漁業技術學會誌, 28卷, 2號, 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ピテーション-エロージョン(第2報)”, 35卷, 10號, 45-49 (1990).
 13. C. C. Nathan, Corrosion Inhibitor, National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas, 179-180 (1981).