

선박 슬러지유 환경에서의 캐비티 붕괴유동에 따른 SS400의 침식양상

한 원 희* · 이 진 열**

A Erosion Aspect of SS400 by Cavity Collapse Fluctuation in Marine Sludge Oil

W-H Han* · J-Y Lee**

Key words : Cavity(기포), Max. erosion rate(최고침식율), Weight loss(무게감소량),
Transducer horn disc(진동자 혼 디스크)

Abstract

The cavitation erosion is a phenomenon leading to a malfunction of fluid machineries and decrease in efficiency due to cavity fluid fluctuation.

The purpose of this study is to examine erosion aspect on the SS400 specimen by cavitation and the effect of impact pressure generated from the demolition of the cavity of ultrasonic vibrator horn in the marine sludge oil environment. The erosion damage of specimen was investigated mainly on weight loss, weight loss rate and maximum erosion rate with variation of the vibration amplitude of 50 μ m, 24 μ m as well as the change of space between transducer horn and specimen.

The experimental results showed that as the space between ultrasonic vibrator horn and specimen disk increased, the weight loss and weight loss rate decreased and the values were larger in SFO than in SLO.

These findings would help interpret the aspect of cavitation erosion damage in metallic materials of different operating environment and material characteristics.

1. 서 론

액체를 취급하는 기기에서는 유속 및 회전속도 등이 빠르게 되면 유체충격과 정압의 저하에 의한 국부적 비등으로 인하여 캐비테이션(cavitation)이 발생한다. 이 액체내에서 발생된 캐비테이션은

소음과 진동을 초래하고, 기포의 붕괴가 따르는데, 이 때 붕괴에 의한 충격압을 받는 재료는 심한 침식을 일으킨다[1,2]. 이러한 재료는 기능 저하, 효율 감퇴, 수명단축 및 파괴에 이르기까지 장치 전반의 작동에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

선박재료에서 캐비테이션 작용을 받는 것으로

* 정희원, 한국해양대학교 대학원
** 정희원, 한국해양대학교 기관시스템공학부

는 선박의 고속 프로펠러(propeller), 펌프 임펠러(pump impeller), 곡관(bending tube), 에젝터(ejector), 왕복동 기기의 냉각수축 실린더(cylinder) 등이 있다[3-5].

특히 캐비테이션에 의한 침식손상 중에서 운항유 환경에서 캐비티의 붕괴압에 직접 충격을 받아서 손상을 받는 베어링으로는 미끄럼 베어링 합금재(sliding bearing metal) 등에서 흔히 볼 수 있다[6,7]. 이러한 베어링 합금재에서의 캐비테이션 침식손상은 선박의 내연기관, 왕복기관 및 증기터빈, 육상의 자동차, 철도의 차량기관, 항공기 등에서 볼 수 있으며, 그 외 선박기기 중에서 축지지 베어링 합금재, 추력 베어링, 스팀튜브 베어링 합금재 등에서도 캐비테이션 침식이 발생한다[8,9].

이 연구에서는 초음파 진동자 혼의 디스크와 대향으로 시험편을 시료유에 침지시켜서 캐비티의 붕괴압에 의해 시험편에 발생하는 침식특성을 규명하고자 하였다. 이 실험에서 가장 중요한 인자는 실험시간, 시료유의 종류, 진동자 혼의 디스크와 시험편과의 간격 및 진폭의 크기 등으로, 특히 간격에 따라 캐비티의 붕괴압에 의한 시험편 침식손상의 규명이 가장 중요하다고 하겠다. 따라서 이러한 실험은 초음파 진동자 혼의 진동으로 발생된 캐비티에 의해 유입자를 분쇄하는 기기 등에서 캐비티의 붕괴압에 의해 침식손상을 받는 재료의 침식발생에 대한 원인을 규명하고자 한 것이고, 또한 실험결과는 대향적으로 캐비테이션을 받는 재료나 캐비티의 붕괴에 따라 충격압을 받는 재료의 침식손상을 규명하는 데에도 필요한 자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험방법 및 장치

2.1. 실험의 이론적 배경

Fig.1은 금속재료 표면에서 단일 기포의 붕괴에 대해서 설명한 것이다. 기포(bubble)가 재료표면에 접하고 있는 경우의 결과로서 기포가 접한 재료의 상부로부터 하부로 향하여 마이크로 제트(micro jet)를 형성하면서 붕괴하는 과정을 도시한 것이다[10].

마이크로 제트의 최대속도는 130m/s 로 $p = \rho CV$ 의 관계로부터 $\rho = 10\text{kg/m}^3, C = 1500\text{m/s}$ 의 값을 대입하면 $p = 200\text{MPa}$ 가 된다. 이 값은 캐비테이션 침식을 설명하는데 필요한 값이다.

Knapp[11] 등은 Fig.2에서처럼 마이크로 제트가 발생하는 조건으로 ① 기포가 반구상으로 재료표면에 부착하고 있는 경우, ② 흐르는 방향에 압력 구배가 있는 경우, ③ 기포가 재료표면에 근접한 경우의 3종류를 제안하고 있다. 그 밖에 많은 연구자들이

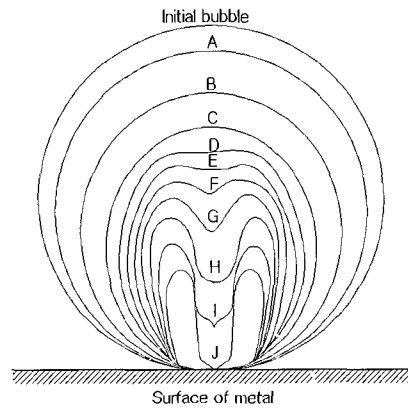


Fig. 1 Process on formation and collapse of cavitation bubble.

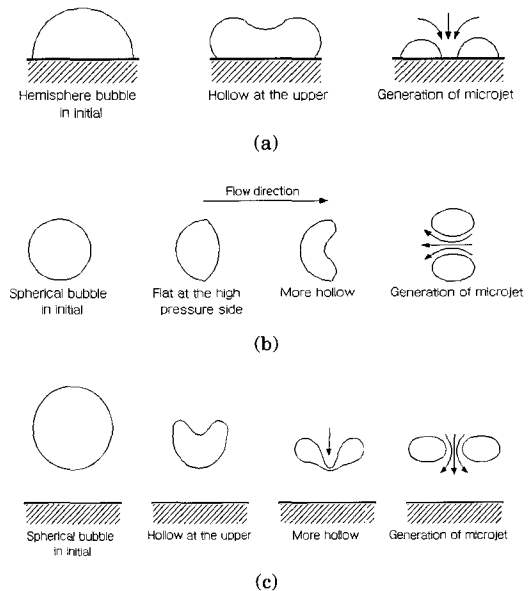


Fig. 2 Process on micro jet formation.

이 기포의 붕괴과정을 연구하고자 여러 가설을 제안하고 있는데, 재료 표면에 도달하는 압력은 충격파, 마이크로 제트, 울트라 제트(ultra jet)의 3가지 설이 있지만, 기포의 위치와 시험조건에 따라 3가지가 혼재되어 복잡한 형태로 나타난다.

加藤[12]는 날개면이 받는 캐비테이션 침식에 대하여 얼마만큼 많은 캐비테이션이 어느정도 격렬하게 고체표면의 가까이에서 붕괴하는가에 대한 문제를 지적하고 있는데, 이를 분석하기 위해서는 날개면이 받는 기포붕괴압의 크기와 분포를 실측할 필요가 있다. 실제 흐르는 다수의 기포가 운상 상태로 붕괴하게 되면 격렬하게 침식이 발생하지만 개개의 기포가 크기, 형상, 표면으로부터의 붕괴위치 등이 다르므로 다양한 크기의 붕괴압이 재료표면에 작용하게 된다. 따라서 어느 정도 크기인 기포 붕괴압이 어느 정도로 재료표면에 작용하는가를 명확히 정립하는 것은 불가능하다. Fig.3은 누적 침식량(또는 무게 감소량)과 실험시간과의 관계, 침식율(무게 감소율)과 실험시간과의 관계 등에 대해서 그 경향을 나타내고 있다[13]. 여기서 특징적인 수치는 그림에

서 표시한 것과 관계가 없이 단지 상징적이다. 시험편 침식면의 양상은 시험재료에 따라 다르며 중심부에 강한 침식을 받는 경우, 주변부에 깊은 침식부가 발생하는 경우, 방사상에 침식이 진행되는 경우 등 다양한 형태를 보이지만, 어느 것도 침식에 의해 시험편의 중량감소량(또는 무게감소량)을 시험면적으로 나눔으로서 시험면에 일률적으로 침식이 발생한 것으로 취급할 수 있다. 또한 공진주파수와 침식량과의 관계는 하나의 장치로서 주파수를 변경하여 실험하는 것도 가능하지만, 주파수가 다른 시험기를 따로 시험하여 결과를 합하여 해석하는 경우도 있다. 또한 진폭과 침식량과의 관계를 변수로 실험하는 경우도 있다.

2.2. 시료유 및 시험편의 특성

시료유는 선박의 기관실 연료유 청정기 및 윤활유 청정기 슬러지 탱크에서 채취한 연료유 슬러지(SFO : Fuel Oil Sludge)와 윤활유 슬러지(SLO : Lubricating Oil Sludge)을 채택하였고 이들의 특성을 Table 1에 나타내고 있다. 단 실험장치의 특성상 시료유의 성상이 실험 중에 순환수 펌프의 용량이나 유속, 드레인 탱크의 용량, 순환시스템의 구조, 캐비티의 양상 등에 따라 약간 변화될 수 있다. 따라서 시료유의 변화 특성은 고려하지 않았으며, 환경조는 증발을 방지하고자 밀봉하였다. 또 진동자 혼 디스크의 시료유에서의 축지깊이는 3~6mm로 온도의 영향을 고려하여 최적의 침지깊이로 실험하였고, 시험편과의 간격은 2, 4, 6 및 8mm로 변화 시켜서 실험을 수행하였다. 특히 시험편은 탄소강재인 SS400이고, 진동자 혼 디스크는 비교적 내침식성재로 알려진 18-8스테인리스 강재이며, 대향 2면으로 시험대의 중앙위치에 시험편을 고정하여 진동자 혼 디스크로부터 캐비티를 직접 받도록 하였다. 시험편은 직경 19mm, 두께 6mm이고, 표면을 정밀 사포 1200번까지 연마하고 오일랩핑(oil lapping)한 후 아세톤으로 탈지하여 무게감소량을 측정하였다.

Table 2는 SS400의 기계적 특성 및 화학적 조성을 나타낸 표이다.

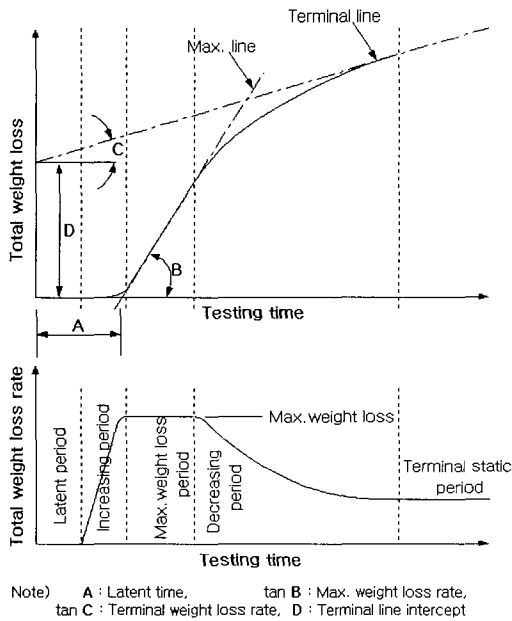


Fig. 3 Relationship on total weight loss or total weight loss rate vs testing time.

Table 1. Properties of sludge oil to be used in experiments.

Specification of Oil	Kinematic Viscosity (cSt @40℃)	Specific Gravity (15/4℃)	Flash Point (℃)	Residual Carbon (Wt%)	TBN (mgKOH/g)	Viscosity Index
SFO	75.5	0.965	123	1.74	—	—
SLO	152.7	0.922	240	4.50	1.80	96

Table 2. Chemical composition and mechanical properties of SS400 specimen.

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Fe
	0.12	0.29	0.59	0.01	0.01	Balance
Mechanical properties	Tensile strength (N/mm ²)		Yield strength (N/mm ²)		Elongation (%)	
	415		253		32	

2.3 실험장치의 구조

실험에 사용된 캐비테이션 발생장치는 주파수 20kHz, 진폭 50μm 및 진폭24μm인 초음파 진동자 혼의 진동가속시험기로 Fig.4에 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

캐비티 발생시험기는 진동자 혼 디스크(transducer horn disc)에 대향하도록 시험편을 아크릴 판에 고정하고 일정한 간격을 유지하면서 캐비티를 발생시킬 수 있도록 제작하였다. 이들의 주요 구성요소는 주파수 및 진폭을 조정하는 진동자와 혼, 전원의 증폭과 제어상자, 시료유 드레인탱크, 진동자 혼 침지탱크(실험용기), 항온조, 진동자 혼의 냉각시스템, 실험용기의 냉각장치, 순환수 펌프, 장치의 스탠드, 시험편 지지대, 순환호스와 연결기기, 측정기기 등이다. 간격측정은 필러게이지(feeler gage)와 다이얼 게이지(dial gage), 시험편 무게 측정엔 디지털 저울(digital balance : LIBROR AEX-200B)을 사용하였다.

2.4 실험방법

시료유(SFO 및 SLO)의 유온(30±2℃) 환경에 있어서 캐비테이션 작용에 따른 진동자 혼 디스크(18-8 스테인리스 강재)와 대향한 시험편(SS400 탄소강재)의 무게감소량 및 감소율을 실험시간 경

과 및 간격(2~8mm)에 따라 측정, 관찰하였다. 또한 실험시간에 따른 무게감소량 및 감소율의 결과를 정리한 후 최고침식율을 구하고, 간격에 따른 침식 특성을 고찰하였다. 그리고 진동자 진폭의 크기(50μm 및 24μm), 즉 캐비티의 세기에 따른 시험편의 침식손상 특성도 아울러 규명하고자 하였다. 총 실험시간은 20시간인데 2시간마다 시험편의 무게감소량과 감소율을 측정하였고, 시료잡기는 진동자 혼 디스크의 침지깊이는 3~9mm 사이에서 최고 캐비티의 발생이 우수한 간격에서 실험하였다.

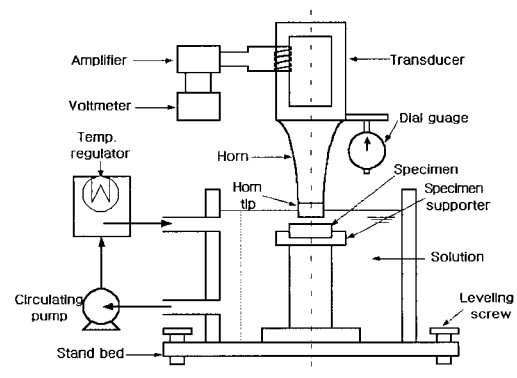


Fig. 4 Schematic diagram of ultrasonic vibrator. (unit : mm)

3. 결과 및 고찰

3.1 SLO 환경에서의 간격에 따른 무게감소량과 감소율

Fig.5는 30℃인 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 진동자 혼 디스크(진폭 50 μ m, 주파수 20KHz)와 대향된 시험편(SS400)사이의 간격(2, 4, 6 및 8mm)에서 실험시간(t) 20시간 동안의 무게감소량(Wt)을 측정하여 정리한 것이다. 이때 진동자 혼 디스크의 시료유에 대한 침식깊이는 약 3mm로 하였다. 이에 의하면 실험시간의 경과에 따른 무게감소량은 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm의 순으로 나타나고 실험시간 12시간부터 무게감소량의 증가폭이 둔화되고 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 것은 진동자 혼의 진폭에 따른 SLO 환경에서 진동에 의해 발생된 캐비티가 시험편에서 붕괴하여 그에 따른 반복된 충격압을 받기 때문이다. 이 충격압에 의해 시편의 보호피막의 파괴, 소성변형, 시편표면의 열화, 금속입자의 균열과 파열, 탈리와 탈락 등의 작용이 발생하여 시편에 피팅(pitting)이라는 미소소공이 발생, 진전, 및 성장하게 되어 시편의 무게(또는 중량)가 소실되어 감소하게 되는 것으로 사료된다.

이러한 현상들을 좀더 보충하여 설명하기 위하여 Fig.6에 Fig.5의 무게감소량에 대한 자료를 바탕으로 실험시간(t)에 따른 무게 감소율(R)을 구하였다. 이에 의하면 최고침식율의 크기도 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm의 순으로 나타나고, 실험시간이 경과하면서 최고침식율을 보인 후 감소하는 형태를 보인다. 또한 최고침식율이 나타나는 실험시간까지는 무게감소율의 간격에 따른 증가폭이 크지만 최고침식율을 보인 후부터는 간격에 따른 무게감소율의 감소 폭이 좁아진다. 이와 같은 작용은 진동자 혼의 디스크와 시험편 사이의 간격에서 발생하는 캐비티의 성장, 붕괴에 따른 메카니즘에 상당히 복잡하게 작용할 것으로 판단된다. 즉 간격이 작으면 캐비티의 강한 붕괴압에 의해서 시편의 침식소공이 크게 증가하면서 무게감소율이 증가하지만 간격이 크게 되면 캐비티의 붕괴압이 보다 약하여 침식소공에 의한 무게감소율이 보다 적게 나타날 것이다. 하지만 빠르게 침식소공에 의한 최고침식

율이 나타나면 상대적으로 캐비티의 침식소공에 흡착되어 다음에 접촉되는 기포의 붕괴압을 완화시키는 완충작용(cushion effect)이 빠르게 형성되어 무게감소율이 감소하는 모습을 보이고 있다.

또한 최고침식율이 나타난 후, 즉 침식소공에 기포의 흡착에 의한 완충작용이 나타난 후부터는 기포의 충격에 의한 무게 증가율은 간격에 크게 관계없이 오로지 기포의 충격 완화에 의해서 무게감소율이 감소하므로 간격에 따른 무게감소율의 감소폭이 작은 것으로 사료된다.

Fig.7은 유온 30℃인 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 진폭 24 μ m인 진동자 혼의 진동에 의한 시편의 무게감소량(Wt)을 실험시간(t)에 따른 자료를 간격 2, 4, 6 및 8mm에 따라 정리한 것으로 진동

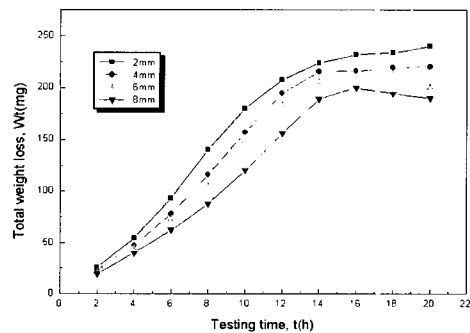


Fig. 5 Total weight loss according to oil space between specimen and horn disc in SLO environment. (30°C oil temp., 50 μ m amplitude)

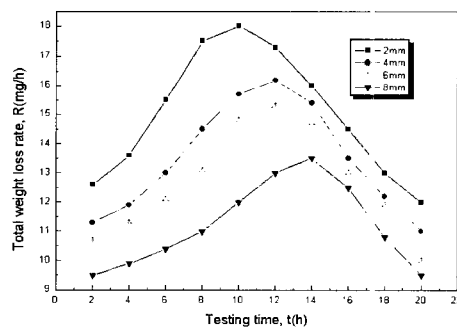


Fig. 6 Total weight loss rate vs testing time according to space between specimen and horn disc in SLO environment. (30°C oil temp., 50 μ m amplitude)

자 혼 디스크의 침지깊이는 약 3mm로 하였다.

이에 의하면 무게감소량은 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm의 순으로 나타나고 실험시간 12시간부터 무게감소량의 증가 다소 둔화되는 경향을 보인다. 이러한 현상은 진동자의 혼의 진폭 24 μ m이므로 진폭에 의한 시편의 침식손상이 진폭 50 μ m에 비하여 현저히 감소하므로 간격에 따른 캐비티의 충격압의 대소에 따라 무게의 감소량이 일정하게 비례하기 때문인 것으로 생각된다.

이러한 진폭에 따른 무게감소량의 영향을 좀더 관찰하기 위하여 Fig.8에 Fig.7의 자료를 분석하여 실험시간(t)에 따른 무게감소율(R)을 정리하였다.

이에 의하면 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm의 순으로 균등한 증가폭으로 증가하다가 최고침식율을

지난 실험시간부터 간격에 따른 무게감소율의 감소 폭이 다소 좁아지면서 감소하는 형태를 보이고 있다. 이러한 경향을 보이는 것은 진폭 24 μ m의 진동자 혼에서의 캐비티에 의한 침식손상율(또는 무게 감소율)은 별다른 변수없이 전적으로 간격에 의한 캐비티의 충격력에 의존하는 경향이 강하기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 SFO 환경에서의 간격에 따른 무게감소량과 감소율

Fig.9는 30 $^{\circ}$ C인 연료유 슬러지(SFO) 환경에서의 진동자 혼 디스크(진폭 50 μ m, 주파수 20KHz)와 대향된 시편(SS400)사이의 간격(2, 4, 6 및 8mm)에서 실험시간(t) 20시간 동안의 무게감소량(Wt)을

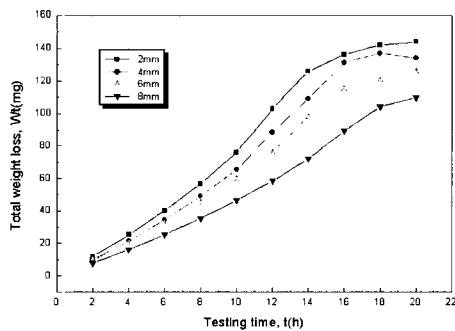


Fig. 7 Total weight loss vs testing time according to space between specimen and horn disc in SLO environment. (30 $^{\circ}$ C oil temp., 24 μ m amplitude)

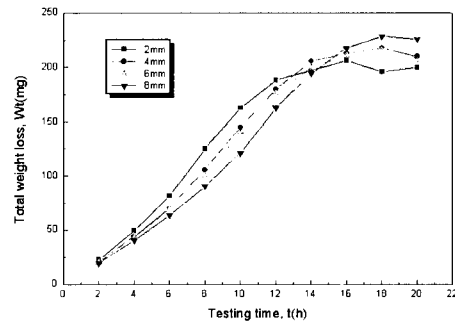


Fig. 9 Total weight loss vs testing time according to space between specimen and horn disc in SFO environment. (30 $^{\circ}$ C oil temp., 50 μ m amplitude)

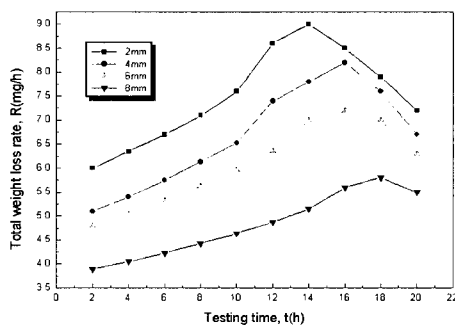


Fig. 8 Total weight loss rate vs testing time according to space between specimen and horn disc in SLO environment. (30 $^{\circ}$ C oil temp., 24 μ m amplitude)

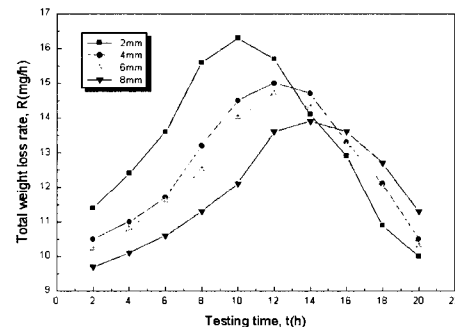


Fig. 10 Total weight loss rate vs testing time according to space between specimen and horn disc in SFO environment. (30 $^{\circ}$ C oil temp., 50 μ m amplitude)

측정하여 정리한 것이다. 진동자 혼 디스크의 침지 깊이는 약 3mm이다. 이에 의하면 실험시간 12시간까지는 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm의 순으로 나타나지만 그 이후의 실험시간부터는 서로 겹치면서 간격 8mm > 4mm > 6mm > 2mm의 순으로 간격 8mm에서 무게감소량이 제일 크게 나타나고 간격 2mm에서 감소하는 형태를 보인다. 이와 같이 실험시간 12시간 정도에서 캐비티의 충격압에 의해 시편에 침식소공이 발생하므로 진동자 혼과 시편과의 간격이 작을수록 캐비티의 충격압의 크고 분산작용이 양호하기 때문에 간격이 작은 2mm에서 크게 침식손상(또는 무게감소량)이 증가하며 간격이 큰 8mm에서 작게 나타난다. 하지만 실험시간 12시간 후부터 간격 8mm에서 무게감소량이 크게 나타나고 간격 2mm에서 작게 나타나는 현상은 침식소공에 기포가 흡착될 정도로 캐비티에 의한 침식소공이 간격 2mm에서는 충분히 발생하지만, 간격 8mm에서는 아직 기포가 흡착될 정도의 침식소공이 발생하지 못하였기 때문이다.

따라서 이러한 경향을 좀더 세심하게 관찰하고자 Fig.9의 자료를 근거로 Fig.10에 실험시간(t)에 따른 무게감소율(R)을 정리하였다. 이에 의하면 간격이 작은 2mm에서 침식소공에 의한 침식손상이 가장 큰 최고침식율을 보이면서 짧은 실험시간에 나타나고, 그 이후 급격히 무게감소율이 감소하는 모습을 보인다. 이에 비하여 간격이 큰 8mm에서는 최고침식율이 늦게 나타나고 그 이후의 무게감소율의 감소도 다소 완만하게 감소하고 있다. 이와 같이 간격이 작을수록 무게감소량이 증가하는 것은 간격이 작으면 캐비티에 의한 침식소공의 수가 많은 뿐 아니라 침식소공이 크기가 크게 발생하기 때문이고, 또한 캐비티가 받는 면적도 크게 된다. 반면에 간격이 증가할수록 무게감소율이 작은 이유는 캐비티를 받는 거리가 멀어지므로 충격력에 의한 침식손상이 작아지고, 캐비티의 방사(放射) 작용도 넓게 확산되기 때문이라고 사료된다.

Fig.11은 유온 30℃인 연료유 슬러지(SFO) 환경에서 진폭 24μm인 진동자 혼의 진동에 의한 시편의 무게감소량(Wt)을 실험시간(t)에 따라 정리한 자료로 간격 2, 4, 6 및 8mm로 변화시켰으며, 진동자 혼 디스크의 침지깊이는 약 3mm로 하였다. 이

에 의하면 실험시간 14시간 정도까지는 간격 2mm > 4mm > 6mm > 8mm에 따라 무게감소량이 나타나지만, 실험시간 18시간에서는 간격 6mm에서가 간격 2mm와 4mm에서보다 크게 나타난다. 이와 같이 실험시간 14시간 정도에서의 무게감소량이 간격이 증가함에 따라 증가하는 것은 간격이 작을수록 캐비티에 의한 충격력에 의한 침식소공이 증가하기 때문인 것으로 판단되고, 실험시간이 18시간 경과한 후부터는 간격 6mm에서 무게감소량이 증가하는 것은 간격이 작은 2mm나 4mm에서가 캐비티에 의한 침식소공이 크게 발생, 발전하면서 기포의 흡착에 의한 완충작용을 먼저 받기 때문인 것으로 사료된다. 또한 간격 8mm에서는 캐비티의 충격력을 약하게 받으므로 침식소공이 작게 발생하면서 기

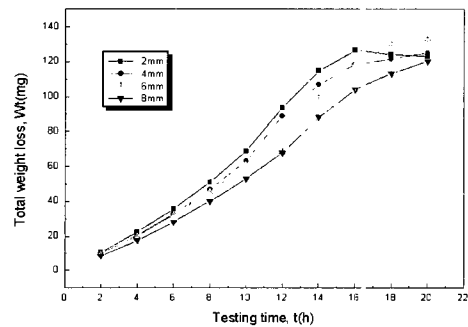


Fig. 11 Total weight loss vs testing time according to space between specimen and horn disc in SFO environment. (30℃ oil temp., 24μm amplitude)

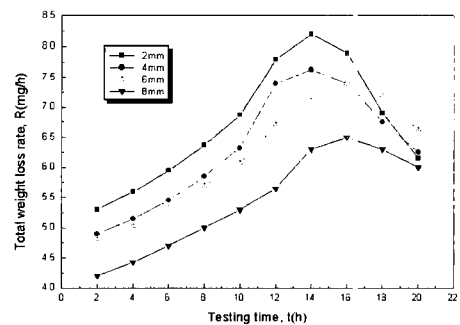


Fig. 12 Total weight loss rate vs testing time according to space between specimen and horn disc in SFO environment. (30℃ oil temp., 24μm amplitude)

포의 흡착이 일어날 정도로 침식소공이 발달하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

이러한 일련의 과정을 명확히 관찰하고자 Fig.12에 30℃인 연료유 슬러지(SFO) 환경에서의 무게감소율(R)을 실험시간(t)에 따라 정리하여 보았다. 이에 의하면 간격 2mm, 4mm에서가 간격 6mm에서 비하여 최고침식율이 먼저 나타나고 그에 따라 기포의 흡착에 의한 무게감소율의 감소폭도 작게 나타난다. 이러한 현상은 간격 2mm와 4mm에서가 간격 6mm에 비교하여 기포의 흡착이 이루어 질 만큼의 침식소공이 먼저 발생하기 때문인데, SFO 환경에서는 캐비티의 반복작용에 의해서 성상이 크게 변화되므로 캐비티의 발생, 붕괴 및 분산작용에 간격이 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.5 진폭 50 μ m 및 24 μ m에 대한 슬러지유 환경에서의 최고침식율의 비교

Fig.13은 슬러지유(SFO 및 SLO 환경) 환경에서의 최고침식율을 진동자 혼의 진폭 50 μ m와 24 μ m에 따라 비교, 검토한 결과를 그래프로 정리한 것이다. 이에 의하면 진폭 24 μ m에 대한 50 μ m에서의 최고침식율의 비율은 거의 2배 이상이고, 특히 간격 8mm에서는 거의 2.5배 이상으로 가장 크게 최고침식율의 비율차를 보이고 있다. 이러한 현상은 유온이 30℃이므로 연료유 슬러지(SFO)나 윤활유 슬러지(SLO)의 성상변화에 의한 캐비티의 작용에 영향을 미치는 인자는 거의 없지만, 단지 캐비티의

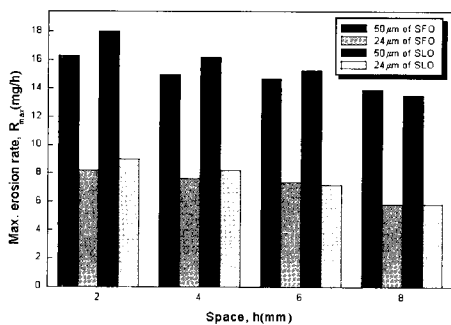


Fig.13 Comparison of max. erosion rate between 50 μ m and 24 μ m amplitude in SFO and SLO environment.

발생, 소멸, 파괴 등의 반복작용에 따른 유체역학적인 영향에 따라 최고침식율이 좌우된다고 생각한다. 그리고 간격 8mm에서는 진폭에 따른 캐비티의 도달거리에 큰 영향을 받아서 최고침식율이 나타나므로 진폭의 영향이 크다고 하겠다.

4. 결 론

슬러지유(SFO 및 SLO) 환경에서 진폭 50 μ m 및 24 μ m인 진동자의 혼 디스크와 시험편(SS400 탄소강재)과의 간격 2, 4, 6 및 8mm에 따른 시험편의 무게감소량, 감소율 및 최고침식율을 실험시간의 경과에 따라 정리한 자료들을 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 간격이 증가함에 따라 슬러지유 환경에서의 무게감소량과 감소율은 작아진다. 또한 이들의 값은 연료유 슬러지(SFO) 환경에서가 윤활유 슬러지(SLO)에 비교하여 감소폭이 크다. 즉 SFO에서는 캐비티의 작용이 간격의 크기(또는 침식의 세기)에 민감하게 반응한다.
- (2) 슬러지유 환경에서 누적 무게감소량은 실험시간이 경과하면서 증가하는 반면, 무게감소율은 실험시간이 경과하면서 증가하다가 최고침식율을 보인 후부터 감소한다.
- (3) 최고침식율은 SFO 환경에서가 SLO 환경에 비하여 크게 나타나고, 최고침식율의 발생시간도 SFO 환경에서가 SLO 환경에 비하여 짧은 실험시간 내에서 발생한다.
- (4) 슬러지유 환경에서 진동자 혼의 진폭 24 μ m에 대한 50 μ m에서의 최고침식율의 비율은 거의 2배 이상이 되고, 간격이 큰 8mm에서는 거의 2.5배 이상을 보인다. 또한 최고침식율이 나타나는 실험시간도 진폭 50 μ m인 경우가 진폭 24 μ m에 비하여 상당히 짧고, 연료유 슬러지(SFO)에서가 윤활유 슬러지(SLO) 환경에 비교하여 짧다.

참 고 문 헌

[1] Manabumi Masuko and Kazumi Okada, "Tribology of O/W Emulsion", Journal of Japanese Society of Tribologists, Vol.36, No.5,

pp.369-374, 1991

[2] 임우조 · 양학회 · 인현만 · 이진열, "부식과 방식", 원창출판사, pp.1-4, 1994

[3] J.H.Bruton and M.C.Rochester, "Erosion of Solid Surfaces by the Impact of Liquid Drops", Academic Press, pp.185-247, 1982

[4] 임우조 · 황재호 · 황태호 · 이진열, "STS 304 캐비테이션 침식 · 부식 거동에 관한 연구", 한국해양대학교 부식방식공학연구소 논문집 제2집, p.154, 1999

[5] 이진열 · 정지선, "선박시스템유중 베어링 합금재의 침식거동에 미치는 각종 인자의 영향(2)", 한국해양대학교 부식방식공학연구소 논문집 제2집, p.96, 1999

[6] Yoshiro Iwai and Tsunenori Okada, "Cavitation Erosion in Sliding Bearings", Journal of Japan Society of Lubrication Engineers, Vol.33, No.1, pp.2-3, 1988

[7] 이진열 · 정지선, "선박시스템유중 베어링 합금 재의 침식거동에 미치는 각종 인자의 영향 (1)", 한국해양대학교 해양안전환경연구소 논문집 1집, p.86, 1999

[8] W.H.Ailor, "Engine Coolants Testing : State of the Art", ASTM, STP 705, pp.81-101, 1980

[9] S.H Frederick and H. Capper, "Materials for Marine Machinery", Marine Media Management Ltd, pp.211-212, 1981

[10] 岡田庸敬 · 服部修次, "機械の 研究", 養賢堂, 49卷, 11號, pp.80-81, 1997

[11] R.t.Knapp et al, "Cavitation", McGrew Hill, p.344, 1970

[12] 加藤洋治, "キャビテーション", 日本派書店, pp.4~8, 1979

[13] 岡田庸敬 · 服部修次, "キャビテーション壊食(2)", 機械の 研究 第49卷, 第10號, p.70, 1997

저 자 소 개



한원희(韓元熙)

1968년 12월생. 1991년 2월 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1991년 3월~1995년 3월 승선근무. 1999년 2월 목포해양대학교 대학원졸업(석사). 현재 한국해양대학교 대학원 기관공학과(박사과정). 당학회 정회원.



이진열(李鎭烈)

1952년 4월생. 1976년 한국해양대학 기관학과 졸업. 1994년 부산수산대학교 선박기계공학과 졸업(박사). 1998년 Univ. of Auckland, NZ 연구교수. 1987~현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수.