

# 어선 연료비 절감 모델 시스템 연구 개발

강대선\* · 박정대\* · 이기동\*  
D. S. Kang · J. D. Park · K. D. Lee

국제 유가 변동에 따라 우리나라를 비롯한 주요 석유소비국들의 경제적 타격은 극심하여 경제성장을 및 물가와 경상수지는 민감한 반응을 보인다. 특히, 석유 수입량이 많은 우리나라의 경우는 그 타격이 매우 극심하다. 06년 5월 국제 유가가 배럴당 68달러 선까지 까지 상승하였으며, 현재 64달러 선을 오르내리고 있다. 유가가 80달러 선을 넘어서면 기업 10곳 중 6곳은 공장문을 닫아야 한다고 전망하고 있다.

본 연구는 유가 상승에 의한 연료비 부담으로 채산성 악화의 위기에 처해 있는 수산업계 애로사항 해결을 위하여 정부 주도하에 민간 기업과 학계 등의 참여를 통하여 연료비 절감을 위한 모델시스템을 연구 개발토록 추진하게 되었다.

## 1. 서론

어족자원의 고갈, 배타적 경제수역 지정, 어획량 쿼터제 등의 호의적이지 않은 수산계의 현 상황과 지속적인 유가의 상승은 어업인들로 하여금 출어를 포기하는 등의 문제를 양산할 것이 예상된다. 또한, 고유가 시대에 수산업계의 채산성을 개선하여, 국가 경쟁력을 제고하지 않는다면 머지 않은 미래에 우리나라의 수산업계는 큰 위기에 직면하게 될 것이다. 그러나, 획기적인 대체 연료가 개발되지 못한 현실점에 유가 상승에 대응하는 대체 연료 개발은 시간과 비용의 문제점이 있고, 설사 대체 연료가 개발된다 하더라도 100년 이상 사용하여온 화석 연료 시스템을 변경하기에는 경제적 부담과 많은 혼란을 초래하게 될 것으로 예상된다.

이러한 여러 가지 여건을 고려하여 기존의 연료 시스템을 점차적으로 개선하여 궁극적으로 화석

에너지에서 대체에너지로 에너지 이용시스템이 변화되어야 할 것이다. 본 연구에서는 이러한 에너지 이용 추세에의 중간단계로서 현재 사용하고 있는 석유연료의 효율적 이용을 위하여 현재 라스팔마스 어선 기지의 원양어선 및 국내 정부시험조사선을 시험선박으로 하여 Purifier와 M.C.H (Mixing Clean Heater, 가열교반장치)를 조합한 시스템을 구성하여 중·저속 기관에서 경유 대신 혼합유 MF30급 연료를 사용할 수 있는 모델 시스템을 개발하였다.

## 2. 실선 시험

### 2.1 제 1단계 시험

예전에 트롤 어선으로 사용하던 선박을 개조하여 어업지도선으로 사용하고 있는 동해어업지도사무소 소속 무궁화24호(139톤급, 1,100BHP) 선

\* 선박검사기술협회 기술연구소

박을 대상으로 시험을 실시하였다. 시료로는 MF30급 혼합유를 육상에서 Purifier, M.C.H 및 Tandem(Purifying + M.C.H) 시스템을 통하여 정제한 정제유를 사용하였으며, 배기가스(NOx, Smoke) 측정 및 엔진성능(Pmax, 배기온도 등)을 측정하였다. 또한, 상기 정제유에 3가지의 첨가제를 각각 첨가한 유종을 별도로 시험하여 그 결과도 비교·분석하였다.

또한, 각 시스템별로 정제된 정제유의 시료를 채취하여 위탁연구기관인 목포해양대학교에서 유성상 분석을 실시하였고, 공인시험인증기관인 석유품질검사소에서 동일 시료에 대한 유성상 분석을 실시하여, 동일 시료에 대한 검증을 하고자 하였다.

## 2.2 제 2단계 시험

라스팔마스 현지에서 풍림수산(주) 소속 트롤어선 풍림12호(342톤급, 2,100BHP)에 Purifying system 및 M.C.H. system을 설치하여 운용하면서, 각각의 시스템을 활용한 연소시험 및 두 시스템을 직렬로 조합한 Tandem 시스템에 의한 연소시험을 병행하여 실시하였다. 시험 방법으로는 시료의 온도별 및 엔진 부하별로 배기가스(Smoke, NOx) 및 엔진 성능을 확인하였다. 또한, 이에 따른 결과치를 토대로 정제시스템의 운용상 문제점 및 특이사항을 분석하고, 주기관의 가장 적절한 운전조건을 도출하고자 하였다.

## 2.3 적용 범위

2.3.1 원양어선중 우선 라스팔마스 기지 대서양 조업 트롤어선

- 조업척수 : 30개사, 69척(트롤62척, 모선식 외줄낚시 7척)

- 어선통급 : 200~800톤급(주종 200~400톤급 : 84%)
- 주기관 출력 : 1,000~2,700마력(주종 2,000~2,700마력 : 52%)
- 주조업 수역 : 대서양(기니, 기니 비사우, 시에라레온, 앙골라)

### 2.3.2 근해어선중 대형선망 어선

- 조업척수 : 24개사, 168척(본선 28척, 운반선 84척, 등선56척)
- 어선통급 : 본선 129톤급, 운반선 150~250톤급, 등선50~100톤급
- 주기관 출력 : 본선 1,000~2,000마력, 운반선 700~1,800마력, 등선 300~1,200마력
- 주조업 수역 : 제주도, 대마도, 남지나해

### 2.3.3 근해어선 중 저인망류 어선

- 조업척수 : 132개사, 171척(외끌이 30척, 트롤 59척, 쌍끌이 82척)
- 어선통급 : 외끌이 60~80톤급, 쌍끌이 및 트롤 135~139톤급
- 주기관 출력 : 외끌이 300~400마력, 쌍끌이 및 트롤 1,300~1,800마력
- 주조업수역 : 서해, 동지나해

## 3. 연구 내용

### 3.1 시료유의 분석

#### 3.1.1 시료유 및 조연제의 종류

시험에 사용된 시료유는 총 14가지이다. 경유와

중유를 혼합한 원 시료인 MF30급 혼합유를 원심식 청정기(Purifier), M.C.H. 및 Tandem(Purifier + M.C.H.)를 통하여 정제한 후 조연제(A, B, C)를 첨가한 시료 12종류를 각각 TSA1, TSA2, TSA3, TSA4, TSA5, TSA6, TSA7, TSA8, TSA9, TSA10, TSA11, TSA12 라고 칭하였고, 정제전의 시료 중 경유를 TSB1, 그리고 정제전 MF30을 TSB2 로 칭하였다.

시료유의 제조에 사용된 조연제는 총 3종류이며, 각각을 조연제A, 조연제B, 그리고 조연제C 라고 칭하였다. 첨가된 조연제는 성분 및 시험 성적 결과에 의하면 연소촉진제 및 슬러지 분산제의 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

- ① TSA1 : Purifier 로 정제한 시료
- ② TSA2 : 조연제 A 첨가
- ③ TSA3 : 조연제 B 첨가
- ④ TSA4 : 조연제 C 첨가
- ⑤ TSA5 : M.C.H.로 정제한 시료
- ⑥ TSA6 : 조연제 A 첨가
- ⑦ TSA7 : 조연제 B 첨가
- ⑧ TSA8 : 조연제 C 첨가
- ⑨ TSA9 : Tandem(Purified + M.C.H.) 으로 정제한 시료
- ⑩ TSA10 : 조연제 A 첨가
- ⑪ TSA11 : 조연제 B 첨가
- ⑫ TSA12 : 조연제 C 첨가
- ⑬ TSB1 : M.G.O.(경유)
- ⑭ TSB2 : MF30급 혼합유

〈표 1〉은 이상과 같은 총 14종의 시료에 대한 성분 분석 결과표이다. 각각의 시험항목에 대한 분석 결과는 그래프와 함께 고찰하였다.

〈표 1〉 성분 시험 결과

시험 항목 시료 번호	비중	동점도	동점도	동점도	유동점 (°C)	인화점 (°C)	수분 (V/V%)	황분 (%)	혼합 안정성 등급
		@25°C (cSt)	@50°C (cSt)	@75°C (cSt)					
TSA 1	0.9187	110.1	30.90	13.62	-2.5	124	0.18	2.745	2
TSA 2	0.9227	104.2	29.64	13.10	-12.5	122	0.18	2.722	2
TSA 3	0.9227	104.5	29.68	13.17	-15.0	124			2
TSA 4	0.9227	105.9	30.12	13.30	-12.5	132			2
TSA 5	0.9227	98.82	29.36	13.06	-12.5	122	0.17	2.702	3
TSA 6	0.9227	99.44	29.44	13.14	-7.5	124	0.17	2.734	2
TSA 7	0.9227	95.84	28.96	12.94	-12.5	128			2
TSA 8	0.9227	99.02	29.79	13.16	-12.5	134			2
TSA 9	0.9283	127.7	34.72	14.58	-2.5	130	0.18	2.788	2
TSA10	0.9283	134.87	36.41	15.21	-12.5	124	0.17	2.784	2
TSA11	0.9283	141.7	38.67	15.91	-10.0	140			3
TSA12	0.9273	133.9	36.09	15.06	-12.5	124			3
TSB 1	0.8493	3.180(cSt@40°C)			-10.0	78	0.11	0.811	
TSB 2	0.9243	98.03	28.90	12.61	-7.5	142	0.23	2.700	3

### 3.1.2 비중(15/4°C)

연료유의 대표적인 물리적 특성을 나타내는 비중은 표준기압 하에서 4°C 물의 질량에 대한 비교치로서 통상적으로 같은 장소에서의 무게비로 결정된다. 일반적으로 15°C에서 측정된 값은 증류연료인 경질유는 0.7~0.9, 잔사유 등의 중질유는 0.9~1.0 정도를 나타낸다. 석유제품의 비중을 나타내는 단위로 API 비중을 사용하기도 하는데 이는 미국석유허회에서 공인되어 국제적으로 통용되고 있다.

이 시험에서 사용된 비중 시험방법은 KSM2001에 의거하였고, 시료유는 정제 전 시료유 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13종류를 분석하였다.

[그림 1]은 15°C에서 각 시료의 비중을 측정한 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 0.9243으로 나타났고, 정제 후 시료인 TSA1이 0.9187로 가장 낮은 수치를 보인 반면 TSA9, TSA10, TSA11 3종류가 동일하게 가장 높은 수치인 0.9283을 나

타내었다. 그 외 TSA2, 3, 4, 5, 6, 7, 8은 모두 동일한 수치인 0.9227을 나타내었다. 이 결과를 살펴보면 정제 전 MF30급 혼합유가 Purifier와 M.C.H.를 거치면서 비중이 소폭 감소하였고, 이것은 슬러지분 등의 제거 및 미립화로 인한 효과로 판단되어 연료유 개질(改質)에 긍정적으로 작용할 수 있다고 사료된다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4와 M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8이 거의 동일한 수치로 나타나고 있어서 두 가지 장치를 이용한 전처리에 의한 연료유 개질 효과는 뚜렷한 차이가 나지 않는 것으로 판단된다.

그러나, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, TSA10, TSA11 및 TSA12에서는 비중값이 정제 전 시료인 TSB2보다 높게 나타나 두 가지 정제 장치를 직렬로 통과 처리한 시료는 오히려 역효과를 나타내는 것으로 판단된다.

조연제에 의한 효과는 TSA1보다 조연제 첨가 후 시료인 TSA2, 3, 4가 비중이 다소 높게 나타나고, TSA5와 TSA6, 7, 8은 동일한 비중값을 보

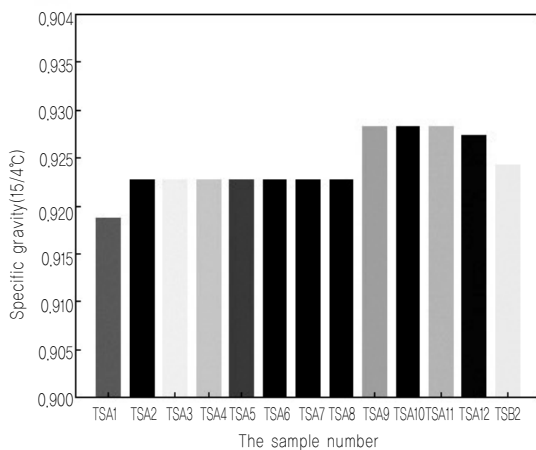
이고 있으며 TSA9와 TSA10, 11, 12도 역시 동일하거나 비슷한 값을 나타내고 있으므로 비중의 감소로 인해 판단되는 조연제의 연료유 개질 효과는 뚜렷하지 않다고 판단된다. 다만, TSA9에 비해 TSA12의 비중이 소폭 감소한 것으로 나타나므로 조연제 C의 효과는 다른 조연제에 비해 상대적으로 양호하다고 판단된다.

### 3.1.3 25℃에서의 동점도

기름의 점도는 온도 증가와 함께 급속하게 감소하는 그 자체의 유동에 대한 저항의 척도로서 연료유의 물리적 특성을 나타내는 기본적인 척도이다. 선박 연료유의 특성을 나타내는 단위는 대부분 센티스토크스(1cSt=1mm<sup>2</sup>/sec)로 측정된 동점도에 기초하여 국제적으로 거래되고 있으며 점도를 인용할 때 그것이 결정되는 온도를 함께 표시하여야 한다. 선박 연료의 점도 결정을 위하여 일반적으로 인용되는 온도는 경질유 등의 증류연료는 40℃ 그리고 잔사연료는 50℃이다.

이 시험에서는 통상적으로 상온으로 간주되는 25℃에서의 동점도를 시험하였다. 시험방법은 KSM2014에 의거하였으며, 시료유는 비중 시험과 같이 정제 전 MF30급 혼합유의 시료유인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSB12를 포함하여 총 13종류를 분석하였다.

[그림 2]는 25℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 TSB2가 가장 낮은 수치인 98.03으로 나타났고, Purifier와 M.C.H.로 정제한 시료유에 조연제 B를 혼합한 시료인 TSA11이 141.7로 가장 높은 값을 보이고 있다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4가 104.2~110.1로 비슷한 값을 보이고, M.C.H. 정제유인

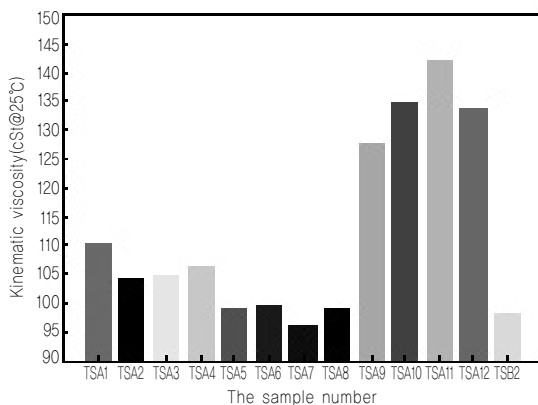


[그림 1] 비중 시험 결과

TSA5, 6, 7, 8이 95.84~99.44로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 따라서 상온인 25℃에서는 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 뚜렷하지 않으며, 오히려 Purifier와 M.C.H.를 직렬로 연결하여 정제한 시료유 TSA9, 10, 11, 12에서는 동점도가 증가하는 것으로 나타나 역효과를 나타내는 것으로 판단된다.

또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4 시험값과 M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8 시험값을 비교하여 보면, TSA5, 6, 7, 8이 다소 낮은 수치를 보이고 있어 M.C.H.에 의한 효과가 다소 우세한 것으로 판단된다.

조연제에 의한 효과는 TSA1보다 조연제 첨가 후 시료인 TSA2, 3, 4가 다소 낮은 수치를 나타내고 있는 반면, TSA5에 비해 TSA6, 7, 8은 비슷한 양상을 보이고 있어서 Purifier 정제유에서는 효과가 있지만, M.C.H. 정제유에서는 효과가 나타나지 않았다. 특히 TSA9에 비하여 TSA10, 11, 12에서는 동점도가 뚜렷하게 상승하고 있으므로 Purifier 정제 후 M.C.H.로 다시 정제한 연료유에서는 조연제 효과 또한 역효과를 나타내고 있는



[그림 2] 25℃에서의 동점도 시험 결과

것으로 판단된다.

### 3.1.4 50℃에서의 동점도

일반적으로 잔사연료유의 동점도는 50℃에서 측정된 센티스토크스(1cSt=1mm<sup>2</sup>/sec) 값을 기준으로 하여 고온 및 저온에서의 점도를 계산하여 사용한다. 앞서 밝혔던 <표 1>은 50℃에서 측정된 점도에 따른 예상 점도를 나타내고 있으며, [그림 3]은 중유의 전형적인 온도/점도표를 보여주고 있다.

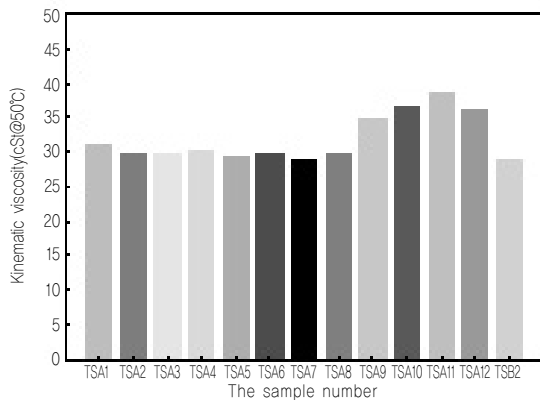
시험방법은 25℃인 경우와 동일한 KSM2014에 의거하였으며, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13종류를 분석하였다.

[그림 3]은 50℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 TSB2가 가장 낮은 수치인 28.90으로 나타났고, Purifier와 M.C.H.로 정제한 시료유에 조연제 B를 혼합한 시료인 TSA11 38.67로 가장 높은 값을 보이고 있다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4가 29.64~30.90로 비슷한 값을 보이고, M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8이 28.96~29.79로 또한 비슷한 양상을 나타내었다. 따라서 상온인 50℃에서도 앞서 25℃인 경우와 마찬가지로 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 뚜렷하지 않으며, 오히려 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, TSA10, TSA11 및 TSA12에서는 동점도가 증가하는 것으로 나타나 역효과를 나타내는 것으로 판단된다.

또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4 시험값과 M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8 시험값 모두

비슷한 값을 보이고 있으므로 두 가지 방법에 의한 연료유 개질 효과는 뚜렷한 차이가 나지 않는 것으로 판단된다.

조연제에 의한 효과는 TSA1, 2, 3, 4가 모두 비슷한 수치를 나타내고, TSA5, 6, 7, 8 또한 비슷한 양상을 보이고 있어서 Purifier 정제유 및 M.C.H. 정제유에서 그 효과가 미미한 것으로 판단된다. 하지만 TSA9에 비하여 TSA10, 11, 12에서는 동점도가 상승하고 있으므로 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 연료유에서는 25℃인 경우와 동일하게 조연제 효과 또한 역효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.



[그림 3] 50℃에서의 동점도 시험 결과

### 3.1.5 75℃에서의 동점도

일반적으로 디젤기관에 적합한 연료유의 분사 점도는 8~27cSt 정도로 규정된다. 따라서 시료유인 MF30급 혼합유의 경우에 약 75℃ 정도로 가열하면 대체로 분사에 적합한 동점도를 얻을 수 있다.

이 시험에서는 분사에 적합한 동점도를 얻을 수 있는 온도인 75℃에서 시료유의 동점도를 분석하였다. 시험방법은 25℃ 및 50℃인 경우와 동일한

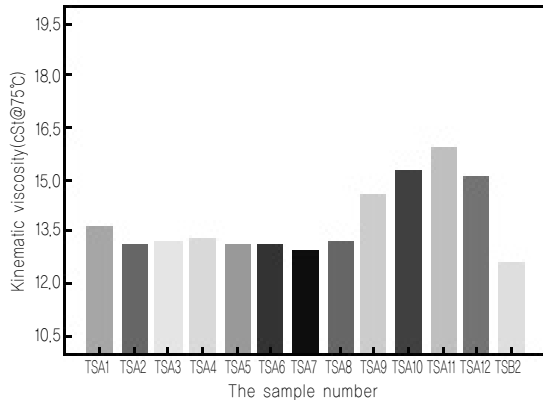
KSM2014에 의거하였으며, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13종류를 분석하였다.

[그림 4]는 75℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 TSB2가 가장 낮은 수치인 12.61으로 나타났고, Purifier와 M.C.H.로 정제한 시료유에 조연제 B를 혼합한 시료인 TSA11 15.91로 가장 높은 값을 보이고 있다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4가 13.10~13.62, M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8이 12.94~13.16으로 모두 비슷한 수치를 나타내었지만, 정제 전 시료인 TSB2보다는 다소 높은 값을 나타내었다. 따라서 분사온도인 75℃에서도 앞서 25℃ 및 50℃인 경우와 마찬가지로 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 뚜렷하지 않으며, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, TSA10, TSA11 및 TSA12에서는 동점도가 증가하는 것으로 나타나 오히려 역효과를 나타내는 것으로 판단된다.

또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4 시험값과 M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8 시험값 모두 비슷한 값을 보이고 있으므로 두 가지 방법에 의한 연료유 개질 효과는 뚜렷한 차이가 나지 않는 것으로 판단된다.

조연제에 의한 효과는 TSA1, 2, 3, 4가 모두 비슷한 수치를 나타내고, TSA5, 6, 7, 8도 또한 비슷한 양상을 보이고 있어서 앞서 25℃ 및 50℃인 경우와 마찬가지로 Purifier 정제유 및 M.C.H. 정제유에서 그 효과가 미미한 것으로 판단된다. 하지만 TSA9에 비하여 TSA10, 11, 12에서는 동점도가 상승하고 있으므로 Purifier 정제 처리 후

M.C.H.로 다시 정제한 연료유에서는 25℃ 및 50℃ 인 경우와 동일하게 조연제 효과 또한 역효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.



[그림 4] 75℃에서의 동점도 시험 결과

### 3.1.6 온도에 따른 동점도의 변화 경향

[그림 5]는 각 시료의 온도에 따른 동점도의 변화를 나타낸 그래프로 13종류의 시료에 대한 세가지 시험온도(25℃, 50℃, 75℃)에서의 동점도의 변화추이를 보여주고 있다.

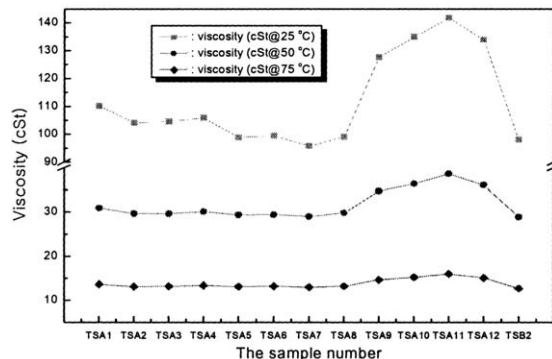
25℃인 경우를 살펴보면 TSA1부터 TSA8까지는 점차 낮아지는 경향을 보이다가 두가지 정제유를 혼합한 TSA9에서 급격히 상승하고 있으며 TSA12에서 다소 감소되는 경향을 나타내고 있다. 따라서 전술한 바와 같이 상온인 25℃에서는 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 뚜렷하지 않지만, 두 가지 정제방법 중에서는 M.C.H.에 의한 효과가 다소 우세한 것으로 판단된다. 또한 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 10, 11, 12에서는 혼합에 의한 역효과가 나타난다고 판단된다. 이러한 경향은 50℃인 경우와 75℃인 경우에서도 비슷하게 나타나고 있는데 정제 방법에 의한 효과는 두 가지 모두 비

슷하게 나타났다.

시료 TSA9~12에서와 같이 두 가지 정제 방법을 차례로 통과한 MF30급 혼합유에서 나타나는 역효과는 시험 온도가 올라갈수록 감소하는 경향을 나타냈고, 특히 75℃에서는 두드러지게 감소하였다.

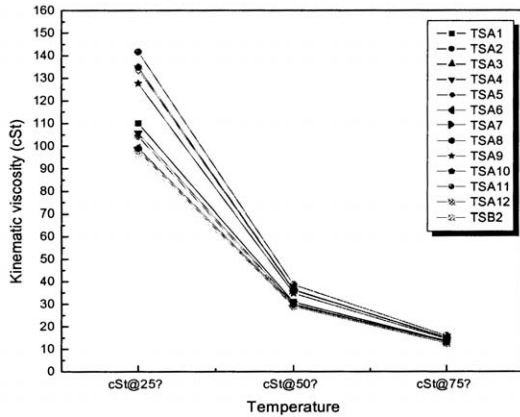
조연제 첨가로 인한 효과는 뚜렷하게 나타나고 있지는 않지만, 두 가지 정제유를 혼합한 경우에는 조연제 첨가시 오히려 동점도가 증가하는 역효과를 나타내었다. 다만, 각 시험온도에서 동일하게 TSA10과 TSA11의 동점도보다 TSA12의 동점도가 낮게 나타나고 있으므로 다른 조연제에 비해 조연제 C의 역효과는 상대적으로 미약하다고 판단된다.

[그림 6]은 각 시료별로 동점도의 변화경향을 나타낸 그래프이다. 13종의 시료 모두 비슷한 변화 경향을 나타내고 있는데, 상대적으로 낮은 온도인 25~50℃구간에서는 온도의 증가에 따라 동점도의 감소가 급격히 이루어지고 있는 양상이고, 50~75℃구간에서는 동점도의 감소율이 완만해지는 경향을 보여주고 있다. 특히 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 10, 11, 12에서는 25~50℃구간에서 온도 증가에



[그림 5] 온도에 따른 동점도의 변화

다른 동점도의 감소율이 다른 시료에 비해 더욱 크게 나타났고, 50~75℃구간에서도 다른 시료에 비해 동점도의 감소율이 크게 나타났다.



[그림 6] 각 시료별 동점도 변화 경향

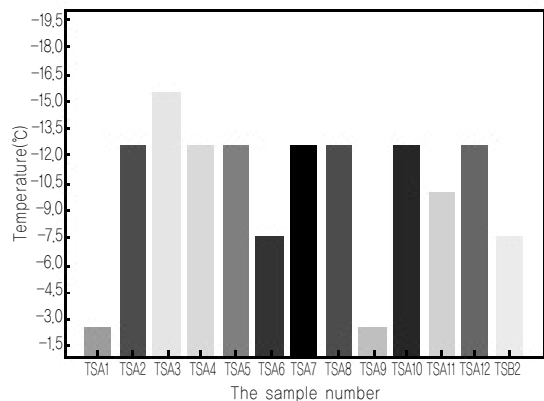
### 3.1.7 유동점

유동점은 기름이 유체로 남아있는 가장 낮은 온도이며 따라서 선내에서 취급목적에 위하여 알고 있는 것이 중요하다. 통상 응고점 또는 기름이 고체로 남아 있는 가장 높은 온도 보다 약 3℃ 정도 높은 온도이다. 일반적으로 경질유 등의 증류연료유는 6℃이하, 중질유 등의 잔사연료유는 최고 30℃ 이하까지 허용되고 있다. 유동점 시험방법은 KSM2016에 의거하였고, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13 종류를 분석하였다.

[그림 7]은 유동점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 -7.5℃를 보이고 있고, Purifier 정제유 TSA1과 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9이 -2.5℃로 가장 높은 온도, TSA1에 조연제 B를 첨가한 TSA3이 -15.0℃로 가장 낮은 온도로 나타

났다. 가장 높은 온도를 나타낸 TSA1과 TSA9 그리고 정제전과 같은 값을 나타낸 TSA6을 제외한다면 나머지 시료들은 대체로 2.5~7.5℃정도 유동점이 강하하고 있는 것으로 나타나 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 두 가지 정제 방법에서 모두 비슷한 정도로 나타나고 있다고 판단되며, 또한 두 가지 정제 방법을 직렬로 통과한 연료유에 조연제를 첨가한 TSA10, 11, 12에서도 비슷한 수치가 나타나고 있으므로 혼합에 따른 효과 또는 역효과는 없는 것으로 판단된다.

조연제에 의한 효과는 일관적이지 않고 각각 다른 양상을 보이고 있었다. Purifier 정제유 TSA1에 첨가한 조연제 A, B, C는 TSA2, 3, 4에서 10.0~12.5℃ 정도의 유동점 강하 효과를 나타낸 반면, M.C.H. 정제유 TSA5에 첨가한 조연제는 유동점 강하 효과가 없거나 유동점이 증가하는 역효과가 나타났다. 두 가지 정제유의 혼합유에서는 조연제 A, B, C 모두 7.5~10.0℃ 정도의 유동점 강하 효과가 나타났다. 따라서 유동점 강하에 미치는 조연제의 효과는 Purifier에서 정제한 혼합유 및 두가지 시스템에서 정제한 혼합유에 한하여 나타나고 있으며, 영향력의 차이는 대동소이한 것으로 판단된다.



[그림 7] 유동점 시험 결과



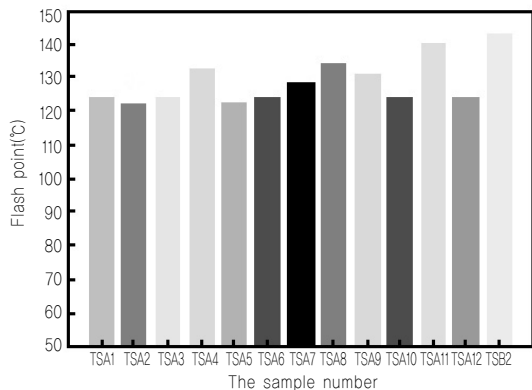
### 3.1.8 인화점

인화점은 기름이 연소할 수 있는 증기를 방출하는 가장 낮은 온도, 또는 공기/기름 증기 혼합이 화염 또는 불꽃에 의해 점화할 수 있는 가장 낮은 온도로서 정의되고 있다. 보통 중질유는 60℃ 이상을 나타내며 인화점이 낮을수록 경질유에 가까운 양질의 연료로 간주 될 수 있다. 인화점 시험방법은 KSM2010에 의거하였고, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13종류를 분석하였다.

[그림 8]은 인화점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 가장 높은 온도인 142℃를 보이고 있고, Purifier와 정제 후 조연제 A를 첨가한 TSA2와 M.C.H.로 정제한 시료유 TSA5의 인화점이 122℃로 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4가 122~132℃, M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8이 122~134℃, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 10, 11, 12가 124~140로 모두 비슷한 수치를 나타내고 있으며 이것은 정제 전 시료인 TSB2보다 2~20℃ 정도 낮은 온도 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 Purifier와 M.C.H.로 인한 개질 효과는 두 가지 정제 방법에서 모두 비슷한 정도로 나타나고 있다고 판단된다. Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 10, 11, 12에서는 한 방법으로만 정제한 다른 시료유보다 다소 높은 온도 분포를 보였는데, 다만 조연제 C를 첨가한 TSA12에서는 혼합정제유가 혼합하지 않은 정제유에 비해 8~10℃ 낮은 온도가 나타났다.

조연제에 의한 효과는 TSA1, 2, 3, 4가 모두 비

슷한 수치를 나타내고, TSA5, 6, 7, 8도 또한 비슷한 양상을 보이고 있어서 그 효과가 미미한 것으로 판단된다. 하지만 조연제 C를 첨가한 TSA4와 TSA8이 조연제를 첨가하지 않은 TSA1과 TSA5에 비하여 8~12℃ 높은 온도가 나타나고 있어 조연제 C의 첨가 효과는 소폭의 역효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.



[그림 8] 인화점 시험 결과

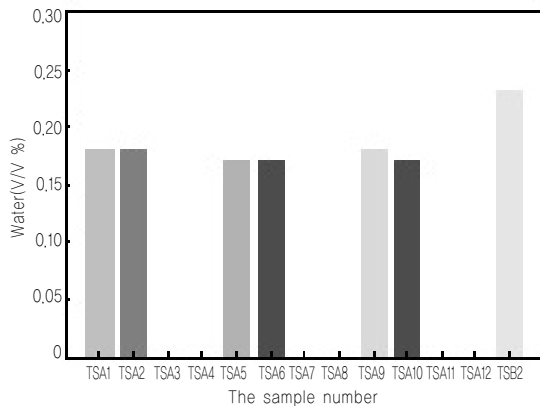
### 3.1.9 수분

물은 연료분사장치에 심각한 손상을 줄 수 있고 불충분한 연소를 일으킬 뿐만 아니라 과도한 실린더 라이너 마모를 초래할 수 있다. 물은 분리기의 적당한 작동과 적절하게 설계된 침전 및 상용(常用) 서비스 탱크에 의해서 선박 연료로부터 통상적으로 제거할 수 있다.

수분의 시험방법은 KSM9030에 의거하였으며, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 Purifier 정제유인 TSA1, 그리고 TSA1에 조연제A를 첨가한 TSA2, M.C.H. 정제유인 TSA5, 그리고 TSA5에 조연제A를 첨가한 TSA6, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 그리고 TSA9에 조연제A를 첨가한

TSA10 등 7종류를 분석하였다. 일반적으로 조연제의 첨가에 의한 수분의 제거 등은 알려져 있지 않기 때문에 조연제 B 및 C를 첨가한 시료유는 시험에서 제외하였다.

[그림 9]는 수분 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료유인 TSB2가 0.23%로 가장 높은 값을 나타냈고, 그 외 나머지 시료가 0.17~0.18%의 분포를 보이고 있어 거의 동일하였다. 따라서 Purifier와 M.C.H. 두 가지 정제방법으로 수분은 약 0.05% 정도 제거 효과가 있으며 조연제의 첨가에 의한 수분함량 변화는 없는 것으로 판단된다.



[그림 9] 수분 시험 결과

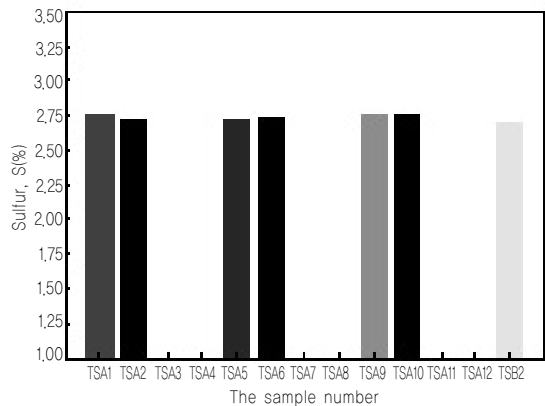
### 3.1.10 황분

일반적으로 경질유 등의 증류연료유는 최대 2.0% 이하, 중질유 등의 잔사연료유는 최대 3.5~4.5% 이하의 황분을 함유하고 있다.

황분의 시험방법은 KSM2027에 의거하였으며, 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 Purifier 정제유인 TSA1, 그리고 TSA1에 조연제A를 첨가한 TSA2, M.C.H. 정제유인 TSA5, 그리고 TSA5에 조연제A를 첨가한 TSA6, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시

료유인 TSA9, 그리고 TSA9에 조연제A를 첨가한 TSA10 등 7종류를 분석하였다. 일반적으로 조연제의 첨가에 의해 황분 등의 화학적 성분이 달라지지 않는 것으로 알려져 있기 때문에 조연제 B 및 C를 첨가한 시료유는 시험에서 제외하였다.

[그림 10]은 황분 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료유인 TSB2가 2.70%로 나타났고, 그 외 나머지 시료가 2.70~2.78%의 분포를 보이고 있어 Purifier와 M.C.H. 두 가지 정제방법 및 조연제의 첨가에 의한 황분의 성분변화는 없는 것으로 판단된다.



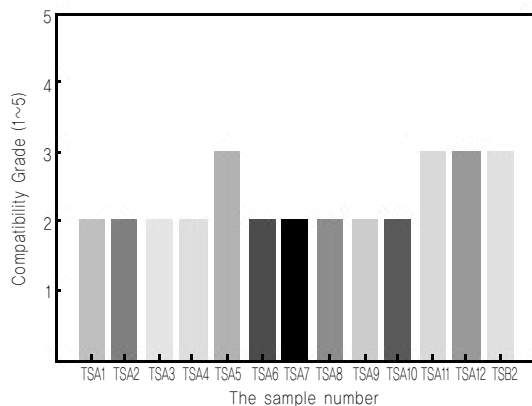
[그림 10] 황분 시험 결과

### 3.1.11 혼합안정성

혼합안정성 시험(Compatibility Test)은 경질유와 중질유가 섞였을 경우 서로 다른 두 종류의 기름이 안정되게 혼합될 수 있는가를 시험하는 것이다. 시험은 ASTM D 2781-69T에 근거하여 수행하였으며, 다섯 가지 단계에 따라 분석한다. 이때 색의 차이, 밝기 등은 고려하지 않고, 시료의 유동성을 결정적으로 판단한다. 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여

총 13종류를 분석하였다. 각 등급별로 No.1 등급은 매우 좋은 혼합성을 나타내며, No.2는 좋은 혼합성, No.3은 혼합성의 한계치를 나타낸다. No.4는 불혼합성, No.5는 전혀 혼합되지 않음을 나타낸다.

[그림 11]은 각 시료별 혼합안정성 시험 결과를 나타낸 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 3등급을 나타내고 있어 혼합안정성의 한계치를 보였고, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9에 조연제 B를 첨가한 TSA11, 조연제 C를 첨가한 TSA12 또한 3등급을 나타내었다. M.C.H. 정제유인 TSA5는 2등급 보다는 뭉침 현상이 많이 나타나고 3등급 보다는 약간 낮은 정도의 혼합안정성을 보여주고 있어서 편의상 3등급으로 분류하였다. 그 외 시료는 전반적으로 2등급 정도를 나타내고 있어서 혼합안정성에 따른 균질효과는 대체적으로 양호하였다. 다만, TSA11과 TSA12는 뚜렷한 3등급을 보여주고 있으므로 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제 처리한 연료유에 조연제 B 및 C를 첨가하는 경우에는 주의를 요한다고 판단된다.



[그림 11] 혼합안정성 시험 결과

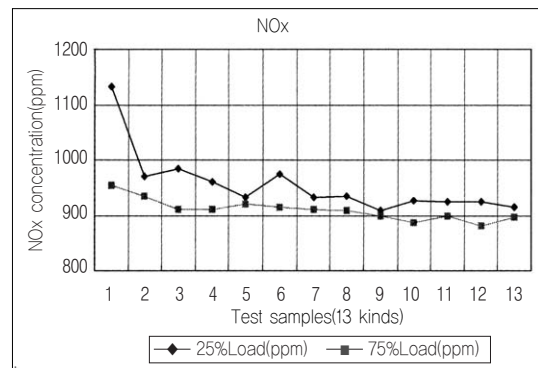
### 3.2 배기가스 분석(국내시험)

#### 3.2.1 NO<sub>x</sub> 측정 데이터

〈표 2〉 NO<sub>x</sub> measuring data

	Test samples	25% Load (ppm)	75% Load (ppm)	Remarks
1	경유(MGO)	1133 (1121)	955 (931)	( ) 안은 두 번째 측정
2	Mixing clean heater	971	934	
3	" + 조연제(A)	984	911	
4	" + 조연제(B)	960	911	
5	" + 조연제(C)	933	920	
6	Purifying system	974	915	946 (100% load)
7	" + 조연제(A)	933	911	
8	" + 조연제(B)	934	908	
9	" + 조연제(C)	908	899	
10	Purifying +Clean mixing	926	887	
11	" + 조연제(A)	925	899	
12	" + 조연제(B)	925	882	
13	" + 조연제(C)	914	898	

#### 3.2.2 NO<sub>x</sub> 농도 비교 그래프



[그림 12] NO<sub>x</sub>(ppm) measuring data at 25% and 75% loads

[그림 12]에 있는 X 축 좌표의 숫자는 〈표 2〉에

서 보이고 있는 연료의 종류를 나타내고 있으며, Y축은 NO<sub>x</sub> 농도를 나타내고 있다. X축의 숫자 1은 경유를 나타내고 있는데, 혼합유와 비교하여 전부하(25% 및 75% 부하) 영역에서 NO<sub>x</sub> 농도가 높음을 확인할 수 있다. MF30급 혼합유에 비해서 경유 사용시에 NO<sub>x</sub> 농도가 더 높은 이유는 연소실 온도가 더 높고, 높은 온도 지속시간이 더 길기 때문이라고 사료되며, 따라서 NO<sub>x</sub> 규제에 관련한 혼합유를 사용하여도 무방하리라 사

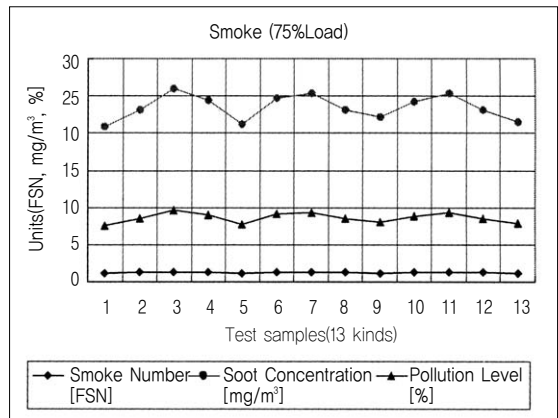
료된다. X축에서 2, 6 및 10은 각각 M.C.H., Purified system 및 Tandem system을 통한 정제유의 NO<sub>x</sub> 농도 값으로 Tandem 시스템이 다른 두 가지 장치에 비해서 가장 유리한 것으로 확인되었다. 또한 x 축 좌표의 숫자 3, 7, 11 과 4, 8, 12 및 5, 9, 13은 각각 조연제 A, B 및 C의 효과를 보여주고 있다. 여기에서는 조연제 C의 효과가 조연제 A, B에 비해서 약간 좋음을 알 수 있다.

### 3.2.3 Smoke 측정 값

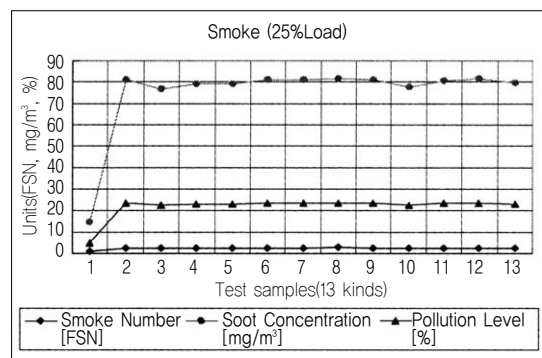
〈표 3〉 Smoke measuring data

Fuel	Load	Smoke Number [FSN]	Soot Concentration [mg/m <sup>3</sup> ]	Pollution Level [%]
1. M.G.O.(경유)	75%	1,122	20.79	7.57
	25%	0,850	14.51	4.86
2. M.C.H.	75%	1,215	23.17	8.50
	25%	2,703	81.29	23.51
3. M.C.H. + A	75%	1,322	26.04	9.57
	25%	2,619	76.74	22.66
4. M.C.H. + B	75%	1,261	24.38	8.96
	25%	2,666	79.22	23.14
5. M.C.H. + C	75%	1,137	21.16	7.72
	25%	2,662	79.04	23.09
6. Puri. (Purifying system)	75%	1,276	24.77	9.11
	25%	2,697	80.92	23.45
Puri.	100%	0,416	6.22	0.57
		0,458	6.92	0.98
7. Puri. + A	75%	1,299	25.39	9.34
	25%	2,697	80.93	23.45
8. Puri. + B	75%	1,215	23.17	8.50
	25%	2,708	81.64	23.56
9. Puri. + C	75%	1,172	22.07	8.08
	25%	2,700	81.12	23.48
10. Puri. + M.C.H.	75%	1,253	24.16	8.88
	25%	2,639	77.79	22.86
11. (Puri. + M.C.H.) + A	75%	1,296	25.31	9.31
	25%	2,670	80.90	23.41
12. (Puri. + M.C.H.) + B	75%	1,210	23.12	8.43
	25%	2,701	81.56	23.51
13. (Puri. + M.C.H.) + C	75%	1,150	21.49	7.85
	25%	2,677	79.82	23.24

### 3.2.4 Smoke 비교 그래프



〔그림 13〕 NO<sub>x</sub>(ppm) measuring data at 25% and 75% loads



〔그림 14〕 Smoke measuring data at 25% loads

[그림 13]은 75% 부하에서 Smoke 발생량을 보여주고 있다. Smoke 발생량은 Smoke number (FSN), Soot concentration(mg/m<sup>3</sup>) 및 Pollution level(%) 등 3 가지로 측정되었는데, 눈금의 폭이 가장 큰 Soot concentration(mg/m<sup>3</sup>)에 대해서 설명하고자 한다. 경유 대비 혼합유 사용시 Smoke 발생량이 약 10% 정도 상승했으나 조연제 C를 사용하면 경유 사용시와 거의 같은 수준임을 알 수 있다. [그림 14]는 25% 부하 상태에서 Smoke 발생량을 보여주고 있으며, 경유 대비 혼합유 사용시 Smoke 발생량이 약 2.5배 정도 많이 발생하고 조연제 효과도 거의 없음을 알 수 있다.

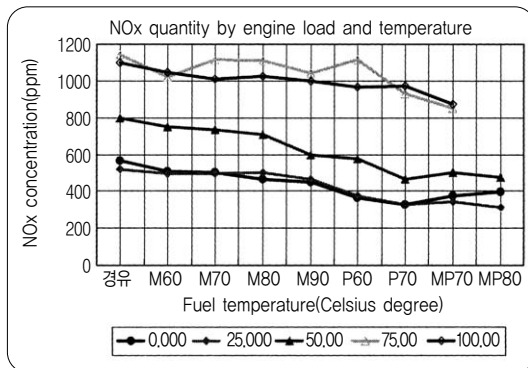
### 3.3 배기가스 분석(국외시험)

#### 3.3.1 NOx 측정 데이터

〈표 4〉 Smoke measuring data

	Fuel	Temp.	Load				
			0%	25%	50%	75%	100%
1	경유	-	563	517	800	1141	1100
2	M.C.H.	60℃	506	496	751	1018	1049
		70℃	502	497	735	1118	1008
		80℃	465	500	709	1109	1028
		90℃	450	467	595	1042	1000
3	Purified system	60℃	365	373	575	1115	967
		70℃	329	326	463	933	972
4	Tandem	70℃	375	346	504	853	870
		80℃	396	314	478		

#### 3.3.2 NOx 농도 비교 그래프

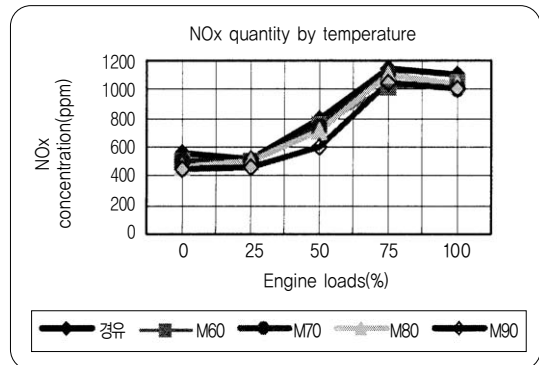


[그림 15] NOx concentration by engine load and each system for blending fuel oil

#### 3.3.2.1 엔진 부하 및 온도 변화에 따른 NOx 발생량(M.C.H., Purifier, Tandem)

[그림 15]는 엔진 부하별로 경유 및 각각의 혼합유를 전처리한 정제유의 NOx 농도를 나타내고 있다. NOx 농도는 주로 연소실의 고온·고압 조건에서 생성되며, 연료중에 포함되어 있는 질소의 산화반응에 의해서도 생성된다. 본 어선의 엔진은 300 rpm의 정속 엔진으로써 Pitch 비를 조절하여 부하를 변동시킬 수 있었으며, 고부하로 갈수록 NOx 농도가 점점 더 커짐을 알 수 있다. 위 그래프에서 보이는 바와 같이 경유를 사용했을 때 전 부하(0, 25, 50, 75, 100%) 구간에서 NOx 농도가 가장 큼을 알 수 있었다. 또한, 혼합유의 NOx 농도는 3가지 전처리 기술 사용시에 거의 유사한 수준을 나타내고 있다.

#### 3.3.2.2 M.C.H.의 온도 변화에 따른 NOx 농도



[그림 16] NOx concentration by engine load and fuel temperature of M. C. H. system

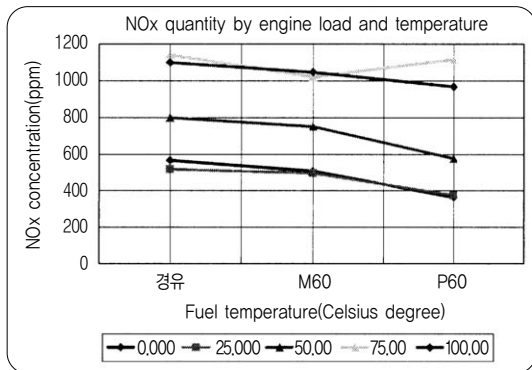
[그림 16]은 전처리 기술로써 M.C.H. system 을 사용했을 때 연료의 온도변화(60, 70, 80 and 90℃) 및 엔진의 부하변화(0, 25, 50, 75 and 100%)에 따른 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 경유 사용시와 비교하여 나타내고 있다. 혼합유를

사용했을 때가 경유를 사용했을 때 보다 전 구간(무부하에서부터 100% 부하)에 걸쳐서 NOx 농도가 낮음을 확인할 수 있으며, 연료유 온도 90°C에서 NOx 농도가 가장 낮음이 확인되었다. 그러나 MF30급 혼합유 사용했을 경우가 경유를 사용했을 경우보다 전 구간에 걸쳐서 NOx 농도가 낮으므로, 온도를 높게 하는 것도 연료 소모를 증가시키기 때문에 60°C로 조절해도 좋으리라 사료된다. 위 그래프에서 M60은 M.C.H.를 사용했을 경우의 연료유 온도를 60°C로 조절했음을 의미 한다.

### 3.3.2.3 60°C에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

[그림 17]은 M.C.H. system을 사용한 정제유와 Purifying system을 사용한 정제유를 60°C로 동일하게 조절한 상태에서, 엔진 부하를 변경하면서 경유와 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 나타내고 있다.

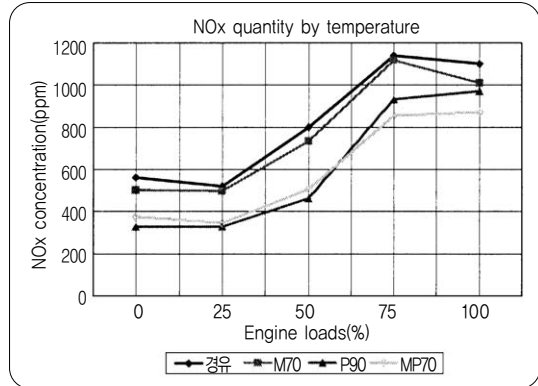
경유를 사용하였을 경우에 전 구간에 걸쳐서 NOx 농도 값이 높게 나타났으며, Purifying system을 사용한 정제유가 M.C.H. system을 사용한 정제유보다 75% 부하를 제외한 전 구간에서



[그림 17] NOx concentration by engine load and Two systems (M.C.H. & Purifying)

대체적으로 NOx 농도가 낮음을 볼 수 있다.

### 3.3.2.4 70°C에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

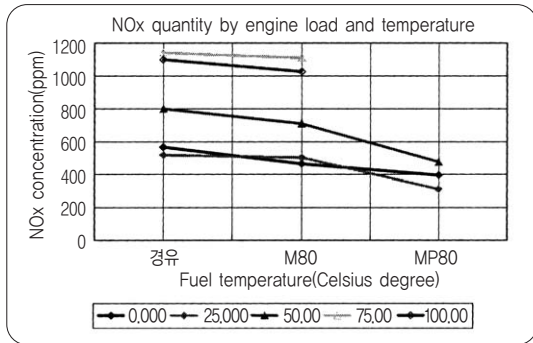


[그림 18] NOx concentration by engine load and three systems (M.C.H., Purifying and Tandem system)

[그림 18]은 전처리 기술인 3가지 시스템을 각각 사용한 정제유를 70°C로 동일한 온도로 조절된 상태에서, 엔진 부하를 변경하면서 경유와 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 보여주고 있다. 경유 사용시의 NOx 농도 값이 전 구간에 걸쳐서 가장 높게 나타났으며, Purifying system 및 Tandem system 사용시가 M.C.H. system 사용시보다 전 구간에서 걸쳐서 NOx 농도 값이 낮게 나타남을 보여주고 있다.

### 3.3.2.5 80°C에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

[그림 19]는 M.C.H. system을 사용한 정제유와 Purifying system을 사용한 정제유를 80°C로 동일하게 조절한 상태에서, 엔진 부하를 변경하면서 경유와 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 나타내고 있다. 경유 사용시가 전 구간에 걸쳐서 NOx



[그림 19] NOx concentration by engine load and Two systems (Purifying and Tandem system)

농도 값이 높게 나타났으며, Tandem system 사용시가 Purifying system 사용시 보다 전 구간에서 걸쳐서 NOx 농도 값이 적음을 알 수 있다. 그림 4.15의 (a)는 Smoke 분석기의 배기가스 채취 위치를 보여주고 있으며, (b)는 AVL Smoke Meter를 보여주고 있다.

### 3.4 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측

<표 5> 경유 사용시의 엔진부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

부 하	공회 전	1/4부 하	2/4부 하	3/4부 하	4/4부 하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.15	0.15	0.18	0.31	0.4	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	0.13	0.13	0.15	0.13	0.13	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(°C)	30.9	31.8	32.0	32.9	33.3	
배기가스 온도	#1 실린더	145	147	160	195	240
	#2 실린더	145	147	162	190	242
	#3 실린더	145	152	161	185	240
	#4 실린더	145	155	159	190	239
	#5 실린더	150	159	163	192	238
	#6 실린더	142	155	162	187	237
Pmax	#1 실린더	35	35	43	47	55
	#2 실린더	35	35	42	52	58
	#3 실린더	33	33	46	51	54
	#4 실린더	33	35	41	50	50
	#5 실린더	33	38	38	49	51
	#6 실린더	35	35	41	53	58

### 3.4.1 M.C.H System 사용시 엔진부하별 배기 가스온도 및 Pmax 추이

<표 6> MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 60°C 유지시

부 하	공회 전	1/4 부하	2/4 부하	3/4 부하	4/4 부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(°C)	57.5	61.4	59.8	58.6	57.5	
배기가스 온도	#1 실린더	150	155	180	220	270
	#2 실린더	160	160	180	210	260
	#3 실린더	150	155	170	210	255
	#4 실린더	150	150	175	190	240
	#5 실린더	150	155	170	220	280
	#6 실린더	150	150	160	170	240
Pmax	#1 실린더	37	37	41	54	78
	#2 실린더	41	38	45	53	75
	#3 실린더	38	37	47	51	78
	#4 실린더	35	36	46	53	70
	#5 실린더	35	35	47	50	65
	#6 실린더	35	38	46	56	72

<표 7> MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70°C 유지시

부 하	공회 전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.015	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(°C)	70.0	71.7	74.0	72.8	71.3	
배기가스 온도	#1 실린더	150	150	170	240	275
	#2 실린더	150	150	170	240	260
	#3 실린더	150	155	170	230	260
	#4 실린더	155	155	175	210	240
	#5 실린더	150	160	165	230	280
	#6 실린더	150	135	150	200	235
Pmax	#1 실린더	36	44	46	54	78
	#2 실린더	39	40	49	53	75
	#3 실린더	40	42	51	69	72
	#4 실린더	39	40	48	53	70
	#5 실린더	38	38	48	59	64
	#6 실린더	43	43	48	56	72

〈표 8〉 MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시

부 하	공회전	1/4 부하	2/4 부하	3/4 부하	4/4 부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.012	0.012	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(℃)	80.0	79.3	78.0	81.9	78.1	
배기가스 온도	#1 실린더	150	150	170	240	275
	#2 실린더	150	150	170	240	260
	#3 실린더	150	155	170	230	260
	#4 실린더	155	155	175	210	240
	#5 실린더	150	160	165	230	280
	#6 실린더	150	135	150	200	235
Pmax	#1 실린더	36	44	46	66	69
	#2 실린더	39	40	49	67	70
	#3 실린더	40	42	51	69	72
	#4 실린더	39	40	48	65	68
	#5 실린더	38	38	48	59	64
	#6 실린더	43	43	48	60	64

〈표 9〉 MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 90℃ 유지시

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(℃)	88.9	89.2	88.9	88.4	89.2	
배기가스 온도	#1 실린더	150	155	185	225	260
	#2 실린더	160	160	175	210	260
	#3 실린더	150	155	175	215	255
	#4 실린더	150	150	165	200	240
	#5 실린더	150	155	170	220	280
	#6 실린더	150	150	155	190	240
Pmax	#1 실린더	39	45	44	64	78
	#2 실린더	43	46	48	63	75
	#3 실린더	40	45	50	61	78
	#4 실린더	37	40	49	63	70
	#5 실린더	37	40	50	60	64
	#6 실린더	37	41	49	66	72

3.4.2 Purifying System 사용시 엔진부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

〔표 10〕 MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 60℃ 유지시 (표 4-14)

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(℃)	61.6	62.0	62.0	59.7	61.0	
배기가스 온도	#1 실린더	150	155	180	220	260
	#2 실린더	160	160	180	210	260
	#3 실린더	150	155	170	210	255
	#4 실린더	150	150	175	190	240
	#5 실린더	150	155	170	220	280
	#6 실린더	150	150	160	170	240
Pmax	#1 실린더	37	40	46	59	78
	#2 실린더	41	44	50	64	75
	#3 실린더	40	43	52	65	78
	#4 실린더	35	38	51	63	70
	#5 실린더	39	40	52	59	68
	#6 실린더	35	38	51	61	72

〈표 11〉 MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/청수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp.(℃)	70.2	70.9	71.8	71.0	70.3	
배기가스 온도	#1 실린더	160	160	170	220	260
	#2 실린더	160	150	160	210	260
	#3 실린더	160	165	160	210	255
	#4 실린더	140	145	165	190	240
	#5 실린더	150	150	170	220	280
	#6 실린더	135	140	170	170	240
Pmax	#1 실린더	37	37	54	70	78
	#2 실린더	41	41	48	67	75
	#3 실린더	45	45	52	68	75
	#4 실린더	35	36	46	65	70
	#5 실린더	40	41	47	58	68
	#6 실린더	35	38	46	60	69



3.4.3 Tandem(M.C.H.+Purifying) System 사용 시 엔진 부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

<표 12> MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/정수 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp. (℃)	69.9	70.1	70.2	70.1	70.3	
배기가스온도	#1 실린더	150	155	180	220	260
	#2 실린더	160	160	180	210	260
	#3 실린더	150	155	170	210	255
	#4 실린더	150	150	175	190	240
	#5 실린더	150	155	170	220	280
	#6 실린더	150	150	160	170	240
Pmax	#1 실린더	37	43	52	68	78
	#2 실린더	41	43	50	68	77
	#3 실린더	38	44	52	70	80
	#4 실린더	35	41	47	68	77
	#5 실린더	35	40	47	59	70
	#6 실린더	35	40	48	65	79

<표 13> MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하	
기관회전수(RPM)	300	300	300	300	300	
윤활유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
과급기 공기압력(kg/cm <sup>2</sup> )	0.01	0.015	0.018	0.025	0.045	
냉각수압력/정수(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
연료유 압력(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
연료유 기관입구 Temp. (℃)	70.2	70.9	71.8	71.0	70.3	
배기가스온도	#1 실린더	160	160	170	220	260
	#2 실린더	160	150	160	210	260
	#3 실린더	160	165	160	210	255
	#4 실린더	140	145	165	190	240
	#5 실린더	150	150	170	220	280
	#6 실린더	135	140	170	170	240
Pmax	#1 실린더	37	37	54	70	78
	#2 실린더	41	41	48	67	75
	#3 실린더	45	45	52	68	75
	#4 실린더	35	36	46	65	70
	#5 실린더	40	41	47	58	68
	#6 실린더	35	38	46	60	69

4.4.4 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측치 분석

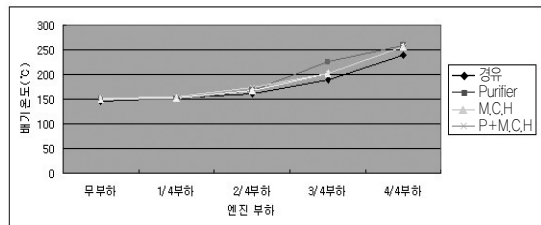
4.4.4.1 배기온도(Exg. Temp.) 계측치

풍림12호에서 M.C.H. 및 Purifying System을 설치 후 MF30급 혼합유를 정제하여 엔진에서의 연소 시험시 연료유의 엔진 Inlet Temp. 별, 엔진 부하별로 변화를 주면서 배기온도를 <표 5~11>까지 측정하였으며, 그 결과를 기통별 평균치를 구하여 아래 <표 14>와 같이 작성하였다. 경우는 상온에서의 부하별 배기온도와 각 시스템에서의 MF30급 혼합유의 엔진 Inlet Temp.를 70℃로 유지하면서 부하별로 비교한 경우를 [그림 20]의 그래프에 나타내고 있다.

<표 14> 부하별 평균 배기온도

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
경 유	145	153	161	190	239
M(E,T) 60	152	154	173	203	256
M(E,T) 70	151	151	167	225	258
M(E,T) 80	151	151	167	225	258
M(E,T) 90	152	154	171	210	256
P(E,T) 60	152	154	173	203	256
P(E,T) 70	151	152	166	203	256
M+P (E,T) 70	152	154	173	203	256
M+P (E,T) 80	152	154	173	203	256

※ M : M.C.H., P : Purifier, M+P : 두 System의 조합, (E,T) : 배기온도, 정수 : ℃



[그림 20] 부하별 평균 배기온도 그래프

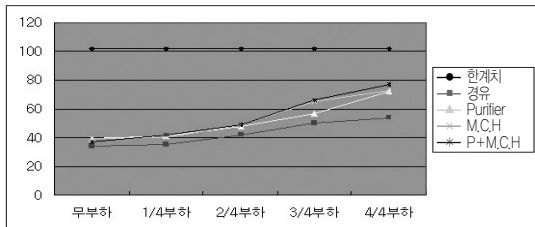
#### 4.4.4.2 Pmax 계측치

배기온도 측정 방법과 동일하게 풍림12호에서 경유 및 각 시스템의 Pmax를 측정하였으며, 그 결과를 기통별 평균치를 구하여 아래 <표 15>와 같이 작성하였다. 경유에 대해서는 상온에서 부하별로 Pmax를 측정한 결과이며, 각 시스템에 대한 MF30급 혼합유의 경우는 엔진으로 들어가는 연료의 온도를 70℃ 유지하면서 부하별로 Pmax를 계측한 결과로서, 그 결과를 서로 비교분석한 그래프가 [그림 21]과 같다. (엔진 Pmax 설계치 102kg/cm<sup>2</sup>)

<표 15> 부하별 평균 Pmax(kg /cm<sup>2</sup>)

부 하	공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
경 유	34	35	42	50	54
M(E,T) 60	37	37	45	53	73
M(E,T) 70	39	41	48	57	72
M(E,T) 80	39	41	48	64	68
M(E,T) 90	39	43	48	63	73
P(E,T) 60	38	41	50	62	74
P(E,T) 70	39	40	49	65	73
M+P(E,T) 70	37	42	49	66	77
M+P(E,T) 80	37	37	45	53	73

※ M : M.C.H., P : Purifier, M+P : 두 System의 조합, (E,T) : 배기온도, 정수 : ℃

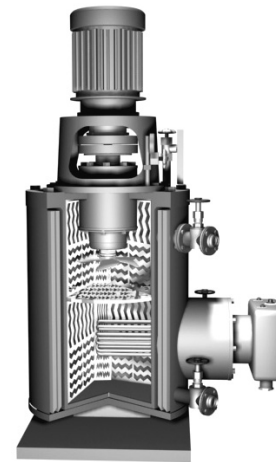
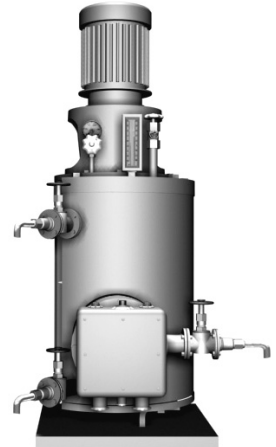


[그림 21] 부하별 평균 Pmax(kg /cm<sup>2</sup>)

## 5. 모델시스템 구축

### 5.1 M.C.H장치의 개요

M.C.H. 장치는 유남조기(주)에서 발명특허를 획득한 선박용 연료 교반가열장치로서 엔진에 사용하는 혼합유의 고형물을 미세화하고 Heater를 이용하여 혼합유에 열을 가하여 연료유의 연소 최적화를 하는 전 처리(Pre-treatment) 장치이며, 그 장치도의 외관도는 [그림 22]와 같다.



[그림 22] M.C.H.의 외관도

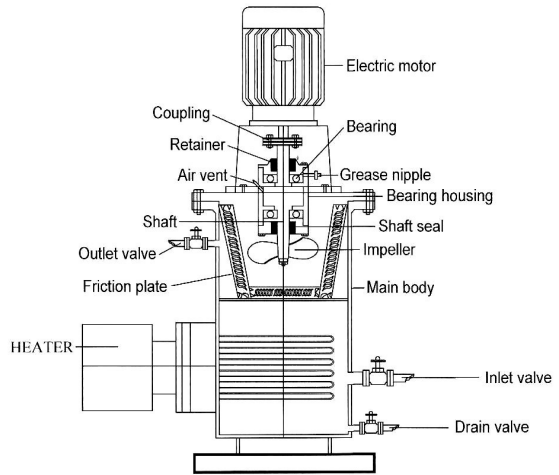
## 5.2 장치의 원리(Principle)

선박용 디젤기관의 적정 분사시의 점도는 동점도(Kinetic Viscosity mm<sup>2</sup>/sec at 50°C)에서 10~14cST이므로 M.G.O(경유)이나 M.D.O(A중유)은 가열하지 아니한 상온에서도 적정 점도가 유지되어 엔진에서의 적정 연소가 가능하다. 그러나, 이번 실험에서 사용한 MF30급 혼합유는 50°C에서 점도가 30cST이므로 엔진에서의 연소상태를 개선하기 위하여 혼합유를 가열하는 시스템을 필요로 하고 있으며, M.C.H.은 이러한 혼합유의 가열을 목적으로 제작된 가열장치이다. 또한 장치 내부에 와류충돌판(Friction Plate)를 설치하고 Screw를 회전시켜 연료유의 회전을 통하여 장치 내부의 열의 분포를 균일하게 유지하고, 연료유의 와류충돌판에 부딪히는 Splash 현상을 통하여 연료유의 고형물을 미세화 하도록 고안되었다.

## 5.3 교반기열장치(M.C.H.)의 구조

### 1) Outline

장치 내부에 설치된 Screw의 회전을 위하여 동력전달장치를 장치의 상부에 설치하였으며, Screw와는 Motor측 Shaft Coupling과 프로펠러 측 Shaft Coupling을 거쳐 수직축(Vertical Shaft)과 Screw에 연결한다. 수직축의 상, 하부에는 볼베어링이 장착되어 있으며, 본체에는 기름의 공급을 위한 입구파이프(Inlet Pipe)가 중간 지점에 설치되어 있고 출구 파이프(Outlet Pipe)는 본체 상부에 설치되어 있다. 또한, 장치 내부에는 Screw와 Heater 및 충돌와류판(Friction Plate)을 설치하였다. 장치 단면도는 [그림 23]과 같다.



[그림 23] 교반기열장치(M.C.H.)의 단면도

## 6. 결론

각 시스템(Purifying, M.C.H., Purifying + M.C.H)으로 정제한 MF30급 혼합유의 3가지 시료에 조연제 A, B, C를 각각 섞어 총 12가지 시료를 생성하였으며, 경유와 정제되지 않은 MF30급 혼합유까지 합쳐서 총 14가지의 시료에 대해서 비중, 동점도, 유동점, 인화점, 수분, 황(S) 등의 유성상에 대해서 비교·분석하였다. 그 결과 MF30 혼합유에 대한 정제전과 정제후의 유성상에는 큰 차이점이 없었을 뿐만 아니라, 각 시스템에 의한 유성상에도 차이가 거의 없는 것으로 확인되었다. 따라서, MF30급 혼합유는 조합 비율로 보면 경유 37%, MF180급 63%를 혼합(Blending)한 혼합유로서 양질의 유성상을 가지고 있는 것으로 판단된다. 또한, 조연제의 성능을 파악하기 위하여 각 시스템에서 정제된 MF30급 혼합유에 조연제 A, B, C를 혼합하여 유성상 분석 및 엔진 연소시험을 실

시하였다. 그 결과 유성상 및 배기가스( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , Smoke) 발생량은 약간의 차이는 있었지만, 오차범위에 들어올 정도로 미미하였으며, 엔진성능도 마찬가지로 조연제 종류에 따른 결과가 미미하였다. 따라서, 조연제의 효과 확인은 장기간의 시험을 통해서 그 결과를 도출하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

각 시스템에서 정제한 MF30급 혼합유를 연소 시험하여 배기가스를 분석한 결과, 질소산화물( $\text{NO}_x$ )의 발생량은 IMO에서 규제하는 국제기준치(시험 엔진의 국제규제치 14.72g/kwh, 측정치 10~11g/kwh)를 만족하는 것으로 확인되었다. 또한, 황산화물( $\text{SO}_x$ )의 발생량에 대한 IMO 규제는 사용하는 연료에 함유되어 있는 황(Sulfur)의 함량으로 규제하게 되어 있으며, 확인결과 MF30급 혼합유의 황 함유량이 국내시험에서는 2.700~2.788%, 국외시험에서는 1.26~1.56%로 국제기준치인 4.5%를 만족함을 확인할 수 있었다.

이번 연구사업에서는 저속 주기관에 대한 MF30급 혼합유의 사용 가능성을 검토하고 정제장치의 효율성을 검토하였다. 더 나아가서는 MF30급 혼합유보다 더욱더 저급한 혼합유의 사용 한계치를 규명하여야 하며, 정제시스템의 조합여부 타당성 검토 및 새로운 정제시스템을 연구 개발하는 사업이 연계되어야 할 것으로 보여진다.

## 참고문헌

1. H. Heisler, "Advanced Engine technology", 1997.
2. 최재성, "EGR 시스템을 갖춘 디젤기관의 성능 예측 프로그램 개발", 한국기계연구원 연구 보고서, 1996. 10.
3. 김종현, "IMO 대기오염방지 협약의 내용" 선박 대기오염에 관한 국내외 동향, pp. 39~50, 1999. 5
4. 손진록, "선박의 대기오염물질 배출규제 및 대책" 한국박용기관학회지, 제25권 제3호, pp. 57~70, 2001. 5
5. 이진열, "油類工學", pp. 17~143, 1998. 3, 효성출판사
6. S. N. Yoo, J. R. Son, "Successful Test and Certification in compliance with IMO  $\text{NO}_x$  Regulation-2-Stroke, Low-Speed, Crosshead Engine, 선박대기오염에 관한 국내외 동향, pp. 39~50, 1999. 5
7. MAN B&W technical report, "Emission Control for Two Stroke Low-Speed Diesel Engines"

이 논문은 해양수산부의 해양수산개발사업 연구비 지원으로 이루어진 것임을 밝힙니다.