

선내 제조된 혼합연료 품질 개선을 위한 초음파 적용 가능성에 관한 연구

최정식* · 주해지** · 한원희***†

* 목포해양대학교 기관해양경찰학부, ** 목포해양대학교 대학원 기관시스템공학과, *** 목포해양대학교 기관시스템공학부

A Study on the Applicability of Ultrasonic to Improve Quality of Fuel Blended in Vessels

Jung-Sik Choi* · Hae-Ji Ju** · Won-Heui Han***†

* Division of Marine Engineering & Coast guard, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Department of Marine Engineering, Graduate school, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

*** Division of Maritime Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 이 연구는 초음파 에너지의 공동현상(Cavitation)을 이용하여 선내 제조된 혼합연료유의 문제점을 개선하고 혼합연료유의 안정적인 사용이 가능하도록 하여 선박운용비의 상당부분을 차지하는 연료비를 절감하고자 한다. 실험은 선내 혼합연료유 제조 방식을 모사하여 선박용 연료유 M.G.O(Marine Gas Oil)와 MF-180(Marine Fuel-oil 180)를 각각 부피비 기준으로 0.25:0.75 및 0.75:0.25 비율로 혼합하였으며 초음파 처리장치를 이용하여 혼합연료유에 초음파 에너지를 직접 조사하여 초음파 에너지가 혼합연료유에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 실험결과, 선내 혼합유 제조시 보고되었던 문제점을 확인하였으며, 혼합시료유의 초음파 조사 후 잔류탄소량은 최대 28.4% 감소하였다. 또한, 잔류탄소량 감소 및 분산 안정성 분석결과를 토대로 초음파 에너지에 의한 캐비티의 붕괴압이 연료입자 미립화에 효과가 있고, 중질연료유가 많이 함유된 혼합연료유의 일시적인 가용성을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 혼합연료유, 초음파 에너지, 공동현상, 잔류탄소량, 선박

Abstract : In this study, contributes to improving the state of this problem using cavitation by ultrasonic energy to reduce fuel costs, which take up a considerable part of ship operation costs, by making the use of on-board blended fuel oil more stable. An experiment simulating on-board blending methods was completed. Fuel (M.G.O & MF-180) was mixed at a volume ratio of 0.25:0.75 and, 0.75:0.25, and the effect of ultrasonic energy on blended fuel oil was examined after applying ultrasonic energy to blended fuel oil using an ultrasonic treatment unit. With the results, we confirmed the blending problem reported by vessels and residual carbon was reduced by up to 28.4%. In addition, based on the results for reduction of residual carbon content and dispersion stability, it was confirmed that the collapse pressure of the cavity due to the ultrasonic energy was effective to atomization of fuel particle and the temporary availability of mixed fuel containing a heavy fuel increased.

Key Words : Blended fuel, Ultrasonic energy, Cavitation, Residual carbon, Vessel

1. 서 론

1900년대 후반 원유가격의 급등으로 선박에 공급되는 기관용 연료의 질이 급격히 낮아졌고, 최근에는 동점도 600 cSt/50℃ 급 이상의 연료가 공급되는 등 그 질이 지속적으로 낮아지고

있다(Hwang and Lee, 2008; CIMAC HFO Working Group, 2003).

연료유 전처리하는 정유사에서의 Refinery 공정과 선내 연료유 전처리로 나눌 수 있다. 정유사에서의 연료유 전처리는 가능한 한 부가가치가 높은 경질유를 많이 생산하기 위한 연구에 집중되어 있으며, 선내에서의 전처리는 공급받은 저질연료유를 기관에 효율적으로 사용하기 위한 방법을 모색하는데 주로 관심이 있다. 일반적으로 선박에 공급되는 연료유는 주로 정유사에서 경질유를 생산하고 남은 잔사유가

* First Author : jungsikchoi@mmu.ac.kr

† Corresponding Author : winhan@mmu.ac.kr, 061-240-7224

선내 제조된 혼합연료 품질 개선을 위한 초음파 적용 가능성에 관한 연구

다량 혼합되어 있어 점도가 높고, 연소성이 나쁘며 잔류탄소, 유황, 바나듐, FCC촉매 미립자 등 불순물의 함량이 매우 높아 선박기관 내에서 여러 가지 문제를 야기한다(MEMC, 1987). 이러한 이유로 일부 선박에서는 수급한 연료유를 선내에서 직접 전처리하여 사용하고 있으며 여과기, 정치청정법, 원심분리청정법 등이 이용된다(Lee, 1999). 이와 같은 재래식 청정방법은 연료저장탱크(storage tank), 침전탱크(settling tank), 원심식청정기(centrifugal purifier), 공급탱크(service tank), 여과기(filter)를 거쳐 기관에 급유하는 방식으로, 단순히 고점도의 슬러지와 잔류탄소, 수분 등의 불순물을 분리하여 제거하기 위해 탱크 내에서 가열 정치하여 슬러지와 수분을 침전시켜도 연료공급라인이 탱크 하부에 설치되어있어 정치효과가 크지 않으며 원심분리기로 청정된 중유는 공급탱크 내에서 장시간 방치되어 슬러지가 재형성되는 문제가 있다(Cho, 2012).

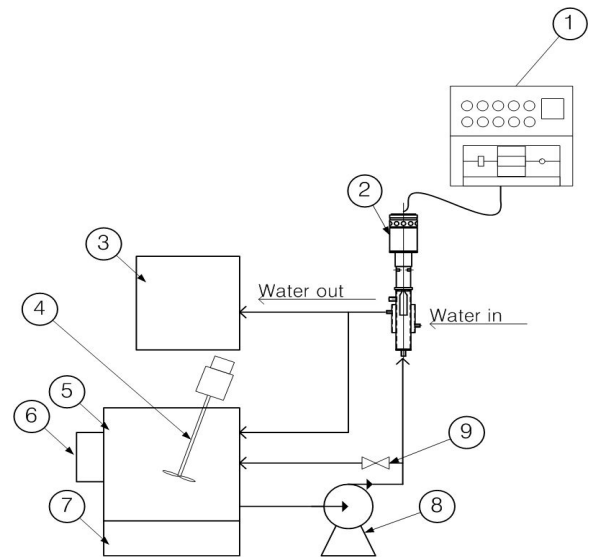
선박용 연료유의 질을 근본적으로 향상시키기 위해 화학적 반응을 이용한 첨가제 투입법(Han et al., 2010), 물리적인 방법을 이용한 균질기(Han et al., 2012; Jeon and Lee, 2009; Ashland specialty chemical company, 2000), Tandem system(Han et al., 2010; Ministry of maritime affairs and fisheries, 2006) 및 초음파 처리장치(Han, 2003; Lee et al., 1999) 등이 연구되고 있다. 화학적 반응을 이용한 첨가제 투입법은 목적에 따라 각각의 첨가제 효과가 있을 수 있으나 여러 가지 종류의 첨가제를 혼용하여 사용할 경우 역효과가 나타날 수 있으며, 시판되는 첨가제 중 일부는 그 효과가 미미하다고 입증되기도 하였다(Han et al., 2010; Ministry of maritime affairs and fisheries, 2006). 물리적 방법으로 균질기는 고정식 균질기, 회전식(고전단력) 균질기 종류가 있으며 고정자와 회전자 사이에 매우 작은 공간을 두고 회전자가 고정자 사이에서 빠르게 회전을 하면서 유류입자를 미립·균질화 하는 장치로 유류입자크기 감소에 영향을 준다. 그러나 비싼 비용과 넓은 설치 공간이 필요하다(Rischmann, 2006). 교반가열장치와 청정기를 조합하여 연구된 Tandem system은 개질효과가 거의 미미하며 오히려 연료유의 물리적 성질을 악화시킨다고 보고된 바 있다(Han et al., 2010; Ministry of maritime affairs and fisheries, 2006). 초음파 처리장치는 선박용 연료유 중 MF-180을 시료로 초음파 에너지를 조사한 결과, 유중 미소입자가 많아지고 유화, 분산 및 분포효과가 있다고 보고된바 있다(Han, 2003; Lee et al., 1999).

또한, 공급받은 연료유를 선내 연료유 혼합 장치를 이용하여 경질유와 중질유를 혼합하여 사용하기도 한다. 혼합연료유 제조는 이론적으로 서로 다른 등급의 선박용 연료유를 점도와 온도 조건을 맞춰 혼합하면 되는 것으로 이해될 수 있으나 실제로는 고도의 혼합기술을 요하며 선내에서 직접 혼합유를 제조할 경우 슬러지 과다생성, 혼합연료유의 상

분리 현상 등의 문제가 발생할 수 있어 권장하고 있지 않는 방법으로 실제로 외항선에서는 거의 이용되지 않는다(Cho, 2012). 그러나 일부 연안선의 경우, 연료유 공급업자의 특수성 및 정유사와의 접근성 등의 제약으로 수급 받을 수 있는 연료유의 종류가 제한적인 사정으로 인해 혼합연료유를 선내에서 제조하여 사용하고 있다(Lee, 2008).

혼유는 직류경유, 촉매분해경유, 열분해경유 등과 같이 동일 등급의 연료라도 정유사의 공정특성에 따라 각각의 혼합안정성(Blended stability)이 다르기 때문에 서로 친화성이 있는 같은 계통의 기름을 혼합하는 등 적당한 조건하에서 진행되어야 한다(Cho, 2012). 그러나 연료를 수급 받을 때마다 매번 연료 저장 탱크를 비우는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 적절한 혼합연료유를 제조한다는 것은 정유사에서 보유하고 있는 혼합연료유 제조기술과 know-how를 공개하더라도 사실상 불가능하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 초음파 에너지를 이용하여 혼합연료유를 전처리하고, 초음파의 캐비티 유체를 활용하여 캐비티가 선내에서 제조된 혼합연료유 성상에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한, 경질유와 중질유를 혼합한 혼합연료유를 선박에서 안정적으로 사용될 수 있도록 혼합연료유의 안정성 및 경제성 확보가 가능한지 검토하였다.



1. Power supply & Ultrasonic generator
2. Transducer assembly & Ultrasonic horn
3. Oil drain tank
4. Agitator
5. Oil supply tank
6. Heating oil
7. Heater
8. Oil circulation pump
9. By-pass valve

Fig. 1. Schematic diagram of ultrasonic treatment unit.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

초음파 에너지는 액(liquid) 중 공기분자를 집합하여 공동(cavity)을 생성하고, 생성된 캐비티를 반복적으로 압축·팽창시킨 후 최종적으로 붕괴시킨다. 이때 순간적으로 매우 큰 압력파를 발생시키는데, 이 압력파를 시료(혼합연료유)에 작용시켜 혼합연료유의 물리·화학적 성상 변화를 관찰하였다.

Fig. 1은 초음파 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로 초음파를 선박용 혼합연료유에 조사하는 장치이며, Table 1은 실험장치 각부의 사양을 정리한 것이다.

2.2 실험방법

2.2.1 혼합연료유 제조

Table 2는 혼합연료유 제조에 사용된 연료의 성상을 나타낸 것이다. 혼합연료유 제조에는 M.G.O와 MF-180을 사용하였으며, 선내 혼합연료유 제조과정을 재연하기 위해 운항 중인 선박에서 전처리되지 않은 연료유를 저장탱크에서 직접 채취하였다. 혼합비율은 Table 3과 같으며, 선내 유류혼합장치(Blending equipment)의 혼합방식과 동일하게 시료(혼합연료유)를 제조하였다.

2.2.2 초음파 조사

혼합탱크에 있는 시료 10 ℓ를 가열하여 유온 50~60℃를 유지하며, 유속 10 ml/s로 순환되도록 하고 초음파 진동부 아래로 시료가 유입되어 측면으로 토출되면서 순환되는 동안 초음파가 시료에 직접 조사되도록 하였다. 유속은 펌프 토출 측 바이패스 밸브를 이용하여 조정하였고 탱크 하부의 히터를 자동온도조절기를 이용하여 유온이 설정범위 안에 위치하도록 하였으며 탱크 외부에 보온제를 도포하여 유온의 변화가 크지 않도록 하였다. 또한, 실험이 행해지는 동안에는 탱크 상부의 교반기 설치 공간을 제외하고는 모두 단열을 위해 밀폐하였고, 실험시간 및 샘플채취시간은 자동정시 타이머에 의해 조정하였다.

실험은 연속적으로 120분 동안 진행하였으며, 분석을 위한 샘플은 초음파를 조사 전과 30, 60, 120분 동안 초음파 조사 후 채취(총4개)하였다. 샘플채취는 초음파 진동부를 통과하여 탱크로 유입되는 파이프라인 끝단에서 이루어졌다.

채취한 샘플의 분석항목은 동점도, 비중, 유동점, 인화점, 물과 침전물, 잔류탄소, 분산 안정성이며 분석항목별 분석장비 목록은 Table 4와 같다.

Table 1. Specification of ultrasonic treatment unit

Maker	MIRAE Ultrasonic Technical
Model	Hp-600
Voltage	220 V
Current	1.5 A
Frequency	60 Hz
Interrupting rating	15 A
Operating Frequency	19.8 kHz
Material of horn	Titanium Gr5

Table 2. Properties of experimental base oil

Specification of oils	M.G.O	MF-180
Kinematic viscosity (cSt@50℃)	3.414	169.2
Specific gravity (15/4℃)	0.84857	0.98428
Flash point (℃)	over 95	over 150
Pour point (℃)	-25	-8
Residual carbon (wt%)	0.93	5.21
Sulfur (wt%)	0.0532	2.897

Table 3. Blending ratio of experimental base oil

Case No.	M.G.O (Vol.%)	MF-180 (Vol.%)	Remark
Case 1	75	25	Blended oil
Case 2	25	75	Blended oil

Table 4. Specification of fuel analyzers

	unit	Method	Maker (Model)
Kinematic viscosity (cSt@50℃)	mm ² /s	ASTM D445	CANNON (miniAV-X)
Pour point (℃)	℃	ASTM D97	PAC (OPP5Gs)
Specific gravity (15/4℃)	-	ASTM D4052	Anton Paar (DMA 4500M)
Flash point	℃	ASTM D92	Tanaka (aco-8)
Water & Sediment	vol%	KSM ISO 9030	Hettick (ROTANTA 460R)
Residual carbon	wt%	TGA	Sinko M&T (TGA N-1000)
Dispersion stability	-	ASTM D7061-12	Torbiscan classic

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 혼합연료유 제조 결과

잔류탄소는 밀폐된 용기에서 고온(500~550°C)으로 가열하였을 때 증발하고 남은 탄소량으로, 저질유일수록 함유량이 높고 주로 고분자 탄소이거나 아스팔트 성분 중 일부로 알려져 있다. 다량의 잔류탄소분 함유 연료는 슬러지 생성 경향이 높으며 선박 기관에 장애를 초래하기도 한다(Cho, 2012).

Fig. 2는 혼합 전 각 연료유와 시료의 잔류탄소량을 나타낸 것이다. 혼합 전 M.G.O의 잔류탄소가 0.93 wt%, MF-180은 5.21 wt% 인 것에 비해, 시료의 잔류탄소량은 MF-180의 혼합율의 증가에 따라 최대 73.7% (= 9.05 wt%) 증가하였다. Case 1과 Case 2에서 잔류탄소량이 증가한 것은, 연료유를 채취한 선박의 연료유 저장탱크에서부터 이미 알 수 없는 원유 생산지 및 정제 특성 등을 가진 여러 가지 연료유가 혼합되어 있어 경질유와 중질유의 혼유 조건을 만족시키지 못한 부적절한 혼유의 결과로 슬러지 등이 형성된 것으로 사료된다. 또한, 중질유가 경질유의 혼합으로 저점성이 되면서 중질유에 포함되어 있던 복잡한 구조의 탄화수소, 휘발성이 약한 연료분율, 아스팔텐 성분들이 잔류탄소로 석출되었을 가능성이 높은 것으로 판단된다.

선내에서 시행되는 혼합연료유 제조방식을 모사하여 lab scale에서 혼합연료유를 제조한 결과, 혼합연료유의 성상이 혼합 이전보다 더 조악해지는 문제가 발생할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

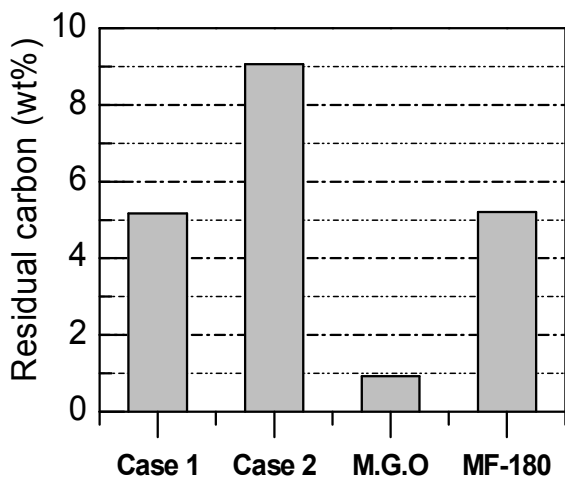


Fig. 2. Concentration of residual carbon.

3.2 초음파 조사 결과

3.2.1 잔류탄소량

Fig. 3은 Case 1, Case 2의 잔류탄소량 변화를 나타낸 것이다. 혼합연료유에 초음파를 조사한 결과, 잔류탄소량은 초음파 조사 이전 보다 각각 약 28.4% 감소하였다. 이와 같은 잔류탄소 감소현상은 초음파에 의한 캐비티의 붕괴압이 복잡한 결합구조를 가진 고분자량 탄화수소와 수지에 작용하여, 분자 간 결합이 완화되어 연소되기 쉬운 저분자량 탄화수소로 변했기 때문으로 판단되며(Chikashi CHIBA, 1980; Lee and Ryu, 2002; Lee and Ryu, 2003), 초음파 조사 시간에 따라 일정한 감소율을 나타내지 않는 이유는 분자간의 결합에너지가 서로 달라 분해되는 시간차가 발생하기 때문으로 보인다 (Lee et al., 2003).

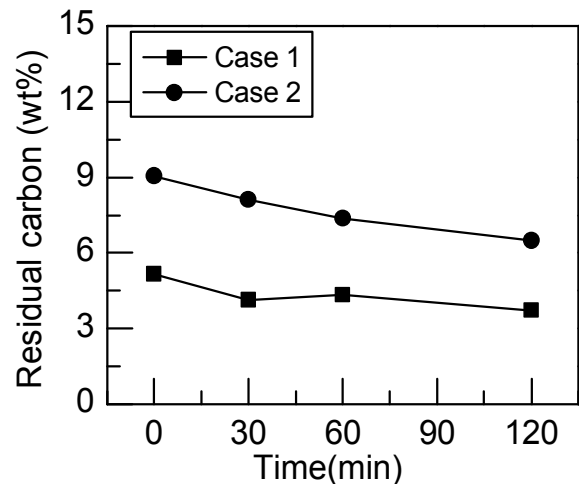


Fig. 3. Concentration of residual carbon for blended oil.

3.2.2 기본 물성

Table 5는 Case 1의 동점도, 비중, 유동점, 인화점, 물과 침전물의 분석 결과를 나타낸 것이며, Table 6은 Case 2 분석 결과를 나타낸 것이다. 동점도, 비중, 유동점, 인화점 분석 결과 Case 1에서는 변화가 거의 없었으며, Case 2에서는 다소 높아진 경향이 있지만 그 값이 미미하여 연료유 사용에 있어 고려할 정도는 아니라고 판단된다. 그러나 물과 침전물의 경우에는 각각 66% 및 53% 감소한 것으로 나타났다. 즉, 물과 침전물의 감소원인으로 캐비티 붕괴압의 작용으로 인해 일부 분해되었을 가능성과 캐비티가 붕괴되면서 붕괴압과 함께 초음파 혼 부분에서 국부적으로 큰 열이 발생하는데 이 열의 영향으로 수분이 증발되었을 가능성을 고려해 볼 수 있다.

Table 5. Physical properties of Case 1

Item \ Time	0	30	60	120
Kinematic viscosity (cSt@50°C)	5.948	5.947	5.973	5.946
Specific gravity (15/4°C)	0.8763	0.8764	0.8765	0.8767
Flash point (°C)	84	92	88	98
Pour point (°C)	-26	-25	-25	-25
Water and sediment (vol%)	1.5	1	0.9	0.5

Table 6. Physical properties of Case 2

Item \ Time	0	30	60	120
Kinematic viscosity (cSt@50°C)	35.81	38.75	38.76	44.37
Specific gravity (15/4°C)	0.9279	0.9385	0.9385	0.9397
Flash point (°C)	over 150	over 150	over 150	over 150
Pour point (°C)	-19	-13	-8	-8
Water and sediment (vol%)	15	12	9	7

3.2.3 분산 안정성

한번 분산이 된 액체-액체 또는 액체-고체의 입자들은 분산과정에서 주어지는 에너지의 크기, 입자 간의 응집력과 같은 물질의 특성에 따라 분산이 이루어지기 이전의 상태로 돌아가는 과정, 즉 재분리과정이 수 시간에서 수개월에 걸쳐 일어나게 된다. 따라서 분산 안정성은 혼합물의 시간에 따라 재분리에 대한 안정성을 측정하기 위해 필요한 중요요소 중 하나이다(Yongjin corporation, 2013).

액체와 액체를 혼합한 혼합연료유도 저장과정에서의 시간이 지남에 따라 재분리로 인하여 혼합 탱크 내 경질유, 혼합유, 중질유의 3층으로 분리되는데, 초음파 장치를 이용하여 제조된 혼합유의 분산 안정성을 측정함으로써 제조된 혼합유의 저장과정에서의 안정성을 확인해 볼 필요가 있다.

분산 안정성은 Separability number로 측정되는데, 측정값이 0~5일 때 안정성이 높고, 5~10는 분산 안정성이 많이 저하된 상태이지만 저장 도중에 물질의 물성에 변화를 줄 수 있는 모든 다른 조건에 노출되지 않는 한 응집되지 않고 안정성을 유지하는 것으로 간주되며, Separability number가 10 이상이 되면 분산 안정성은 매우 낮고 아스팔텐이 쉽게 응집되고 이미 응집이 진행되고 있는 상태로 간주된다.

Fig. 4는 Case 1 및 Case 2의 분산 안정성 변화를 나타낸 것

이다. Case 1 및 Case 2 모두에서 초음파 조사 이전 보다 이후에 분산 안정성이 저하되는 경향을 보이며, MF-180의 함유량이 많을수록 큰 폭으로 낮아짐을 알 수 있다.

Case 1은 초음파 조사 전 0.6 에서 조사 후 0.8 로 조사 전 및 후 모두에서 높은 분산 안정성을 나타내고 있으며, Case 2 는 초음파 조사 전 및 후 모두에서 10 이상으로 측정되면서 매우 낮은 분산 안정성을 나타내고 있다. 이는 초음파 조사 후 혼합연료유의 잔류탄소량이 감소함에 따라 초음파의 캐비티 붕괴압이 고분자량 탄화수소나 슬러지 등 고형물의 미립화에 영향을 미치고 있다고 판단되며, 분산 안정성에 영향을 미치는 입자 간의 응집력은 미소입자일수록 강해지고 입자수가 많을수록 더 강해지므로(AFCONA, 2005) 초음파 조사 후 혼합연료유의 입자가 미립화되고 그 입자수가 많아짐에 따라 응집력이 높아지고, 재결합하려는 성질이 강해지면서 분산 안정성이 저하된 것으로 보인다. 또한, 이와 같은 현상이 역설적으로 혼합연료유가 미립화 되었다는 증거가 될 수도 있다.

선내에서 제조된 혼합연료유는 연료유 저장탱크 내에 보관하는 연료유와 같이 오랜 시간 저장해 두지 않고, 제조 후 즉시 사용되기 때문에 본 연구에서는 제조된 혼합연료유의 분산 안정성에 대한 추가적인 고찰은 수행하지 않았다.

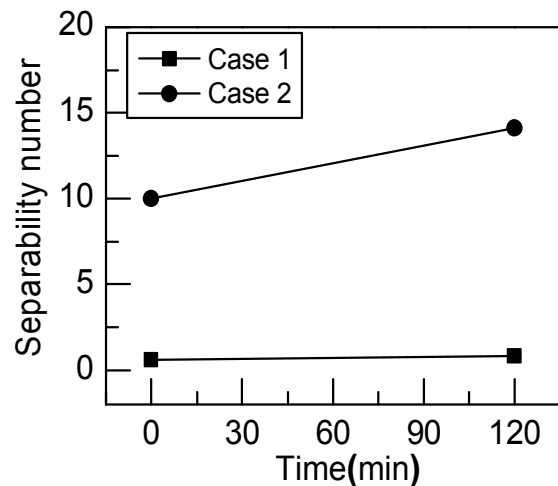


Fig. 4. The separability number of Case 1 and Case 2.

4. 결론

이 연구는 선박용 연료유 가운데 M.G.O 및 MF-180을 부피비 0.25:0.75 및 0.75:0.25로 혼합한 혼합연료유에 초음파로 발생시킨 캐비티의 붕괴압을 작용시켜 나타난 현상을 분석을 통해 고찰한 것으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

선내 혼합유 제조방식을 모사해 제조한 혼합연료유의 잔류탄소 측정을 통해 선내에서 제조된 혼합유를 기관에 사용하는 경우 발생된다고 보고된 문제점을 일부 확인할 수 있

선내 제조된 혼합연료 품질 개선을 위한 초음파 적용 가능성에 관한 연구

었다. 또한, 제조된 혼합연료유에 초음파를 조사한 이후 혼합연료유의 잔류탄소량은 감소하였고 동점도, 비중, 인화점 및 유동점은 매우 미미한 변화만 관찰되었으나 물과 침전물은 현저히 감소한 것을 알 수 있었다.

분산 안정성은 초음파 조사 후 혼합연료유가 미립화 됨에 따라 입자 간의 결합력이 강해져 낮아진 것으로 판단되며, 잔류탄소량 감소 및 분산 안정성 분석결과를 토대로 초음파 에너지를 이용해 발생한 캐비티의 붕괴압이 연료입자 미립화에 효과가 있으며, 중질연료유가 많이 함유된 혼합연료유의 일시적인 가용성을 높일 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 향후 초음파를 조사한 선내 제조 혼합연료유의 잔류탄소 감소원인을 보다 정밀한 성장변화 분석을 통하여 정량적으로 접근하고, 황 함유량 분석 등을 통하여 강화되는 환경규제를 만족시킬 수 있는 혼합연료유 제조 방안을 연구할 계획이다.

감사의 글

이 연구는 목포해양대학교 산학협력단 학술연구비에 의하여 지원된 논문이며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] AFCONA technical team(2005), Afcona additives.
- [2] Ashland specialty chemical company(2000), Operation manual for dynamic homogenizer fuel mil FM-100.
- [3] Chikashi CHIBA(1980), Atomization of liquid by vibration (1), Internal combustion engine, Vol. 19, No. 232, pp. 29-35 (In Japanese).
- [4] Cho, K. H.(2012), Theory and business practice for ship's oil, Dasom publisher, 2012.
- [5] CIMAC HFO Working Group(2003), Recommendations regarding Fuel Quality for Diesel Engines, No. 21.
- [6] Han, S. G., J. S. Choi, R. S. Park, D. H. Kim, K. B. Ryu, K. W. Chun, S. H. Yoon and J. H. Choi(2012), A Study on the Development of Marine Fuel Oil Homogenizer for Fuel Costs Saving, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 6, pp. 584-590.
- [7] Han, W. H.(2003), A Study on the Treatment of shipborne waste oils by cavity fluid fluctuation, Korea maritime and ocean university, Doctoral dissertation.
- [8] Han, W. H, J. G. Nam and D. C. Lee(2007), A Study on the Variation of Physical & Chemical Properties with Refining Treatment and Additive Mixture for Marine Fuel Oil, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 13, No. 1, pp. 39-45.
- [9] Hwang, K. H. and H. D. Lee(2008), The Impact of high oil prices on fisheries industry and korea's response, Korea Maritime Institute, A Study of Policy 2008-02 (ocasional), pp. 6-70.
- [10] Jeon, H. J. and D. C. Lee(2009), Main diesel engines and Gas turbines, Dongmyungsa.
- [11] Lee, B. O. and J. I. Ryu(2002), A study on relationship between fuel characteristics and combustion characteristics of reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation (I) - Relationship between chemical structure and higher heating value, The journal of korea society of automotive engineers, Vol. 10, No. 6, pp. 72-29.
- [12] Lee, B. O. and J. I. Ryu(2003), A study on relationship between fuel characteristics and combustion characteristics of reformed diesel fuels by ultrasonic irradiation (II) - Relationship between chemical structure and cetan number, The journal of the korea society of automotive engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 64-71.
- [13] Lee, B. O., Y. S. Song and J. I. Ryu(2003), Effect of the ultrasonic energy on smoke reduction of diesel engine, Spring Conference proceeding of KSAE, 1, 222.
- [14] Lee, J. Y.(1999), Oil engineering, Hyoseung Publisher.
- [15] Lee, J. Y.(2008), Oil and alternative energy, Dasom publisher.
- [16] Lee, J. Y., M. S. Ha and W. H. Han(1999), An ultrasonic breaking action on the homogeneous effect of marine oil particles, Journal of the korean society of marine environment & safety, Vol. 5, No. 2, pp. 67-78.
- [17] MEMC(1987), Marine engineering management committee, Countermeasures for Marine Poor Quality Fuels (I), Journal of the korean society of marine engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 29-38.
- [18] Ministry of maritime affairs and fisheries(2006), A study development of the model system for cost down fuel oil fishing vessels.
- [19] Rischmann, J. B.(2006), Eng. The role of the homogenizer in modern shipping, lloyd's register technical Association: paper no. VII, session 2005-2006, pp. 16-21.
- [20] Yongjin corporation(2013), Technology for dispersion stability analysis & particle characterization, <http://www.yjcorp.co.kr/stability/introduction.php>.

Received : 2016. 11. 11.

Revised : 2017. 02. 06.

Accepted : 2017. 02. 25.