

초음파 진동자의 반복진동에 의한 슬러지유의 균질효과

한 원 희*, 정 지 선*, 하 만 식*, 이 진 열**, 고 성 정***

The Homogenizing Effect of Sludge Oil by Repeated Vibration of Ultrasonic Transducer

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

Abstract : The sludge oils were produced necessarily in the ships operation, so that it will be the best way to manage the sludge oils inside ship itself from a viewpoint of the prevention of marine oil pollution from ship.

The present study deal with the ultrasonic breaking systems which recycle the sludge oil from ships into usable oil to be burnt. The first place, experimental studies were carried out to investigate the homogenizing effect of the marine oils by repeated vibration of ultrasonic transducer. Variation of the properties(viscosity, specific gravity and pH) and the matrix structures for the environment of various marine oils were interpreted to analyse the breaking, dispersion effects by cavity.

The experimental results can be useful to the development of sludge oil disposing systems.

key words : Ultrasonic transducer(초음파 진동자), Viscosity(점도), Specific gravity(비중), Matrix structures(조직구조), Sludge oil(슬러지유)

1. 서 론

현재 관심이 고조되고 있는 해양유류오염을 방지하기 위한 노력의 일환으로 선박의 운용상 필연적으로 발생하는 폐유 및 슬러지유의 처리에 대한 연구가 다각적으로 진행되고 있다^{1,2)}. 선박은 국제간 경쟁력을 확보하기 위하여 고속화, 대형화와 더불어 운항경비절감의 일부분인 유류비 절감에 많은 시간을 분담하는데, 이러한 측면에 따라 선박 연료유 비중이 0.98(15/4℃) 이상이고, 점도가 380(cSt/50℃) 정도인 저질중유를 사용하고 있다^{3,4)}. 그러나 이러한 연료유가 누출하여 기관실의 빌지(bilge), 청정기에서의 슬러지(sludge) 형성 등의 폐유를 유발시켜 선박내

* 한국해양대학교 대학원 기관공학과

** 한국해양대학교 기관시스템공학부

*** 한국해양수산연수원

에서 처리하기가 곤란한 경우도 있다^[5]. 선박내의 폐유처리를 위하여 벌지의 성분인 유분과 수분을 분리할 수 있는 유수분리기(oily water separator)가 구성되어 있으며, 더욱 분리효과를 높이기 위하여 적층판형(laminated disc type)인 전처리 장치가 유수분리기에 연계되어 설치되어 있는 경우도 있다^[6,7]. 또한 회수된 폐유를 연소시켜 처리하기 위한 폐유소각기(waste oil incinerator)가 기관실에 설치되어 운용되고 있다^[8,9]. 그러나 전처리장치가 부착된 유수분리기를 통하여 분리·회수된 기름이라도 소각용 기름 또는 다른 용도의 선박연료로 재활용하는 데에는 유화, 산화작용에 의한 고형물, 콜로이드(colloid)상의 교착상태와 같은 문제점을 가지고 있기 때문에 그 대로는 사용이 불가한 실정이다^[10].

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 관해 검토하고자 하였다. 현재 선박 폐유를 보일러의 연료유로 재사용하고자 하는 연구가 진행되어 여러 가지 장치들도 개발되고 있고, 또 조악한 선박연료유의 개질을 위하여 초음파 분쇄기를 사용한 예가 있으나, 폐유를 분쇄하여 보일러 등의 연료유로 사용할 수 있는 연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 이 연구는 초음파 진동자를 선박유류환경에서 반복진동시켜서 유류의 조직구조, 분쇄효과 및 미립자의 분포상태를 규명하여^[11] 선박 슬러지유의 재사용 가능성을 알아보기 위한 기초연구자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 시료유의 특성

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.

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

2.2 시료유 의 조직변화 및 정상시험

실험에 사용한 시료유는 드레인 탱크에 있는 일정량(6 l)을 속도 10ml/min으로 계속 순환시키면서 초음파 진동자 혼에 의해 직각으로 조사되도록 하였다. 유온은 표준온도(25±2)로 거의 일정하게 유지되도록 냉각 팬 장치 및 항온 가열기(Oil bath : OB-200 type)를 설치·사용하였고, 증발을 방지하기 위하여 완전히 밀폐하여 온도를 유지하였다. 순환수 펌프는 소형잠수펌프로 전기화학적 영향이 거의 없는 플라스틱 재료이며, 유량은 바이패스 밸브(by-pass valve)로 조정하였고, 실험시간의 간격은 자동정지 타이머에 의해 조정하였다.

진동자 혼 디스크의 시료유에 대한 표준 침지 깊이를 3mm로 하였고, 유온에 따라 약 +2mm의 오차를 두어서 실험하였다. 실험시간은 30분마다 시료유 및 혼 디스크를 점검 하면서 연속적으로 120분까지 실험하였다. 시험한 시료유 의 채취는 초음파 방사관의 출구측에서 실시하였고, 유입자의 분쇄, 분포 및 분산상태 등을 알아보기 위해 거름종이(filter paper:100 circles 110mm, #93)를 사용한 스팟테스트(spot test)를 수행하였다. 또한 시료유 의 잔류탄소 입자분포나 분산상태는 전자현미경(DW-THN/1011)에 의해 관찰한 후 CCD Camera(SAC-410ND) 및 PC를 이용하여 촬영, 조사하였으며, 필요시에는 접안렌즈 부착용 카메라 등을 사용하였다. 또한 같은 조건에서 시료유 의 동점도, 비중 및 pH 등의 정상변화를 조사하였다. 이 때 동점도는 Spindle형 점도계(BROOKFIELD LVTDV-1), 비중은 비중계(S.G meter : 0.7~1.85 @15/4℃), pH는 pH meter(CONSORT C832)를 이용하여 계측하였다.

2.3 실험장치

Fig.1은 초음파 진동장치의 개략도로써 1992년도에 개정한 ASTM-G32 시험규격에 맞게 하였고, 압전소자(piezoelectric)의 압력변환기에 의해 발생한 종진동을 지수관계 혼(Exponential horn)에서 증폭시켜서 용액중에 진동·조사하였다. 이때 공진주파수는 20kHz이고, 진폭은 정진폭제어 방법을 사용하여 24μm 및 50μm로 유지하였다. 초음파 실험장치의 주요구성은 제어장치, 진동자, 증폭기 혼(booster horn), 자동정지 타이머 등이다.

환경조 및 배관은 전기 화학적인

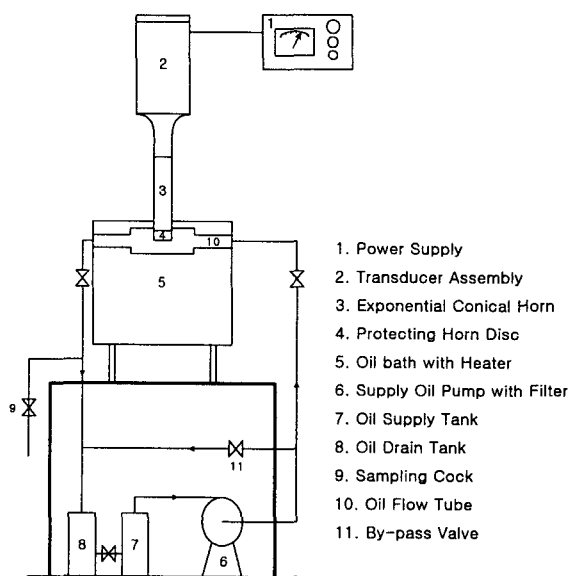


Fig.1 Schematic diagram of ultrasonic vibrator test apparatus

부식작용과 시료유와의 계면장력을 고려하여 아크릴재료를 사용하였고, 초음파 조사용 시료유 흐름 관경은 20mm이고 관 출구 측에는 압력조정밸브를 부착하였다. 나머지 관은 직경 10mm의 특수 고무재료로 연결, 사용하였으며 각 연결부위 및 실(seal)부는 실리콘으로 봉합하였다. 또한 유속은 펌프의 바이패스 밸브에 의해 조정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 초음파 진동자의 반복진동에 의한 선박유류의 성상변화

Fig.2는 각종의 선박유류를 진폭 24 μ m, 진동수 20kHz인 초음파 진동자 혼의 진동에 의해 조사시킨 후 용액의 pH 값을 정리한 것이다. 이때 실험시간(t)은 누적 300분이고, 유온(oil temp.)은 25 $^{\circ}$ C로 하였다. 이에 의하면 연료유 성분이 많은 신연료유(NFO) 및 연료유슬러지(SFO) 환경에서는 실험시간이 경과하면서 pH값이 크게 낮아지는 것을 보이는 반면에 윤활유 성분이 더 많은 신윤활유(NLO) 및 윤활유슬러지(SLO) 환경에서의 pH값은 실험시간이 경과하여도 감소 폭이 다소 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 작용은 캐비티의 반복작용에 의해서 유입자의 분쇄와 산화작용이 연료유 성분인 환경에서는 민감하지만 윤활유 성분이 많은 환경에서는 산화작용이 적게 발생하기 때문으로 생각된다. 또한 신유류 환경보다는 슬러지 환경에서 pH값이 실험시간의 경과에 따라 더 감소하는 것은 고형물의 분쇄, 분산에 의한 유류의 산화가 촉진되기 때문이다.

Fig.3은 각종 선박유류를 진폭 24 μ m인 초음파 진동자 혼의 진동에 의한 캐비티

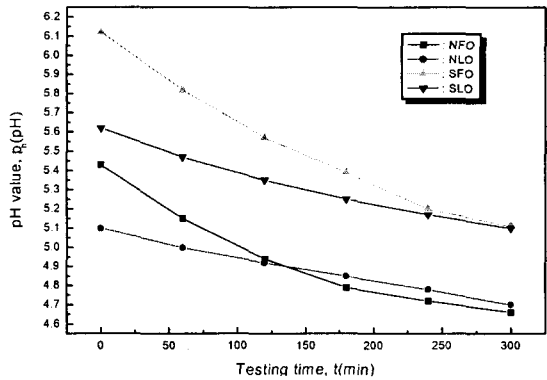


Fig.2 Comparison of pH value vs testing time in marine oil environment. (oil temp. : 25 $^{\circ}$ C, amplitude : 24 μ m)

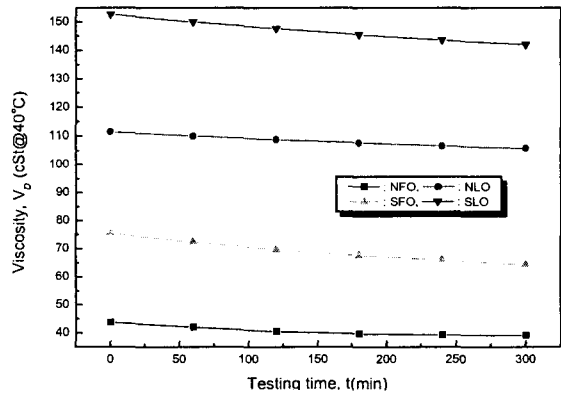


Fig.3 Comparison of viscosity vs testing time in marine oil environment. (oil temp. : 25 $^{\circ}$ C, amplitude : 24 μ m)

의 반복작용을 받게한 것으로 실험시간(t)에 따른 동점도(cSt@40℃)의 변화값을 정리하여 그래프로 나타낸 것이다. 이에 의하면 실험전의 점도값의 크기는 SLO>NLO>SFO>NFO의 순으로 나타나지만, 실험시간의 경과에 따라 거의 일정한 값으로 감소하는 경향을 보인다. 이 같은 현상은 초음파 진동자 혼의 진동에 의해서 발생한캐비티가 유환경에 대해서 반복적으로 작용하므로써 유입자의 미세화, 균질화에 유동성이 증가하고 유입자에 결합할 수 있는 표면적이 증가하므로 계면장력이 감소하면서 표면장력이 증가하는 것으로 사료된다. 또한 점도값을 실험시간 경과에 따라서 감소하지만 계속적으로 실험을 진행시키면 그 감소폭은 둔화되면서 어느 실험시간에서는 포화되는 것은 한정된 용액에서 유동성이 한정되고 유입자의 파괴에 따른 수분의 증발작용도 동시에 발생하기 때문이다.

Fig.4는 선박유류에 있어서 실험시간(t)에 따른 비중(S.G@15/4℃)의 변화값을 정리한 것으로 초음파 진동자의 혼의 진폭은 24μm이고 유온은 25℃로 하였다. 이에 의하면 SFO 및 NFO 환경에서는 실험시간의 경과에 따라 크게 감소하는 경향을 보이고, NLO 환경에서는 완만하게 감소하고 있다. 이와 같은 현상은 초음파 진동자 혼의 진동에 의한 캐비티의 충격력에 의해서 기름입자의 분쇄와 분산효과가 연료유 성분인 NFO 및 SFO환경에서 우수한 반면 윤활유 성분이 많이 함유된 NLO 및 SLO 환경에서 미약하기 때문이다.

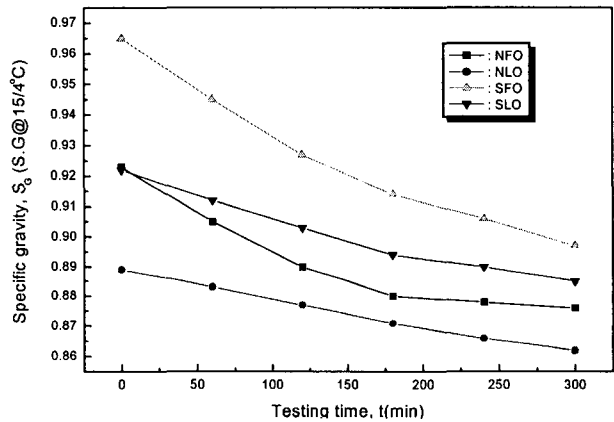


Fig.4 Comparison of specific gravity vs testing time in marine oil environment. (oil temp. : 25℃, amplitude : 24μm)

3.2 초음파 진동자 혼의 분쇄작용에 따른 선박유류의 조직변화

Photo.1은 신연료유(NFO) 및 신윤활유(NLO) 환경에서의 초음파 진동자 혼 디스크의 침지깊이 3mm에서 진동에 의한 캐비티의 생성, 파괴에 따른 충격압으로 인하여 균질·유화된 시료유를 실험시간 60분, 120분에 따라 스팟테스트 한 상태를 정리한 것이다. 이 때 유온은 25℃정도이고, 진동자의 주파수 20kHz, 진폭 24μm, 유속은 10ml/min이며, 확대배율은 5배이다. 이에 의하면 실험전의 신연료유와 60분, 120분 실험후의 모습을 비교하여 볼 때 고형분의 크기 및 분포상태가 상이하다는 것을 알 수 있다. 즉, 120분 실험시간 후 초음파 진동자 혼의 균질작용에 의한 시료유는 신연료유나 60분 실험후의 것보다 미소입자가 많고 캐비티의 충격압에 의한 유화, 분산 및 분포효과가 큰 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 초음파의 진동 및 캐비티에 의한 분쇄효

과와 유적간의 마찰과 분쇄에 의한 유화작용이 증가된 것으로 사료된다^[12]. 그리고 신윤활유의 경우에는 실험시간이 증가하여도 다소 분쇄효과가 적으며 유화작용도 미소하다는 것을 알 수 있다. 이러한 작용을 보이는 것은 신윤활유가 신연료유에 비하여 점도지수가 크고 항유화성이 강하기 때문에 초음파에 의한 균질화 효과를 적게 받기 때문으로 사료된다.

Photo.2는 Photo.1의 스팟테스트한 시료유를 전자현미경에 의해 35배로 확대하여 컴퓨터 화상으로 정리한 것으로 NFO의 실험하기전의 바탕조직, 캐비테이션 실험시간 60분 및 120분에서의 바탕조직 분포를 보여주고 있다. 이것을 살펴보면 실험시간이 경과함에 따라 탄소의 유입자가 미세하고 넓게 분포되어 실험시간 120분에서는 거의 볼 수 없을 정도로 분산되어 있고, 조밀한 망상조직이 넓고 크게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 진동자 혼에 의한 캐비티의 충격력에 의해서 연료유 자체의 망상 바탕조직과 탄소의 분포나 크기가 파괴되면서 유입자간의 결합력이 약화되어 바탕전체에 미세하게 분포되는 것으로 사료된다. 또한 NLO의 경우에도 실험전의 검은 탄소 바탕이 유입계에 따라 분포된 것이 실험시간이 경과되면서 전바탕에 고르게 분포된 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 다소 큰 탄소 입자가 실험시간이 경과됨에 따라서 캐비티의 진동에 의한 충격력에 의해서 미세하게 분해되면서 시료유 전체에 고르게 분포되기 때문이며, 유입계 경계도 상당히 조밀하게 파괴된 것을 알 수 있다.

Photo.3은 초음파 진동자의 진동에 의한 균질작용에 의해서 SFO 및 윤활유 SLO의 유입

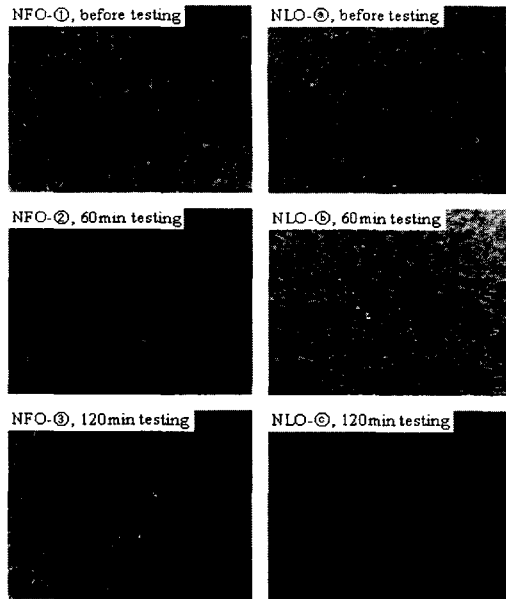


Photo.1 Appearance of macroscopic homogenizing matrix vs testing time in NFO and NLO environment. (x 5 times)
(amplitude : 24 μ m, depth of horn disc : 3mm, flow velocity : 10ml/min)

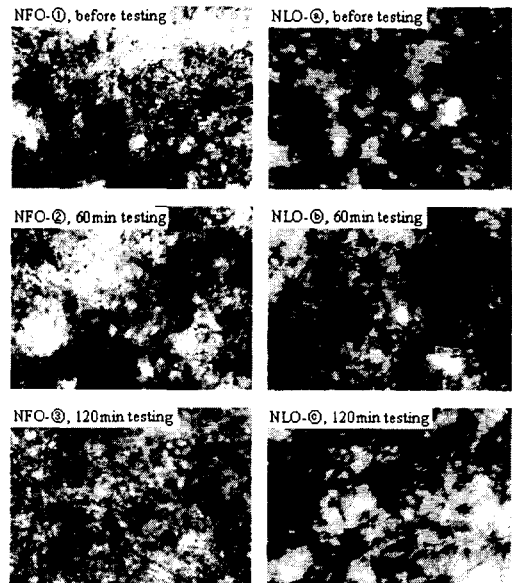


Photo.2 Appearance of microscopic homogenizing matrix vs testing time in NFO and NLO environment. (x 35 times)
(amplitude : 24 μ m, depth of horn disc : 3mm, flow velocity : 10ml/min)

자의 파괴, 분산, 분포 및 균질효과를 실험시간 60분, 120분에 따라 정리한 것으로 진동자 혼디스크의 침지깊이는 3mm, 유속은 10ml/min이며, 진동자의 진폭은 24 μ m, 유온은 약 25 $^{\circ}$ C이고 5배로 확대하였다. 이것을 살펴보면 실험전의 슬러지유와 비교하여 보았을 때 실험시간이 60분, 120분이 경과됨에 따라 초음파 진동에 의한 분쇄·유화효과가 크게 상승하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 점도나 비중이 클수록 고형물질의 밀도가 증가하기 때문에 캐비티에 의한 유입자의 파괴작용이 강하고 유입자간의 충돌도 심하므로 고형물의 분쇄효과가 증대하고, 아울러 유입자간의 계면작용이 파괴되어 약화되면서 유입자의 분산이나 분포효과도 크게 증가하기 때문이라고 사료된다¹³⁾. 또한 SLO에서 보다는 SFO에서가 캐비티의 충격력에 의한 바탕조직에 큰 변화가 있는 것을 알 수 있다.

Photo.4는 Photo.3의 조직바탕을 35배로 확대한 것을 보여주고 있다. 이에 의하면 실험전의 SFO의 바탕조직은 파상형의 고형 덩어리가 산존하여 있고, 반면에 SLO에서는 바탕의 대부분에 탄소의 고형 덩어리가 퍼져 있고 입계에는 수지상의 결합상태를 보이고 있다. 이러한 바탕조직을 가진 SFO가 캐비테이션 작용에 따라 실험시간 60분, 120분이 경과하면서 캐비티의 충격압에 의해 고형 탄소의 미세한 입자로의 파괴되어 조직바탕에 촘촘히 분산된 상태이다. 또한 SLO의 경우에는 수지상의 입계로 탄소의 고형물들이 실험시간이 경과되면서 잘 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

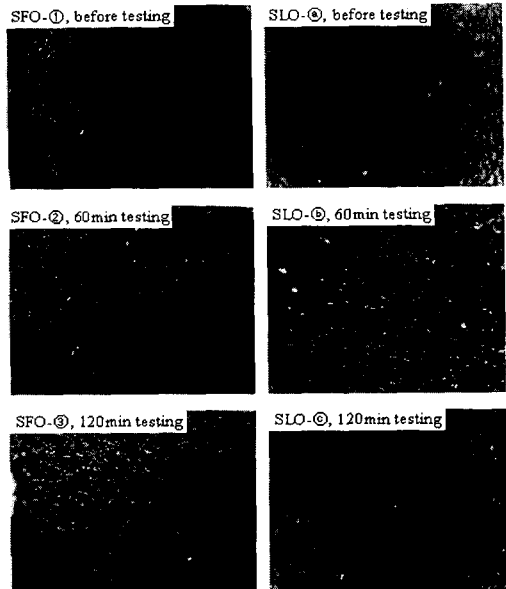


Photo.3 Appearance of macroscopic homogenizing matrix vs testing time in SFO and SLO environment. (x 5 times)
(amplitude : 24 μ m, depth of horn disc : 3mm, flow velocity : 10ml/min)

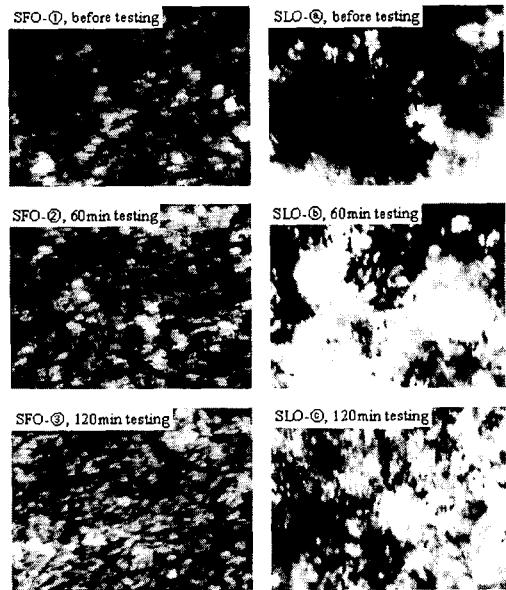


Photo.4 Appearance of microscopic homogenizing matrix vs testing time in SFO and SLO environment. (x 35 times)
(amplitude : 24 μ m, depth of horn disc : 3mm, flow velocity : 10ml/min)

4. 결 론

선박 폐유를 분쇄하여 재사용하기 위한 기초연구로서 선박슬러지유 환경에서 초음파 진동자의 진동에 의한 유류 조직의 변화상태, 정상변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 구하였다.

- 1) 선박유류는 초음파 진동자의 반복진동에 의해 pH값, 동점도 및 비중값이 감소하고, 유류 조직은 균질화된다.
- 2) pH값, 동점도 및 비중값의 감소량은 연료유 성분인 신연료유(NFO) 및 연료유슬러지(SFO)에서가 신유허유(NLO) 및 유허유슬러지(SLO)에서보다 크다.
- 3) 선박유류 환경에서의 초음파 진동자의 실험시간이 경과함에 따라 유입자의 분쇄, 분산 및 분포효과는 우수하고, 연료유슬러지(SFO)에서가 유허유슬러지(SLO)에 비하여 분쇄 효과가 더 양호하다.

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, Incheon 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] 西山善忠, "燃料油·潤滑油", 海文堂, 71-80, 1996
- [6] Operating Manual, "Oily Water Separator(OWPS-5.0)", M&C Engineering Co., Ltd., 1996
- [7] Instruction Manual, "Oily Filtering Equipment(UST)", Georim Engineering.
- [8] TEAMTEC-GOLAR Marine Incinerator, TeamTec AS.
- [9] Waste Oil Incinerator, Under License of SUNFLAME Co., Ltd, Japan(KangRim).
- [10] Manabumi Masuko and Kazumi Okada, "Tribology of O/W Emulsion", Journal of Japanese Society of Tribologists, Vol.36, No.5, 369-374, 1991
- [11] 李鎭烈, "油類工學", 曉星出版社, 115-116, 1999
- [12] 林祐助, 李鎭烈, "베어링 합금材에 대한 캐비테이션 浸蝕舉動에 미치는 潤滑油環境의 影響", 韓國潤滑學會誌, 57-60, 1993
- [13] 林祐助, 李鎭烈, "船用 베어링 합금材의 浸蝕-腐蝕抑制에 미치는 陰極防蝕의 效果", 韓國潤滑學會誌, 58-64, 1995