

論 文

선박 슬러지유 환경에서의 초음파 진동자 선단의 침식손상(2)

— 침지깊이 변화에 따른 고찰 —

한 원 희* · 하 만 식* · 이 진 열**

Erosion Damage of Ultrasonic Vibrator Tip in Marine Sludge Oil Environment

— study on depth of transducer disc —

Won-Hui Han · Man-Sik Ha* · Jin-Yeol Lee***

〈 목 차 〉

Abstract	3. 결과 및 고찰
1. 서론	4. 결론
2. 실험방법 및 장치	참고문헌

Abstract

Ultrasonic vibrator is an equipment which atomizes and homogenizes the oils by breaking the oil particles with ultrasonic vibration cavity, and possibly improves the properties.

There are various parameters on the effect of ultrasonic irradiation. Especially, this study intended to investigate the matrix structure of sludge oils and the erosion damages for horn disc SS41 according to the variation of the oil temperature and the immersing depth of horn disc. Sludge oils were irradiated with ultrasonic vibration and then observed the aspects of the change of oil particles. From these, the recycling feasibility of sludge oil for useable oil to be burnt was determined. The erosion damages for horn disc SS41 were examined with weight loss, weight loss rate and the irradiation time to max. erosion rate.

These data will be useful to the development of ultrasonic breaking systems to recycle sludge oil and to consider a countermeasure for the prevention of erosion damages.

* 한국해양대학교 대학원 기관공학과

** 한국해양대학교 기관시스템공학부

1. 서 론

최근 해양자원의 활용이 증가하면서 해양보호의 중요성을 인식하게 되었고, 그에 따라 해양보호 및 해양오염방지에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한 세계 각 국은 자국의 해양을 보호하기 위하여 저마다 어업의 보호 및 해양생물의 보호 등에 대한 규범과 법규를 제정하고 그 실행을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다[1-3]. 선박유류 중에서 폐유로 분류되는 슬러지유(sludge oil)는 해양에 유출되어 확산될 경우에 해양 생태계 파괴에 큰 영향을 미치는 것은 물론 장기적인 해양오염을 유발시킬 수 있다[4,5].

특히 슬러지유는 고점도이고, 고형 유입자가 가장 많이 함유되어 있으며, 에멀전(emulsion)상태[6-8]로 존재하기 때문에 일반적인 방제시스템, 화공약품 및 소각으로 처리하기에는 곤란한 점이 많으므로, 현재 선박에서 발생하는 전량을 선박 자체적으로 처리하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 선박 내 처리 시스템 중 초음파 유체유동에 의해 유류를 균질화 하는 방법이 효과적인 방법이 될 수 있다. 이 방법은 진동자를 슬러지유 환경에 반복하여 진동시킴으로써 캐비티(Cavity 기포)를 발생시키며, 그러한 캐비티의 유동으로 유입자를 미세하게 분쇄할 수 있는 방법으로, 슬러지유를 보일러의 연료유로 재활용하든지 또는 소각기에서 완전 연소시켜서 선외로 유출시킬 수 있는 근본적인 방제체계를 구축할 수 있는 방법이다[9].

따라서 이 논문에서는 이러한 장치개발에 앞서 초음파 분쇄기의 주요기기인 진동자의 침식특성을

파악하고자 진동자 선단의 디스크로 SS41인 일반 탄소강재를 시험편으로 하고, 윤활유 슬러지 및 연료유 슬러지와 같은 유환경 용액에서 시험편에 발생하는 침식양상을 고찰하였다. 침식에 영향을 미치는 인자 중 진동자 혼(horn)이 유환경 용액에 잠기는 침지깊이에 따라 시험편의 무게감소량, 무게감소율 및 최고침식율을 초음파 조사시간에 따라 조사하여 침식손상을 규명하고자 실험을 수행하였다.

아울러 진동자 유체 유동으로 인한 슬러지유의 조직변화를 진동자 혼의 침지깊이에 따라 검토하여 캐비티에 의한 유균질 양상을 조사함으로써 추후 캐비티에 의한 유분쇄 기기의 효율을 규명하는 자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 시료유의 특성

시료유인 연료유 슬러지(SFO : Fuel Oil Sludge)는 각 연료유 저장탱크로부터의 드레인(drain), 가열기, 공급펌프 및 배관등에서의 누설유 등을 빌지탱크에 모은 후, 유·수분리시킨 기름과 연료유 청정기(F.O. purifier)를 거쳐서 연료유, 수분 및 협잡물 등을 분리시킨 후 생성되는 폐유(waste oil)의 일종인 슬러지유이고, 윤활유 슬러지(SLO : Lub. Oil Sludge)는 윤활유 계통의 드레인, 사용 윤활유의 교환 등에서 발생하는 폐유, 주기관의 랜턴스페이스(lantern space), 윤활유 저장탱크, 기관의 윤활유 사용처 등에서 배출된 것을 청정기를 거쳐서 채취한 것으로 이들의 특성을 Table 1에 보여주고 있다.

Table 1 Properties of marine sludge oil

Oil	Properties	Kinematic viscosity (cSt/40℃)	Specific gravity 15/4℃	Flash point (℃)	Pour point (℃)	Residual carbon (Wt %)	Total acid number (mgKOH/g)	Viscosity index (VI)
SLO (Sludge Lub. Oil)		152.7	0.922	240.0	-15	4.50	1.80	96
SFO (Sludge Fuel Oil)		75.5	0.965	123.0	-	1.74	-	-

2.2 시험편 및 실험장치

시험편인 디스크(disc)는 일반 구조용강 SS41로 초음파 진동자 선단에 나사로 취부하도록 제작하였다. 시험편의 직경은 15.9mm, 나사부의 길이는 10 mm, 디스크의 두께는 6mm 이며, 이들의 오차범위는 ±0.5mm로 하였다. 시험편의 표면은 경화되지 않도록 사포 1200번으로 연마하고 오일래핑(oil lapping)하였다.

Fig. 1의 실험장치는 ASTM-G32 시험규격에 맞도록 진동자의 주파수는 20kHz이고, 진폭은 50 μ m로 제작하였고, 비커(beaker)의 온도를 일정히 유지하도록 항온장치를 설치하였고, 비커의 높이는 초음파 진동자의 진동에 의한 캐비티가 충분하게 유용액에 방사하도록 100mm이상으로 깊게 하였다. 특히 실험조건으로 유용액에서의 진동자 디스크의 침지깊이에 따른 침식양상을 고려하기 위하여 진동자의 상하이동이 가능하도록 실험장치를 제작하였고, 유용액의 증발을 방지하고자 비커 상부를 밀봉시켜서 실험하였다.

2.3 실험방법

진동자 혼의 디스크를 슬러지유 용액에 침지시키며 캐비티를 유용액에 방사시킬 때 디스크의 침식손

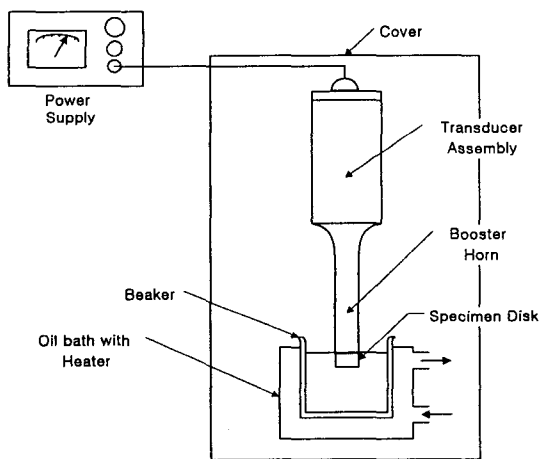


Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic vibrator test apparatus

상에 의한 무게 감소량을 실험시간의 경과에 따라 디지털 저울(LIBROR AEX-200B)로 측량하였다. 또한 누적실험시간당 누적무게 감소량을 계산하여 무게 감소율 및 최고침식율을 구하였다. 디스크의 침지깊이에 따라 진동자 혼으로부터 캐비티의 방사 에너지가 다르게 되므로 침식의 세기를 침식손상으로 인하여 추정할 수 있으며, 이에 따라 가장 효과적인 캐비티의 방사에너지 자료를 간접적으로 얻을 수 있다.

침지깊이는 3, 6, 9 및 12mm로 하였으며, 표준실험 온도는 30 $^{\circ}$ C에서 무게감소량 및 감소율을 구하고, 참고 및 비교자료를 위하여 50, 70 및 90 $^{\circ}$ C 유환경에서도 최고침식율을 구하였다. 또한 유입자분쇄에 의한 균질 효과를 측정하기 위하여 침지깊이 3, 6 및 9mm에서 120분동안 초음파를 조사한 후 각 슬러지유에 대한 스팟 테스트(spot test)을 실시하여 조직구조의 변화를 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 슬러지유의 조직 균질에 미치는 침지깊이의 영향

Photo.1은 연료유 슬러지(SFO) 및 윤활유 슬러지(SLO)를 초음파 진동자의 반복된 캐비티 유동에 의해 균질화 된 사진으로, 실험시간은 120분이고, 유온 30 $^{\circ}$ C에서 침지깊이를 3, 6 및 9mm로 변동하여 초음파를 조사한 결과를 5배로 확대하여 나타낸 것이다.

이에 의하면 진동자의 혼의 디스크를 6mm 및 9mm의 침지깊이로 유액체내에 잠겨 실험한 경우, 침지깊이 6mm에서는 침지깊이 3mm에 비하여 캐비티에 의한 고형물이나 유입자의 분쇄효과가 미약하게 보이며, 특히 9mm의 경우에는 더욱더 분쇄작용이 약하게 보인다. 하지만 연료유 슬러지(SFO)의 경우를 윤활유 슬러지(SLO)에 비교하여 보면 캐비티의 분쇄효과가 우수한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 진동자 혼의 침지깊이가 깊게 되면 점성이 강한 유액체에서의 캐비티의 생성과 분산이 어렵고, 기포의 붕괴에 따른 충격압이 약하기 때문에 고형분의 파괴 및 균질효과가 미약한 것으로 생각된다. 그러나 연료유 슬러지(SFO)의 경우에는 캐비티의 반복

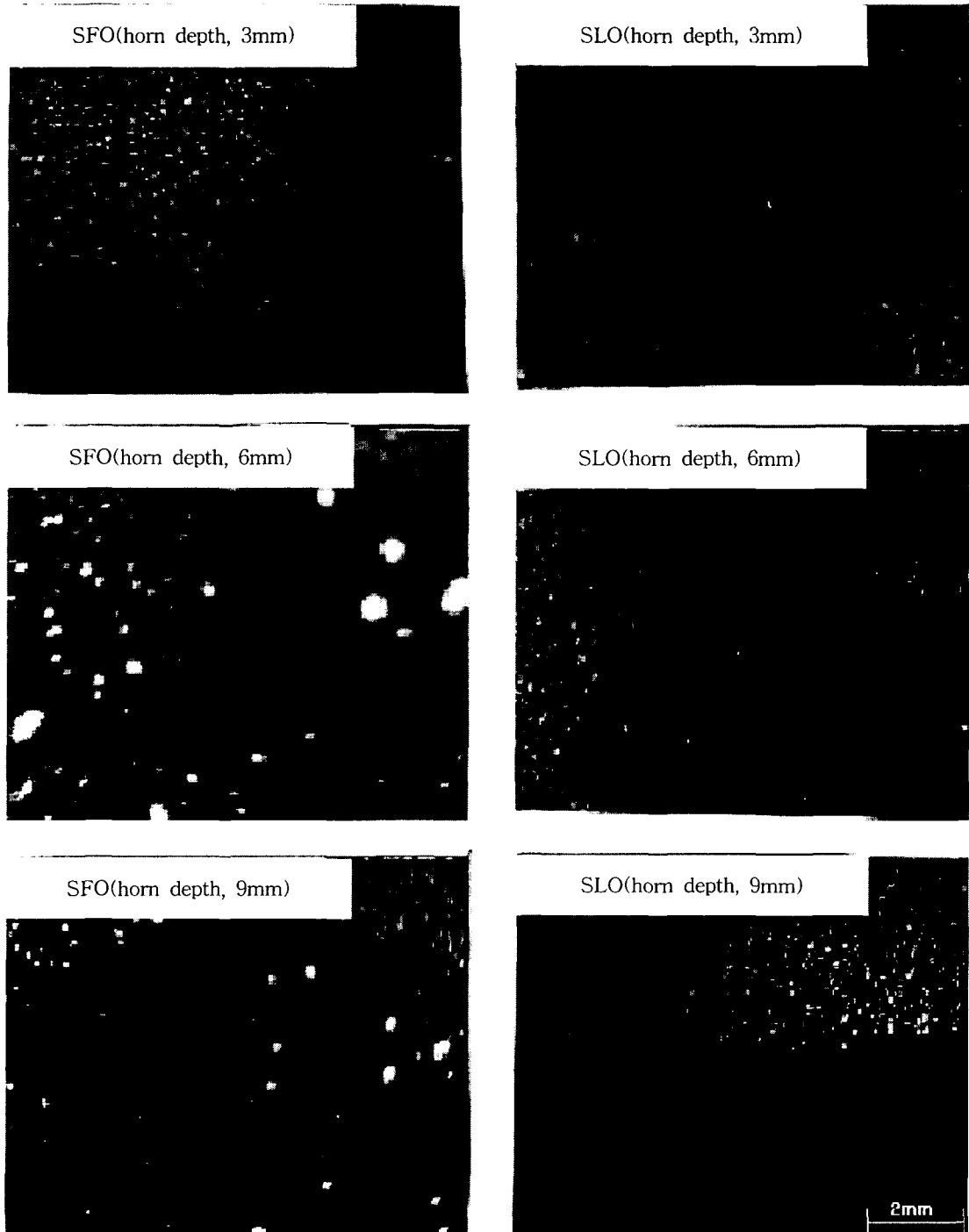


Photo 1 Appearance of macroscopic homogenizing matrix vs depth of horn disc in SFO and SLO environment. (x 5 times)

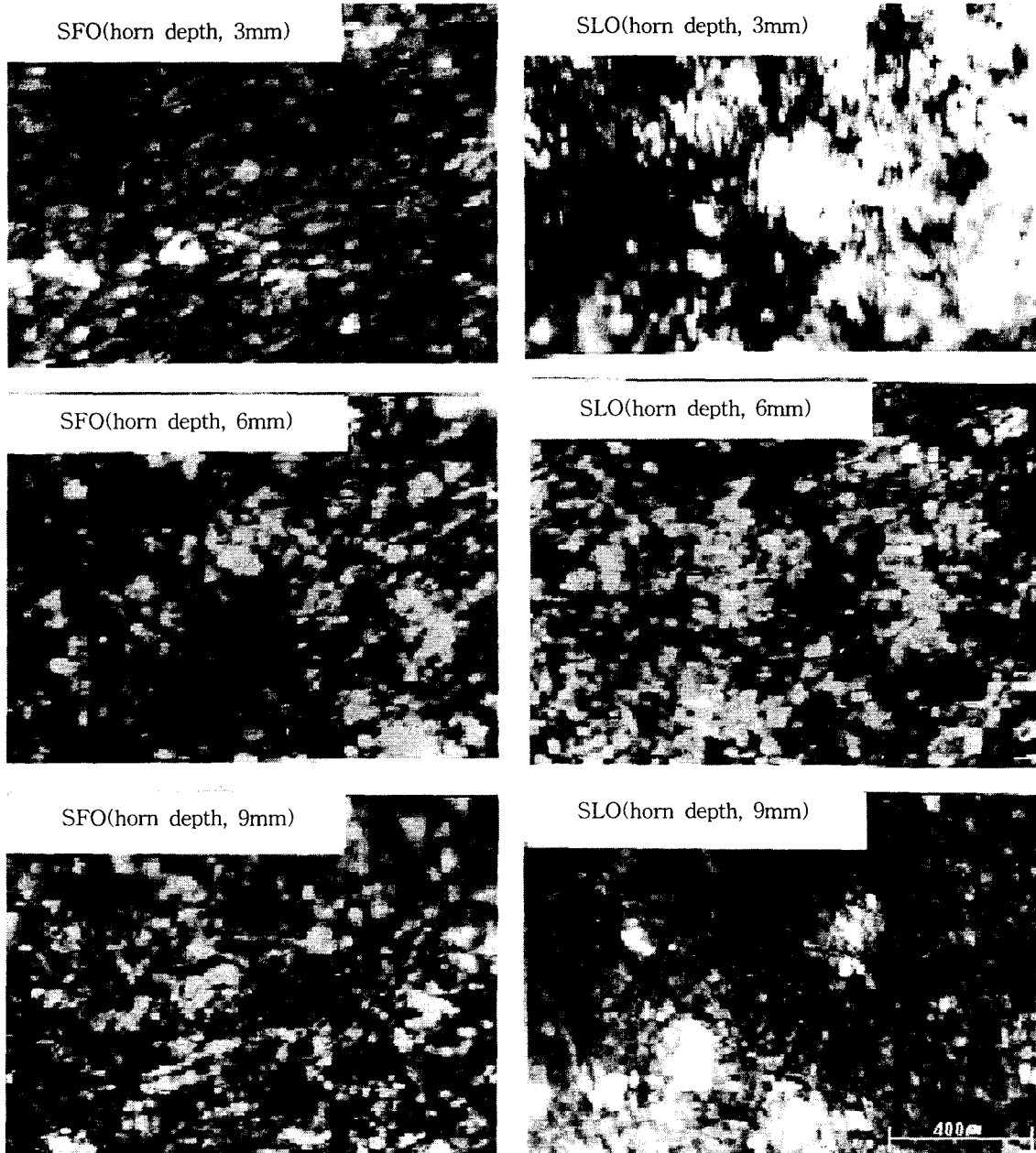


Photo 2 Appearance of microscopic homogenizing matrix vs depth of horn disc in SFO and SLO environment. (x 35 times)

작용에 따라 유점도나 유동성이 낮아지므로 캐비티의 형성과 파괴에 따른 반복작용에 따른 유입자의 분쇄작용이 우수하기 때문에 침지깊이 9mm에서도 균질효과가 어느 정도 나타난다고 사료된다.

이러한 침지깊이에 따른 캐비티에 의한 분쇄효과를 좀더 자세히 관찰하고자 Photo. 2에 Photo. 1의 조직바탕을 현미경으로 35배로 확대하여 나타내었다. 이에 의하면 침지깊이 6mm에서가 침지 깊이 9mm에 비하여 조직바탕이 더 미세한 폴리머의 망상으로 이루어진 것을 알 수 있고, 특히 SFO 환경에서는 침지깊이 6mm에서도 미세한 고형분이 고르게 분포가 된 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상들은 캐비티의 생성과 붕괴가 반복될 정도의 점도나 유동성이 필요하고 그에 따라 분산작용도 잘 이루어지는데, 침지깊이가 깊을수록 이러한 환경의 조성이 어렵기 때문이다. 하지만 SFO에서는 캐비티의 충격력에 의해서 점도나 유동성이 캐비티의 활동에 다소 효과적으로 변하기 때문에 침지깊이 6mm에서도 균질화 효과가 있으며, 침지깊이 9mm에서도 SLO환경의 시료유에 비하여 그 효과는 우수하다고 하겠다.

3.2 SLO 환경에서의 침지깊이에 따른 디스크의 침식양상

Fig.2는 유온이 30℃인 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 침지깊이 3, 6, 9 및 12mm에 따른 진동자 혼디스크의 침식작용에 의한 무게감소량(Wt)을 실험시간(t)에 따라 정리한 것이다. 이에 의하면 침식시간이 10~20시간에서는 상당히 일정한 폭으로 무게감소량이 증가하는 것을 알 수 있으며, 21시간 침식 실험 후부터는 무게감소량이 다소 둔화되는 모습을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 30℃인 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 디스크 침식손상은 신윤활유(New Lub. Oil)의 성상과 같이 점도지수가 높고 폴리머 조직변화가 조밀하게 형성되어 있으므로 침지깊이에 따라 기포의 생성, 분산 및 붕괴작용에 큰 영향을 받는다. 따라서 무게 감소량은 침지깊이에 따라 일정한 폭으로 유지되고, 캐비티의 방사에너지에 의한 캐비티의 분산이나 흡착도 침지깊이에 비례하여 작용한다. 또한 무게감소량이 실험시간 21시간

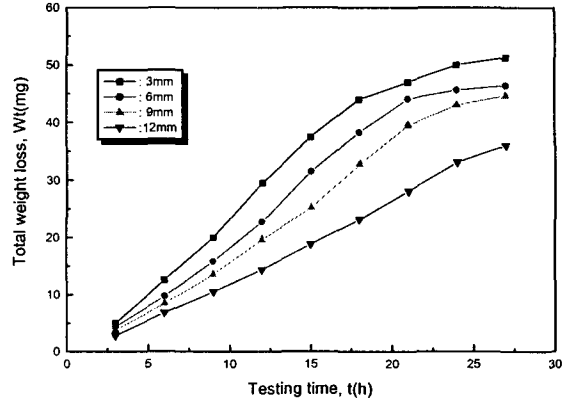


Fig. 2 Total weight loss vs testing time according to depth of horn disc in SLO environment(50 μ m amplitude, 30 $^{\circ}$ C oil temp.)

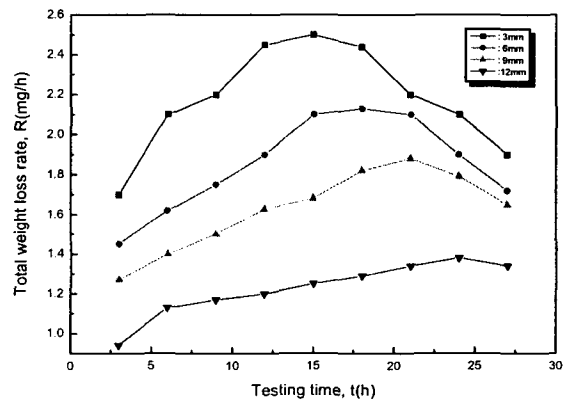


Fig. 3 Total weight loss rate vs testing time according to depth of horn disc in SLO environment(50 μ m amplitude, 30 $^{\circ}$ C oil temp.)

정도부터는 약간 둔화되는 경향을 보이는데, 이는 캐비티가 디스크의 침식소공에 흡착되어 기포의 완충작용에 의한 안정기로 접어든 단계라고 생각된다.

이처럼 실험시간의 경과에 따라 무게감소량이 어떻게 변화되는가를 좀더 구체적으로 관찰, 파악하기 위해서는 누적 실험시간에 따른 누적 무게감소율($R = \Delta Wt / \Delta t$)로 정리하여 볼 수 있는데, Fig.3은 Fig. 2의 실험시간에 따른 무게감소량을 무게감소율(R)로 정리한 것이다. 이에 의하면 최고 침식율(R_{max})

은 침지깊이가 깊어짐에 따라서 작아지고 최고 침식율을 나타내는 실험시간(t_{mer})도 길어지고 있음을 알 수 있다. 그리고 실험시간이 21시간 이후에는 무게감소율이 크게 감소하는 모습을 보이고 있다.

이와 같이 침지깊이 증가에 따라서 무게감소율이 작아지는 이유는 혼의 디스크에서 방사되는 캐비티의 세기와 흡입력이 침지깊이가 크게 되면 약화되고, 캐비티에 의한 윤활유 슬러지의 유입자 분쇄효과도 감소하기 때문이다. 또한 무게감소율이 실험시간의 경과에 따라 증가하다가 최고침식율을 보인 후부터 감소하는 곡선을 나타내는 것은 캐비티의 방사, 분산 및 붕괴에 따른 진동자 혼 디스크의 침식소공이 발생하여 무게 감소율이 증가하면서 최고침식상태에 도달한 후에는 오히려 캐비티가 침식소공에 흡착하여 캐비티의 방사에너지의 감소와 동시에 흡착된 캐비티의 완충작용으로 캐비티의 붕괴에 따른 침식손상이 둔화되기 때문이다.

3.3 SFO 환경에서의 침지깊이에 따른 디스크의 침식양상

Fig. 4는 유온 30°C인 연료유 슬러지(SFO) 환경에서의 진동자 혼 디스크의 침지깊이 3, 6, 9 및 12 mm에 따른 각 디스크에서의 무게 감소량(Wt)을 실험시간(t)에 따라 정리한 것이다. 이에 의하면 실험시간이 경과함에 따라서 침지깊이에 따른 무게감소량이 증가하며 실험시간 20시간 후부터 무게감소량의 증가가 다소 둔화되는 양상을 보이고 있는데 Fig. 2의 윤활유 슬러지(SLO) 환경에 비하여 침지깊이에 따른 무게감소량의 차이폭은 작다. 이와 같이 침지깊이에 따라 무게감소량이 작아지는 현상은 진동자 혼 디스크의 침지 깊이가 증가하면 캐비티의 분산이 어려워지면서 방사에너지가 약화되고 그 결과 디스크에서의 침식손상도 작아지기 때문이다. 또한 SLO 환경에 비하여 SFO 환경에서 침지깊이에 따른 무게감소량의 차이폭이 작은 것은 SLO 환경에 비하여 SFO 환경은 캐비티에션에 의한 유입자의 분쇄효과가 우수하여 유입자의 미세화 및 분산에 의한 캐비티의 방사와 흡입작용이 침지깊이의 영향을 작게 받기 때문이라 생각된다. 또한 실험시간

18시간 정도부터 무게 감소량의 증가가 다소 둔화되는 경향을 보이는 것은 기포의 완충작용에 의해서 캐비티의 세기가 약화되므로 침식손상이 둔화되는 것으로 사료된다.

Fig. 4의 침지깊이에 따른 무게감소량의 곡선을 좀더 구체적으로 분석하기 위하여 Fig.5와 같이 누적 무게감소율($R = \Delta Wt / \Delta t$)을 시간별로 정리하였다. 이에 의하면 무게감소율은 15시간 정도의 침식시간에서 최고침식율(R_{max})을 보인 후 감소하는 현상을 나타내고 있다. 또한 무게감소율은 침지깊이가 3mm에서 12mm로 깊어짐에 따라 일정한 차이폭으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 이와 같이 무게 감소율이 어느 시간의 침식시간까지는 증가하다가 최고 침식율을 나타내고 그 이후에 다시 감소하는 것은 캐비티방사에 의해 침식소공이 증가하다가 침식소공의 깊이와 크기가 크게 됨에 따라 침식소공에 캐비티가 흡착되므로 캐비티의 완충작용에 의해 캐비티의 발생이 저하되고 또 방사작용도 둔화되기 때문이다. 그리고 침지깊이에 따라 무게감소율의 차이폭이 일정하게 유지하면서 곡선을 이루는 것은 SFO 환경이 캐비티 영향을 받아서 침식손상 정도가 거의 일정하므로 오로지 침지깊이에 따른 캐비티의 물리적인 작용, 즉 캐비티의 형성, 분산, 흡착 및 붕괴 등에만 영향을 받기 때문이다.

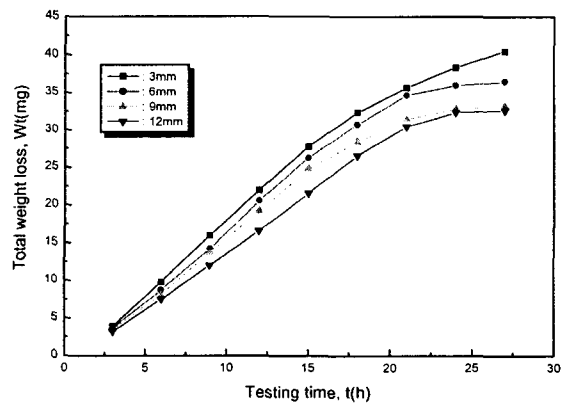


Fig. 4 Total weight loss vs testing time according to depth of horn disc in SFO environment(50 μ m amplitude, 30°C oil temp.)

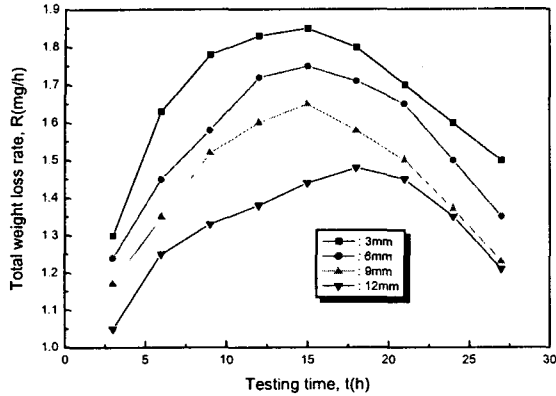


Fig. 5 Total weight loss rate vs testing time according to depth of horn disc in SFO environment($50\mu\text{m}$ amplitude, 30°C oil temp.)

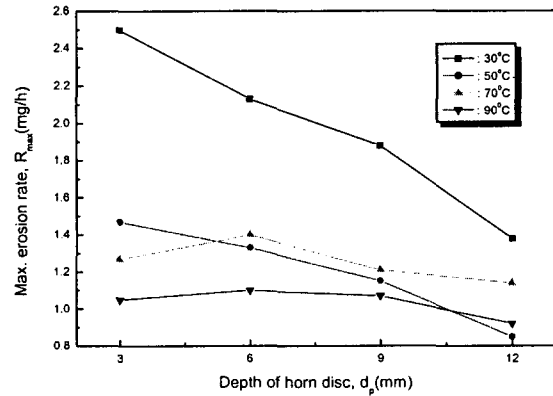


Fig. 6 Max. erosion rate vs depth of horn disc in SLO environment($50\mu\text{m}$ amplitude, $30\sim 90^\circ\text{C}$ oil temp.)

3.4 온도변화 슬러지유 환경에서의 최고침식율의 대소 비교

Fig. 6은 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서 침지깊이 (d_p) 3, 6, 9 및 12mm에 대한 최고침식율(R_{max})을 정리한 것으로 유온은 30, 50, 70 및 90°C 이고 진폭은 $50\mu\text{m}$ 에서 실험을 실시하였다. 이에 의하면 유온 30°C 와 50°C 에서의 최고침식율은 침지깊이에 따라 거의 일정하게 감소하고 유온 30°C 에서는 유온 50°C 에 비하여 큰 폭의 차이를 보이고 있다. 그러나 유온 70°C 에서의 최고침식율은 침지깊이 6mm에서 유온 50°C 에서 보다 크게 나타나고, 유온 90°C 에서는 침지깊이 9mm이후부터 유온 50°C 보다 크게 나타나는 경향을 보인다. 이와 같은 경향을 보이는 것은 SLO 환경에서의 최고침식율은 낮은 유온에서는 캐비티의 크기가 크므로 침식손상이 크게 발생하기 때문이고, 온도의 증가에 따른 점도의 변화나 시험편의 열화에 의한 탈리작용의 발생에 따라 유온 70°C 에서 최고침식율이 유온 50°C 에서 보다 크게 나타난다. 하지만 유온 90°C 유온에서는 캐비티에 의한 침식손상보다는 시험편의 고온열화작용에 의해 침지깊이 12mm에서 최고침식율이 유온 50°C 에서 보다 크게 나타난다고 생각한다.

Fig. 7은 연료유 슬러지(SFO) 환경에서 침지깊이 (d_p) 3, 6, 9 및 12mm에 대한 최고침식율(R_{max})을 정

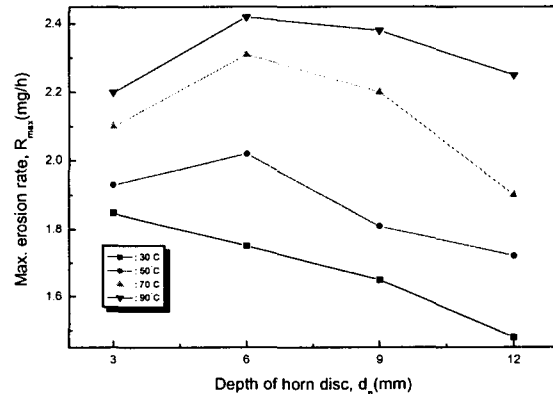


Fig. 7 Max. erosion rate vs depth of horn disc in SFO environment ($50\mu\text{m}$ amplitude, $30\sim 90^\circ\text{C}$ oil temp.)

리한 것으로 유온은 30, 50, 70 및 90°C 이고 진동자흔의 진폭은 $50\mu\text{m}$ 에서 실험을 실시하였다. 이에 의하면 침지깊이에 따른 최고침식율은 유온 $90^\circ\text{C} > 70^\circ\text{C} > 50^\circ\text{C} > 30^\circ\text{C}$ 의 순으로 나타나고, 특히 유온 90°C 에서는 3mm에서보다 6mm, 9mm 및 12mm에서 최고침식율이 크게 나타나고, 70°C 에서의 최고침식율은 침지깊이 3mm에 비하여 6mm, 9mm에서 크게 나타난다. 또한 유온 50°C 에서는 3mm에 비하여 6mm에서 최고침식율이 크게 나타나고, 유온 30°C 에서는 침지깊이 3mm에서 최고침식율을 보이고 있다. 이와 같은

현상의 요인들은 유온이 증가하면 연료유의 성상변화 가운데, 점도의 저하, 액체의 유동성 저하, 밀도의 감소 및 표면장력의 저하 등이 특히 변화는 데, 이들은 캐비티 형성, 분산, 분포, 붕괴의 작용에 큰 영향을 미치므로 SFO에서의 진동자 혼의 디스크의 침식손상에 의한 무게 감소율에는 앞의 작용을 지배하는 유온의 영향에 따르기 때문인 것으로 사료된다. 또한 시험편인 혼 디스크인 SS41 탄소강재는 계속하여 고온에 침지하게 되면 재료의 열화에 의한 변형이 생길 수 있고, 특히 침식소공이 많이 형성된 경우에는 금속입자의 박리, 탈리현상 및 균열이 발생한다. 따라서 유용액에 의해서 화학적으로 시험편이 손상을 받는 조건과 시험편 자체의 물리적인 손상을 받는 조건과의 중첩에 의한 상승작용으로 진동자 혼의 디스크의 침식손상은 더욱 증가하게 되는 것으로 판단된다.

3.5 온도변화 슬러지유 환경에서의 최고침식율의 발생시간비교

Fig. 8은 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 침지깊이(3, 6, 9 및 12mm)에 따른 최고침식율에 이르는 시간(t_{mer})을 정리한 것으로 유온은 30, 50, 70 및 90℃이다. 이에 의하면 유온 30℃, 50℃ 및 70℃인 SLO 환경에서는 침지깊이가 3mm에서 12mm로 깊어짐에 따라 최고침식율을 발생하는 데 소요되는 실험시간이 길어지는 경향이다. 또한 유온 90℃ 환경에서는 침지깊이 3mm, 12mm에서는 길어지고 반면에 침지깊이 6mm, 9mm에서는 짧아지는 모습을 보인다. 이와 같은 현상은 윤활유의 온도에 의한 특성을 먼저 파악하는 것이 중요한데, 윤활유는 점도지수가 큰 것이 요구된다. 즉 온도변화에 따른 점도값의 변화가 작은 경우를 점도지수가 높다고 한다[10]. 따라서 유온에 의한 점도값의 변화만을 고려한다면 유온이 증가하더라도 점도에 의한 캐비티의 작용에 큰 영향을 미치지 못할 것 같은데, S진동자의 진동에 의해 발생된 캐비티의 파괴에 의한 성상변화, 유온 증가에 따른 시험편의 열화작용, 유온에 따른 캐비티 발생, 붕괴 조건의 변화 등 변수가 많이 작용하게 되므로 일률적으로 해석하기는 어렵다고 하겠다. 그러나 가능하

면 유온에 따른 윤활유 슬러지의 성상변화 추이 및 시험편의 열화에 의한 탈리, 박리 현상에 기인한 조건에서 진동자 혼의 디스크의 침식손상을 규명하고자 하였고, 따라서 SLO의 유온 90℃인 고온에서는 시험편의 열화 및 유성상 변화에 심한 영향을 받는 것으로 사료된다.

Fig. 9는 연료유 슬러지(SFO) 환경에서의 침지깊이에 따른 최고침식율에 이르는 시간(t_{mer})을 정리한 그래프로 이때 유온은 30, 50, 70 및 90℃로 변화시켰다. 이에 의하면 침지깊이 각각 3, 6, 9 및 12mm

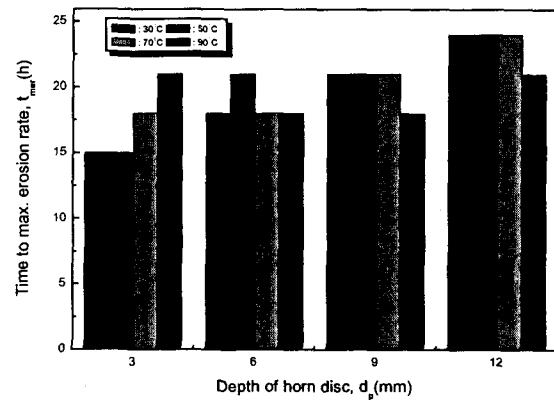


Fig. 8 Time to max. erosion rate vs depth of horn disc in oil temp. environment for SLO (amplitude : 50μm, oil temp. : 30~90℃)

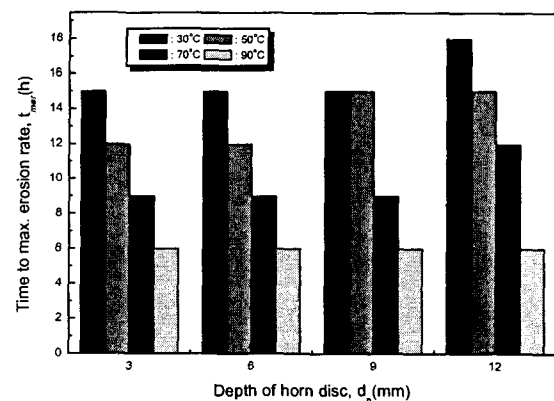


Fig. 9 Time to max. erosion rate vs depth of horn disc in oil temp. environment for SFO (amplitude : 50μm, oil temp. : 30~90℃)

마다 유온 30, 50, 70 및 90℃의 변화에 따라 최고침식율에 이르는 시간(t_{mer})은 유온이 증가하면 짧아진다. 또한 같은 조건과 환경에서 최고침식율이 클수록 최고침식율에 이르는 시간은 짧아지는 경향을 나타낸다. 이와 같은 현상은 연료유 특성에 의하여 유온이 증가할수록 점도는 떨어지고, 비중도 감소하며, 또한 유동점도 크게 떨어지기 때문이며, 따라서 90℃인 SFO 환경에서는 최고침식율도 크게 나타나지만 최고침식율에 이르는 실험시간도 6시간으로 30℃ 유온에 비하여 2배 이상 짧아지는 것을 알 수 있다. 물론 같은 침지깊이라도 유온이 증가하면 할수록 최고침식율도 증가하지만 그에 이르는 실험시간도 짧아지는 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

유온 30℃인 SLO와 SFO 환경에서 실험시간에 따른 무게감소량 및 감소율의 변화를 침지깊이 3, 6, 9 및 12mm에 따라 구하고, 유온을 50, 70 및 90℃로 변화시킨 슬러지유 환경에서의 최고침식율 및 최고침식율 발생시간을 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 슬러지 유환경에서 같은 시간 캐비티의 유동에 의해 유입자의 분쇄효과는 SFO에서보다 우수하며, 침지깊이 3mm에서 최적의 효과가 발생한다.

(2) 슬러지 유환경에서의 SS41의 침식손상은 침지깊이가 깊어짐에 따라 감소하는 데 특히 SFO 환경에서는 50 및 70℃로 유온이 증가하면 침지깊이 6mm, 9mm에서 최고 침식손상율을 보인다. 단, 30℃에서는 침지깊이 3mm에서 최고침식율을 보이고 있다.

(3) SLO 환경에서의 최고침식율 발생시간은 유온이 증가함에 따라 길어지는 경향을 보인 반면 SFO 환경에서 짧아진다.

이와 같은 실험결과로부터 침지깊이에 따라 캐비

티의 발생과 분산에 따른 충격력이 진동자 디스크의 침식손상에 큰 영향을 미치고, 아울러 유환경용액 내 유입자의 분쇄작용에도 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 특히 유온이 낮을수록 침지깊이는 작게 되지만 반면에 유온이 증가할수록 침지깊이는 깊어지는 상관관계식을 정리하는 것이 추후에 이루어져야 할 중요한 과제 중의 하나라고 생각되며, 또한 캐비티의 발생, 소멸 및 분산에 미치는 다른 인자들의 변화에 따른 관계를 규명하는 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] J.Williams, "海洋汚染制御論", 東和技術, pp.46-60, 1995
- [2] 윤중휘, "해양유류오염방제", 일오출판사, pp.7-19, 1999
- [3] D.Cormack, "Response to Oil Chemical Marine Pollution", Applied Science Publishers London, pp.4-5, 479-405, 1983
- [4] Paul L.Bishop, "Marine Pollution and it's Control", McGraw-Hill, pp.94-97, 1979
- [5] 韓國海技練修院, "海洋汚染防止", 韓國海技練修院編輯, pp.151-194, 1989
- [6] 李鎮烈, "油類工學", 曉星出版社, pp.69-89, 174-188, 298-299, 1998
- [7] 田大熙, "船舶油類管理", 一中社, pp.41-47, 348-379, 1990
- [8] 今村弘人, "船舶ディーゼル機關(燃燒,潤滑,損傷)", 山海堂, pp.38-43, 1995
- [9] 배종욱, "선저폐수·슬러지의 보일러내 소각을 위한 연료전처리장치의 개발에 관한 연구-슬러지 유화 분쇄장치를 중심으로-", 해사산업연구소 논문집 제2권, pp.217-224, 1992
- [10] 明星四郎·富田正久, "燃料油と潤滑油の實務", 三和印刷, pp.84-94, 1983