

논문

# 미끄럼 베어링의 캐비테이션 침식에 미치는 시스템유 운전시간의 영향

이진열\* · 황재호\*\*

## The Effects on Working Hour of System Oil in Cavitation Erosion for Sliding Bearing Metals.

Jin-Yeol Lee\* · Jae-Ho Hwang\*\*

### 〈목 차〉

#### Abstract

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. 서론                       | 3-3. 무게 감소량에 미치는<br>원심청정의 영향         |
| 2. 실험방법 및 실험장치              | 3-4. 시스템유의 사용시간에 따른<br>pH값과 점도의 변화과정 |
| 2-1. 시험편 및 시험유              | 3-5. 사용시간에 따른 캐비테이션<br>침식손상면의 특성     |
| 2-2. 실험방법                   | 3-6. SEM 사진에 의한<br>침식손상면의 조직 관찰      |
| 2-3. 실험장치                   |                                      |
| 3. 결과 및 소찰                  | 4. 결론                                |
| 3-1. 윤활유의 열화 및<br>침식손상면의 고찰 | ※참고문헌                                |
| 3-2. 윤활유의 사용시간에<br>따른 무게감소량 |                                      |

### Abstracts

Recently, all of ships were compelled to be designed to the high speed, high output and big size, to cope with economic growth between different countries, and then there

\* 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수  
\*\* 강원도립대학 기관과 교수

are the many incredible bearing accidents about cavitation erosion damage in sliding bearing of marine engine with its demand.

Above all, all of cavitation erosion causes were supposed due to oxidization, degradation or sediments in system oil by long working hour.

In this study, we investigate the proper causes how to produce cavitation erosion in different system oil working period, and also anticipate that those data will give plenty of help to research of all of related fellows.

## 1. 서론

최근 공업과 통신의 발전과 더불어 세계는 더욱 좁아졌으며 국제간의 화물운송을 담당하는 선박은 더욱 고속화, 경량화, 대형화되고 있는 추세로서 선박의 추진력인 엔진도 70,000마력을 넘고 5,500이상의 컨테이너를 적재·운송하는 선박도 운항하고 있다. 이러한 영향으로 선박엔진에 사용하는 선박 시스템유도 사용조건이 가혹하게 되어 산화, 변질, 침전물 증가 및 점도의 상승<sup>1,2)</sup>으로 인하여 메인 베어링(Main bearing), 크랭크 핀 베어링(Crank Pin Bearing), 피스톤 핀 베어링(Piston Pin Bearing) 등의 미끄럼 베어링(Sliding Bearing)에서 침식에 의한 베어링 메탈의 탈리현상이 증가하고 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 베어링 사고로 인하여 선박이 정지하거나 운항이 지연되는 경우에는 경제적인 손실과 국제신용에서 치명적인 악영향을 미칠 수 있다<sup>5~9)</sup>고 생각된다. 따라서 장기간 사용하는 윤활유에서 발생할 수 있는 캐비테이션 침식손상의 원인을 구명하고 그에 대한 대책을 마련함으로써 선박 소유자, 해기사 및 화물주 모두에게 안전하고 경쟁력이 있는 운항으로 인하여 이득이 있기를 바란다.

특히 이 연구에서는 윤활유의 운전시간에 따른 베어링에서의 침식거동을 구명하고 그에 따른 기초자료를 베어링의 설계자, 조선소의 엔지니어들에게 보탬이 되고, 나아가서는 그 대책을 연구하는 데 도움이 되었으면 한다.

## 2. 실험방법 및 실험장치

### 2.1. 시험편 및 시험유

시험편은 선박의 미끄럼 베어링 합금재로 많이 사용되는 화이트메탈인 Pb Base White Metal 7종(WM7)와 Sn Base White Metal 1종(WM1)를 기본 시험편으로 정하고, 비교 시험편으로 Cu-Pb Base Kelmet 4종(KM4)으로 하였다.

이들 시험재료의 화학적 성분 및 특성은 Table 1과 같다.

Table.1 Chemical Compositions and Properties of Sliding Bearing Alloy Metals.

W(%) Metals	Sn	Pb	Cu	Sb	Ni	경도 (Hv)	밀도 (mg/cm <sup>3</sup> )	충격강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	피로강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )
WM1	90	-	4	6	-	31	7368	2.50	6x10 <sup>7</sup>	7.55
WM7	12	73	1	14	-	20	9534	0.35	4x10 <sup>7</sup>	6.40
KM4	0.5	25	73.5	-	1	71	9338	6.30	7.6x10 <sup>7</sup>	18.50

시험편은 이들의 재료로 제작·가공하였는데, 시험편의 직경 20mm, 높이 7mm의 원형 봉으로 시험편의 표면은 경화가 없도록 사포 1500번까지 연마와 오일 랩핑(Oil lapping)한 후 아세톤으로 탈지하였다. 또한 유효노출표면을 제외한 나머지 부분은 전기화학적인 영향을 방지하기 위하여 도장·절연하였고, 부식전류 및 전위측정을 위하여 0.5mm 직경의 피복전선을 시험편에 고정·연결하였다.

또한 시료유로는 선박유탄유인 시스템유(System Oil : SO)와 윤활유의 운전시간을 10,000시간까지 채취하여 실험하였다. Table 2는 신유인 시스템유와 6,000시간 운전한 시스템유의 특성을 보이고 있다.

Table 2 Properties of New System Oil and System Oil with 6,000 Working Hours.

특성 종류	비중 (60/60°F)	동점도 (cSt@40°C)	중화가 (pH)	유동점 (°C)	인화점 (°C)	침전물 (V%)
시스템유탄유	0.9165	109.0	7.8	-18	260	-
6,000시간 사용유	0.9377	128.4	5.4	-	275	0.50

## 2.2 실험방법

환경용액의 온도는 실내온도로 용액의 농도변화를 방지하기 위하여 순환수펌프로 순환하고, 여과기에 의해 침전물을 연속·제거 하였다. 또한 무게 감소량 및 감소율은 디지털 천칭(Digital balance, Mettler, Swiss, MP 1400)을 사용하였고, 부식전위는 전위차계(Potentiometer)로 측정하였다. 시험편의 침식손상면은 집안렌즈에 의해 침식소공의 일반적인 모습을 보이고 침식소공의 정확한 조직을 찾아보기 위하여 SEM촬영을 실시하였다.

## 2.3 실험장치

실험에 사용한 캐비테이션 발생장치는 초음파를 응용한 진동가속시험기로 진동자 혼(Transducer Horn, 직경 15mm, 길이 150mm)과 시험편을 대향하게 일정한 간격( $h$ ) 0.4mm로 하여 양극인 시험편에 수직하게 혼을 상하로 진동하였다. 이때 진동자는 ASTM 규정<sup>10)</sup>에 의해 공진주파수 20kHz, 진폭 24 $\mu$ m로 하고, 전기화학적인 영향을 제거하기 위하여 환경조는 플라스틱 재료로 제작하였다. Fig.1은 초음파 진동장치 시스템의 개략적인 블록선도를 나타내고 있다.

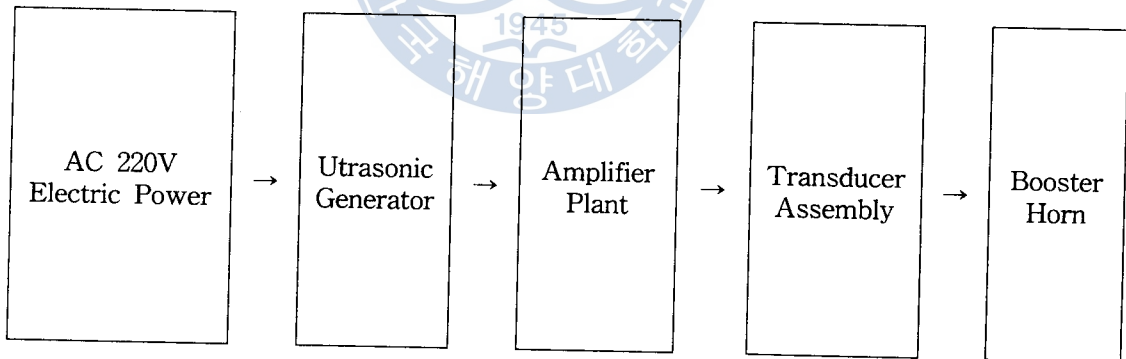


Fig.1 Block Diagram of Ultrasonic Unit.

초음파발전기는 60Hz, 220V 전력을 입력으로 소정의 전자회로를 거쳐 20KHz 내외의 정격출력을 발생시켜 진동자 및 여러 장치에 공급하는 역할을 담당하는 데, 초음파 발전장치에는 자동정지타이머, 제어장치(Control Unit), 진동자, 증폭기 혼(Booster Horn)등이 있다. 진동자는 발전기로 부터 소정의 입력을 받아 전기 에너지를 진동 에너지로 변환시켜서 증폭기에 전달하는 과정으로 형성되어 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 윤활유의 열화 및 침식손상면의 고찰

Photo.1은 3800마력(HP), 230회전수(RPM)인 선박디젤엔진(Marine Diesel Engine)의 크랭크 핀 베어링 합금재(Crank Pin Bearing)의 캐비테이션 침식손상면을 보인 것으로 Pb기 베어링 합금재 7종(WM7)으로 (A)부분은 시스템유의 운전시간이 10,000시간후의 손상면이고, (B),(C)부분은 6,000시간 운전후의 베어링부의 모습이다.

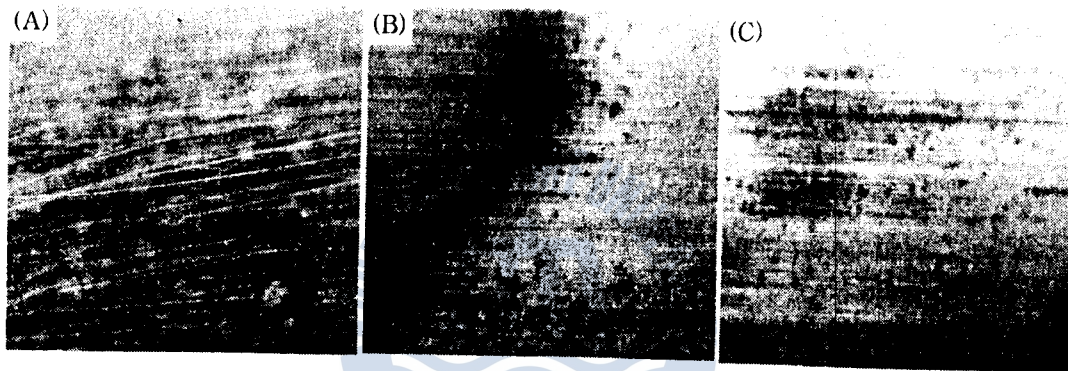


Photo.1 Appearance of Cavitation Erosion Surfaces for Crank Pin Bearing.

이에 의하면 (A)부분에서는 Fretting Wear와 더불어 침식소공이 상당히 깊게 그리고 크게 형성되어 있다. 물론(B),(C)부분에도 노치형의 미세한 침식소공이 발생되어 있음을 알 수 있다.<sup>11)</sup> 이러한 침식발생의 원인중의 하나는 윤활유의 변질과정에서 발생한다고 생각된다.

즉, 아무리 양질의 윤활유도 장기간 사용함으로써 점차적으로 변질하여 그 성능이 저하하는 데 윤활유 자체의 내부변화와 타물질인 외부요인에 의한 변질등이 원인이 될 수 있다. 윤활유의 사용중 열화변질하는 원인은 화학적인 내부변화와 물리적인 외부에 의한 변화로 대별할 수 있다. 내부변화로는 사용할 때에 따른 산화작용, 탄화작용이 발생하며, 외부요인으로는 주로 이물질들이 침입하여 발생하는 데 회석, 유화 등에 의해 변질된다. 산화작용은 공기중의 산소, 반복적인 가열 혹은 압력, 물(수분)이나 금속분등이 혼입하는 경우에는 더욱 촉진된다. 더욱이 내연기관의 경우에는 불완전 연소 및 블로바이(Blow-by)의 결과로 생기는 CO 및 SO<sub>3</sub> 등의 부식성이 강한 산성가스가 응결수(H<sub>2</sub>O)와 결합해서 CHOOH 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 되어 윤활유중에 혼입하여 화학적인 내침식성을 더욱 약화시킨다.

내연기관에서 연소의 결과로 다량의 수증기와 탄산가스를 발생하고, 그 외에 미량의 유황화합물, 질소 화합물, 염화물 및 유기산 등<sup>12,13)</sup>이 생성된다. 그러나 윤활유의 열화원인 중에서 이물질 혼입이나 탄화작용에 의한 고형물이나 슬러지 등은 정밀한 청정방법으로 어느 정도 제거될 수 있으나, 다른 요인들은 캐비테이션 침식에 큰 영향을 미친다고 사료된다. 따라서 열화변질된 윤활유중에서의 캐비테이션 침식작용은 전기화학적인 부식작용이 상승작용하므로 베어링 합금재의 수명에 치명적인 손상을 유발시킬 수 있다<sup>14)</sup>고 하겠다.

### 3.2 윤활유의 사용시간에 따른 무게감소량

Fig.2는 비청정유인 시스템유(SO)의 사용시간( $t_o$ )에 따른 캐비테이션 침식손상에 대한 Pb기 베어링 합금재 7종(WM7), Sn기 베어링 합금재 1종(WM1) 및 Cu-Pb기 베어링 합금재 4종(KM4)의 무게감소량( $W_i$ )을 측정한 것으로 실험시간은 300분동안이다.

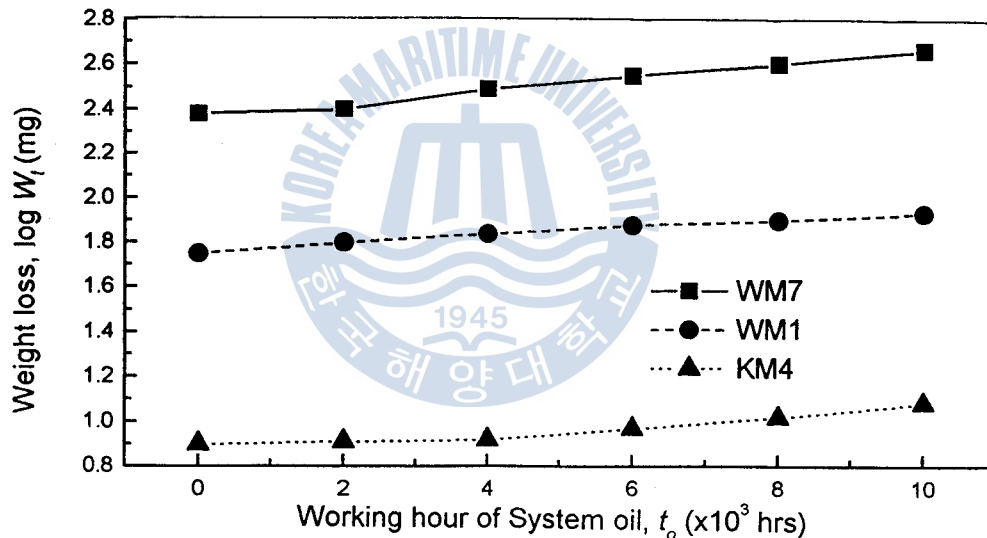


Fig.2 Weight loss Vs Working hours of System oil without purification for materials.

이에 의하면 사용시간이 긴 윤활유 환경에서 캐비테이션 침식에 의한 무게 감소량은 증가하나, 3,000시간 후부터 급격히 증가하는 추세이다. 또한 무게 감소량의 증가폭은 KM4에서 가장 적다. 이와 같이 3,000시간 사용한 시스템유 환경에서 부터 무게 감소량이 크게 증가하는 이유는 3,000시간 정도 윤활유를 사용하게 되면 산화작용의 촉진과 캐비테이션 침식과정에서 pH가 4.0이하인 산성으로 변화하고, 고형물의 증가로 점도가 상승하기<sup>15,16)</sup> 때문으로 생각된다. 그리고 KM4에서 무게 감소량의 증가폭이 적은 것은 KM4가 부식성인 산화작용에 둔감하여 피막형성이 강하고 경도가 높은 내 침식-부식성인 재료이기 때문이라고 생각된다.

### 3.3 무게 감소량에 미치는 원심청정의 영향

Fig.3은 청정 및 비청정에 의한 사용시간( $t_o$ )이 다른 시스템유(SO) 중에서의 WM7, WM1 및 KM4의 베어링 합금재에 대한 무게 감소량( $W_r$ )을 나타낸 것으로 측정시간은 300분으로 하였다.

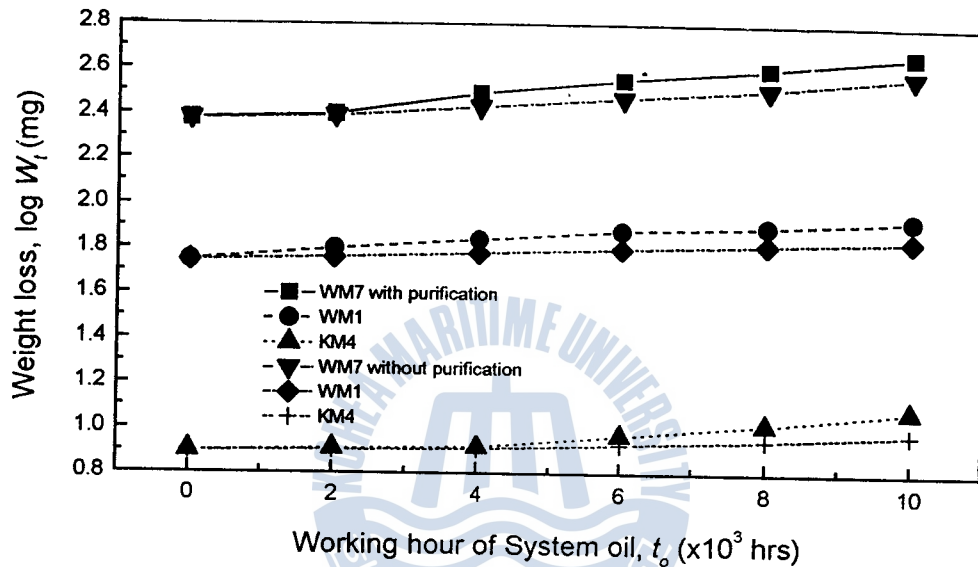


Fig.3 Weight loss Vs Working hours of System oil(SO) without or with purification for materials.

이에 의하면 사용시간이 긴 시스템유 중에 비청정유인 시스템유에 대한 무게 감소량이 청정유에서 보다 크게 증가하고 있으며, 증가폭은 WM7 > WM1 > KM4 순으로 나타난다. 이와 같이 청정유와 비청정유 사이에 윤활유의 사용시간이 긴 시스템유일수록 무게 감소량의 차이가 큰 이유는 연속적으로 청정을 하게 되면 산화, 탄화 및 유화작용에 영향을 미치는 산화촉매작용의 인자인 잔류 탄소분, 회분, 불용해분 및 수분 등이 제거됨으로써 윤활유의 열화변질이 둔화되어 윤활유성상이 잘 보존되기 때문이라고 생각된다.

또한 윤활유의 사용시간이 증가할 수록 WM7 > WM1 > KM4 순으로 무게 감소량이 나타나는 이유는 WM7이 연성적이기 때문에 캐비테이션 충격력에 의해 보호피막이 쉽게 탈리되어 부식성인 산화 및 유화작용에 손상표면이 노출되기 때문이다.

Fig.4는 청정과 비청정에서의 시스템유(SO)에서의 베어링 합금재에 대한 무게 감소량 비율( $\phi$ )을 윤활유의 사용시간( $t_o$ )에 따라 측정한 것으로 실험시간은 300분동안이다. 그리고 무게 감소량 비율(weight loss ratio,  $\phi$ )은 다음 식(1)과 같다.



$$\phi = (1 - W_p / W_{np}) \times 100\% \quad (1)$$

단, 청정유( $W_p$ )는 Strainer, Filter 및 원심청정기(Centrifugal purifier)에 의해 고형물, 금속마분 등이 제거된 깨끗한 윤활유로 인정하고, 비청정유( $W_{np}$ )는 아무런 청정작용없이 연속 사용된 열화변질유로 가정함.

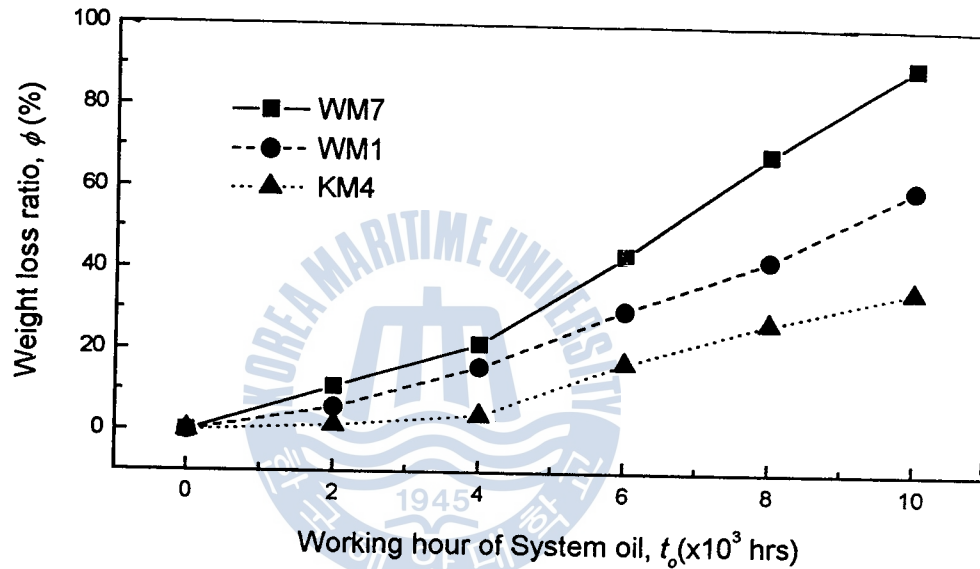


Fig.4 Weight loss ratio Vs Working hours of System oils with and without purification for materials.

이에 의하면 무게 감소량 비율은 윤활유의 사용시간이 약 3,000시간부터 급격히 증가하는 추세이다. 또한 무게 감소량 비율( $\phi$ )은  $WM7 > WM1 > KM4$  순으로 나타난다.

이러한 현상은 비청정인 윤활유중에서는 산화촉진 및 고형물질의 생성 등이 급격히 증가하여 부식작용이 중첩되기 때문이고, 무게 감소량 비율( $\phi$ )이  $WM7 > WM1 > KM4$  순으로 나타나는 것은 WM7이 다른 베어링 합금재에 비하여 연성인 Pb의 탈리작용이 심하여 부식성에 민감하고, 특히 산화성에 의한 침식-부식의 상승작용이 촉진되기 때문이라고 사료된다.



### 3.4 시스템유의 사용시간에 따른 pH값과 점도의 변화과정

Fig.5는 Fig.2, Fig.3 및 Fig.4의 자료를 바탕으로 시스템유(SO)에 대해 사용시간에 따른 pH 및 점도(cSt @40°C)의 변화과정을 정리한 것으로 윤활유환경은 비청정유이고 실험하는 과정중에 캐비테이션 침식이 작용하고 있는 상태에서 측정된 것이다.

이에 의하면 pH값은 윤활유의 사용시간이 6,000시간으로 길어짐에 따라 약 7.8에서 약 3.4인 강산성으로 변화고, 특히 2,000~3,000시간 사용후의 윤활유에서 부터 pH값이 급격히 강하한 후 윤활유의 사용시간이 증가함에 따라 완만하게 감소하고 있다. 그리고 점도도 윤활유의 사용시간이 약 2,000~3,000시간부터 급격히 상승하는 경향이 강하다.

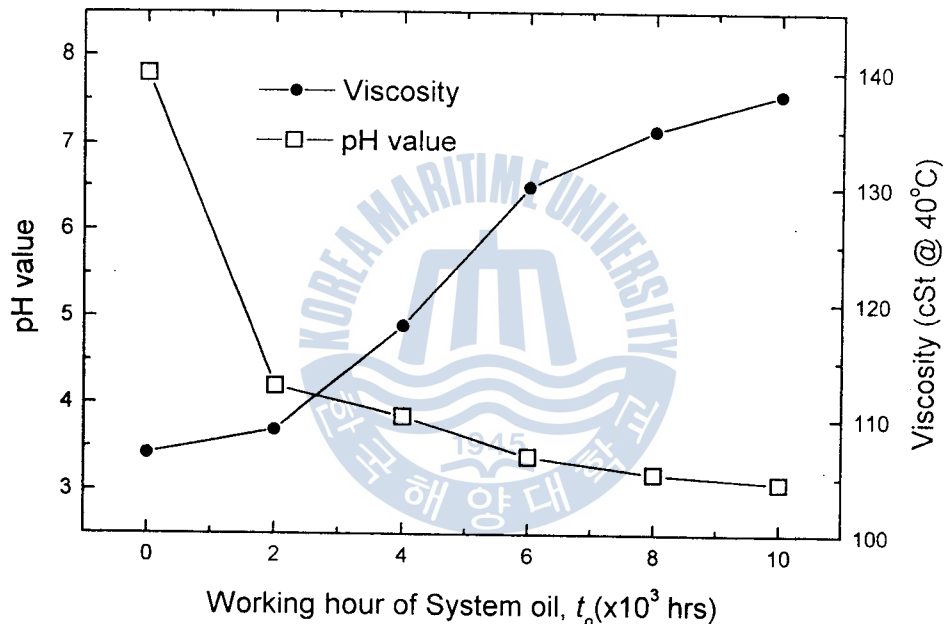


Fig.5 Relationship between pH value and Viscosity Vs Working hours in System oil without purification.

이와 같이 윤활유의 사용시간이 증가함에 따라 pH값은 감소하고 점도는 증가하는 이유는 산화촉매 인자인 산소, 열, 금속 마모분, 마찰 금속면, 수분, 염분, 연소 생성물 등에 의한 화학적인 열화변질작용이 촉진되기 때문이고 캐비테이션 작용에 의하여 산화작용이 촉진되기 때문으로 생각된다.

그리고 pH값이 윤활유의 사용시간이 길어짐에 따라 급격히 감소하다가 둔화되는 현상은 약산성인 pH4에서는 산화제인 보호피막형성이 촉진되어 유입자 상호간의 전기화학적 산성화 작용<sup>17)</sup>이 둔화되기 때문이라고 하겠다.

### 3.5 사용시간에 따른 캐비테이션 침식손상면의 특성

Photo.2은 Pb기 베어링 합금재 7종(WM7)에 대해 선박시스템유(SO)의 사용시간인 2,000, 4,000, 6,000 및 8,000시간에 대한 캐비테이션 침식손상면을 사진으로 나타낸 것으로 실험시간은 30분동안이다.

이와 같이 윤활유의 사용시간이 적은 2,000시간에서는 침식소공이 수지상으로 소공형태가 뚜렷하게 형성되어 있다. 그러나 사용시간이 4,000~6,000시간으로 경과함에 따라 수지상인 침식소공벽이 탈리되면서 소공형태가 소실되어 망사형을 이루고 있다. 한편 사용시간이 8,000시간인 경우에는 침식소공 주변부가 크게 탈락되어 침식손상이 전 표면에 나타나는데, 이러한 현상은 장기간 사용된 윤활유이므로 열화변질현상으로 부식성이 촉진되어



### 3.4 시스템유의 사용시간에 따른 pH값과 점도의 변화과정

Fig.5는 Fig.2, Fig.3 및 Fig.4의 자료를 바탕으로 시스템유(SO)에 대해 사용시간에 따른 pH 및 점도(cSt @40°C)의 변화과정을 정리한 것으로 윤활유환경은 비청정유이고 실험하는 과정중에 캐비테이션 침식이 작용하고 있는 상태에서 측정된 것이다.

이에 의하면 pH값은 윤활유의 사용시간이 6,000시간으로 길어짐에 따라 약 7.8에서 약 3.4인 강산성으로 변화고, 특히 2,000~3,000시간 사용후의 윤활유에서 부터 pH값이 급격히 강하한 후 윤활유의 사용시간이 증가함에 따라 완만하게 감소하고 있다. 그리고 점도도 윤활유의 사용시간이 약 2,000~3,000시간부터 급격히 상승하는 경향이 강하다.

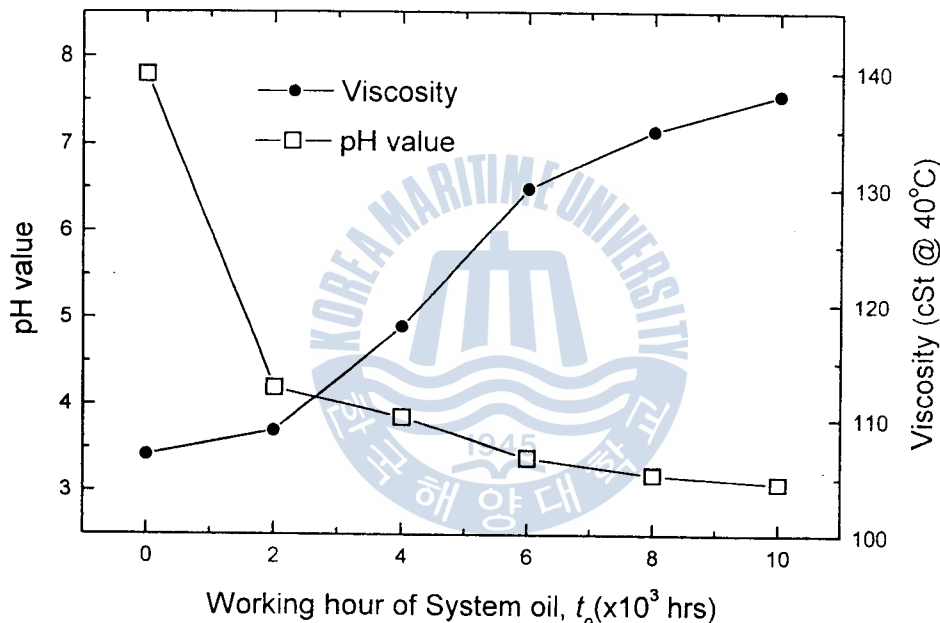


Fig.5 Relationship between pH value and Viscosity Vs Working hours in System oil without purification.

이와 같이 윤활유의 사용시간이 증가함에 따라 pH값은 감소하고 점도는 증가하는 이유는 산화촉매 인자인 산소, 열, 금속 마모분, 마찰 금속면, 수분, 염분, 연소 생성물 등에 의한 화학적인 열화변질작용이 촉진되기 때문이고 캐비테이션 작용에 의하여 산화작용이 촉진되기 때문으로 생각된다.

그리고 pH값이 윤활유의 사용시간이 길어짐에 따라 급격히 감소하다가 둔화되는 현상은 약산성인 pH4에서는 산화제인 보호피막형성이 촉진되어 유입자 상호간의 전기화학적 산성화 작용<sup>17)</sup>이 둔화되기 때문이라고 하겠다.

또한 사용시간이 약 2,000~3,000시간부터 급격히 점도가 증가하는 이유는 산화촉매인자에 의해 고무상인 슬러지(Sludge)형성, 유화(Emulsion)등에 의한 유분자의 상호중첩에 따른 고형물질이 상승하므로 유성 및 유동성이 저하하기<sup>18,19)</sup> 때문이라고 추정된다.

## 3.5 사용시간에 따른 캐비테이션 침식손상면의 특성

Photo.2은 Pb기 베어링 합금재 7종(WM7)에 대해 선박시스템유(SO)의 사용시간인 2,000, 4,000, 6,000 및 8,000시간에 대한 캐비테이션 침식손상면을 사진으로 나타낸 것으로 실험시간은 30분동안이다.

이와 같이 윤활유의 사용시간이 적은 2,000시간에서는 침식소공이 수지상으로 소공형태가 뚜렷하게 형성되어 있다. 그러나 사용시간이 4,000~6,000시간으로 경과함에 따라 수지상인 침식소공벽이 탈리되면서 소공형태가 소실되어 망사형을 이루고 있다. 한편 사용시간이 8,000시간인 경우에는 침식소공 주변부가 크게 탈락되어 침식손상이 전 표면에 나타나는 데, 이러한 현상은 장기간 사용된 윤활유이므로 열화변질현상으로 부식성이 촉진되어 침식소공벽이 쉽게 박리되기 때문이라고 추정된다.

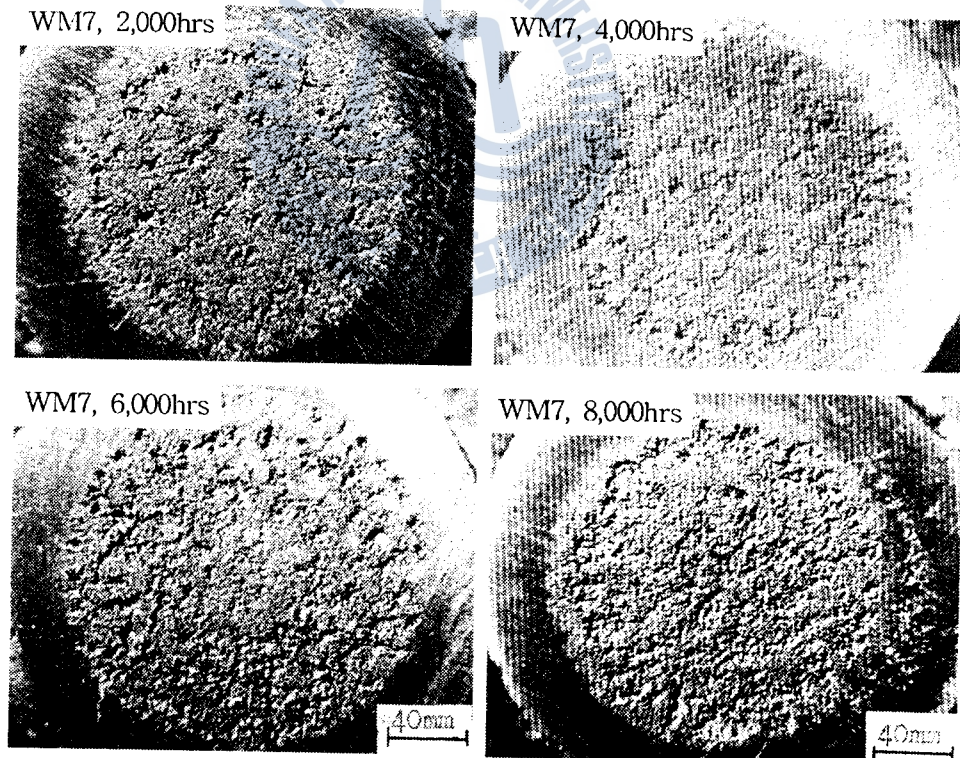


Photo.2 Appearance of Damaged surfaces Vs Working hours in System oil through Cavitation erosion process during 30 min for WM7.

### 3.6 SEM 사진에 의한 침식손상면의 조직 관찰

Photo.3은 Sn기 베어링 합금재 1종(WM1), Pb기 베어링 합금재 7종(WM7) 및 Cu-Pb기 베어링 합금재 4종(KM4)에서 선박 시스템유(SO)에 대한 120분간의 캐비테이션 침식실험 결과의 손상면을 25배 및 200배 SEM사진으로 나타낸 것이다.

이에 의하면 WM7와 WM1의 침식손상면은 KM4에 비하여 탈리가 심하며 고품입자가 손상면에 노출되어 있다. 이러한 베어링재의 표면이 크게 탈리하는 현상은 유중에 발생한 기포는 충돌과 소멸시 충격력이 강하고, 붕괴시 충격력이 소공에 따라 상이하기 때문에 소공내부벽도 불규칙하게 박리된 모습으로 보인다.

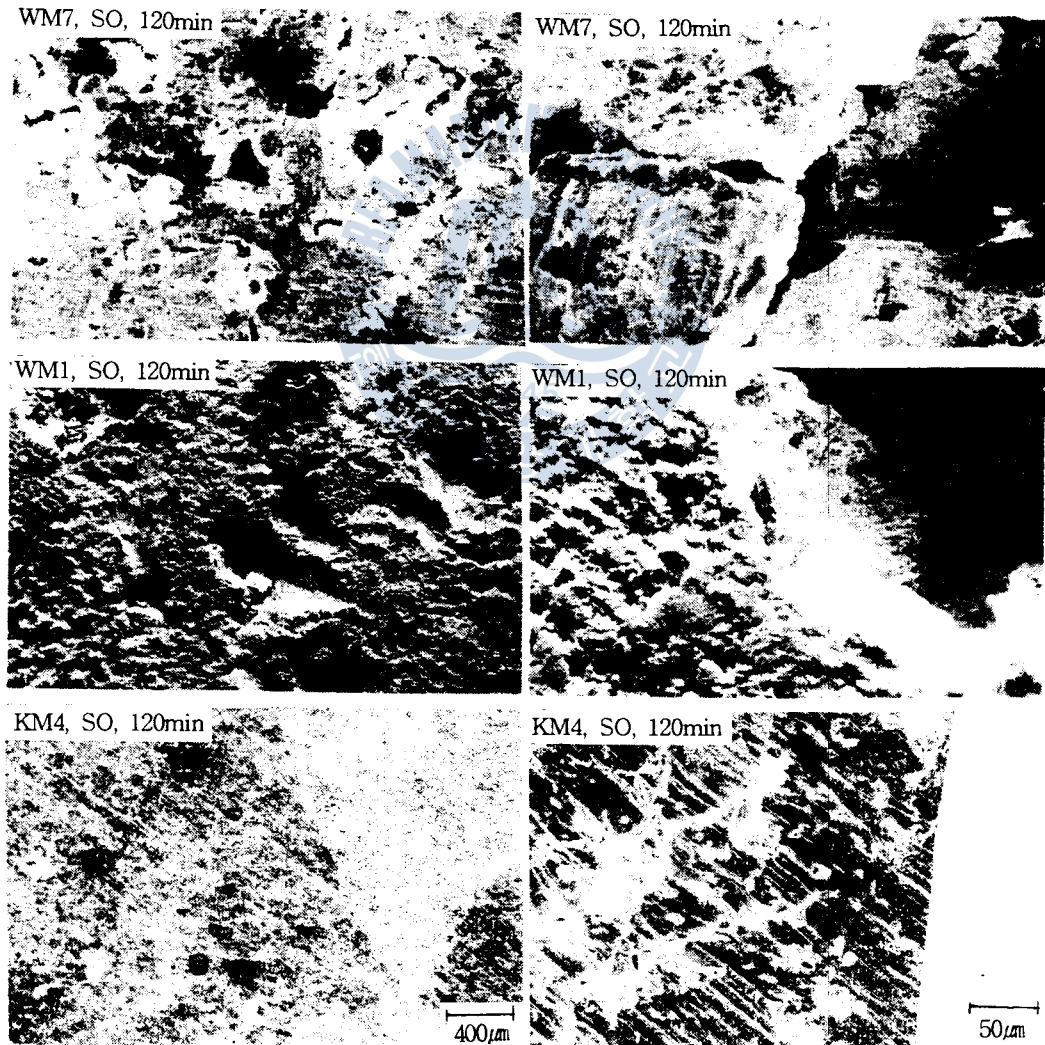


Photo.3 Appearance of Cavitation erosion surfaces in System oil for materials.



특히 WM1의 침식손상면에서 조직의 탈리현상이 소공내부에서 심하게 발생하는 것은 Sn에 Sb가 고용된  $\delta$  고용체, CuSn, CuSb의 화합물로 구성된 금속조직이 기포충격과 소멸의 반복작용에 의해 금속입자의 용해 및 탈리현상<sup>20,21)</sup>이 가속되기 때문이라 추정된다. 반면 WM7의 침식손상면에서 조직의 탈리현상은 관찰하여 보면 침식소공이 뾰족뾰족한 수지상으로 형성되어 있으며 큰 소공 주변에는 미소균열<sup>22)</sup>이 존재하고 있다. 이러한 현상은 산화와 용해작용에 의해 금속입자인 Pb가 조직에서 쉽게 탈리하기 때문이라 생각된다. WM7의 시험편에 대한 200배 SEM사진에서 나타난 소공내부의 침식손상면은 거의 불규칙한 덩플 형태의 미소공동을 형성하고 있으며, 큰 덩어리의 입자탈리현상이 존재하고 소공은 깊고 소공벽에도 심한 탈리작용이 있다. 이것은 Sn과 Pb의 고용체에서 캐비테이션 충격력에 따라 Pb가 용해 및 탈리됨에 따라 발생된<sup>23)</sup> 것이라고 하겠다.

또한 KM4의 경우에는 침식손상면에 소공수가 비교적 많으나 크지는 않으며 입계에 따라 미소균열이 형성되어 있다. 이러한 현상은 KM4가 다른 베어링재료에 비하여 취성이 강하므로 기포 충격력에 따른 반복피로를 적게 받아 열화현상이 거의 없기 때문이다. 침식소공에는 미소균열과 금속입자의 탈리작용으로 부분적인 미소소공이 형성되어 있고, 속표면에는 티어 덩플(Tear dimple)형의 소공이 형성되어 있다. 이 형태의 소공은 다소 불규칙한 스트라이에이션 형상<sup>24)</sup>을 나타내는 모습이다.

#### 4. 결 론

선박용 미끄럼 베어링 합금재의 윤활에 사용되는 시스템유를 실험환경으로 하고, 그 시스템유의 사용시간에 따른 캐비테이션 침식특성과 침식손상면을 관찰한 결과 다음과 결론을 얻었다.

- 1) 윤활유의 사용시간이 증가할 수록 무게 감소량은 크게 되고, 윤활유의 사용할 때 시간이 긴 환경에서 비청정유의 무게 감소량이 청정유에서 보다 더 크게 증가한다.
- 2) 캐비테이션 침식소공은 금속입자의 탈리현상과 박리작용이 동시에 작용하고 소공내부의 벽도 크게 손상되어 있다.
- 3) 캐비테이션에 의한 베어링 합금재의 침식손상의 증가는 윤활유의 점도변화와 산화작용에 민감하다.

참 고 문 헌

- (1) 李 演浩(1992), "Al-合金陽極에 의한 炭素鋼의 陰極防蝕에 관한 研究", 釜山水産大學校(碩士學位論文), pp 6-10.
- (2) C.C.Nathan(1981), "Corrosion Inhibitors", National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas, pp 25-45.
- (3) G.N Blount and R.D James(1983), Proc 9th Leeds-Lyon Symp. on Tribology, 1982. IME, pp 297.
- (4) R.D James and G.N Blount(1983), 2nd Int. Conf. on Cavitation, IME Paper C-216, pp 229.
- (5) Yoshiro Iwai and Tsunenori Okada(1988), "Cavitation Erosion in sliding Bearings", Journal of Japan Society of Lubrication Engineers, Vol.33, No.1, pp 2-3.
- (6) Kenneth R. Tretheway and John Chamberlain(1988), Corrosion(for students of science and engineering), Longman Scientific & Technical, pp 153-156.
- (7) 日本潤滑學會(1985), "潤滑故障例とその対策", 養賢堂, pp 16.
- (8) 日本材料學會(1988), "材料強度學", 進行印刷出版, pp 173-175.
- (9) Eiji Fukutani(1981), "Corrosion Control of Mobil Marine Metallic Structure", Corrosion Engineering, Vol.30, No.6, pp 358-365.
- (10) Annual Book of ASTM Standard(1989), "03.02 Wear and Erosion : Metal erosion, G32-85", ASTM, pp 115-119.
- (11) Mashanobu Matsumura, Yoshinori Ishimoto and Akihiro Yabuki(1991), "Cavitation Erosion-retarding Effects of Tensile Stress", Zairyo-to-Kankyo, Vol.40, No.12, pp 822-824.
- (12) L.L Shreir(1979), "Corrosion Vol.1", Butterworth Inc., pp 8:126-8:132.
- (13) L.L Shreir(1979), "Corrosion Vol.2", Butterworth Inc., pp 20:76-20:78.
- (14) 服部修次, 岡田庸敬, 鈴木文規(1990), "キャビテーション気泡 崩壊壓による 塑性變形 舉動", 日本機械學會論文集(A編), 56 卷, 527 號, pp 1617.
- (15) 山近純一郎, 鈴木弘, 川村敏雄, 官亞希一(1984), "産業機械の潤滑", 辛書房, pp16-19, 47-49.
- (16) 樓井俊男(1983), "潤滑の物理化學", 辛書房, pp 174-178, pp 146-153.
- (17) 前掲書(5), pp 4-5.
- (18) Hironobu Ito, Takashi Yamamoto and Nobuo Yamagishi(1989), "Effect of oil viscosity on the Friction Characteristic of a Paper-Based Facing for a Wet Clutch", Tribologists, Vol.34, No.9, pp 664-668.



- (19) Hidemitsu Hojo, Ken Tsuda and Dongseop Kim(1989), "Cavitation Erosion Behavior of epoxy Resin in a Corrosive Environment", Boshoku Gijutsu, Vol. 38, No.12, pp 639-644.
- (20) 掘切川一男.菊地金他(1990), "振動 キャビテーション壊食の潜伏期 後期の SEM 観測と微小租さの影響", 日本機械學會 論文集(B篇), 56卷, 527號, pp 12-18.
- (21) Yoneo Kikuta(1984), "Metallographic Atlas", Japan welding Society,pp 73-74, 356-357.
- (22) 林祐助.李鎮烈(1991), "캐비테이션에 의한 베어링材의 腐蝕.浸蝕舉動에 관한 연구(1)", 韓國腐蝕學會誌, 20卷, 4號, pp 284-287.
- (23) 齊藤彌平(1978), "日本金屬學會會報", 第 17 卷, pp 666.
- (24) 化學プラントにおける損傷等 調査委員會(1984), "化學工學", 第 48 卷, 3 號, pp 158.

