

슬러지유 환경에서 진동자 디스크의 침식 특성에 관한 연구

· 정 지 선*, 한 원 회*, 하 만 식*, 이 진 열**

A study on the Erosion Characteristics of Transducer Horn Disc in Sludge Oil Environment

Ji-Sun Chung, Won-Hui Han, Man-Sik Ha, Jin-Yeol Lee

* 한국해양대학교 대학원 기관공학과

** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Abstract : Recently, the researches on the prevention of marine oil pollution being strengthened. Sludge oils were unavoidably produced in ship's operations, therefore it is necessary to manage the sludge oils inside the ship itself with the view to prevent marine oil pollution from ship.

The present study deals with the ultrasonic breaking systems that recycle the sludge oil from ships into usable oil to be burnt. At the first instance experimental studies were carried out to investigate the homogenizing effect of the marine oils and the erosion aspect of horn disc by repeated vibration of ultrasonic transducer. The erosion damages for horn disc SS41 steel with weight loss rate and the irradiation time to max. erosion rate were examined according to the variation of the transducer amplitude, the oil temperature and the immersing depth of horn disc.

As the result of it, the erosion aspects of horn disk were varied with oil environments and testing time.

key words : Sludge oil(슬러지유), Ultrasonic transducer(초음파 진동자), Horn disk(혼 디스크), Erosion damage(침식손상), Weight loss rate(무게감소율)

1. 서론

최근 해양환경을 보호하기 위한 관심이 고조되면서 해양유류오염을 방지하기 위한 여러 가지 대책 및 연구가 강화되고 있는 실정이다^[1]. 특히 선박에서 발생하는 유류오염원 중 하나인 선박유류의 선내처리에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다^[2]. 선박의 대형엔진에 사용하는 연료유는 주로 상온에서 비중이 0.99에 가깝고, 동점도가 380 cSt/50℃ 이상인 고점도로서 왁스(wax) 또는 락커(lacquer)가 많이 발생하고 있는 저질중유^[3,4]를 사용하고 있으며, 선박유탄유 또한 산화 안정성 및 점도 특성 등의 여러 안정성이 빨리 저하하기 때문에 고형물이 많이

형성되는 경향을 보이고 있다^[5,6]. 이러한 연료유 및 유탄유의 사용시 필연적으로 발생되는 슬러지 및 폐유를 선박내에서 자체 처리하기 위한 폐유소각기(waste oil incinerator)가 기관실에 설치되어 운용되고^[7,8] 있기는 하나, 기름의 유화, 산화작용에 의한 고형물, 콜로이드(colloid)상 교착상태와 같은 문제점을 가지고 있기 때문에 그대로는 연소 또는 소각이 불가능한 실정이다^[9].

이 연구에서는 초음파 진동장치를 이용하여 선박에서 생성되는 폐유를 초음파 진동에 의한 분쇄작용을 응용하여 소각기에서의 소각이나 보일러(oil fired boiler) 등의 연소 연료유로 재사용할 수 있는 방법에 대해 검토하고자 하였

다. 우선 이 논문에서는 선박유류 및 슬러지유 환경에서 초음파 진동장치의 중요부품인 진동자 디스크에 발생하는 침식양상^[10]을 조사하고 캐비테이션 침식손상을 규명하였다. 이러한 연구결과를 캐비티(cavity)를 발생시키면서 자신이 침식손상을 입는 기기의 캐비테이션 침식(cavitation erosion) 발생에 대한 대책 자료 및 선박슬러지를 처리하여 재사용할 수 있는 슬러지 처리장치의 개발 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 유환경용액의 특성

실험에 사용된 시료유는 선박용 신연료유(new fuel oil : NFO), 신윤활유(new lubricating oil : NLO 단, 300시간 사용한 윤활유), 선박의 청정기 슬러지 탱크에서 수거한 연료유 슬러지(fuel oil sludge : SFO), 윤활유 슬러지(lub. oil sludge : SLO) 등이며 각각의 특성은 Table 1과 같다.

2.2 시험편의 특성

시험편의 형상은 Fig.1에서와 같이 직경 15.9mm, 두께 6mm이고, 진동자의 팁 선단에 고정하는 나사부 길이는 10mm로 하였다. 시험편(또는 혼 디스크)은 일반구조용 탄소강재인 SS41로 그의 화학적인 조성과 기계적인 특성은 Table 2에 보이고 있다. 시험편 표면은 사포 #1200로 연마 및 오일랭핑(oil lapping)한 후 아세톤으로 탈지하였으며, 표면이 경화되지 않도록 저속가공 하였다.

2.3 실험방법

드레인 탱크에 있는 시료유 6ℓ를 속도 10ml/min으로 계속 순환시키면서 초음파 진동자 혼에 의해 직각으로 조사되도록 하였으며, 유량은 바이패스 밸브(by-pass valve)로 조정하였다.

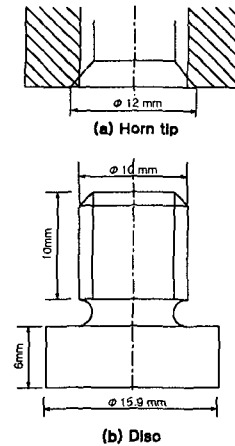


Fig.1 Schematic dimension of test specimen (unit : mm)

시료유 순환 펌프는 소형잠수펌프로 전기화학적 영향이 거의 없는 플라스틱 재료이며, 실험시간의 간격은 자동정지 타이머에 의해 조정하였다. 시료유의 온도조절을 위하여 항온 가열기(Oil bath : OB-200 type)를 설치·사용하였고, 유온을 85℃까지 변화시켜서 실험을 수행하였다. 시료유의 온도변화 환경 및 시료에 대한 디스크의 침식깊이 조건에 따라 시험편(또는 디스크) 표면의 침식손상은 무게감소량(weight loss)을 중심으로 측정하였고, 아울러 실험시간에 따른 무게감소율(weight loss rate) 및 최고 침식율(max. erosion rate)을 측정하였다. 이 때 무게 감소량은 시험편을 혼으로부터 분리하여서 아세톤으로 탈지하고, 드라이(dryer)로 건조시킨 후 디지털 저울(digital balance : LIBROR AEX-200B)을 이용하여 측정하였다. 또한 침식손상에 미치는 캐비티의 세기, 수 및 크기 등의 조사를 위하여 진폭의 크기(진동자 혼의 진폭크기 : 50 μ m 및 24 μ m)에 따른 디스크의 침식양상을 동시에 관찰하였다.

Table 1. Properties of each oil environment to be used in experiments.

Specification of oils	Kinematic viscosity (cSt @40℃)	Specific gravity (15/4℃)	Flash point (℃)	Residual carbon (Wt%)	TBN (mgKOH/g)	Viscosity index
NFO	43.7	0.923	93.8	0.05	-	-
NLO	111.4	0.889	252	0.36	0.60	98
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 SS41

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Fe
	0.12	0.29	0.59	0.01	0.01	Balance
Mechanical properties	Tensile strength (kgf/mm ²)		Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)		
	42.4		25.8	32		

2.4 실험장치

Fig.2는 초음파 진동장치의 개략도로서 1992년도에 개정된 ASTM-G32 시험규격^[11]에 맞게 하였고, 압전소자(piezoelectric)의 압력변환기에 의해 발생한 종진동을 지수관계 혼(Exponential horn)에서 증폭시켜서 시료중에 진동·조사하였다. 이때 공진주파수는 20kHz이고, 진폭은 정진폭제어 방법을 사용하여 24 μ m 및 50 μ m로 유지하였다. 초음파 실험장치의 주요구성은 제어장치, 진동자, 증폭기 혼, 자동정지 타이머 등이다. 환경조 및 배관은 전기 화학적인 부식작용과 시료유와의 계면장력을 고려하여 아크릴재료를 사용하였고, 초음파 조사용 시료유 흐름 관경은 20mm이고 관출구 측에는 압력조정밸브를 부착하였다. 나머지 관은 직경 10mm의 특수 고무재료로 연결, 사용하였으며, 각 연결 플랜지(flange), 조인트(joint) 및 실(seal)부에는 실리콘 고무(silicone rubber) 접착재로 봉합하였다.

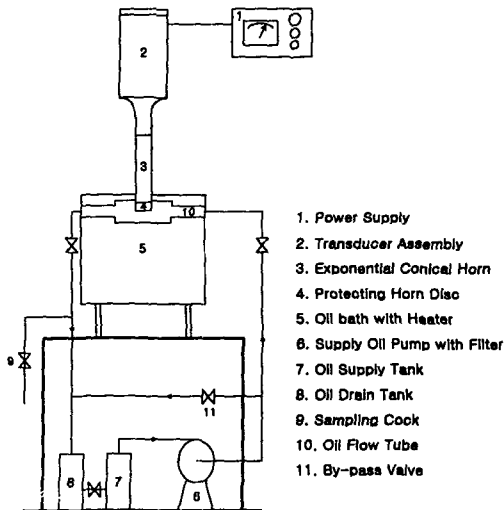


Fig.2 Schematic diagram of ultrasonic vibrator test apparatus

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬러지유의 유온변화에서 진폭 24 μ m 및 50 μ m인 혼 디스크의 침식특성

Fig.3은 연료유 슬러지(SFO)의 유온변화(25, 45, 65 및 85 $^{\circ}$ C) 환경에서 진폭 24 μ m에 대한 50 μ m에서의 무게감소율 R(mg/h)의 비율(ϕ)을 아래 식과 같이 실험시간(t)에 따라 구한 값을 정리한 것으로 이때 침지깊이는 3mm로 하였다.

$$\phi(\%) = \frac{R_{50\mu m} - R_{24\mu m}}{R_{50\mu m}} \times 100$$

여기서, $R_{50\mu m}$, $R_{24\mu m}$: 진폭 50 μ m 및 진폭 24 μ m에서의 진동자 혼 디스크에서의 무게감소율

실험시간이 경과하면서 무게 감소량의 비율은 감소하는 경향을 보이는 데 특히 85 $^{\circ}$ C에서는 무게 감소율의 비율감소 경향이 상당히 둔화되는 추세이고 실험시간 21시간부터는 오히려 증가하는 경향을 보이기도 한다. 이와 같이 SFO에서는 무게감소율의 비율이 온도변화에 따라 크게 차이가 없는 이유는 점도의 저하에 따른 캐비티 수 증가와 캐비티의 크기 감소율이 거의 비슷하게 진폭에 따른 무게감소율에 영향을 미치기 때문이고, 특히 고유온인 85 $^{\circ}$ C 환경에서는 진폭 24 μ m에서의 무게 감소율이 크게 나타나는 실험시간이기 때문이다. 그리고 실험시간 21시간부터 오히려 무게감소율의 비율이 증가하는 것은 진폭 50 μ m에서보다 진폭 24 μ m에서 오히려 무게감소율이 최고침식율을 거친 안정기(steady period)로서 무게감소율이 둔화되는 단계이기 때문이다.

Fig.4는 윤활유 슬러지(SLO)의 유온변화(25, 45, 65 및 85 $^{\circ}$ C) 환경에서 진폭 24 μ m에 대한 50 μ m에서의 무게감소율 R(mg/h)의 비율(ϕ)을 실험시간(t)에 따라 구한 값을 정리한 것으로 침지깊이는 3mm로 하였다. 이에 의하면 진폭에

따른 무게감소율의 비율이 실험초기에는 유온 $25^{\circ}\text{C} > 45^{\circ}\text{C} > 65^{\circ}\text{C} > 85^{\circ}\text{C}$ 의 순으로 나타나지만 실험시간 19시간부터는 오히려 유온 65°C , 85°C 환경에서가 증가하는 경향을 보인다. 특히 85°C 에서는 실험시간 24시간부터는 감소가 상당히 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 무게감소율 비율이 실험초기에 크다가 실험시간이 경과하면서 둔화되는 것은 실험시간이 경과하면서 진동자 혼의 디스크의 침식소공에 의한 무게감소율이 둔화되기 때문이고, 유온의 증가에 따라 무게감소율 비율이 적어지는 것은 윤활유 환경에서의 캐비티의 크기가 작아지기 때문이며, 특히 실험시간 19시간부터는 고유온인 65°C , 85°C 에서의 무게감소량의 비율이 25°C , 45°C 에 실험초기와 반대로 증가하는 것은 진폭 $24\mu\text{m}$ 에서의 무게감소율이 증가하는 단계의 실험시간이기 때문이다.

Fig.5는 진폭 $50\mu\text{m}$ 와 $24\mu\text{m}$ 에서의 슬러지유 환경에서의 최고침식율 [$R_{\text{max}}(\text{mg/h})$]을 정리한 것이다. SLO 환경에서는 유온 25°C 에서 최고침식율이 크게 보이다가 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고, SFO 환경에서는 유온이 증가함에 따라 최고침식율이 증가하는 추세이지만 진폭 $24\mu\text{m}$ 에서는 85°C 에서 다소 감소하고 있다. 그리고 진폭 $50\mu\text{m}$ 은 진폭 $24\mu\text{m}$ 에서의 최고침식율을 비교할 때 SFO 환경에서가 SLO 환경에 비하여 큰 폭의 차이를 보이고 있다. 이와 같이 SLO 환경에서는 캐비티의 크기와 수증가는 점도와 밀도에 밀접한 관계로서 점도가 낮아지면 캐비티의 크기는 작아지고 반면에 캐비티의 수는 증가하므로 이들의 균형있는 조화에 따라 최고침식율이 다르게 나타난다. 따라서 SLO 환경에서는 온도증가에 따른 침식소공의 수는 증가하나 침식소공의 면적이 적으므로 전체적으로 무게감소량과 감소율이 적어진다. 반면에 SFO 환경에서는 SLO 환경에 비하여 반대의 경향을 보이고, 특히 85°C SFO 환경에서 최고침식율이 다소 적어지는 것은 고온에 의한 저점도에서의 캐비티의 약한 흡입, 충격 및 붕괴로 인하여 많으면서 작은 침식소공에 의한 캐비티의 흡착에 의해서 무게감소율이 감소하기 때문이다. 또 진폭에 따라 최고침식율이 SLO 환경에서보다 SFO에서 큰 차이폭을 보이는 것은 저점도 환경일수록 진폭에 의한 캐비티의 방사에너지가 전진폭에 비례하고 또한 상승작용도 발생하기 때문으로 생각된다.

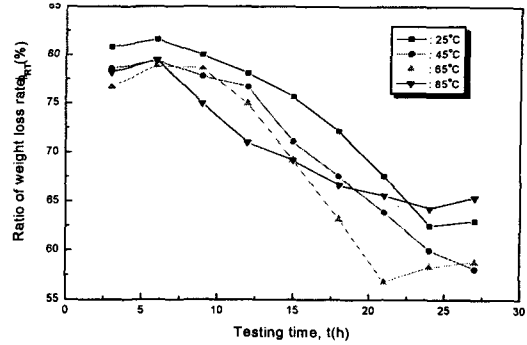


Fig.3 Ratio of weight loss rate vs testing time between $50\mu\text{m}$ against $24\mu\text{m}$ amplitude in oil temp. environment of SFO (horn depth : 3mm)

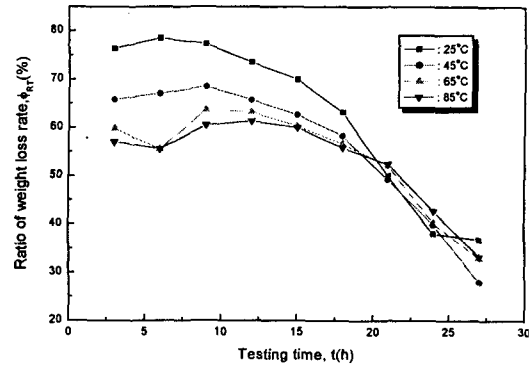


Fig.4 Ratio of weight loss rate vs testing time between $50\mu\text{m}$ against $24\mu\text{m}$ amplitude in oil temp. environment of SLO (horn depth ; 3mm)

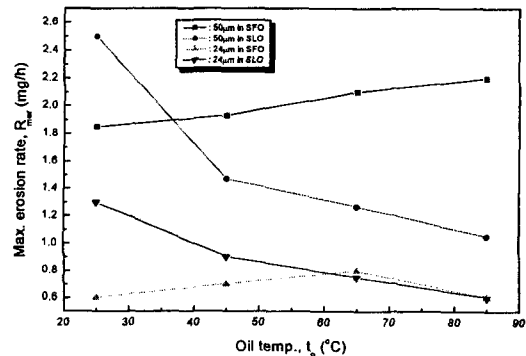


Fig.5 Max. erosion rate vs oil temp environment in sludge oil

Fig.6은 Fig.5의 최고침식율(R_{max})이 발생하는 데 걸리는 실험시간(t)을 정리한 것이다. 이에 의하면 SFO 환경에서는 유온증가에 따라 짧아지며 진폭 $50\mu\text{m}$ 에서가 $24\mu\text{m}$ 에 비하여 크게 짧아지고 있다. 반면에 SLO 환경에서는 유온증가에 따라 진폭 $50\mu\text{m}$ 에서는 길어지는데 진폭 $24\mu\text{m}$ 에서는 유온 45°C 에서 유온 85°C 에 이르기까지 일정한 시간을 유지하고 있다. 이와 같이 SFO 환경에서 유온증가에 따라 최고침식율이 나타나는 실험시간이 짧아지는 것은 온도증가에 따른 점도저하와 밀도저하에 의해 캐비티에 의한 무게감소율이 증가하고, 또 진폭 $50\mu\text{m}$ 에서 최고침식율이 진폭 $24\mu\text{m}$ 에 비하여 크게 나타나는 것은 진폭증가에 따른 캐비티의 방사에너지의 세기가 강하기 때문이다. 그리고 진폭 $50\mu\text{m}$ 인 SLO 환경에서 최고침식율에 이르는 시간이 길어지는 것은 저점도에 의한 캐비티의 크기 감소로 최고침식율이 늦게 발생하기 때문이다. 또한 진폭 $24\mu\text{m}$ 인 SLO 환경에서는 유온증가에 따라 최고침식율이 나타나는 시간이 같은 것은 실험시간 27시간동안 실제로 최고침식율이라고 단정하기 어렵고 단지 그때 실험시간에서 최고 무게감소량을 최고침식율로 가정하여 구한 것으로 더 많은 실험시간을 경과하여야만 최고침식율과 그에 따른 최고침식율에 이르는 시간을 구할 수가 있을 것으로 사료된다.

3.2 슬러지유에서의 침지깊이에 따른 진폭 $50\mu\text{m}$ 인 혼 디스크의 침식특성

Fig.7은 연료유 슬러지(SFO) 환경에서 침지깊이(d_p) 3, 6, 9 및 12mm 에 대한 최고침식율(R_{max})을 정리한 것으로 유온은 25, 45, 65 및

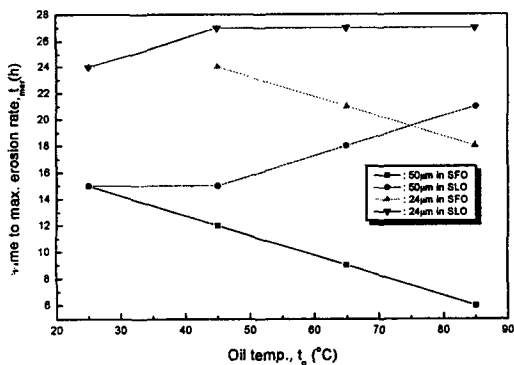


Fig.6 Time to max. erosion rate vs oil temp. environment in sludge oil.

85°C 이고 진동자 혼의 진폭은 $50\mu\text{m}$ 에서 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이에 의하면 침지깊이에 따른 최고침식율은 유온 $85^\circ\text{C} > 65^\circ\text{C} > 45^\circ\text{C} > 25^\circ\text{C}$ 의 순으로 나타나고, 특히 유온 85°C 에서는 3mm 에서보다 6mm , 9mm 및 12mm 에서 최고침식율이 크게 나타나고, 65°C 에서의 최고침식율은 침지깊이 3mm 에서보다는 6mm , 9mm 에서 크게 나타난다. 또한 유온 45°C 에서는 3mm 에서보다 6mm 에서 최고침식율이 크게 나타나고, 유온 25°C 에서는 침지깊이 3mm 에서 최고침식율을 보이고 있다. 이와 같은 현상의 요인들은 유온이 증가하면 연료유의 양상 변화 가운데, 점도의 저하, 액체의 유동성 저하, 밀도의 감소 및 표면장력의 저하 등이 특히 변하는데 이들은 캐비티 형성, 분산, 분포, 붕괴의 작용에 큰 영향을 미치므로 연료유 슬러지(SFO)환경에서 진동자 혼 디스크의 침식손상에 의한 무게 감소율은 온도에 의한 영향이 크게 지배하고 있다고 사료된다. 또한 시험편인 혼 디스크의 SS41 탄소강재는 계속하여 고온에 침지하게 되면 재료의 열화에 의한 변형이 생길 수 있고, 특히 침식소공이 많이 형성된 경우에는 금속입자의 박리나 탈리현상이 발생한다. 따라서 환경용액에 의해서 화학적으로 시험편이 손상을 받는 조건과 시험편 자체의 물리적인 손상을 받는 조건과의 중첩에 의한 상승작용으로 진동자 혼의 디스크의 침식손상은 더욱 증가하게 된다.

Fig.8은 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서 침지깊이(d_p) 3, 6, 9 및 12mm 에 대한 최고침식율(R_{max})을 정리한 것으로 유온은 25, 45, 65 및 85°C 이고 진폭은 $50\mu\text{m}$ 에서 실험을 실시하였다. 이에 의하면 유온 25°C 와 45°C 에서는 최고침식율은 침지깊이에 따라 거의 일정하게 감소하고 유온 25°C 에서는 유온 45°C 에 비하여 큰 폭의 차이를 보이고 있다. 그러나 유온 65°C 에서의 최고침식율은 침지깊이 6mm 부터 유온 45°C 에서보다 크게 나타나고, 유온 85°C 에서는 침지깊이 9mm 이후부터 유온 45°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 65°C 에서 최고침식율이 유온 45°C 에서보다 크게 나타난다. 하지만 85°C 유온에서는 캐비티에 의한 침식손상보다는 시험편

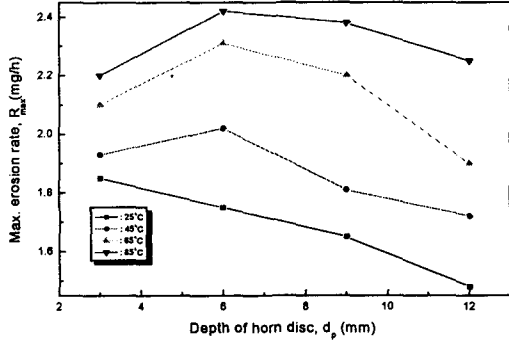


Fig.7 Max. erosion rate vs depth of horn disc in SFO environment.
(amplitude : $50\mu\text{m}$, oil temp : $25\sim 85^\circ\text{C}$)

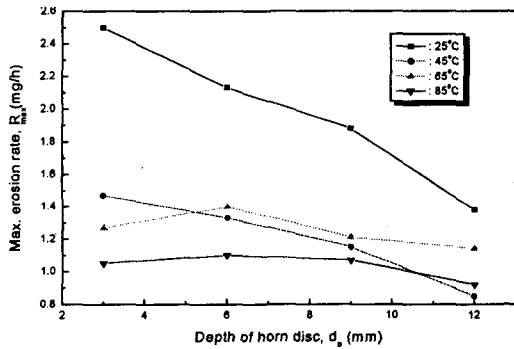


Fig.8 Max. erosion rate vs depth of horn disc in SLO environment.
(amplitude : $50\mu\text{m}$, oil temp : $25\sim 85^\circ\text{C}$)

의 열화작용도 있기 때문에 침지깊이 12mm에서 최고침식율이 유온 45°C에서 보다 크게 나타난다고 사료된다.

Fig.9는 연료유 슬러지(SFO) 환경에서의 침지깊이(3, 6, 9 및 12mm)에 따른 최고침식율에 이르는 시간(t_{mer})을 정리한 것으로 진동자 흔의 진폭은 $50\mu\text{m}$ 이고, 유온은 25, 45, 65 및 85°C 로 변화시켰다. 이에 의하면 침지깊이 각각 3, 6, 9 및 12mm 마다 유온 25, 45, 65 및 85°C 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 의하면 유온이 증가할수록 점도는 떨어지고, 비중도 감소하며, 또한 유동점도 크게 떨어진다. 따라서 85°C SFO

환경에서는 최고침식율도 크게 나타나지만 최고침식율에 이르는 실험시간도 6시간이므로 상당히 짧은 실험시간을 보여 주고 있는데, 무려 25°C 유온에 비하여 2배이상 짧아지는 것을 알 수 있다. 물론 같은 침지깊이라도 유온이 증가하면 할수록 최고침식율도 증가하지만 그에 이르는 실험시간도 짧아지는 경향을 보이고 있다.

Fig.10은 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서의 침지깊이(3, 6, 9 및 12mm)에 따른 최고침식율에 이르는 시간(t_{mer})을 정리한 것으로 진동자 흔의 진폭은 $50\mu\text{m}$ 이고, 유온은 25, 45, 65 및 85°C 로 변화시켰다. 이에 의하면 유온 25°C , 45°C 및 65°C 인 SLO 환경에서는 침지깊이가 3mm에서 12mm로 깊어짐에 따라 최고침식율을 발생하는데 소요되는 실험시간이 길어지는 경향이다.

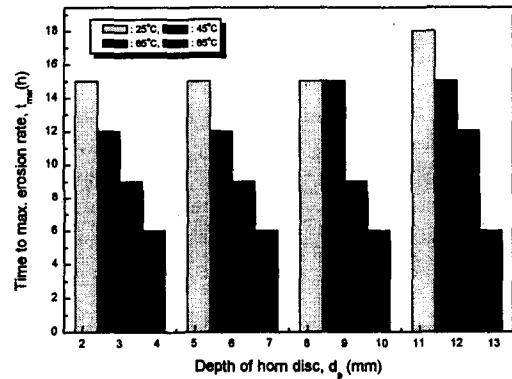


Fig.9 Time to max. erosion rate vs depth of horn disc in oil temp. environment for SFO.
(amplitude : $50\mu\text{m}$, oil temp. : $25\sim 85^\circ\text{C}$)

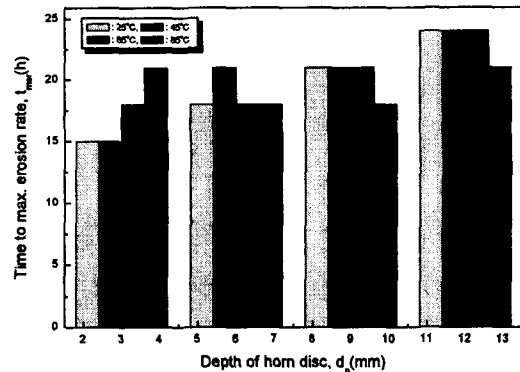


Fig.10 Time to max. erosion rate vs depth of horn disc in oil temp. environment for SLO.
(amplitude : $50\mu\text{m}$, oil temp. : $25\sim 85^\circ\text{C}$)

또한 유온 85℃ 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 것을 요구한다["온도변화에 따른 점도값의 변화가 적은 경우를 점도지수가 높다고 한다"]. 따라서 유온에 의한 점도값의 변화만을 고려한다면 유온이 증가하더라도 점도에 의한 캐비티의 작용에 큰 영향을 미치지 못할 것 같은데, 윤활유 슬러지(SLO) 환경에서 진동자의 혼의 디스크를 침지한 상태로 진동자의 진동에 의해 캐비티의 발생과 파괴에 의한 윤활유 슬러지(SLO)의 정상 변화, 유온 증가에 따른 시험편의 열화작용, 유온에 따른 캐비테이션의 발생, 붕괴조건의 변화 등 변수가 많이 작용하게 되므로 일률적으로 해석하기는 어렵다고 하겠다. 하지만 가능하면 유온에 따른 윤활유 슬러지의 정상변화 추이 및 시험편의 열화에 의한 탈리, 박리 현상에 기인한 조건에서 진동자 혼의 디스크의 침식손상을 규명하고자 한다. 따라서 윤활유 슬러지(SLO)에서는 유온 85℃인 고온에서는 시험편의 열화 및 환경성상변화에 심한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

4. 결론

선박유류 환경에서 초음파 진동자 혼 디스크의 침식손상을 유온변화환경 및 디스크의 침지깊이에 따라 조사, 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 구하였다.

1) 슬러지유에서의 실험시간이 경과함에 따라 최고침식율은 감소하고 SFO에서 유온 85℃에서는 감소폭이 다른 유온환경에 비하여 다소 둔화되고, SLO 환경에서는 실험시간이 경과함에 따라 유온의 영향을 적게 받는다. 또한 최고 침식율이 발생하는 시간은 유온이 증가할수록 SFO환경에서는 길어지지만, 역으로 SLO환경에서는 짧아지는 경향이다.

2) 침지깊이에 따른 최고침식율은 SFO환경에서는 유온이 25℃에서는 침지깊이의 증가에 따라 감소하지만 그외 유온에서는 6mm에서 최고 값을 보인 후 감소하는 경향이다. SLO환경에서

는 유온 85℃을 제외하고는 침지깊이의 증가에 따라 감소하는 경향을 보인다.

3) 최고침식율을 보이는 실험시간은 SFO환경에서는 각 침지깊이에 있어서 유온이 증가하면 할수록 감소하지만 SLO환경에서는 유온이 증가하면 길어지는 경향을 보인다.

참고문헌

- [1] Dr.Kang Chang-Gu, "Technology Support System for Maritime Safety and Pollution Management", Proceeding of the Korea-Canada Symposium on Marine Environment, Korea National Maritime Police Agency, Inchon Korea, 245-254, (1996).
- [2] 이진열·하만식·한원희, "선박유류 입자의 균질효과에 미치는 초음파 분쇄작용", 해양환경·안전학회, 제5권 제2호, 68, (1999).
- [3] 今村弘人, "船用 ディーゼル機關(燃焼・潤滑・損傷)", 山海堂, 38-43, (1995).
- [4] 明星四郎·富田正久, "燃料油と潤滑油の實務", 三和印刷, 84-94, (1983).
- [5] 李鎭烈, "油類工學", 曉星出版社, pp 69-89, pp 174-188, 1998.
- [6] 小西 誠一, 上田 亨, "潤滑油の基礎と應用", コロナ社, pp 110-130, 1992.
- [7] TEAMTEC-GOLAR Marine Incinerator, TeamTec AS.
- [8] Waste Oil Incinerator, Under License of SUNFLAME Co., Ltd, Japan(KangRim).
- [9] Manabumi Masuko and Kazumi Okada, "Tribology of O/W Emulsion", Journal of Japanese Society of Tribologists, Vol.36, No.5, 369-374, (1991).
- [10] 황재호, "진동 캐비테이션에 의한 연강의 침식-부식 특성 및 억제에 관한 연구", 부경대학교 대학원 박사학위논문, 13-15, (1997).
- [11] Annual Book of ASTM Standard, "03:02 Wear and Erosion : Metal Erosion G-32-85", ASTM, 115-119, (1989).