

최 종
연구보고서

어선 연료비 절감 모델시스템 연구 개발

**A Study & Development of The Model System for Cost
Down Fuel Oil of Fishing Vessels**

2006. 2

주관연구기관 : 선박검사기술협회

위탁연구기관 : 목포해양대학교

참 여 기 업 : 유창상사, 유남조기

해 양 수 산 부

T 0011561

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “어선 연료비 절감 모델시스템 연구 개발(연구기간 : 2005.8.18~2006.2.28)” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006. 2. 28.

주관연구기관명 : 선박검사기술협회
주관연구책임자 : 강 대 선
연구원 : 박정대, 장일수,
최종해, 신길호,
박종철, 이경훈,
박한선, 강병재,
이찬재, 김인섭

위탁연구기관명 : 목포해양대학교
위탁연구책임자 : 이 돈 출
연구원 : 남정길, 한원희,
김상환, 김지근

참여기업 : 유남조기, 유창상사

요 약 문

I. 제 목 : 어선 연료비 절감 모델시스템 연구 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목적

본 연구는 국제 유가의 폭등으로 어려움을 겪고 있는 수산업계를 위하여 값싼 연료유를 사용할 수 있는 시스템을 개발함으로써 연료비 부담을 완화하는데 그 목적이 있음.

2. 필요성

고유가로 인하여 기업들의 채산성 악화가 가중되며, 국가 경쟁력의 약화로 이어질 것으로 예상된다. 이에 대비하여 에너지자원을 효율적으로 이용하고 관리하기 위한 지속적인 연구가 수행될 필요가 있음.

III. 연구개발의 내용 및 범위

○ 주관연구기관 : 선박검사기술협회 (KST)

- 책임자 : 특수연구팀장 강대선

- 연구과제 : 어선 연료비 절감 모델시스템 개발 및 종합 연구관리

- 연구범위 :

* 시험선 선정 및 각종 시험주관

* 현장 실태 파악 및 조사

* 모델시스템의 개발 및 설치방안 강구

* 모델시스템의 현장설치 및 운용 분석

* 모델시스템의 개발에 따른 경제적 효과 분석

* 모델시스템의 활용화 및 보급 방안 강구

○ 위탁연구기관 : 목포해양대학교

- 책임자 : 기관시스템공학부 부교수 이돈출

- 연구과제 : 어선용 선박 연료 성분 및 배기가스의 분석에 관한 연구

- 연구범위 :

* 선박의 연료 공급시스템에 관한 표준시스템 구축

* 선박 연료의 등급별 물성치(물리적인 특성) 분석

* 선박의 배기가스 분석 / 엔진 성능에 미치는 영향 분석

V. 연구개발 결과

○ MF30급 혼합유의 저속 주기관에 대한 사용 가능성 확인

- NOx발생량의 국제기준치의 부합 (국제기준치 : 14.72 g/kwh, 검증치 : 10~11g/kwh)

- 연료유의 황함유량(SOx)의 국제기준치의 부합 (국제기준치 : 4.5%, 검증치 : 1.26~1.56%)

○ 어선 연료비 절감 모델시스템 구축

- MF30급 혼합유 정제시스템을 통하여 적절히 전처리함으로서, MF30급 혼합유의 연소 시 각종 문제점을 최소화 함

- 모델시스템을 표준화함으로서 저속엔진을 장착한 원양, 근해 어선에 까지 설치 될 수 있도록 시스템 구축

○ 경유(M.G.O)연료공급 계통을 중유로 전환하는 기술적 노하우(Know-how) 축적으로 기술 보급 가능

○ 작업지침서에 따라 운항할 경우 엔진에 미치는 영향을 최소화함으로서, 어선 연료비 절감효과를 극대화할 수 있는 계기 마련

7. 연구개발 결과의 활용계획

○ 본 연구 결과를 토대로 관련 기업과 연계하여 근해 어선 등에 확대 보급할 수 있는 제품 개발에 활용하고, 더욱더 저급한 연료유의 사용 한계치를 검토

○ 어선의 적정 톤급(기관마력)별, 설치 공간 등을 감안한 경량 정제시스템을 연구 개발토록 하여, 경유를 사용하는 전 어선 확대 보급에 활용

○ 본 연구결과를 육상 산업시설 및 국내외 석유제품을 연료유로 사용하는 시설에 대한 연료유 절감에 기초 연구 자료로 활용

목 차

요약문	iii
목 차	v
표·그림 목차	viii
제 1 장 서언	1
1-1 연구의 필요성	3
1-1-1 연구개발의 과학기술, 사회 경제적 중요성	3
1-1-2 연구의 배경	3
1-2 연구개발의 목표 및 내용	5
1-2-1 연구 최종목표	5
1-2-2 연구의 가능성 분석	5
1-3 연구 경과 및 연구 범위.....	6
1-3-1 연구 성과	6
1-3-2 연구의 범위	7
1-4 기대효과	8
1-4-1 국제 유가 비교	8
1-4-2 국내 유가 비교	11
제 2 장 연료유	13
2-1 유류의 개요	15
2-1-1 연료의 분류.....	15
2-1-2 석유의 조성 및 성질	16
2-1-3 원유의 분류	17
2-1-4 석유중 불순물의 영향	18
2-1-5 석유의 혼합법	19
2-2 연료의 성질.....	22
2-2-1 연소	22
2-2-2 인화점, 착화점, 발화점 및 연소점과의 관계.....	23
2-2-3 경유(Gas Oil, Diesel Oil)와 중유(Heavy Fuel Oil).....	24
2-3 선박 연료유.....	35
2-3-1 연료유의 저질화	35
2-3-2 연료유의 장해	36

2-4 연료 첨가제	44
2-4-1 연료첨가제의 종류.....	44
2-4-2 선박중유 첨가제의 종류	48
제 3 장 유성상 분석	51
3-1 개요	53
3-2 연구개발 내용	53
3-2-1 선박 연료유의 일반적인 특성	54
3-3 선박 연료의 개요	58
3-3-1 선박 연료의 저질화에 따른 문제점.....	58
3-3-2 중질유와 경질유의 혼합	60
3-3-3 선박 연료의 특성 및 시험항목.....	60
3-3-4 시료유의 물리화학적 특성 분석.....	68
3-3-5 추가 시료유의 물리 화학적 특성 분석.....	96
3-3-6 소 결론	108
제 4 장 연소시험 분석.....	109
4-1 개요	111
4-2 배기 배출물의 생성 원인.....	111
4-3 배기가스 분석(국내시험).....	115
4-3-1 시험 대상 선박 및 엔진 사양.....	116
4-3-2 NOx 분석.....	118
4-3-3 Smoke 분석	122
4-4 배기가스 분석(국외시험).....	125
4-4-1 시험대상 선박 및 엔진 사양	126
4-4-2 NOx 분석.....	127
4-4-3 Smoke 분석.....	134
4-5 엔진성능 분석.....	143
4-5-1 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측.....	144
4-5-2 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측치 분석.....	153
4-6 엔진에 미치는 영향 평가.....	155
4-6-1 경유를 연료유로 사용하는 선박의 연소실 상태.....	155
4-6-2 MF30급 혼합유를 사용하는 엔진의 연소실 상태.....	156
4-7 소결론.....	158

제 5 장 모델시스템의 구축	161
5-1 Purifying System.....	163
5-1-1 Purifier의 원리.....	163
5-1-2 Purifier의 구조.....	170
5-2 교반가열장치(M.C.H.).....	176
5-2-1 장치의 개요.....	176
5-2-2 장치의 원리.....	176
5-2-3 교반가열장치(M.C.H.)의 구조.....	177
5-3 표준 모델시스템의 운용.....	182
5-3-1 개요.....	182
5-3-2 정제시스템의 구축.....	182
제 6 장 결론	195
1 연구배경 및 경과.....	197
2 연구결과.....	198
참고문헌	201
부록	203
작업지침서.....	205
경하중량 산정계산서.....	209
모델시스템 계통도.....	211

표 · 그림 목차

<표>

표 1-1 경유 및 혼합유 등급별 국제 유가 현황	8
표 1-2 원양업계 업종별 어선 및 유류소모량 현황	9
표 1-3 경유(M.G.O) 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석	10
표 1-4 원양업계 어선의 연료비 절감 효과	11
표 1-5 경유 및 혼합유 등급별 국내 유가 현황	11
표 1-6 근해업계 업종별 어선 및 유류소요량 현황	11
표 1-7 근해 어선의 경유 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석	12
표 1-8 근해업계 어선의 연료비 절감 효과	12
표 2-1 연료의 조성(W%) 및 분자량	16
표 2-2 석유의 대표적 분석값(W%)	16
표 2-3 파라핀기와 나프텐기 원유의 성상비교	18
표 2-4 혼합중유의 조제 실례	20
표 2-5 혼합안정성의 판정기준	22
표 2-6 경유(Diesel Oil)의 분류(KS M 2610-1993)	25
표 2-7 디젤기관의 회전수와 세탄값과의 관계	26
표 2-8 소요세탄값.....	28
표 2-9 중유(Fuel Oil)(KS M 2614-1993)	29
표 2-10 연료유의 ASTM 규격과 P.S규격	29
표 2-11 중유의 혼합비율	31
표 2-12 중유의 동점도 및 Redwood(RW #1)점도와와의 관계	34
표 2-13 연료유 슬러지(Sludge)의 분류	35
표 2-14 조약 연료유의 문제점과 대책	36
표 2-15 중유 첨가제의 종류 및 효과	44
표 2-16 광유의 소요 HLB 값	47
표 2-17 HLB값과 최종 용도.....	47
표 2-18 선박 중유 첨가제의 종류와 성분	58
표 3-1 Effects of heavy fuels	54

표 3-2	Cleaning recommendation	55
표 3-3	Guide for Heavy fuel oil	55
표 3-4	50℃에서 측정된 점도에 따른 예상 점도	62
표 3-5	표준 연료에 대한 전형적인 값	65
표 3-6	디젤기관에 사용되는 증류연료유 추천(CIMAC)	66
표 3-7	디젤기관에 사용되는 잔사연료유 추천(CIMAC)	67
표 3-8	성상시험결과	69
표 3-9	추가 성상시험 결과	97
표 4-1	무궁화 24호 주요 엔진 사양	117
표 4-2	Specification of portable NOx & O2 analyzer	119
표 4-3	NOx measuring data	120
표 4-4	Smoke measuring data	123
표 4-5	IMO test cycles and weighting factors to be applied	125
표 4-6	풍림12호 주요 엔진 사양	127
표 4-7	NOx measuring data	128
표 4-8	Smoke measuring data	136
표 4-9	경유 사용시의 엔진 부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이	144
표 4-10	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 60℃ 유지시	145
표 4-11	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시	146
표 4-12	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시	147
표 4-13	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 90℃ 유지시	148
표 4-14	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 60℃ 유지시	149
표 4-15	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시	150
표 4-16	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시	151
표 4-17	MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시	152
표 4-18	부하별 평균 배기온도	153
표 4-19	부하별 평균 Pmax(kg/cm ²)	154
표 5-1	취급 조건에 따른 실제 수용력	170
표 5-2	점도에 따른 윤활유	183
표 5-3	윤활유 교체 시기	184

<그림>

그림 2-1 Nozzle의 청수 냉각 계통도	40
그림 2-2 Nozzle의 HFO 냉각 계통도	41
그림 2-3 계면활성제의 분산기구	46
그림 2-4 슬러지의 형성과 분산의 모식도	49
그림 3-1 Fuel oil diagram	56
그림 3-2 Diagram for oil system	57
그림 3-3 Fuel oil - Preheating chart	57
그림 3-4 중유의 전형적인 온도/점도표	63
그림 3-5 비중 시험 결과	71
그림 3-6 25℃에서의 동점도 시험 결과	73
그림 3-7 50℃에서의 동점도 시험 결과	75
그림 3-8 75℃에서의 동점도 시험 결과	77
그림 3-9 온도에 따른 동점도의 변화	79
그림 3-10 각 시료별 동점도 변화 경향	79
그림 3-11 유동점 시험 결과	81
그림 3-12 인화점 시험 결과	83
그림 3-13 수분 시험 결과	84
그림 3-14 황분 시험 결과	85
그림 3-15 혼합안정성 시험 결과	87
그림 3-16 Spot Test	90
그림 3-17 현미경 사진(50배)	93
그림 3-18 현미경 사진(160배)	96
그림 3-19 비중 시험 결과	98
그림 3-20 50℃에서의 동점도 시험 결과	99
그림 3-21 유동점 시험 결과	100
그림 3-22 인화점 시험 결과	101
그림 3-23 수분 시험 결과	102
그림 3-24 황분 시험 결과	103
그림 3-25 혼합안정성 (Spot test)	104

그림 3-26 현미경 사진(50배)	106
그림 3-27 현미경 사진(100배)	107
그림 4-1 Components of exhaust gas for low speed diesel engine	112
그림 4-2 Photographs oh test ship	116
그림 4-3 Photographs oh test equipments	118
그림 4-4 NOx(ppm) measuring data at 25% and 75% loads	120
그림 4-5 Photographs of test equipments	122
그림 4-6 Smoke measuring data at 75% load	124
그림 4-7 Smoke measuring data at 25% load	124
그림 4-8 Photographs of test ship	126
그림 4-9 Photographs of test equipments	128
그림 4-10 NOx concentration by engine load and each system for blending fuel oil	129
그림 4-11 NOx concentration by engine load and fuel temperature of M.C.H. system	130
그림 4-12 NOx concentration by engine load and Two systems(M.C.H. & Purifying)	131
그림 4-13 NOx concentration by engine load and Three Systems(M.C.H, Purifying, Tandem system)..	132
그림 4-14 NOx concentration by engine load and Two Systems(Purifying & Tandem system).....	133
그림 4-15 Photographs of test equipments	134
그림 4-16 Smoke value by engine load and system for blending fuel oil	137
그림 4-17 Smoke value by engine load and each system for blending fuel oil	138
그림 4-18 Smoke value by engine load and each system (at 70°C)	139
그림 4-19 smoke value by variable temperature of M.C.H. system	140
그림 4-20 smoke value by variable temperature of Purifying system	141
그림 4-21 smoke value by variable temperature of Tandem system	142
그림 4-22 Pmax gauge를 이용한 최대폭발압력(Pmax) 측정	143
그림 4-23 부하별 평균 배기온도 그래프	153
그림 4-24 부하별 평균 Pmax(kg/cm ²)	154
그림 4-25 경유 사용 선박(제628동원호) 주기관 연소실 상태	156
그림 4-26 M.C.H. System 사용 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도	156
그림 4-27 연소실 내부 부식 및 마모도 등 상태 확인	157
그림 4-28 Purifier System 사용 선박의 Nozzle Tip 부분 Carbon 퇴적도	157

그림 4-29 Tandem System 운전시의 Nozzle Tip 부분 Carbon퇴적도	158
그림 5-1 원심 침강작용의 원리	164
그림 5-2 원심분리의 원리	166
그림 5-3 중력이 작용하는 U-Tube	167
그림 5-4 회전력을 가한 U-Tube	167
그림 5-5 원추 모양의 Disc	168
그림 5-6 액체의 흐름도	169
그림 5-7 Purifier 내부 구조도	171
그림 5-8 Horizontal Shaft Part 개략도	172
그림 5-9 Brake Part 개략도	172
그림 5-10 Friction Clutch 개략도	173
그림 5-11 Vertical Shaft Part의 개략도	174
그림 5-12 Bowl Part의 개략도	175
그림 5-13 Centrifugal Pump의 개략도	175
그림 5-14 M.C.H.의 개략도	176
그림 5-15 교반가열장치(M.C.H.)의 단면도	177
그림 5-16 구동용 모터	178
그림 5-17 수직축 단면도	179
그림 5-18 와류충돌판(Friction Plate) 분해도	179
그림 5-19 장치 내부에 와류충돌판의 조립 모습	180
그림 5-20 장치 내부의 와류충돌판 설치 모습	181
그림 5-21 가열장치(Heater) 외관도	181
그림 5-22 Thermometer의 외관도	182
그림 5-23 점도 대비 Purifier 처리 온도 그래프	186
그림 5-24 1차필터 및 2차필터	189
그림 5-25 2차필터(영구자석)을 이용한 이물질의 제거	189
그림 5-26 Purifying system 계통도	191
그림 5-27 M.C.H. system 계통도	192
그림 5-28 Tandem system 계통도	193

Summary

The main object of this study is to develop a system which will provide a more efficient fuel saving measure for the current fisheries industry situation caused by the increase of oil cost. For that function, the developed system has been verified using the medium of blending oil known as the MF 30 class.

With the detailed MF 30 class condition for the ship's engine, NO_x(Nitrogen Oxide) emissions and Sulfur contents had been checked whether it met the International Standard or not. A comparative analysis between the operation of M.G.O. and MF 30 class had also been conducted based on an analysis of oil composition and soot level. Moreover, this study intended to forecast specific amounts of residual oil and soot level from fuel that will be beneficial to the engine running operation.

As a result, It was confirmed that MF 30 class met the International Standard for NO_x emissions and Sulfur contents. Oil composition and soot level analysis showed that it is acceptable to use MF 30 class in condition of proper engine operating and pre-refinery treatment. In addition to these results, it is necessary that this study continues examining lower quality blended oil than MF 30 with a goal of expanding into cosat and inshore fishery.

Contents

Summary	iii
Contents	vi
Contents of Table and Picture	ix
Charter 1 Introduction	1
Section 1-1 Require of study	3
1-1-1 Science technology of study and development, social economic importance	3
1-1-2 Background of study.....	3
1-2 A goal of study and contents	5
1-2-1 A goal of study and contents.....	5
1-2-2 Possibility analysis of study	5
1-3 A Progress and range of study.....	6
1-3-1 the results of study	6
1-3-2 the range of study	7
1-4 Expected effect of study	8
1-4-1 Comparison of International oil cost	8
1-4-2 Comparison of Domestic oil cost	11
Charter 2 Fuel oil	13
2-1 Outline of fuel oil	15
2-1-1 Classification of fuel oil	15
2-1-2 Nature of gas oil	16
2-1-3 Classification of crude oil	17
2-1-4 Influence by impurities of oil	18
2-1-5 Compound way of oil	19
2-2 Nature of fuel oil	22
2-2-1 Combustion.....	22
2-2-2 The flash point, an ignition point and relation with an ignition point	23
2-2-3 Light oil and heavy oil	24
2-3 Fuel oil of a ship	35
2-3-1 Low quality of fuel oil	35
2-3-2 Troubles of fuel oil	36
2-4 fuel oil additive	44
2-4-1 A kind of fuel oil additive	44

2-4-2 A kind of heavy oil additive	48
Charter 3 Analysis of nature of oil	51
3-1 Outline	53
3-2 The Contents of study	53
3-2-1 The General characteristic of ship fuel oil	54
3-3 Outline of ship fuel oil	58
3-3-1 A Problem along low quality anger of ship fuel oil	58
3-3-2 The mixture of heavy oil and light oil	60
3-3-3 A characteristic of ship fuel oil and a test item	60
3-3-4 Physical chemistry enemy characteristic analysis of sample oil	68
3-3-5 Physical chemistry enemy characteristic analysis of additional sample oil	96
3-3-6 conclusion	108
Charter 4 Analysis of a combustion test	109
4-1 Outline	111
4-2 The generation cause of an exhaust discharge	111
4-3 Analysis of exhaust gas (a domestic test)	115
4-3-1 Ship for a test and engine refusal	116
4-3-2 Analysis of NOx	118
4-3-3 Analysis of Smoke	122
4-4 Analysis of exhaust gas (a Outside test)	125
4-4-1 A ship for test and engine refusal	126
4-4-2 Analysis of NOx	127
4-4-3 Analysis of Smoke	134
4-5 Analysis of engine performance	143
4-5-1 A measurement of Pmax and Exhaust temperature along an engine load	144
4-5-2 A measurement of Pmax and Exhaust temperature along an engine load	153
4-6 Evaluation of an influence in an engine	155
4-6-1 State of a combustion chamber of an engine using light oil	155
4-6-2 State of a combustion chamber of an engine using blending oil (MF30 class).156	
4-7 conclusion	158
Charter 5 Construction of a model system	161
5-1 Purifying system.....	163
5-1-1 The principle of purifier	163
5-1-2 Structure of purifier	170
5-2 M.C.H.	176

5-2-1 Outline of unit	176
5-2-2 The principle of unit	176
5-2-3 The Structure of M.C.H.	177
5-3 Operation of model system	182
5-3-1 Outline	182
5-3-2 Construction of a refinement system	182
Charter 6 Conclusion	195
1 The Background and progress of study	197
2 The results of study	198
reference	201
Appendix	203
work guide book	205
The results of light weight measurments	209
The diagram of model system	211

Contents of Table & Picture

<Table>

Table 1-1 Situation of international oil price of gas oil and blending oil	8
Table 1-2 The present situation of petroleum consumption and a fishing boat of the ocean industry	9
Table 1-3 Analysis of an economic effect of a gas and blending oil by use	10
Table 1-4 Effect of down cost on the deep-sea fishery	10
Table 1-5 The situation of domestic oil cost of gas and blending oil	11
Table 1-6 The situation of the petroleum consumption and fishing boat at inshore fishery	11
Table 1-7 Analysis of economic effect using gas and blending oil at inshore fishery	12
Table 1-8 Effect of down cost on the inshore fishery	12
Table 2-1 Nature(W%) and molecular weight of oil	16
Table 2-2 Representative analysis value of oil(W%)	16
Table 2-5 The decision of mixing stability	22
Table 2-6 Classification of light oil(KS M 2610-1993)	25
Table 2-7 Relation of number of rotations to diesel and cetane value	26
Table 2-8 Requirement of cetane value	28
Table 2-9 Heavy oil (KS M 2614-1993)	29
Table 2-10 ASTM and P.S standard of fuel oil	29
Table 2-11 Compounded ratio of heavy oil	31
Table 2-12 Relations of kinematic and Redwood(RW #1) viscosity	34
Table 2-13 Classification of a sludge oil generated in fuel oil	35
Table 2-14 Trouble and measures of inferior fuel oil	36
Table 2-15 A kind of a heavy oil additive and an effect	44
Table 2-16 Required HLB value of mineral oil	47
Table 2-17 HLB value and The last used	47
Table 2-18 A kind and component of heavy oil additive by ship	48
Table 3-1 Effects of heavy fuel	54
Table 3-2 Cleaning recommendation	55

Table 3-3 Guide for Heavy fuel oil	55
Table 3-4 Expected viscosity along the viscosity measured in 50 degree	62
Table 3-5 Representative value about standard fuel	65
Table 3-6 Recommendation of distillation fuel oil used by diesel engine(CIMAC)	66
Table 3-7 Recommendation of residual fuel oil used by diesel engine(CIMAC)	67
Table 3-8 Results of a test of petroleum nature	69
Table 3-9 Results of a test of petroleum nature on addition	97
Table 4-1 Specifications of engine on the ship(Mugungwhas 24)	117
Table 4-2 Specification of portable NOx & O2 analyzer	119
Table 4-3 NOx measuring data	120
Table 4-4 Smoke measuring data	123
Table 4-5 IMO test cycles and weighting factors to be applied	125
Table 4-6 Specifications of engine on the ship(poong lim 12)	127
Table 4-7 NOx measuring data	128
Table 4-8 Smoke measuring data	136
Table 4-9 change of a Exhaust gas temperature and Pmax to use light oil by engine load	144
Table 4-10 Data of an engine measured in 60°C	145
Table 4-11 Data of an engine measured in 70°C	146
Table 4-12 Data of an engine measured in 80°C	147
Table 4-13 Data of an engine measured in 90°C	148
Table 4-14 Data of an engine measured in 60°C	149
Table 4-15 Data of an engine measured in 70°C	150
Table 4-16 Data of an engine measured in 70°C	151
Table 4-17 Data of an engine measured in 80°C	152
Table 4-18 Average exhaust temperature by engine load	153
Table 4-19 Average Pmax(kg/cm ²) by engine load	154
Table 5-1 Actual ability along treatment condition	170
Table 5-2 Lubricating oil along viscosity	183
Table 5-3 The replacement times of lubricating oil	184

<Fig>

Fig 2-1 The diagram of fresh water cooling nozzle	40
Fig 2-2 The diagram of HFO colling nozzle	41
Fig 2-3 The discomposion of Surface active agents	46
Fig 2-4 The sludge formation and discomposion diagram	49
Fig 3-1 The diagram of Fuel oil	56
Fig 3-2 The diagram for oil system	57
Fig 3-3 Fuel oil - Preheating chart	57
Fig 3-4 The temperature and viscosity for tipical heavy oil	63
Fig 3-5 The result of viscosity test	71
Fig 3-6 The result of viscosity test at 25°C	73
Fig 3-7 The result of viscosity test at 50°C	75
Fig 3-8 The result of viscosity test at 75°C	77
Fig 3-9 The operation viscosity for temperature	79
Fig 3-10 The trend of viscosity variation for each sample	79
Fig 3-11 The test result of pour point	81
Fig 3-12 The test result of plashing point	83
Fig 3-13 The test result of moisture test	84
Fig 3-14 The test result of sulfer content	85
Fig 3-15 The test result of mixing stability	87
Fig 3-16 Spot Test	90
Fig 3-17 The picture of a microscope(50 times)	93
Fig 3-18 The picture of a microscope(160 times)	96
Fig 3-19 The test result of specific	98
Fig 3-20 The result of viscosity test at 50°C	99
Fig 3-21 The result of pour point	100
Fig 3-22 The result of flashing point	101
Fig 3-23 The result of moisture test	102
Fig 3-24 The result of sulfer content	103
Fig 3-25 the mixing stability(spot test)	104.
Fig 3-26 the picture of a microscope(50 times)	106
Fig 3-27 the picture of a microscope(100 times)	107
Fig 4-1 Components of exhaust gas for low speed diesel engine	112

Fig 4-2 Photographs of test ship	116
Fig 4-3 Photographs of test equipments	118
Fig 4-4 NO _x (ppm) measuring data at 25% and 75% loads	120
Fig 4-5 Photographs of test equipments	122
Fig 4-6 Smoke measuring data at 75% load	124
Fig 4-7 Smoke measuring data at 25% load	124
Fig 4-8 Photographs of test ship	126
Fig 4-9 Photographs of test equipments	128
Fig 4-10 NO _x concentration by engine load and each system for blending fuel oil	129
Fig 4-11 NO _x concentration by engine load and fuel temperature of M.C.H. system	130
Fig 4-12 NO _x concentration by engine load and Two systems(M.C.H. & Purifying)	131
Fig 4-13 NO _x concentration by engine load and Three systems(M.C.H, Purifying, Tandem system)..	132
Fig 4-14 NO _x concentration by engine load and Two systems(Purifying & Tandem system).....	133
Fig 4-15 Photographs of test equipments	134
Fig 4-16 Smoke value by engine load and system for blending fuel oil	137
Fig 4-17 Smoke value by engine load and each system for blending fuel oil	138
Fig 4-18 Smoke value by engine load and each system (at 70°C)	139
Fig 4-19 smoke value by variable temperature of M.C.H. system	140
Fig 4-20 smoke value by variable temperature of Purifying system	141
Fig 4-21 smoke value by variable temperature of Tandem system	142
Fig 4-22 The measurement of P _{max} using P _{max} gauge	143
Fig 4-23 The graph of the average exhausting temperature for load	153
Fig 4-24 Average P _{max} (kg/cm ²) for load	154
Fig 4-25 The condition of the combustion chamber of main engine for ship using M.G.O .	156
Fig 4-26 The carbon of nozzle tip for the ship with M.C.H. system	156
Fig 4-27 The conformation of combustion chamber about corrosion and wearness	157
Fig 4-28 The carbon of nozzle tip for the ship with purifying system	157
Fig 4-29 The carbon of nozzle tip for the ship with tandem system	158
Fig 5-1 The principle of centrifugal sedimentation	164
Fig 5-2 The principle of centrifugal separation	166
Fig 5-3 The U-tube that gravity works	167
Fig 5-4 The U-tube that received turning force	167
Fig 5-5 Disc of a cone shape.....	168

Fig 5-6 The liquid flow diagram	169
Fig 5-7 The internal Structure of purifier	171
Fig 5-8 The rough diagram of horizontal shaft part	172
Fig 5-9 The rough diagram of Brake Part	172
Fig 5-10 The rough diagram of Friction Clutch	173
Fig 5-11 The rough diagram of vertical Shaft Part	174
Fig 5-12 The rough diagram of Bowl Part	175
Fig 5-13 The rough diagram of Centrifugal Pump	175
Fig 5-14 The rough diagram of Mixing Clean Heater	176
Fig 5-15 The cross section of M.C.H.	177
Fig 5-16 The operating motor	178
Fig 5-17 The cross section of vertical shaft	179
Fig 5-18 The deal drawing of Friction Plate	179
Fig 5-19 The assembly of friction part in the system	180
Fig 5-20 The installation of friction part	181
Fig 5-21 The external diagram of heater	181
Fig 5-22 The external diagram of thermometer	182
Fig 5-23 The temperature-grape of purifying for viscosity	186
Fig 5-24 The 1st and 2nd filter	189
Fig 5-25 The remove of foreign substance by the 2nd filter(a magnet)	189
Fig 5-26 The diagram of Purifying system	191
Fig 5-27 The diagram of M.C.H. system	192
Fig 5-28 The diagram of tandem system	193

제 1 장 서 인

여 백

제 1 장 서 언

1-1 연구의 필요성

1-1-1 연구개발의 과학기술, 사회경제적 중요성

- 1) 21세기 선진국을 지향하는 우리나라는 에너지의 효율적인 이용과 에너지 대체산업의 육성을 위하여 산업의 경제성을 감안한 고도의 기술력을 보유하기 위하여 정부 주도아래 끊임없는 노력을 기울이고 있다. 그러나, 세계적인 고유가 시대에 비산유국인 우리나라로서는 획기적인 에너지 대체산업이 이루어지지 않는 이상 기업들의 채산성이 악화되고 이에 따른 국가 경쟁력의 약화가 날로 심화될 수 밖에 없는 실정이다.
- 2) 그러나, 이러한 고유가 시대에 국가 경쟁력을 제고하고, 각 기업들의 채산성을 강화할 수 있는 대안을 제시하기란 많은 시간을 두고, 다각적인 방법으로 연구를 모색할 수 밖에 없다. 이러한 현실에서 과연 우리는 무엇을 할 수 있을까? 라는 원초적인 질문을 하고자 한다. 획기적인 에너지 대체원을 발굴하고, 나아가서는 평생 걱정없이 사용할 수 있는 대체 에너지의 무한한 보장을 얻고자 한다. 그러나, 현 고유가 시대에 어느 누구도 획기적인 에너지 대체에 대해서는 이렇다 할 대안을 제시할 수는 없을 것으로 보여진다. 따라서, 본 연구에서는 현 사용중인 에너지의 적정한 처리를 통하여 효율적인 에너지원으로의 변경 과정을 다루었으며, 이러한 기초적인 연구들이 사회 저변으로 확대될 수 있도록 충분한 검증과 실증이 마련되어야 할 것이다.

1-1-2 연구의 배경

- 1) 국제 유가 변동에 따라 우리나라를 비롯한 주요 석유소비국들의 경제적 타격은 극심하여 경제성장률 및 물가와 경상수지는 민감한 반응을 보인다. 특히, 석유 소비국이자 생산국인 미국과 영국 등에 비해 석유 수입량이 많은 우리나라의 경우는 그 타격이 매우 극심하다. 국제 유가와 경제성장률 및 국제수지는 서로 상반된 상관관계를 갖고 있으며, 국제 유가의 상승은 부존자원이 부족할 뿐만 아니라 대부분의 원자재를 전량 수입에 의존해야 하는 우리나라와 같은 국가는 원

자재 가격의 폭등으로 국내 물가의 폭등은 물론 수출 경쟁력 약화로 국제수지 악화에 이르게 된다. 석유 산유국들과 관련된 분쟁으로 3차례(1차 위기:73.10~74, 2차 위기:79~80, 3차 위기:90.8~91.2(걸프사태))에 걸친 위기로 약 35년(1970년부터 2005년까지)동안 국제 유가변동은 매우 심하였으며, 그때마다 국내 경제는 물론 세계 경제는 엄청난 타격을 입어야 했다. 한편, 최근 이라크전으로 인하여 또다시 국제유가는 폭등을 했고, 당초의 전쟁이 단기전으로 끝날 것이란 예상과는 달리 전황이 장기 국면에 접어들면서, 전쟁 발발후 잠시 안정세를 보이던 유가는 또다시 불안한 모습을 보이고 있어 세계경제는 물론 국내 경제에도 적신호가 들어오고 있는 실정이다.

- 2) '05년 8월 30일 현재 국제 유가가 배럴당 69.84달러(WTI기준)까지 상승하였으며, 한때 배럴당 사상 최고치인 70달러를 돌파하기도 하였다. 그렇지 않아도 구조적인 수급 불균형과 중동정세 등과 같은 지정학적 요인 등으로 인해 그동안 상승 압력을 받아온 유가가 미국의 초대형 허리케인 '카트리나'에 의해 유가 급등이 더욱더 심화되었다. 그 와중에서도 미국이 곧바로 전략비축유 방출을 승인하면서 9월 5일 현재 국제 유가가 배럴당 67.57달러로 하락하였다. 그러나, 현재 70달러에 이르고 있는 유가는 연초 대비 50% 이상 상승한 수준이며, 세계 주요 유가 전망기관은 유가 전망치를 계속 상향 조정하고 있다.
- 3) 최근의 유가 상승은 미국, 중국, 인도 등 세계 경제를 주고하고 있는 국가들의 수요 증가와 더불어 산유국의 잉여 생산능력 부족에 따른 구조적인 수급 요인이 지배적인 상황이다. 게다가 유가가 최근 수년간 지속적으로 상승함에 따라 1, 2차 오일쇼크 때의 일시적 급등과 같은 쇼크로 받아 들여지지 않고, 오히려 유가 상승에 대한 내성을 갖고 있다는 점에서 고유가 지속에 따른 급격한 경기 하락과 이에 따른 유가 급락을 기대하기 어려운 상황이다.
- 4) 이번 연구사업은 상기 기술한 국제적인 유가 상승에 따라, 라스팔마스 기지에서 조업하는 원양트롤 어선 및 상대적으로 연료소비량이 많은 우리나라 근해어선들까지 운항과다에 의한 연료비 부담으로 채산성이 악화되어 전반적으로 기업이 어려운 상황에 처하게 됨에 따라 이를 개선할 수 있도록 정부 주도하에 민간 기

업과의 기술적인 협조 및 학계 등의 참여를 통하여 연료비 절감을 위한 모델시스템을 연구 개발토록 추진하게 되었다. 또한, 이를 통하여 에너지의 효율적인 이용에 대한 사회 전반적인 저변확대와 에너지 연구에 대한 기폭제가 될 수 있도록 연구가 진행될 것이다.

1-2 연구개발의 목표 및 내용

1-2-1 연구 최종목표

- 1) MF30급 혼합유를 저속기관에 사용할 수 있도록 정제장치로 사용하는 Purifier의 국산화를 유도하여 국내 기술력을 확보하고, 2005년 4월에 신기술 개발로 발명 특허를 마친 Mixing clean heater(이하 “M.C.H.이라 한다)의 성능을 검증하며, 유성상 분석 및 배기가스(NOx, SOx) 배출량을 측정하여, 국제기준 등의 만족 여부를 확인하고, Smoke 발생량을 측정하여 검댕(Soot) 발생치를 예측함으로써, 엔진에 미치는 영향을 파악토록 하였다. 또한, 모델시스템을 구축함으로써, 경유(M.G.O)를 연료유로 사용하는 선박 연료 공급시스템을 MF30급 혼합유 사용으로 전환할 수 있도록 하여, 각 선박들의 연료유에 대한 운항경비 부담을 줄이고 에너지의 효율적인 이용을 목표로 모델시스템을 연구 개발코자 하였다.
- 2) 또한, 라스팔마스 현지 트롤어선에 연료유 정제시스템을 설치하여 운용토록 하여, 시험 분석을 통한 검증을 실시토록 하고, 차후 연구사업이 연계될 수 있다면 이러한 정제시스템을 근해 어선에 적용할 수 있도록 소형 경량화한 정제시스템을 연구개발토록 한다.

1-2-2 연구의 가능성 분석

- 1) 선박용 디젤기관의 연료로서 많이 사용하고 있는 중유에는 수분, 고형분과 같은 불순물이 포함되어 있기 때문에 이것을 그대로 사용하면 연소상태가 나쁘게 되며 실린더 라이너의 마모, 연료분사 밸브의 손상 및 폐색 등을 초래한다. 따라서, 예전부터 중·대형선박에서는 중유의 성상을 개선하고 연소 능력을 최적화하기 위하여 유청정기(Purifier)를 설치하여 운용하고 있으며, 유청정기에 대해서는 수십

년간 충분한 검증 및 실증을 거쳐, 현재 중·대형선박에서는 정밀도가 높은 유청정기가 설치 운용되고 있다. 하지만, 유청정기 및 기타 유사한 청정시스템을 선박에 사용하고자 할 경우에는 시스템 및 부대시설의 설치공간이 확보되어야 하고 보수 및 정비가 용이하도록 충분한 작업공간이 확보되어야 한다. 그러나, 소형선박의 경우에 기관실 공간이 유청정기 등의 정제시스템을 설치할 수 있을 만큼 충분치 못하므로, 중·소형선박에 탑재할 수 있는 소형 정제시스템의 개발이 요구된다.

- 2) 또한, 엔진 제작사에서도 중유를 사용할 경우에 발생할 수 있는 여러가지 문제점들 때문에 경유(M.G.O) 및 A 중유(M.D.O)의 물성치를 제한하여 사용하도록 권장하고 있다. 이러한 사항에 대해서는 충분한 연구기간을 설정하여 중·장기적으로 정제시스템을 운용하면서 엔진에 미치는 영향(마모, 부식, 기타 Trouble 등)을 종합적으로 연구 진행하여 최적의 정제시스템을 활용하여 최대한의 엔진 성능을 보존할 수 있도록 추가적인 연구가 이루어져야 될 것으로 보여진다.
- 3) 따라서, 이번 연구에서는 중·대형선박에서 주로 사용하고 있는 Purifying system 과 새로이 연구 개발되어 발명특허를 마친 중질유 미립자 분쇄장치인 M.C.H.의 성능시험을 통하여 중질유의 적용여부를 확인하고자 하였으며, 정제시스템의 표준화를 위한 각종 시험을 병행하고자 하였다. 또한, 각 시스템에서 정제된 중질유의 성상을 비교·분석하고, 각 시스템에서 정제된 MF30급 혼합유의 연소시험을 통하여 배기가스 및 엔진성능을 비교 분석하여 최적의 정제시스템을 구축하고자 하였다.

1-3 연구 경과 및 연구 범위

1-3-1 연구 경과

- 1) 제 1단계 시험으로는 예전에 트롤 어선으로 사용하던 선박을 개조하여 어업지도선으로 사용하고 있는 동해어업지도사무소 소속 무궁화24호(139톤급, 1,100BHP) 선박을 대상으로 시험을 실시하였다. 시료로는 MF30급 혼합유를 육상에서 Purifier, M.C.H 및 Tandem(Purifying + M.C.H) 시스템을 통하여 정제한 정제

유를 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.

- 2) 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.
- 3) 제 2단계 시험으로 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 온도 별 및 엔진 부하별로 배기가스(Smoke, NOx) 및 엔진 성능을 확인하였다. 또한, 이에 따른 결과치를 토대로 정제시스템의 운용상 문제점 및 특이사항을 분석하고, 주기관의 가장 적정한 운전조건을 도출하고자 하였다.

1-3-2 연구범위

- 1) 원양어선중 우선 라스팔마스 기지 대서양 조업 트롤어선
 - 조업척수 : 30개사, 69척(트롤62척, 모선식외줄납시 7척)
 - 어선톤급 : 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) 근해어선중 대형선망 어선
 - 조업척수 : 24개사, 168척(본선 28척, 운반선 84척, 등선56척)
 - 어선톤급 : 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

3) 근해어선중 저인망류 어선

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

1-4 기대 효과

1-4-1 국제유가 비교

1) 경유 및 MF30급 혼합유 등급별 국제유가 현황

2005년 11월 현재 톤당 국제 유가를 살펴보면, 아래 표 1-1 과 같으며, 국제유가는 경유(M.G.O) 대비 MF30급 혼합유의 가격이 67% 수준임을 확인할 수 있었다. 단계적으로 MF120급~MF180급 혼합유를 사용 가능토록 연구가 추진된다면, 55~58% 정도의 유가 수준으로 경제적 효과가 클 것으로 보여진다.

표 1-1 경유 및 혼합유 등급별 국제유가 현황

(2005. 11월 현재, kl당)

구 분	경유	MF30	MF60	MF80	MF100	MF120	MF150	MF180
유 가 (\$)	566	379	360	345	335	327	317	310
대비율(%)	100	67	64	61	59	58	56	55

2) 원양업계 업종별 어선 및 유류소요량 현황

원양업계의 업종별 현황 및 유류 소요량을 살펴보면, 아래 표 1-2 와 같다. 총 433척의 원양어업의 유류소모량은 평균 657,082kl로 집계되었으며, 원양 어선 1척당 평균 유류소모량은 1,518kl(657,082kl/433척) 으로 조사되었다.

표 1-2 원양업계 업종별 어선 및 유류소요량 현황

(해양수산부 제공, 2004년도)

업종	척수	평균마력 (척당)	조업시간 (척당평균)	조업일수 (월평균)	조업월수 (년평균)	총소요량 (단위kl)
참치연승	182	1,253	22	26	12	273,929
참치선망	28	3,600	13	25	10	57,330
오징어 채낚기	31	1,343	16	29	8	27,045
꽁치 봉수망	20	1,133	12	26	6	7,423
북양	8	4,012	22	26	11	35,341
기지트롤	138	1,730	20	26	11	238,979
기타어업	26	1,000	13	24	12	17,035
계	433	-	-	-	-	657,082

3) 경유 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석

원양업계 어선 중 대서양 트롤어선 67척에 대한 유류소모량을 표본 조사한 결과 연간 116,024kl의 유류 소모한 결과를 확인하였으며, 이에 따른 입·출항시 및 50% 미만의 부하시에서 사용하는 경유의 사용비를 20% 정도로 감안하여, 경유(M.G.O) 사용시 대비 MF30급 혼합유 사용시의 경제적인 효과를 계산하면 아래 표 1-3 과 같다. 결과적으로 대서양 트롤어선 1척당 연간 평균 259천\$(2억7천만원)의 연료비 절감 효과를 거둘 수 있을 것으로 보여진다. 그러나, 모델시스템을 구축하기 위하여 설치되는 장치의 초기 설치비용 약 3~4천만원은 별도로 산정토록 하고, 정비지침서의 정비주기를 10%정도 앞당겨 정비를 할 경우에 경유 사용시 대비 MF30급 혼합유 사용시의 정비 보수 유지비를 1년에 약 6백만원 계상하면 대서양 트롤 어선의 연간 평균 264백만원의 연료비 절감 효과를 거둘수 있을 것으로 보여지며, 전 원양업계 어선 433척에 확대 보급할 경우에 연간 평균 1143억12백만원의 절감 효과를 거양할 수 있을 것으로 보여진다.

표 1-3 경유(M.G.O) 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석

(해양수산부 제공, '05. 11월 기준)

구 분	경 유	MF30급 혼합유		
		계	MF30급	경유 20% 사용
총 소요량(A)	116,024	116,024	92,819	23,205
유 가(B)	566\$	-	379\$	566\$
유류비 (C=A×B)	65,670천\$(D)	48,312천\$(E)	65,178천\$	13,134천\$
절감액 (F=D-E)	17,358천\$			
척당 (G=F/67)	259천\$(2억7천만원)			

※ 환율 : 1037.670원/1\$('05.11.18일 기준)

또한, 현재 원양업계에서 모델시스템을 사용하고 있는 선사의 경유 사용시 대비 MF30급 혼합유 사용에 따른 연료비 지출 내역을 근거하여 연료비 절감 효과를 표 1-4 와 같이 조사하였다.

표 1-4 원양업계 어선의 연료비 절감 효과

(단위 : 백만원)

선 사	선 명	톤급(t)	선 종	주기관		절감액
				제작사	마력(PS)	
금용수산(주)	오로라7호	349	트롤	AKASAKA	2,800	2억84
풍림수산(주)	풍림11호	353.75	“	HANSHIN	1,400	2억75
	풍림12호	341.79	“	AKASAKA	1,650	2억19
	베레솔7호	460	“	AKASAKA	2,000	3억03

1-4-2 국내유가 비교

1) 경유 및 MF30급 혼합유 등급별 국내유가 현황

2005년 11월 현재 톤당 국내 유가 현황을 살펴보면, 아래 표 1-5 와 같으며, 국내 유가는 경유(M.G.O) 대비 MF30급 혼합유의 가격이 74% 수준임을 확인할 수 있었다. 단계적으로 MF120급~MF180급 혼합유를 사용 가능토록 연구가 추진된다면, 47~50% 정도의 유가 수준으로 경제적 효과가 클 것으로 보여진다.

표 1-5 경유 및 혼합유 등급별 국내유가 현황

(대형기선저인망수협 자료 제공, kl당)

구 분	경유 (고유황)	MF30	MF60	MF80	MF100	MF120	MF150	MF180
유가(천원)	519	3.85	296	280	265	259	249	244
대비율(%)	100	74	57	54	51	50	48	47

2) 근해업계 업종별 어선 및 유류소요량 현황

근해업계의 업종별 현황 및 유류 소요량을 살펴보면, 아래 표 1-6 와 같다. 전 근해 대상 선박중 저속기관을 사용하는 업종에 대하여서만 샘플 조사를 실시하였으며, 총 87척의 근해 어선의 유류소모량은 평균 75,513kl로 집계되었고, 원양 어선 1척당 평균 유류소모량은 868kl(75,513kl / 87척)로 조사되었다.

표 1-6 근해업계 업종별 어선 및 유류소요량 현황

(대형기선저인망수협/대형선망수협 자료제공, '05년 11월)

업 종	척수	평균마력 (척당)	조업시간 (척당평균)	조업일수 (월평균)	조업월수 (년평균)	총소요량 (단위kl)
쌍끌이	18	774	22	30	10.5	17,281
트롤	20	1,370	19	30	10	27,787
대형선망	49	1,254	15	23	10	30,445
계	87	-	-	-	-	75,513

3) 근해 어선의 경유 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석

입·출항시 및 50% 미만의 부하시에 사용하는 경유의 사용비를 20% 정도로 감안하여, 경유(M.G.O) 사용시 대비 MF30급 혼합유 사용시의 경제적인 효과를 계산하면 아래 표 1-7 과 같다. 결과적으로 근해 어선의 경유(M.G.O) 사용을 MF30급 혼합유로 변경하여 사용할 경우에 근해어선 1척당 연간 평균 93백만원의 연료비 절감 효과를 거둘 수 있을 것으로 보여지며, 근해 어선 87척을 대상으로 계산하면 연간 평균 81억원의 연료비 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 보여진다.

표 1-7 근해 어선의 경유 및 MF30급 혼합유 사용시의 경제효과 분석

(단위 : kℓ)

구 분	경 유	MF30급 혼합유		
		계	MF30급	경유 20% 사용
총 소요량(A)	75,513	75,513	60,410	15,103
유 가(B)	519천원	-	385천원	519천원
유류비 (C=A×B)	392억(D)	311억(E)	233억	78억
절감액 (F=D-E)	81억원			
척당 (G=F/87)	93백만원			

또한, 현재 근해업계에서 모델시스템을 사용하고 있는 선사의 경유 사용시 대비 MF30급 혼합유 사용에 따른 연료비 지출 내역을 근거하여 연료비 절감 효과를 표 1-8 과 같이 조사하였다.

표 1-8 근해업계 어선의 연료비 절감 효과

(단위 : 백만원)

선사	선명	톤급(t)	선종	주기관		절감액
				제작사	마력(PS)	
성원수산(주)	성원711호	139	저인망	NIIGATA	1,200	1억29
	성원712호	139	저인망	"	1,200	1억29
미양수산	85미양호	120	저인망	"	1,300	2억08

제 2장 연료유

여 백

제 2장 연료유

이번 연구사업의 가장 핵심적인 부분은 연료유의 성능 개선이다. 개발된 정제시스템을 토대로 저질유의 성능을 개선하여 경유를 사용할 경우 엔진의 성능에 가깝게 엔진의 성능을 개선 보존하고자 한다. 따라서, 이 장에서는 연료유의 물성치를 파악하고, 이해함으로써 정제시스템 연구개발에 대한 이해를 돕고자 한다.

2-1 유류의 개요

연료중에서 액체연료유를 유류라고 하는데, 선박에서 사용되는 연료유 및 각종 첨가제(또는 화공약품) 등을 총칭해서 “선박유류 및 첨가제”라고 한다. 즉 선박은 국제무역에 의한 국제경쟁력이 강화되면서 대형화, 고속화 및 고출력화 되는 경향이 있고, 연료유는 값이 싼 저질중유를 사용하는 추세이다. 따라서, 본 연구에서는 유류에 대한 기본적인 개념을 파악하고, 정제시스템을 통하여 연료유의 성능을 개선하고, 엔진의 성능을 보존할 수 있는 연구에 초점을 맞춰 연구를 진행할 예정이며, 또한 첨가제(또는 화공약품)와 연료유의 반응 및 성능 개선점을 파악함으로써, 저질중유의 성능 개선을 도모하고자 한다.

2-1-1 연료의 분류

연료(fuel)란 공기중에서 용이하게 연소할 수 있고, 그 연소열을 경제적으로 이용할 수 있는 가연물의 총칭이다. 이들은 그 형태에 따라서 석탄, 목탄 등의 고체연료와 휘발유, 경유, 중유, 동물성 원료, 식물성 원료(에틸알코올), 메틸알코올 등의 액체연료 및 석유계의 액화천연가스(LNG, liquefied natural gas), 액화석유가스(LPG, liquefied petroleum gas), 천연 휘발유(NGL, natural gas liquid), 석탄가스(coke가스, 발생노가스등), 식물성 원료(목탄가스) 등의 기체연료로 대별할 수 있다. 이 연료들은 탄소와 수소가 주성분이며, 공기중의 산소와 반응하여 연소열을 이용한다. 다음에 설명하고자 하는 내용은 이 번 연구에서 시험할 내연기관의 연료로 사용되는 석유계 연료를 주로 설명하고자 한다.

표 2-1 연료의 조성(W%) 및 분자량

종 류	탄소(C)	수소(H)	산소(O), 기타	분자량(보통)
액체연료	85~87	13~15	0~2	250정도

최근에는 저질중유, 경유, 가스 등이 활용되고 있는데, 특히 선박용으로는 대형선 위주로 저질중유를 사용하고 있으며, 선박의 규모가 작아질수록 또는, 엔진의 규모가 작을수록 경유를 연료유로 사용하는 경향이 있다. 내연기관의 연료로는 제 2차 대전 직후까지만 하더라도 경유와 경질중유만을 사용하였으나, 연료에 대한 연구가 진전되고, 고유가 시대에 연료유 가격을 고려하여 저질중유를 혼합하여 사용하는 경우가 많아지고 있으며, 그에 따른 연료유 정제 기술이 급속도로 발전하고 있다.

2-1-2 석유의 조성 및 성질

석유(petroleum)는 천연적으로 생산되고, 경제적으로 이용이 가능한 가연성 유상액체(광유)이며, 그것은 정제한 제품에 이르기까지 액상 탄화수소 화합물의 총칭이다. 석유의 원소성분은 표 1-2와 같이 그 종류에 관계없이 98% 까지가 탄소(C)와 수소(H)이고, 유황(S), 질소(N), 산소(O)의 전 함량은 1~3%에 불과하다.

표 2-2 석유의 대표적 분석값(W%)

석유의 종류	탄 소	수 소	유 황	질 소	산 소
원 유(A)	86.06	13.88	0.06	-	-
원 유(B)	85.05	12.30	1.75	0.75	-
원 유(C)	84.00	12.70	0.75	1.70	1.20
휘 발 유	84.22	15.73	0.05	-	-
윤 활 유	85.12	14.87	0.01	-	-
잔사연유(A)	85.70	13.93	0.37	-	-
잔사연유(B)	87.10	12.43	0.47	-	-
잔사연유(C)	86.40	13.38	1.22	-	-

이외에 석유에 따라서는 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 마그네슘(Mg) 등의 무기화합물을 약간 함유하고 있다. 그러나 이들 유황, 질소, 산소 등은 석유내의 불순물로 취급한다. 석유는 탄소와 수소인 2종류의 원소로 구성되어 있다고 간주한다.

석유중의 탄소와 수소는 비점이 다른 수천종의 탄화수소를 형성하고 있는데, 이들을 석유계 탄화수소라 하고 다음의 4종류로 대별한다.

- 파라핀계 탄화수소
- 나프텐계 탄화수소
- 올레핀계 탄화수소
- 방향족 탄화수소

2-1-3 원유의 분류

원유는 산지에 따라서 경유분이 많은 것과 중유분이 많은 것이 있으며, 유황, 수소, 질소 등인 불순물 함량의 대소 등 그 조성에 큰 차이가 있다. 그러므로 원유를 명확하게 분류할 수는 없으나 대체로 산지에 따라 다음과 같이 분류하고 있다.

1) 파라핀기 원유(paraffin base crude oil)

이 원유는 다량의 파라핀계 탄화수소와 비교적 소량의 나프텐계 탄화수소 및 방향족 탄화수소를 함유하고 있다. 생산지로는 주로 미국산 원유인데, 특히 펜실니아주의 것이 대표적이다.

2) 나프텐기 원유(naphthene base crude oil)

이 원유는 다량의 나프텐계 탄화수소와 소량의 방향족 탄화수소, 극소량의 파라핀계 탄화수소로 구성되어 있으며, 소련의 바크 산이 대표적이다. 이 원유를 증류하면 아스팔트(asphalt)와 피치(pitch)를 남기며, 특히 아스팔트분이 많을때는 그것을 아스팔트기 원유(asphalt base crude oil)라고도 한다.

3) 혼합기 원유(mixed base crude oil)

이 원유는 전기 파라핀기와 나프텐기의 중간성상의 원유이다. 특히 중동근방의 이란, 이집트, 쿠웨이트, 이라크산은 파라핀기에 가깝고, 중남미의 베네주엘라, 멕시코, 콜롬비아산은 나프텐계에 가까운 혼합기 원유이다. 표 1-3은 파라핀기 원유와 나프텐기 원유의 성상을 비교한 것이다.

표 2-3 파라핀기와 나프텐기 원유의 성상비교

성 상	파라핀기 원유	나프텐기 원유
비 중	낮 음	높 음
직류 휘발유 수량	많 음	비교적 적음
휘발유 옥탄값	낮 음	높 음
윤회유 수량	많 음	적 음
윤회유 점도지수	높 음	낮 음
왁스 함량	비교적 많음	거의없음
취 기	박 향	자극성 취기
유 황 분	비교적 적음	많 음
색 상	비교적 맑음	암 색

2-1-4 석유중 불순물의 영향

석유중의 탄소 및 수소를 제외한 나머지 성분은 극히 소량의 불순물로 취급하는 데, 이들이 유류의 성상에 미치는 특성은 다음과 같다.

- 1) 석유중의 불순물로는 유황화합물, 산소화합물 및 질소화합물 등이 함유되어 있고, 이외에 미량의 원유중에 무기염류가 함유되어 있다. 유황화합물은 거의 모든 원유중에 함유되어 있으며 원유에 따라서는 5~10%(W)를 함유한 것도 있으나, 일반적으로는 1~2%(W) 이하를 함유하고 있다.
- 2) 원유의 유황화합물 함량은 일반적으로 파라핀기가 타기에 비해서 적고, 동일 유전의 것이라도 비중이 낮은 원유는 비중이 높은 것에 비교하여 적다
- 3) 또 유황화합물의 함량이 많은 원유는 일반적으로 불쾌한 냄새를 낸다. 가장 불쾌한 냄새를 내는 것은 저비점 및 가스상의 유황화합물이고 탄소수 6까지의 메카프탄류, 탄소수 8까지의 황화물류 및 이황화물 등이 있다.
- 4) 석유중의 유황화합물은 단지 불쾌한 냄새만을 내는 것이 아니라 연료유로

사용할 때는 다음과 같은 장해를 준다.

- ① 휘발유에 대해서는 옥탄값과 가연효과, 기관내의 퇴적물, 저장안정성 등에 악영향을 준다.
 - ② 등유에 대해서는 색상의 불안정, 악취의 증가, 연소시의 연기증가 등의 작용을 한다.
 - ③ 경유에 대해서는 세탄값(cetane number)감소 및 기관의 마모촉진에 관계한다.
 - ④ 중유에 있어서는 저장안정성 및 연소성, 가스터빈이나 보일러의 저온부식, 디젤기관의 실린더내의 오염과 마모에 나쁜 영향을 미친다.
- 5) 산소화합물과 질소화합물도 거의 모든 원유에 소량씩 함유되어 있으며, 많은 것이 산소화합물 2%(W)정도, 질소화합물 1%(W)정도 함유하고 있다. 그러나 이들은 비교적 무해한 불순물이다.
- 6) 석유중의 무기물로는 나트륨(Na), 칼륨(K), 마그네슘(Mg), 바나듐(V) 등의 염화물 및 황산염이 미량 함유되어 있으며, 이들은 연소후에 회분으로 남는다. 원유중의 회분은 보통 0.01~0.05%(W) 정도이다. 또 석유중의 회분은 실린더 라이너 등을 마모할 뿐만 아니라, 특히 바나듐염 및 나트륨염의 저융점물은 보일러 등에 고온부식의 원인이 된다.

2-1-5 석유의 혼합법

1) 중질유와 경질유의 혼합법

근년에 와서 휘발유 등의 경질유의 수용량이 급격히 증가되는데 그 절대 부족량의 보충에 분해법이 이용되고 있으므로 그 잔사유의 점도도 종래의 몇배로 증가되었다. 또한 선박에서는 경제적이고 효율적인 운전을 위해서 저질중유에 경질유를 혼합해서 발전기 등에 사용하는 경향이 있다. 중질유는 대개 많은 난용성물과 고형물을 함유하고 있으며, 고형물이 유중에 현탁되어 있으므로 일정 온도하에 비교적 안정된 소위 균일상을 형성하고 있다. 그러나, 이러한 기름에 이질유의 혼입 등으로 급격한 변화를 주면, 그 기름의 안정상태가 파괴되므로 아스팔트(asphalt, 고체 또는 반고체의 역청질 혼합물 : 나프텐계나 올레핀계의 탄화수소가 열에 의해서 탈수소 축합반응으로 형성된 점조

한 물질(C=80~90%, H=6~10%, S+O+N=0.8~8%정도의 조성을 가짐)이 석출되고 공존하는 협잡물을 포함해서 점조한 슬러지로 침강되는 경우가 흔하다. 따라서 혼유시에는 같은 계통의 기름을 혼합하고 친화성 등 적당한 조건이 구비되어야 한다. 기름을 혼유할 때는 ① 원료유의 슬러지 석출경향인 소위 혼합안정성을 미리 파악하고 ② 예비시험으로 혼합조건을 결정한 후에 시행하여야 하며 ③ 혼유는 혼합탱크에 중질유를 먼저 넣고 가열해서 양자의 점도에 접근시켜 잘 교반하면서 경질유를 혼입하여야 한다. 표 2-4는 중질유(C중유)에 경질유(A중유)를 혼합해서 A/C혼합유를 만든 예이다. 혼합유에서 생기는 슬러지 침전은 혼합 후 24시간 이내에 거의 완료된다.

표 2-4 혼합중유의 조제 실례

성상항목	경질유(A중유)	중질유(C중유)	A/C혼합유
비중(15/4℃)	0.829	0.950	0.9494
인화점(℃)	72	120	110
점도(RW #1 at 50℃)	31	1,000	490
유황분	0.6	3.7	3.3
에닐린점(℃)	71	-	-
크실렌당량	-	20	-
표면장력(10^{-3} N/M at 25℃)	27	-	-
혼합비율(%)	10	90	-

일반적으로 중질유와 경질유를 혼합하면, 다음과 같은 현상이 발생한다.

- (1) 이질유를 혼합하면 난용성물질이 많이 형성된다. 특히 분해 잔사유는 다른 기름에 난용성인 중질이고 점조한 물질을 많이 보유하고 있으므로 직류경유나 분해경유를 혼합하면 혼합하기 전보다 슬러지가 많이 형성된다. 이것은 혼합한 기름이 서로 완전히 용해될 수 없기 때문이고, 그 불용성 부분이 응집해서 침강되기 때문이다. 혼합원료유로는 직류 경유와 촉매분해 경유가 많이 사용되고 있다. 촉매 분해경유는 중질유에 혼합해도 비교

적 안정하나 열분해 경유는 대단히 불안정하게 되므로 혼유로 사용하지 않는다.

- (2) 잔사유(또는 중유라고 흔히 칭한다)에 경질유를 너무 많이 혼합하면, 잔사유중에 부유하고 있던 난용성물질의 침강 경향이 증가된다. 이것은 혼입량이 적을때에 난용성 물질이 점조한 기름에 부유하고 있지만, 저점성이 되면 쉽게 침강될 수 있기 때문이다.
- (3) 부적당한 혼유는 불안정하므로 재분리된다. 이것은 2가지 기름이 완전히 혼합되지 못하였기 때문이다. 이러한 경우는 탱크 내에서 경질유, 혼합유, 중질유의 3층으로 분리될 수 있고, 연소시는 심히 연소상태가 맥동하게 된다.

2) 혼합안정성

Butlin은 혼합안정성의 판정기준으로 중유의 용해성의 척도인 크실렌 당량(XE, xylene equivalent, 또는 flocculation ratio)과 경유의 아닐린점을 채택하였다. 경유의 아스팔트 석출력은 파라핀성이 많을수록 크고, 방향족성이 많을수록 적으므로 표준유로 파라핀유 대신에 백휘(white sprit), 방향족성유 대신에 크실렌을 채용해서 양자의 비율을 5%씩 변화시킨 혼합유로 희석유를 만든다. 이 희석유와 시료인 연료유를 1:5의 비율로 혼합해서 충분히 교반한 후에 20분간 방치하였다가 그 혼합액을 동양여과지 No.4 위에 떨어뜨려서 10분 후에 관찰한다(spot test라 함).

만약 여과지상에 흑색환이 생기지 않으면 순차로 크실렌을 5%씩을 더 많이 넣은 희석유를 사용해서 동일조작으로 환이 발생할때 까지 계속하여, 용착되지 않는 아스팔트의 방울이 나타난 직후의 혼합용제의 크실렌 %로 표시한다. 만약 흑색환이 생기지 않으면 그 시료의 XE는 0이고, 반대로 크실렌만을 사용해서 흑색환이 생기면 그 시료의 XE는 100이다. 그리고, XE=0~100의 범위에서 혼합안정성은 표 2-5와 같이 판정된다.

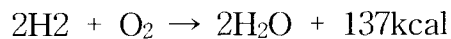
표 2-5 혼합안정성의 판정기준

XE	0~10	11~30	31~55	56~99	100이상
판정	대단히 안정	안정	약간 안정	불안정	대단히 불안정

2-2 연료의 성질

2-2-1 연소

인류는 오랜 역사를 통하여 연소라고 하는 현상을 접하여 왔는데, 이것은 다양한 온도의 조작과 연소열을 동력으로 전환하는 기술 또는 연소속도를 촉진시켜 폭발을 일으키고, 탄환의 발사 등 여러가지의 기술개발에 응용하여 왔다. 그러나, 연소라는 현상도 대단히 복잡한 화학반응이 상호작용하여 발생하는 것으로 단순한 해명으로는 이해하기 어려운 경우도 있다. 연료의 연소는 대부분이 공기중의 산소에 의해 진행되는 경우로 연료의 성분과 공기중의 산소에 의해서 진행되는 경우로 연료의 성분과 공기중의 21% 산소(즉, 공기중의 산소량은 중량비 23.01%, 체적비 20.92% 이다)가 결합하여 탄소원자는 이산화탄소로 되고, 수소원자는 물로 되는데, 이때의 반응열에서 고온도가 발생하고, 그 화학반응식은 다음과 같다.



그러나, 단지 산소나 수소만으로 연소하는 경우에는 위와 같이 간단하게 정립할 수가 없다. 왜냐하면, $H_2 \rightarrow H+H$, $O_2 \rightarrow O+O$ 라고 하는 해리가 발생하고, 이리하여 처음으로 OH, H₂O, H₂O₂ 등의 활성을 가진 프리 래디칼(free radical)이나 과산화물 등이 생성되어 이들이 서로 연쇄반응을 하여서 H₂O가 이루어지는 경우가 있기 때문이다. 또한 탄소도 일단 CO₂로 되어도 $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ 의 반응이 일어나기 쉽기 때문에 CO₂로서는 상당히 불안정한 상태이다. 이러한 단순한 반응에서도 변화가 다양한데, 탄화수소나 탄수화물, 즉 석탄, 석유, 천연가스 등의

연료를 연소시킬 경우에 중간화합물이나 분해생성물 등이 유발되어 복잡한 연쇄반응이 발생하므로 그 해명도 어렵다.

2-2-2 인화점, 착화점, 발화점 및 연소점과의 관계

연료의 연소특성을 잘 파악하기 위해서는 인화성, 연소성, 발화성 등에 대한 이해가 필요하다. 이러한 내용을 근거로 한 용어를 설명하면 다음과 같다.

1) 인화점(Flash point)

가연성 증기를 발생하는 액체와 공기의 계에 있어서 기체상 부분에 다른 불꽃이 닿았을 때 연소가 일어나는데 필요한 액체의 최저온도를 말한다. 인화점에서는 점화용인 불꽃을 제거하면 연소는 즉각 정지하므로 연소를 계속시키기 위해서는 인화점보다 조금 높은 연소점(Fire point)이상으로 가열하여 두어야 한다.

2) 착화점(Ignition point)

인화점에서 더 가열하여 불꽃을 가까이 하였을 때에 인화될 뿐만 아니라 계속해서 탈 수 있는 정도로 유기를 발생시키는 최적온도를 그 기름의 착화점이라 한다. 즉 인화점은 유중에 포함되어 있는 소량의 고휘발성 유분의 증발온도를 표시한다. 그러므로 인화점이 착화점보다 매우 낮으면 고휘발성(저인화점)의 기름이 혼입된 혼합유(Blended oil)라는 것을 알 수 있다.

3) 발화점(Ignition point)

점화점 또는 자연발화온도(Spontaneous ignition temperature)라고도 하는데, 가연성물질이나 혼합물이 연소를 개시(또는 발화)하는데 필요한 최적 가열온도를 말한다. 즉 외부의 불꽃이나 열원을 가까이 하지 않아도 스스로 타기 시작하는 최저온도로서 발화점 또는 발화온도라고도 한다.

가열에 의하여 반응속도가 증가하여 발화점에 도달하면 열의 반응 속도쪽이 열의 소비 속도보다 커져서 자체 가열을 일으켜 발화한다. 발화점의 값은 가열방법, 공기의 혼입도, 용기의 재질 또는 형태 등의 조건에 따라서 현저하게 변동하므로 물질 고유의 상수라고 볼 수 없으며, 측정법이 다른 값끼리를 서로 비교하는 것은 무의미하다고 하겠다.

4) 연소점(fire point)

착화나 발화에 의해서 연소가 개시되면 얼마후에 일정온도하에서 연소가 정상화된다. 이 정상연소온도(또는 최고연소온도라고도 한다)를 그 연료의 연소점 또는 연소온도라고 한다. 기체연료는 시종 불꽃연소를 하며, 일단 인화되면 계속하여서 연소하므로 이 연료에 대해서는 인화점이 곧 착화점이다.

따라서, 기체 연료에 대해서는 착화점이란 말을 사용하지 않고 인화점이라는 말만 사용한다. 그러나, 액체연료는 증발연소(또는 증류연소라고도 한다)하므로 착화점에 도달하기 전에는 충분한 유기를 발생시키지 못하기 때문에 인화했다고 하여도 곧 불이 꺼진다. 그러므로 이러한 연료에는 인화점과 착화점을 구별하여서 사용한다.

2-2-3 경유(gas oil, diesel oil)와 중유(heavy fuel oil)

1) 경유(gas oil, diesel fuel oil)

경유는 원유의 증류 과정에서 등유 다음으로 유출하는 석유 유분으로 비점 범위는 200~350℃, 인화점이 60~90℃, 비중이 0.86~0.887 정도이다. 경유는 원유 외에 암석유, 석탄 타르(tar), 인조석유 등에서도 제조된다. 경유라는 말은 중유에 대응하는 세법상의 용어이고, 영미에서는 가스오일(gas oil)이라 한다. 그러나, 경유의 용도는 고속디젤 연료, 버스, 트럭, 건설기계류 등의 차량 연료로 많이 사용되기 때문에 디젤유(diesel oil)라 부르는 경우도 많다. 또 경유는 디젤기관 등의 내연기관 연료에 적합한 품질의 정제원유로서 물이나 침전물이 없다. 표 2-12는 한국공업규격에 의한 종류 및 특성을 나타내고 있는데, 유황분은 0.4(W%) 이하이다. 특히 선박에서 사용하는 경유는 육상용과 다르게 MDO(Marine Diesel Oil)라고 하는데, 영미에서는 MDO를 가스오일(gas oil)이라고 하는 경우도 있다. 한국에서는 선박용 기름의 분류상 경유를 MGO(marine gas oil), 중유중 A급을 MDO(Marine diesel oil)라고 분류하여 부르고 있다.

표 2-6 경유(diesel fuel oil)의 분류(KS M 2610-1993)

성상/분류	반응	인화점 (°C)	증류성상 90%유출 온도(°C)	유동점 (°C)이하	10%잔유중 잔류탄소분 질량(%)	세탄값	동점도 30°C(cST)
특1호	중성	45이상	360이하	+5	0.1이하	45이상	2.7이상
1호			360이하	-5			2.7이상
2호			350이하	-10			2.5이상
3호			330이하	-20			2.0이상
4호			330이하	-30			1.7이상

(1) 경유(디젤유)의 요구성상

일반적으로 디젤기관을 원활히 작동시키기 위해 디젤연료에 요구되는 성상을 다음과 같이 개략적으로 나열하고, 이 연구의 주 목적인 MF30급 혼합유를 저속 디젤기관에 적용하여 그 현상을 지속적으로 확인하여야 하므로, 혼합유로 쓰이는 경유에 대해서 간단하게 살펴보기로 하겠다.

① 착화성이 충분할 것

착화성이란 연료가 기관의 연소실내에서 분사부터 착화될 때까지의 시간인데 대개 “세탄값”으로 표시한다. 즉 착화성이 나쁘면 연소실내에 분사된 연료가 연소하지 않는 상태로 다량 체류하여 한번에 폭발연소하기 때문에 연소압력이 비정상적으로 급상승하는 경우도 있다. 이러한 비정상적인 압력과는 피스톤과 실린더 벽을 쳐서 노킹(kncking)의 발생, 기관의 출력저하, 각 부분(배기밸브나 노즐 등)의 과열, 불안전연소에 의한 카아본 퇴적증가, 윤활유의 오손, 실린더의 마모증가 등의 나쁜 영향을 유발한다. 그리고, 디젤기관의 회전수와 세탄값과의 관계를 표시하면 표 2-7과 같다.

표 2-7 디젤기관의 회전수와 세탄값과의 관계

회전수(rpm)	100~200	200~400	400~800	800~1,500	1,500 이상
세탄값	15~40	30~40	35~50	45~55	50~60

즉, 회전수가 증가한 만큼 세탄값이 높은 연료유가 필요하다. 그러나 착화성에 미치는 세탄값의 영향은 옥탄가 만큼은 민감하지 않는데, 소형고속 디젤기관의 경우에는 다소 문제가 되지만 중형저속 기관에서는 큰 문제가 없다.

② 적당한 점도를 유지할 것

디젤기관의 연료유 점도는 분사노즐에서 분사되는 연료가 미립화되기 위해서는 점도가 낮아야 하고, 분사시킨 연료가 연소실에서 완전연소하기 위해서는 연료 미립자가 고온·고압의 공기에 대칭해서 연소실내의 구석 구석까지 도달할 수 있는 관통성이 요구된다. 그러기 위해서는 어느 정도 높은 점도가 요구되는데, 점도가 너무 높으면 분무 미립자경이 너무 커서 관통성은 있으나 실린더 벽면에 도달하여 액막으로 되어 오히려 연소를 저해하기도 한다. 연료분사 펌프나 분사노즐은 연료유 자신이 윤활을 하기 때문에 노즐이나 펌프 등이 고착이나 마모되지 않을 만큼의 점도가 요구된다. 실제 경유중 A 경유의 경우에는 가열장치 없이 사용이 가능하지만, B, C 경유에는 기관제조회사의 지정 분사점도에 맞도록 가열하고 있다.

③ 적당한 증류특성이 있을 것

디젤연료도 연소시에는 휘발유와 같이 증발기화하여 공기와 충분히 혼합되지 않으면 안된다. 그 때문에 연료의 휘발성이 문제가 되는데, 저비점 유분이 지나치게 많으면 분무입자의 관통력 부족이나 분무부족에 따라 노킹이나 출력저하 등의 장애가 일어날 수도 있다.

④ 유황분이 적을 것

연료중에 함유되어 있는 유황분은 연소에 따라 아류산가스(SO₂)로 되고,

그 일부가 무수황산(SO_3)이 된다. 즉, 그것이 연소생성물에서 발생한 물(H_2O)과 반응하여 황산(H_2SO_4)이 되며, 이것은 연소실내에 응축하여 부식이나 마모를 일으키고, 윤활유에 혼입하여 윤활유를 열화시킨다.

⑤ 충분한 유동성이 있을 것

유동성은 유동점과 점도에 관계되고, 외기온도가 유동점 가까이 되면 왁스(wax)가 석출되고, 파이프(pipe)나 여과기(filter) 등이 막힌다. 또한 점도가 지나치게 높으면 펌프효율이 저하되고, 필요량의 연료가 유출되지 못하는 문제가 있다. 따라서 통상 유동점은 외기온도보다 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 낮은 것을 선택할 필요가 있다.

⑥ 수분 및 험잡물이 적을 것

연료유중의 수분 및 험잡물은 제조시에는 거의 없기 때문에 그로 인한 장애는 크게 없다. 그러나 엄격한 품질관리 및 유통관리가 필요하다.

(2) 경유의 세탄값

세탄값(cetane number, CN)은 경유(디젤유)의 발화성을 표시하는 한 척도이며, CER기관을 규정조건하에 운전해서 측정한다. 이 표준연료로는 고발화성유에 세탄, 저발화성유에 알파 메칠 나프타렌의 용적비율을 혼합유로 사용하며, 세탄값은 규정조건하에서 CER기관과 비교 운전해서 시료와 동일한 발화성을 갖는 표준혼합유 중의 세탄 함유율(%)로 표시한다. 고속디젤기관의 연료는 노킹을 방지할 수 있을 만큼 높은 동시에 불안정하게 연소될 만큼 높지 않는 범위의 세탄값을 가지는 것이 필요하다. 이 세탄값을 소요 세탄값이라 하며, 주로 기관의 회전속도에 따라 결정된다. 왜냐하면 고속기관은 극히 짧은 시간내에 연소를 끝 마치지 않으면 안되므로 발화 지연의 영향이 크나, 중·저속기관은 연소기간이 비교적 길므로 발화지연의 중요성이 적게 나타나기 때문이다. 디젤기관의 소요 세탄값은 일반적으로 표 2-8과 같다.

표2-8 소요세탄값

기관종류	고속디젤기관	중속디젤기관	저속디젤기관
세탄값	40~55	30~40	20~30

2) 중유(gas oil, diesel fuel oil)

(1) 중유의 성상과 경제성

이번 연구의 최종 목표는 MF30급 혼합유의 성상을 개선하여 좀 더 나은 정제유로 성상을 개선할 수 있는 정제 모델시스템을 연구개발하는 것이므로, 특히 중유의 특성을 면밀히 파악할 필요가 있다. 중유는 종래까지 보일러나 가열로의 연료로 밖에 사용할 수 없는 것으로 생각하여 왔다. 그러나 지금은 대형의 저속디젤기관의 연료로 크게 각광을 받고 있다. 이것은 근년에 와서 석유화학공업이 급격한 발전과 육상교통수단의 급격한 팽창에 의해서 나프샤(naphtha), 휘발유, 경유 등의 경질유의 수요가 급증되어 경질유의 가격이 중질유에 비해서 현저하게 상승하였기 때문이다. 또한 선박이 고속화되므로 국제경쟁력 강화면인 가격 절감에서 중질유의 사용이 증가하였다.

① 중유의 성상

경질유의 수요증가와 가격상승은 중질유를 증류 분해하여서 그 경질유의 수요의 일부를 충당하도록 하였다. 따라서 원유에서 생기는 잔사유량도 종래의 42%에서 현재의 약 15%선까지 감소되었고, 그 반면에 잔사유의 점도(37.8℃ = 100°F)는 종래의 300~1,500SSU(260~1,300ch RW #1)에서 5,000~10,000SSU(4,300~8,500ch RW #1)까지로 높아졌으며, 원유중에 포함되었던 유황, 염류등의 많은 불순물이 그 잔사유중에 농축하게 되었다. 따라서, 이 잔사유는 대정보일러나 대형가열로에 사용하기에도 너무나 중질이므로 직류경유나 분해경유를 혼합해서 사용 가능한 중유로 만드는 데 소요되는 경유의 양이 재래의 5~10%에서 20~40% 까지로 많이 증가하였다.

특히, 이 중질유를 조제하는 잔사유에는 유황, 염류 등의 불순물이 고농축되어 있을 뿐만 아니라 고온·고압하에서 분해될 때 중합이나 축합에 의해서 생긴 불포화 탄화수소와 난용성 고분자 탄화수소가 많이 포함되어 있다. 따라서, 이 혼합중유는 저장중이나 사용중에 슬러지(Sludge)가 대단히 많이 생기므로 완전 연소시키기가 어렵고 잔류탄소, 회분, 유황분 등이 많으므로 노즐이 많이 마모되며 연소실이나 실린더내의 오손과 부식을 유발한다.

중질유는 보통 보일러유(boiler oil), 벙커유(bunker oil) 혹은 C중유 라고도 하며, 사용목적에 따라 적당히 조절한 것이므로 그 특성도 다양하고 규격도 각국마다 상이하다.

표 2-9 중유(Fuel Oil)(KS M 2614-1993)

인화점(°C)		인화점	동점도 (50°C)cst	유동점 (°C)	잔류탄소분 (무게%)	수분 및 침전물(부피%)	회분 (무게%)	황분 (무게%)
A중유	1호	60이상	20이하	5이하	8이하	0.5이하	0.05이하	2.0이하
	2호							1.6이하
	3호							0.5이하
B중유	1호	65이상	50이하	10이하	12이하	0.5이하	0.10이하	3.0이하
	2호							1.6이하
	3호							1.0이하
C중유	1호	70이상	540이하	-	-	1.0이하	1.0이하	4.0이하
	2호							1.6이하
	3호							1.0이하

표 2-10 연료유의 ASTM규격과 P.S규격

성상/종류	인화점	유동점	수분, 침강물 (이하)	잔류탄소 (10%잔류유 분중%)	회분 (%)	점도 (SSU) 100°F	점도 (SSF) 122°F	비중 API도 이상
ASTM #1	100	0	약간	0.15이하	-	-	-	35
ASTM #2	100	20	0.1	0.35이하	-	40이하	-	26
ASTM #4	130	20	0.5	-	0.1	45~125	-	-
ASTM #5	130	-	1.0	-	0.1	150이상	40이하	-

ASTM #6	150	-	2.0	-	-	-	45~30	-
P.S 300	130	-	1.0	-	-	-	25~40	-
P.S 400	150	-	2.0	-	-	-	60이하	-

표 2-9의 3종, 표 2-10의 No.5와 No.6, P.S300과 P.S400은 일본과 미국의 중유의 규격표이다.

② 저질중유의 경제성

연료소비량이 많은 대형 내연기관에서는 양질중유의 대폭적인 가격인상 등에 따라서 연료비 절감의 견지에서 저질중유를 사용하려는 움직임이 나타났다. 내연기관에 저질중유를 사용하게 된 것은 2차 세계대전중인 1942년에 영국의 Anglo-Saxson 석유회사의 J.Lamb가 연구를 개시해서 대전 후에 그 연구가 성공하여, 1947년에 12노트, 12,000톤급의 탱크 Auricula호의 대형저속기관(Werkapoor, 8실린더, 4사이클형의 115rpm, 4,000IHP)에 1,200~1,500초 RW #1, 100°F의 저질중유를 시험적으로 사용하는 데에 성공하였다.

이와 같이 저질중유는 1952년을 전후해서 대형저속 디젤기관에 본격적으로 사용하게 되었고, 이 추세에 따라서 우리나라에서는 1961년 해공(海空) 소유의 목포호(木浦號 : CIMAVI형)의 주기관에 시험적으로 사용한 것이 최초이고 대성공이었다.

또 디젤기관은 열효율이 대단히 좋으나, 비교적 소출력이고 연료유도 양질유 밖에 사용할 수 없다는 결점이 있었다. 그러나 저질중유가 대형 저속디젤기관에 사용하게 됨과 동시에 대형저속기관의 양산이 급속히 진행되어 현재에는 10만마력 이상의 엔진이 양산되고 있으며, 이에 따른 저질중유의 정제기술 또한 급속히 진전되고 있는 추세이다.

(2) 중유의 제조

① 중유의 혼합비율

중유는 일반적으로 A, B, C 3종류의 중유가 있지만 각각의 혼합비율은 표 2-11과 같다. 경유유분과 잔사유의 혼합하는 순서는 원칙적으로는 경유분

을 잔사유에 가하는데, 역으로 행하면 최종제품에 악영향을 미치는 수가 있다. 그 이유는 순서를 역행하게 되면, 잔사유중의 아스팔트분이 최종 제품의 회석도보다 상당히 높은 회석도로 급격히 침전되면, 최종 혼합에서는 충분히 교질할 것이 일부 응집하여 슬러지를 형성하기 때문이다.

표 2-11 중유의 혼합비율

종 류	A중유	B중유	C중유
경유유분(%)	99	35	10
잔 사 유(%)	1	65	90

② 중유의 조성과 안정성

중유의 조성은 그의 물성뿐만 아니라 안정성에도 큰 영향을 미친다. 중유는 일반적으로 아스팔트로 칭하는 방향족계 고분자화합물이 말텐(malthene : 석유 에테르에 녹은 아스팔트 성분)이라고 부른 유상매체에 분산하여 콜로이드(colloid : 보통의 현미경으로는 볼 수 없지만 원자나 저분자보다는 더 큰 입자로 분산되어 있는 물질의 상태)계를 구성하고 있다. 또한 탱크에 가열설비가 없는 B중유의 경우에는 탱크 밑부분에 대량의 슬러지가 침전하는 경우가 많지만 그 슬러지를 분석하여 보면, 그 주성분은 왁스와 물이고, 철녹, 모래 및 무기물 등의 건슬러지(dry sludge)라고 하는 물질이 함유되어 있다.

③ 혼합안정성

중유는 전술한 것과 같이 말텐상, 즉 아스팔트가 콜로이드상으로 분산하고 있지만 그 콜로이드는 각종의 요인으로 파괴되어 아스팔트의 응집 및 침강작용을 일으키는 경우가 있다. 이 때 다른 기름과 혼합된 것도 그의 한 요인인 데, 조성과 정제공정이 다른 2종 이상의 연료유를 혼합한 경우의 안정성을 혼합안정성이라 부른다. 혼합안정성은 중유의 제조공정에서 경질유 유분을 다량으로 혼합한 A중유~B중유의 문제로 생각되지만, 최근 선박의 외지보급시에도 똑 같은 문제가 일어나고 있다. 경질유와 잔사유를 혼합한 경

우의 혼합안정성은 경질유의 방향족성이 높은 만큼 양호하고, 또 잔사유의 용해성이 클수록 우수하다.

④ 열안정성

중유의 열안정성은 연료계통의 가열기 등의 고온부에 있어서 연료가 변질하고, 아스팔트량이 증가하는 것과 그것이 가열전달면에 부착한 탄소질로 변화하여 장애를 일으키는 지표로 되는 중요한 항목이다.

열안정성은 일반적으로 NBTL Heater Test라고 부르는 시험법으로 평가되고 있는데 NBTL Heater Test는 연료유를 강제가열기에서 177℃로 가열하고, 가열관 표면의 오손 정도에 의해 판정하는 방법이다. 이 시험법은 미해군 보일러 연료의 가열기 오손경향을 판정하기 위해서 MIL 규격으로 규정하고 있는 것으로 1959년 ASTM에서 채용되어 현재에 이르고 있다.

⑤ 중유의 성상 분석기준

- 회분

회분은 연료내의 무기물성 불순물의 척도이다. 전형적으로 이들은 모래, 니켈, 알루미늄, 실리콘, 나트륨 그리고 바나듐이다. 가장 문제로 되는 것은 나트륨과 바나듐이며 이들은 황화나트륨과 산화바나듐의 혼합물을 생성하고, 이들은 엔진의 부품, 특히 배기밸브에 녹아서 달라붙게 된다.

- 황 성분

이는 연소에는 영향이 없지만 높은 수준의 황은 산의 생성 때문에 위험할 수 있다. 근년에는 황의 함유량만큼 실린더 라이너의 마모도 같이 일어나는 경향이 있다.

- 물 성분

이는 기름의 주어진 샘플에 있어서의 물의 함량이며 일반적으로 원심분리기나 증류에 의해서 결정된다.

- 담점

기름의 담점은 기름이 냉각될 때 파라핀 왁스의 결정이 관찰되기 시작하는 온도이다.

- 유동점

이는 기름이 유체로 남아 있는 가장 낮은 온도이며 따라서 선내에서 취급 목적을 위하여 알고 있는 것이 중요하다. 다른 대안으로서 응고점 또는 기름이 고체로 남아 있는 가장 높은 온도이다. 그것은 통상 유동점보다 약 3°C아래에 있다. 어떤 주요한 엔진 제작사에 따르면 연료의 가장 낮은 허용 온도는 용이한 펌프 작용을 확보하기 위하여 유동점보다 약 5~10°C가 높아야 한다고 한다.

- 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.

- 비중

이는 통상적으로 15°C에서의 kg/cm³ 또는 g/cm³로 표시된다. 연료의 밀도는 개개의 성분들의 밀도에 달려 있기 때문에 연료는 동일한 비중을 가질수 있으나 개개의 성분의 밀도는 폭넓게 바뀌어진다. 연료의 '무게'의 표시와는 별도로 비중계에 의해 비중을 측정할 때 주어진 크기의 탱크에서 무게에 의하여 연료의 양을 계산하기 위하여 사용될 수 있다.

⑥ 중유의 점도와 온도의 관계

기름의 척도는 온도 증가와 함께 급속하게 감소하는 그 자체의 유동에 대한 저항의 척도이다. 가열은 현재 일반적으로 사용하는 고점도의 중유를 묽게 하고 그들의 취급을 쉽게 하기 위하여 필요하다. 따라서, 석유제품의 점도는 온도에 따라 변화한다.

⑦ 점도표시

상품용인 모든 중유의 점도는 품질표시 및 가격표시 등에서 중요한 요건인데, 오랫동안 관습적으로 사용하여 왔던 100°F의 래드우드 No.1 초(RW #1, sec)를 국제적인 ISO(International Standardization Organization) 규격의 도입에 따라 1977년경 부터는 주요석유회사에서 50°C의 센티 스토로우크[동점도, cSt(1mm²/sec)]로 표시하여 왔다. 표2-12는 중유의 동점도와 래드우드

점도관계를 나타내고 있다.

표2-12 중유의 동점도 및 Redwood(RW #1) 점도와의 관계

동점도,50℃ (cSt)	RW #1 (sec)	동점도,50℃ (cSt)	RW #1 (sec)	동점도,50℃ (cSt)	RW #1 (sec)
30	200	100	800	280	2,500
40	300	120	1,000	320	3,000
60	400	150	1,200	380	3,500
80	600	180	1,500	420	4,000

즉, 종래의 “RW#1, 1000초”인 중유는 “ISO VG 120”으로, ”RW #1, 1500초
“인 것은 ”ISO VG 180”라고 한다. 여기서 VG는 viscosity grade의 약자이
다.

(2) B중유의 생성

B중유는 A중유나 C중유에 비교하여 수요량이 다소 적기 때문에 안정공급
에 불안한 요소가 많이 있을 수 있으며, 유통업자가 수요자의 매매횰문을 받
고, 탱크로리(Tank Lorry)나 운반선(Barge)의 탱크내에 A중유와 C중유를
적량별로 적재하여 B중유에 상당하는 점도의 Blend Oil을 생성하는 것에 문
제가 발생할 수 있다. 통칭, “Hatch Blend”라고 부르는 B중유는 중유의 혼
합안정성을 고려하지 않았기 때문에, 사용상에 슬러지의 발생에 의한 장애가
유발된 예가 많다.

최근의 연료유의 가격상승은 연비 가격(cost)이 점하는 비율이 증대함으로
서 선주에게 경제적인 압박을 가하는 요인이 되고 있다. 선주는 A중유와 C
중유의 가격차에 주목하여, 값이 싼 C중유를 A중유에 혼합하여 사용함으로
서 사용 연료유의 연비절약에 대한 계획이 증대되고 있다.

A/C 혼합유(A/C blended oil)는 기술적으로는 중유의 혼합안정성의 문제점
에 귀착하지만 혼합한 A/C혼합유를 직접 소비하는 경우는 큰 문제가 적다.
그러나 일정한 시간동안 연료탱크중에 저장하는 경우, 혼합안정성이 불량하
기 때문에 슬러지(sludge)의 발생에 의한 장애가 일어나는 경우가 있다. 표
2-13은 연료유의 슬러지 분류를 표시한 것으로 슬러지의 문제는 중유 전반

의 문제이다.

그리고, 중유의 시험방법으로는 다음의 사항이 일정한 규정에 입각하여 정리되고 있다. 비중(15/4℃), 반응(P/H), 인화점(℃), 동점도(cSt), 유동점(℃), 잔류탄소(W%), 수분(V%), 회분(W%), 유황분(W%), 발열량(cal/g), 협잡물(V%), 분류성상(℃)등이 있다.

표2-13 연료유 슬러지(sludge)의 분류

종 류	아스팔트 및 탄소질	고융점 왁스	수분	협잡물
외 관	· 약간 단단한 구두약 형태	· 약간 연한 구두약 형태, 약간 가열하면 유동성 증대	· 연한 크림상으로 많은 수분이 일부 분리되어 있음	· 협잡물 종류에 따라 다양함
장해내용	· 중유청정 곤란 · 필터 막힘 · 연소불량	· 필터 막힘 · 탱크내 퇴적물 증가 · 연소불량	· 중유청정작업의 곤란	· 필터 막힘 · 펌프마모 · 연료분사 곤란 · 노즐의 손상
원 인	· 중유안정성 불량 · 이종연료 혼합에 의한 아스팔트의 석출	· 고융점 왁스 함유량 과대 · 이종연료 혼합에 의한 왁스석출	· 수분 혼입 · 탱크의 가열 · 코일누설	· 협잡물 혼입
처 리	· 청정 제거	· 가열할 것 · 고펠터망으로 교환	· 가열 · 첨가제 사용	· 청정 제거

2-3 선박 연료유

2-3-1 연료유의 저질화

선박연료는 고체연료로 석탄, 액체연료로 중유 및 핵연료 등이 있는데, 주로 액체연료를 선박연료유라고 한다. 특히 선박연료유는 이란정변에 기인한 제 2차 석유판동에 다른 석유수급의 위기감에 더불어 원유자원의 중질화와 석유제품의 경질화에 대응한 석유정제법의 변화 등이 수반되어, 급속히 고점도화 및

저질화하는 경향을 나타내고 있다.

그 이전에 이미 선박 디젤기관의 저질 연료유에 의해 기인한 것으로 기관의 이상마모, 착화성 및 연소성의 저하 등의 장애 예가 미국항로를 중심으로 하는 외항선에서 보고되고 있었다. 따라서 선박 연료유의 저질화 대책 확립이 관련 업계에 의해 긴급히 논의되고 있는 중요한 문제중 하나이다.

오늘날의 선박연료의 저질화문제는 원유공급과 제품 수요간의 균형이 적절히 잘 이루어진 배경에서 된 것으로 에너지 공급측이 중유의 저질화의 필연성을 주장하여, 그에 대한 대응을 긴박한 문제로 생각하게 되었다. 오늘날에는 과거에 선박연료유로서 C중유를 도입할 때와 같은 간단한 운항절감이라고 하는 것이 경제적인 동기로 되지 않는 점이 확실한 특징이다.

차후, 예측되고 있는 장래의 연료유는 현재 사용하고 있는 중유의 정상보다 점도, 비중, 유동점, 잔류탄소분, 바나듐분, 회분, 알루미늄-실리카분 등의 값이 더욱더 증가할 것으로 보여지며, 이에 따른 기관의 신뢰성, 내구성, 보수 및 정비등의 기술을 개발하기 위한 연구사업이 계속 진행되어야 할것으로 보여진다.

2-3-2 연료유의 장애

1) 일반사항

최근 연료유의 저질화에 따른 연료유의 정상 및 특성에 따라, 연료유의 문제점은 다음과 같으며, 상세한 문제점 및 그에 따른 개략적인 대책에 대해서는 표2-14와 같다.

- (1) 비중, 점도에 의한 취급과 청정방법의 복잡화
- (2) 잔류탄소, 기타 협잡물에 의한 연소성 불량
- (3) 잔류탄소, 회분, 불순물, 수분에 의한 오염과 마모증가
- (4) 유황에 의한 저온부식
- (5) 바나듐, 나트륨에 의한 고온부식

표2-14 조약 연료유의 문제점과 대책

종 류	기관에 미치는 문제점	예상되는 개선 및 대책
비 중	연료청정의 곤란	<ul style="list-style-type: none"> · 청정기의 개선 · 청정기의 용량 증가 · 수첨가연료유의 개발

<p>점 도</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 가열부족에 의한 분사불능 및 연소 불량에 의한 열부하의 증대마모, 오염 초래 · 가열에 의한 F.O열분해 및 가스를 발생 · 점도-가열온도의 관계의 불규칙 	<ul style="list-style-type: none"> · 가열기 용량의 증가 · 가열기 최고 온도의 상승 · 연료유 공급압력의 강하 · 가열유효율의 저하 · 점도조종기에 의한 가열제어
<p>유황분</p>	<p>연료계(실린더라이너), 연료밸브 및 과급기 케이싱의 저온부식</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 유황이 노점이하가 되지 않는 냉각구조일 것 · 알칼리 실린더유에 의한 중화 · 전처리에 의한 연료중의 수분제거 · 소기공기중의 수분제거 · 냉각계통의 적성관리 · 중화능력, 내열성, 청정성 등을 함유한 실린더유 사용 · 실린더유의 주유장소, Timing의 개선
<p>잔류탄소</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 연소불량 · 연소실, 배기계통의 오염, 퇴적물의 증가 · 실린더라이너, 피스톤링의 마모증가 · 연료변 Carbon Flower 	<ul style="list-style-type: none"> · 연료유 청정의 철저 · 분사계의 개선 · 과급기 세정의 철저 · 실린더유의 개선
<p>아스팔트</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 연소불량, 연소지연 · 폭발행정후 반동으로 라이너벽의 충격 및 열부하 증대 · 그을름 발생(저부하시) · 혼화성 불량 · 연료유 자체의 유효성 불량에 의한 연료펌프, 연료변의 고착 	<ul style="list-style-type: none"> · 캠, Timing을 포함한 분사계의 개선 · 가변행정 Timing · 고효율 Turbo-Charger 개발 · 실린더유의 개선 · C중유의 완전연소 · 연료개발장치 및 자체처리
<p>회 분</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 연소계 배기계통의 퇴적물 증가 · 실린더라이너, 피스톤링의 마모증가 · 배기변 침식증대 	<ul style="list-style-type: none"> · 실린더유의 청정성, 유효성의 개선 · 신내마모성 재료의 개발
<p>바나듐, 나트륨</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 고온부식 증가 · 저온부식의 억제 · 선상에서의 바나듐 제거 불량 	<ul style="list-style-type: none"> · 배기변 구조상의 개선/개발 · 전처리에 의한 Na 제거 · 신배기변 재료의 개발

		<ul style="list-style-type: none"> · 해수(소기중의 포함) 제거 · 실린더유의 개선 · 연료유 첨가제의 개발
알루미늄, 실리카	피스톤링, 실린더라이너, 연료펌프의 플란저 및 연료밸브 스피들의 이상 마모	<ul style="list-style-type: none"> · 원심분리에 의한 청정 철저 · 2단 청정의 채용 · 신 제거법의 개발 · 접촉입자의 허용 혼입자직경 등의 해명 · 유제조업자에 의한 무해촉매의 개발
수분	<ul style="list-style-type: none"> · 연소성의 불안정으로 열부하 증대 및 마모의 원인 제공 · 해수의 경우에 고/저온 부식의 증대 · 퇴적물 증대(해수 등) · 비중증가와 더불어 수분리성 감소 	<ul style="list-style-type: none"> · 전처리에 의한 제거철저 · 수청정의 채용 · 과급기의 세정 · 균질성 및 필터의 개선
세탄가	기동성 부족	<ul style="list-style-type: none"> · 연료유의 가열 · 소기공기의 예열 · 압축비 증가 · 세탄가 향상제의 사용 · 공기과잉율의 향상

2) Carbon 퇴적물

이번 연구사업의 시험에서 검증한 결과와 같이 50%미만의 엔진부하 사용시에 Smoke의 과도한 발생량에 따른 Carbon 퇴적물이 증가할 것으로 예상되므로, 이에 따른 연소 장애가 발생할 것으로 보여지며, 연료밸브의 막힘, 실린더 라이너의 마모 등 여러 가지 문제점이 발생할 것으로 보여진다. 이에 따른 Carbon 퇴적물의 효과적인 처리에 대한 방법을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

(1) 퇴적물의 증가원인

A중유를 사용하는 중소형선박이나 대형선의 발전기 및 저질중유를 사용하는 대형 디젤기관에서 흔히 볼 수 있는 분사노즐에 Carbon의 퇴적물이 부착되어 무화불량을 발생시킨다. 이러한 현상은 A중유와 일반성상이 완전히 같은

경유를 사용한 경우에는 발생하지 않기 때문에 중유중의 중질분이 크게 관계되며, 그것이 노즐 선단부에 부착하고 과열 탄화하여서 발생된다고 생각되지만 근본적 원인에 대해서는 아직 명확하게 정리되어 있지는 않다. 그러나, 대략적으로 연료유에 중질분(잔탄분, 아스팔트분 등) 및 불순물(슬러지, 수분, 먼지 등)의 다량 함유와 엔진의 연료밸브가 불량하거나, 노즐의 과열에 따른 현상일 것으로 추정하고 있을 뿐이다.

(2) 퇴적물의 최소화

연소실의 노즐에 Carbon 퇴적물의 발생을 최소화하기 위하여 중유분이나 불순물이 혼입되지 않도록 연료유 저장 관리에 주의하여야 하며, 연료밸브의 주기적인 분해 소제 및 압력Test등을 통하여 연료밸브의 막힘 및 Carbon 퇴적물의 제거하여야 한다. 또한, 디젤기관이 직접분사식이기 때문에 공작상 노즐 냉각을 행하지 않는 것은 노즐의 과열을 일으키기 쉽고 Carbon 퇴적물의 증가 요인이 되므로 이와 같은 엔진에 대해서는 노즐 과열을 방지하도록 설계(노즐냉각 등)가 있어야 한다.

(3) 냉각노즐의 사용

상기 2)항에서 설명한 바와 같이 Nozzle의 열화를 방지하고, Nozzle의 과열로 인하여 Nozzle Tip부분에 Carbon 퇴적물의 최소화하기 위하여 노즐을 냉각할 필요가 있으며, 현재 중소형 선박에서 상용화되어 있는 냉각용 노즐에 대해서 설명하고자 한다. 중소형 엔진에서 연료유로서 경유를 사용하면서 무냉각 노즐로 대체되어, 기존 설계에 의한 냉각 노즐은 거의 철거되고 무냉각 노즐로 개조 사용하고 있으며, 냉각 노즐보다 무냉각 노즐이 약 1/3정도 가격이 저렴하고, 시설이 간편하기 때문에 무냉각 노즐을 많이 사용하고 있다. 그러나, 무냉각 노즐은 연소시에 노즐 과열을 초래하여 Carbon 퇴적물이 많이 발생함으로, Nozzle의 막힘 현상 등이 자주 발생한다. 따라서, MF30급 혼합유를 연료유로 사용할 경우에는 냉각 노즐을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 노즐의 냉각제로서 연료유와 청수로 나눌 수 있으며, 두 시스템 모두 유체를 이용하여 노즐의 냉각을 하여야 하므로 별도의 냉각 Line을 설치하여야 한다. 다음은 냉각 계통도에 대하여 설명하고자 한다. 그림

2-1는 청수를 냉각 매체로 사용하는 냉각 노즐의 계통도를 도시하였으며, 그림 2-2는 HFO를 냉각 매체로 사용하는 냉각 노즐의 계통도를 도시하였다.

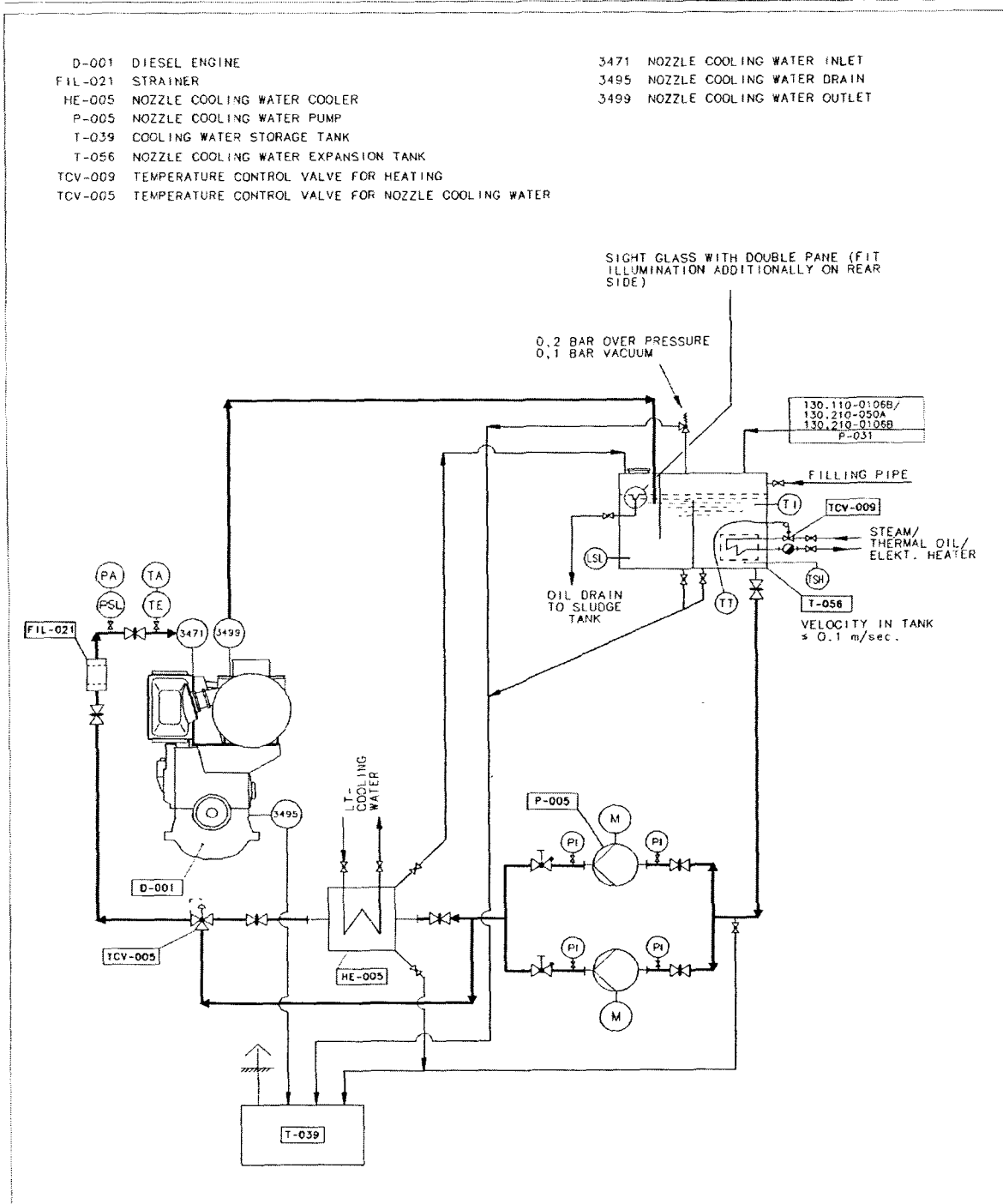


그림 2-1 Nozzle의 청수 냉각 계통도

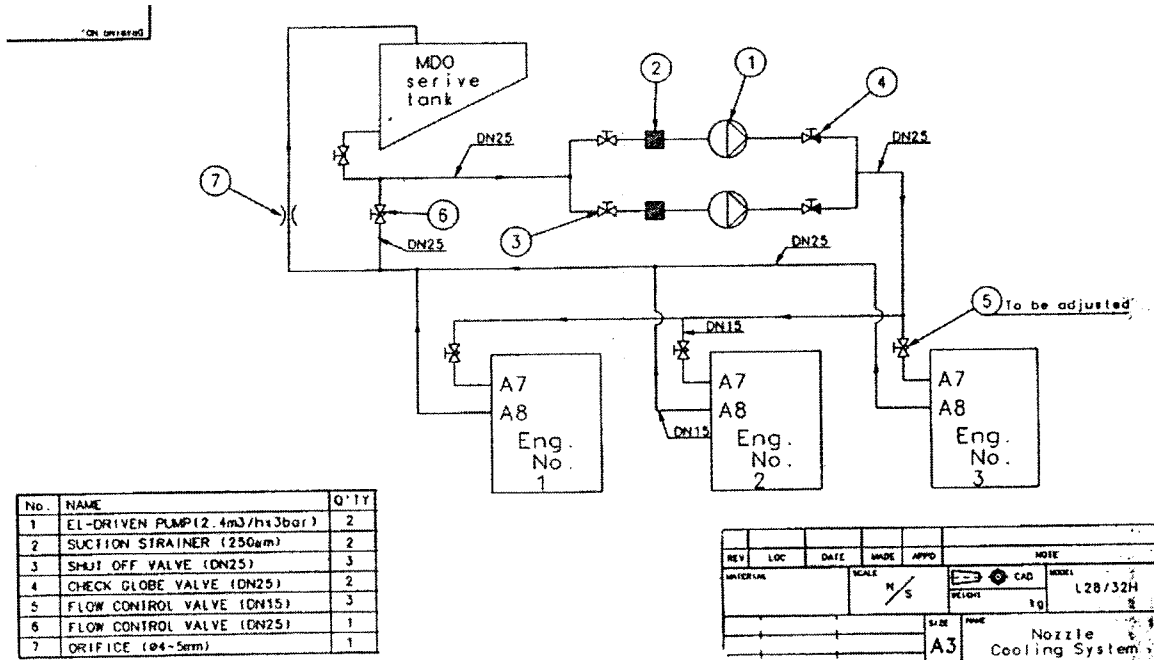


그림 2-2 Nozzle의 HFO 냉각 계통도

3) 해수혼입 및 슬러지

연료 탱크의 밑바닥에 진흙상의 슬러지가 퇴적하기도 하고 더욱 여과기의 폐쇄현상을 유발할 수도 있다. 또한 연료밸브의 고착이 발생하는 경우도 있다.

(1) 원인

해수, 철녹, 진흙분이 다량으로 혼입하는 경우에 슬러지의 생성이 촉진된다. 또한, 이중유의 혼입에 의해 슬러지가 생성되는 경우가 있으며, 특히, A/C중유를 사용하는 경우에 혼합안정성이 나쁜 A중유에 A중유의 혼합이나 적지가 다른 C중유에 C중유를 혼합하게 되면 슬러지가 석출하는 경우가 많다

(2) 대책

Storage Tank를 다른 용도(밸러스트 등)로 병용하여 사용할 경우에, 기름수급전 Tank 내부를 완전히 소제한 후 연료유를 수급하고, 이물질등이 혼입될수 있는 황천 항해시 등에 공기배출관의 개폐 여부를 항상 확인하여야 하며, 탱크에는 정기적으로 드레인을 배출한다. 또한, 필터의 주기적인 소제를 실시하여 이물질을 최소화하기 위한 조치를 취하여야 한다.

4) 물의 혼입

물은 선박에서의 운송과 저장 중 연료 내로 침입하기 때문에 항상 문제가 되어 왔다. 자유롭게 분리된 물은 연료분사장치에 심각한 손상을 줄수 있고 불충분한 연소를 일으킬 뿐만 아니라 과도한 실린더 라이너 마모를 초래할 수 있다. 만약 그것이 해수일 경우에는 연소 중에 바나듐과 황과 함께 결합될 경우 부식의 원인이 되는 나트륨을 포함한다.

물은 분리의 적당한 작동과 적절하게 설계된 침전 및 사용 서비스 탱크에 의해서 선박 연료로부터 통상적으로 제거할 수 있다. 그러나 연료의 비중이 물과 같거나 보다 크면 물의 제거는 어렵다. 또는 정말로 불가능하다. 그리고 이러한 이유로 해서 선박의 연료유로서 공급되는 연료의 최대 비중은 일반적으로 0.99로 설정되어 왔다.

5) 고온부식

바나듐은 고온부식에 영향을 주는 중요한 연료 구성 성분이다. 그것은 전처리에 의해서 제거할 수 없으며 연소과정 중 나트륨과 황과 결합하고 용융점인 530°C 정도로 낮은 결정화합물을 형성한다. 이러한 용융 화합물은 부식성이 매우 높고 강철의 보호 산화층을 침식하여 그것을 부식에 노출시키게 된다. 배기밸브와 피스톤 크라운은 고온 부식을 매우 받기 쉽다. 한 가지 심한 형태는 광물성 재의 퇴적물이 밸브 시트에 형성되는 것이며 이것은 지속적인 충격으로 그것을 통해서 뜨거운 가스가 통과할 수 있는 작은 통로로 이어지는 홈 자국을 만들게 된다. 이 화합물이 가열되면 그때 밸브 시트의 금속을 침식하게 된다.

바나듐, 황 그리고 나트륨은 그들의 부식에 대한 가능성뿐만 아니라 그들은 연소중에 퇴적을 하게 되고 엔진 부품을 오손시키며 연마성이 있기 때문에 라이너와 링의 마모를 증가하도록 한다. 고온 부식에 대응하는 주된 해결책은 엔진부품, 특히 배기밸브의 운전 온도를 바나듐의 화합물이 녹는 온도 수준 이하로 낮추는 것이다. 밸브에 부착된 회전 장치와 또한 집중적으로 냉각되는 실린더 커버, 라이너 그리고 밸브는 이러한 문제들을 현저하게 감소하게 된다. 스텔라이트(Stellite), 플라즈마(Plasma)피복과 같은 특별한 방식 피복이 밸브에 적용되어 왔다.

6) 저온부식

황은 일반적으로 저온부식을 일으키는 원인이다. 연소 과정에서 연료 내에 포함된 황은 산소와 결합하여 이산화황(SO_2)을 형성한다. 이산화황의 일부는 산소와 더욱 결합하여 삼산화황(SO_3)이 된다. 연소 중에 생성된 삼산화황은 수증기와 작용하여 황산 증기를 생성하고 금속 온도가 산의 노점(160°C)이 하인 곳에서 증기는 황산 액으로 응축되면 부식을 초래하게 된다.

이 문제를 줄이기 위한 확실한 방법은 냉각수의 적절한 분배와 제어를 통해서 산의 노점이상으로 엔진의 온도를 유지하는 것이다. 거기에서 저온 부식을 피하기 위한 온도의 증가는 고온 부식의 증가를 초래할 수 있는 위험이 항상 따른다. 황 성분을 많이 함유하고 있는 연료의 결과로서 실린더 라이너와 피스톤 링에서의 부식은 실린더 라이너 벽 온도와 실린더 윤활유의 알칼리성 조절에 의해서 효과적으로 감소시켜 왔다.

7) 마모성 불순물

연료에 있어서의 정상적인 마모성 불순물은 회분과 침전 불순물이다. 나트륨, 니켈, 바나듐, 칼슘 그리고 링 홈에 대한 심한 마모를 가져올 수 있다. 실린더 라이너, 피스톤 링 그리고 링 홈에 대한 심한 마모를 가져올 수 있다. 그러나 비교적 새로운 오염물질은 많은 우려의 원인이 되고 있는 매우 단단하고 마모성의 알루미늄과 실리카의 입자로 구성된 금속 촉매 미세입자이다. 이러한 입자들은 촉매분해 정유 공정에서 넘어 온 것이며, 오랜 기간 동안 잔류해 있는 밑바닥 연료에 부유한 채 남아 있게 된다. 연료 속에 있는 촉매 입자 때문에 완전히 새로운 연료 펌프가 불충분한 분사 압력 때문에 시동에 실패할 정도로 수일동안에 마모하여 버린 일이 알려지고 있다.

마모성 입자에 대응하는 유일한 효과적인 방법은 올바른 연료의 전 처리이다. 분리기 제작자는 분리기를 그의 정격 값의 20% 정도로 낮은 관류량으로서 직렬로 연결하여 운전할 것을 권장하고 있다.

2-4 연료첨가제

저질 연료유의 성능 개선을 위하여 첨가제(선박에 사용하는 첨가제는 “조연제”라 한다)의 연구 개발이 본격화되어 최근에는 각종 시험을 통하여 검증된 제품들이 양산되고 있으며, 저질 연료유의 슬러지 분산, 수분리 현상 등에 많이 사용되어 지고 있다. 따라서, 조연제의 특성을 파악하여 연료유의 성능 개선 사항을 시험 도출하고자 하였으며, 그 결과는 제3장 내지 제4장에서 정리토록 하였으며, 이 장에서는 일반적인 첨가제의 특성에 대하여서 살펴보도록 하겠다.

2-4-1 연료첨가제의 종류

연료첨가제의 종류는 각양각색이고, 그 중에서도 휘발유 첨가제로는 안티노크제(Anti-knock제), 표면착화방지제, 산화방지제, 금속불활성제, 청정분산제, 수빙방지제, 부식방지제, 정전기방지제, 착색제 등이 자주 사용된다.

중유 첨가제는 조연제라고 부르는 데 반드시 연소 효과를 부여하며 실제 사용하고 있는 것으로는 연소촉매, 방식 및 방스케일형, 슬러지분산제, 유화제, 수분리제 등이 있다. 중유 첨가제의 종류와 효과는 표2-15와 같다.

표2-15 중유 첨가제의 종류 및 효과

성 분	작 용	효 과	잇 점
유기금속 (1차작용)	연소촉매 작용	· 완전한 연소 · 과잉공기 연소	· 효율의 증가 · 연비의 저감 · 발연의 감소 · 퇴적물의 감소 · 부식의 감소
유기금속 (2차작용)	회분의 변성	고유점의 회분의 형성	· 퇴적물의 미립화 · 부식의 감소
분산제	분산 작용	· 슬러지의 용해 · 슬러지의 제거	· 탱크의 오염 억제 · 노즐팁의 청결 · Pre-heater · 무화의 향상 · 연소의 향상

유화제	유화 작용	수분의 유화	<ul style="list-style-type: none"> · 연소의 향상 · 부식의 감소 · 슬러지 감소
수분리형	유화 파괴	Wet-Sludge의 생성 방지	<ul style="list-style-type: none"> · 청정작업의 개선 · 무화향상 · 카아본플라워방지

이것들의 성분 가운데 유기금속과 분산제 및 유화제는 같이 배합하여 상품화하는 경우가 많으며 다기능형 중유첨가제로 부르는 경우가 있다. 수분분리제는 유화파괴제(Emlsion Breaker)로서 단독으로 사용되고 있다.

1) 연소촉매형 첨가제

연소촉매형 첨가제를 대별하면 연소촉진제, 저온·고온역의 방식제, 스케일의 퇴적을 감소시키는 연소퇴적물 개선제 등이 있다. 연소촉매작용은 주로 중유첨가제중에 함유되어 있는 금속화합물에 의해 달성되는데 이 금속화합물은 연료중에 PPM의 농도로 존재하면서도 연소할 때에는 실제로 필요한 활성화 에너지를 감소함으로써 연료의 자연발화온도를 낮추어서 연소 속도를 촉진시킨다. 이 현상은 가끔 카아본질의 연소로 나타나는 경우도 있다. 단체금속분을 첨가한 경우 동(Cu), 아연(Zn)등은 탄화수소의 자연발화온도를 상승시키지만 많은 금속산화물은 자연발화온도를 상당히 낮추는 것으로 알려져 있다. 특히 연(Pb)이나 망강(Mn)의 염류는 현저하게 그 효과가 있다. 시판되고 있는 연소촉매형 첨가제의 주성분은 유용성 유기금속화합물이 많으며, 나프텐(naphthene)산 금속염, 옥틸(Octhyle) 산금속염 및 슬폰(Sulfone)산 금속염 등이 사용되고 그 유효금속은 Pb, Co, Mn, Ba, Ca, Mg 등이 사용되고 있다.

선박의 주기(디젤, 보일러) 및 A/C 혼합유 연소 발전기에 사용되고 있는 연소촉매형 첨가제의 유효금속염으로는 Mg, Ba, Mn 등이 있다.

2) 슬러지 분산제

중유의 슬러지는 유중의 아스팔텐이 물리적 구조 변화나 산화중합 등의 화학적 변화에 따라 유중에서 분리함에 따라 발생한다. 따라서 슬러지의 생성을 억제하기 위해서는 산화중첩시마다 화학 변화를 감소시켜서 아스팔텐의 분산을 통제하도록 계획하지 않으면 안된다. 아스팔텐 및 그 외의 슬러지

성분의 분산에는 계면활성제가 현저한 효과를 나타내는 데, 그 특성으로서 동일 분자내에 친유기와 친수기라고 하는 정반대의 성질을 가지고 있는 기(基)를 소유하고 있다.

그래서 계면활성제는 기체-액체, 액체-액체, 액체-고체의 계면에 흡착하여 표면장력, 계면장력 등의 계면 특성을 현저하게 변화하는 성질을 가지고 있다. 이 계면활성제가 중유중에 첨가하면 응집 슬러지를 사방으로 분산하여 미세 입자화하고, 친유기의 비극성부는 유상으로 밀어 넣으며, 친수기의 극성부는 미세화한 얼마간의 물이라는 무극성에 많은 아스팔텐, 탄소입자, 유기금속염 등의 슬러지 성분을 맡아 넣고 있다. 그림2-3은 계면활성제의 분산구조의 모델도를 나타내고 있다.

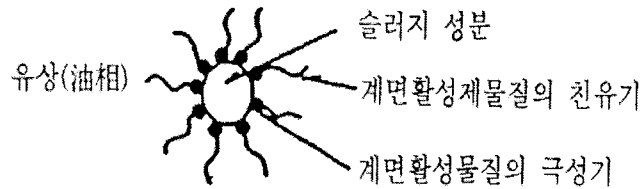


그림2-3 계면활성제의 분산기구

그림2-3에 의하면 계면활성물질로 집합된 극성부를 극으로 하여, 그 주위에 무극성의 탄화수소쇄가 방사상으로 퍼진 상태로 슬러지를 분산시킨다. 이 결과 중유는 콜로이드(Colloid : 보통의 현미경으로 볼 수는 없지만, 원자나 저분자보다는 훨씬 큰 입자로서 분산되어 있는 물질의 상태)상을 형성하며 분자입자 자체의 운동은 둔화된 촉매의 분자운동에 따라 브라운 운동(Brown motion : 미소입자와 미소물체의 열운동)을 일으키게 하면서 분산 상태를 유지하고 있다. 슬러지 분산체로서의 계면활성제는 아니온(Anion : 음이온으로 음전하를 띤 화학종) 활성제, 카치온(Cation : 양이온으로 양전하를 띤 화학종) 활성제, 비이온(비 ion) 활성제 등 다양하다.

3) 유화제 및 수분리제

중유중에 함유되어 있는 수분은 슬러지 생성의 원인이며, 점착성의 슬러지는 청정기의 분리판 등을 오손시킬 뿐 아니라 중유가열기의 오손, 여과기의

막힘, 연소시의 무화불량에 의한 연소장해 등을 유발한다. 중유중의 수분은 분리하여 없도록 하든지 소량의 경우에는 유화 혹은 가용화하여 무해하게 할 필요가 있는 데 이것의 처리에 계면활성제가 이용되고 있다. 유화와 수분리라고 하는 서로 상반된 조작이 똑 같은 계면활성제로 행하여 지고 있는 현상은 계면의 복잡성으로 미묘한 역관계를 이용하고 있을 뿐이므로 적당한 계면활성제를 최적량 사용하면 기대한 효과를 얻을 수 있다. 계면활성제의 유화작용은 분자중의 친수기와 친유기와의 양작용에 의한 것으로 양자의 치합을 HLB(Hydrophile-Lipophile-Balance : 친수성체에 대한 친유성의 균형 관계)라고 부르고, 계면활성제에 대한 특성의 표시값 지표로 HLB 값이 많이 이용되고 있으므로 유화계의 선정에 유효하다. 표2-16은 광유의 소요 HLB값이고, 표2-17은 HLB값과 최종 용도의 관계를 나타내고 있다.

표2-16 광유의 소요 HLB값

기름의 종류	HLB값	
	O/W	W/O
광유(경질)	10	4
광유(중질)	10.5	4
파라핀유	9	4
머신유	10~13	-
등유	12.5	6~9

표2-17 HLB값과 최종 용도

용도	HLB값
가용화제	15~18
세정제	13~15
O/W형 유화제	8~18
습윤제	7~9
소포제	1.5~3
W/O형 유화제	3.5~6

※ O/W : Oil in Water(수중유적형), W/O : Water in Oil(유중수적형)

또한 수분리제는 에멀전의 파괴를 행하는 것으로서 원유나 중유의 탈수에 계면활성제가 이용된다. 중유에 함유되어 있는 수분은 대부분의 경우 해수인데 수분혼입의 원인으로서는 이송시 혼입이나 발라스트 탱크의 누설, 온도차에 의해 발생하는 증발물의 응축에 의한 수적혼입, 우수의 혼입 등이 있다.

그리고, 성분으로는 염화나트륨, 염화마그네슘, 유산칼슘 등의 형태로 존재하며, 앞서 논술했던 각종의 장해를 유발하기 때문에 수분의 분리와 염분을 제거하는 것이 중요하다. 통상, 중유중의 수분과 유상의 계면에는 무기물입자나 중질카아본의 흡착하여 이것이 보호 교질과 같은 성질로 안정되어 있지만 계면활성제는 그 계면에 흡착하여 계면장력의 저하나 막을 파괴하여

물을 분리하는 역할을 한다. 분리된 물의 입자는 다른 수분입자와 결합하여 대립으로 되어 비중차에 의해 침강 분리된다. 또한 드레인이나 원심분리기에 의해 수분중의 염분은 배출한다. 슬러지 분산제는 슬러지 입자를 분산시켜서 슬러지 입자의 조대화를 방지하는 것이며 유화제는 수분 입자를 유중에 분산 또는 가용화시키는 것이고, 수분분리제는 슬러지분산제나 유화제와 다르게 수분 입자를 결합시켜서 조대화하여 분리하고 있다. 따라서 수분분리제는 슬러지 분산제나 유화제와는 달리 많이 첨가한다고 그 효과가 크다고는 할 수 없고, 다량으로 첨가하는 경우에는 역효과로 중유와 물의 유화를 촉진시키는 경우가 있기 때문에 주의할 필요가 있다.

수분분리제로 사용하고 있는 계면활성제의 HLB는 10전후의 것이 수분분리가 최고 양호한 것으로 되어 있다. 이것은 연속상이 있는 중유를 가용화하여 중유-수계면에 도달할 필요가 있기 때문이라고 판단된다. 중유의 수분분리제로서는 카치온 활성제의 제4급 암모니아염, 아니온 활성제로서는 유산화유가 이용되고 있다.

2-4-2 선박중유 첨가제의 종류

중유첨가제는 일명 연료조연제(Fuel ignition additive)라고도 하는 데, 디젤기관에 저질중유를 사용함에 따라서 그 유중에 함유되어 있는 슬러지나 수분 등에 의해 생기는 장애를 억제 및 제거하여 연소성을 향상시키기 위해서 급속히 발전한 것이다. 특히 선박은 기름 탱크의 수와 용량이 제한되어 있고, 그 기름이 세계 각지에서 보급하므로 이종유가 혼합되기 쉬우며 기름 탱크에 수분(청수 및 해수)도 혼입되기 쉽다. 표2-18은 선박에서 사용되고 있는 중유첨가제의 종류를 나열한 것으로 중유의 성상에 따라서 적당한 것을 선택할 필요가 있다.

표2-18 선박중유 첨가제의 종류와 성분

종 류	내 용	성 분
연소촉진제	<ul style="list-style-type: none"> · 연소촉매제 · 흑연방지제 · 카아본 박리제 	<ul style="list-style-type: none"> · Cu,Fe,Co 등의 금속 · Ba 유기금속염 · 인계 화합물

슬러지 분산제	· 카아본, 아스팔트의 생성억제제 · 산화방지제	· 고분자 화합물 · 각종 계면활성제
수분리제	-	· 각종 계면활성제
방식제	· 저온부식방지제 · 고온부식방지제	· 수산화마그네슘 슬러리 · 알카리 토금속염의 유용성 슬러리
곰팡이 생육 억제제	· 미생물 슬러리의 생성억제제	· 특수 유기화합물

즉, 시판되고 있는 중유첨가제는 순 슬러지 분산제나 이것에 연소촉매제만을 가미한 것이 많으므로 필요에 따라서는 수분리제, 방식제 및 곰팡이 생육억제제 등을 추가할 필요가 있다. 그림2-4은 슬러지 분산제의 모식도를 나타내고 있다.

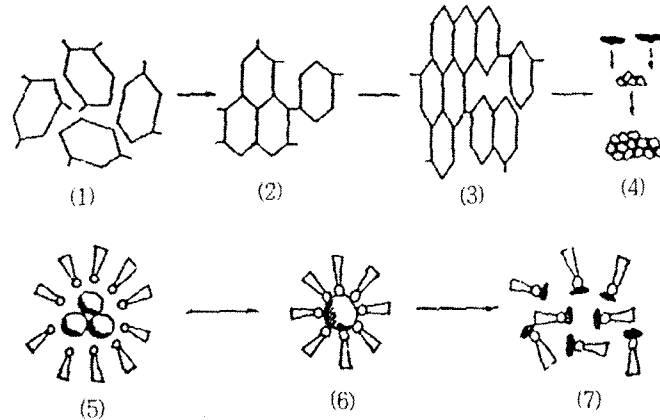


그림2-4 슬러지의 형성과 분산의 모식도

특히 중유첨가제에 의한 특성으로는 ①미생물에 의한 슬러지는 해태상의 반 유동성 물질의 응집체로서 중유와 같이 유동하다가 여과기를 순간적으로 막아서 기관을 정지시킨다.

그리고 이 슬러지는 원심분리하여도 잔류하는 미세균사가 급속히 성장하므로 그 생육을 억제시킬 필요가 있다. 이 슬러지의 장애는 주로 A 중유를 사

용할 때에 많이 생긴다. ② 중유첨가제를 사용하게 되면 일반적으로 슬러지와 수분이 미세하게 분산되어 연소상태가 좋아지므로 배기중의 CO₂함량도 감소되어 그 온도가 낮아지며, 그으름의 발생이 적으며 노즐이나 버너의 카아본 퇴적 및 가열기, 파이프, 탱크 등에 슬러지 퇴적이 줄어든다. ③ 따라서, 여과기, 가열기, 버너, 노즐, 연소실 등의 소제기간이 연장되므로 연료소비량의 감소 효과보다 이 점에 역점이 있다.

제 3장 유성상 분석

여 백

제 3장 유성상 분석

3-1 개요

본 연구에서는 현재 경유로 운전되고 있는 선박용 주기판인 디젤엔진에 값비싼 경유와 값싼 중유를 혼합한 혼합유(Blending oil)인 MF30급 혼합유 및 경유의 유성상을 파악하고, 그에 따른 적절한 전처리를 위하여 유성상을 분석하고자 한다.

또한, 혼합유가 경유보다 훨씬 조악하므로 불순물(물, 회분, 황 등) 및 점도 등이 높을 것으로 예상되어 혼합유가 엔진에 공급되기 전에 일반적으로 엔진 제작사에서 추천하는 연료의 전 처리기술 및 조연제 효과를 검토하고자 한다. 여기서 전처리 기술로 사용되는 시스템인 Purifying system, Mixing Clean Heater(이하 “M.C.H.”이라 한다) system 및 Tandem (Purified + M.C.H.) system의 3가지 시스템으로 정제한 MF30급 혼합유 3가지 시료에 익명의 업체 A, B 및 C사 제품의 조연제를 첨가하여 시료 12가지를 생성하고, 각 시스템을 거치지 않은 정제전의 MF30급 혼합유인 시료 1가지와 경유의 시료 1가지를 포함한 총 14가지 시료를 채취하여 유성상 분석을 실시하였다.

3-2 연구개발 내용

선박용 디젤 엔진에서 중유는 MCR 기준으로 엔진회전수 1,200 rpm 정도까지 대부분 사용되고 있으며, 현재 특수목적 선박을 제외한 일반 상선에도 일반화되어 있다. 이러한 중유를 사용할 경우 점도의 증가로 인하여 연료유 처리과정이 복잡하다. 따라서 디젤 엔진에 연료가 공급되기 전 적절한 온도로 가열하여 점도를 유지해 줄 필요가 있으며, 연료 내에 다량으로 함유되어 있는 고형물들을 처리해 줄 수 있는 분쇄기 또는 청정기가 필요하다. 또한, 중유에는 황의 함량이 3% 정도가 포함되어 있으므로 실린더 라이너의 내마모성을 높이기 위하여 크롬 도금, 레이저 하드닝(Harding) 등 특수처리를 하는 엔진도 늘어나고 있다. 따라서 산화 부식을 방지할 수 있도록 적절한 TBN(Total base number)을 갖는 시스템 유(소형 엔진은 실린더유와 구별되지 않음)의 선정이 우선되어야 한다.

3-2-1 선박 연료유의 일반적 특성

혼합유를 사용할 경우 혼합비율에 따라 다소 차이는 있지만 표 3-1과 같이 중유의 특성을 가지게 되므로 연료 공급 장치에 이를 반영하여야 한다. 우선 점도가 증가하게 되므로 점도는 엔진 제작사마다 다르기는 하지만 가열할 수 있는 히터와 함께 청정기 또는 분쇄기 등이 설치되어야 한다. 독일 M사에서 추천하는 엔진 직전의 연료는 표 3-2와 같이 12~18 cSt이고, 입자의 크기는 5 μm 이하가 되어야 하며 연료용 필터도 이에 준해서 이 장치들 후에 설치하여야 한다. 또한, 고형물과 물의 함유량은 각각 20 ppm, 0.2 % 이하를 추천하고 있다. 연료공급 장치에 대한 시스템 다이어그램 및 디젤엔진 내부 공급라인은 그림 3-1과 그림 3-2에 준용해서 적용하여야 하며, 현상설치 조건이나 여러가지 경제적, 기술적인 면들을 검토하여야 한다.

표 3-1 Effects of heavy fuels

<i>Properties</i>	<i>Present H.O.</i>	<i>Future H.O.</i>	<i>Effect on engine</i>
Viscosity (Red 1 at 37°C Heating temp.)	3500	5200	Increased fuel heating required
pumping	50	65	
centrifuging	95	98	
injection	110-120	115-130	
Density at 15°C	0.98	0.99	Water elimination becomes more difficult
Pour point °C	30	30	
Noxious element			Fouling risk of components
Carbon residue %	6-12	15-22	Increased combustion delay
Asphaltenes %	4-8	10-13	Hard asphaltene producing hard particles Soft asphaltene giving sticky deposits at low output Increased combustion delay with defective combustion and pressure gradient increases
Cetane number	30-55	25-40	High pressure gradients and starting problems
Sulphur %	2-4	5	Wear of components due to corrosion below dew point of sulphuric acid (about 150°C)
Vanadium ppm	100-400	120-500	Burning of exhaust valves at about 500°C
Sodium ppm	18-25	35-80	Lower temp. in case of high Na content
Silicon and aluminium (CCF slurries)			Wear of liners, piston grooves, rings, fuel pump and injectors

현재 MF30급 혼합유의 연료는 앞에서 언급한 바와 같이 12~18 cSt를 맞추기 위하여 그림 3-3을 참조하면 60~70C° 정도로 가열해주는 것이 적합하다. 중유의 비중이 증가할수록 가열 온도가 올라가고 입자성 물질들이 증가하므로 적절한 대책이 필요하다. 표 3-3은 중유의 특성을 보여주며, 이러한 혼합유 대신에 중유를 직접 적용할 경우 모든 시스템은 그림 3-1 및 3-2와 같이 변경해야 하고 연소 계통도(특히 실린더 라이너와 연료분사노즐 등)도 중유 사용에 적합해야 한다.

표 3-2 Cleaning recommendation

Property	Units	Max. value
Water	% by volume	max. 0.2
Solid particles	ppm (mg/kg)	max. 20
Particle size	Micron	max. 5
Viscosity	cSt	Range 12-18

표 3-3 Guide for Heavy fuel oil

Property	Units	Max. value
Viscosity	cSt/50° C	700
	sec.Redw/ 100° F	7000
	cSt/100° C	55
Specific gravity	(at 15° C)	0.991*
Flashpoint	° C	>60
Conradson Carbon	(% weight)	22
Asphalt	(% weight)	60% of CCR content
Sulphur	(% weight)	5
Water	(% weight)	1.0
Ash	(% weight)	0.2
Aluminium	(ppm)	30
Vanadium	(ppm)	600
Sodium	(ppm)	30% of vanadium content

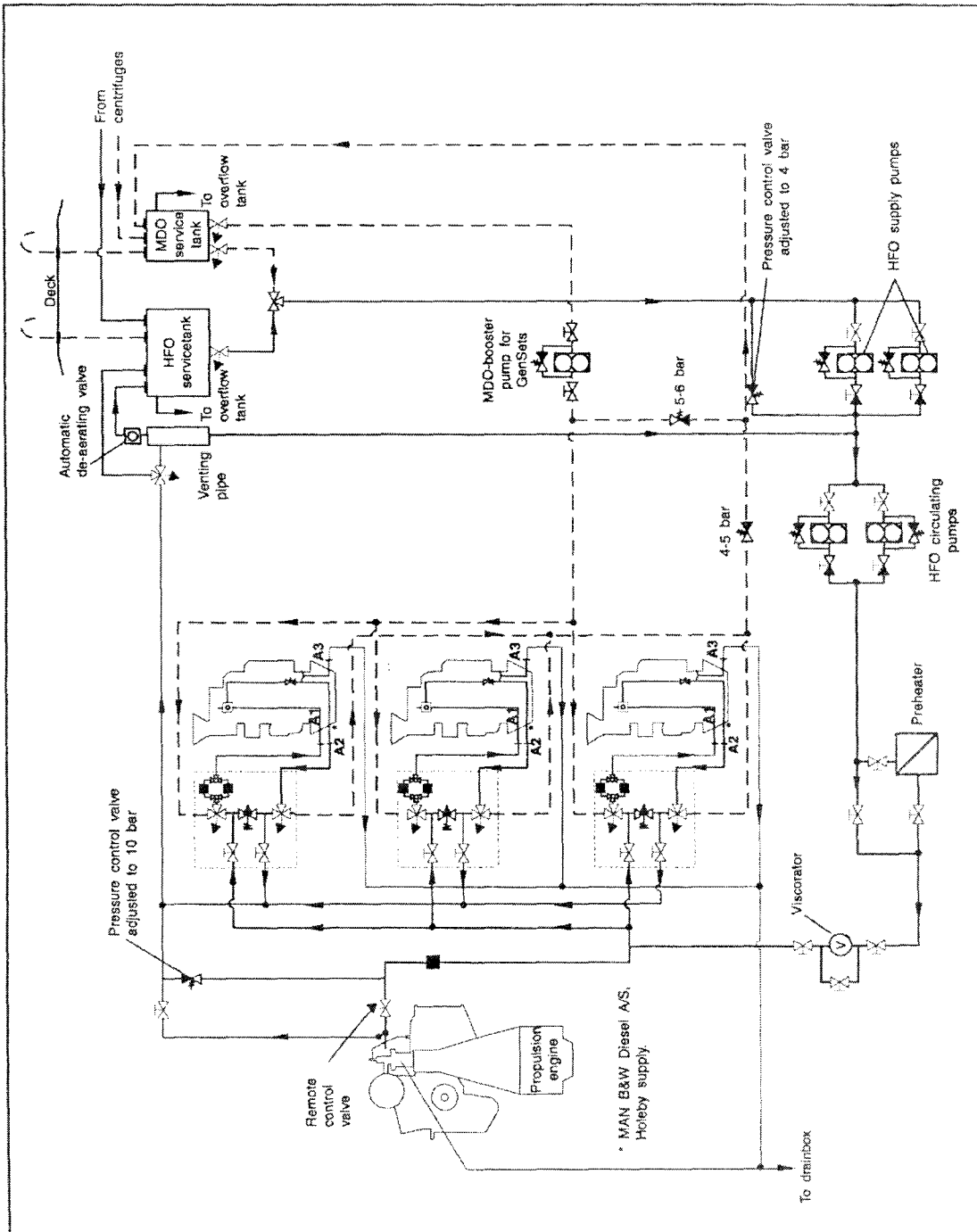


그림 3-1 Fuel oil diagram

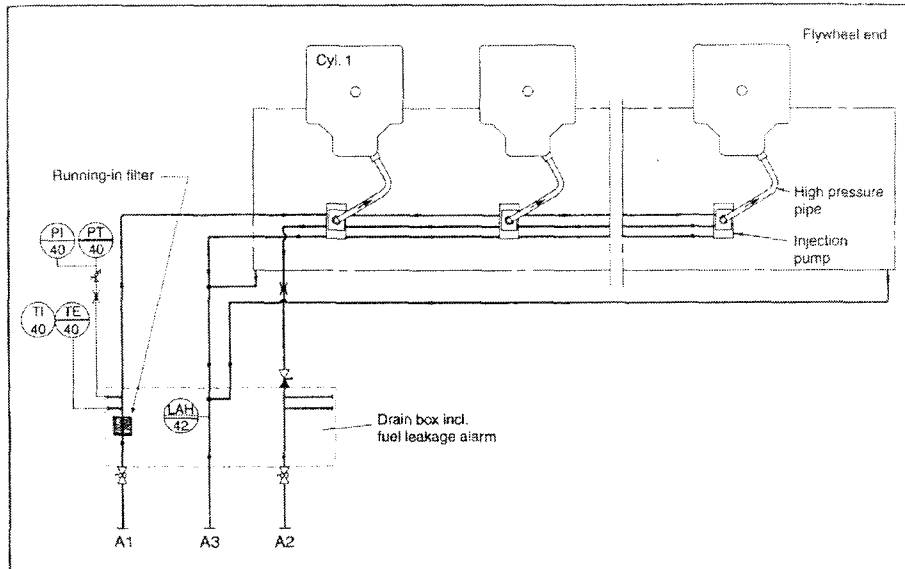


그림 3-2 Diagram for oil system

Fuel oil - preheating chart

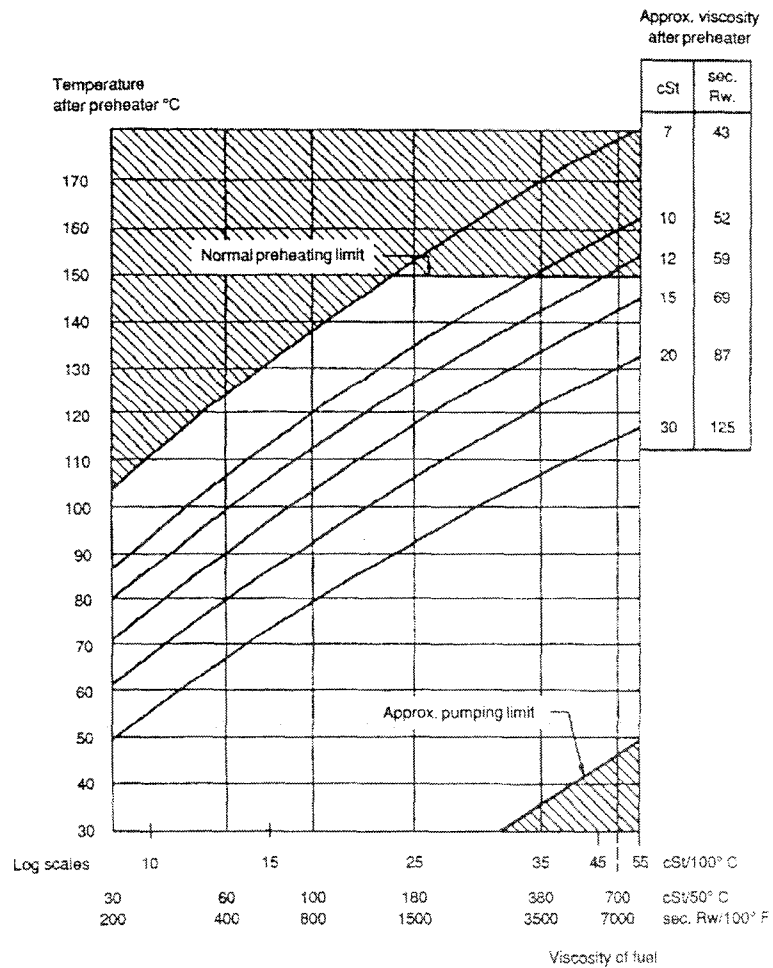


그림 3-3 Fuel oil - preheating chart

현재 MF30급 혼합유 사용에 따른 연소장치 및 연료공급 장치는 충분한 시간을 가지고 연구 검토되어야 한다. 또한 엔진속도 저하에 따라 노즐에서 연료의 분사 압력이 크게 떨어지므로 연료의 조약함과 함께 저속·저부하에서 스모크가 집중적으로 발생할 것이 예상되므로 이에 대한 적절한 대책과 함께 추후 스모크 절감을 위한 연구도 동반되어야 한다.

3-3 선박 연료의 개요

3-3-1 선박 연료의 저질화에 따른 문제점

연료는 선박의 운전에 있어 가장 높은 단일 비용 요소들 중의 하나이고 또한 가장 유력한 운전상 문제점들의 근원으로서 남아 있다. 이에 대한 이유는 1973/74년 중동의 오일 쇼크의 결과로서 새로 도입된 정제기술들이 유동 촉매 분해와 비스브레이킹(고분자의 절단 또는 분해에 의하여 점도를 낮춤)되어 매우 질이 낮을 뿐만 아니라 보다 더 농축된 잔사연료를 생산했다는 것을 의미한다. 이 잔사연료는 선박연료로서 전통적으로 선박에 공급하는 중유이며, 적절한 크기의 주기관으로서 내연기관을 탑재한 대부분의 선박에서 사용하고 있다. 이들 저급 잔사연료의 높은 비용에도 불구하고 몇몇 선주는 증류유를 혼합함으로써 좀더 값비싼 중간 등급의 연료를 사용하는 것을 아직도 선호하기는 하지만 일반적으로 그들을 연소하는 것 외에는 선주로서 별다른 대안이 없다. 현재와 장래의 무거운 잔사(殘渣) 연료의 문제는 저장과 취급, 연소의 질과 가연성 및 부식으로부터 초래되는 오염과 엔진부품에 대한 손상 등을 들 수 있다.

1) 저장 문제

선박연료의 탱크내 저장문제는 취급에 어려움을 일으키는 슬러지의 형성에 의해서 일어난다. 슬러지 형성의 증가 이유는 중유가 일반적으로 불친화성의 문제가 발생하는 이유는 가벼운 분해 유를 사용하여 무거운 분해 잔사유와 혼합되기 때문이다. 이는 연료 내에 떠있는 아스팔트 또는 무거운 고분자 화합물에 다른 회석유를 첨가함으로써 침전될 때 일어난다. 선박용 연료탱크에 침전되어 있거나 연료계통의 통로에서 발견되는 슬러지는 가연성 연료의 궁극적인 손실과 함께 연료 분리기에 과부하가 걸리게 되므로 인젝터에 발생하는 문제와 마모를 일으키는 입자들 때문에 엔진의 마모를 일으키게 된다. 슬러지 문제를 최소화하기 위하여 선박 운전자는 여러가지 선택을 하게 된다. 그는 연료공급자에게 공급되는 연료의 안정성 점검을 수행하도록 요구할 수 있을 뿐만 아니라, 제조원이 다른 선박 연료는 가능한 한 별도로 보관하여 물에 의한 오염을 최소

로 하여야 한다. 침전 탱크의 적절한 조작과 연료처리 장치는 엔진자체로 유입되는 슬러지를 막기 위하여 필요하다. 화학적인 첨가제인 청정제는 선박 연료 탱크의 슬러지 생성을 줄이는데 사용될 수 있다.

2) 연료에 있어서의 물

물은 선박에서의 운송과 저장 중 연료내로 침입하기 때문에 항상 문제가 되어왔다. 자유롭게 분리된 물은 연료분사장치에 심각한 손상을 줄 수 있고 불충분한 연소를 일으킬 뿐만 아니라 과도한 실린더 라이너 마모를 초래할 수 있다. 만약 그것이 바닷물일 경우에는 연소 중에 바나듐 및 황과 함께 결합될 경우 부식의 원인이 되는 나트륨이 생성된다. 물은 분리의 적당한 작동과 적절하게 설계된 침전 및 상용(常用) 서비스 탱크에 의해서 선박 연료로부터 통상적으로 제거할 수 있다. 그러나 연료의 비중이 물과 같거나 크다 보면 물의 제거는 어려울 뿐만 아니라 정말로 불가능할 수 있다. 따라서, 이러한 이유로 해서 선박 연료유로 공급되는 연료의 최대 비중은 일반적으로 0.99로 설정되어 왔다.

3) 가연성

불완전한 연소와 관련된 문제들은 많지만 복잡하고, 이러한 문제들은 각각의 엔진과 심지어는 실린더에 따라서도 변할 수 있다. 그러나 연료의 완전 연소가 실패함으로써 발생하는 가장 중요한 문제는 인젝터, 배기공 및 통로 그리고 과급기의 가스 측 오손이다. 분해 처리후의 잔사유를 혼합한 연료는 방향족 성분이 훨씬 높고 수소에 비하여 높은 탄소비를 가지기 때문에 연소가 잘 되지 않을 수 있다. 이들 무거운 연료로부터 발생하는 또 다른 문제들은 엔진 노킹, 후연소, 불균일한 연소, 착화지연의 변동, 그리고 가파른 착화압력의 기울기 등이다. 이러한 요소들은 엔진부품의 피로증가, 과도한 열 부하, 유해 배기 배출의 증가, 그리고 피스톤 링과 라이너의 심각한 마모 등을 초래한다. 엔진에 미치는 장기적인 영향은 연료소비와 부품손상이 상당히 증가한다는 점이다. 최고의 오손과 퇴적물의 형성은 엔진을 저속 및 저부하로 운전하는 경우에 일어난다. 적당한 연료분무를 위해서는 원심분리기의 효과적인 사용과 더불어서 침전 탱크와 여과기의 사용이 필수적이다. 그리고 가열에 의해서 적당한 연료 점도를 유지하여야 하며, 적당한 분사압력과 정확한 분사 시기가 필수적이다. 특히 저부하에서 엔진제작사의 권고에 따른 적절한 운전 온도의 유지가 또한 중요하다. 불안전연소의 생성물을 줄이기 위하여 반응적인 연소촉매를 사용한 첨가제 또한 사용될 수 있다.

3-3-2 중질유와 경질유의 혼합

중질유는 대개 많은 난용성물과 고형물을 함유하고 있으며, 고형물이 유중에 현탁되어 있으므로 일정 온도하에서 비교적 안정된 소위 균일상을 형성하고 있다. 그러나 이러한 기름에 이질유(異質油)의 혼입 등으로 급격한 변화를 주면, 그 기름의 안정상태가 파괴되므로 아스팔트가 석출되고 공존하는 헵잡물을 포함해서 점조한 슬러지(sludge)로 침강되는 경우가 흔하다. 따라서 혼유시에는 같은 계통의 기름을 혼합하고, 친화성 등 적당한 조건이 구비되어야 한다. 일반적으로 중질유에 경질유를 혼합하면, 다음과 같은 현상이 발생한다.

- 1) 이질유를 혼합하면 난용성물질이 많이 형성된다. 특히 분해 잔사유는 다른 기름에 난용성인 중질이고 점조한 물질을 많이 보유하고 있으므로 직류경유나 분해경유를 혼합하면 혼합하기 전보다 슬러지가 많이 형성된다. 이것은 혼합된 기름이 서로 완전히 용해될 수 없기 때문이고, 그 불용성 부분이 응집해서 침강되기 때문이다. 혼합 연료유로는 직류경유와 촉매분해 경유가 많이 사용되고 있다. 촉매분해 경유는 중질유에 혼합해도 비교적 안정하나, 열분해 경유는 대단히 불안정하게 되므로 혼합유로 사용하지 않는다.
- 2) 잔사유에 경질유를 너무 많이 혼합하면, 잔사유중에 부유하고 있던 난용성물질의 침강현상이 증가된다. 이것은 혼입량이 적을 때에 난용성 물질이 점조한 기름에 부유하고 있지만, 저점성이 되면 쉽게 침강될 수 있기 때문이다.
- 3) 부적당한 혼유는 불안정하므로 재분리 된다. 이것은 2가지 기름이 완전히 혼합되지 못하였기 때문이다. 이러한 경우는 탱크 내에서 경질유, 혼합유, 중질유의 3층으로 분리될 수 있고, 연소시에는 연소상태가 심하게 맥동하게 된다.

3-3-3 선박 연료의 특성 및 시험항목

연료유의 품질은 일반적으로 특정 연료의 주어진 시료내에 있는 여러가지 특별한 파라미터 또는 금속이나 불순물의 비율에 의해서 결정된다. 이러한 파라미터 들에는 점도, 비중, 발화점, Conradson 탄소, 아스팔트 함량, 황 함량, 물 함량, 바나듐 함량 및 나트륨 함량 등이 있다. 전통적으로 중요한 파라미터 중 두 개는 열량과 점도이다. 점도는 한때 연료 품질과 무게의 정도에 대한 최고의 지침이었으나, 이제는 단지 부분적으로 중요한 품질의 척도로 간주되고 있다.

1) 발열량

연료유 연소의 칼로리 값 또는 열은 연료 단위질량의 완전연소 기간 중 방출

되는 kJ/kg 으로 표시되는 열량의 척도이다. 열량은 일반적으로 열량계에 의해서 결정되어지지만 이론적인 값을 다음과 같이 계산할 수 있다.

○ 연료의 kcal/kg로 표시되는 칼로리 값은

$$= \frac{8100C + 34000\left(H - \frac{O}{8}\right)}{100}$$

여기서 C, H, O는 연료 1kg내의 이들 세 요소의 %이다.

○ 연료의 kcal/kg로 표시되는 열량 값은

$$= 7500C + 34000\left(H - \frac{O}{8}\right)$$

여기서 C, H, O는 연료 1kg당 존재하고 있는 각 성분의 kg 표시이다.

시험 자료를 활용할 수 없을 때는 아래 표와 같이 연료의 비중으로 대략적인 열량을 추정할 수 있다.

15℃에서 비중	0.85	0.87	0.91	0.93
총 열량(CV) kcal/kg	10,900	10,800	10,700	10,500

2) 점도

기름의 점도는 온도 증가와 함께 급속하게 감소하는 그 자체의 유동에 대한 저항의 척도이다. 가열은 현재 일반적으로 사용하는 고점도의 중유를 묽게 하고 그들의 취급을 쉽게 하기 위하여 필요하다. 오늘날 선박 연료의 대부분은 센티 스토크스(1cSt=1mm²/sec)로 측정된 점도에 기초하여 국제적으로 거래되고 있다. 점도를 인용할 때 그것이 결정되는 온도를 함께 표시하여야 한다. 선박 연료의 점도 결정을 위하여 일반적으로 인용되는 온도로 증류된 연료는 40℃ 그리고 잔사유는 100℃이다. 만약 연료가 감지할 수 있는 양의 물을 포함한다면 100℃에서 점도 결정을 위한 시험은 불가능하게 되므로 많은 실험실에서는 통상적으로 낮은 온도(50℃)에서 연료를 시험하고 100℃에서의 점도를 계산한다.

표 3-4는 50℃에서 측정된 점도에 따른 예상 점도를 나타내고 있으며, 그림 3-4는 중유의 전형적인 온도/점도표를 보여주고 있다.

표 3-4 50℃에서 측정한 점도에 따른 예상 점도

동점성계수, mm ² /s (cSt)				
50℃에서 측정값	-℃에서 대략적 예측값			
	40℃	100℃	125℃	150℃
30	45	7	4	3
80	135	13	7	4
180	330	22	11	7
380	750	35	16	9
700	1500	50	22	11

3)세탄가

연료의 세탄가는 디젤 엔진의 상태 하에서 기름의 착화성의 척도이다. 세탄가가 높으면 높을수록 연료분사와 급속한 압력 상승 사이의 시간은 더욱더 짧아진다. 착화성의 좀더 유용한 지침은 디젤지수이며 다음과 같이 표시 한다.

$$\text{디젤 지수 값} = \frac{G \times A}{100}$$

여기서 G는 API(미국석유회) 척도에 의한 60°F에서 비중

A는 °F로 표시되는 아닐린점이며 아닐린 점은 부피로 동일량의 새로 증류된 아닐린과 연료유가 충분히 혼합되는 최저온도.

4) 계산에 의한 탄소 방향족 지수(CCAI)

잔사 연료의 착화성은 그들이 서로 다른 많은 성분들로 섞여 있기 때문에 증류된 연료보다 예측하기가 좀더 어렵지만, 이러한 연료의 착화성은 밀도와 점도 측정으로부터 계산되는 탄소 방향족 지수(Calculated carbon aromaticity index)의 결정에 의해서 등급화 할 수 있다. 그러나 잔사 연료의 착화 성능은 주로 엔진 설계와 운전 요소들에 관계된다는 것을 지적하지 않으면 안 된다. CCAI 결정을 위한 공식과 계산도표는 주요 연료 공급자와 엔진 제작사에 의해서 발표되고 있다.

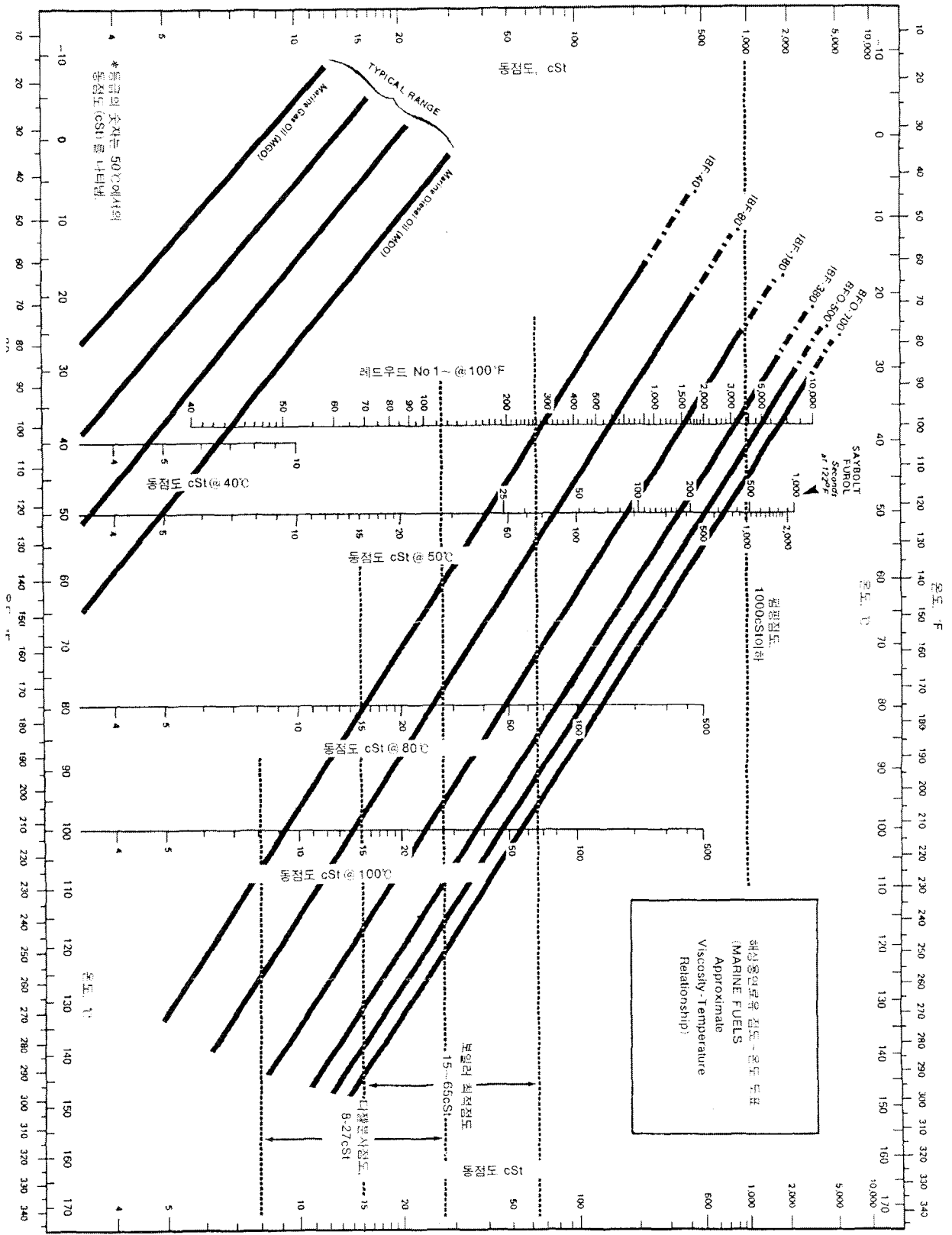


그림 3-4 중유의 전형적인 온도/점도 표

5) Conradson 탄소값

이것은 제어상태에서 밀폐된 공간내에 있는 연료의 증류 후 잔류하는 탄소의 함유퍼센트를 나타내는 척도이다. Conradson 또는 코크스 값은 탄소를 형성하는 성질의 척도이며, 따라서 연료분사 노즐에서 탄소 퇴적의 경향에 대한 지표이다. Ramsbottom 법이 대부분의 탄소 잔류 시험의 Conradson 법을 대체 하였으나 이 방법은 개략적으로 같은 결과를 준다.

6) 회분

회분은 연료내의 무기물성 불순물의 척도이다. 전형적으로 이들은 모래, 니켈, 알루미늄, 실리콘, 나트륨 그리고 바나듐 등이다. 가장 문제로 되는 것은 나트륨과 바나듐이며 이들은 황화나트륨과 5-산화바나듐의 혼합물을 생성할 뿐만 아니라, 엔진의 부품, 특히 배기밸브에 녹아서 달라붙게 된다.

7) 황 성분

황은 연소에는 영향이 없지만 높은 수준의 황은 산의 생성 때문에 위험할 수 있으며, 근년에는 황의 함유량만큼 실린더 라이너의 마모도 같이 일어나는 경향이 있지만 이 문제에 관하여 의견이 달라지고 있다.

8) 물 성분

물은 기름의 주어진 샘플에 있어서의 물의 함량이며 일반적으로 원심분리기나 증류에 의해서 결정된다.

9) 유동점

유동점은 기름이 유체로 남아있는 가장 낮은 온도이며, 따라서 선내에서 취급 목적을 위하여 알고 있는 것이 중요하다. 다른 대안으로서 응고점 또는 기름이 고체로 남아 있는 가장 높은 온도이다. 그것은 통상 유동점보다 약 3°C 아래에 있다. 어떤 주요한 엔진 제작사에 따르면 연료의 가장 낮은 허용 온도는 용이한 펌프작용을 확보하기 위하여 유동점보다 약 5~10°C가 높아야 한다고 한다.

10) 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.

11) 비중(밀도)

표준물질에 대한 어떤 물질의 밀도의 비를 비중이라고 한다. 즉 물질의 질량이 같은 부피를 가진 표준 물질이 몇 배인가를 나타내는 수치를 말한다. 여기서 표준밀도는 보통 4°C의 순수한 물을 사용한다. 통상적으로 같은 장소에서의 무게비로 결정되며, 밀도(Density)가 15°C에서의 kg/m³ 또는 g/cm³로 표시되는 반면, 비중값은 단위가 없으며, 일반적으로 밀도와 혼용하여 사용된다. 연료의 밀도는 개개의 성분들이 밀도에 달려 있기 때문에 연료는 동일한 비중을 가질 수 있으나, 개개의 성분의 밀도는 폭넓게 바뀌어진다. 연료의 '무게' 표시와는 별도로 비중계로 비중을 측정할 때에는 연료의 양을 계산기 위하여 주어진 크기의 탱크 무게를 사용할 수 있다. 표 3-5는 표준 연료에 대한 전형적인 값을 보여주고 있다.

표 3-5 표준 연료에 대한 전형적인 값

<i>Fuel</i>	<i>SG (g/cm³)</i>	<i>Flash point (°C)</i>	<i>Lower CV (kJ/kg)</i>
Gas oil	0.82-0.86	65-85	44 000-45 000
Diesel oil	0.85	65	44 000
Heavy fuel	0.9-0.99	65	40 000-42 000

(200 secs Redwood No. 1-3500 secs Redwood No. 1)

12) 디젤기관에 사용되는 연료유 특성값의 한계

표 3-6은 국제내연기관자문위원회인 CIMAC에 의해 추천된 디젤 기관에 사용되는 중류연료유의 시험항목에 따른 한계값을 나타내고 있으며, 표 3-7은 잔사 연료유의 시험항목에 따른 한계값을 나타내고 있다.

표 3-6 디젤 기관에 사용되는 증류연료유 추천(CIMAC)

		CIMAC 지정		DX	DA	DB	DC ¹⁾	시험방법참조
특성		단위	한계					
15℃에서의 밀도		kg/m ³	최대	-	890.0	900.0	920.0	ISO 3675, ISO 12185
40℃에서의 동점도		mm ² /s ²⁾	최대	5.50	6.00	11.0	14.0	ISO 3104
			최소	1.40	1.50	2.50	4.00	ISO 3104
인화점		℃	최소	43	60	60	60	ISO 2719
유동점	겨울특성	℃	최대	-	-6	0	0	ISO 3016
	여름특성	℃	최대	-	0	6	6	ISO 3016
운점 ³⁾		℃ ³⁾	최대	-16	-	-	-	ISO 3015
잔류탄소	10%의 증류시 찌꺼기들	%(m/m)	최대	0.30	0.30	-	-	ISO 10370
	잔류탄소	%(m/m)	최대	-	-	0.30	2.5	ISO 10370
회분		%(m/m)	최대	0.01	0.01	0.01	0.03	ISO 6245
형태 ⁴⁾				깨끗하고 밝음 ⁴⁾			-	
침전물 현존량		%(m/m)	최대	-	-	0.10	0.10	ISO 10307-1
수분		%(v/v)	최대	-	-	0.3	0.3	ISO 3733
세탄가			최소	45	40	35	35	ISO 4264
황 ⁵⁾		%(m/m)	최대	1.00	1.50	2.00	2.00	ISO 8754, ISO 14596
바나듐		mg/kg	최대	-	-	-	100	ISO 14597, IP 501
알루미늄+실리콘		mg/kg	최대	-	-	-	25	ISO 10478

- 1) 증류연료유가 대부분이라도 잔사연료유의 비율을 적는 것은 상당히 중요하다.
- 2) 1mm²/s = 1cSt
- 3) 이 연료는 주위 온도가 영하 16℃까지 내려가도 가열 없이 사용하기에 적당하다.
- 4) 만약 표본이 깨끗하고 두드러진 침전물이나 수분이 없을 때에는 총침전물 잔량 시험과 수분 시험을 할 필요가 없다.
- 5) IMO에 명시된 황 화합물 배출 제어 지역에서는 그것과 관련 있는 의정서의 효력이 발생 할 때 황 함유량이 1.5%로 제한된다. 지역에 따라 편차가 있기도 한다.

표 3-7 디젤 기관에 사용되는 잔사연료유 추천(CIMAC)

특성	단위	한계	A30	B30	D80	E180	F180	G380	H380	K380	H700	K700	시험방법 참조
밀도 /15℃	kg/m³	최대	960.0	975.0	980.0	991.0		991.0		1010.0	991.0	1010.0	ISO 3675, ISO 12185
동점도 /40℃	mm²/s	최대	30.0		80.0	180.0		380.0		700.0			ISO 3104
		최소	22.0		-	-		-		-			ISO 3104
인화점	℃	최소	60		60	60		60		60			ISO 2719
유동점 -겨울 -여름	℃	최대	0	24	30	30		30		30			ISO 3016 ISO 3016
		최대	6	24	30	30		30		30			
잔류 탄소	% (m/m)	최대	10		14	15	20	18	22		22		ISO 10370
회분	% (m/m)	최대	0.10		0.10	0.10	0.15	0.15		0.15			ISO 6245
수분	% (v/v)	최대	0.5		0.5	0.5		0.5		0.5			ISO 3733
황	% (m/m)	최대	3.50		4.00	4.50		4.50		4.50			ISO 14596, ISO 8754
바나듐	mg/kg	최대	150		350	200	500	300	600		600		ISO 14597, IP 501
침전물 잠재 량	% (m/m)	최대	0.10		0.10	0.10		0.10		0.10			ISO 10307-2
Al + Silicon	mg/kg	최대	80		80	80		80		80			ISO 10478

3-3-4 시료유의 물리화학적 특성 분석

1) 시료유의 분류

(1) 시료유 및 조연제의 종류

시험에 사용된 시료유는 총 14가지이다. 경유와 중유를 혼합한 원 시료인 MF30급 혼합유를 원심식 정정기(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.

(2) 시료유의 조제 특성은 다음과 같다.

- 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 3-8은 이상과 같은 총 14종의 시료에 대한 정상 분석 결과표이다. 각각의 시험항목에 대한 분석 결과는 다음의 2)에서 그래프와 함께 고찰하였다.

표 3-8 성상 시험 결과

시험 항목 시료 번호	비중	동점도 @25℃ (cSt)	동점도 @50℃ (cSt)	동점도 @75℃ (cSt)	유동점 (℃)	인화점 (℃)	수분 (V/V%)	황분 (%)	혼합 안정성 등급
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℃)			-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

2) 비중(15/4℃)

연료유의 대표적인 물리적 특성을 나타내는 비중은 표준기압 하에서 4℃ 물의 질량에 대한 비교치로서 통상적으로 같은 장소에서의 무게비로 결정된다. 일반적으로 15℃에서 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 미국석유협회에서 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 3-5는 15℃에서 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 나타내었다. 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 보이고 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.

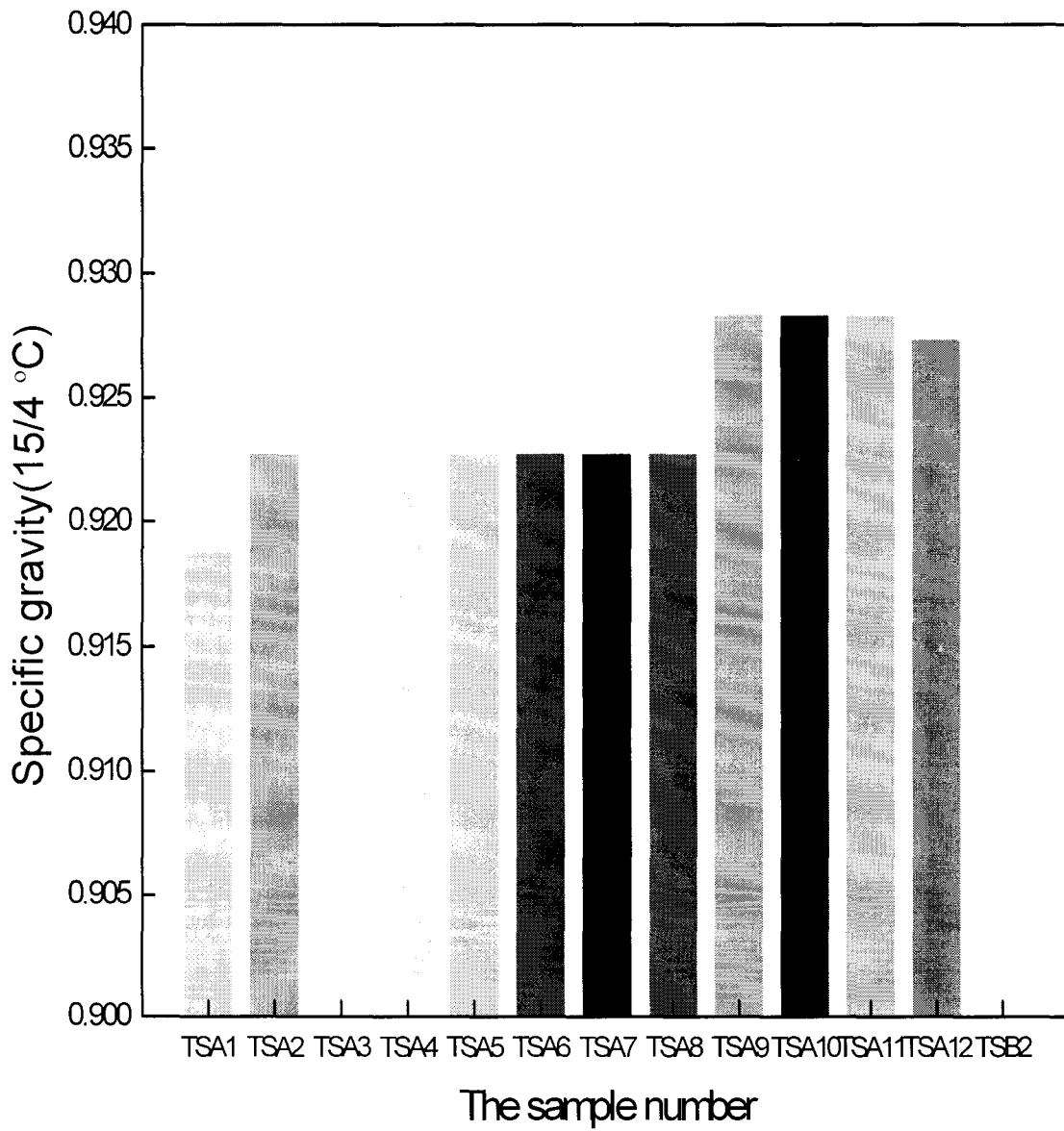


그림 3-5 비중 시험 결과

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 센티 스토크스($1\text{cSt}=1\text{mm}^2/\text{sec}$)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 3-6은 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 TSA5, 6, 7, 8이 95.84~99.44로 가장 낮은 수준을 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 것으로 판단된다.

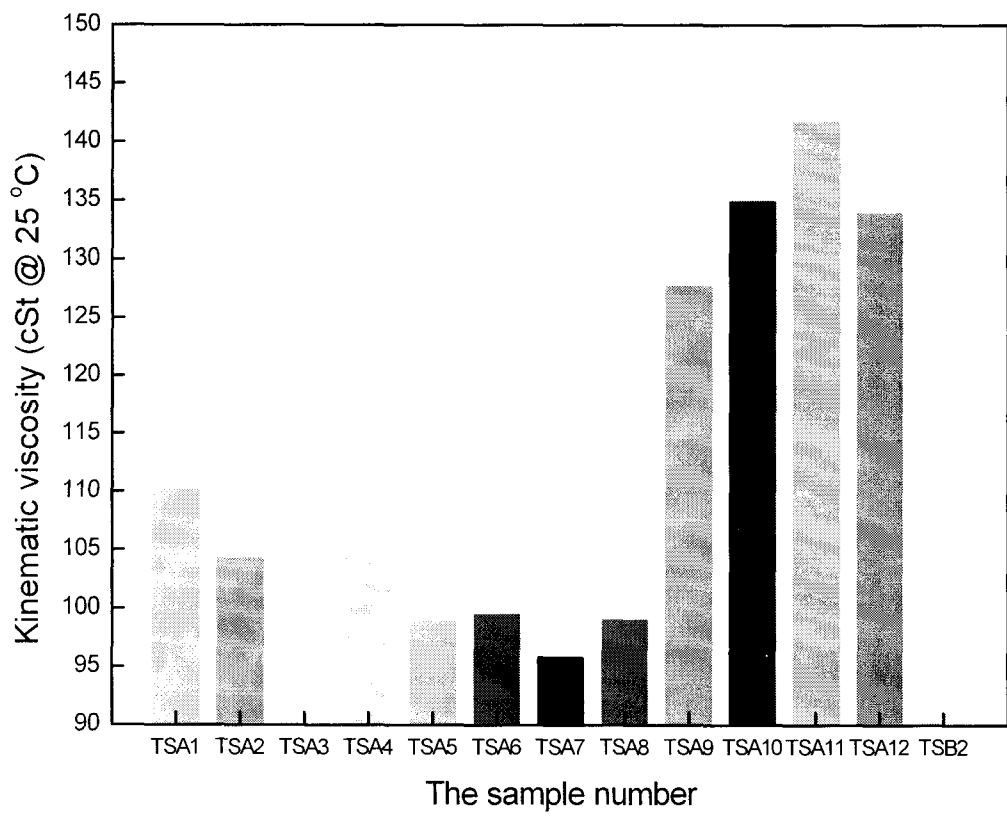


그림 3-6 25℃에서의 동점도 시험 결과

4) 50℃에서의 동점도

일반적으로 잔사연료유의 동점도는 50℃에서 측정된 센티 스토크스 (1cSt=1mm²/sec) 값을 기준으로 하여 고온 및 저온에서의 점도를 계산하여 사용한다. 앞서 밝혔던 표 3-4는 50℃에서 측정된 점도에 따른 예상 점도를 나타내고 있으며, 그림 3-4는 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 3-7은 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.

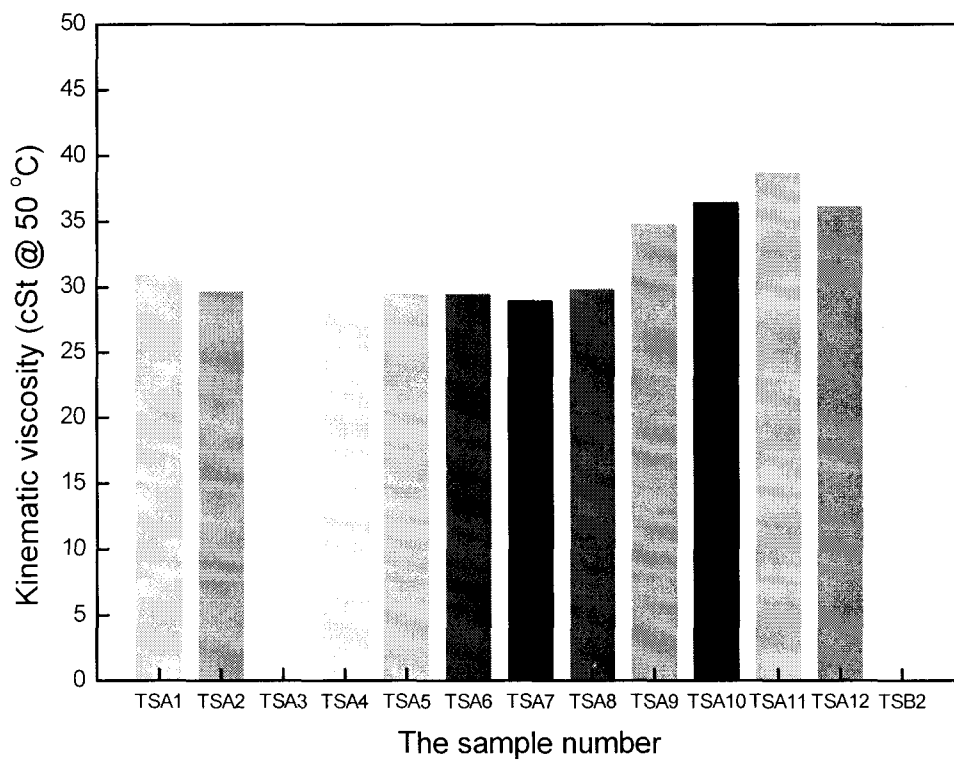


그림 3-7 50℃에서의 동점도 시험 결과

5) 75℃에서의 동점도

일반적으로 디젤기관에 적합한 연료유의 분사점도는 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 3-8은 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.

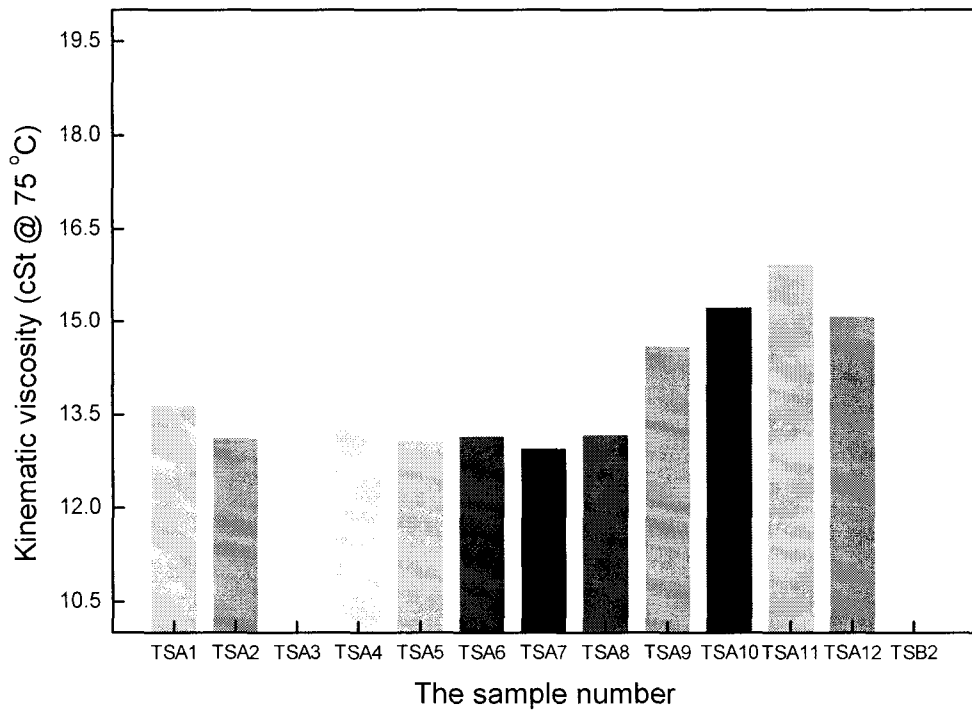


그림 3-8 75°C에서의 동점도 시험 결과

6) 온도에 따른 동점도의 변화 경향

그림 3-9는 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 비슷하게 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 3-10은 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 따른 동점도의 감소율이 다른 시료에 비해 더욱 크게 나타났고, 50~75℃ 구간에서도 다른 시료에 비해 동점도의 감소율이 크게 나타났다.

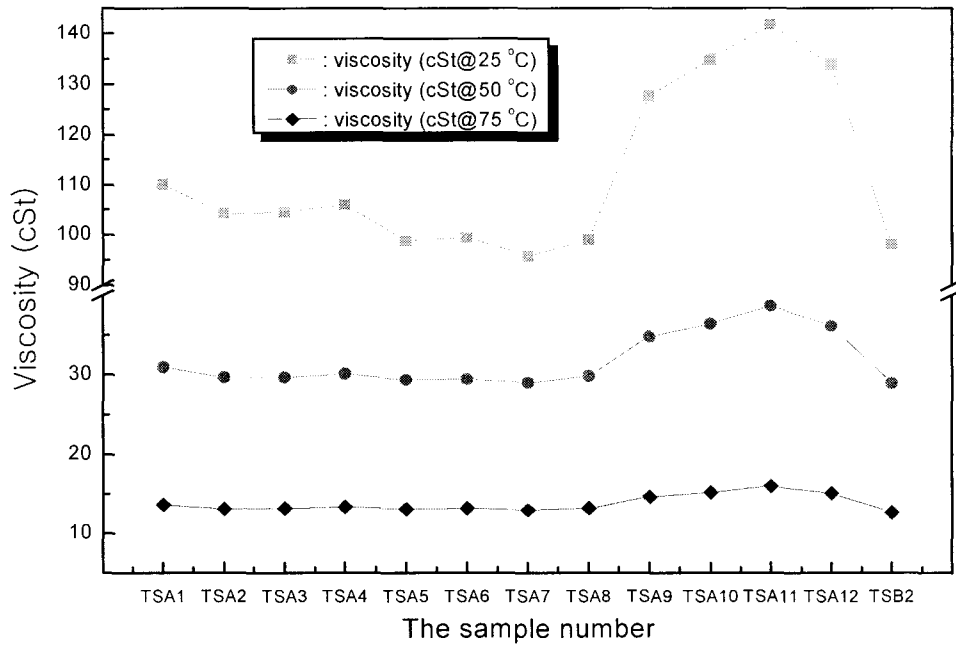


그림 3-9 온도에 따른 동점도의 변화

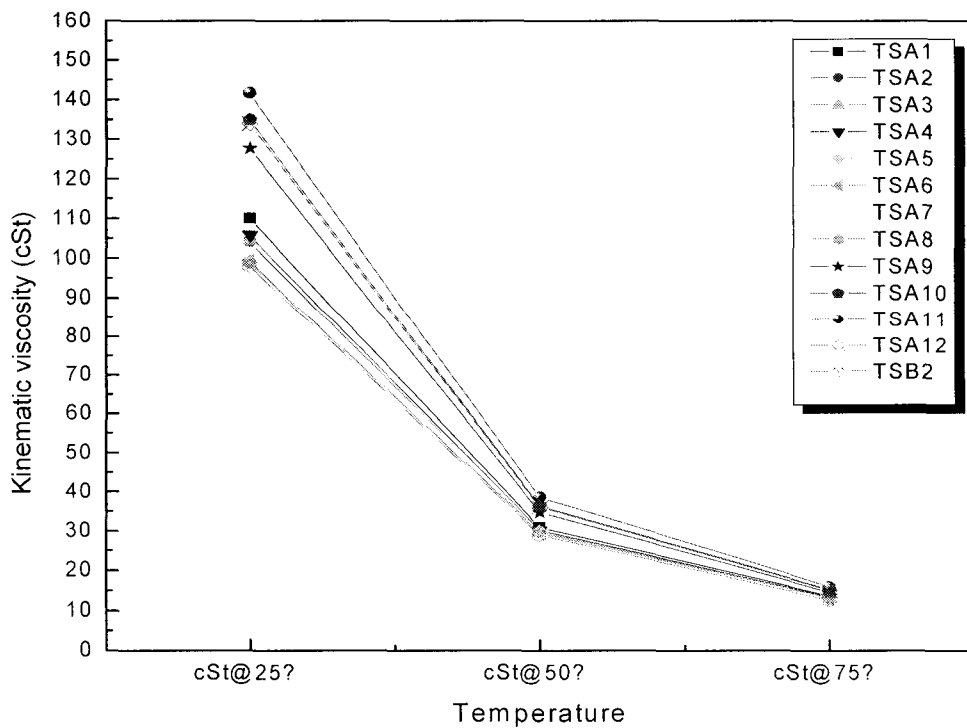


그림 3-10 각 시료별 동점도 변화 경향

7) 유동점

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

그림 3-11은 유동점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 -7.5°C를 보이고 있고, Purifier 정제유 TSA1과 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9이 -2.5°C로 가장 높은 온도, TSA1에 조연제 B를 첨가한 TSA3이 -15.0°C로 가장 낮은 온도로 나타났다. 가장 높은 온도를 나타낸 TSA1과 TSA9 그리고 정제전과 같은 값을 나타낸 TSA6을 제외한 나머지 시료들은 대체로 2.5~7.5°C 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°C 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°C 정도의 유동점 강하 효과가 나타났다. 따라서 유동점 강하에 미치는 조연제의 효과는 Purifier에서 정제한 혼합유 및 두 가지 시스템에서 정제한 혼합유에 한하여 나타나고 있으며, 영향력의 차이는 대동소이한 것으로 판단된다.

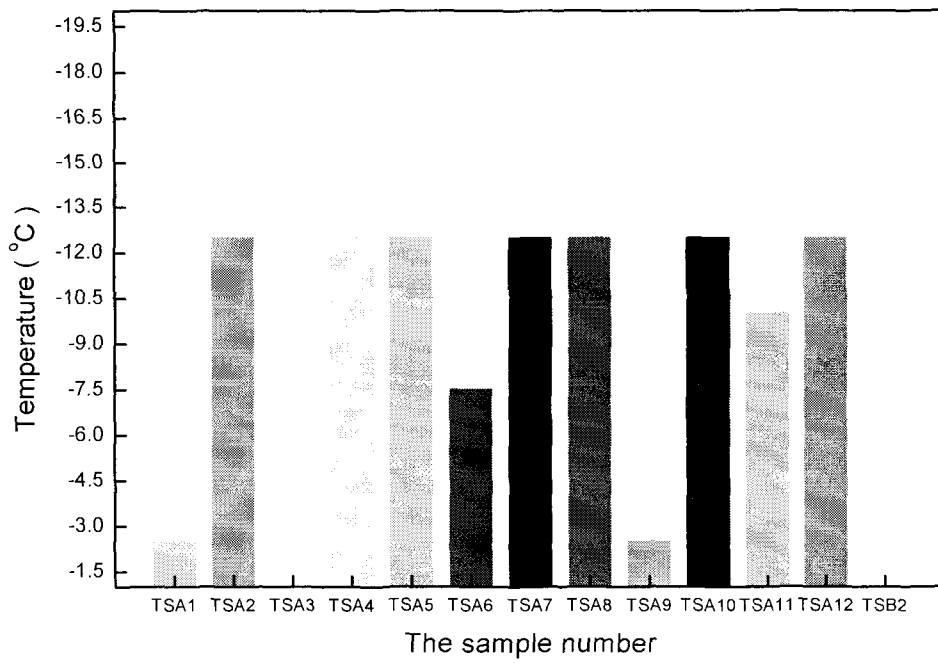


그림 3-11 유동점 시험 결과

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°C 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 3-12는 인화점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 TSB2가 가장 높은 온도인 142°C를 보이고 있고, Purifier와 정제 후 조연제A를 첨가한 TSA2와 M.C.H.로 정제한 시료유 TSA5의 인화점이 122°C로 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 Purifier 정제유인 TSA1, 2, 3, 4가 122~132°C, M.C.H. 정제유인 TSA5, 6, 7, 8이 122~134°C, Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9, 10, 11, 12가 124~140°C로 모두 비슷한 수치를 나타내고 있으며 이것은 정제 전 시료인 TSB2보다 2~20°C 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 방법만으로 정제한 다른 시료유보다 다소 높은 온도 분포를 보였는데, 다만 조연제 C를 첨가한 TSA12에서는 혼합정제유가 혼합하지 않은 정제유에 비해 8~10°C 낮은 온도가 나타났다.

조연제에 의한 효과는 TSA1, 2, 3, 4가 모두 비슷한 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°C 높은 온도가 나타나고 있어 조연제 C의 첨가 효과는 소폭의 역효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

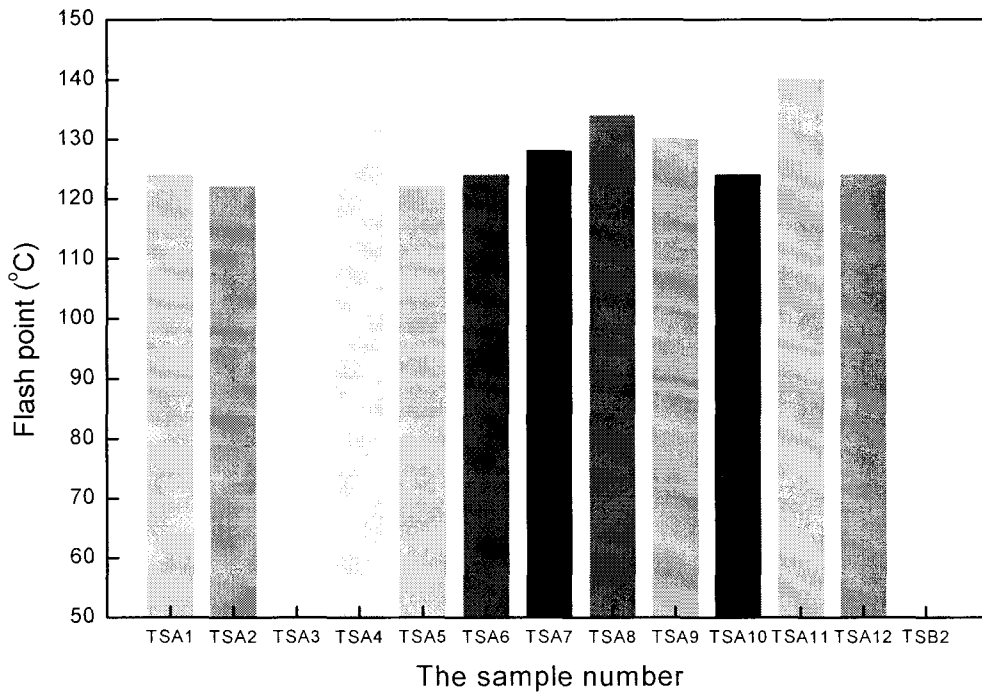


그림 3-12 인화점 시험 결과

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 3-13은 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.

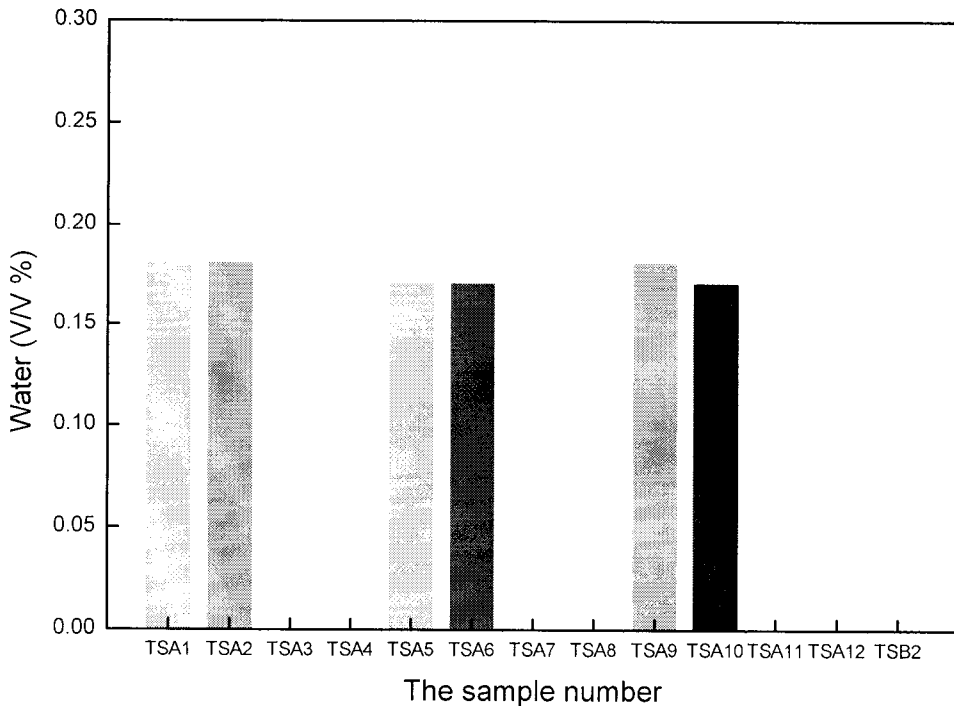


그림 3-13 수분 시험 결과

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 조연제 A를 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 의해 황분 등의 화학적 성분이 달라지지 않는 것으로 알려져 있기 때문에 조연제 B 및 C를 첨가한 시료유는 시험에서 제외하였다.

그림 3-14는 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.

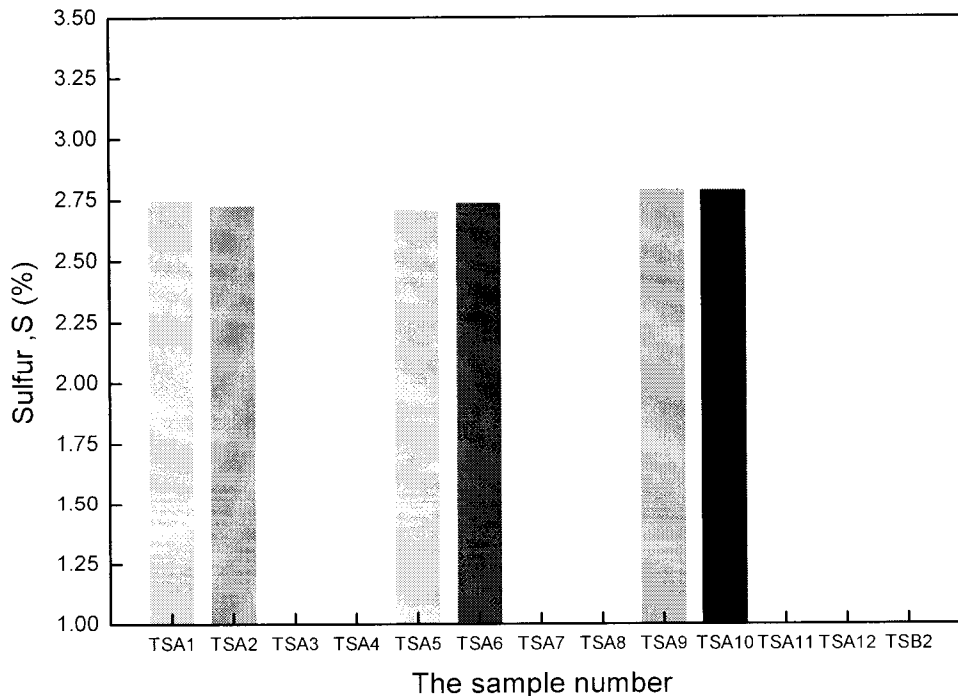


그림 3-14 황분 시험 결과

11) 혼합안정성

혼합안정성 시험(Compatability 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 3-15는 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 처리를 한 연료유에 조연제 B 및 C를 첨가하는 경우에는 주의를 요한다고 판단된다.

그림 3-16은 각 시료의 혼합안정성(Compatability)을 시험하기 위하여 수행한 Spot Test 결과를 촬영한 사진이다. 정제전 시료인 TSB2와 두 가지 정제 방법을 직렬로 통과한 TSA9에 조연제 B를 첨가한 TSA11, 조연제 C를 첨가한 TSA12의 경우는 뚜렷한 3등급을 나타내고 있고, 그 외 나머지 시료들은 대체로 2-3등급을 보이고 있다.

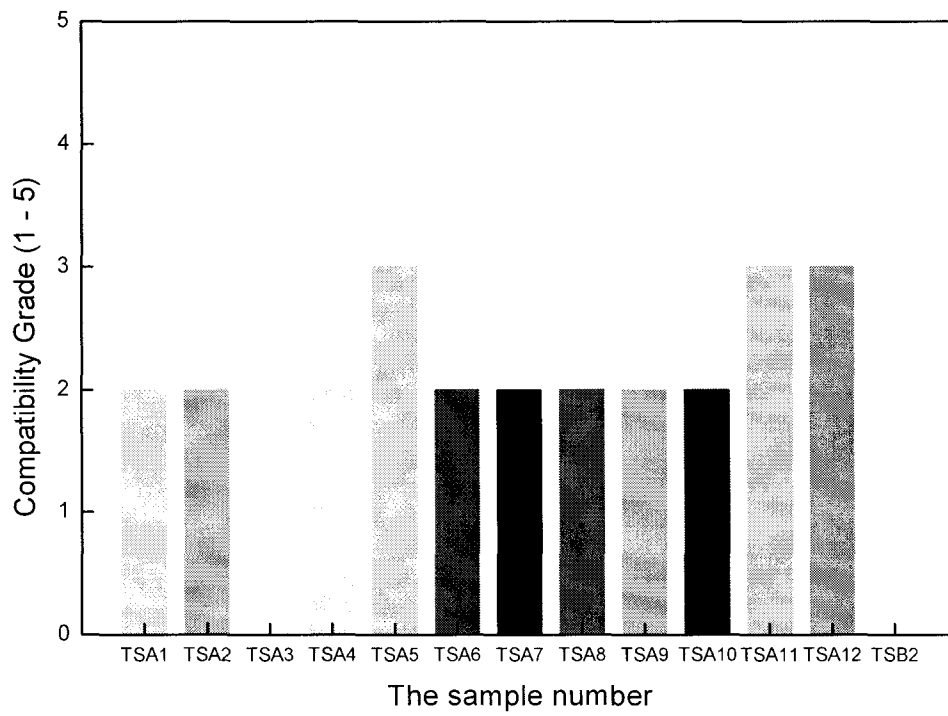
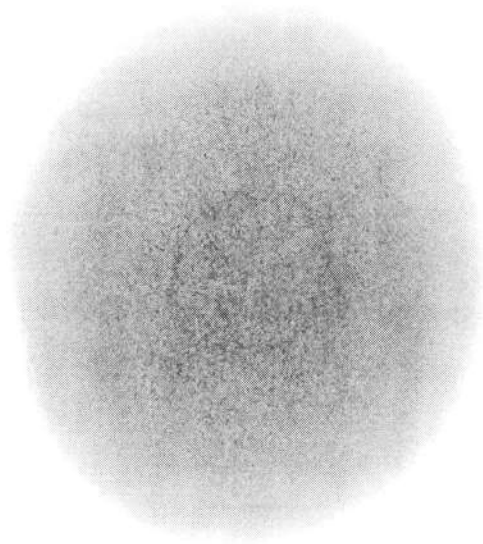
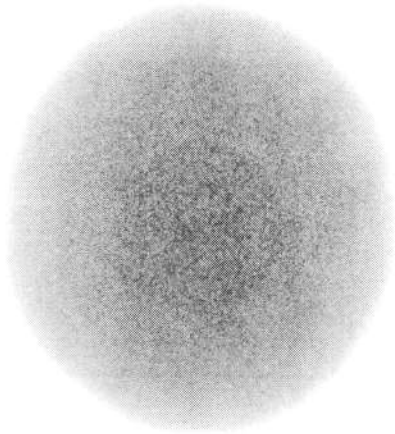


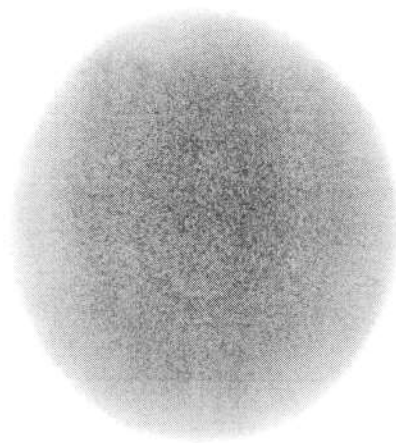
그림 3-15 혼합안정성 시험 결과



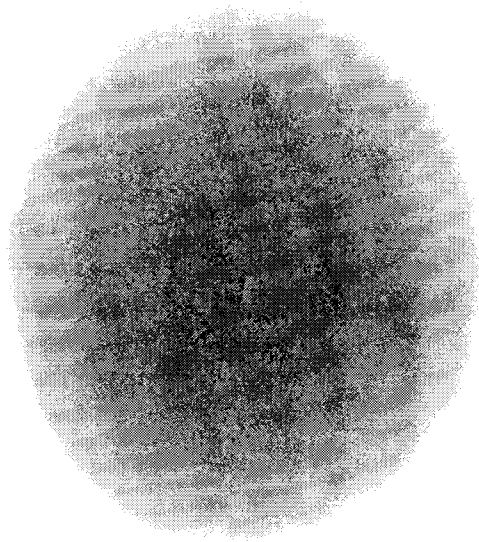
3.16.1 Spot Test
TSB2 (No.3)



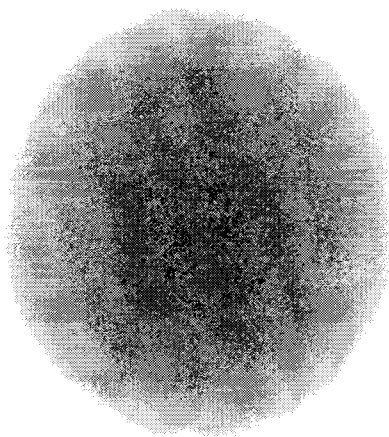
3.16.2 Spot Test
TSA1 (No.2)



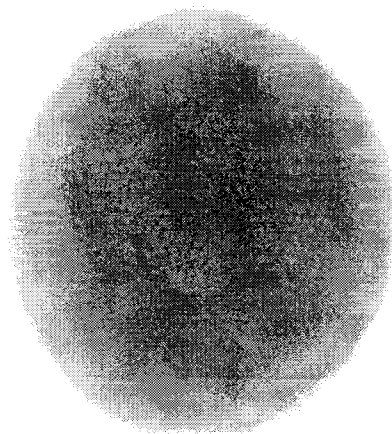
3.16.3 Spot Test
TSA2 (No.2)



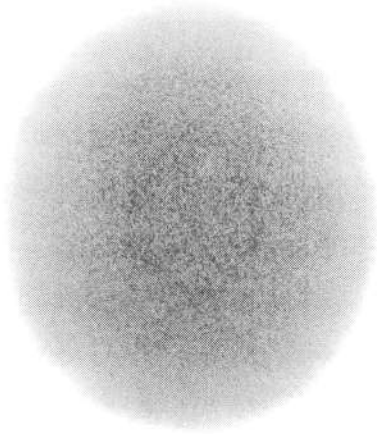
3.16.1 Spot Test
TSB2 (No.3)



3.16.2 Spot Test
TSA1 (No.2)

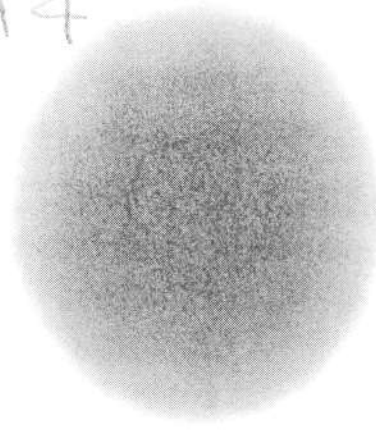


3.16.3 Spot Test
TSA2 (No.2)

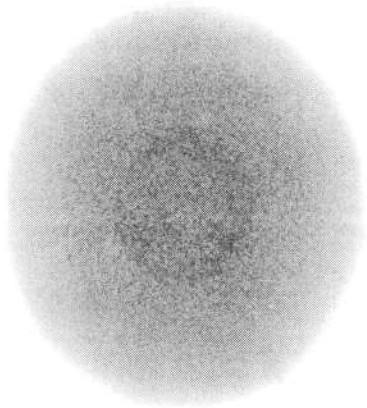


3.16.4 Spot Test
TSA3 (No.2)

A4

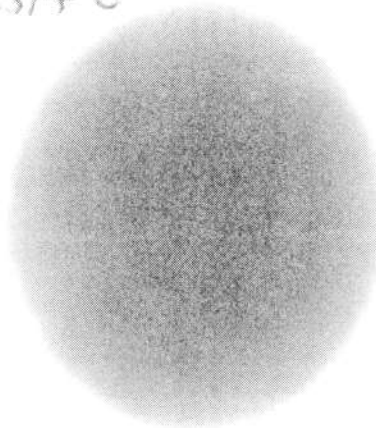


3.16.5 Spot Test
TSA4 (No.2)



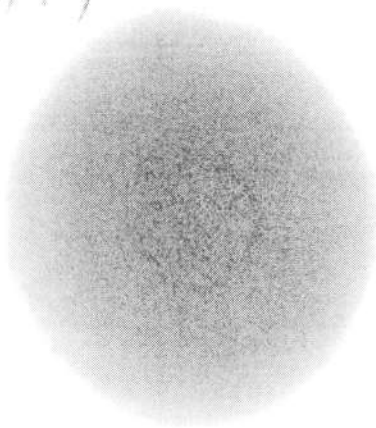
3.16.6 Spot Test
TSA5 (No.3)

TSA 6



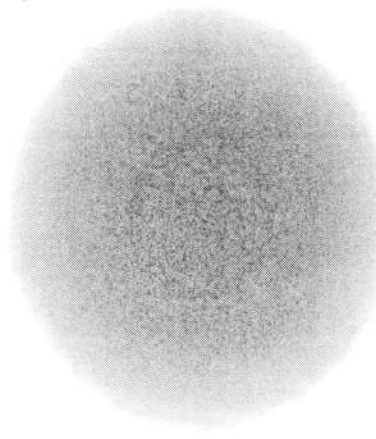
3.16.7 Spot Test
TSA6 (No.2)

TSA 7

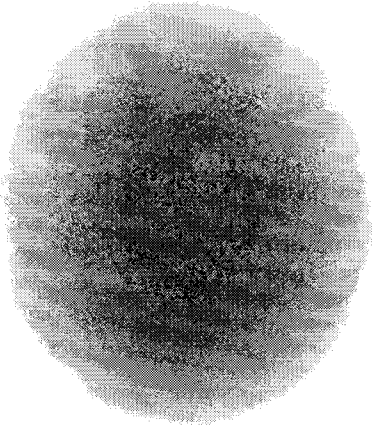


3.16.8 Spot Test
TSA7 (No.2)

TSA 8

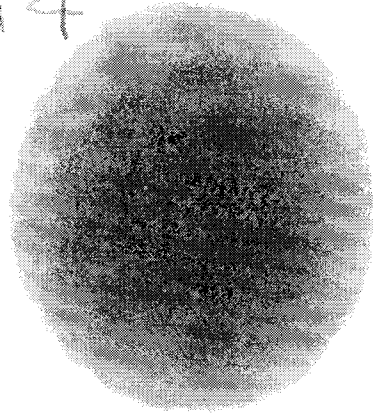


3.16.9 Spot Test
TSA8 (No.2)

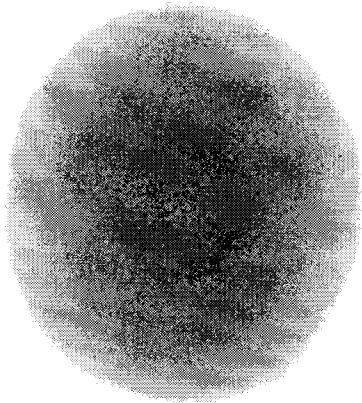


3.16.4 Spot Test
TSA3 (No.2)

A 4

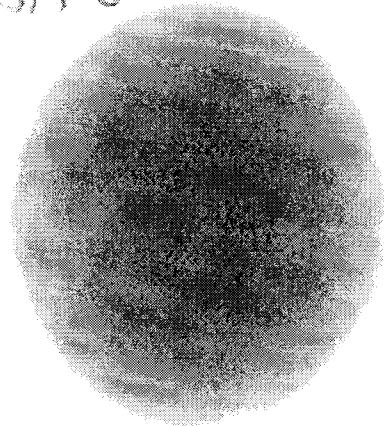


3.16.5 Spot Test
TSA4 (No.2)



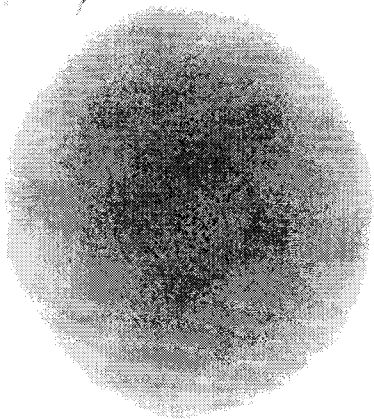
3.16.6 Spot Test
TSA5 (No.3)

TSA 6



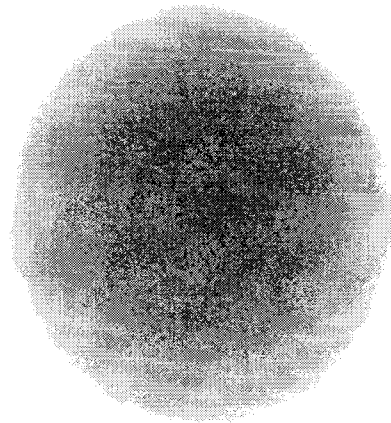
3.16.7 Spot Test
TSA6 (No.2)

TSA 7

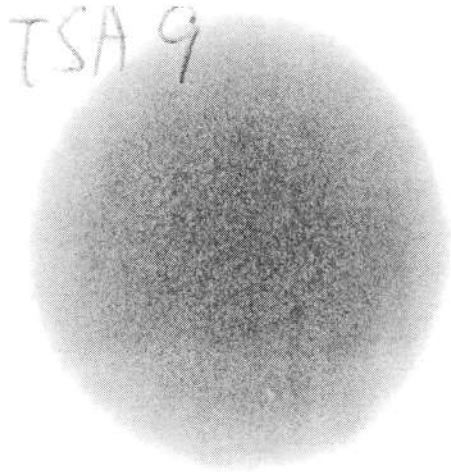


3.16.8 Spot Test
TSA7 (No.2)

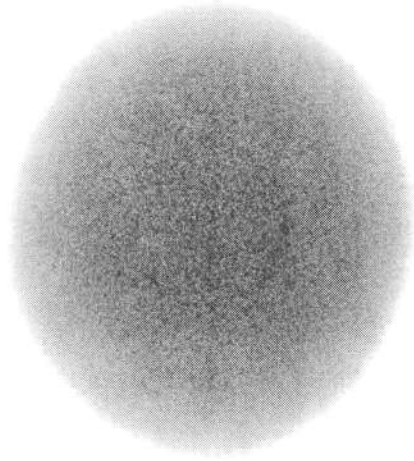
TSA 8



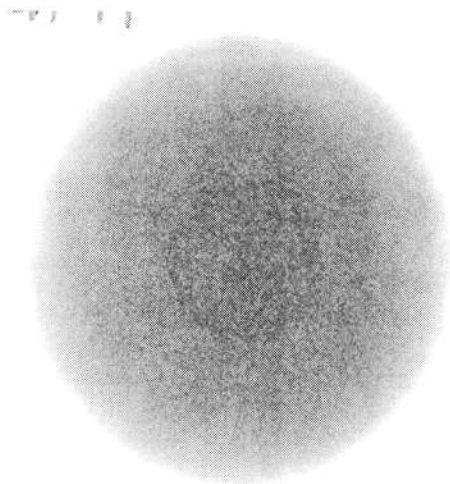
3.16.9 Spot Test
TSA8 (No.2)



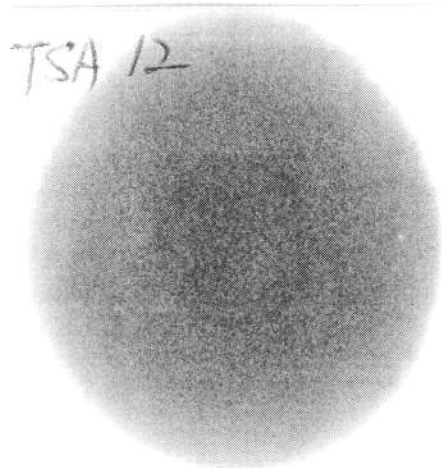
3.16.10 Spot Test
TSA9 (No.2)



3.16.11 Spot Test
TSA10 (No.2)

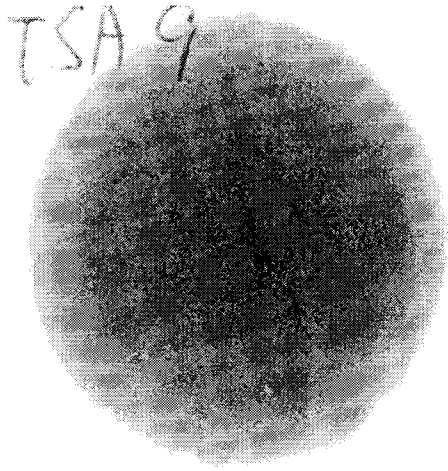


3.16.12 Spot Test
TSA11 (No.3)

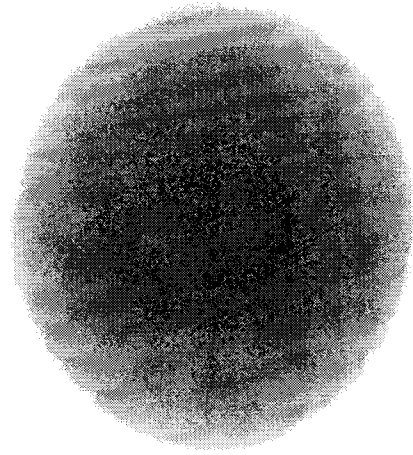


3.16.13 Spot Test
TSA12 (No.3)

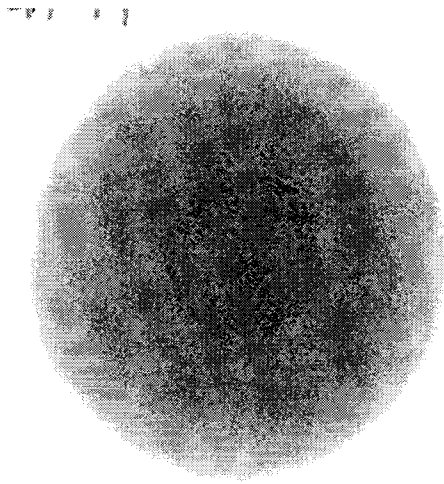
그림 3-16 Spot Test



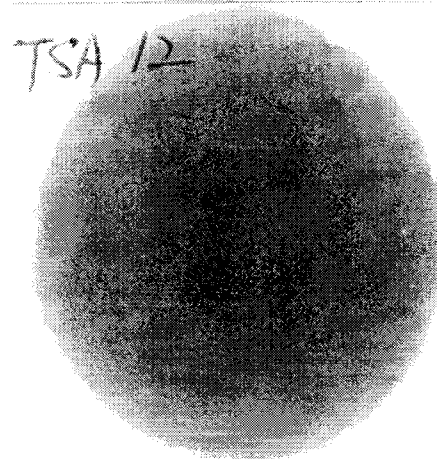
3.16.10 Spot Test
TSA9 (No.2)



3.16.11 Spot Test
TSA10 (No.2)



3.16.12 Spot Test
TSA11 (No.3)



3.16.13 Spot Test
TSA12 (No.3)

그림 3-16 Spot Test

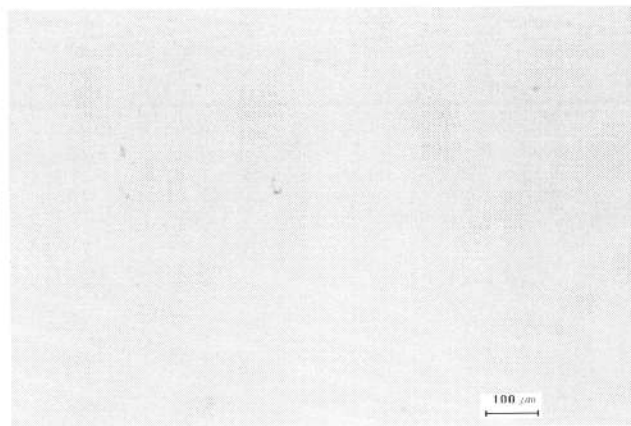
12) 현미경 분석

연료유중의 슬러지분과 이물질 그리고 촉매 입자 등은 연료의 분사에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 기관의 이상마모 및 연소 후 카아본 플라워 등과 같은 퇴적물로 나타날 수 있다. 일반적으로 중유에 포함되어 있는 슬러지분 등은 원심식 유청정기를 통하여 정제하고, 이물질 등은 연료유 공급 시스템에 설치되어 있는 각종 여과기를 통하여 필터링 한다.

이 시험에서는 각 시료의 이물질의 혼입 상태와 균질화 효과를 알아보기 위하여 현미경 확대 분석을 하였다. 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13 종류로 하였다.

(1) 50배 확대 사진

그림 3-17은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 50배이다. 그림 3.17.1은 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2의 50배 확대 사진이다. 전체적으로 소량의 이물질의 모습을 볼 수 있으며 크기는 약 5~40 μm 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 2 μm 미만의 미세 입자를 포함하여 전체면적 대비 약 2% 미만으로 나타났다. Purifier 정제유 TSA1과 조연제 A, B, C를 첨가한 TSA2, 3, 4, M.C.H. 정제유 TSA5와 조연제 A, B, C를 첨가한 TSA6, 7, 8, 그리고 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9와 조연제를 첨가한 TSA10, 11, 12에서도 비슷한 분석 결과가 나왔다. 이것은 시험에 사용된 시료유인 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중질유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등의 이물질의 혼입이 적기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 이와 같이 비교적 양질의 중유에서는 Purifier와 M.C.H. 모두 고형분의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단되며, 조연제 첨가로 인한 효과도 미미한 것으로 판단된다.



3.17.1 현미경사진 TSB2

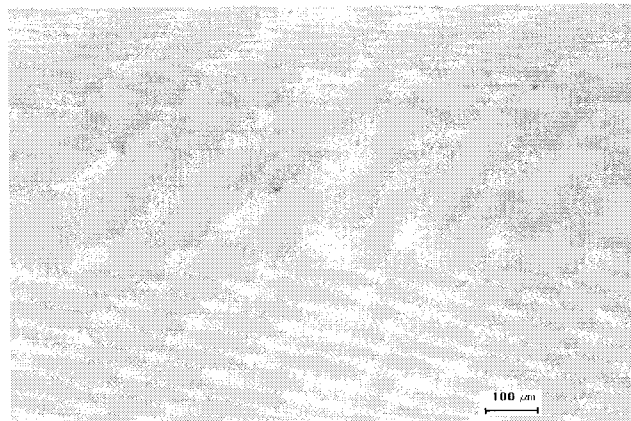
12) 현미경 분석

연료유중의 슬러지분과 이물질 그리고 촉매 입자 등은 연료의 분사에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 기관의 이상마모 및 연소 후 카아본 플라워 등과 같은 퇴적물로 나타날 수 있다. 일반적으로 중유에 포함되어 있는 슬러지분 등은 원심식 유청정기를 통하여 정제하고, 이물질 등은 연료유 공급 시스템에 설치되어 있는 각종 여과기를 통하여 필터링 한다.

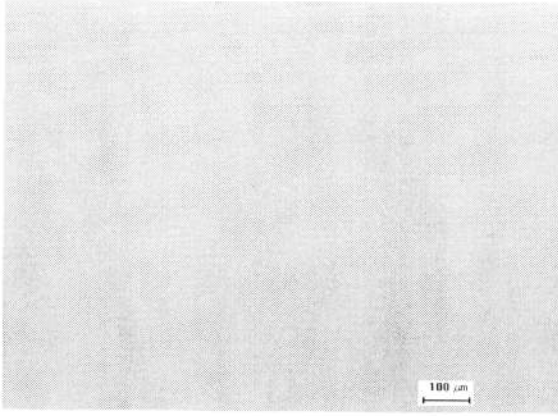
이 시험에서는 각 시료의 이물질의 혼입 상태와 균질화 효과를 알아보기 위하여 현미경 확대 분석을 하였다. 시료유는 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2와 정제 후 조연제를 첨가한 시료유 TSA1~TSA12를 포함하여 총 13 종류로 하였다.

(1) 50배 확대 사진

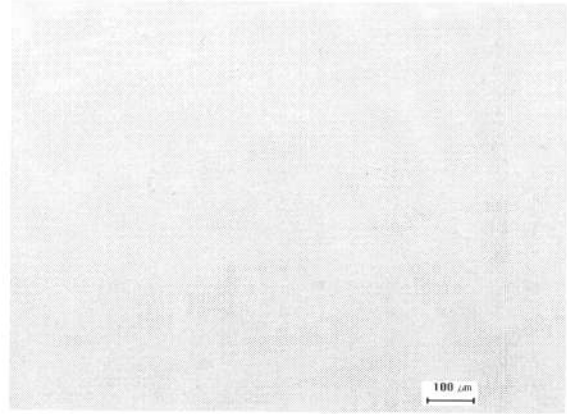
그림 3-17은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 50배이다. 그림 3.17.1은 정제 전 시료유(MF30급 혼합유)인 TSB2의 50배 확대 사진이다. 전체적으로 소량의 이물질의 모습을 볼 수 있으며 크기는 약 5~40 μm 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 2 μm 미만의 미세 입자를 포함하여 전체면적 대비 약 2% 미만으로 나타났다. Purifier 정제유 TSA1과 조연제 A, B, C를 첨가한 TSA2, 3, 4, M.C.H. 정제유 TSA5와 조연제 A, B, C를 첨가한 TSA6, 7, 8, 그리고 Purifier 정제 처리 후 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 TSA9와 조연제를 첨가한 TSA10, 11, 12에서도 비슷한 분석 결과가 나왔다. 이것은 시험에 사용된 시료유인 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중질유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등의 이물질의 혼입이 적기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 이와 같이 비교적 양질의 중유에서는 Purifier와 M.C.H. 모두 고형분의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단되며, 조연제 첨가로 인한 효과도 미미한 것으로 판단된다.



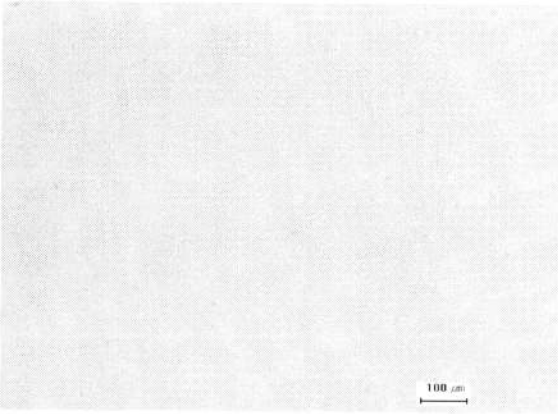
3.17.1 현미경사진 TSB2



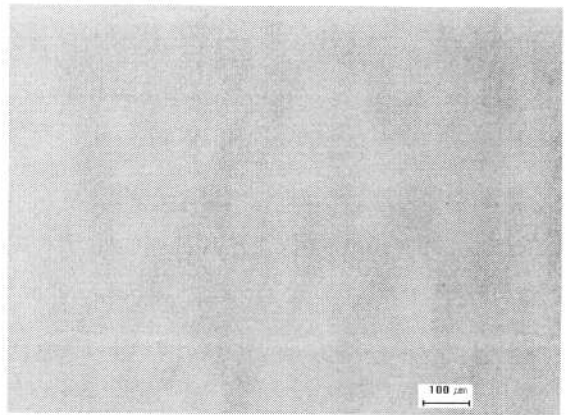
3.17.2 현미경사진 TSA1



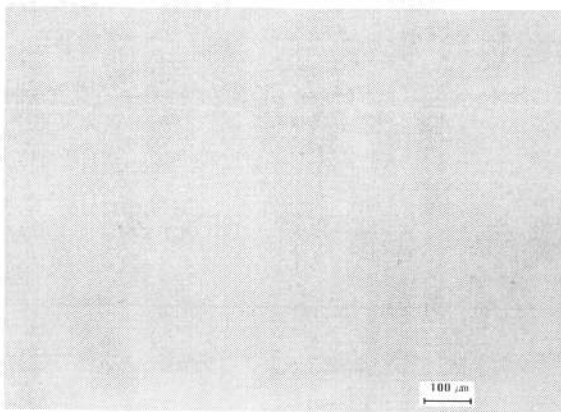
3.17.3 현미경사진 TSA2



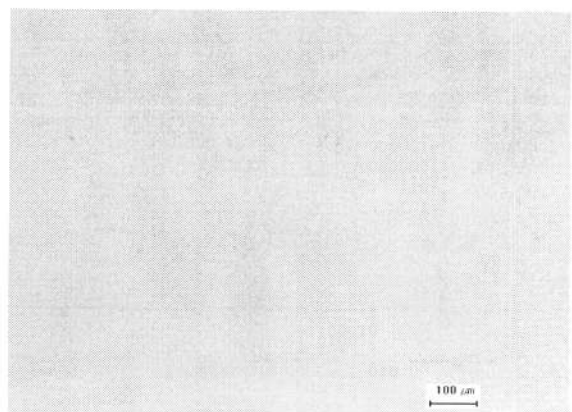
3.17.4 현미경사진 TSA3



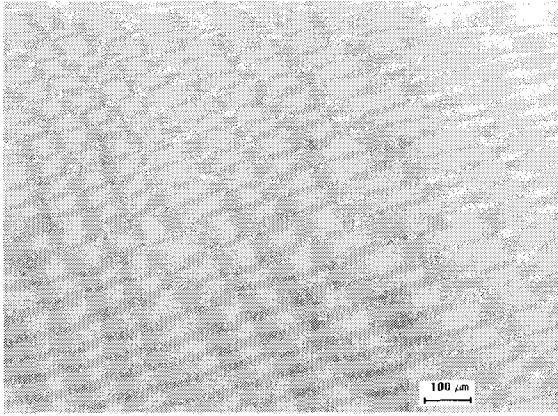
3.17.5 현미경사진 TSA4



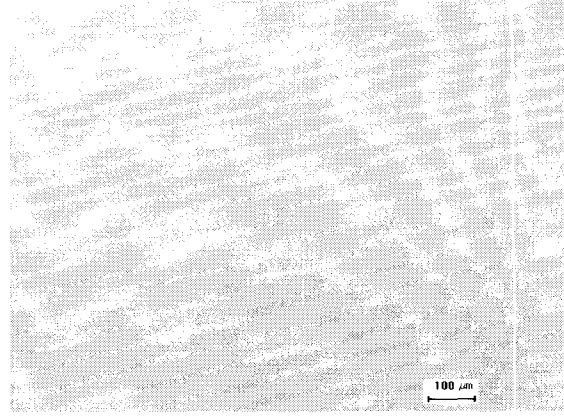
3.17.6 현미경사진 TSA5



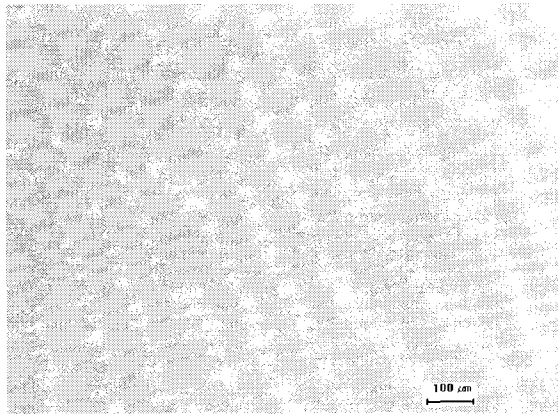
3.17.7 현미경사진 TSA6



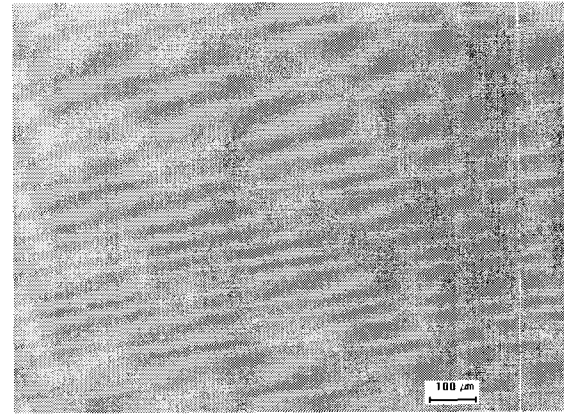
3.17.2 현미경사진 TSA1



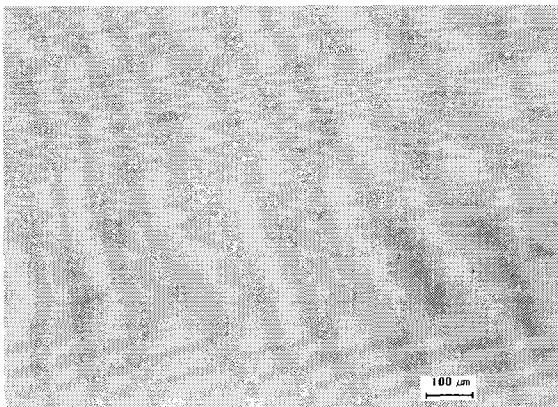
3.17.3 현미경사진 TSA2



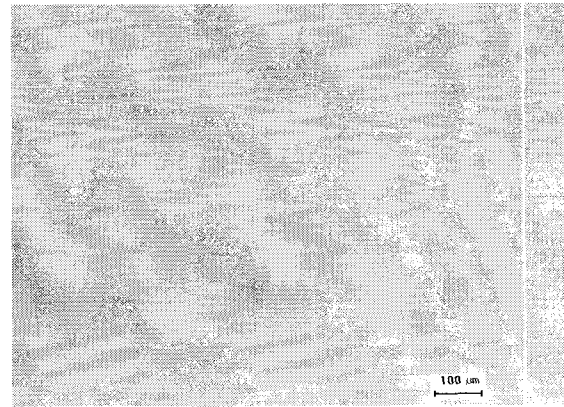
3.17.4 현미경사진 TSA3



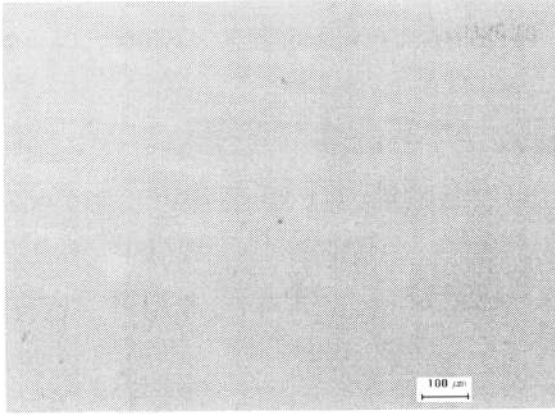
3.17.5 현미경사진 TSA4



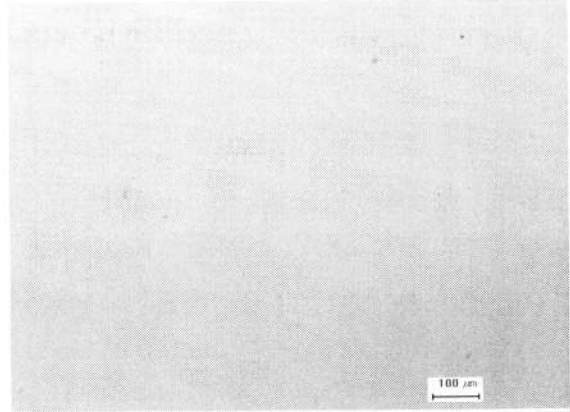
3.17.6 현미경사진 TSA5



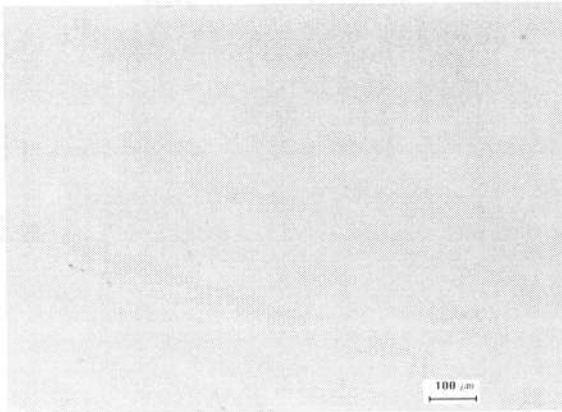
3.17.7 현미경사진 TSA6



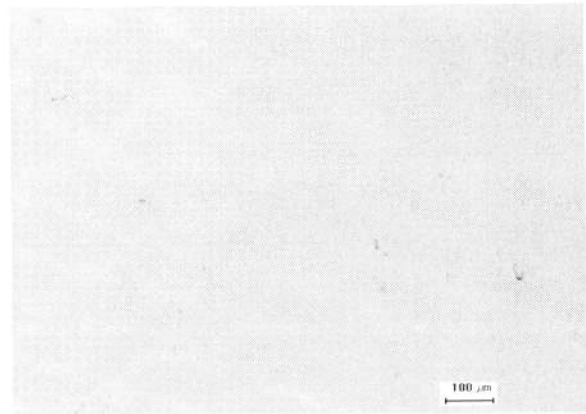
3.17.8 현미경사진 TSA7



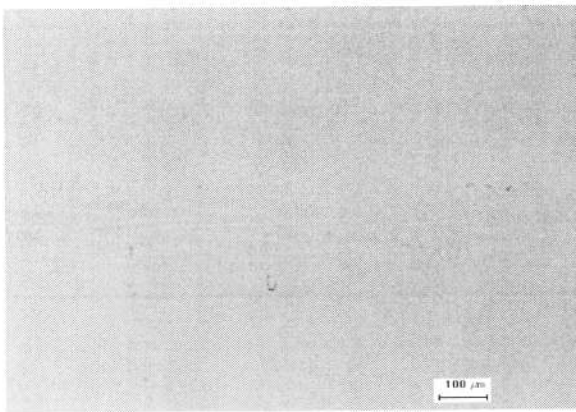
3.17.9 현미경사진 TSA8



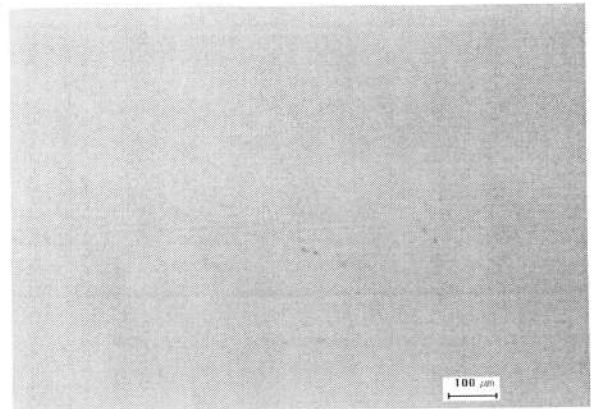
3.17.10 현미경사진 TSA9



3.17.11 현미경사진 TSA10

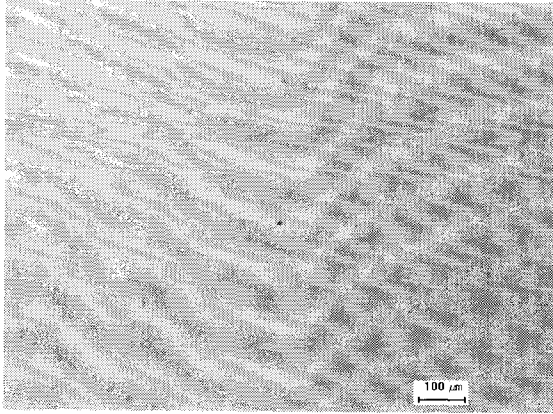


3.17.12 현미경사진 TSA11

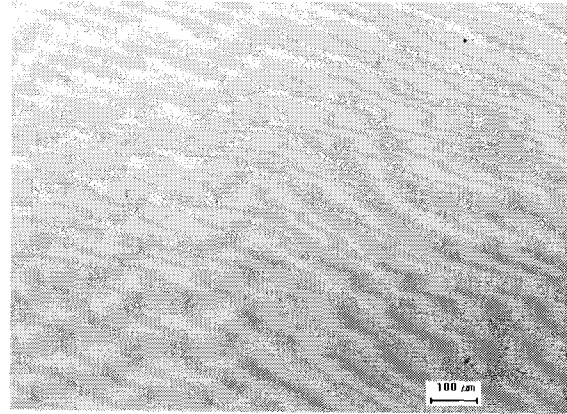


3.17.13 현미경사진 TSA12

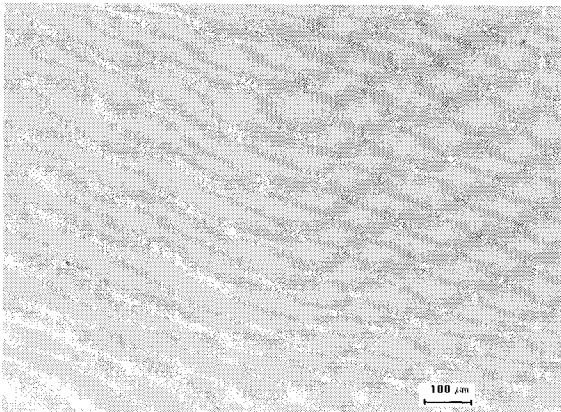
그림 3-17 현미경사진 (50배)



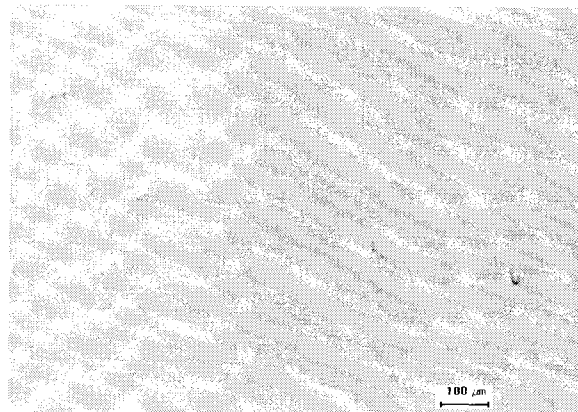
3.17.8 현미경사진 TSA7



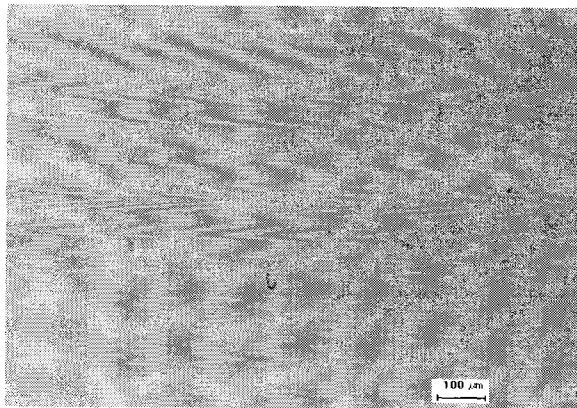
3.17.9 현미경사진 TSA8



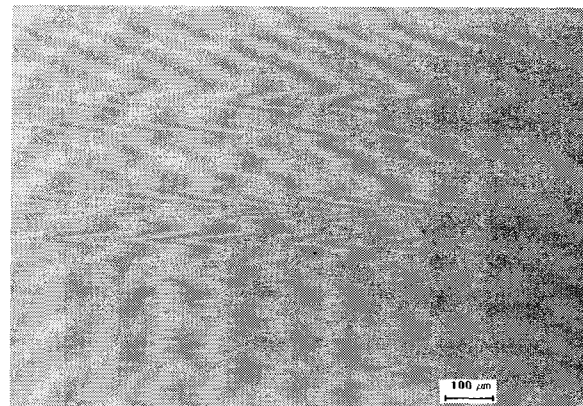
3.17.10 현미경사진 TSA9



3.17.11 현미경사진 TSA10



3.17.12 현미경사진 TSA11



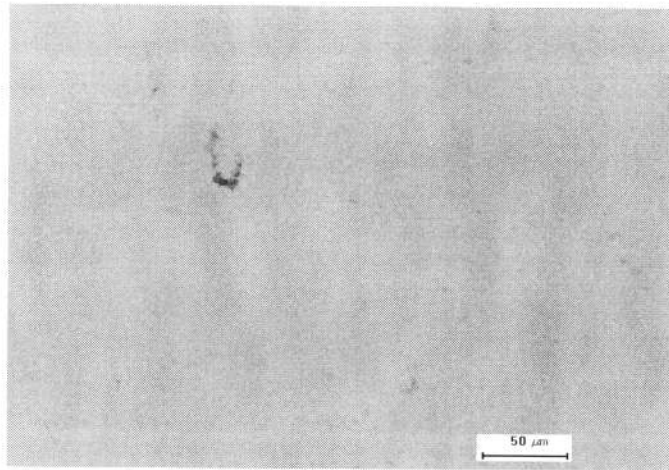
3.17.13 현미경사진 TSA12

그림 3-17 현미경사진 (50배)

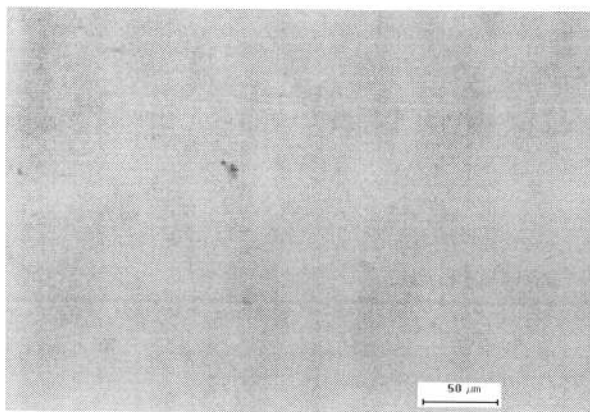
(2) 160배 확대 사진

그림 3.18은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 160배이다. 앞서 50배로 확대한 시료의 촬영 영역과 동일한 영역을 촬영한 사진이다.

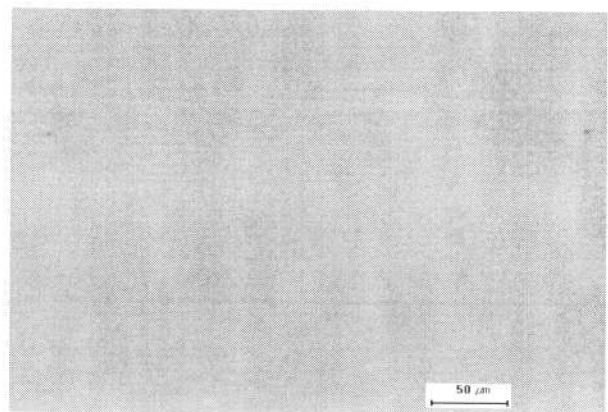
50배 확대한 사진보다 이물질의 상태가 좀더 크고 자세히 나타나 있는 모습을 볼 수 있으며 앞서 고찰한 바와 마찬가지로 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등 이물질의 혼입이 적으므로 Purifier와 M.C.H.에 의한 이물질 등의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단된다.



3.18.1 현미경사진 TSB2



3.18.2 현미경사진 TSA1

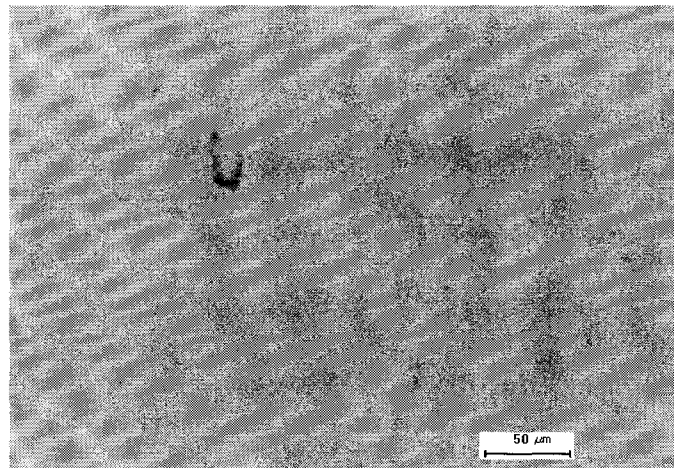


3.18.3 현미경사진 TSA2

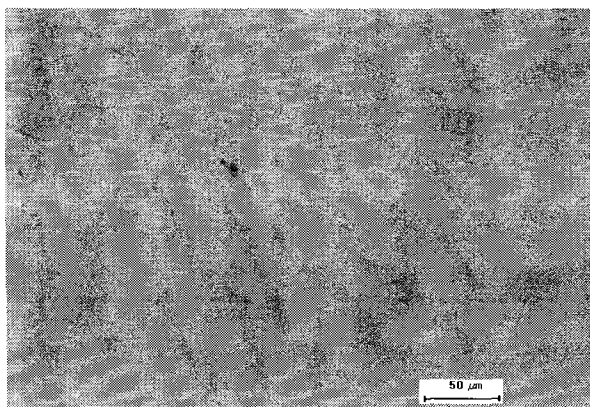
(2) 160배 확대 사진

그림 3.18은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 160배이다. 앞서 50배로 확대한 시료의 촬영 영역과 동일한 영역을 촬영한 사진이다.

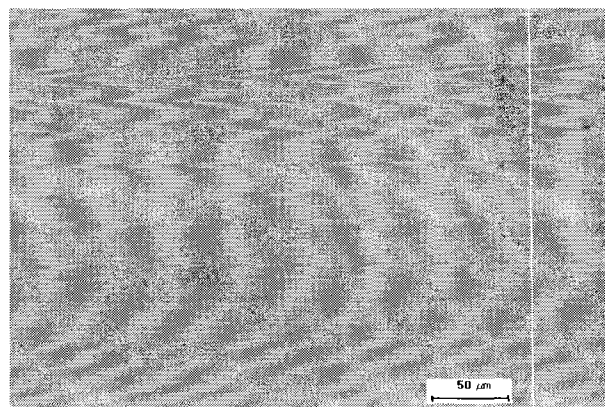
50배 확대한 사진보다 이물질의 상태가 좀더 크고 자세히 나타나 있는 모습을 볼 수 있으며 앞서 고찰한 바와 마찬가지로 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등 이물질의 혼입이 적으므로 Purifier와 M.C.H.에 의한 이물질 등의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단된다.



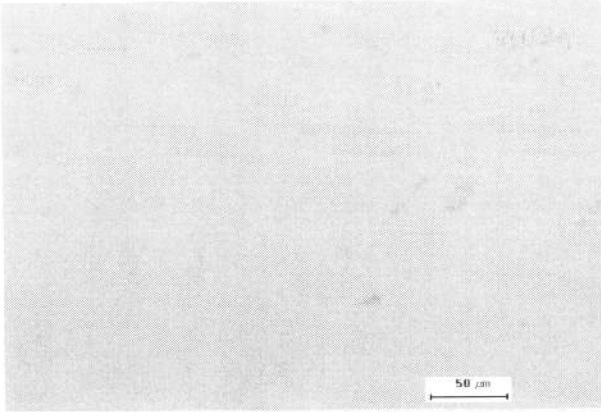
3.18.1 현미경사진 TSB2



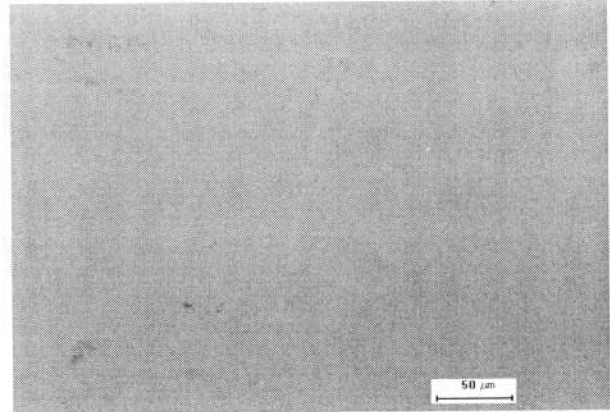
3.18.2 현미경사진 TSA1



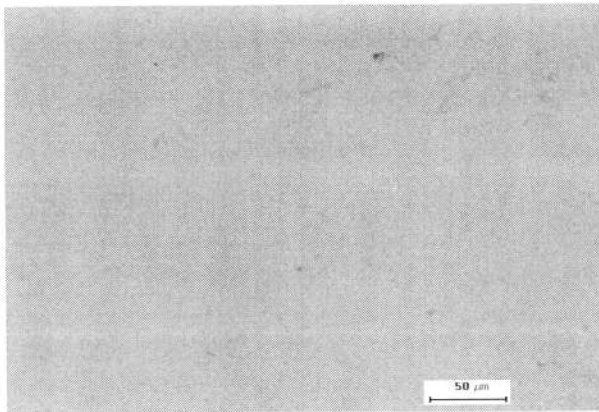
3.18.3 현미경사진 TSA2



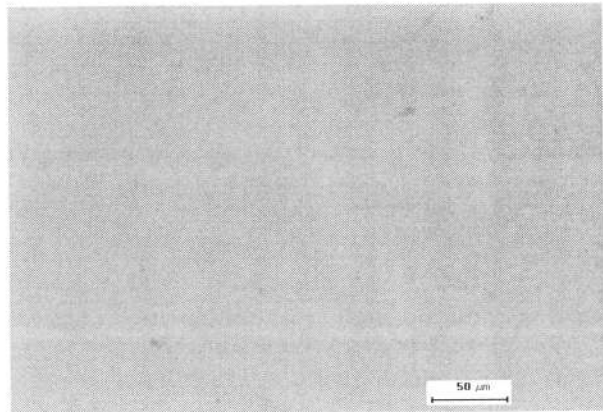
3.18.4 현미경사진 TSA3



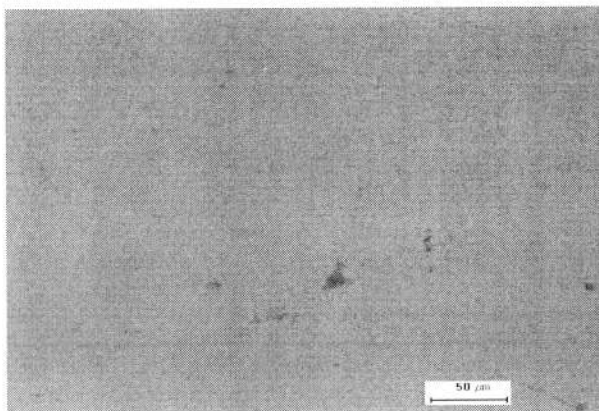
3.18.5 현미경사진 TSA4



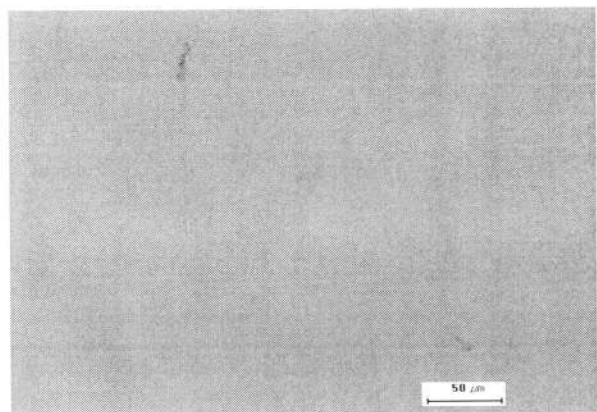
3.18.6 현미경사진 TSA5



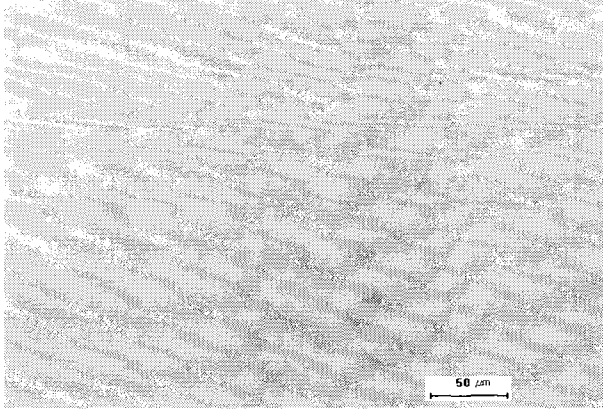
3.18.7 현미경사진 TSA6



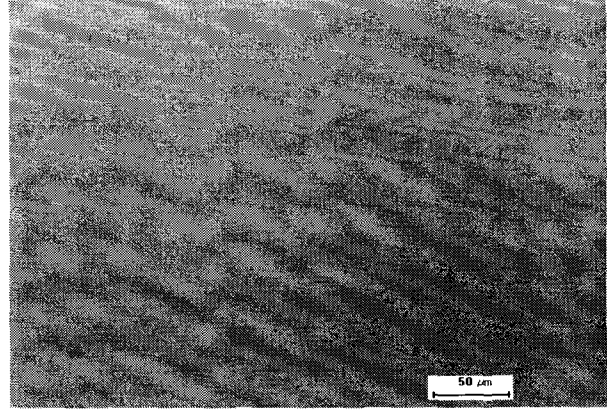
3.18.8 현미경사진 TSA7



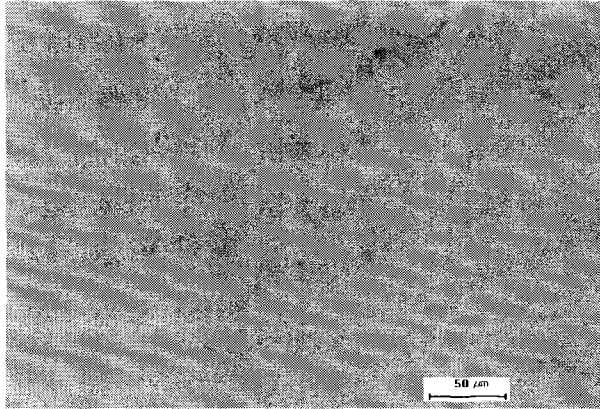
3.18.9 현미경사진 TSA8



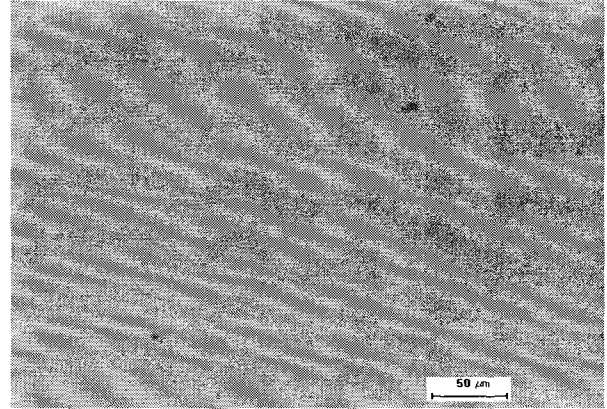
3.18.4 현미경사진 TSA3



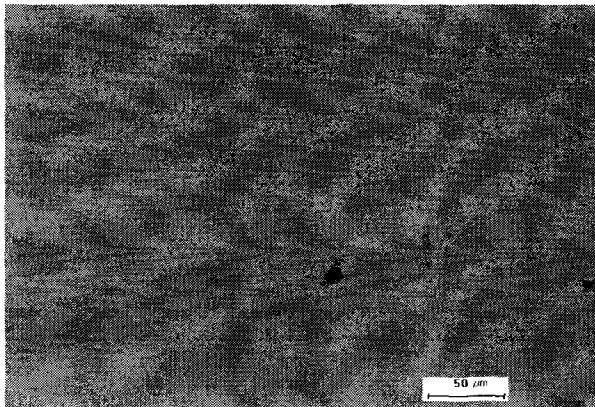
3.18.5 현미경사진 TSA4



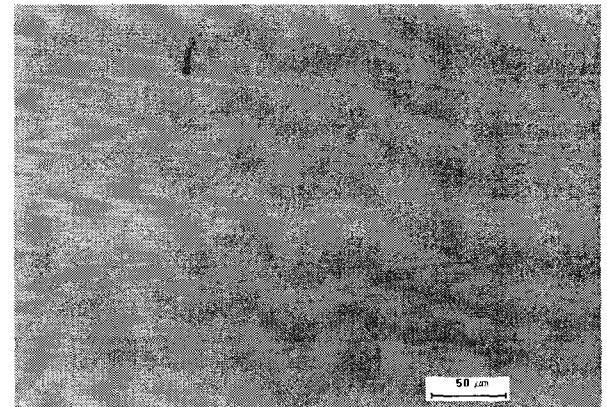
3.18.6 현미경사진 TSA5



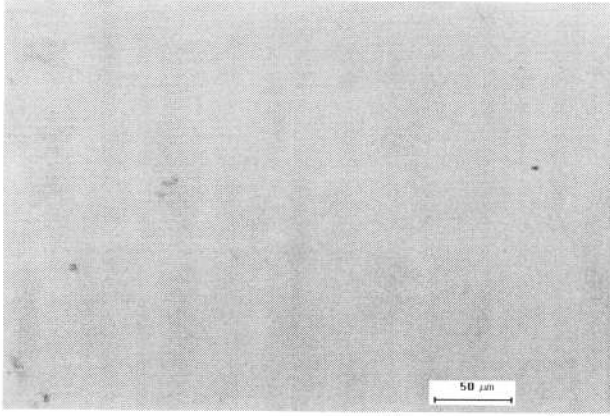
3.18.7 현미경사진 TSA6



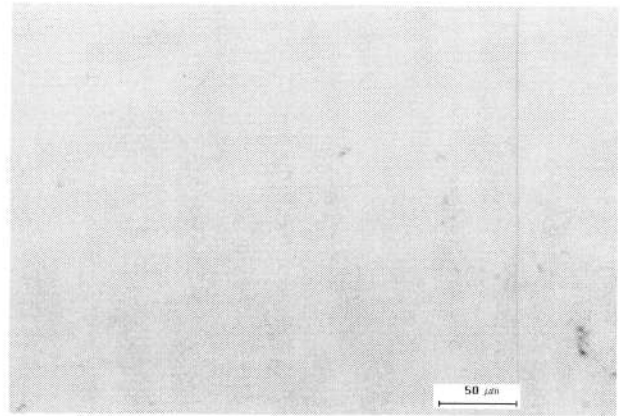
3.18.8 현미경사진 TSA7



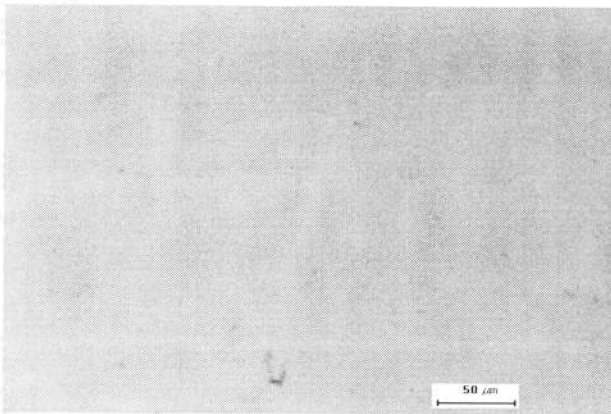
3.18.9 현미경사진 TSA8



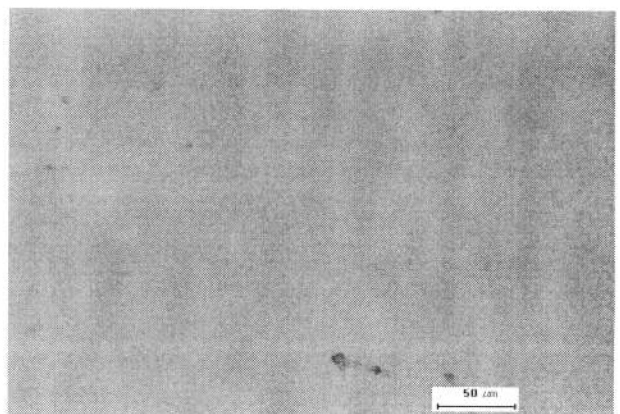
3.18.10 현미경사진 TSA9



3.18.11 현미경사진 TSA10



3.18.12 현미경사진 TSA11



3.18.13 현미경사진 TSA12

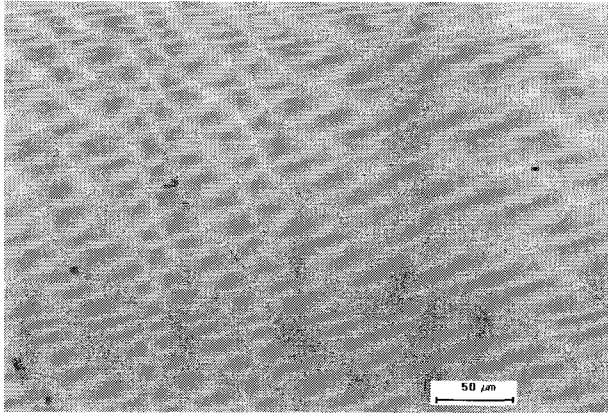
그림 3-18 현미경사진 (160배)

3-3-5 추가 시료유의 물리화학적 특성 분석

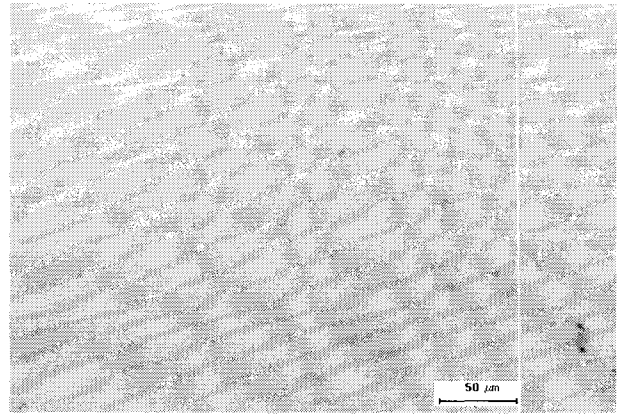
1) 시료유의 분류

추가시험에 사용된 연료유 sample은 총 5종으로 다음과 같다.

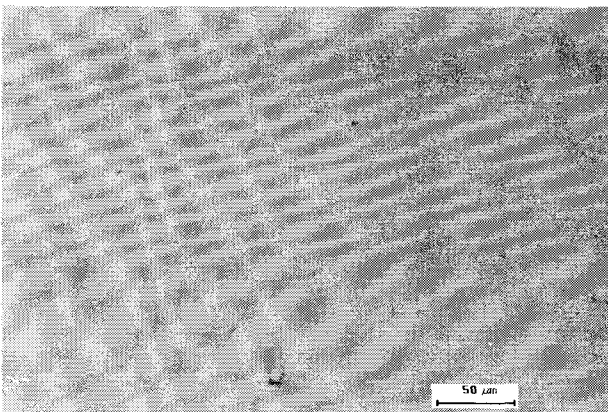
- ① CASE 1 : M.C.H.를 사용하여 정제한 MF30급 혼합유
- ② CASE 2 : Purifier를 사용하여 정제한 MF30급 혼합유
- ③ CASE 3 : Purifier 정제 후 M.C.H.로 다시 정제한 MF30급 혼합유
- ④ CASE 4 : 정제되지 않은 MF30급 혼합유(풍림12호에 공급)
- ⑤ CASE 5 : 정제되지 않은 MF30급 혼합유(베레슬7호에 공급)



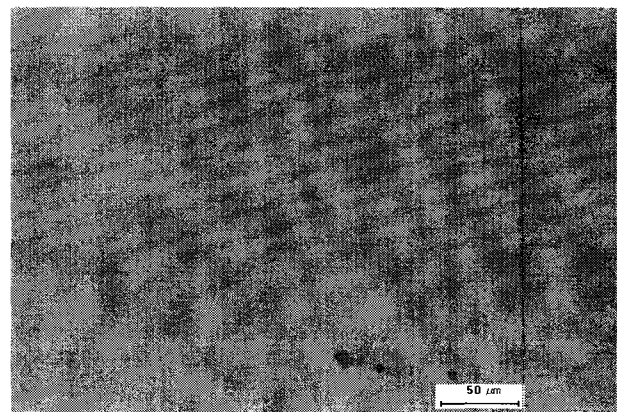
3.18.10 현미경사진 TSA9



3.18.11 현미경사진 TSA10



3.18.12 현미경사진 TSA11



3.18.13 현미경사진 TSA12

그림 3-18 현미경사진 (160배)

3-3-5 추가 시료유의 물리화학적 특성 분석

1) 시료유의 분류

추가시험에 사용된 연료유 sample은 총 5종으로 다음과 같다.

- ① CASE 1 : M.C.H.를 사용하여 정제한 MF30급 혼합유
- ② CASE 2 : Purifier를 사용하여 정제한 MF30급 혼합유
- ③ CASE 3 : Purifier 정제 후 M.C.H.로 다시 정제한 MF30급 혼합유
- ④ CASE 4 : 정제되지 않은 MF30급 혼합유(풍림12호에 공급)
- ⑤ CASE 5 : 정제되지 않은 MF30급 혼합유(베레슬7호에 공급)

표 3-9은 이상과 같은 총 5종의 시료에 대한 성상 분석 결과표이다. 각각의 시험항목에 대한 분석 결과는 하기 그래프와 함께 고찰하였다.

표 3-9 추가 성상시험 결과

시험 항목 시료 번호	비중	동점도 (cSt@50℃)	유동점 (℃)	인화점 (℃)	수분 (V/V %)	황분 (%)	혼합안정성 등급(1-5)
CASE 1	0.9060	17.36	-22.5	78	0.10	1.41	1
CASE 2	0.9150	26.60	-20.0	81	0.10	1.56	1
CASE 3	0.9170	25.91	-22.5	79	0.10	1.56	1
CASE 4	0.8950	11.65	-27.5	73	0.10	1.26	1
CASE 5	0.8950	-	-	-	-	-	3

2) 비중(15/4℃)

연료유의 대표적인 물리적 특성을 나타내는 비중은 표준기압 하에서 4℃의 물의 질량에 대한 비교치로서 통상적으로 같은 장소에서의 무게비로 결정된다. 일반적으로 15℃에서 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 미국석유협회에서 공인되어 국제적으로 통용되고 있다.

그림 3-19는 15℃에서 각 시료의 비중을 측정한 그래프이다. 정제 전 시료인 POONGLIM이 0.8950으로 가장 낮게 나타났고, M.C.H.로 정제한 CASE1이 0.9060, Purifier로 정제한 CASE2가 0.9150, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 CASE3이 0.9170으로 가장 높은 수치를 보였다. 이 결과를 살펴보면 정제 전 시료유인 CASE4와 정제 후 시료유인 CASE1, 2, 3의 비중이 다소 차이가 나는데, 이것은 MF30급 혼합유의 효과적인 Blending이 되지 않은 상태로 시료유의 채취가 이루어져 약간의 오차가 발생한 것으로 보여진다. 즉, 정제 전 시료유와 정제 후 시료유의 성상 자체가 차이가 있는 것으로 판단되며, 정제 전 시료유에는 혼합유의 원재료인 경유성분이 많이 포함된 것으로 사료된다.

정제 후 시료의 비중을 살펴보면 M.C.H.로 정제한 시료유가 가장 비중이 낮게 나타나고 있고, Purifier 및 Purifier를 거쳐 M.C.H.로 정제한 시료유는 비중이 비슷하기 때문에 M.C.H.에 의한 정제 효과가 다소 높은 것으로 판단된다.

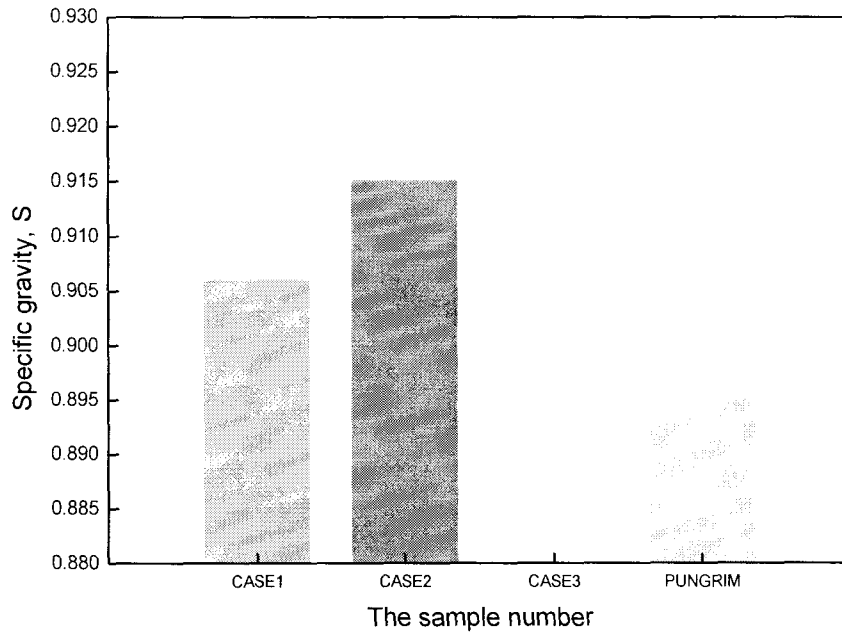


그림 3-19 비중 시험 결과

3) 동점도(cSt@50℃)

일반적으로 중유의 동점도는 50℃에서 측정된 센티 스토크스(1cSt=1mm²/sec) 값을 기준으로 하여 고온 및 저온에서의 점도를 계산하여 사용한다.

그림 3-20은 50℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 CASE 4이 11.65로 가장 낮게 나타났고, M.C.H.로 정제한 CASE1이 17.36, Purifier로 정제한 CASE2가 26.60, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 CASE3이 25.91로 나타났다.

이 결과를 살펴보면 정제 전 시료유인 CASE 4과 정제 후 시료유인 CASE1, 2, 3의 동점도가 다소 차이가 나는데, 이것은 앞서 비중 시험의 결과에서 언급한 바와 같이 정제 전 시료유와 정제 후 시료유의 성상 자체가 차이가 있는 것으로 판단되며, 정제 전 시료유에는 혼합유의 원재료인 경유성분이 많이 포함된 것으로 사료된다.

정제 후 시료의 동점도를 살펴보면 M.C.H.로 정제한 시료유의 동점도가 낮게 나타나고 있고, Purifier 및 Purifier를 거쳐 M.C.H.로 정제한 시료유는 동점도가 비슷하기 때문에 M.C.H.에 의한 정제 효과가 다소 높은 것으로 판단된다.

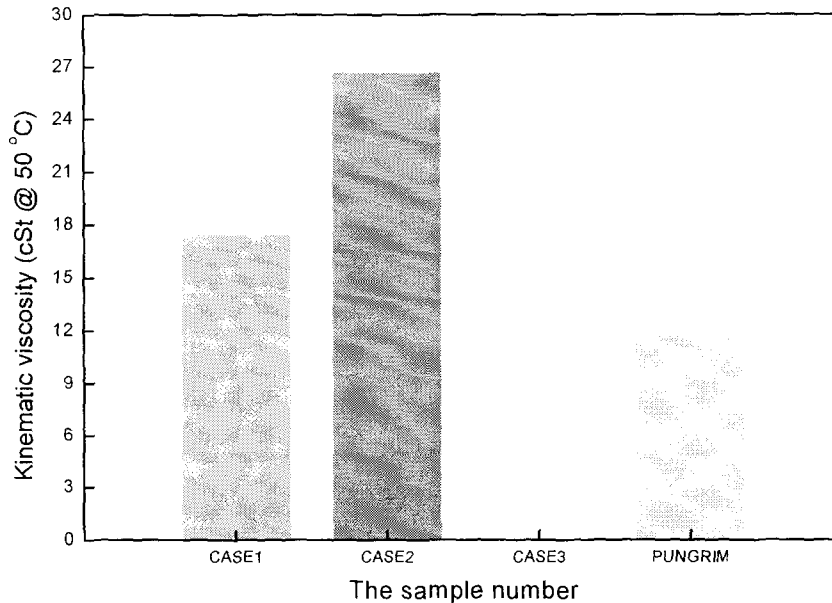


그림 3-20 50℃에서의 동점도 시험 결과

4) 유동점(℃)

유동점은 기름이 유체로 남아있는 가장 낮은 온도이며 따라서 선내에서 취급 목적을 위하여 알고 있는 것이 중요하다. 통상 응고점 또는 기름이 고체로 남아 있는 가장 높은 온도보다 약 3℃정도 높은 온도이다. 일반적으로 경질유 등의 증류연료유는 6℃ 이하, 중질유 등의 잔사연료유는 최고 30℃ 이하 까지 허용되고 있다.

그림 3-21은 유동점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 CASE 4이 -27.5℃로 가장 낮게 나타났고, M.C.H.로 정제한 CASE1이 -22.5℃, Purifier로 정제한 CASE2가 -20.0℃, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 CASE3이 -22.5℃를 나타냈다.

정제 전 시료유인 CASE 4이 가장 낮은 유동점을 나타내는 것은 앞서 비중 시험 및 동점도 시험 결과에서도 나타난 바와 같이 정제 전 시료유와 정제 후 시료유의 성상 자체가 차이가 있는 것으로 판단되며, 정제 전 시료유에는 혼합유의 원재료인 경유 성분이 많이 포함된 것으로 사료된다.

정제 후 시료의 유동점은 세 가지 경우에 모두 비슷하게 나타났지만, M.C.H.로 정제한 시료유가 Purifier로 정제한 시료유의 유동점보다 다소 낮은 수치를 보이고 있기 때문에 M.C.H.에 의한 정제 효과가 다소 높은 것으로 판단된다.

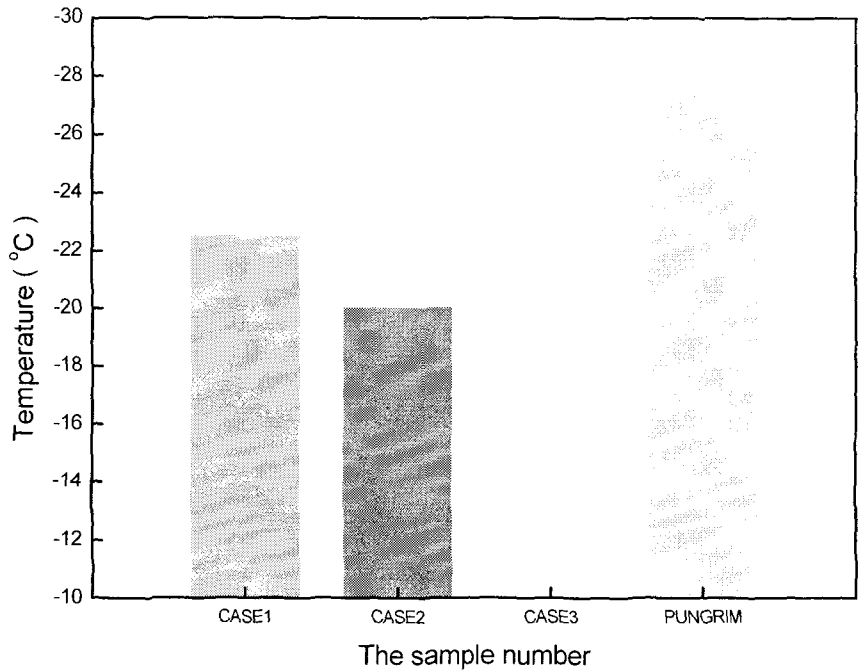


그림 3-21 유동점 시험 결과

5) 인화점(°C)

인화점은 기름이 연소할 수 있는 증기를 방출하는 가장 낮은 온도, 또는 공기 와 기름 증기 혼합이 화염 또는 불꽃에 의해 점화할 수 있는 가장 낮은 온도로서 정의되고 있다. 보통 중질유는 60°C 이상을 나타내며 인화점이 낮을수록 경질유 에 가까운 양질의 연료로 간주 될 수 있다.

그림 3-22는 인화점 시험 결과를 정리한 그래프이다. 정제 전 시료인 CASE 4이 73°C로 가장 낮게 나타났고, M.C.H.로 정제한 CASE1이 78°C, Purifier로 정제한 CASE2가 81°C, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 CASE3이 79°C를 나타냈다.

정제 전 시료유인 CASE 4이 가장 낮은 인화점을 나타내는 것은 앞서 비중, 동점도 및 유동점 시험 결과에서도 나타난 바와 같이 정제 전 시료유와 정제 후 시료유의 성상 자체가 차이가 있는 것으로 판단되며, 정제 전 시료유에는 혼합 유의 원재료인 경유성분이 많이 포함된 것으로 사료된다.

정제 후 시료의 인화점은 세 가지 경우에 모두 비슷하게 나타났지만, M.C.H.로 정제한 시료유가 Purifier로 정제한 시료유의 인화점보다 다소 낮은 수치를 보이고 있기 때문에 M.C.H.에 의한 정제 효과가 다소 높은 것으로 판단된다.

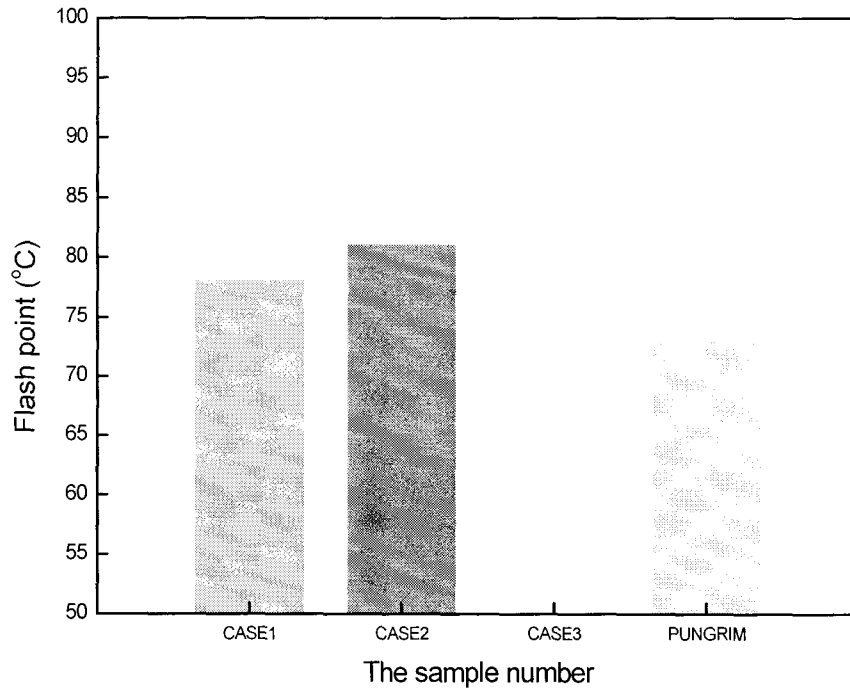


그림 3-22 인화점 시험 결과

6) 수분(V/V%)

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.

그림 3-23은 수분 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 CASE 4와 정제 후 시료유인 CASE1, 2, 3이 모두 동일한 수치를 보이고 있다. 따라서 M.C.H. 및 Purifier 모두 수분제거 효과는 미미한 것으로 판단된다.

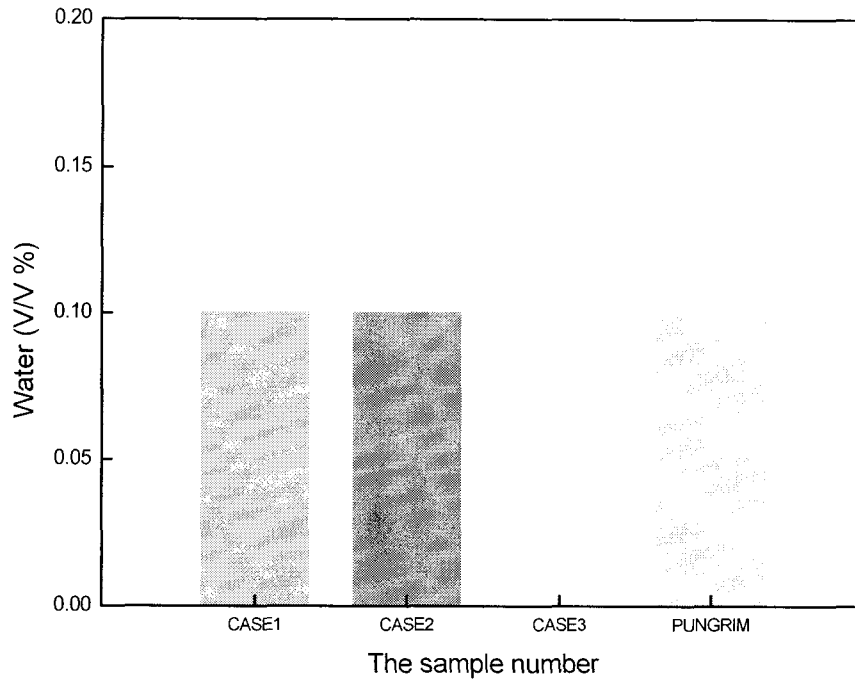


그림 3-23 수분 시험 결과

7) 황분(%)

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

그림 3-24는 황분 시험 결과를 나타내고 있다. 정제 전 시료인 CASE 4이 1.26으로 가장 낮게 나타났고, M.C.H.로 정제한 CASE1이 1.41, Purifier로 정제한 CASE2가 1.56, Purifier를 거쳐 M.C.H.로 다시 정제한 시료유인 CASE3이 1.56을 나타냈다. 일반적으로 황성분 등의 화학적 조성은 물리적인 정제 방법으로는 성분 함량의 변화를 가져 올 수 없다고 알려져 있다. 따라서 정제 전 시료유인 CASE 4가 가장 낮은 황분 함량을 나타내는 것은 앞서 밝힌 바와 같이 정제 전 시료유와 정제 후 시료유의 성상 자체가 차이가 있는 것으로 판단되며, 정제 전 시료유에는 혼합유의 원재료인 경유성분이 많이 포함된 것으로 사료된다.

정제 후 시료 중 M.C.H.로 정제한 시료유의 황분이 Purifier로 정제한 시료유의 황분보다 다소 낮은 수치를 보이고 있으나, 이것이 물리적인 정제효과에 의한 것으로 판단하기는 어렵다.

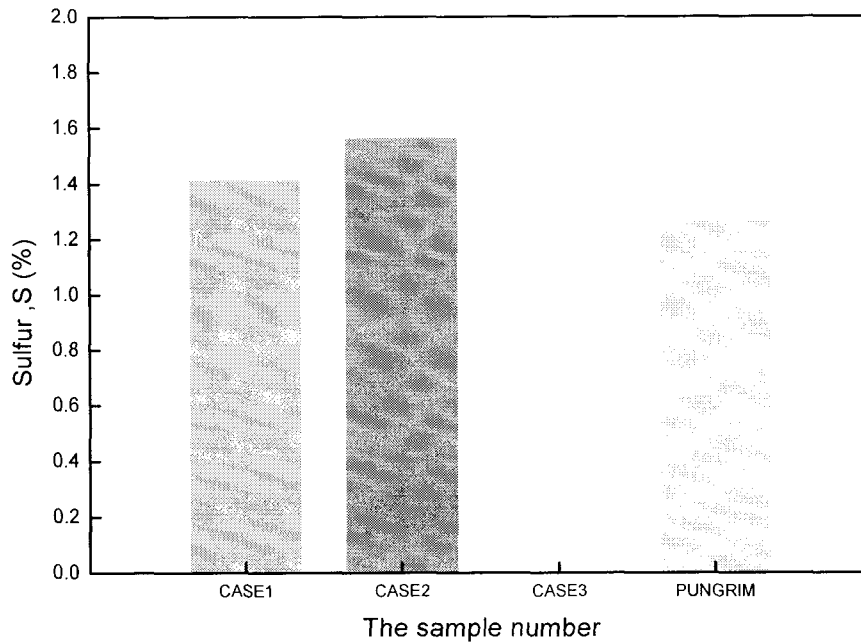
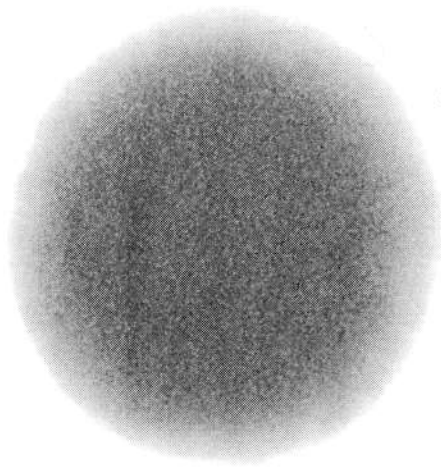


그림 3-24 황분 시험 결과

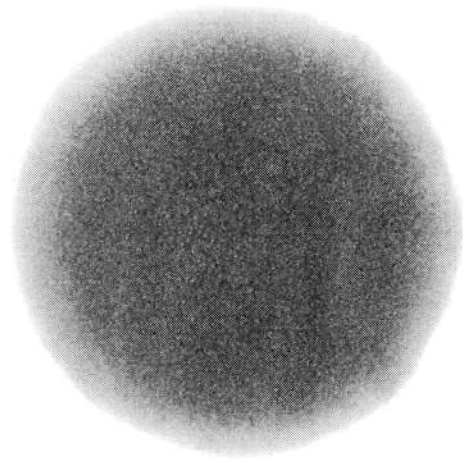
8) 혼합안정성(Spot test)

혼합안정성은 일반적으로 색의 차이, 밝기 등은 고려하지 않고, 시료유의 유동성을 결정적으로 판단한다. 그림 3-25는 각 시료의 혼합안정성(Compatibilty)을 시험하기 위하여 수행한 Spot Test 결과를 촬영한 사진이다. 정제된 기름인 CASE 1, 2 그리고 3은 모두 혼합안정성이 1등급으로 나타나 양호한 것으로 판단된다.

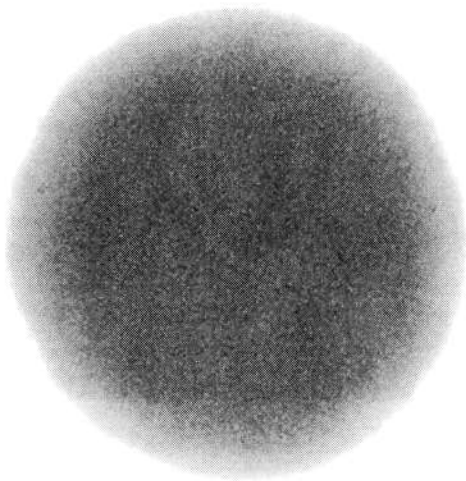
정제되지 않은 시료 중 품럼12호에 공급된 MF30급 혼합유(CASE 4)는 혼합안정성이 1등급으로 양호하였지만, 그림 3.22.5에 보여주고 있는 CASE 5는 혼합안정성의 사용 한계인 3등급으로 나타나서 다른 시료에 비해 다소 질이 떨어지는 혼합유라고 판단된다.



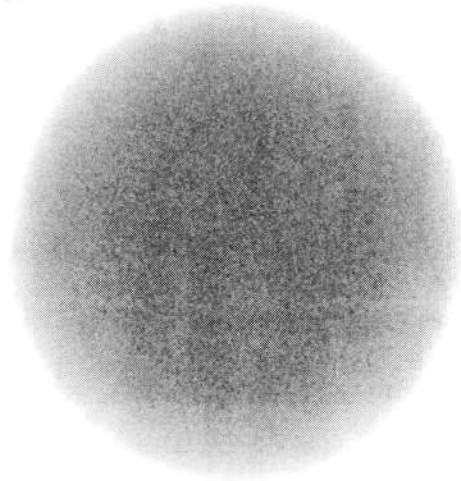
3.25.1 CASE 1 (No.1)



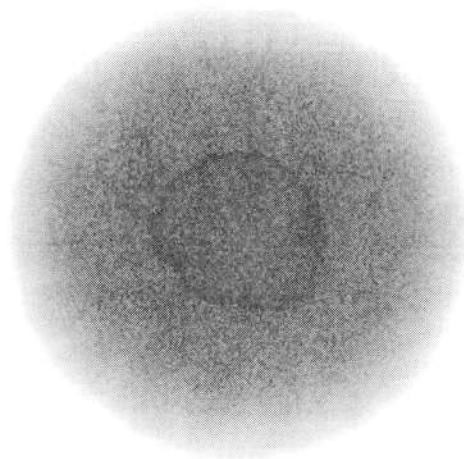
3.25.2 CASE 2 (No.1)



3.25.3 CASE 3 (No.1)

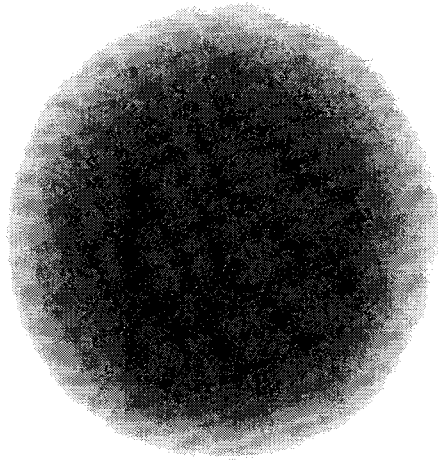


3.25.4 CASE 4(No.1)

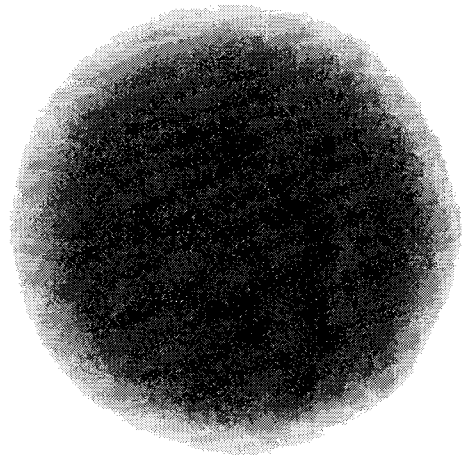


3.25.5 CASE 5 (No.3)

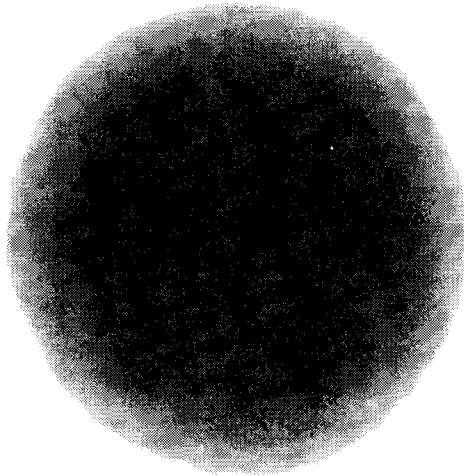
그림 3-25 혼합안정성 (Spot test)



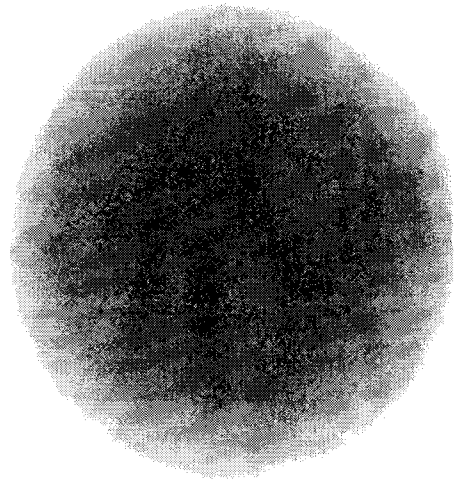
3.25.1 CASE 1 (No.1)



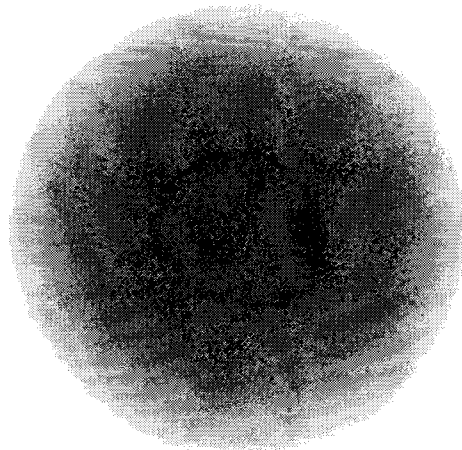
3.25.2 CASE 2 (No.1)



3.25.3 CASE 3 (No.1)



3.25.4 CASE 4(No.1)



3.25.5 CASE 5 (No.3)

그림 3-25 혼합안정성 (Spot test)

9) 현미경 분석

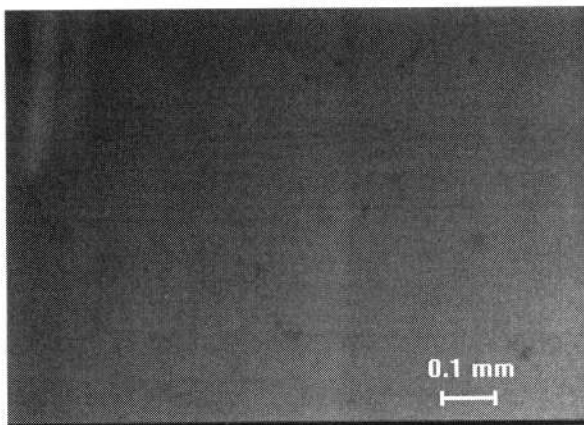
(1) 50배 확대 사진

그림 3-26는 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 50배 이다. 그림 3.26.1에서 부터 3.26.3에 나타나 있는 것과 같이 정제된 시료인 CASE 1, 2 그리고 3의 경우에는 전체적으로 소량의 이물질의 모습을 볼 수 있으며 크기는 약 5~50 μm , 개수는 대략 5~10개 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 5 μm 미만의 미세입자를 포함하여 전체면적 대비 약 1% 미만으로 나타났다. 이것은 시험에 사용된 시료유인 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중질유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등의 이물질의 혼입이 적기 때문인 것으로 판단된다.

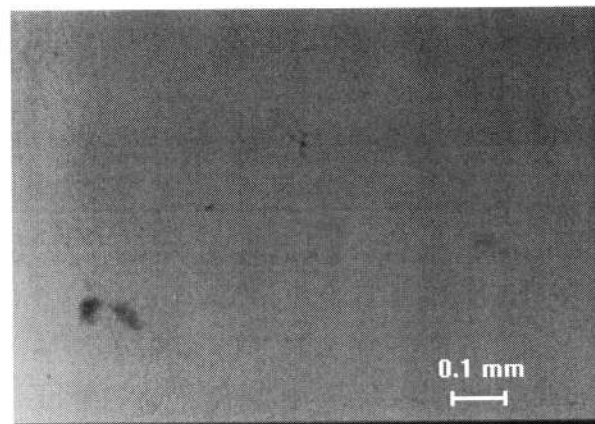
그림 3.26.4에 나타난 품럼12호에 공급된 MF30급 혼합유의 확대사진은 CASE 1, 2, 3와 거의 같은 이물질의 분포를 보이고 있었다.

그림 3.26.5는 CASE 5의 현미경 확대 사진이다. 이물질의 크기는 5~25 μm 정도 이지만 그 분포 갯수가 다른 시료에 비해서 많은 약 40개 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 5 μm 미만의 미세입자를 포함하여 전체면적 대비 약 2% 정도로 나타났다. 따라서 다른 시료에 비해서 슬러지 고형분 등의 이물질이 다소 많고 질이 떨어지는 혼합유라고 판단된다.

위의 분석결과를 종합해 보면, 정제되지 않은 MF30급 혼합유라도 비교적 양질의 중유이기 때문에 Purifier와 M.C.H. 모두 고형분의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않지만, 다수의 이물질 및 고형분이 함유된 혼합유의 경우에는 다소 효과가 있을 것으로 사료된다.



3.26.1 현미경사진 CASE 1



3.26.2 현미경사진 CASE 2

9) 현미경 분석

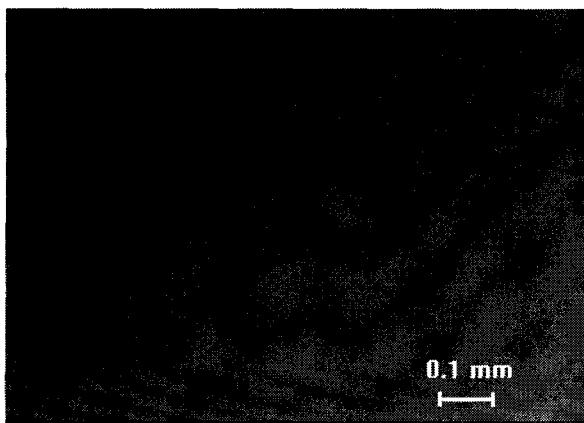
(1) 50배 확대 사진

그림 3-26는 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 50배 이다. 그림 3.26.1에서 부터 3.26.3에 나타나 있는 것과 같이 정제된 시료인 CASE 1, 2 그리고 3의 경우에는 전체적으로 소량의 이물질의 모습을 볼 수 있으며 크기는 약 5~50 μm , 개수는 대략 5~10개 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 5 μm 미만의 미세입자를 포함하여 전체면적 대비 약 1% 미만으로 나타났다. 이것은 시험에 사용된 시료유인 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중질유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등의 이물질의 혼입이 적기 때문인 것으로 판단된다.

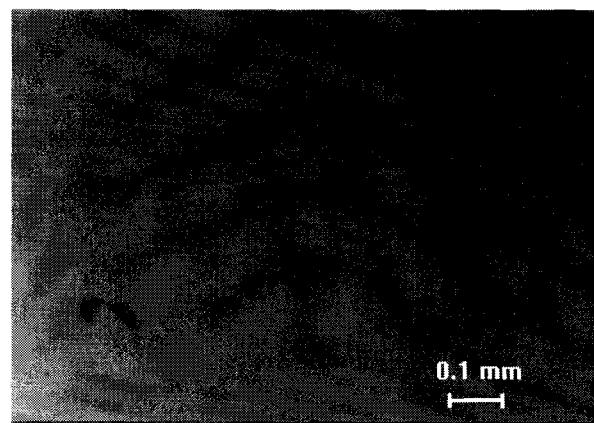
그림 3.26.4에 나타난 품림12호에 공급된 MF30급 혼합유의 확대사진은 CASE 1, 2, 3와 거의 같은 이물질의 분포를 보이고 있었다.

그림 3.26.5는 CASE 5의 현미경 확대 사진이다. 이물질의 크기는 5~25 μm 정도 이지만 그 분포 갯수가 다른 시료에 비해서 많은 약 40개 정도로 분포하고 있다. 이물질 등의 입자가 차지하는 면적은 크기가 5 μm 미만의 미세입자를 포함하여 전체면적 대비 약 2% 정도로 나타났다. 따라서 다른 시료에 비해서 슬러지 고형분 등의 이물질이 다소 많고 질이 떨어지는 혼합유라고 판단된다.

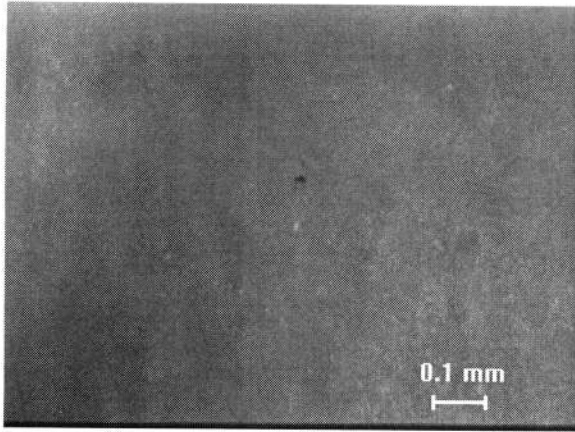
위의 분석결과를 종합해 보면, 정제되지 않은 MF30급 혼합유라도 비교적 양질의 중유이기 때문에 Purifier와 M.C.H. 모두 고형분의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않지만, 다수의 이물질 및 고형분이 함유된 혼합유의 경우에는 다소 효과가 있을 것으로 사료된다.



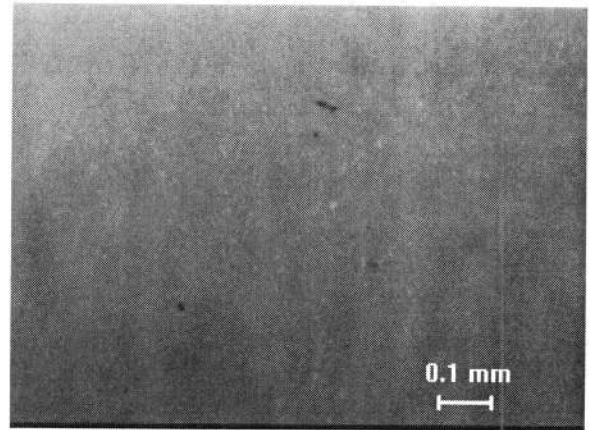
3.26.1 현미경사진 CASE 1



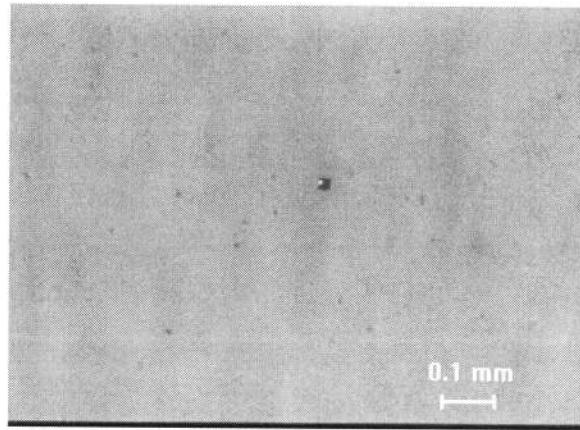
3.26.2 현미경사진 CASE 2



3.26.3 현미경사진 CASE 3



3.26.4 현미경사진 CASE 4



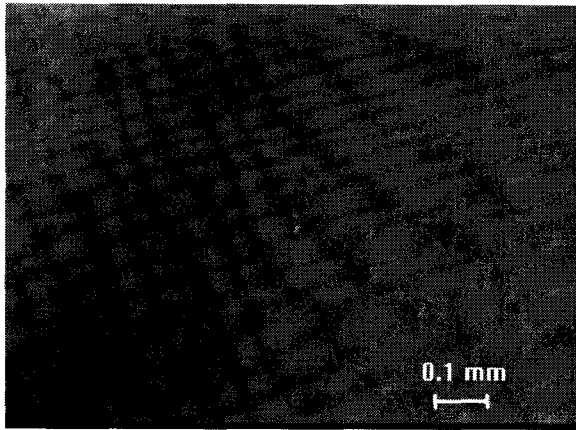
3.26.5 현미경사진 CASE 5

그림 3-26 현미경사진 (50배)

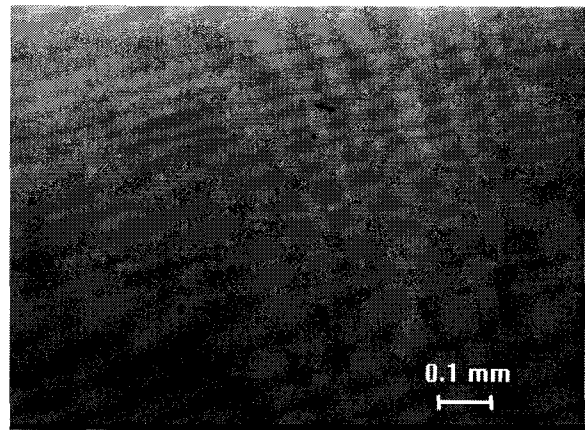
(2) 100배 확대 사진

그림 3-27은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 100배 이고, 앞서 50배로 확대한 시료의 촬영 영역과 동일한 영역을 촬영한 사진이다.

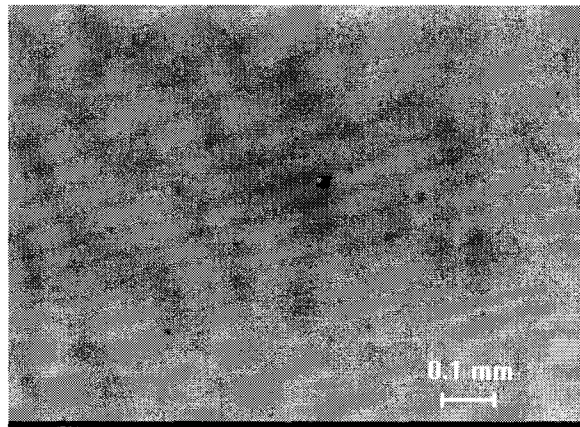
50배 확대한 사진보다 이물질의 상태가 좀더 크고 자세히 나타나있는 모습을 볼 수 있으며, 정제되지 않은 시료 중 베레솔7호에 공급된 시료는 이물질이 다른 시료에 비하여 다소 많이 분포하고 있음을 확인 할 수 있다. 앞서 고찰한 바와 마찬가지로 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등 이물질의 혼입이 적으므로 Purifier와 M.C.H.에 의한 이물질 등의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단된다.



3.26.3 현미경사진 CASE 3



3.26.4 현미경사진 CASE 4



3.26.5 현미경사진 CASE 5

그림 3-26 현미경사진 (50배)

(2) 100배 확대 사진

그림 3-27은 각 시료별 광학 현미경 확대 사진으로 배율은 100배 이고, 앞서 50배로 확대한 시료의 촬영 영역과 동일한 영역을 촬영한 사진이다.

50배 확대한 사진보다 이물질의 상태가 좀더 크고 자세히 나타나있는 모습을 볼 수 있으며, 정제되지 않은 시료 중 배레솔7호에 공급된 시료는 이물질이 다른 시료에 비하여 다소 많이 분포하고 있음을 확인 할 수 있다. 앞서 고찰한 바와 마찬가지로 MF30급 혼합유가 비교적 양질의 중유이기 때문에 슬러지분 및 고형분 등 이물질의 혼입이 적으므로 Purifier와 M.C.H.에 의한 이물질 등의 분쇄, 균질화 효과는 뚜렷이 나타나지 않는다고 판단된다.

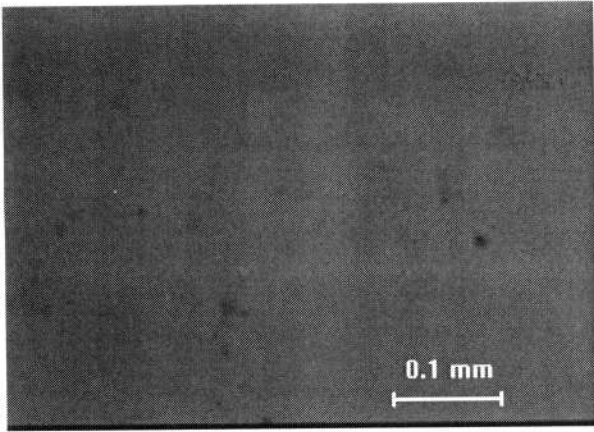


그림 3.27.1 현미경사진 CASE 1

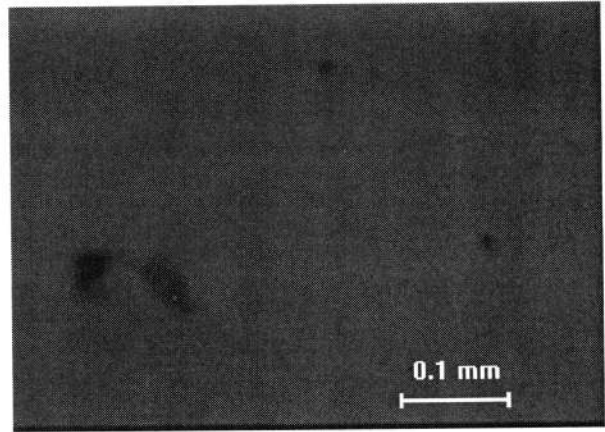


그림 3.27.2 현미경사진 CASE 2

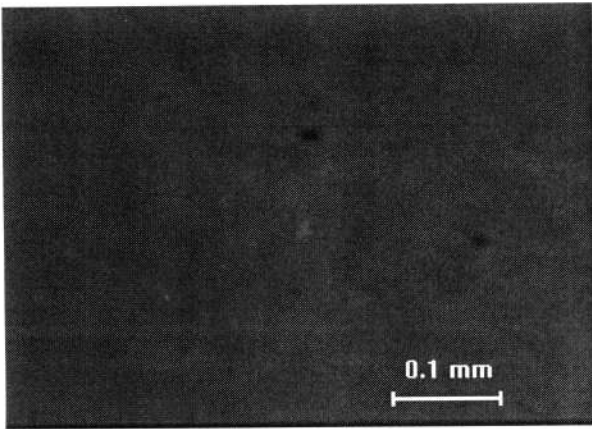


그림 3.27.3 현미경사진 CASE 3

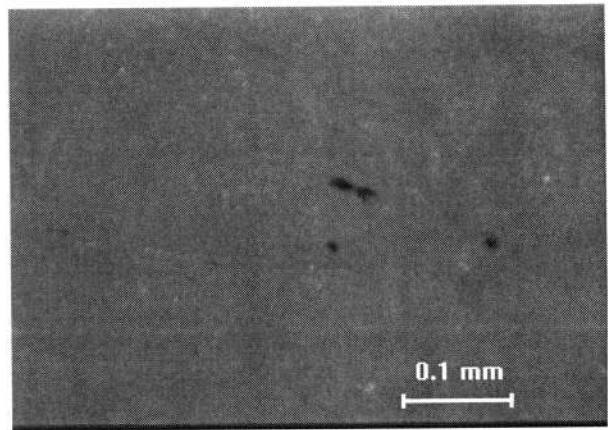


그림 3.27.4 현미경사진 CASE 4

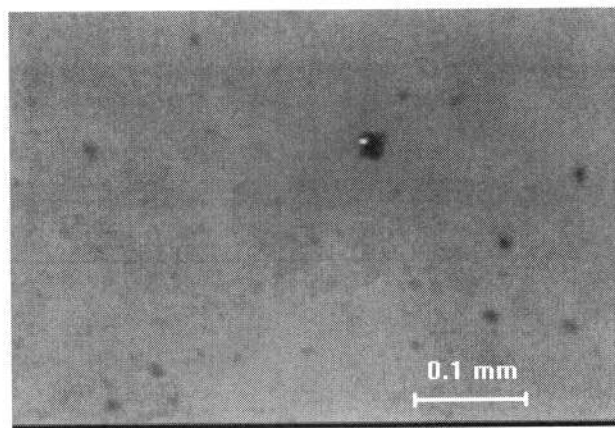


그림 3.27.5 현미경사진 CASE 5

그림 3-27 현미경사진 (100배)

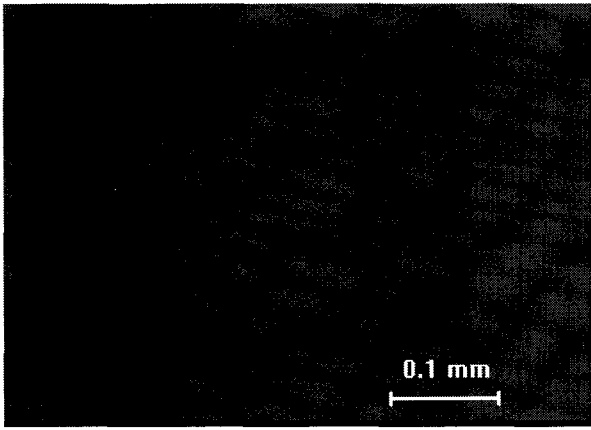


그림 3.27.1 현미경사진 CASE 1

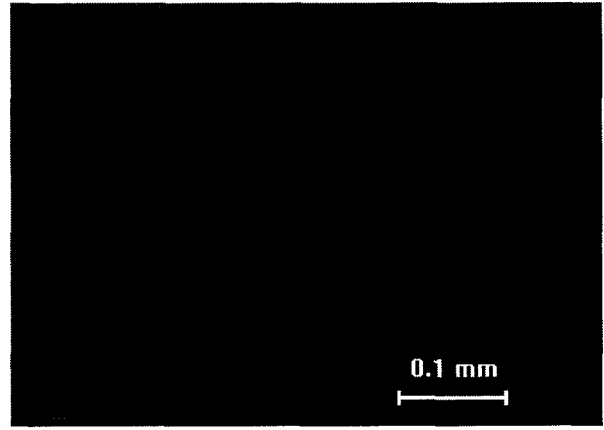


그림 3.27.2 현미경사진 CASE 2

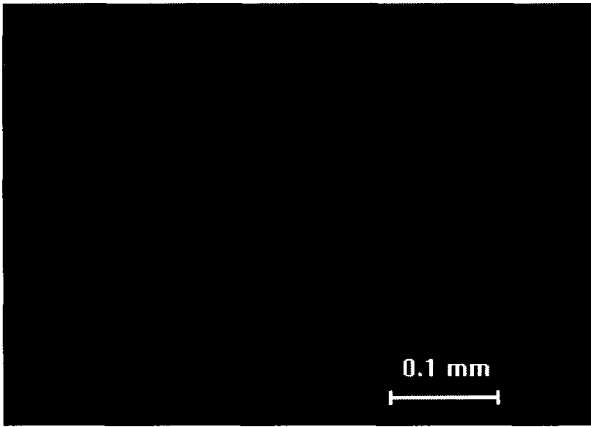


그림 3.27.3 현미경사진 CASE 3

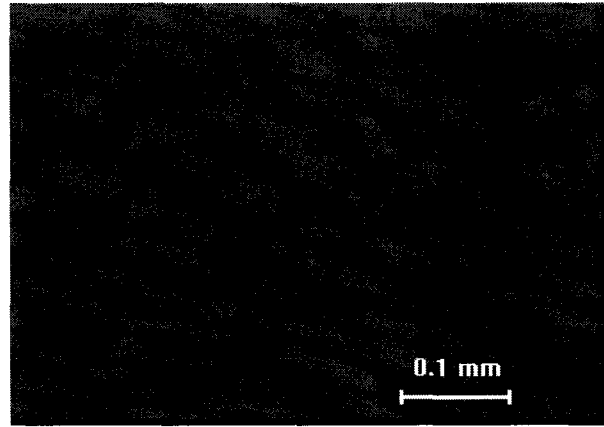


그림 3.27.4 현미경사진 CASE 4

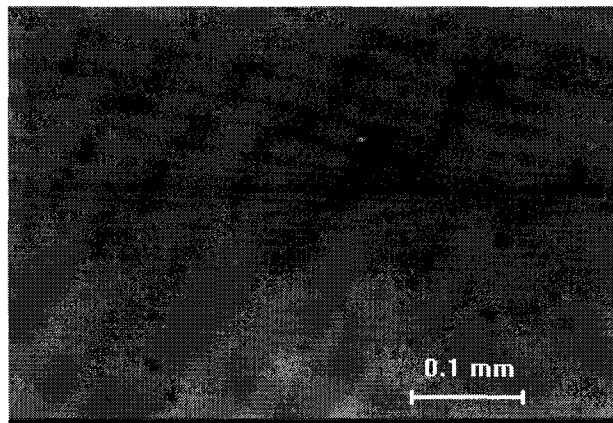


그림 3.27.5 현미경사진 CASE 5

그림 3-27 현미경사진 (100배)

3-3-6 소 결론

경유(M.G.O.)와 중유(MF180)을 혼합하여 MF30급 혼합유를 생성하였으며, 원심식 청정기(Purifier), M.C.H. 및 Tandem(Purified + M.C.H.) 시스템을 통하여 각각 정제된 3가지의 MF30급 혼합유에 조연제 A, B, C를 각각 첨가하여 12가지(4 x 3)의 시료를 만들었다. 또한, 정제 전의 시료인 경유 및 MF30급 혼합유를 합쳐서 총 14 가지의 시료에 대하여 물리화학적 성상을 분석하고 현미경으로 확대한 사진을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 연료유 분석에 있어서 대표적인 물리적 성질을 나타내는 비중, 동점도, 유동점, 인화점을 분석한 결과, Purifier 및 M.C.H.를 통하여 정제된 혼합유의 개질(改質) 효과는 미미하였다. 다만, 유동점과 인화점은 소폭의 정제 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) Purifier 및 M.C.H.를 통한 황(S) 성분의 제거 효과는 거의 없었으며, 수분의 제거 효과는 2가지 시스템 모두 0.05% 정도의 효과가 있었다. 또한, 혼합안정성에 대한 정제 효과는 소폭으로 나타났으나, 입자의 분쇄 등과 같은 균질화 효과는 본 시험에서 사용한 MF30급 혼합유가 비교적 양질이기 때문에 뚜렷하게 나타나지 않았다.
- 3) Purifier로 정제 처리후 M.C.H.로 다시 정제한 시료는 연료유의 물리적 성질을 악화시켰고, 조연제 첨가의 경우에 오히려 역효과가 나타났다.
- 4) 조연제의 첨가로 인한 개질 효과는 전체적으로 미미하였다. 다만, 조연제 A, B, C별 효과는 Purifier 정제유와 M.C.H. 정제유에 대해서 조연제 B가 다소 양호하였다.
- 5) 두 종류의 정제 방법인 Purifier와 M.C.H.만을 비교한다면, M.C.H.가 다소 효과적이고, 이 경우에 조연제 B를 첨가하는 것이 개질효과가 가장 양호하다고 판단된다.

제 4장 연소시험 분석

여 백

제 4장 연소시험 분석

4-1 개요

고유가 시대를 맞이하여 현재 사용중인 경유로 선박 운항시 수지타산이 맞지 않아 전 세계적으로 보다 값이 저렴한 대체유를 사용해야만 하는 실정에 와 있다. 대체유에는 여러가지가 있겠지만 경유와 중유를 일정한 비율로 혼합하여 만든 혼합(Blending)유를 예로 들 수 있다. 혼합유는 경유보다 훨씬 조악하므로 불순물(물, 회분, 황 등) 및 점도 등이 높을 것으로 예상되어 혼합유가 엔진에 공급되기 전에 약간의 전처리 기술 및 조연제 처리가 필요하리라 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 경유보다 값이 저렴하지만 조악한 MF30급 혼합유를 현재 경유로 운전되고 있는 엔진에 사용하여 배기 배출물 및 엔진 성능이 어떻게 달라지는지를 비교·시험 하고자 한다. 또한, 전처리 기술로써 Purifying system, M.C.H system 및 Tandem(Purified + M.C.H) system의 3가지 시스템을 사용하고자 하며, 조연제로서는 조연제 A, B 및 C를 사용하고자 한다. 실험방법으로는 1차적으로 국내에서 어업지도선 무궁화 24호를 대상으로 육상에서 3가지 시스템에서 정제한 MF30급 혼합유 3종과 3가지 조연제를 각각 사용하여 만든 연료 12 Drum을 선박에 탑재 후 각각의 시료 종류를 변경해가면서 엔진에서의 배기 배출물을 측정하고, 엔진 성능을 측정하고자 하였으며, 경유 사용시와 비교·분석하고자 하였다.

그리고, 2차적으로는 대서양(Las Palmas)에서 조업하는 트롤어선 풍림12호에 대하여 3가지 전처리 시스템이 운전될 수 있도록 기관실에 Purifying system과 M.C.H system을 설치(Install)하여 엔진 입구의 연료 온도 및 엔진 부하별을 변화해가면서 배기 배출물 및 엔진 성능을 측정하였으며, 경유 사용시와 비교·분석하고자 하였다.

4-2 배기 배출물의 생성원인

최근 몇 년간 선박용 엔진설계자는 대기오염에 대하여 관심을 갖는 지역, 국가 그리고 국제기관에 의해서 가하여지는 유해배기가스 배출에 대한 엄격한 관리의 도전에 대처하여야만 한다. 또한, 선박 디젤엔진으로 부터의 배기가스 유해 배출물은 크게 질소, 산소, 이산화탄소, 소량의 일산화탄소, 황과 질소의 산화물, 부분적

반응에 의한 그리고 연소되지 않은 탄화수소와 입자성 물질로 구성된다(그림 4-1)

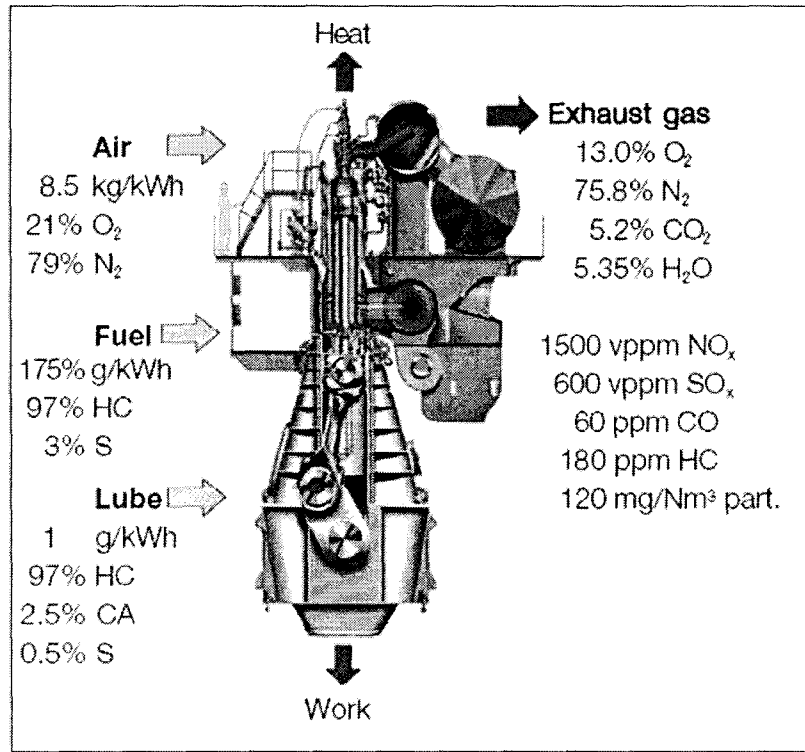


그림 4-1 Components of exhaust gas for low speed diesel engine

질소 유해 배출물은 연료중의 황 함량, 연료의 저 발열량 그리고 엔진의 형식, 속도 및 효율에 따라서 배기가스 부피의 0.25~0.4% 까지 도달한다. 실제로 발생하는 오염물질에 관한 몇 가지 견해가 MAN B&W Diesel사에 의해서 제시되고 있는데, 이것은 황 함량이 4%인 전형적인 중유를 사용하는 18V48/60 중속 엔진을 전 부하로 운전하여 NO_x 발생량이 최적화된 상태를 인용하고 있다. 시간당 발생하는 대략 136톤의 배기가스 중에서 해로운 성분은 대략 총 460kg 가량이 방출된다. 오염물질로 형성되는 배기가스의 0.35% 중에서 NO_x가 0.17%, 이산화황 0.15%, 탄화수소 0.02%, 일산화탄소 0.007% 그리고 검댕/재가 0.003%이다.

1) 질소산화물(NO_x)의 생성원인 및 부작용

실린더 내의 높은 연소온도에서 질소와 산소로부터 열에 의해 발생하는 질소산화물(NO_x)은 발암성물질이며, 도시 전체에 걸친 광화학 스모그 형성과 산성비(그러므로 토양의 과도한 산성화)의 주원인이라고 알려져 있기 때문에 특별히 관심의 대상이 되고 있다. 내연기관으로부터 배출되는 질소산화물은 90% 정도가 일산화질소(NO)이며, 약 10% 정도가 이산화질소(NO₂)이다. NO_x 생성의 요건은

크게 3가지가 있는데, 그 중에서 NOx 발생에 가장 크게 기여하는 것은 연소실 조건이 고온·고압 상태에서 발생하는 Thermal NOx가 있다. 또한, 연료중에 포함된 질소(N) 성분이 연소중에 산소(O₂)와 결합하여 생성된 연료(Fuel) NOx가 있으며, 연소반응 중에 생기는 Prompt NOx가 있다.

2) 매연(PM)의 생성원인 및 부작용

입자성 물질(PM)은 불완전 연소, 부분적으로 타지 않은 윤활유, 연료와 윤활유로부터의 HC의 열분해, 연료와 윤활유의 재, 황산염과 물 등으로부터 생기는 무기화합물과 유기화합물의 복잡한 혼합물이다. 특히 공기 과잉율이 낮으면 매연 발생율은 급증한다. 전 입자성 물질의 반 이상이 눈으로 볼 수 있는 연기인 검댕(무기 탄소 입자)이다. 검댕 입자(타지 않은 탄소 성분)는 그들 자신은 독성이 없지만 액상 탄화수소 형성의 원인이 될 수 있고, 그들 중 일부는 발암성 물질이 될 수 있다고 믿고 있다. 배출되는 PM 입자의 발생량은 항상 엔진 배기 배출물의 0.003% 보다 약간 적다.

3) 황산화물(SOx)의 생성원인 및 부작용

디젤엔진으로부터 배출되는 SOx의 대부분은 이산화황이고 소량의 삼산화황을 포함하고 있다. 또한, SOx 배출물은 연료속에 함유된 황 함량에 대한 함수관계에 있으며 연소과정에 의해서 제어할 수 없으므로 연료 수급시 황의 함량을 제한하고 있다. 예를 들어 만약 연료의 황 함량이 3%이면 발생된 SOx 부피는 연소된 연료 1톤당 64kg이며, 만약 황 함량이 1%인 연료를 사용하였다면 1톤의 연소된 연료에서 21kg 정도의 SOx 배출이 발생한다.

황은 일반적으로 저온부식을 일으키는 원인이다. 연소 과정에서 연료 내에 포함된 황은 산소와 결합하여 이산화황(SO₂)을 형성하며, 이산화황의 일부는 산소와 더욱 결합하여 삼산화황(SO₃)이 된다. 연소 중에 생성된 삼산화황은 수증기와 작용하여 황산 증기를 생성하고 금속 온도가 산의 노점(160°C) 이하인 곳에서 증기는 황산 액으로 응축되며 부식을 초래하게 된다. 이 문제를 줄이기 위한 확실한 방법은 냉각수의 적절한 분배와 제어를 통해서 산의 노점이상으로 엔진의 온도를 유지하는 것이다. 하지만 저온 부식을 피하기 위한 온도의 증가는 고온 부식의 증가를 초래할 수 있는 위험이 항상 따른다. 황 성분을 많이 함유하고 있는 연료의 사용 결과로서 실린더 라이너와 피스톤 링에서의 부식은 실린더 라이너 벽 온도와 실린더 윤활유의 알칼리성 조절에 의해서 효과적으로 감소시켜

왔다.

연료속에 함유되어 있는 황의 산화에 의해서 생성된 SOx는 불쾌한 냄새를 가지며 점막을 자극시키고 산성비의 주 원인이 된다(물과 반응하여 황산을 만든다). 일단 배출된 SOx는 대기 중에서 수 백마일 이상을 옮겨갈 수 있으며, 호수나 시내 물에 침전되어 그들의 알칼리성을 감소시키고 있다. 또한 황 침전물은 토양의 황산염 수준을 증가시키며, 불용성 알루미늄 인산염의 생성을 돕고 인의 결핍을 초래하는 원인이 될 수 있다. 지하수의 산성화가 유럽의 많은 지역에서 관찰되고 있다. 이것은 음료수 공급 시스템의 부식으로 이어질 수 있으며, 이들 시스템 내의 불용성 금속에 의해서 건강을 해치게 된다. 또한 삼림의 토양이 정상 수준보다 높은 유독 금속으로 오염될 수 있으며 역사적인 건물이나 기념물이 손상될 수 있다.

육상 발전설비와 비교하여 해운에서 대부분 연소되는 연료는 높은 황 함량(4.5% 또는 그 이상)을 갖고 있으며, 해상과 항구에서 이산화황 유해배출의 전체량에 상당히 기여하고 있다. 황 오염에 대한 연구결과로 1990년에 선박으로부터 배출되는 SOx 발생량은 유럽전역에서 발생하는 총 합계의 약 4% 정도에 이르고 있음을 보여주고 있으며, 2001년에는 이러한 유해 배출물은 전체 발생량의 약 12%로 증가하였다. 또한, 2010년에는 약 18%로 증가 할 것으로 전망하고 있다. 전 세계적으로 바다와 항구에서의 SOx 오염을 줄이기 위하여, IMO를 중심으로 중유에 포함되어 있는 황 함량의 최고한도를 4.5%로 제한하고 있으며, 발틱 해, 북해와 영국해협 등과 같은 황 배출 통제지역(Sulphur Emission Control Areas; SECA)이라고 부르는 특정 지역에서는 황 함량을 1.5%로 제한하고 있다.

화학적 그리고 세탁/세척(Scrubbing)의 탈황공정은 배기가스로부터 SOx를 제거할 수는 있지만 선박에 적용하기에는 복잡하고 부피가 크며 가격이 비싸다. 그리고 전체적인 유지비용이 많이 들어가기 때문에, 가장 경제적이고 단순한 접근방법은 저유황 연료를 연소 시키는 것이다. 만약 매우 낮은 NOx 배출 수준을 달성하기 위하여 선택적 촉매 저감시스템을 설치한다면, 시스템의 촉매 패키지가 너무 빨리 오손되는 것을 피하기 위하여 저유황 연료를 사용하지 않으면 안 된다.

4) 이산화 탄소(CO₂)의 생성원인 및 부작용

디젤 엔진으로부터 배출되는 배기 배출물 중 약 6%가 이산화탄소(CO₂)이다. 비록 그 자체는 독성이 없다고 하지만 이산화탄소는 오존층(O₃)을 파괴하여 온

실효과(지구를 따뜻하게 함)로 인한 지구의 대기 변화를 가져오고 있으며, 현재 IMO MEPC에서는 이산화탄소 배출에 대한 가이드라인을 개발중에 있다. 이 가스는 모든 화석 연료로부터 피할 수 없는 연소생성물이지만, 디젤엔진으로부터의 배출은 열효율 덕분에 모든 열기관중에서 가장 낮은 수준이다. 낮은 연료소모량은 생성된 이산화탄소량이 사용된 연료의 부피에 비례하기 때문에 이산화탄소 배출량을 줄이는 것으로 바꾸어 말할 수 있으며, 엔진 또는 장치의 효율은 이산화탄소의 발생과 비례한다. 개략적인 지침으로 디젤연료 1톤을 연소하면 약 3톤의 이산화탄소를 생산한다.

이산화탄소가 대기에 미치는 영향에 관한 국제적인 관심은 이러한 유해물 배출이 늘어나는 것을 억제하기 위한 대책과 계획을 촉진하게 되었고, 해양 산업은 장래의 입법에 대비하여 준비해야만 한다(운송을 위한 다른 수송형태—항공, 도로 및 철도—로부터 해운으로의 전환은 디젤엔진의 높은 효율 때문에 궁극적으로 온실가스인 이산화탄소의 실질적인 감소를 가져오게 될 것이다.)

5) 탄화수소(HC)의 생성원인 및 부작용

연료와 윤활유의 불안정한 연소와 연료의 증발에 의해 발생된 탄화수소(HC)는 불쾌한 냄새를 가지며 부분적으로 발암성이고, 광화학 스모그를 형성하며 점막을 자극한다(그러나 유해 배출물이 현대적인 디젤엔진에서는 전형적으로 낮다).

6) 일산화 탄소(CO)의 생성원인 및 부작용

국부적 공기 부족으로 인한 불완전 연소와 이산화탄소의 해리(解離)에 의하여 발생하는 일산화탄소(CO)는 독성이 높지만 아주 농도가 높을 경우에만 그러하다.

4-3 배기가스 분석(국내시험)

지금까지 경유를 사용해오던 어업지도선인 무궁화 24호를 대상으로 MF30급 혼합유(Blending Oil, 경유와 중유를 일정한 비율로 혼합하여 만든 연료)를 사용 하였을때의 배기 배출물(NOx, Smoke) 및 엔진 성능(Pmax., 배기가스 온도 등)을 비교 분석하여 혼합유의 사용 가능성을 확인하고자 하며, 나아가서는 혼합유 사용시 엔진의 운전(Operating) 및 보수유지(Overhaul)에 필요한 작업지침서의 가이드 라인을 제시하고자

한다. 그림 4-2는 시험선박인 어업지도선을 나타내고 있다. 또한, 그림 4-3의 (a)는 NOx 분석기의 배기가스 채취 위치를 보여주고 있으며, (b)는 EXSA 240CL NOx 분석기를 보여주고 있다.

4-3-1 시험대상 선박 및 엔진 사양

- 1) 연근해 어선을 대상으로 시험할 예정이었으나, 어선의 조업관계로 인하여 부득이 예전에 트롤 어선으로 사용했던 선박을 개조하여 어업지도선으로 운항하고 있는 동해어업지도사무소 소속 무궁화24호에서 시험을 실시하였으며, 그림 4-2는 시험선의 전경 모습이다.

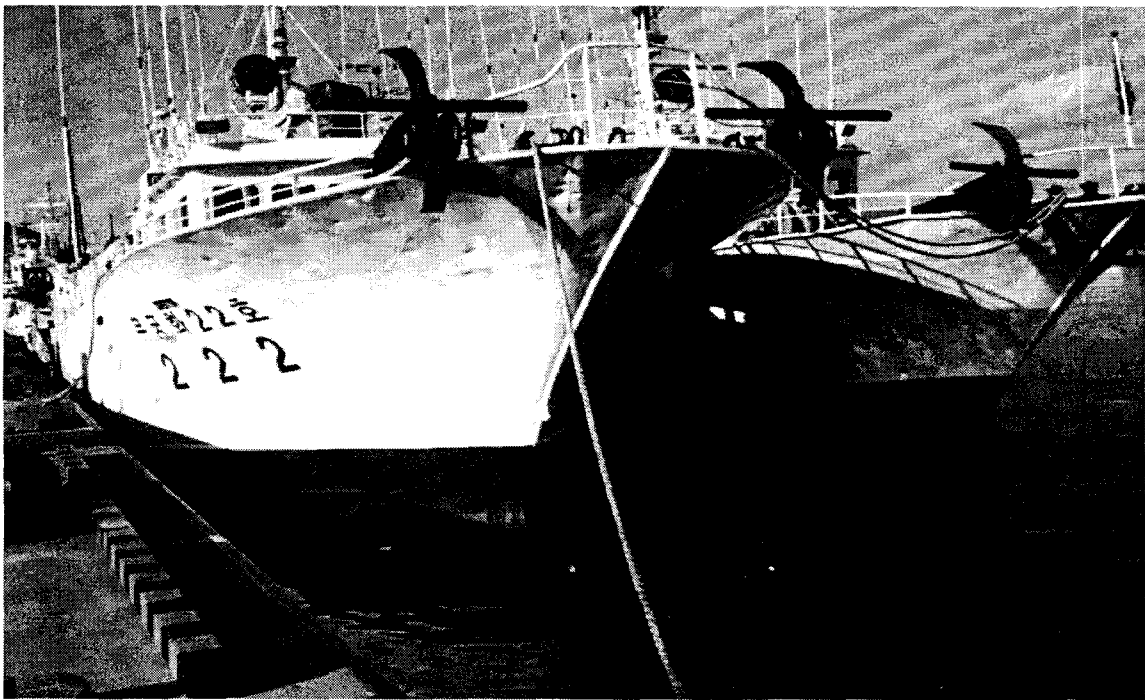


그림 4-2 Photographs of test ship

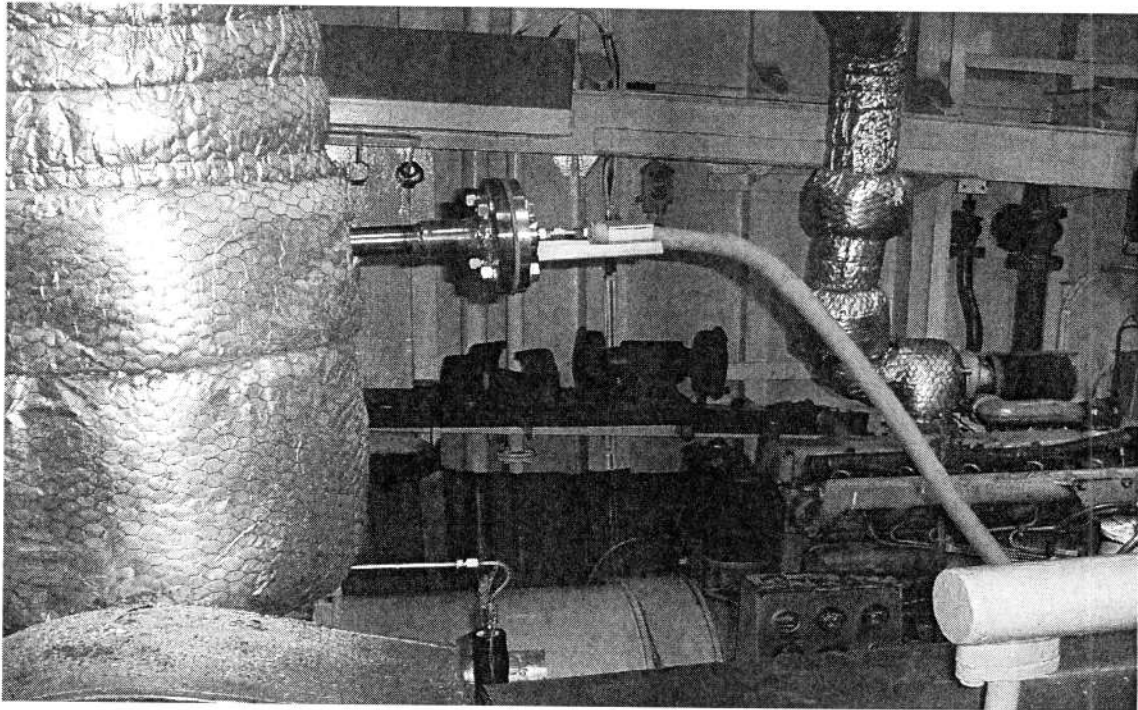
2) 무궁화 24호에 탑재된 엔진의 사양은 표4-1과 같다.

표4-1 무궁화 24호 주요 엔진 사양

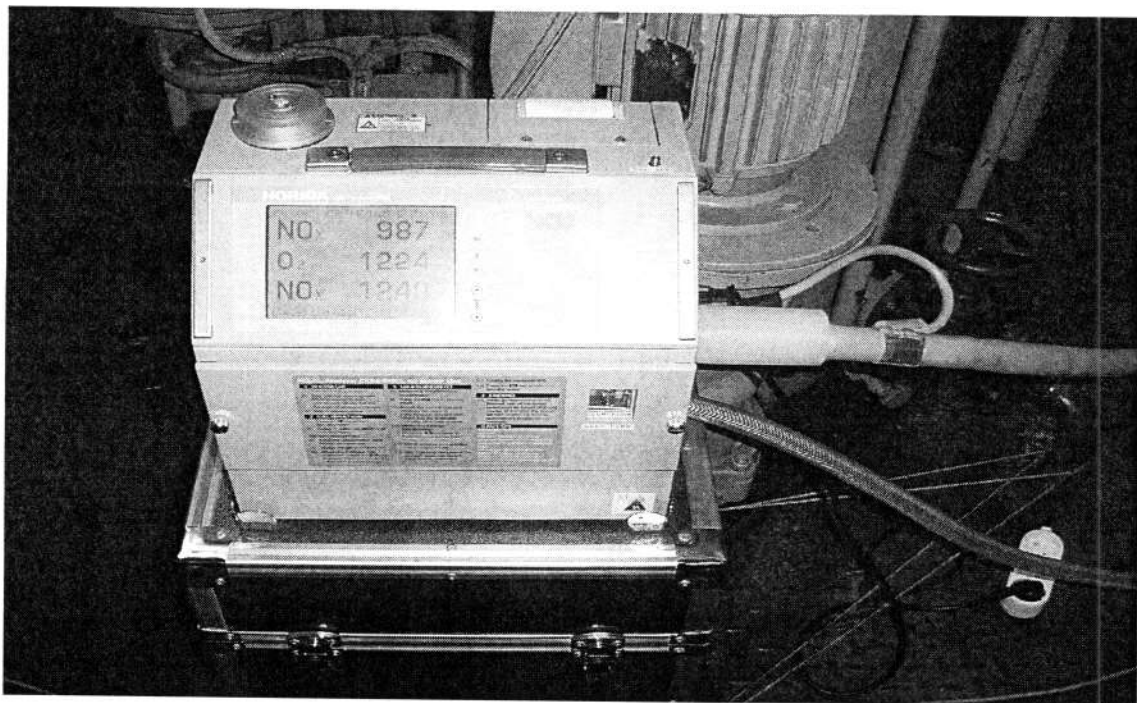
제조사		쌍용	최대출력	1,100 BHP
Model		6L23/30-K	과부하	10 %
형식		In-Line	회전수	MCR 825 rpm
실린더	수	6		Idling 450 rpm
	Bore	225 mm	평균유효압력	16.8 kg/cm ²
	Stroke	300 mm	최대폭발압력	133 kg/cm ² (130Bar)

4-3-2 NO_x 분석

1) NO_x 측정 사진



(a) Installing of probe for NO_x analyzer

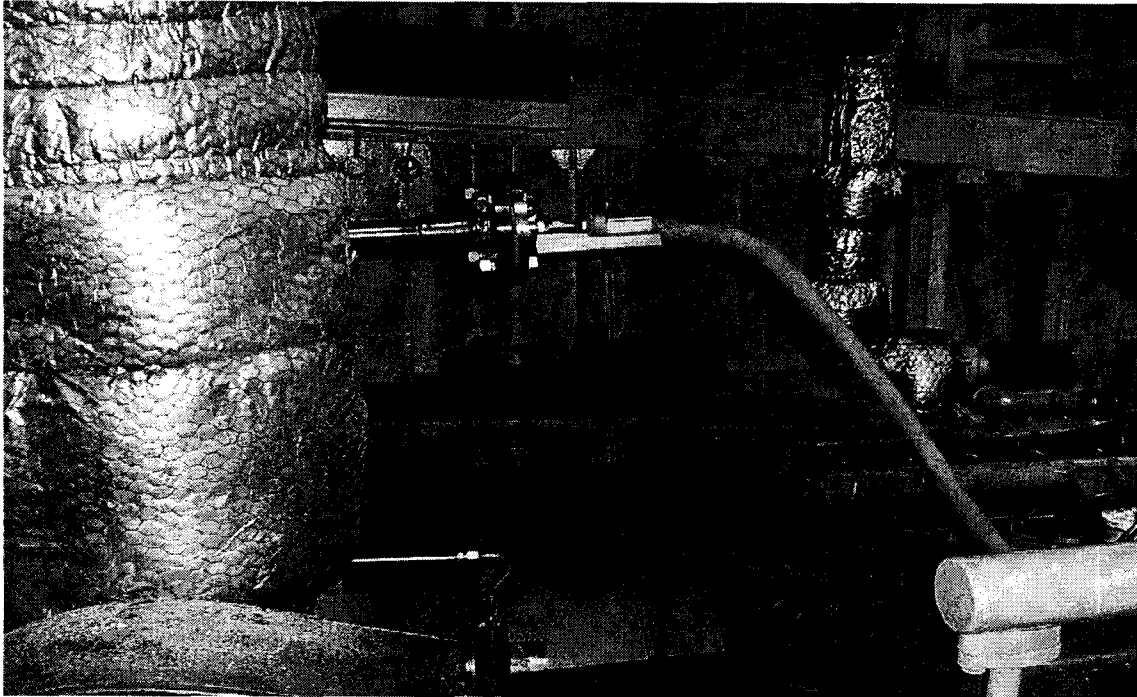


(b) NO_x analyzer(EXSA-240CL)

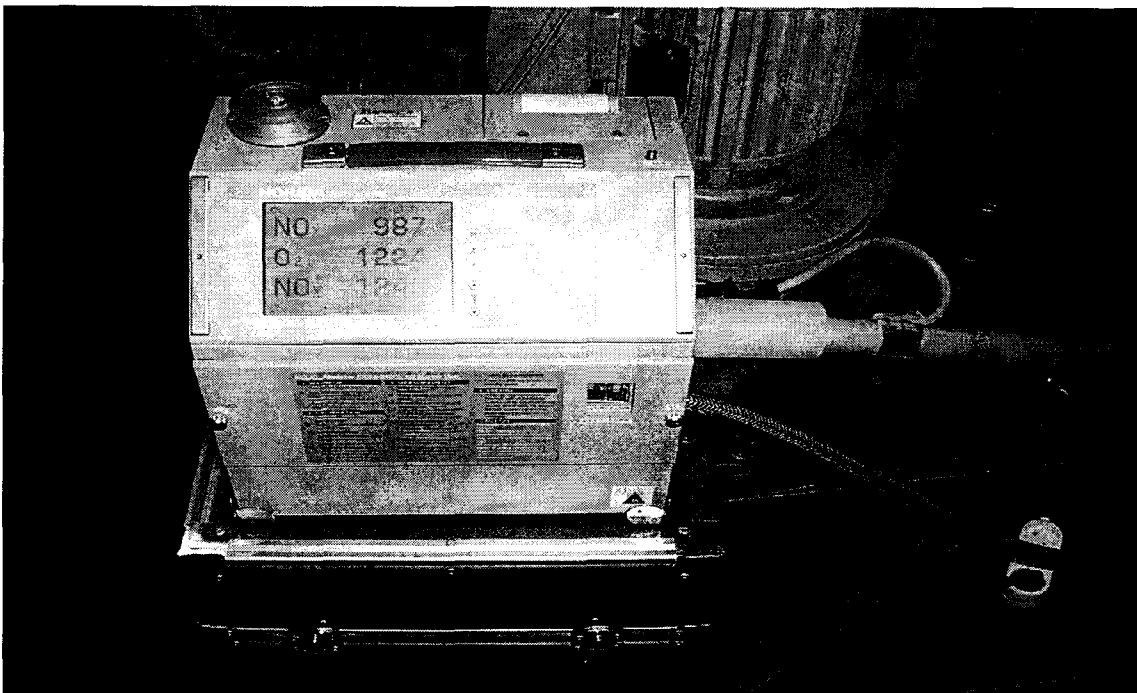
그림 4-3 Photographs of test equipments

4-3-2 NOx 분석

1) NOx 측정 사진



(a) Installing of probe for NOx analyzer



(b) NOx analyzer(EXSA-240CL)

그림 4-3 Photographs of test equipments

2) NO_x 분석기 사양

표 4-2 Specification of portable NO_x & O₂ analyzer

	항 목	사 양	비 고
1	작동 원리	NO _x : Hot CLD O ₂ : Galvanic cell	
2	측정 범위	NO _x : 0~2,500 ppm O ₂ : 0 ~ 25 %	
3	작동 온도	5 ~ 45 °C	
4	응답 시간	T90, 30 초	
5	허용오차 (Linearity)	NO _x : ± 2 % FS O ₂ : ± 2 % FS	
6	소음	± 1 % FS	
7	반복성	± 0.5 % FS	
8	간섭	10% CO ₂ 에 대한 NO _x 의 3% 이하	
9	측정 가스	NO 표준가스 (1리터, 7 atoms)	
10	치수	300 x 311 x 200(mm)	W,H,D
11	무게	약 11 kg	
12	아날로그 출력	0 ~ 1 V	
13	전력 소모	250 VA(열선사용시)	
14	사용 전력	100~240 V 50/60 Hz±5%	AC ±10%,
15	Maker	Horiba	

3) NOx 측정 데이터

표 4-3 NOx 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	

4) NOx 농도 비교 그래프

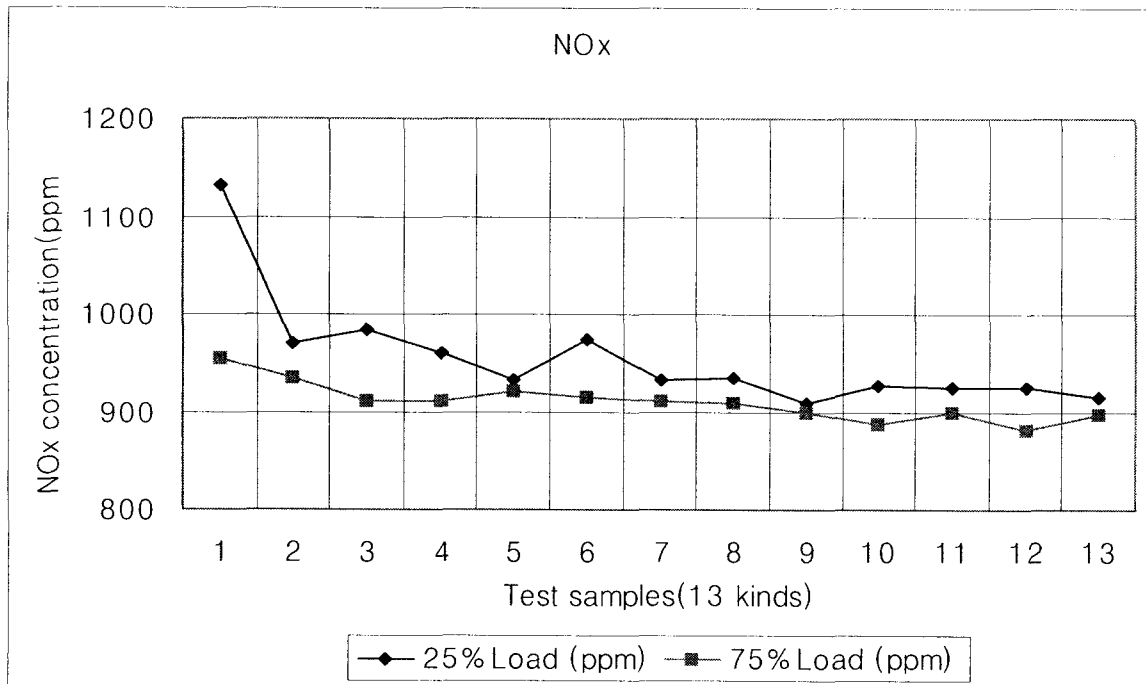
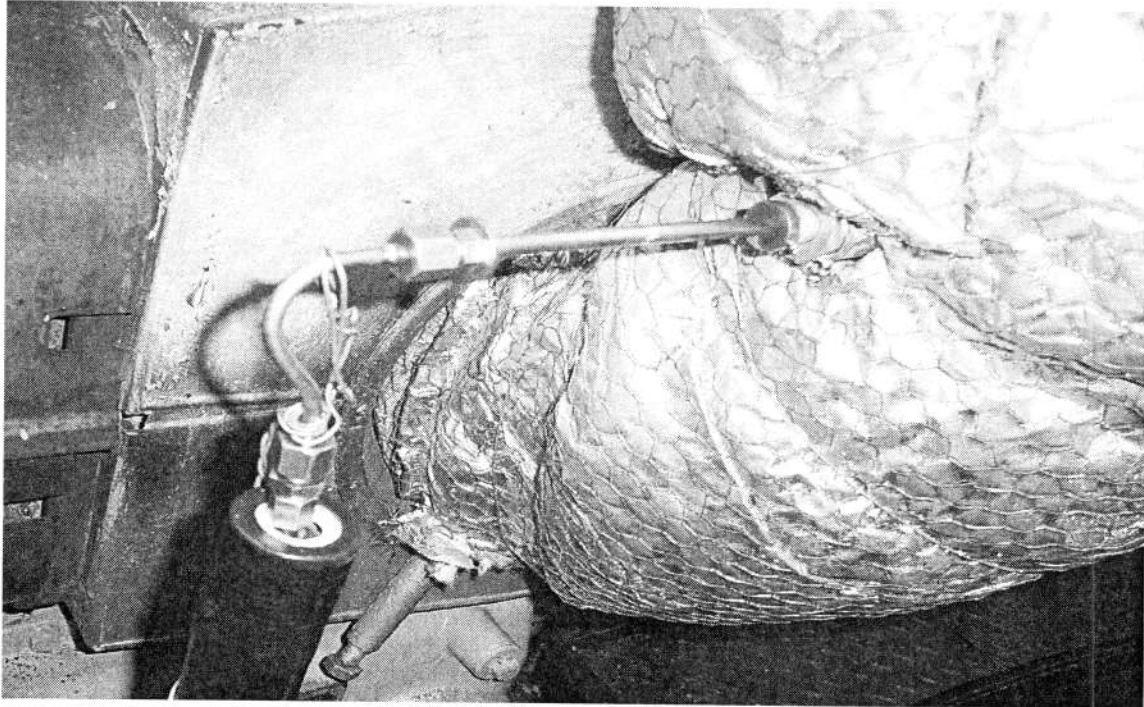


그림 4-4 NOx(ppm) measuring data at 25% and 75% loads

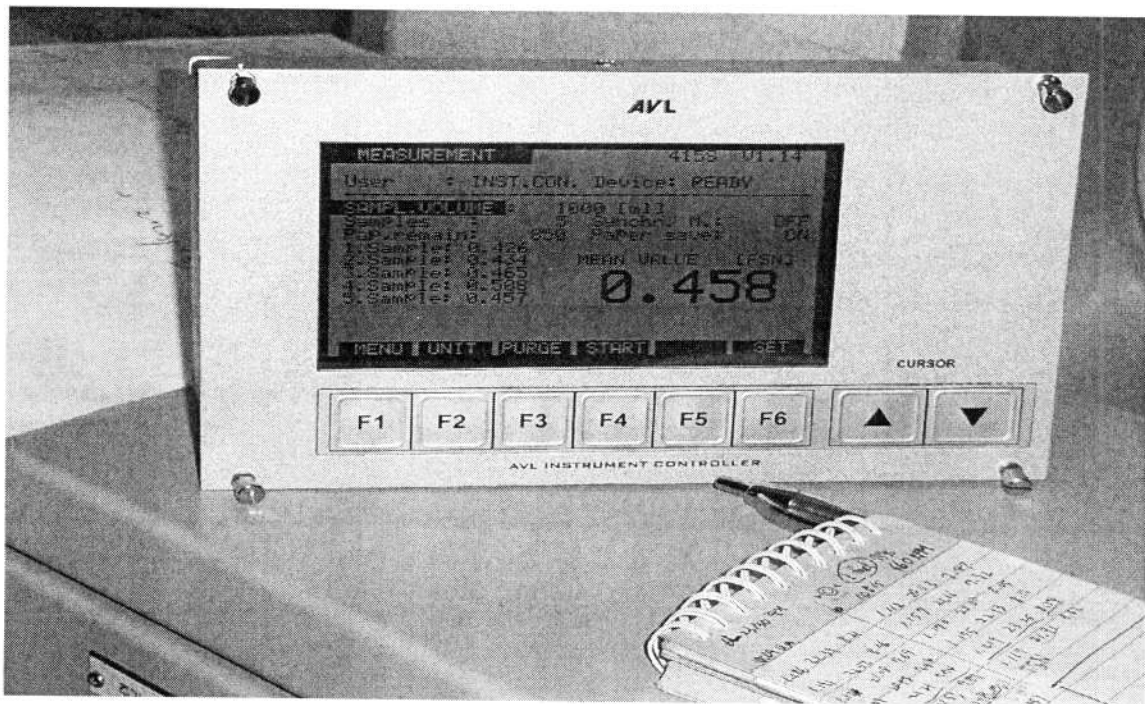
그림 4-4 에 있는 x 축 좌표의 숫자는 표 4-3에서 보이고 있는 연료의 종류를 나타내고 있으며, y 축은 NO_x 농도를 나타내고 있다. x 축의 숫자 1은 경유를 나타내고 있는데, 혼합유와 비교하여 전부하(25% 및 75% 부하) 영역에서 NO_x 농도가 높음을 확인할 수 있다. MF30급 혼합유에 비해서 경유 사용시에 NO_x 농도가 더 높은 이유는 연소실 온도가 더 높고, 높은 온도 지속시간이 더 길기 때문이라고 사료되며, 따라서 NO_x 규제에 관한 혼합유를 사용하여도 무방하리라 사료된다. x 축에서 2, 6 및 10은 각각 M.C.H., Purified system 및 Tandem system을 통한 정제유의 NO_x 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. 그림 4-5의 (a)는 Smoke 분석기의 배기가스 채취 위치를 보여주고 있으며, (b)는 AVL Smoke Meter를 보여주고 있다.

4-3-3 Smoke 분석

1) Smoke 측정 사진



(a) Installing of probe for smoke analyzer

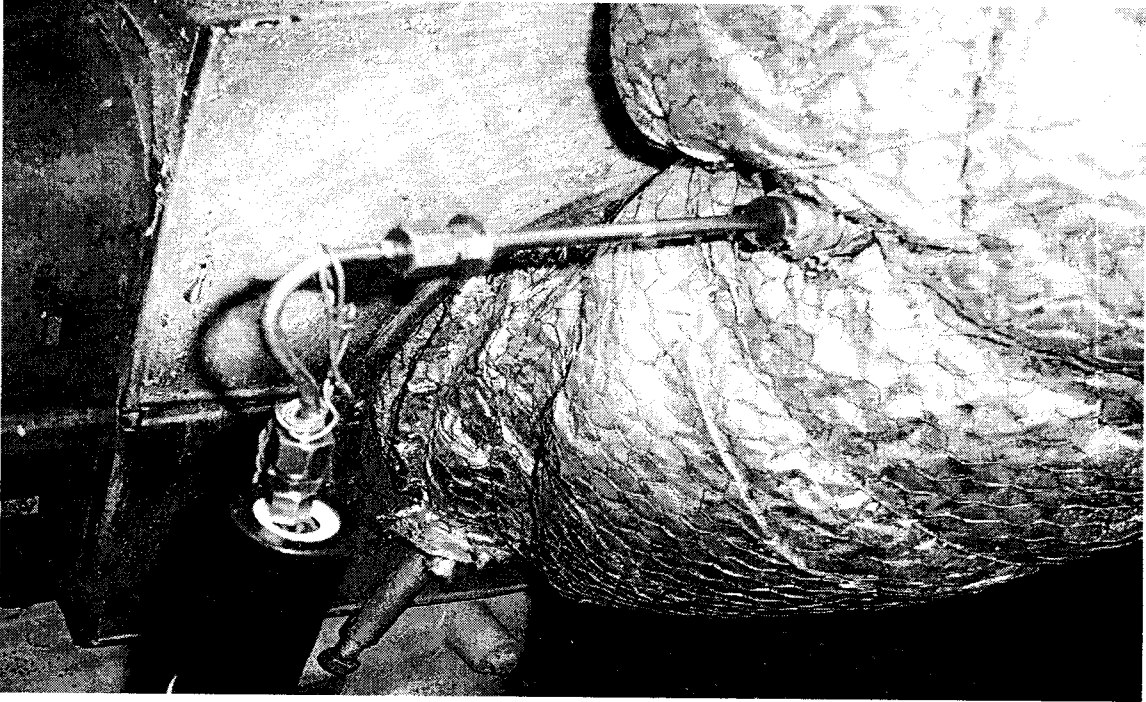


(b) Smoke analyzer(AVL Smoke Meter)

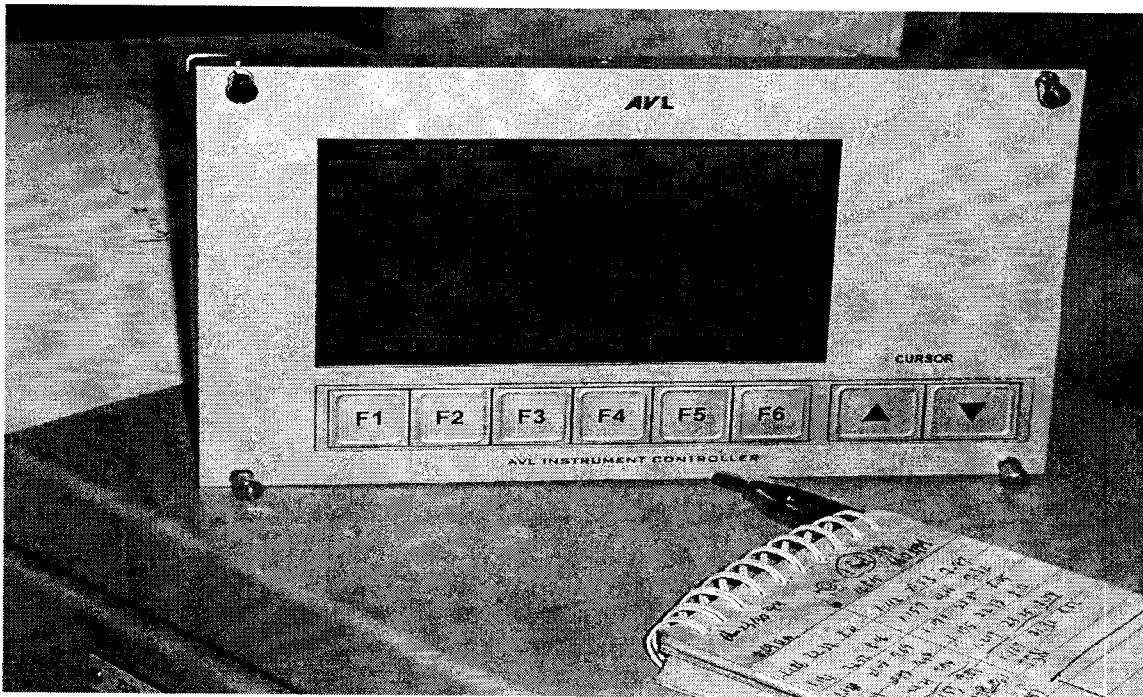
그림 4-5 Photographs of test equipments

4-3-3 Smoke 분석

1) Smoke 측정 사진



(a) Installing of probe for smoke analyzer



(b) Smoke analyzer(AVL Smoke Meter)

그림 4-5 Photographs of test equipments

2) Smoke 측정 값

표 4-4 Smoke measuring data

Fuel	Load	Smoke Number		Soot Concentration	Pollution Level
		[FSN]		[mg/m ³]	[%]
1. M.G.O.(경유)	75%	Aver.	1.122	20.79	7.57
	25%		0.850	14.51	4.86
2. M.C.H.	75%	Aver.	1.215	23.17	8.50
	25%		2.703	81.29	23.51
3. M.C.H. + A	75%	Aver.	1.322	26.04	9.57
	25%		2.619	76.74	22.66
4. M.C.H. + B	75%	Aver.	1.261	24.38	8.96
	25%		2.666	79.22	23.14
5. M.C.H. + C	75%	Aver.	1.137	21.16	7.72
	25%		2.662	79.04	23.09
6. Puri. (Purifying system)	75%	Aver.	1.276	24.77	9.11
	25%		2.697	80.92	23.45
Puri.	100%	Aver.	0.416	6.22	0.57
			0.458	6.92	0.98
7. Puri. + A	75%	Aver.	1.299	25.39	9.34
	25%		2.697	80.93	23.45
8. Puri. + B	75%	Aver.	1.215	23.17	8.50
	25%		2.708	81.64	23.56
9. Puri. + C	75%	Aver.	1.172	22.07	8.08
	25%		2.700	81.12	23.48
10. Puri. + M.C.H.	75%	Aver.	1.253	24.16	8.88
	25%		2.639	77.79	22.86
11. (Puri. + M.C.H.) + A	75%	Aver.	1.296	25.31	9.31
	25%		2.670	80.90	23.41
12. (Puri. + M.C.H.) + B	75%	Aver.	1.210	23.12	8.43
	25%		2.701	81.56	23.51
13. (Puri. + M.C.H.) + C	75%	Aver.	1.150	21.49	7.85
	25%		2.677	79.82	23.24

3) Smoke 비교 그래프

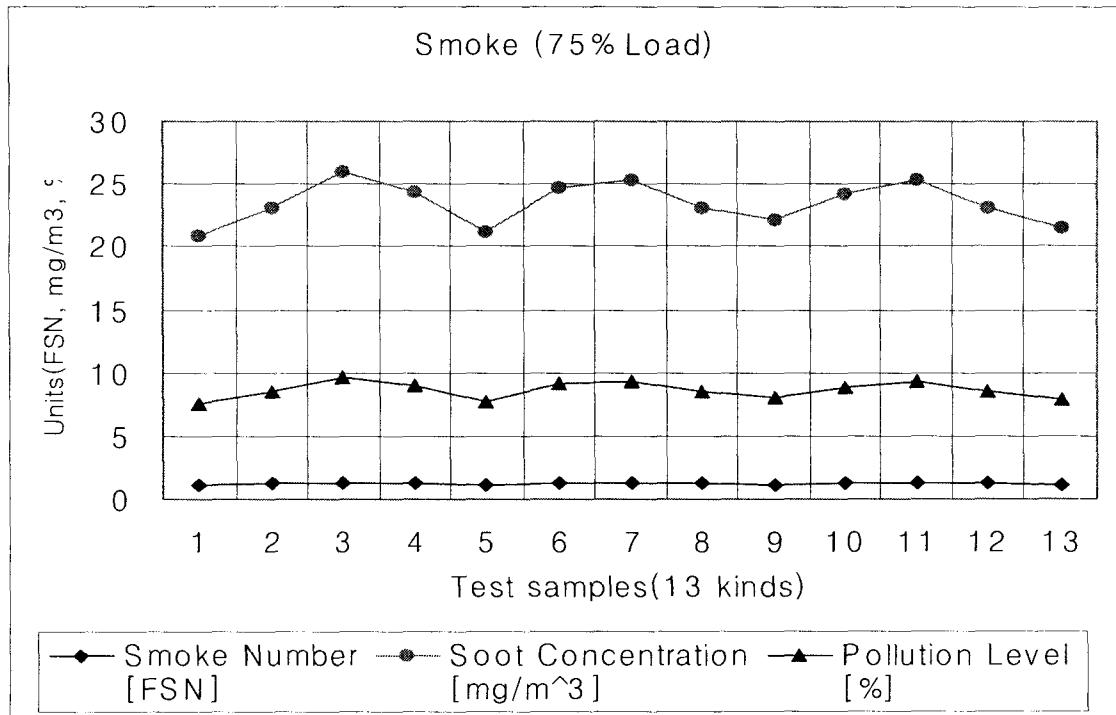


그림 4-6 Smoke measuring data at 75% load

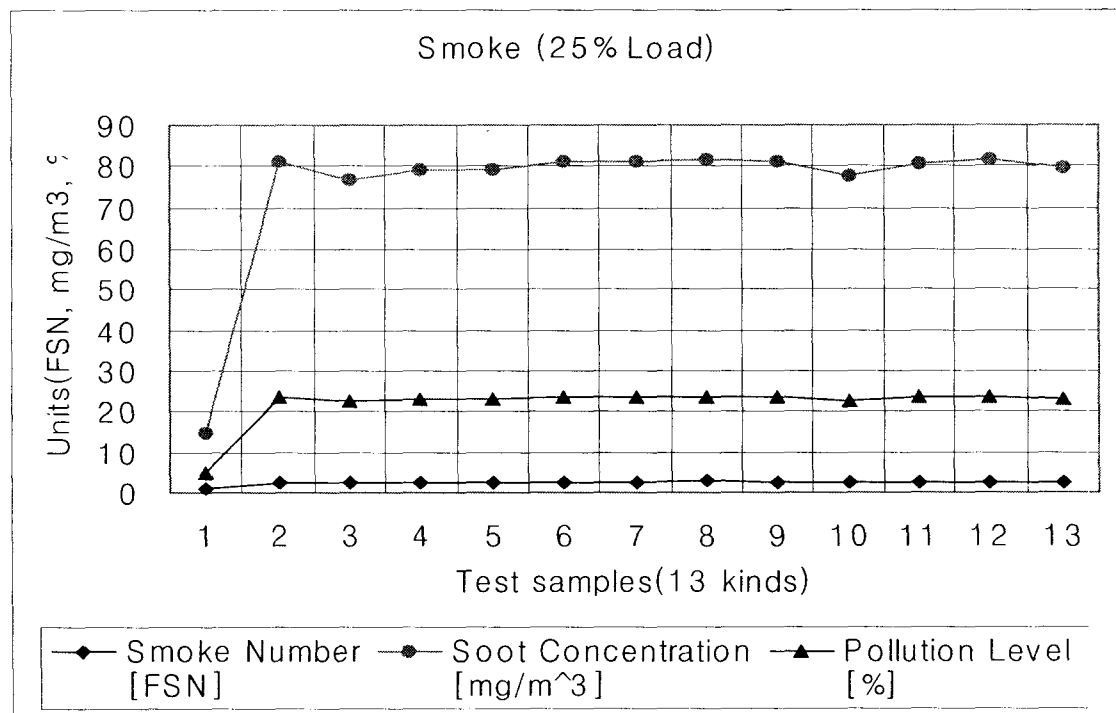


그림 4-7 Smoke measuring data at 25% load

그림 4-6은 75% 부하에서 Smoke 발생량을 보여주고 있다. Smoke 발생량은 Smoke number(FSN), Soot concentration(mg/m³) 및 Pollution level(%) 등 3 가지로 측정되었는데, 눈금의 폭이 가장 큰 Soot concentration(mg/m³)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 4-7은 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.

4-4 배기가스 분석(국외시험)

대서양(Las Palmas)에서 조업중인 트롤 어선에 대한 시험은 이미 국내에서 어업지 도선을 대상으로 MF30급 혼합유에 대한 3가지 전처리 기술 및 3가지 조연제 효과에 대해서 분석해 본 결과를 바탕으로 시험을 실시하였다. 특히 75% 부하에서 조연제 효과가 미미하게 나타나기는 하였으나, 열악한 조건인 25% 부하에서는 Smoke를 줄이는 조연제 효과가 거의 없었으므로, 본 시험에서는 조연제 효과분석을 위한 시험은 생략하도록 하였다. 전처리 기술인 3가지 시스템(M.C.H., Purifying system 및 Tandem system)을 혼합유 사용시에 설치하여 배기 배출물(NOx, Smoke) 및 엔진 성능(Pmax., 배기가스 온도 등)을 경유 사용시와 비교·분석하고자 하였다. 실험 방법으로는 각각 시스템을 사용하여 엔진 입구의 연료 온도변화(60, 70, 80 및 90 ℃) 및 엔진의 부하를 변경(0, 25, 50, 75 및 100%) 하면서 시험하였다. 특히, NOx 측정시 엔진 속도 및 부하변동은 IMO에서 요구하는 엔진측정 사이클 중 E2 모우드를 사용하였다. 표 4-5는 IMO의 측정 기준인 E2, E3 모우드를 나타내고 있으며, 가중치가 75% 부하에서 50%로 가장 큼을 나타내고 있다.

표 4-5 IMO test cycles and weighting factors to be applied

Test cycle	Items	-				
1 E2 Mode	Speed(%)	100	100	100	100	Constant speed main propulsion engine (VPP)
	Power(%)	100	75	50	25	
	Weighting Factor	0.2	0.5	0.15	0.15	
2 E3 Mode	Speed(%)	100	91	80	63	Propeller law operated main engine (FPP)
	Power(%)	100	75	50	25	
	Weighting Factor	0.2	0.5	0.15	0.15	

그림 4-8은 본 실험 선박인 트롤어선(풍림 12호)을 나타내고 있다. 또한 그림 4-9의 (a)는 NOx 분석기의 배기가스 채취 위치를 보여주고 있으며, (b)는 EXSA 240CL NOx 분석기를 보여주고 있다.

4-4-1 시험대상 선박 및 엔진 사양

- 1) 대서양(Las Palmas)에서 조업중인 풍림12호에서 Purifier 및 M.C.H.의 정제시스템을 설치하여 주기관에 대한 MF30급 혼합유의 연소시험을 실시하였으며, 각 장치의 성능을 검증하고, 배기가스(NOx, SOx, Smoke)의 발생량을 측정 및 엔진의 성능(Pmax, 배기온도 등)을 파악하여 MF30급 혼합유의 사용 가능성을 확인하고자 하였다. 그림 4-8은 시험선인 풍림12호의 전경 모습이다.

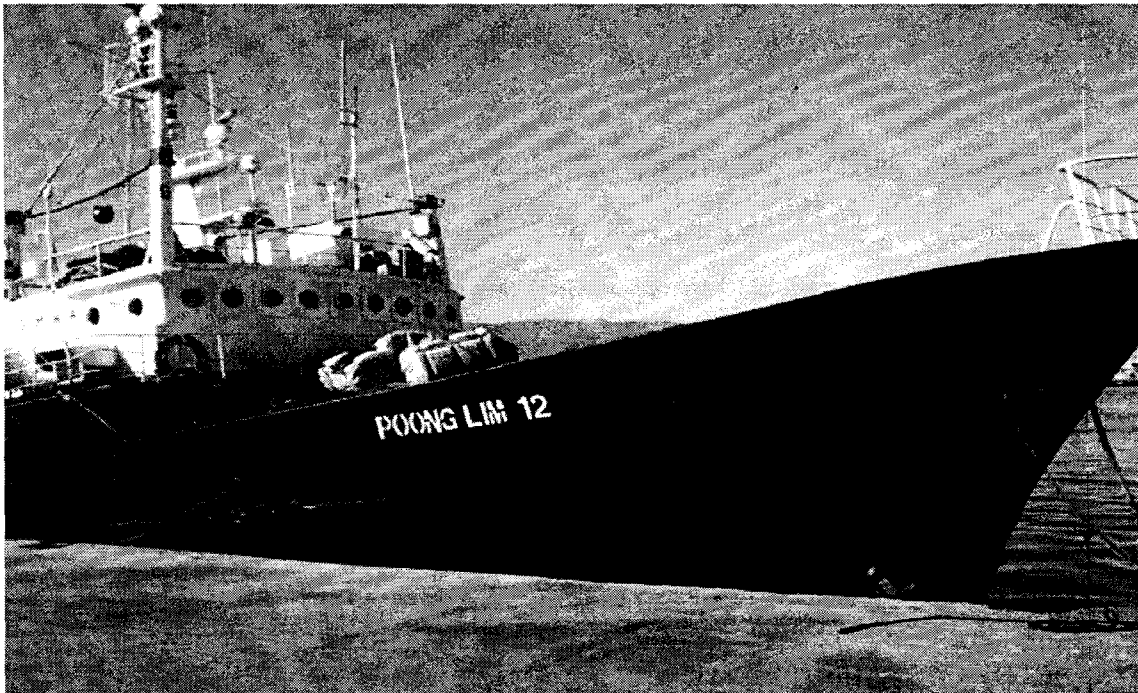


그림 4-8 Photographs of test ship

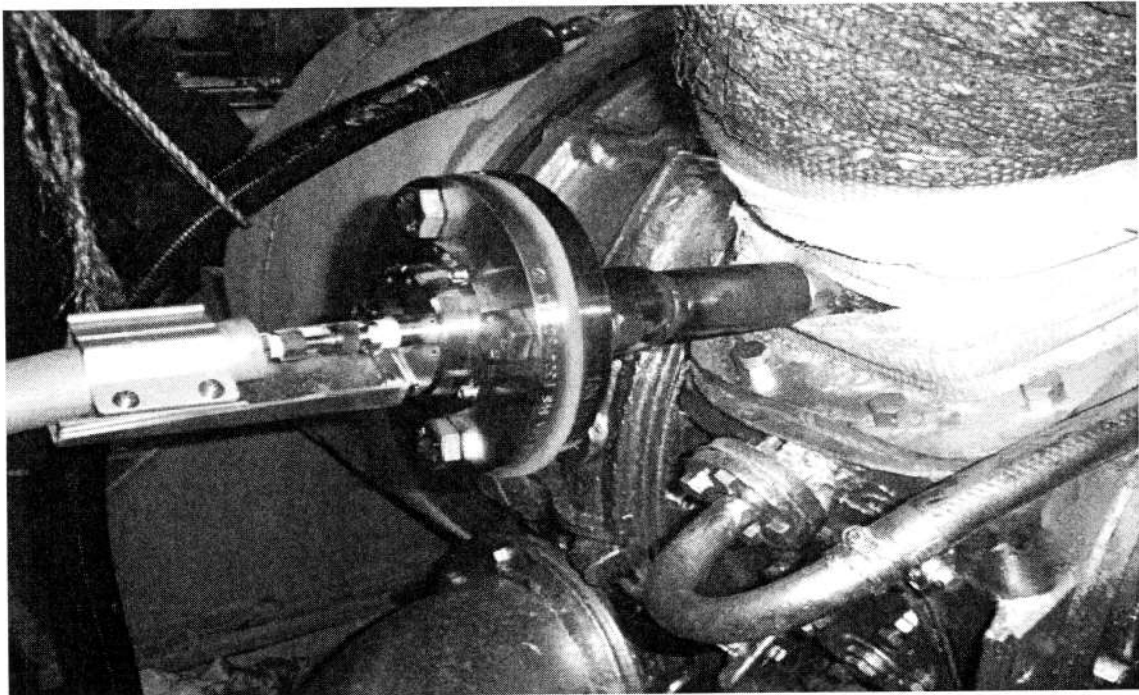
2) 풍림12호의 엔진 사양은 표4-6과 같다.

표4-6 풍림12호 주요 엔진 사양

제조사	AKASAKA	최대출력	2100 BHP
Model	AH-40	과부하	10 %
형식	In-Line	회전수	MCR 330 rpm
실린더	갯수 6		Idling 450 rpm
	Bore 360 mm	평균유효압력	17.37 kg/cm ²
	Stroke 540 mm	최대폭발압력	102 kg/cm ²

4-4-2 NO_x 분석

1) NO_x 측정 사진



(a) Installing of probe for NO_x analyzer

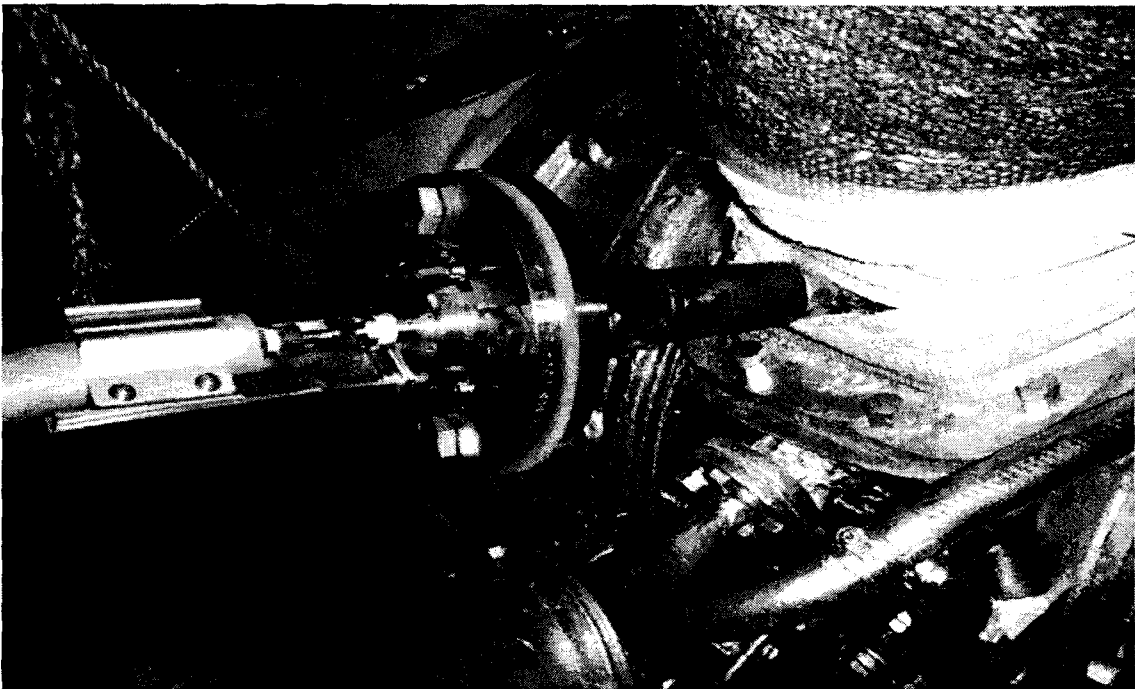
2) 풍림12호의 엔진 사양은 표4-6과 같다.

표4-6 풍림12호 주요 엔진 사양

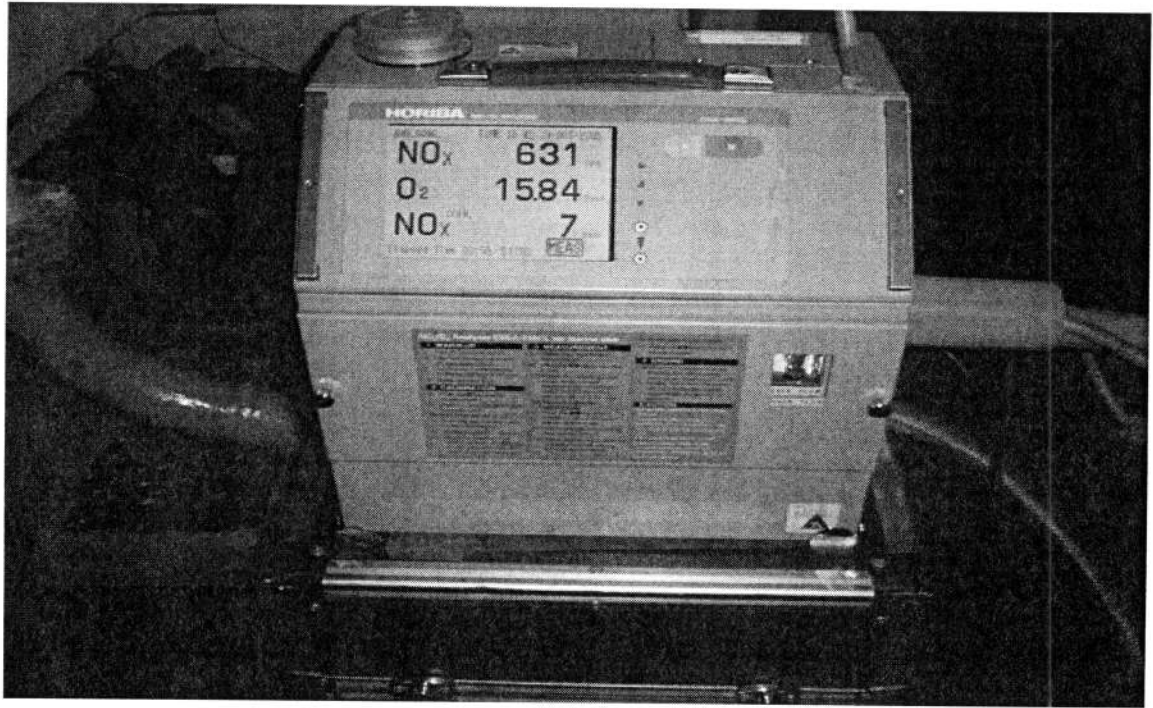
제조사	AKASAKA		최대출력	2100 BHP	
Model	AH-40		과부하	10 %	
형식	In-Line		회전수	MCR	330 rpm
실린더	갯수	6		Idling	450 rpm
	Bore	360 mm	평균유효압력		17.37 kg/cm ²
	Stroke	540 mm	최대폭발압력		102 kg/cm ²

4-4-2 NO_x 분석

1) NO_x 측정 사진



(a) Installing of probe for NO_x analyzer



(b) NOx analyzer(EXSA-240CL)

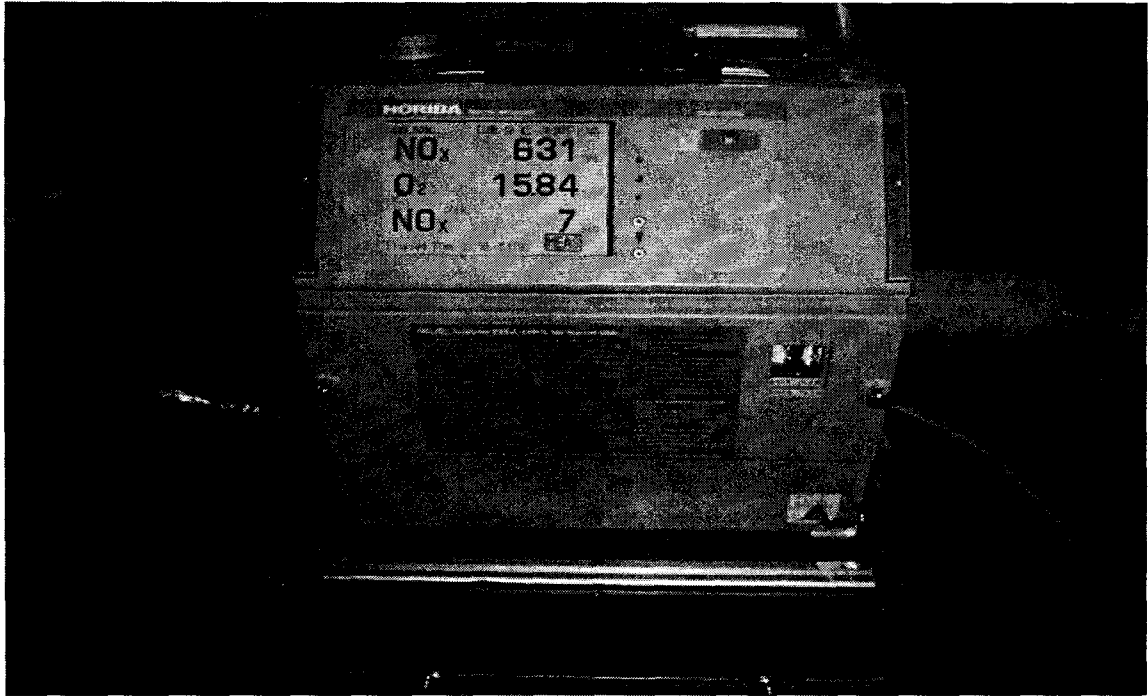
그림 4-9 Photographs of test equipments

2) NOx 측정 값

- (1) 경유 : M.G.O. (Marine Gas Oil)
- (2) M : M.C.H. system
- (3) P : Purifying system
- (4) MP : Tandem(Purifying + M.C.H.) system

표 4-7 NOx measuring data

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



(b) NOx analyzer(EXSA-240CL)

그림 4-9 Photographs of test equipments

2) NOx 측정 값

- (1) 경유 : M.G.O. (Marine Gas Oil)
- (2) M : M.C.H. system
- (3) P : Purifying system
- (4) MP : Tandem(Purifying + M.C.H.) system

표 4-7 NOx measuring data

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

3) NOx 농도 비교 그래프

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

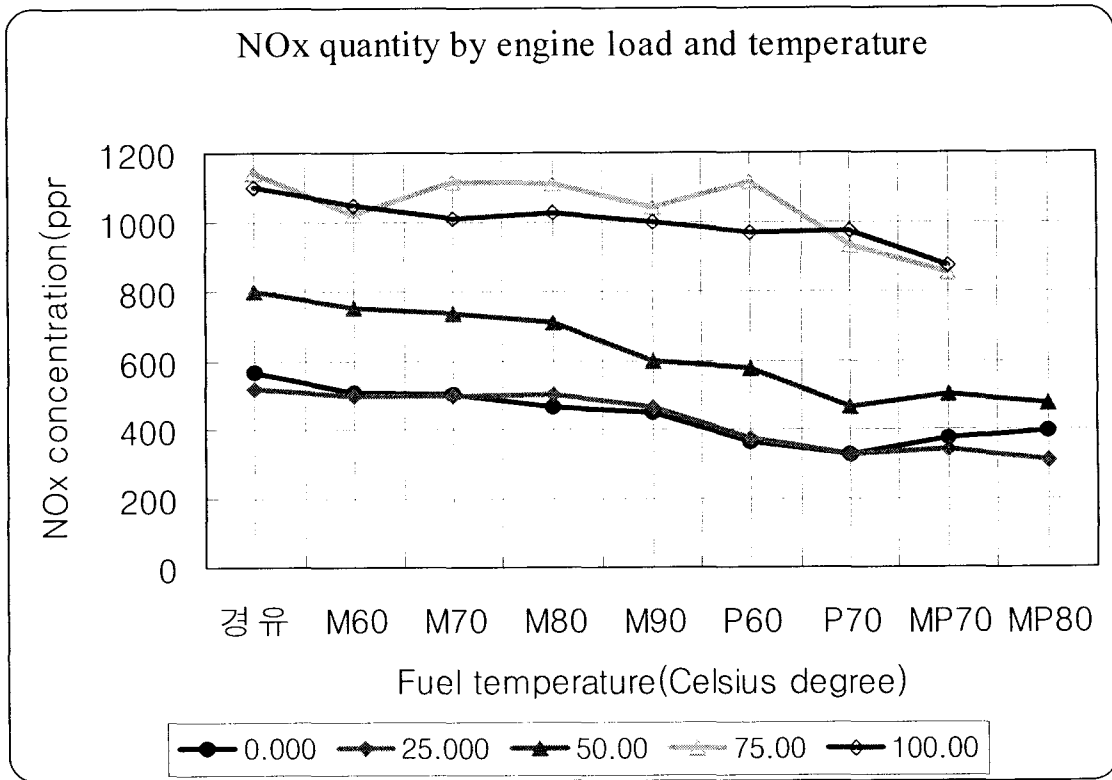


그림 4-10 NOx concentration by engine load and each system for blending fuel oil

그림 4-10은 엔진 부하별로 경유 및 각각의 혼합유를 전처리한 정제유의 NOx 농도를 나타내고 있다. NOx 농도는 주로 연소실의 고온·고압 조건에서 생성되며, 연료 중에 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 전부하(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.

(2) M.C.H.의 온도 변화에 따른 NO_x 농도

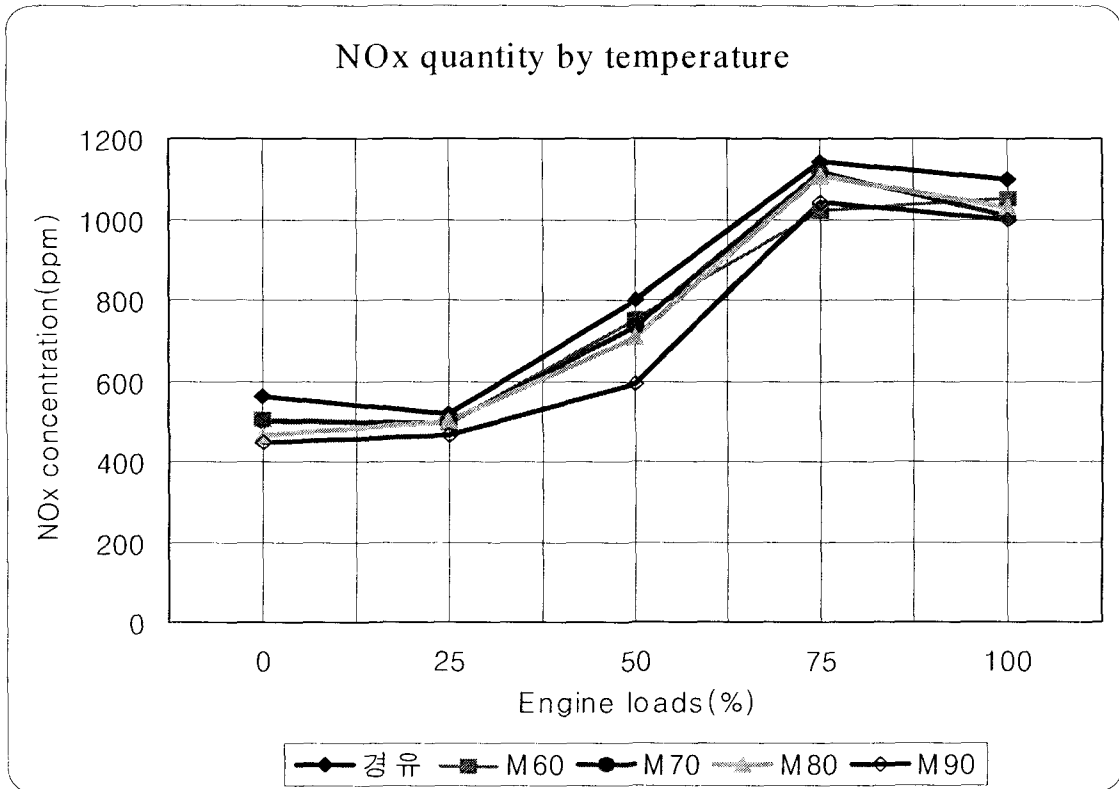


그림 4-11 NO_x concentration by engine load and fuel temperature of M. C. H. system

그림 4-11은 전처리 기술로써 M.C.H. system을 사용했을 때 연료의 온도변화 (60, 70, 80 and 90℃) 및 엔진의 부하변화(0, 25, 50, 75 and 100%)에 따른 혼합유 사용시의 NO_x 농도 변화를 경유 사용시와 비교하여 나타내고 있다. 혼합유를 사용했을 때가 경유를 사용했을 때 보다 전 구간(무부하에서 부터 100% 부하 시)에 걸쳐서 NO_x 농도가 낮음을 확인할 수 있으며, 연료유 온도 90℃ 에서 NO_x 농도가 가장 낮음이 확인되었다. 그러나 MF30급 혼합유 사용했을 경우가 경유를 사용했을 경우보다 전 구간에 걸쳐서 NO_x 농도가 낮으므로, 온도를 높게 하는 것도 연료 소모를 증가시키기 때문에 60℃로 조절해도 좋으리라 사료된다. 위 그래프에서 M60은 M.C.H.를 사용했을 경우의 연료유 온도를 60℃로 조절했음을 의미 한다.

(3) 60℃ 에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

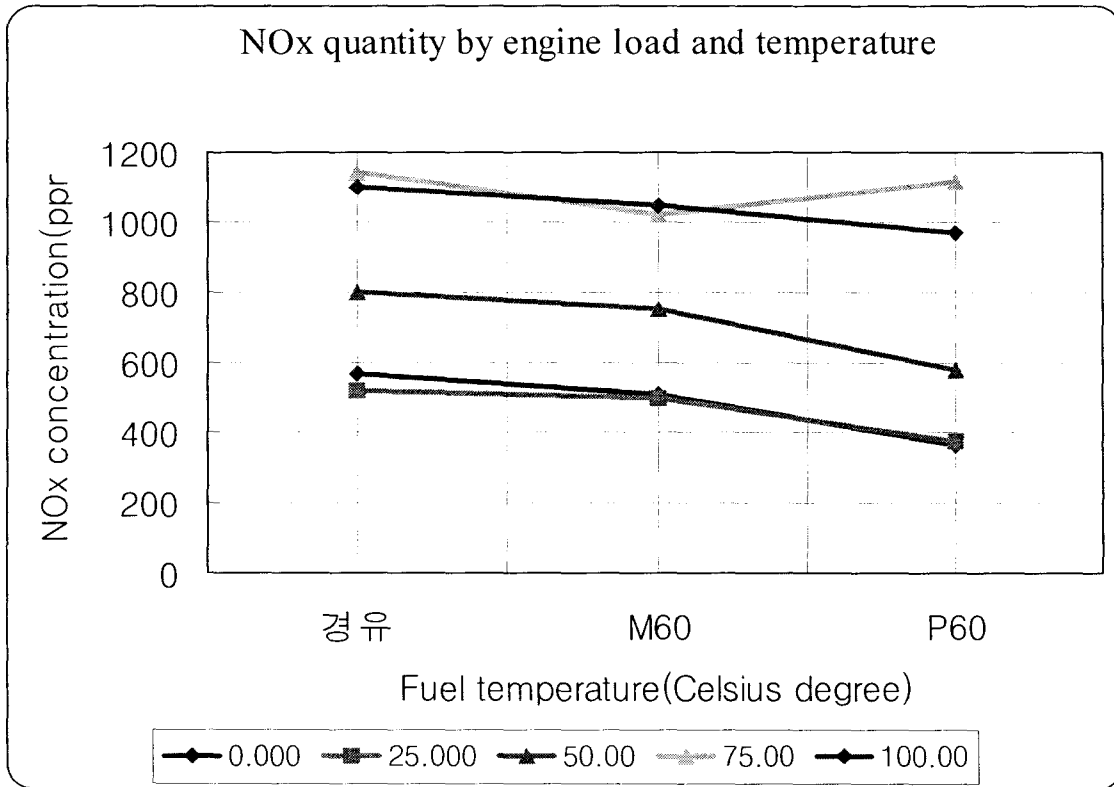


그림 4-12 NOx concentration by engine load and Two systems (M.C.H. & Purifying)

그림 4-12는 M.C.H. system을 사용한 정제유와 Purifying system을 사용한 정제유를 60℃로 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 대체적으로 NOx 농도가 낮음을 볼 수 있다.

(4) 70°C 에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

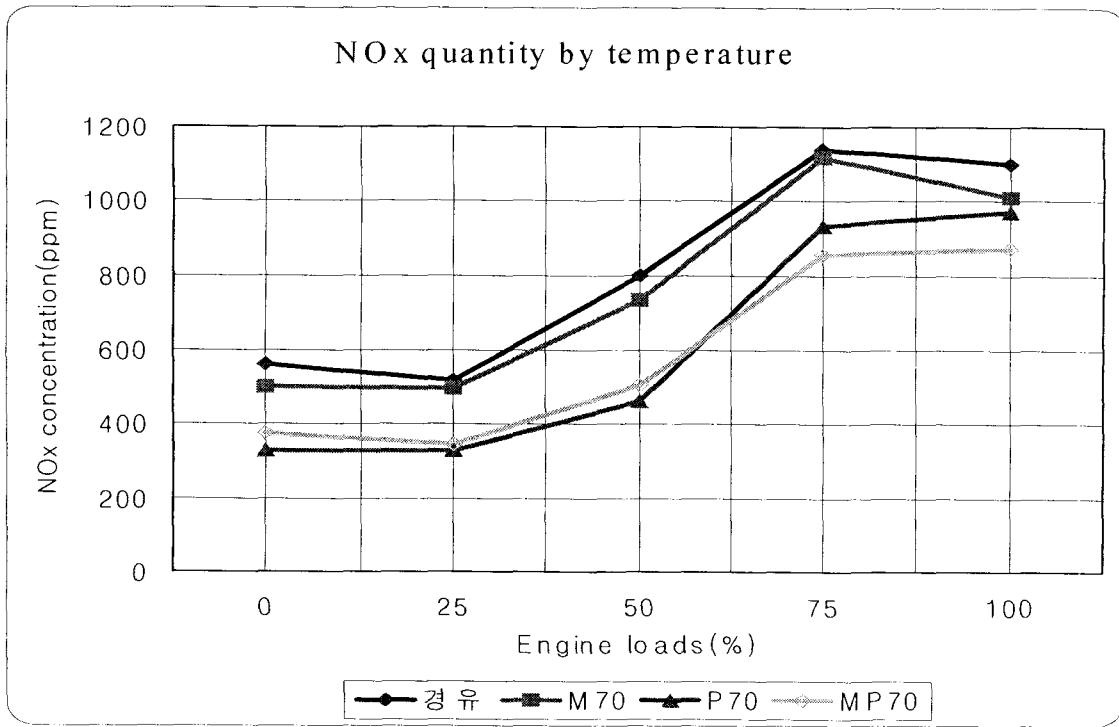


그림 4-13 NOx concentration by engine load and three systems (M.C.H., Purifying and Tandem system)

그림 4-13은 전처리 기술인 3가지 시스템을 각각 사용한 정제유를 70°C로 동일한 온도로 조절한 상태에서, 엔진 부하를 변경하면서 경유와 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 보여주고 있다. 경유 사용시의 NOx 농도 값이 전 구간에서 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.

(5) 80°C 에서의 M.C.H.와 Purifying system의 NOx 발생량

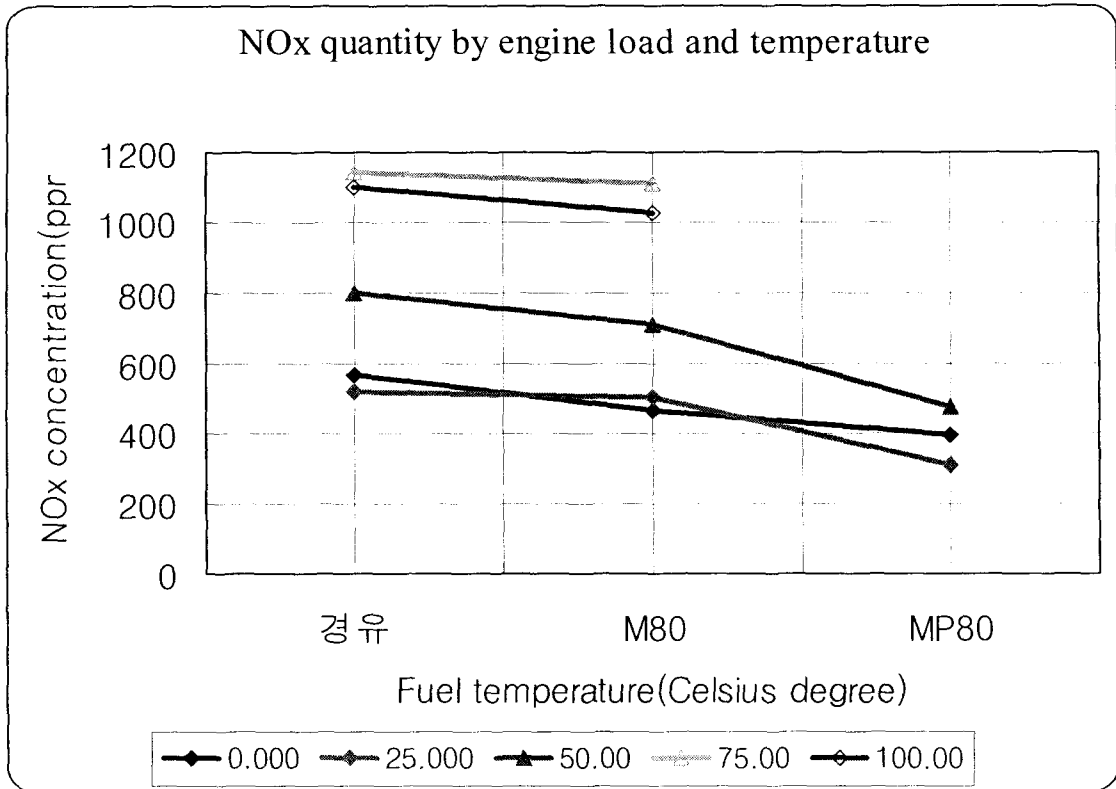
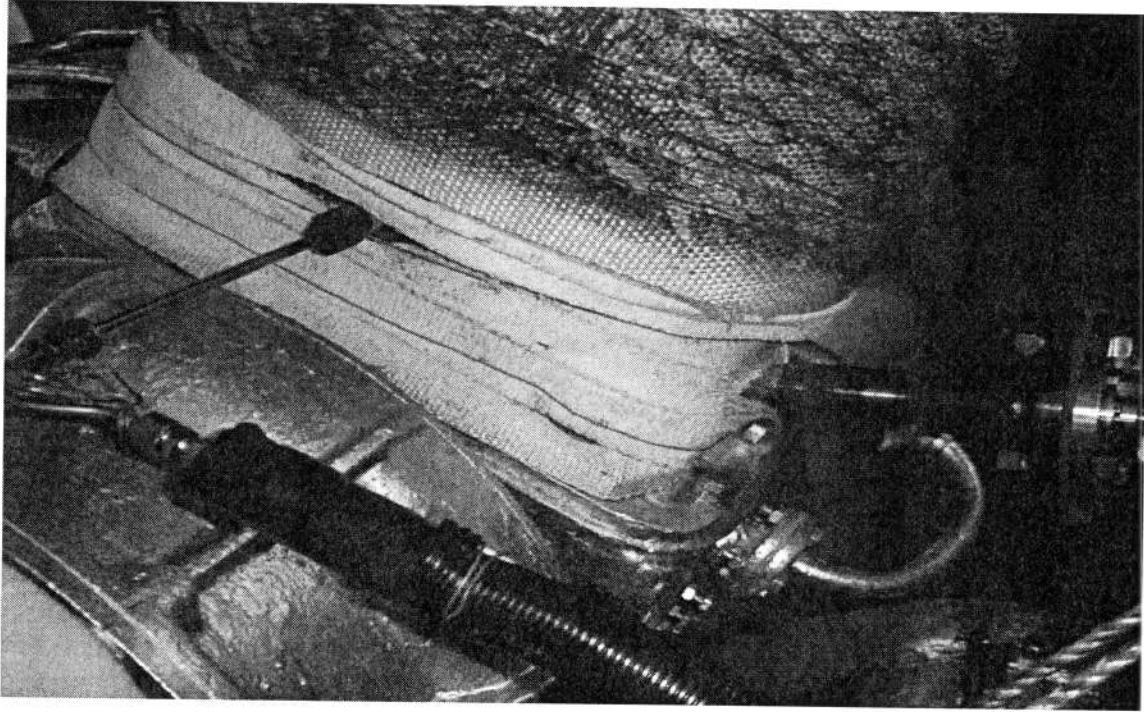


그림 4-14 NOx concentration by engine load and Two systems
(Purifying and Tandem system)

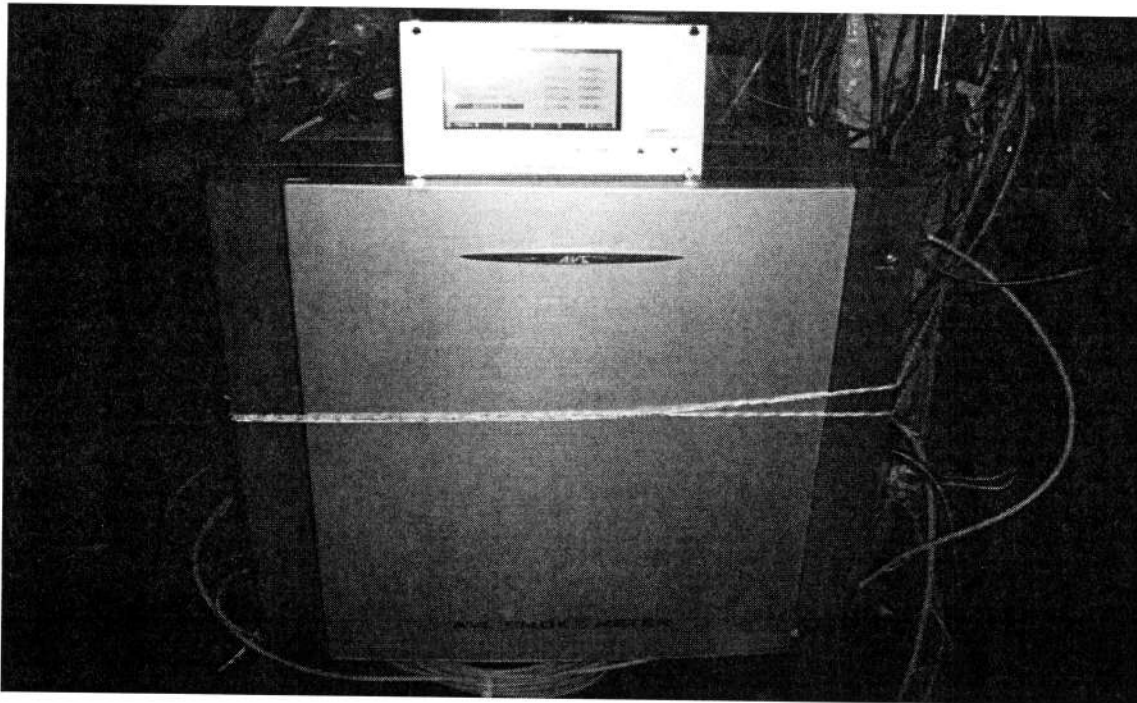
그림 4-14는 M.C.H. system을 사용한 정제유와 Purifying system을 사용한 정제유를 80°C로 동일하게 조절한 상태에서, 엔진 부하를 변경하면서 경유와 혼합유 사용시의 NOx 농도 변화를 나타내고 있다. 경유 사용시가 전 구간에 걸쳐서 NOx 농도 값이 높게 나타났으며, Tandem system 사용시가 Purifying system 사용시 보다 전 구간에서 걸쳐서 NOx 농도 값이 적음을 알 수 있다. 그림 4.15의 (a)는 Smoke 분석기의 배기가스 채취 위치를 보여주고 있으며, (b)는 AVL Smoke Meter를 보여주고 있다.

4-4-3 Smoke 분석

1) Smoke 측정 사진



(a) Installing of probe for smoke analyzer

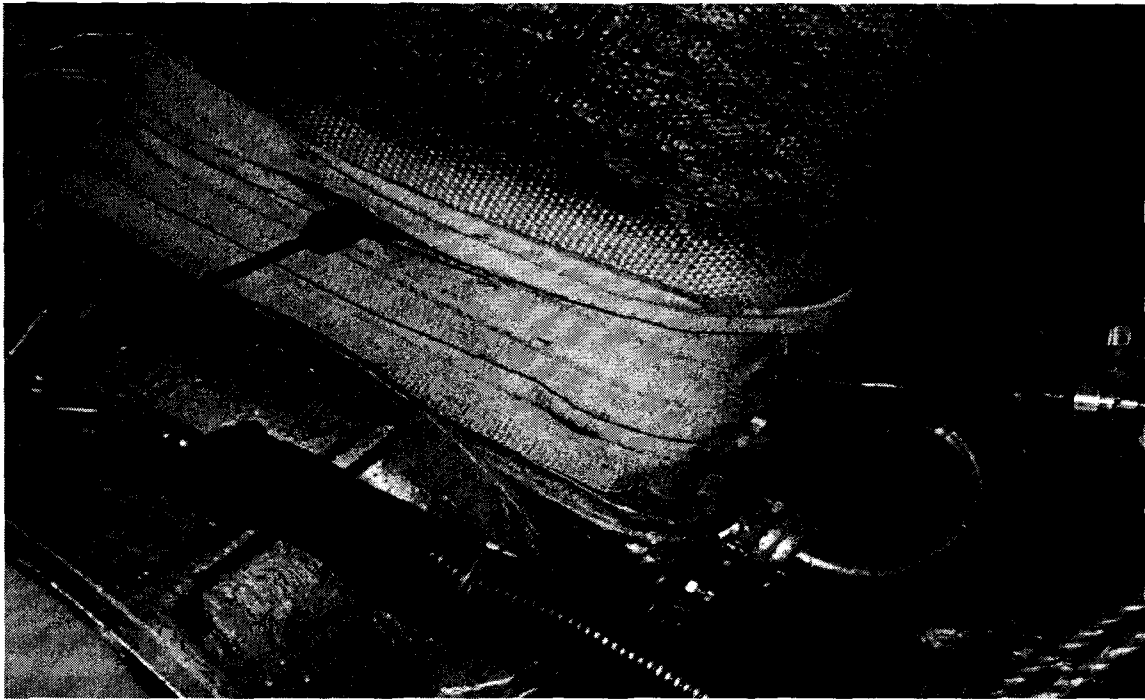


(b) Smoke analyzer(AVL Smoke Meter)

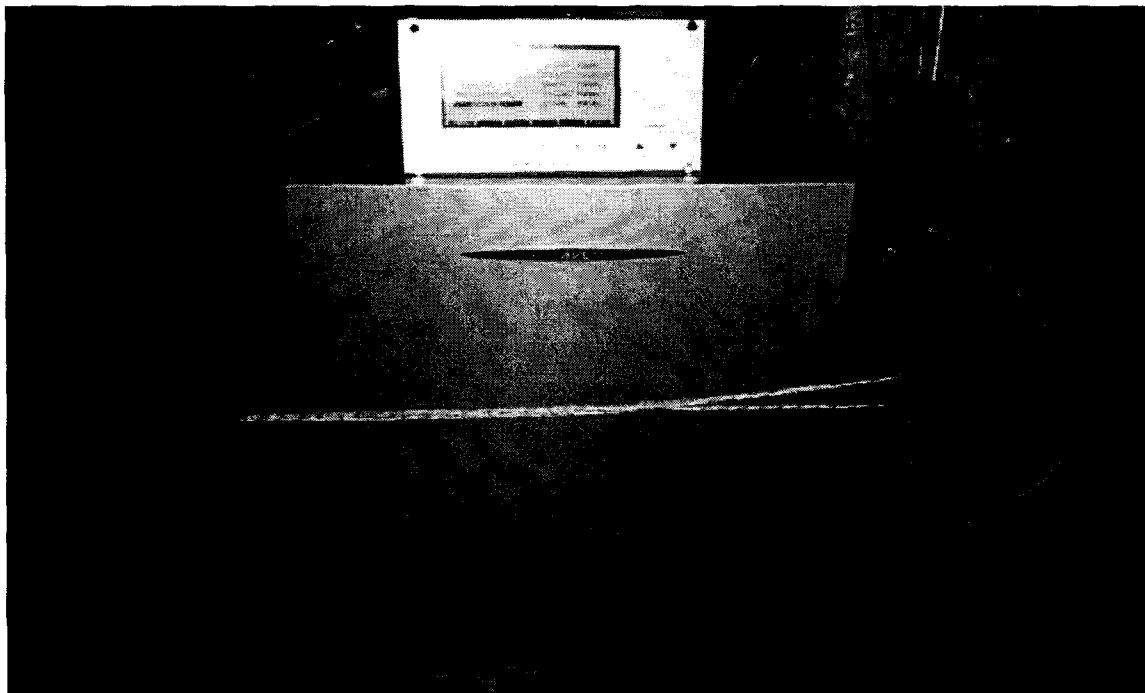
그림 4-15 Photographs of test equipments

4-4-3 Smoke 분석

1) Smoke 측정 사진



(a) Installing of probe for smoke analyzer



(b) Smoke analyzer(AVL Smoke Meter)

그림 4-15 Photographs of test equipments

2) Smoke 측정 값

표 4-8은 전처리(M.G.O, M.C.H., Purifying, Tandem) 및 혼합유 온도별로 측정
한 Smoke 측정값을 나타내고 있다. 전처리에 대한 설명은 아래와 같다.

- (1) M.G.O. system - 현재 어선에서 경유는 주 연료유로 사용되어지고 있으며,
중유보다 유 성상이 좋고, 잔유물이 중유보다 적으며, 취급이 간편하고 별도
의 Heating 장치 등의 부대 시설이 필요 없기 때문에 주로 소형선 위주로
사용되는 연료 공급 시스템
- (2) M.C.H. system - 유남조기(주)에서 혼합유 사용을 위해서 새로 개발한
System으로써 연료유를 가열할 경우에 Mixing을 해주는 장치
- (3) Purifying system - 주로 중대형선박 위주로 사용해 오고 있으며, 이번 시험
을 위하여서 미쓰비시에서 제작한 P-700 기종을 참여기업인 유창상사(주)에
서 수입 조립한 정제시스템
- (4) Tandem(Purified + M.C.H.) - Purifying 시스템과 M.C.H. 시스템을 직렬로
연결한 시스템으로서 Purifier에서 정제한 MF30급 혼합유를 M.C.H.에서 한
번 더 교반 가열하여 연료 성상을 개선하는 시스템으로 이번 시험에서 구축
함.

表 4-8 Smoke measuring data

	Fuel	Temp.	Load	Smoke Number	Soot Concentration	Pollution Level
			(%)	[FSN]	[mg/m ³]	[%]
1	M.G.O.	-	0	1.091	20.05	7.27
			25	0.719	11.78	3.56
			50	0.816	13.78	4.53
			75	0.778	12.98	4.15
			100	0.657	10.56	2.95
2	M.C.H.	60℃	0	1.291	25.19	9.26
			25	1.111	20.58	7.46
			50	1.207	22.96	8.42
			75	0.783	13.08	4.20
			100	0.712	11.63	3.49
3	M.C.H.	70℃	0	1.234	23.65	8.69
			25	1.372	27.44	10.07
			50	1.293	25.24	9.28
			75	0.669	10.79	3.06
			100	0.745	12.31	3.82
4	M.C.H.	80℃	0	1.371	27.43	10.07
			25	1.434	29.30	10.69
			50	1.381	27.69	10.16
			75	0.618	9.82	2.56
			100	0.629	10.01	2.67
5	M.C.H.	90℃	0	1.375	27.53	10.11
			25	1.481	30.62	11.17
			50	1.576	33.59	12.12
			75	0.857	15.04	5.11
			100	0.626	9.96	2.64
6	Purified	60℃	0	1.512	31.58	11.48
			25	1.538	32.05	11.64
			50	1.273	24.71	9.09
			75	0.655	10.53	2.93
			100	0.613	9.72	2.51
7	Purified	70℃	0	1.831	42.21	14.69
			25	1.965	47.21	16.04
			50	1.411	28.56	10.47
			75	0.550	8.55	1.89
			100	0.561	8.75	2.00
8	Puri. + M.C.H.	70℃	0	1.529	32.07	11.64
			25	1.389	27.92	10.24
			50	1.361	27.13	9.96
			75	0.666	10.73	3.04
			100	0.659	10.61	2.97
9	Puri. + M.C.H.	80℃	25	1.407	28.49	10.43
			50	1.373	27.47	10.08
			100	0.534	8.29	1.74

3) Smoke 비교 그래프

(1) 엔진 부하 및 장치별 Smoke 측정 값

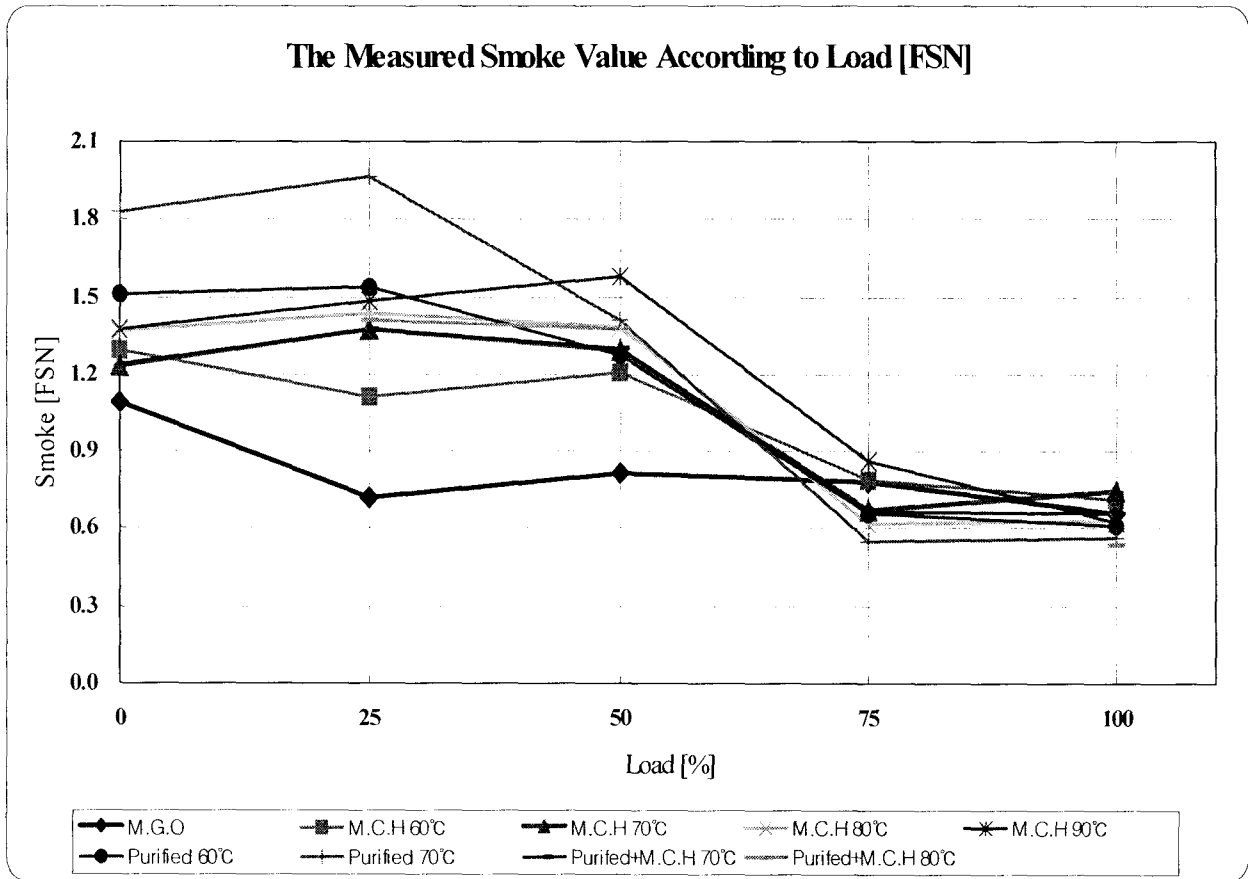


그림 4-16 Smoke value by engine load and each system for blending fuel oil

그림 4-16은 엔진 부하별 경유 및 각각을 전처리한 정제유에 따른 Smoke 발생량을 나타내고 있다. Smoke 발생량은 불완전 연소 상태에서 많아지기 때문에 저부하(0, 25, 50%)로 갈수록 많이 발생하고 있으며, 고부하(75%, 100%)로 갈수록 완전연소에 가까워지기 때문에 Smoke 발생량이 작아짐을 알 수 있다. 경유 사용시 저부하 구간을 비롯해서 거의 전 구간에서 걸쳐서 Smoke 발생량이 적음을 알 수 있으며, 3가지 시스템(M.C.H., Purified, Purified + M.C.H. System)을 비교해보면 M.C.H. 시스템 사용시가 Purified 시스템 사용시보다 대체로 저부하 구간에서 Smoke 발생량이 적음을 확인할 수 있다. 특히, M60(M.C.H. 사용시 연료유 60°C) 사용시에 Smoke 발생량이 가장 적게 나타남을 확인할 수 있으며, 따라서, 엔진에서의 MF30급 혼합유의 적정 가열 온도는 60°C 정도가 가장 적합한 것으로 확인되었다.

(2) 엔진 부하 및 각 장치별 Smoke 측정 값

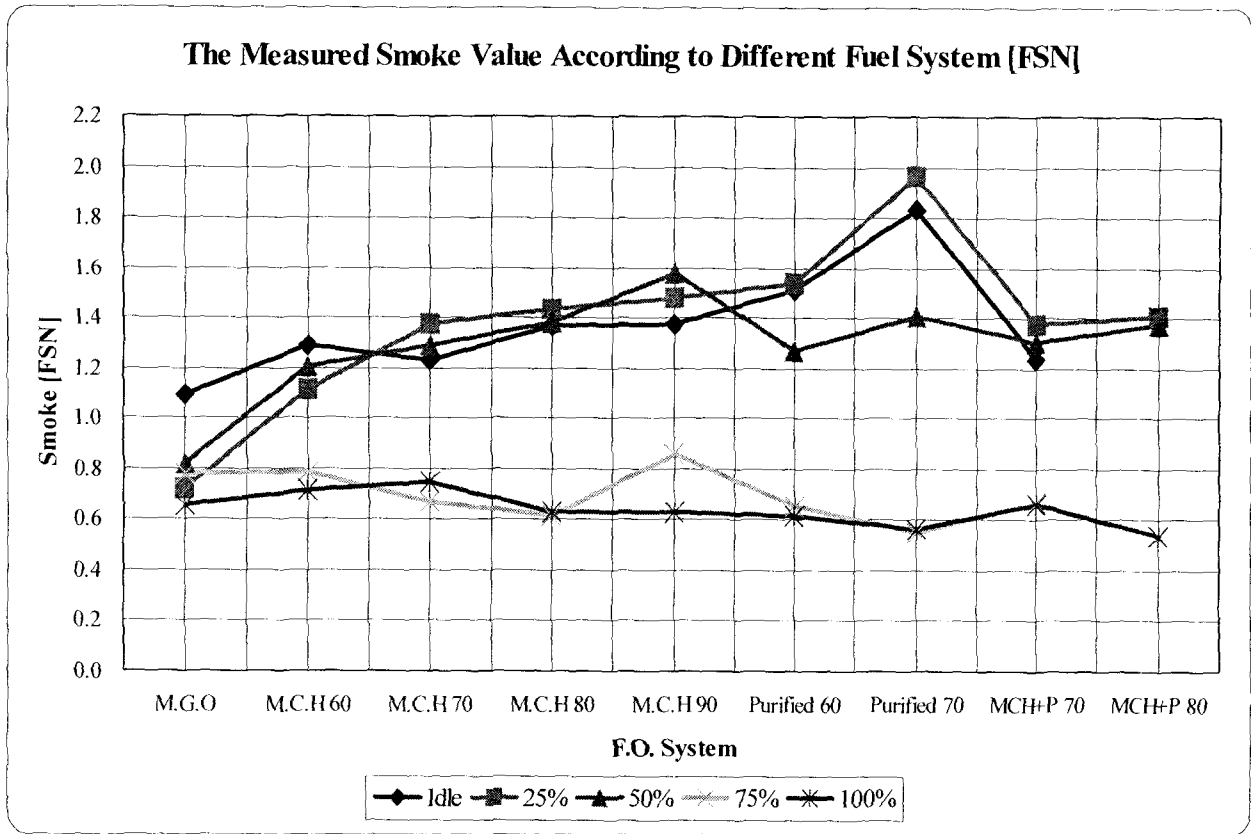


그림 4-17 Smoke value by engine load and each system for blending fuel oil

그림 4-17은 엔진 부하별로 경유 및 각각을 전처리한 정제유를 사용했을때의 Smoke 발생량을 나타내고 있다. Smoke 발생량은 불완전 연소 구간인 저부하(0, 25, 50%) 구간이 훨씬 많음을 알 수 있으며, 완전연소에 가까운 고부하 (75%, 100%) 구간으로 갈수록 점점 더 적어짐을 알 수 있다. 또한 혼합유 사용을 위해 준비한 전처리 기술을 통과한 후의 Smoke 발생량은 M.C.H. system이 Purified system보다 더 유리한 것으로 나타났으며, 특히 엔진 입구의 연료공급 온도 변화 (60, 70, 80 and 90℃)에 따른 Smoke 발생량은 60 ℃에서 가장 작게 배출됨을 알 수 있다.

(3) 엔진 부하 및 각 장치의 70℃ 에서의 Smoke 측정 값

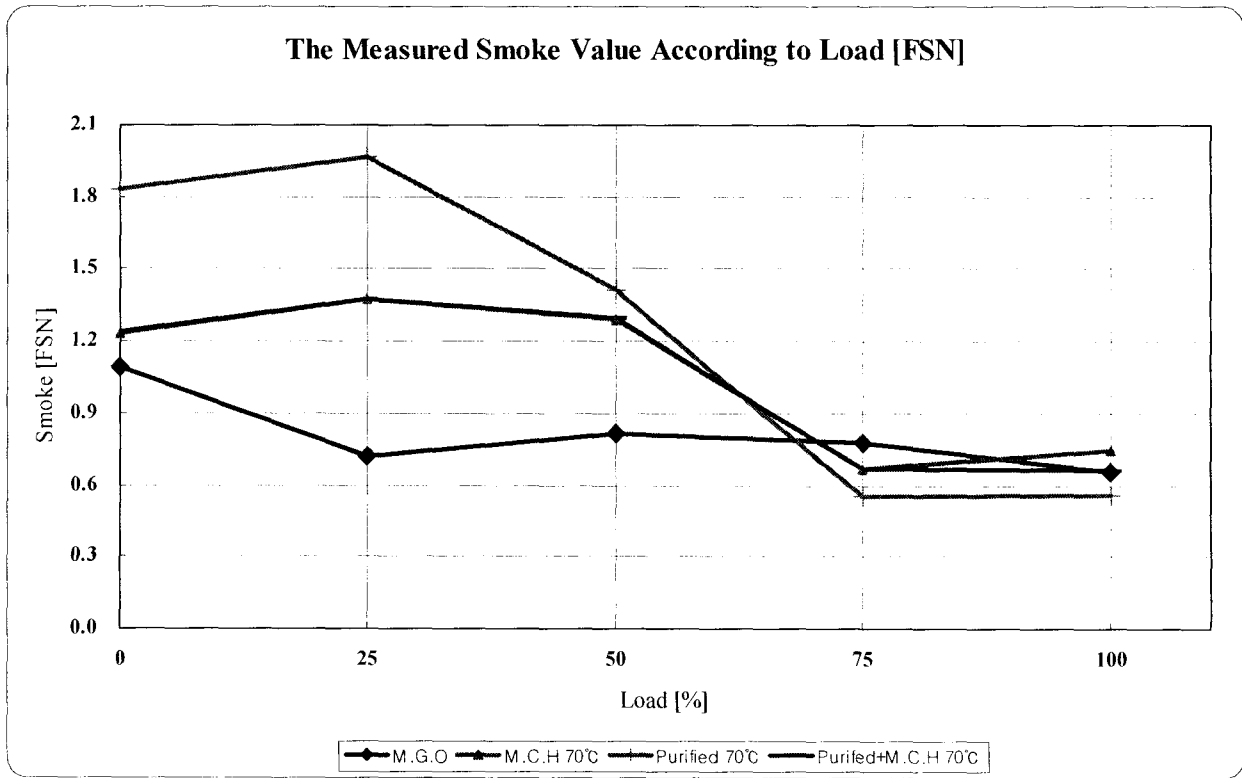


그림 4-18 Smoke value by engine load and each system (at 70℃)

그림 4-18은 전처리 기술인 3가지 시스템을 사용 가능하도록 설치한 상태에서, 엔진에서의 MF30급 혼합유의 입구 온도를 동일 조건인 70℃로 Heating하여 주입하면서 엔진 부하를 변경하였을 경우에, 경유와 MF30급 혼합유 사용시의 Smoke 발생량을 비교한 그래프이다. 그래프에서 보여 주듯이 경유를 주입하였을 경우가 Smoke 발생량이 가장 적다. 또한, M.C.H. system과 Tandem system을 사용했을 경우가 Purifying system을 사용했을 경우보다 Smoke 발생이 대체로 적음을 알 수 있으며, 특히 Smoke 발생량이 많은 저부하 구간에서 더욱더 차이가 있음을 확인할 수 있다.

(4) Mixing clean heater 사용시의 온도별 Smoke 측정 값

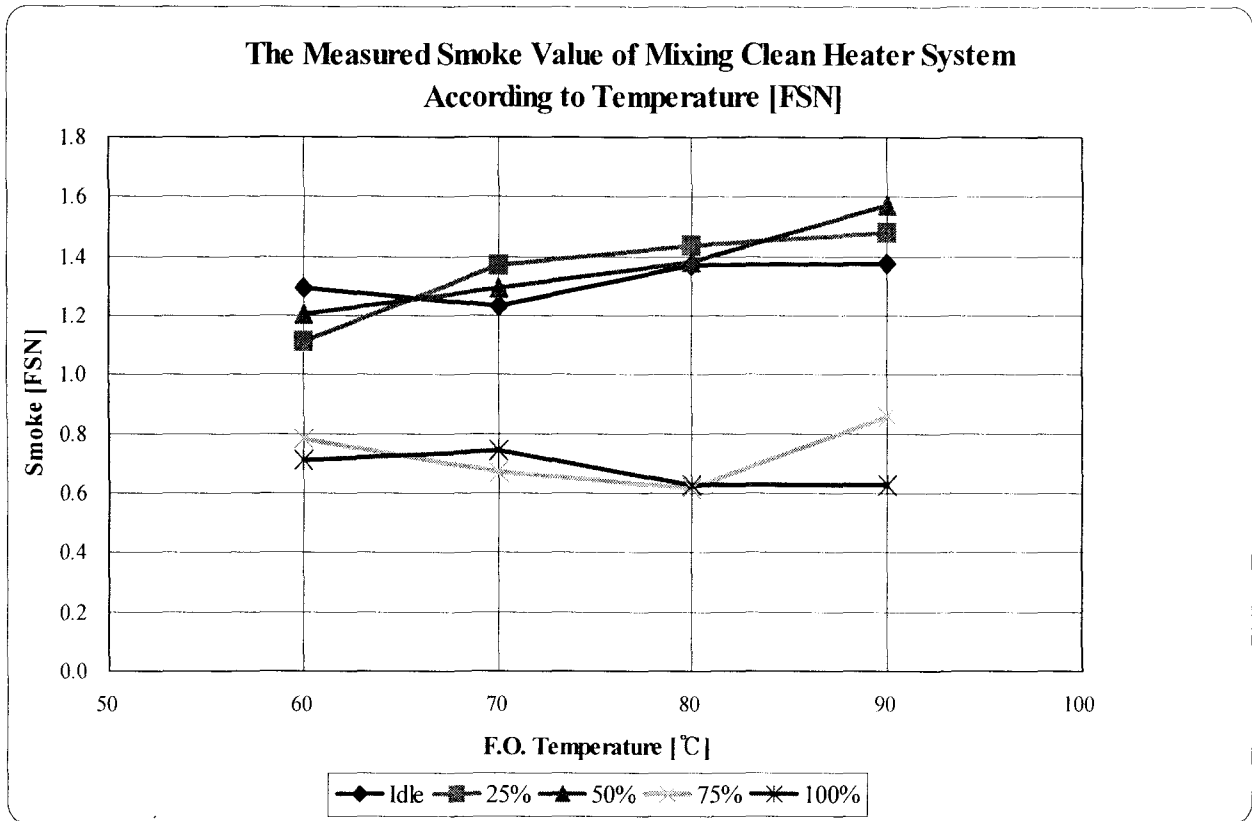


그림 4-19 Smoke value by variable temperature of M.C.H. system

그림 4-19는 전처리 기술인 M.C.H. system을 사용한 정제유의 온도 변화(60, 70, 80 and 90°C)에 따른 Smoke 발생량을 부하별(0, 25, 50, 75, 100%)로 나타내고 있다. 그래프에서 보이는 바와 같이 엔진에서의 연료유 입구 온도를 60°C로 가열하였을 경우에 Smoke 배출량이 가장 적음을 알 수 있으며, 온도가 올라 갈수록 Smoke 배출량이 많아짐을 확인할 수 있다.

(5) Purifying system 사용시의 온도별 Smoke 측정 값

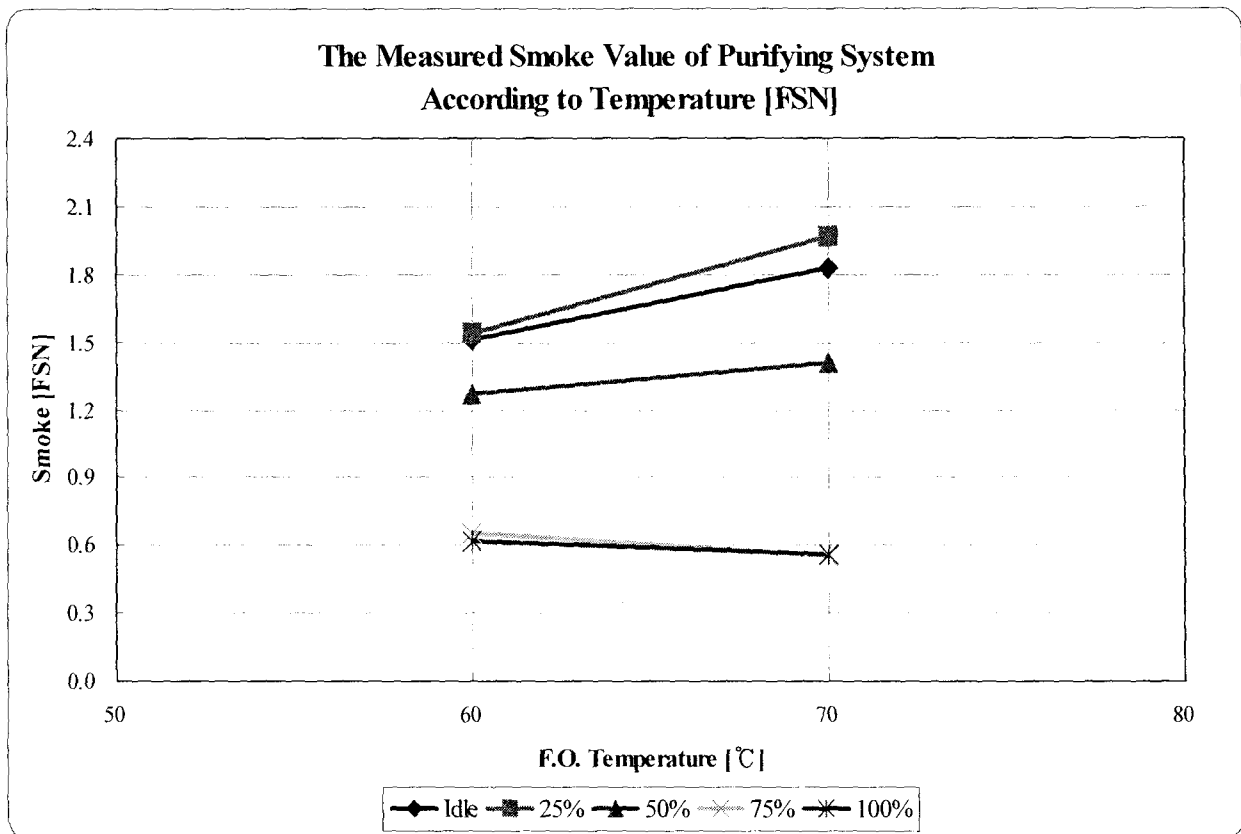


그림 4-20 Smoke value by variable temperature of Purifying system

그림 4-20은 전처리 기술인 Purifying system을 사용한 정제유의 온도 변화(60 and 70°C)에 따른 Smoke 발생량을 나타내고 있다. 그래프에서 보이는바와 같이 60 °C로 조절된 연료가 70°C 로 조절된 연료보다도 Smoke 배출량이 더 적음을 알 수 있다.

(6) Tandem system 사용시의 온도별 Smoke 측정 값

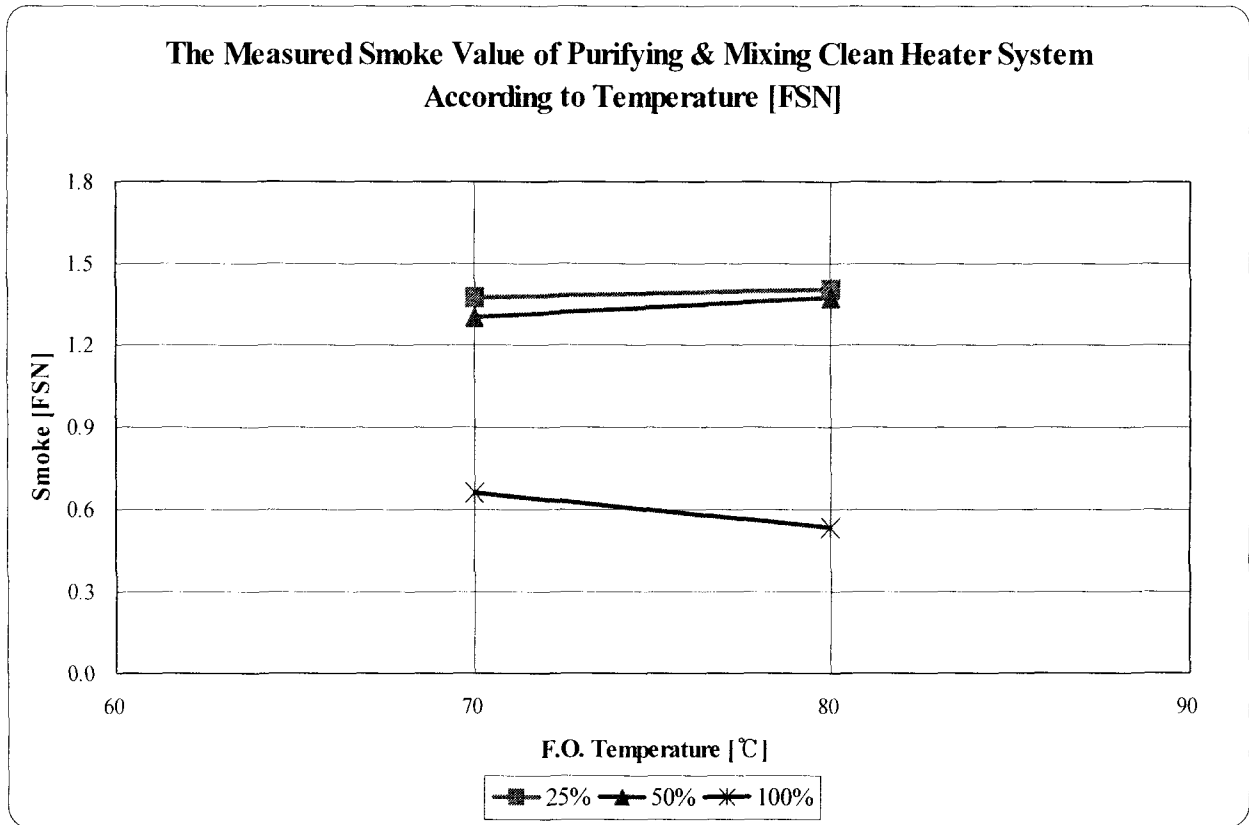


그림 4-21 Smoke value by variable temperature of Tandem system

그림 4-21은 전처리 기술인 Tandem(Purified & M.C.H.) system을 사용한 정제유의 온도 변화(70 and 80°C)에 따른 Smoke 발생량을 나타내고 있다. 그래프에 보이는 바와 같이 저부하(25, 50%) 구간에서는 Smoke 발생량이 거의 비슷함을 알 수 있으나, 고부하(100%)로 갈수록 높은 온도(80°C)에서 유리함을 알 수 있다.

4-5 엔진성능 분석

대서양에서 조업중인 트롤어선 풍림수산(주) 소속 풍림12호에서 Purifier 및 M.C.H. 시스템을 구축하여 MF30급 혼합유의 정제를 통한 엔진의 부하별 및 연료유의 온도별로 최대폭발압력 및 배기온도 등을 측정하였으며, 그림 4-22는 최대폭발압력을 측정하는 모습을 나타내고 있다.

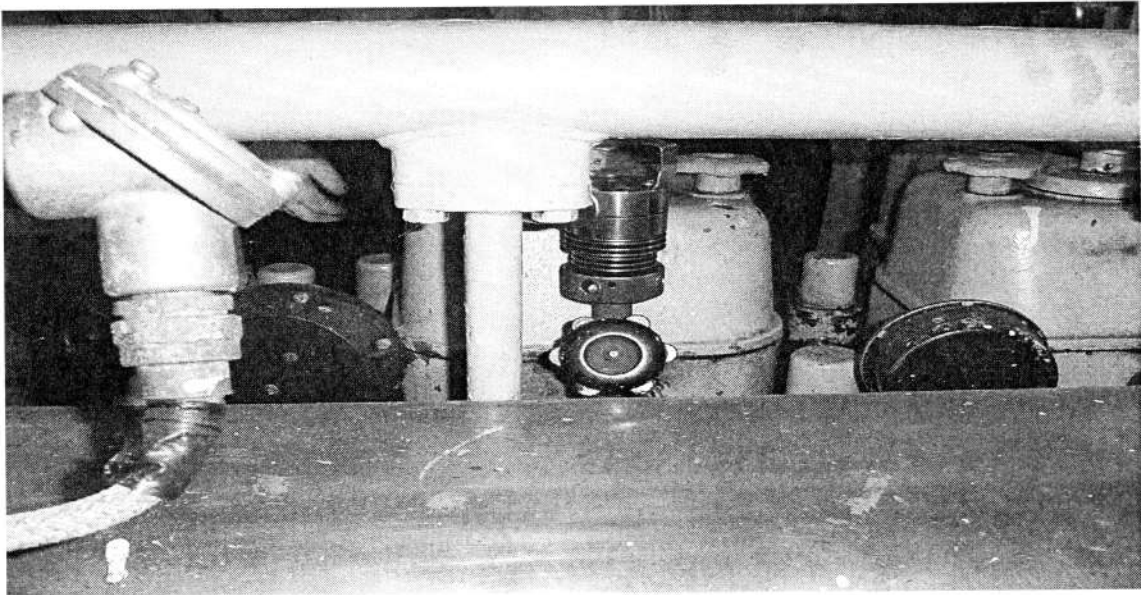


그림 4-22 풍림12호의 Pmax Gauge를 이용한 최대폭발압력(Pmax) 측정

4-5 엔진성능 분석

대서양에서 조업중인 트롤어선 풍림수산(주) 소속 풍림12호에서 Purifier 및 M.C.H. 시스템을 구축하여 MF30급 혼합유의 정제를 통한 엔진의 부하별 및 연료유의 온도별로 최대폭발압력 및 배기온도 등을 측정하였으며, 그림 4-22는 최대폭발압력을 측정하는 모습을 나타내고 있다.

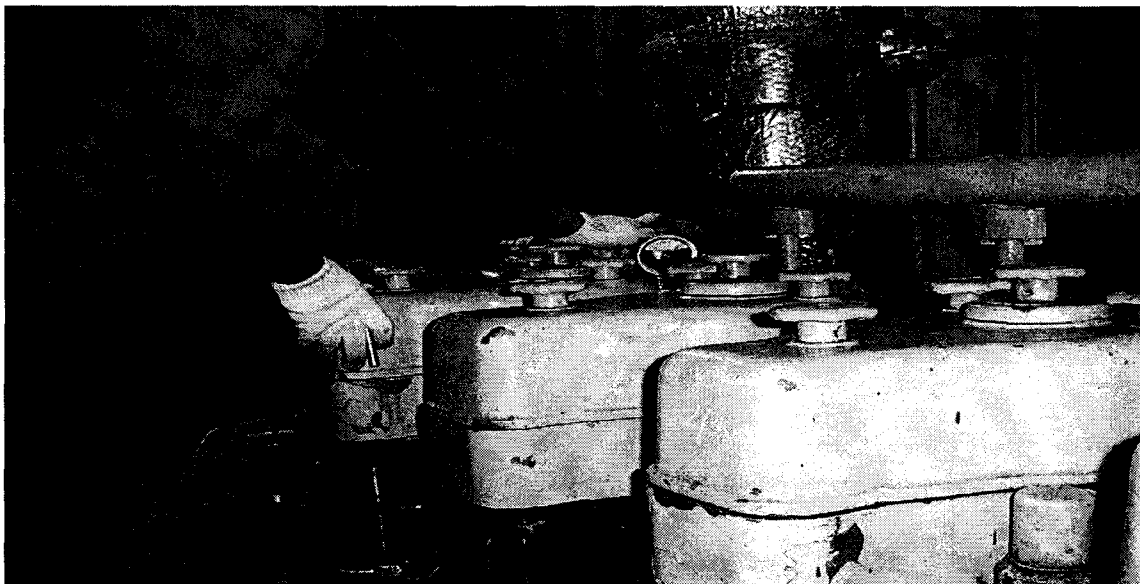
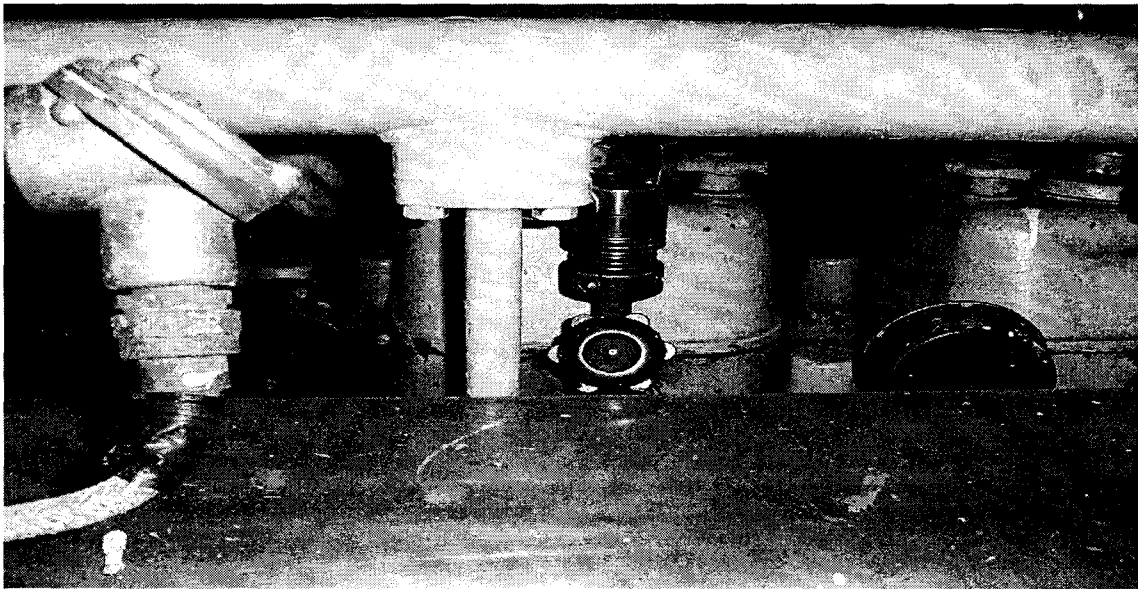


그림 4-22 풍림12호의 Pmax Gauge를 이용한 최대폭발압력(Pmax) 측정

4-5-1 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측

1) 경유 사용시의 엔진부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이(표 4-9)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.5
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.15	0.15	0.18	0.31	0.4
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		0.13	0.13	0.15	0.13	0.13
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(°C)		30.9	31.8	32.0	32.9	33.3
배기가스온도	#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

2) M.C.H System 사용시 엔진부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

(1) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 60℃ 유지시(표 4-10)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		57.5	61.4	59.8	58.6	57.5
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	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

(2) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시(표 4-11)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.015	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		70.0	71.7	74.0	72.8	71.3
배기가스온도	#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

(3) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시(표 4-12)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.012	0.012	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		80.0	79.3	78.0	81.9	78.1
배기가스온도	#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

(4) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 90℃ 유지시(표 4-13)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		88.9	89.2	88.9	88.4	89.2
배기가스온도	#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) Purifying System 사용시 엔진부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

(1) 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 ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		61.6	62.0	62.0	59.7	61.0
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	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

(2) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시(표 4-15)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		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) Tandem(M.C.H + Purifying) System 사용시 엔진 부하별 배기가스온도 및 Pmax 추이

(1) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 70℃ 유지시 (표 4-16)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		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

(2) MF30급 혼합유 엔진 Inlet Temp. 80℃ 유지시 (표 4-17)

부 하		공회전	1/4부하	2/4부하	3/4부하	4/4부하
기관회전수(RPM)		300	300	300	300	300
윤활유 압력(kg/cm ²)		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
과급기 공기압력(kg/cm ²)		0.01	0.015	0.018	0.025	0.045
냉각수압력/청수(kg/cm ²)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
연료유 압력(kg/cm ²)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
연료유 기관입구 Temp'(℃)		80.1	79.8	80.1	80.2	80.1
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	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

4-5-2 엔진 부하별 배기온도 및 Pmax 계측치 분석

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, 엔진부하별로 변화를 주면서 배기온도를 표 4-9~17까지 측정하였으며, 그 결과를 기통별 평균치를 구하여 아래 표 4-18와 같이 작성하였다. 경유는 상온에서의 부하별 배기온도와 각 시스템에서의 MF30급 혼합유의 엔진 Inlet Temp.를 70℃로 유지하면서 부하별로 비교한 경우를 그림 4-23의 그래프에 나타내고 있다.

표 4-18 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 : ℃

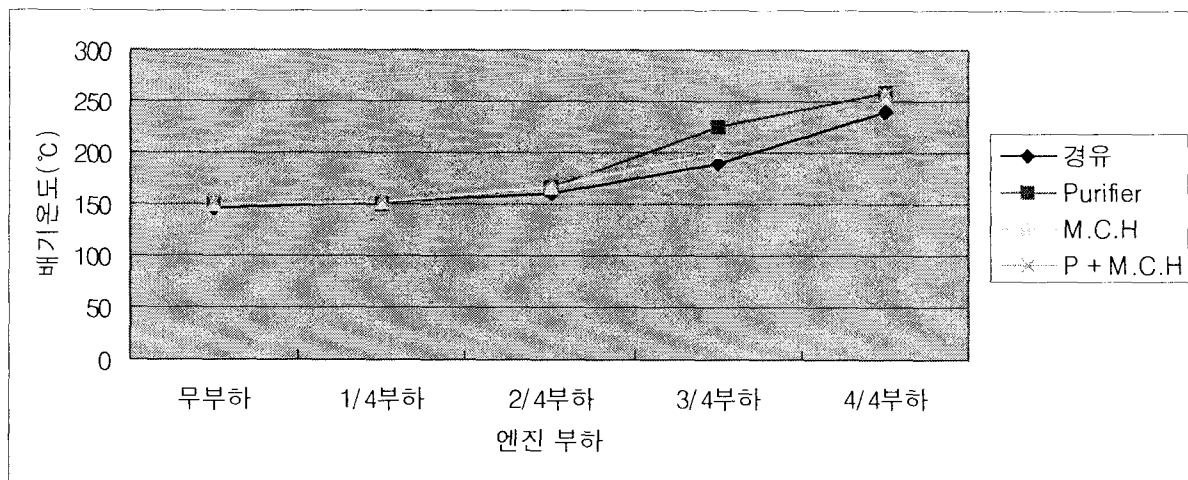


그림 4-23 부하별 평균 배기온도 그래프

2) Pmax 계측치

상기 1)항과 같이 배기온도 측정 방법과 동일하게 풍림12호에서 경유 및 각 시스템의 Pmax를 표 4-9~17까지 측정하였으며, 그 결과를 기통별 평균치를 구하여 아래 표 4-19와 같이 작성하였다. 경유에 대해서는 상온에서 부하별로 Pmax를 측정한 결과이며, 각 시스템에 대한 MF30급 혼합유의 경우는 엔진으로 들어가는 연료의 온도를 70℃ 유지하면서 부하별로 Pmax를 계측한 결과로써, 그 결과를 서로 비교분석한 그래프가 그림 4-24와 같다. (엔진 Pmax 설계치 102kg/cm²)

표 4-19 부하별 평균 Pmax(kg/cm²)

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 : ℃

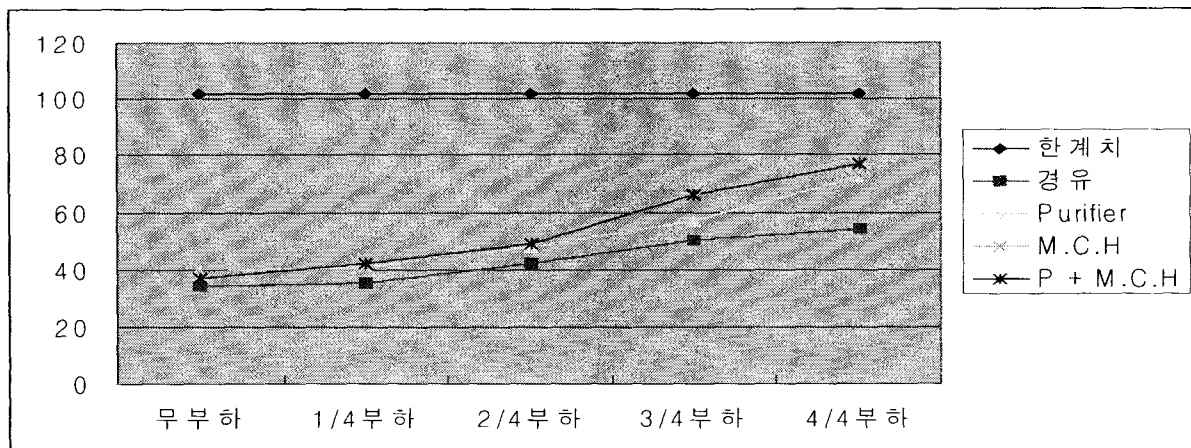


그림 4-24 부하별 평균 Pmax(kg/cm²)

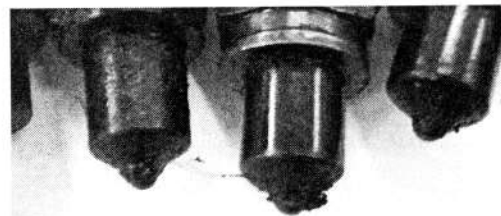
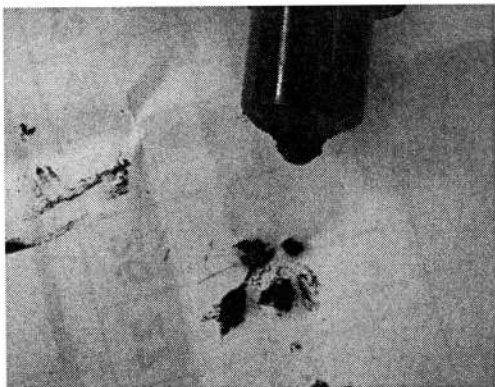
4-6 엔진에 미치는 영향 평가

Purifying 및 M.C.H. System의 엔진에 미치는 영향을 파악하기 위하여서는 각 시스템을 각각의 선박에 설치하여 각 시스템의 단독운전을 통한 결과를 도출하고, 시스템별 결과를 비교 분석하여야 하나, 이번 연구사업에서는 연구기간이 너무 짧아, 기히 정제시스템을 단독으로 운전하는 선박을 대상으로 연소실 내부의 개략적인 상태를 파악하여 비교 분석하고자 하였다.

경유를 사용하는 선박으로 동원수산(주) 소속 어선 제628 동원호를 선정하여 경유 사용시의 엔진 상태를 파악하고자 하였으며, 성원수산(주) 소속 선박 성원 711호(139톤급, 저인망 어선)에 대하여서는 M.C.H. system을 단독 운전하여 엔진 연소실을 점검하였고, 대서양에서 조업중인 베레솔 7호(349톤급, 트롤어선)는 Purifying System 운용, 이번 연구사업을 위하여 Purifying 및 M.C.H.의 두 시스템을 설치한 풍림수산(주) 소속 어선 풍림12호에서는 두 시스템을 조합 운용하는 선박으로 정하여 각 선박의 연소실 내부를 비교 검토하고자 하였다. 또한, 각 선박의 연소실 내부를 확인한 결과 부식의 진행 정도는 파악할 수 없었으며, 경유 사용 선박과 MF30급 혼합유 사용 선박의 잔류탄소분에 대한 Carbon 퇴적물의 차이가 농후함을 확인하였으므로, 이 부분에 대하여서 집중 확인하고자 하였다.

4-6-1 경유를 연료유로 사용하는 선박의 연소실 상태

동원수산(주) 소속 어선인 제628동원호의 주기관 개방 점검시 입회하여 주기관 내부 상태를 파악하였으며, 연소실 내부 상태는 그림 4-25와 같다. 그림과 같이 Nozzle Tip부분의 Carbon 퇴적물은 입자가 상당히 미세하고 그 퇴적량 또한 MF30급 혼합유를 사용하는 엔진의 연소실 내부와 비교하여 적은량임을 확인할 수 있었다. 경유에 잔류 탄소분이 적게 함유됨에 따른 결과로 추정할 수 있다.



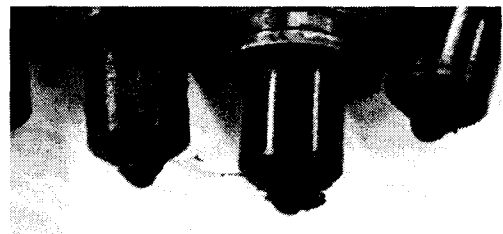
4-6 엔진에 미치는 영향 평가

Purifying 및 M.C.H. System의 엔진에 미치는 영향을 파악하기 위하여서는 각 시스템을 각각의 선박에 설치하여 각 시스템의 단독운전을 통한 결과를 도출하고, 시스템별 결과를 비교 분석하여야 하나, 이번 연구사업에서는 연구기간이 너무 짧아, 기히 정제시스템을 단독으로 운전하는 선박을 대상으로 연소실 내부의 개략적인 상태를 파악하여 비교 분석하고자 하였다.

경유를 사용하는 선박으로 동원수산(주) 소속 어선 제628 동원호를 선정하여 경유 사용시의 엔진 상태를 파악하고자 하였으며, 성원수산(주) 소속 선박 성원 711호(139톤급, 저인망 어선)에 대하여서는 M.C.H. system을 단독 운전하여 엔진 연소실을 점검하였고, 대서양에서 조업중인 베레솔 7호(349톤급, 트롤어선)는 Purifying System 운용, 이번 연구사업을 위하여 Purifying 및 M.C.H.의 두 시스템을 설치한 풍림수산(주) 소속 어선 풍림12호에서는 두 시스템을 조합 운용하는 선박으로 정하여 각 선박의 연소실 내부를 비교 검토하고자 하였다. 또한, 각 선박의 연소실 내부를 확인한 결과 부식의 진행 정도는 파악할 수 없었으며, 경유 사용 선박과 MF30급 혼합유 사용 선박의 잔류탄소분에 대한 Carbon 퇴적물의 차이가 농후함을 확인하였으므로, 이 부분에 대하여서 집중 확인하고자 하였다.

4-6-1 경유를 연료유로 사용하는 선박의 연소실 상태

동원수산(주) 소속 어선인 제628동원호의 주기관 개방 점검시 입회하여 주기관 내부 상태를 파악하였으며, 연소실 내부 상태는 그림 4-25와 같다. 그림과 같이 Nozzle Tip부분의 Carbon 퇴적물은 입자가 상당히 미세하고 그 퇴적량 또한 MF30급 혼합유를 사용하는 엔진의 연소실 내부와 비교하여 적은량임을 확인할 수 있었다. 경유에 잔류 탄소분이 적게 함유됨에 따른 결과로 추정할 수 있다.



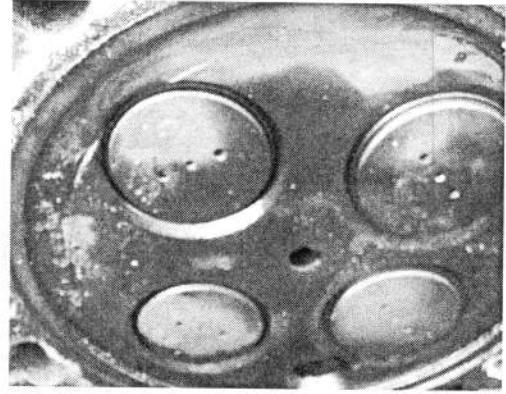
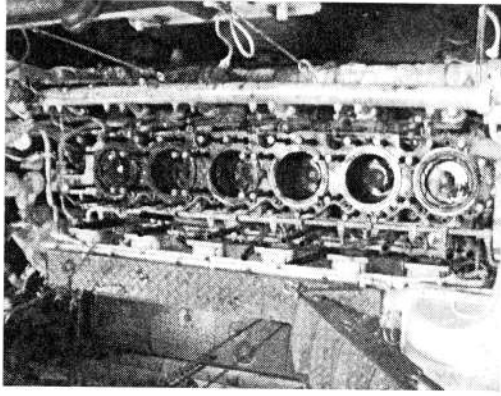


그림 4-25 경유 사용 선박(제628동원호) 주기관 개방상태

4-6-2 MF30급 혼합유를 사용하는 엔진의 연소실 상태

1) M.C.H 단독운전 선박(성원711호)

성원수산(주) 소속 선박인 성원711호의 주기관 개방 점검시 입회하여 주기관 내부 상태를 파악하고 연소실 내부 상태중 Nozzle Tip 부분의 Carbon 퇴적물은 경유를 사용하는 선박보다 그 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 Carbon 퇴적물이 덩어리로 퇴적되어 Nozzle Tip를 둘러 싸고 있는 것(Carbon Flower)을 확인할 수 있었으며, 그림 4-26과 같다. 그림 4-27은 실린더의 마모 및 부식 부분을 확인하기 위하여 측정하는 모습이며, 특별히 MF30급 혼합유 사용에 따른 부식 및 마모 등이 급격하게 진행된 사항은 확인할 수 없었다.

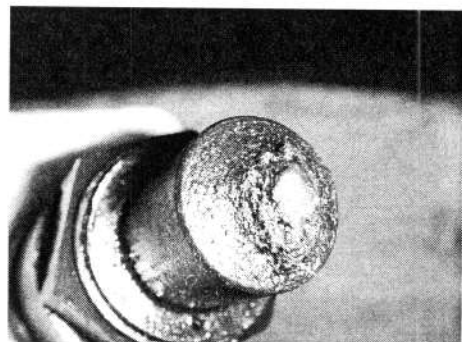
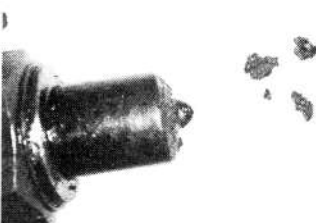
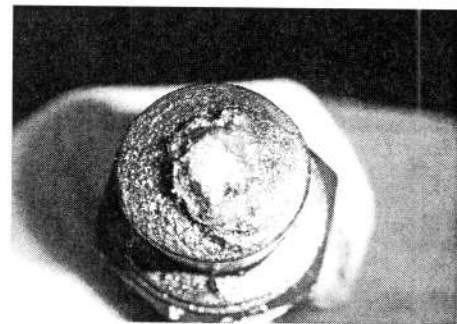
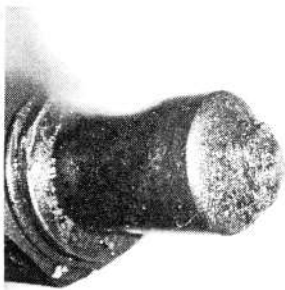


그림 4-26 M.C.H System 사용 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

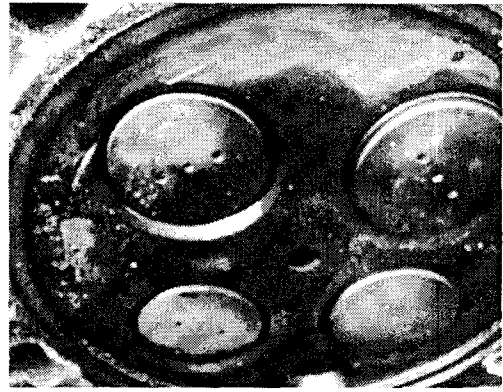
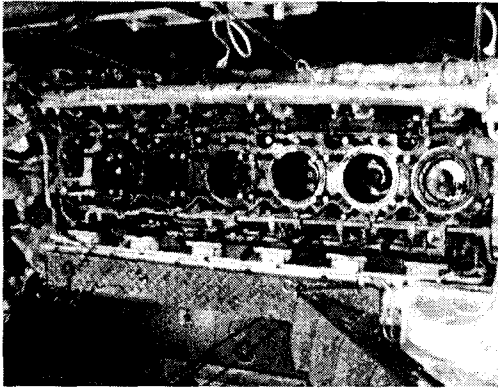


그림 4-25 경유 사용 선박(제628동원호) 주기관 개방상태

4-6-2 MF30급 혼합유를 사용하는 엔진의 연소실 상태

1) M.C.H 단독운전 선박(성원711호)

성원수산(주) 소속 선박인 성원711호의 주기관 개방 점검시 입회하여 주기관 내부 상태를 파악하고 연소실 내부 상태중 Nozzle Tip 부분의 Carbon 퇴적물은 경유를 사용하는 선박보다 그 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 Carbon 퇴적물이 덩어리로 퇴적되어 Nozzle Tip를 둘러 싸고 있는 것(Carbon Flower)을 확인할 수 있었으며, 그림 4-26과 같다. 그림 4-27은 실린더의 마모 및 부식 부분을 확인하기 위하여 측정하는 모습이며, 특별히 MF30급 혼합유 사용에 따른 부식 및 마모 등이 급격하게 진행된 사항은 확인할 수 없었다.

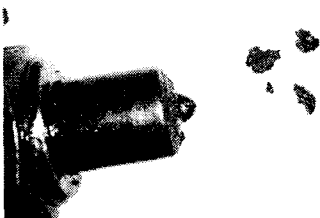


그림 4-26 M.C.H System 사용 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

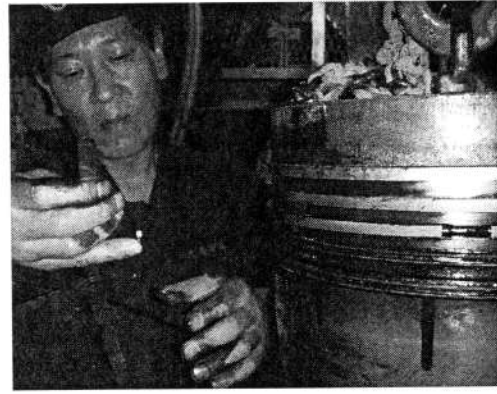


그림 4-27 연소실 내부 부식 및 마모도 등 상태 확인

2) Purifier 단독운전 선박(베레솔 7호)

풍림수산(주) 소속 선박인 베레솔 7호의 주기관 개방 점검시 입회하여 내부상태를 파악한 결과 M.C.H 단독운전 선박인 성원711호 연소실 상태와 같이 Nozzle Tip 부분의 Carbon 퇴적물 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 것을 확인하였으며, Carbon 퇴적물이 덩어리로 퇴적되어 Nozzle Tip를 둘러 싸고 있는 것을 그림 4-28과 같이 확인할 수 있었다.

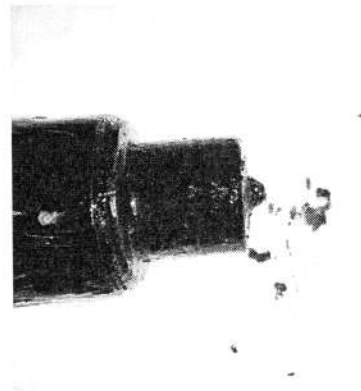
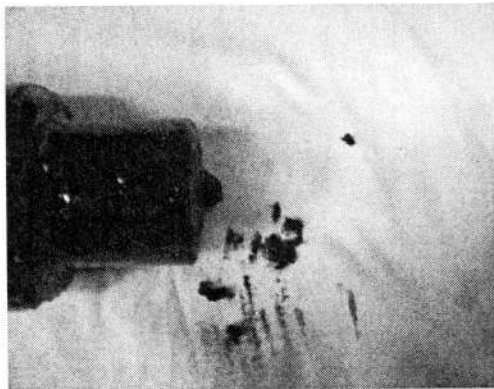


그림 4-28 Purifier System 사용 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

3) Purifier + M.C.H. 조합운전 선박(풍림12호)

풍림수산(주) 소속 선박인 풍림12호의 주기관 개방 점검시 입회하여 내부상태를 파악한 결과 Purifier 및 M.C.H System을 사용하는 각각의 선박과 큰 차이는 없는 것으로 확인되었으며, Nozzle Tip부분의 Carbon 퇴적물의 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 것을 확인하였고, 그림 4-29과 같다.

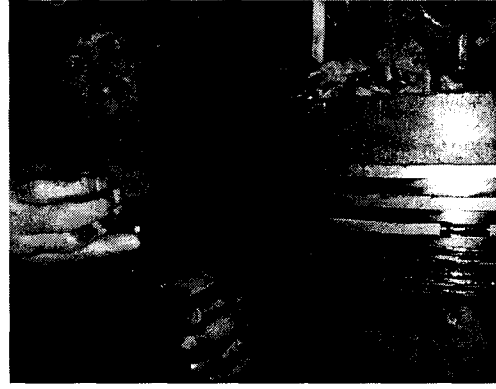


그림 4-27 연소실 내부 부식 및 마모도 등 상태 확인

2) Purifier 단독운전 선박(베레솔 7호)

풍림수산(주) 소속 선박인 베레솔 7호의 주기관 개방 점검시 입회하여 내부상태를 파악한 결과 M.C.H 단독운전 선박인 성원711호 연소실 상태와 같이 Nozzle Tip 부분의 Carbon 퇴적물 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 것을 확인하였으며, Carbon 퇴적물이 덩어리로 퇴적되어 Nozzle Tip를 둘러 싸고 있는 것을 그림 4-28과 같이 확인할 수 있었다.



그림 4-28 Purifier System 사용 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

3) Purifier + M.C.H. 조합운전 선박(풍림12호)

풍림수산(주) 소속 선박인 풍림12호의 주기관 개방 점검시 입회하여 내부상태를 파악한 결과 Purifier 및 M.C.H System을 사용하는 각각의 선박과 큰 차이는 없는 것으로 확인되었으며, Nozzle Tip부분의 Carbon 퇴적물의 입자가 크고 딱딱하게 굳어 있는 것을 확인하였고, 그림 4-29과 같다.

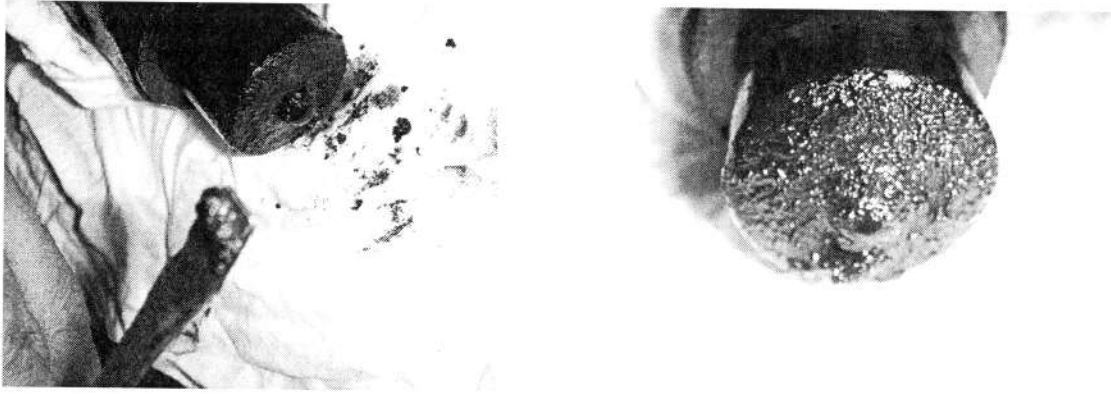


그림 4-29 Purifier + MCH System 조합 운전 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

4-7 소결론

본 연구에서는 기존에 경유를 사용하던 디젤엔진에 MF30급 혼합유를 사용하여 배기 배출물 및 엔진 성능의 변화를 비교·분석하였으며, 전 처리 기술 및 조연제의 효과에 대해서도 비교·분석하였다. 혼합유 사용시 배기 배출물 시험결과 NOx(질소산화물) 농도는 경유 사용시보다 오히려 유리하였으며, SOx(황산화물) 발생량은 약간 높았으나 규제치내에 들어오므로 NOx와 SOx 측면에서는 문제가 없는 것으로 사료 된다. 그러나 PM(particulate Matter) 성분인 Smoke 발생량은 거의 완전연소 구간인 고속·고부하 구간에서는 경유 사용시보다 약 10% 정도 더 많이 발생하여 큰 문제는 없을 것으로 판단되나, 불완전 연소구간인 저속·저부하 영역에서는 약 2.5배 정도가 더 많이 발생하여 피스톤 링 및 라이너, 배기 밸브, 터보차저, 노즐 등의 오염이 염려된다. 따라서 2.5배 정도나 더 많이 발생하는 저속·저부하 영역에서는 Smoke 저감에 대한 대책이 필요하며, 단기적인 대책으로는 Overhaul 주기를 일정 기간 단축하여 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 장기적인 대책으로는 연료 계통인 연료 펌프와 노즐을 혼합유 용으로 개발해야 할 것으로 사료된다. 또한, 아직까지는 해상에서 PM 규제를 하고 있지 않지만, 이미 육상에서 PM 규제를 하고 있으며, 앞으로 얼마 있지 않아(약 2007경 부터) 해상에서도 PM 규제가 예상되므로 PM 규제 대응책으로써 선박용 DPFs(Diesel Particulate Matter System) 개발을 미리 착수하는 것도 바람직하리라 사료된다.

본 연구결과와 혼합유(MF30)를 사용할 경우의 운전 방법으로는 75% 이상인 고부하에서는 Smoke 발생량이 경유 사용시와 거의 비슷하므로 그대로 경유 사용시처럼 사용해도 무방하고, 50% 이하 구간에서는 Smoke 발생량이 급격하게 많아



그림 4-29 Purifier + MCH System 조합 운전 선박의 Nozzle Tip부분 Carbon 퇴적도

4-7 소결론

본 연구에서는 기존에 경유를 사용하던 디젤엔진에 MF30급 혼합유를 사용하여 배기 배출물 및 엔진 성능의 변화를 비교·분석하였으며, 전 처리 기술 및 조연제의 효과에 대해서도 비교·분석하였다. 혼합유 사용시 배기 배출물 시험결과 NOx(질소산화물) 농도는 경유 사용시보다 오히려 유리하였으며, SOx(황산화물) 발생량은 약간 높았으나 규제치내에 들어오므로 NOx와 SOx 측면에서는 문제가 없는 것으로 사료 된다. 그러나 PM(particulate Matter) 성분인 Smoke 발생량은 거의 완전연소 구간인 고속·고부하 구간에서는 경유 사용시보다 약 10% 정도 더 많이 발생하여 큰 문제는 없을 것으로 판단되나, 불완전 연소구간인 저속·저부하 영역에서는 약 2.5배 정도가 더 많이 발생하여 피스톤 링 및 라이너, 배기 밸브, 터보차저, 노즐 등의 오염이 염려된다. 따라서 2.5배 정도나 더 많이 발생하는 저속·저부하 영역에서는 Smoke 저감에 대한 대책이 필요하며, 단기적인 대책으로는 Overhaul 주기를 일정 기간 단축하여 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 장기적인 대책으로는 연료 계통인 연료 펌프와 노즐을 혼합유 용으로 개발해야 할 것으로 사료된다. 또한, 아직까지는 해상에서 PM 규제를 하고 있지 않지만, 이미 육상에서 PM 규제를 하고 있으며, 앞으로 얼마 있지 않아(약 2007경 부터) 해상에서도 PM 규제가 예상되므로 PM 규제 대응책으로써 선박용 DPFs(Diesel Particulate Matter System) 개발을 미리 착수하는 것도 바람직하리라 사료된다.

본 연구결과 혼합유(MF30)를 사용할 경우의 운전 방법으로는 75% 이상인 고부하에서는 Smoke 발생량이 경유 사용시와 거의 비슷하므로 그대로 경유 사용시처럼 사용해도 무방하고, 50% 이하 구간에서는 Smoke 발생량이 급격하게 많아

지므로 입·출항시에는 반드시 경유(M.G.O) 사용을 의무화 하여야 한다. 또한, 조업시에도 엔진 부하 50% 이하의 부하에서는 필히 경유(M.G.O)를 사용토록 하여 Smoke에 따른 Soot 발생량을 최대한 줄여야 한다. 따라서, 본 연구를 통하여 MF30급 혼합유 사용시 NOx 농도, SOx 발생량, Smoke 발생량 및 엔진의 성능 등을 확인 할 수 있었으며, 사용할 수 있는 혼합유의 적당한 비율과 운전방법을 제시할 수 있었다.

여 백

제 5장 모델시스템의 구축

여 백

제 5장 모델시스템의 구축

박용 디젤기관의 연료로서 사용하고 있는 중유에는 수분, 고형물과 같은 불순물이 포함되어 있기 때문에 이것을 그대로 사용하면 연소상태가 나쁘게 되며 실린더 라이너의 마모, 연료분사 밸브의 손상 및 폐색 등을 초래한다. 따라서, 이러한 수분 및 고형물을 제거하기 위하여 Purifier 장치 등이 중대형선 위주로 사용되어 왔으며, 현재 신기술로서 M.C.H 장치 등이 개발되어 보급되고 있는 상황이다.

이 장에서는 이번 연구에서 정제시스템으로 활용된 Purifying system과 M.C.H. system에 대한 간단한 원리와 장치의 특성을 살펴보도록 하였으며, Purifier 및 M.C.H.의 조합된 시스템을 구축하여 연료유를 정제하는 과정 등을 설명하고자 한다

5-1 Purifying system

5-1-1 Purifier의 원리

1) 원심분리

연료유 청정법에는 중력에 의한 침전 분리청정법과 원심식청정법, 중력에 의한 침전분리청정법과 원심식청정법을 병용하여 사용하는 방법, 여과기에 의한 청정법 등의 청정법이 사용되고 있으며, 이번 연구에서 사용된 Purifier는 원심식 청정법이므로 원심식청정법에 대하여서 설명토록 하겠다.

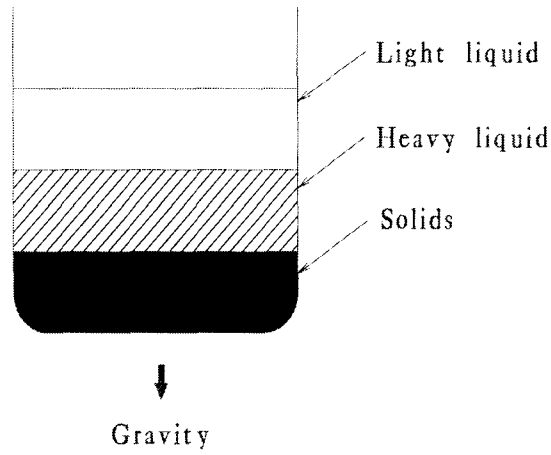
원심분리란, 액중에 혼합된 미립자의 침전농축(고체-액체) 및 기름중에 분산되어 있는 미립수분의 분리(액체-액체) 또는, 미립자, 미립수분의 동시제거(고체-중액-경액)등에 원심력을 이용한 분리 조작을 말한다. 통상, 이 조작에 중력의 수천배의 원심력을 이용하면, 그 침전을 극히 촉진시킬수 있으며 즉 액중의 미립 고형분의 제거를 예를 들면 1대의 원심침강기는 수백평방미터의 저수지에 상당하는 능력이 있다.

2) 원심침강 및 중력침강

원심분리기는 침전에 의한 분리가 원심력의 범위에서 행하여지므로 원심침강기의 한 종류이다. 원심 침강을 정지상태에 의한 원심 침강 작용으로 치환하면

그림5-1과 같다. 원심침강 및 중력침강은 모두 혼합액의 비중차를 이용하여 액을 분리하는 원리이다.

Gravity Sedimentation



Centrifugal Sedimentation

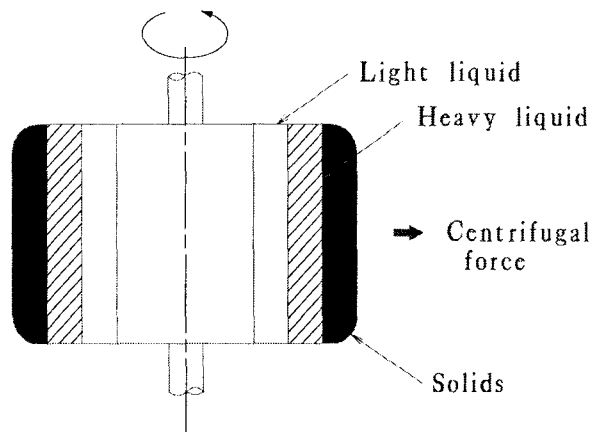
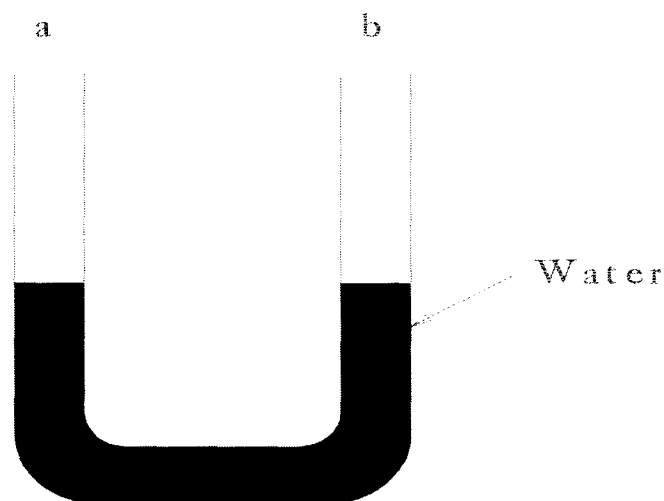


그림 5-1 원심 침강작용의 원리

3) GRAVITY DISC

원심분리기는 혼합된 액체들의 비중 차이를 이용한다. 그러나 가볍고 무거운 액체들의 고유 영역의 위치는 그들의 구조에 의해 정해지며 그 위치를 변화시키는 것은 불가능하다. 그러므로 원심분리기는 반드시 배출구의 위치 조정을 통해 사용 가능하며, 용기 내에 가볍고 무거운 액체들의 고정된 위치가 주어지야 한다. 배출구의 조정은 보통 무거운 액체 쪽에서 이루어지며, 이때에 “중력 디스크(Gravity Disc)”가 그 작용을 한다. 중력 디스크의 원리는 다음과 같다. 그림5-2에서 보는바와 같이 U관에 Water를 채우면 a, b의 Level은 동일합니다. 여기에 U관에 b에 OIL을 채우면 Water와 Oil의 Level은 달라집니다. 여기서 하나의 등식은,

$\gamma_o \times h_o = \gamma_w \times h_w$ 즉, $\gamma_o / \gamma_w = h_w / h_o$ 가 성립됩니다. (단, γ_o : OIL의 비중, γ_w : WATER의 비중) 여기서, WATER OIL 및 WATER-OIL의 경계면의 Level에 3개의 입, 출구관을 가정하여 WATER -OIL의 경계 Level의 입구관을 통하여 OIL과 WATER의 혼합체를 공급하면, 중력 침강에 의하여 WATER와 OIL은 분리 배출됩니다.



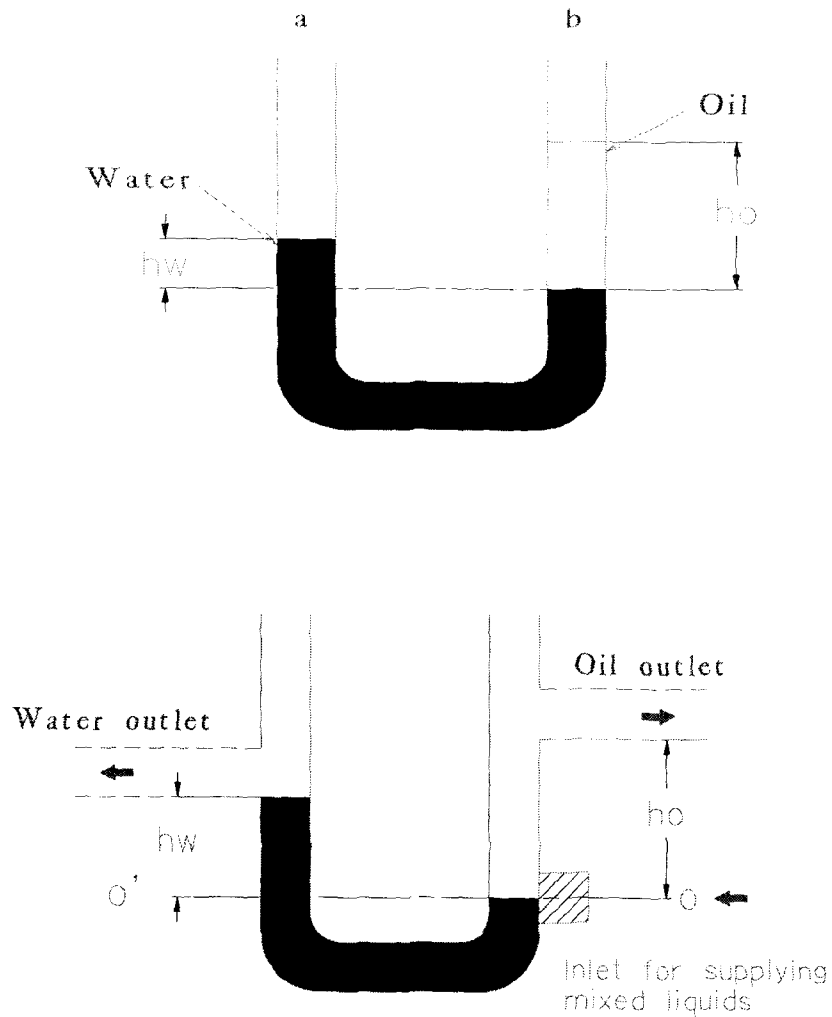


그림 5-2 원심분리의 원리

혼합 액체의 투입구는 O-O'선에 위치하며, 물과 기름의 배출구의 위치는 그림의 점선에 각각 위치한다. 만약 O의 투입구를 통해 물만이 보충된다면 물의 배출구로 오로지 물만 배출될 것이며, 기름만 보충되는 경우에는 반대쪽의 기름 배출구로 기름만이 배출될 것이다. 그리고 O-O'의 접촉면은 변함이 없을 것이다. 나아가서 물과 기름이 혼합된 액체가 O를 통해 투입되는 경우, 혼합된 비율과는 상관없이 물과 기름의 각각의 배출구를 통해 배출될 것이며 접촉면은 계속해서 변함이 없을 것이다. 다음으로 그림5-2에서 U-Tube에 중력대신 회전을 가하여 원심력이 작용한다면 그림 5-3과 같이 될 것이며, 중력에 적용된 원리들을 마찬가지로

지로 원심력의 경우에도 적용된다. 그러나 원심력의 경우, 비중과 기름의 관계에 대한 공식은 다음과 같다.

$$\gamma_o / \gamma_w = (D^2 - d_w^2) / (D^2 - d_o^2)$$

그림5-3 중력이 작용하는 U-Tube

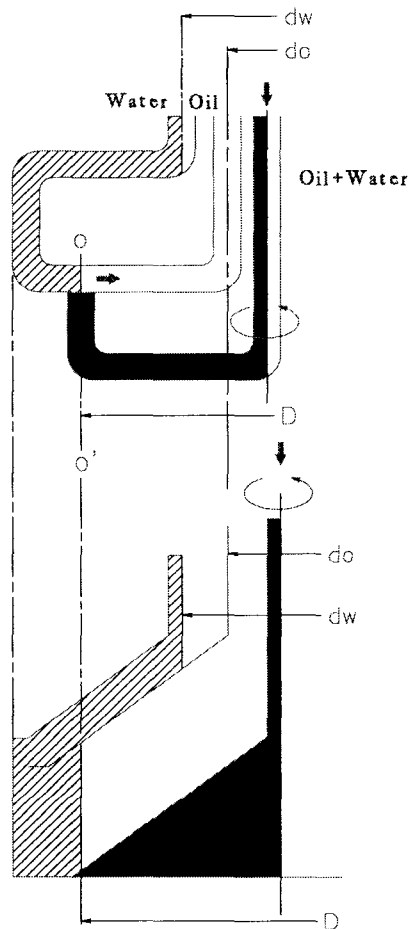


그림5-4 회전력을 가한 U-tube

여기서 분명히 해야 할 것은 중력의 경우 물과 기름의 높이는 O-O'가 기준이 되며, 원심력의 경우 O-O'는 D로 대체되며 D는 회전과 회전축으로 부터의 각각 물, 기름의 높이 사이의 거리에 의해 변화한다. 그림5-4는 원심 분리 용기를 보여주고 있다. 이런 종류의 원심 분리기들은 대부분 D와 do를 고정시키고 dw를 조절하여 액체의 분리를 유도한다. 그리고 dw를 조절하기 위해서는 “중력디스크”가

필요하다.

4) SEALING WATER (봉수)

그림 5-3과 그림 5-4에서 용기가 비어있는 상태에서 기름만을 공급한다면, 기름은 물의 배출구로 흘러나올 것이다. 그렇기에 물의 배출구를 봉하기 위해서는 우선 물을 먼저 공급해야 한다. 용기 내에 물막이 먼저 형성되면, 후에 공급된 기름은 기름 출구로 배출될 것이다. 물의 선(先) 공급을 “봉수”라 한다.

봉수의 경우, 유동성에 각별한 신경을 써야한다. 물이 용기에 공급되었을 때에, 유동성이 적다면 물의 배출구로만 배출될 것이다. 그러나 유동성이 증가하여 특정한 유동성에 다다르면 기름 출구로도 배출된다. 이때의 유동성을 “무거운 액체의 임계수용력의 방출”이라 부른다. 이것은 중력 디스크의 내부 기름과 원심분리기의 종류에 따라 달라진다. 만약 봉수가 임계수용력의 방출보다 높은 정도로 흘러 보내진다면 양 배출구를 통해 배출될 것이다. 이상적인 봉수의 양은 임계수용력의 70~80%이다. 봉수 공급의 시간은 흐름의 속도와 공급의 양의 관계에 의해 결정된다.

5) 분리의 이론과 양의 조절

여러 겹으로 쌓인 꼭대기가 절단된 원추 모양의 “디스크”들은 분리의 효율성을 높이기 위해 용기 안쪽에 장착된다. 디스크들의 효과는 다음과 같다. 처리할 액체는 그림5-5처럼 배급기를 지나 화살표의 방향과 같이 흘러가며 그 과정에서 디스크 사이사이에 고체 입자들이 걸러지면 분리된다. 그리고 여과된 액체를 해당 배출구를 통해 배출된다.(즉, 가벼운 액체 배출구)

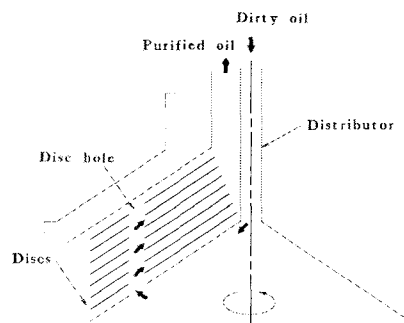


그림 5-5 원추 모양의 Disc

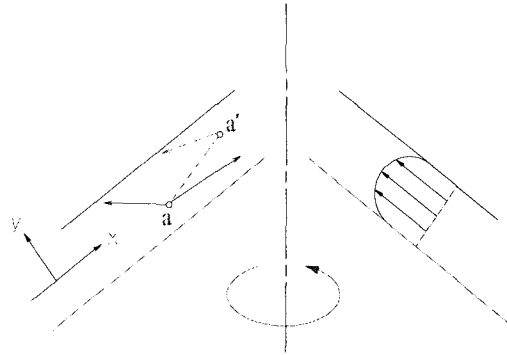


그림 5-6 액체의 흐름도

디스크 사이의 공간이 갖는 분리 효과의 세부적인 설명은 다음과 같다. 그림 5-6에서 보듯이 액체에 섞인 고체 입자들은 a에서 원심력과 액체의 흐름의 힘을 동시에 받는다. x방향으로 고체 입자는 원심력으로 인한 속력과 액체의 흐름 속력의 차이 만큼의 속력을 지니게 되며 y의 방향으로는 침전의 속력을 갖게 된다. 그리하여 입자는 그림5-6의 점선처럼 이동을 하게 되며 디스크 뒤쪽의 a'위치에 도달한다. 한편 디스크 뒤쪽에서의 액체의 속력은 0이기에 고체 입자들은 원심력에 의해 운동을 하게 되며 액체와 분리된다. 이제까지 고체 입자가 어떻게 액체로부터 분리되고 제거되는지에 대해 알아보았다. 더욱이, 원심분리기의 두 디스크 사이의 간격은 0.6mm로서 어떠한 고체 입자든 y의 방향으로 0.6mm만 이동을 한다면 여과될 수 있다는 뜻이다. 그렇기에 디스크타입의 원심 분리력이 크다. 그림5-6을 통해 분리력에 대한 명확한 설명은 고체 입자가 보여주는 운동에 근거를 둔 운동학적 공식의 이론적 설명을 통해 이루어졌으며, 여기서는 그 결과에 대해서만 설명되어질 것이다.

양의 조절은 기름의 성격과 걸러야 할 입자들의 지름에 의해 지배된다. 그리하여 보편적으로 양의 조절을 하기 위해서는 기름여과기를 사용하여야 한다.

- (1) 기름 청정기의 수용력은 비중이 1.8이며 지름이 0.002mm인 고체 입자를 여과할 수 있는 단위 시간당 최대한 기름 주입량을 뜻한다.
- (2) 기름 청정기의 명목상의 수용력은 아래의 조건하에서 MDO를 한번에 청정할 수 있는 양이다.

점도 : 50°C에서 20cST

비중 : 15°C에서 0.9

취급온도 : 46℃

취급점도 : 24cST

- (3) 주입률은 단위 시간당 “청정된 기름”과 “배출된 고체 그리고 물”의 총 양을 가리킨다.
- (4) 취급하는 기름의 성질에 따라 수용력이 달라지며, 취급하는 조건에 따른 실제 수용력은 표5-1과 같다.

표5-1 취급 조건에 따른 실제 수용력

기름의 종류	MDO	중 유	
점도(50℃에서 cst)	20	163	340
비중(15℃에서)	0.90	0.95	0.99
취급온도(℃)	46	90	95
취급점도(℃)	24	24	34

5-1-2 Purifier의 구조

1) Purifier 개략도

Purifier의 개략 구조도는 그림5-7과 같다. 동력전달과정은, Motor에서 Friction Clutch를 통하여, Horizontal Shaft에 전달되어, Horizontal shaft에 취부되어 있는 Spiral Gear와 Pinion Gear에 의하여 Vertical Shaft에 증속 전달된다. Vertical Shaft는 상, 하의 Bearing으로 지지되어 있다. Bowl은 Vertical Shaft의 상부에 취부되어 있어, Vertical Shaft의 회전수로 회전한다. Oil을 Purifier에 공급하기 위한 Suction Pump가 Horizontal Shaft에 Safety Joint에 의해 접속되어 있다. 또한, Bowl내의 Oil을 토출하기 위한 Centrifugal(구심) Pump(Imoeller)가 Bowl상부에 조립되어 있다. 분리수는 Overflow되어 중력으로 낙하하는 구조로 되어 있는 경우와 Oil처럼 구심

Pump가 조립되어 외부로 토출되는 구조로 대별할 수 있다.

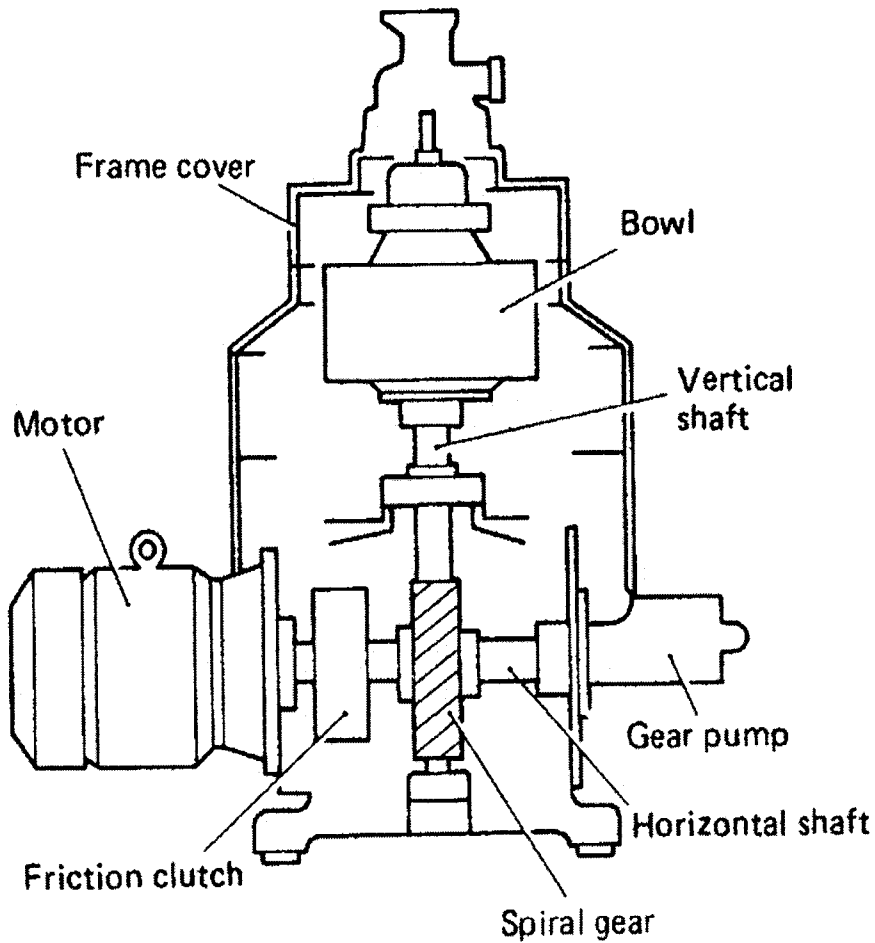


그림 5-7 Purifier 내부 구조도

2) Horizontal Shaft Parts

Horizontal Shaft Parts의 개략도는 그림5-8와 같다. Horizontal Shaft Motor와 Horizontal Shaft사이에 Friction Shaft는 Motor측의 Bearing Hosing과 Pump측의 Bearing Housing에는 2개의 Ball Bearing로 지지되어 있으며, 또한 2개의 Oil Seal이 장착되어 Gear Oil의 누설을 방지한다. 그 사이는 Spiral Gear가 취부되어 있다. 그리고 Horizontal Shaft는 Safety Joint에 의하여 Gear Pump와 연결되어 있다.

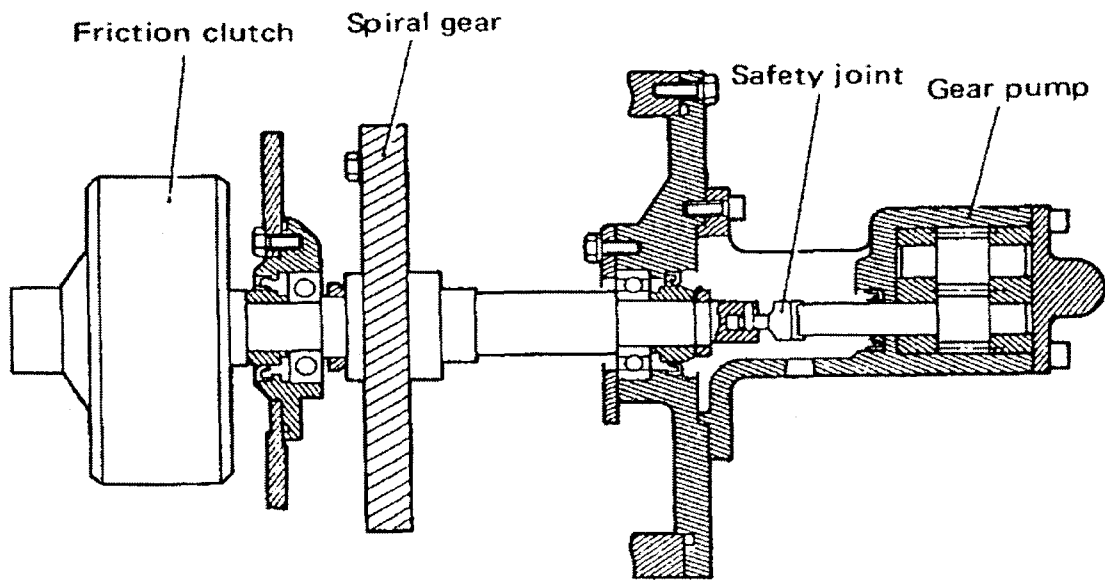


그림5-8 Horizontal Shaft Part 개략도

3) Brake Part

Brake Part의 개략도는 그림5-9와 같다. Spring에 의하여 Brake Lining을 Friction Pulley의 외면에 압착시켜 제동을 거는 구조로 되어 있다. 긴급히 정지시킬 필요가 있을 때 주로 사용한다.

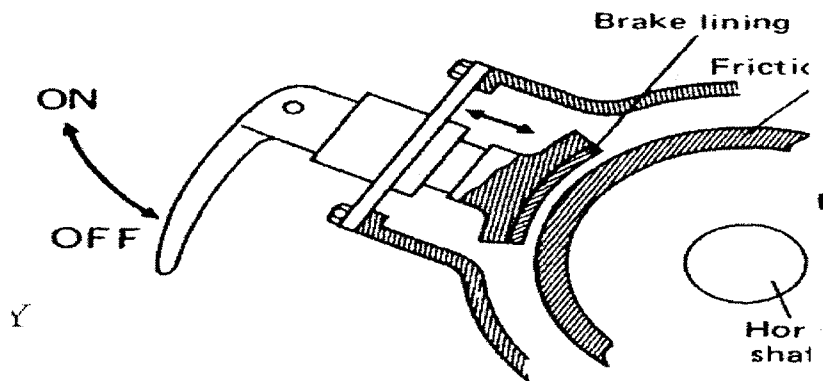


그림5-9 Brake Part 개략도

4) Friction Clutch

Friction Clutch의 개략도는 그림5-10과 같다. Motor축에 Friction Clutch Block이 장착된 Friction Boss가 취부되어 있고, Horizontal Shaft에는 Friction Pulley가 취부되어 있다. 시동시, Motor는 순간적으로 정격회전수가 되어, Friction Block은 Friction Pulley의 내면에 원심력에 의해 압착되어 Friction Block과 Pulley가 Slip되면서 Friction Pulley(Horizontal Shaft)에 동력이 서서히 전달됩니다. 이는 가동시 Motor 과부하를 방지하기 위함이다. 통상, 3-7분 정도에 Bowl은 정격회전수에 도달한다.

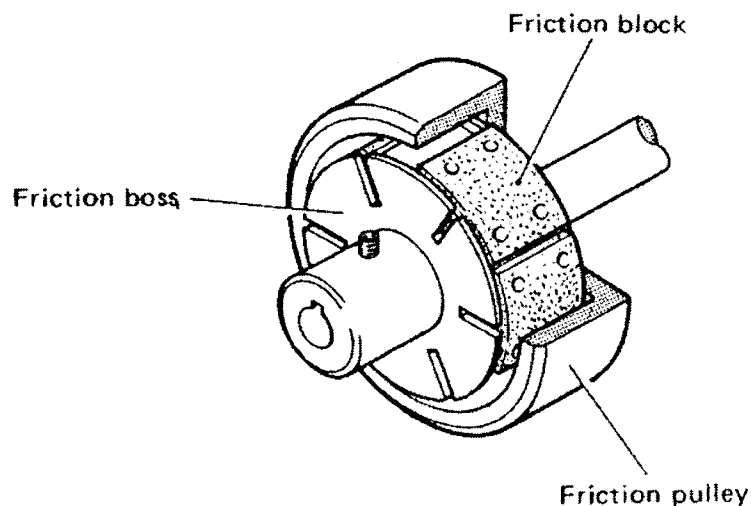


그림5-10 Friction Clutch 개략도

5) Vertical Shaft Parts

Vertical Shaft Part의 개략도는 그림5-11과 같다. Vertical Shaft는 Horizontal Shaft의 회전을 Pinion Gear에서 증속시켜, 상부에 취부된 Bowl을 회전시킨다. 상부 Bearing에 조립된 반경 반향 6개소의 상부 Spring과 판 Spring이 Vertical Shaft와 Bowl을 지지하여 안정된 회전을 행하는 구조로 되어 있다.

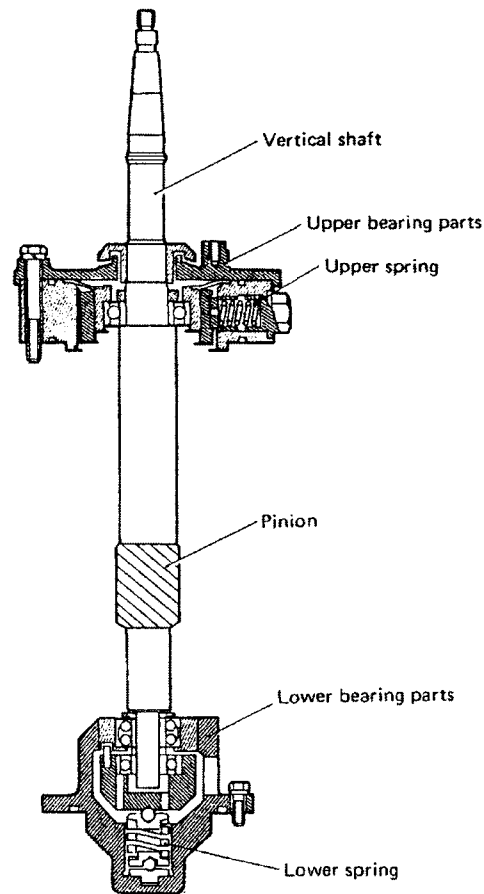


그림 5-11 Vertical Shaft Part의 개략도

6) Bowl Parts

Bowl Part의 개략도는 그림5-12과 같다. Bowl은 Bowl Body, Bowl Hood 및 Bowl Nut의 주요 부품으로 구성되어 있다. Bowl내부에는 Disc, Top Disc로 분리실과 Oil을 Bowl 입구로부터 분리실에 균등히 분배하는 Distributor가 조립되어져 있다. Bowl 내벽에 분리 퇴적된 Sludge를 운전중에 배출하기 위하여 수압에 의하여, 상하 방향으로 움직이는 Cylinder Valve가 있다. Bowl Body 외부의 2개소에 Cylinder Valve의 움직임을 제어하는 Pilot Valve Assembly가 조립되어 있다. Oil입구에서 Distributor를 통하여 분리실에 들어간 Oil이 Disc를 통과하는 동안 고형분과 수분이 분리되어 청정되어지며, Bowl 상부의 구심 Pump에 의하여 연속적으로 외부로 토출된

다. Oil에서 Disc바깥을 통하여 Gravity Disc를 넘어 외부로 토출되어진다.

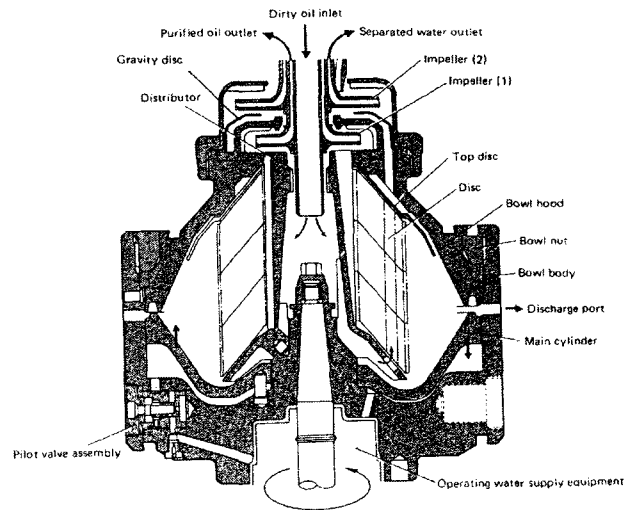
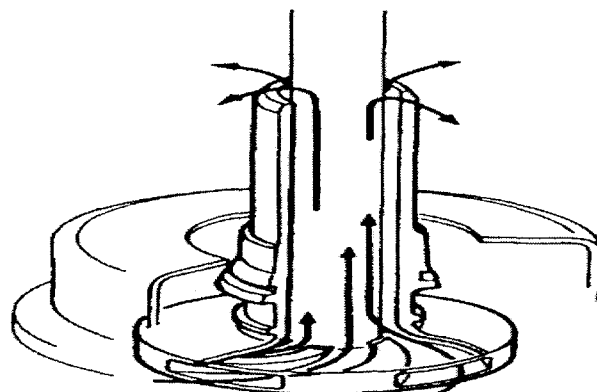


그림5-12 Bowl Part의 개략도

7) Centrifugal Pump

Centrifugal Pump의 개략도는 그림5-13과 같다. Centrifugal Pump는 와권상의 Impeller로서, Oil을 외부로 배출하기 위하여, Bowl 상부에 조립되어져 있다. Impeller는 일정 두께를 가진 원판내에 와권상의 홈이 있으며, Bowl과 같이 회전하는 액이 자신의 회전력에 의하여 홈을 따라 토출되는 구조로 되어 있다.

그림5-13 Centrifugal Pump의 개략도



5-2 교반가열장치(M.C.H.)

5-2-1 장치의 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 그림5-14와 같다.

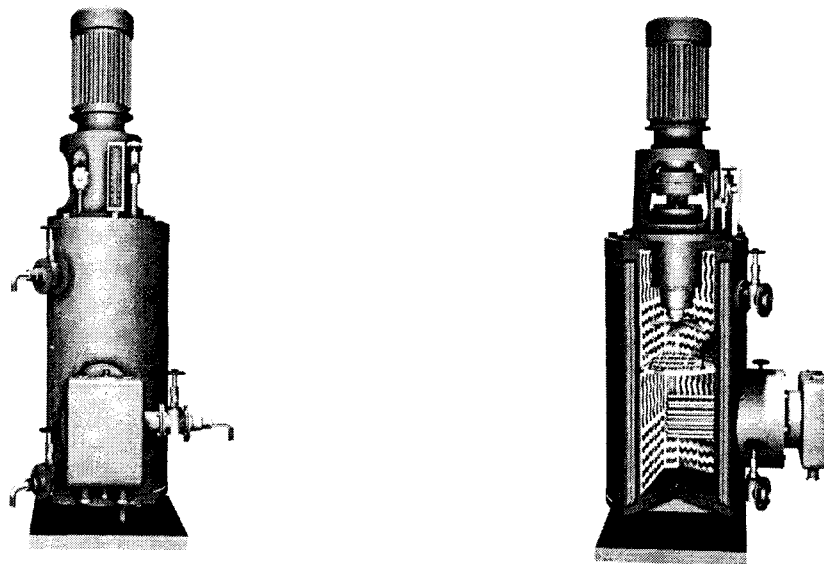


그림5-14 M.C.H.의 외관도

5-2-2 장치의 원리(Principle)

선박용 디젤기관의 적정 분사시의 점도는 동점도(Kinetic Viscosity mm²/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 연

료유의 회전을 통하여 장치 내부의 열의 분포를 균일하게 유지하고, 연료유의 와류충돌판에 부딪히는 Splash 현상을 통하여 연료유의 고형물을 미세화 하도록 고안되었다.

5-2-3 교반가열장치(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)를 설치하였다. 장치 단면도는 그림5-15와 같다.

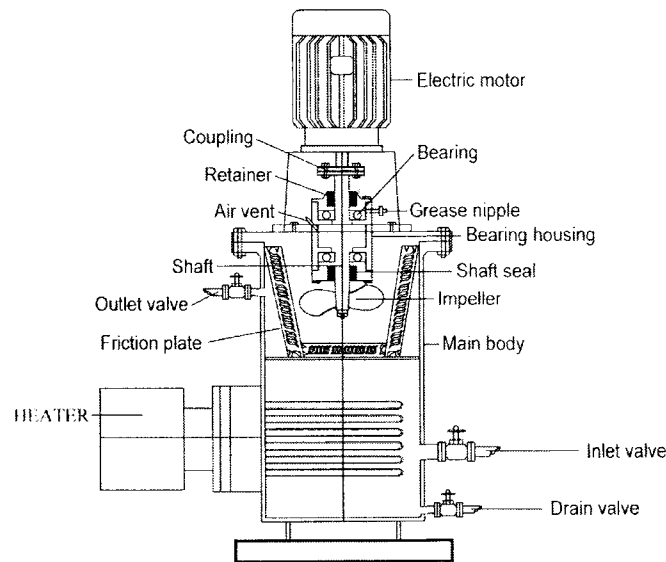


그림5-15 교반가열장치(M.C.H.)의 단면도

2) 구동용모터(Driving Motor)

교반을 위한 Screw를 고속으로 회전시키기 위하여 1800RPM을 유지하고 공급 전력은 3.7kW정도이며, 구동용 모터의 베어링(Bearing)은 고온 구름용 베어

링을 사용토록 하였고 그림5-16과 같다.

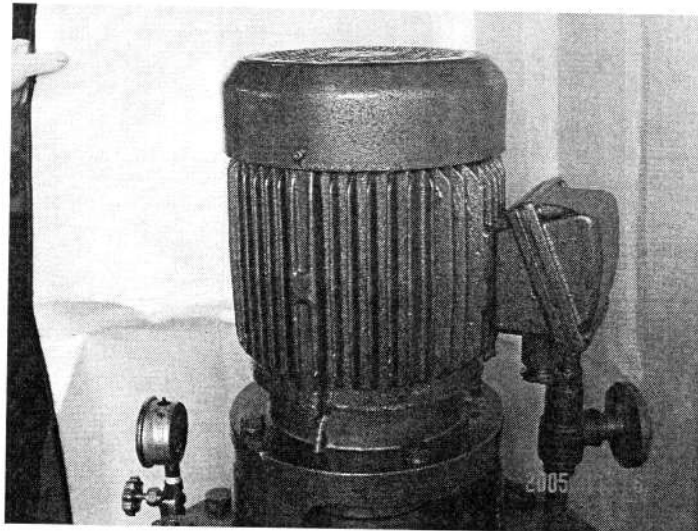


그림5-16 구동용 모터

3) 수직축(VERTICAL Shaft)

수직축은 전기 모터와 Screw로 연결하는 기계적 연결장치로서, 커플링 상부의 Mechanical Seal과 Ball Bearing으로 구성되어 있으며 축 끝단에는 Screw와 나사로 연결되어 있다.

- Mechanical Seal

장치 내부의 압력유가 외부로 누출 또는 유출하지 않도록 하기 위하여 0~0.4kg/cm² 압력에 적합한 언밸런스형 메카니칼 씰(Unballance Type Mechanical Seal)을 사용한다.

- 베어링

베어링 자체의 마찰열과 연료유 가열온도 등에서 견딜수 있는 고온 구름형 볼베어링(High Temperature Ball Bearing)을 사용한다.

- Screw

고속 교반용으로 일정 압력(1.5~2.0kg/cm²)하에서 일정속도로 회전하여 고속의 와류를 생성하고, 연료유의 슬러지 분쇄 및 마쇄(Breaking)를 통한 연료유 입자 미세화에 사용한다.

링을 사용토록 하였고 그림5-16과 같다.

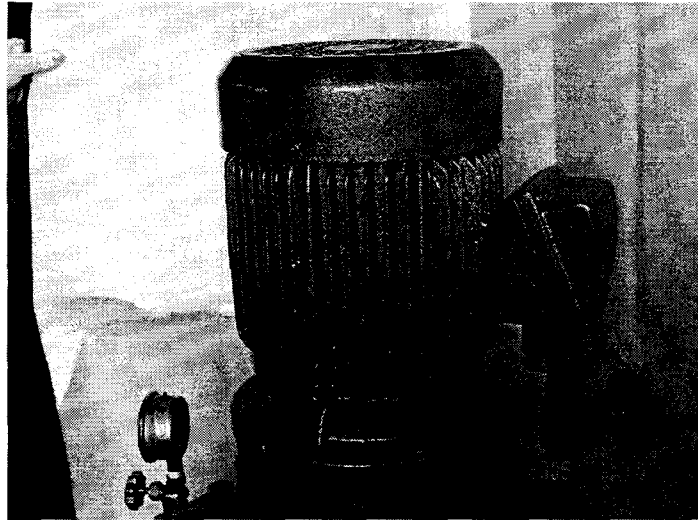


그림5-16 구동용 모터

3) 수직축(Vertical Shaft)

수직축은 전기 모터와 Screw로 연결하는 기계적 연결장치로서, 커플링 상부의 Mechanical Seal과 Ball Bearing으로 구성되어 있으며 축 끝단에는 Screw와 나사로 연결되어 있다.

- Mechanical Seal

장치 내부의 압력유가 외부로 누출 또는 유출하지 않도록 하기 위하여 0~0.4kg/cm² 압력에 적합한 언밸런스형 메카니칼 씰(Unbalance Type Mechanical Seal)을 사용한다.

- 베어링

베어링 자체의 마찰열과 연료유 가열온도 등에서 견딜수 있는 고온 구름형 볼베어링(High Temperature Ball Bearing)을 사용한다.

- Screw

고속 교반용으로 일정 압력(1.5~2.0kg/cm²)하에서 일정속도로 회전하여 고속의 와류를 생성하고, 연료유의 슬러지 분쇄 및 마쇄(Breaking)를 통한 연료유 입자 미세화에 사용한다.

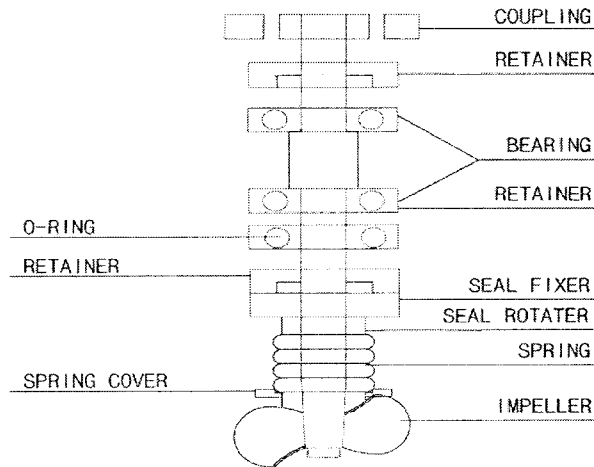


그림5-17 수직축 단면도

4) 와류충돌판(Friction Plate)

Screw에서 만들어진 연료유의 흐름은 상방향에서 하방향으로 급격한 와류를 형성하여 진행되고, 원통 내부의 6면체와 하면에 설치된 와류충돌판의 예각으로 형성된 홀(Hole)을 통과하도록 설계되었다. 이때 연료유 중에 함유된 고점도의 슬러지는 1차로 충돌판에 충돌되어 분쇄 및 마쇄(Breaking)되고, 대부분의 반 고상 슬러지는 Hole을 통과하면서 2차 충돌되어 내부 마찰과 외부의 물리적 마찰에 의하여 미세 유분으로 분쇄되도록 고안되었으며, 분쇄 및 마쇄(Breaking) 과정을 반복하도록 하여 연료유의 입자를 더욱더 미세화 하는 기능을 포함하고 있다. 그림5-18, 5-19, 5-20는 와류충돌판의 전개도 모습이다.

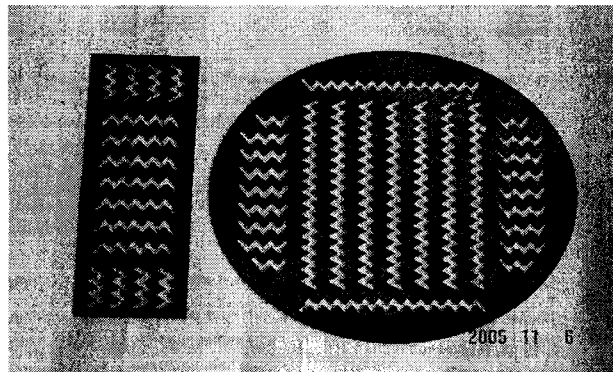


그림5-18 와류충돌판(Friction Plate) 분해도

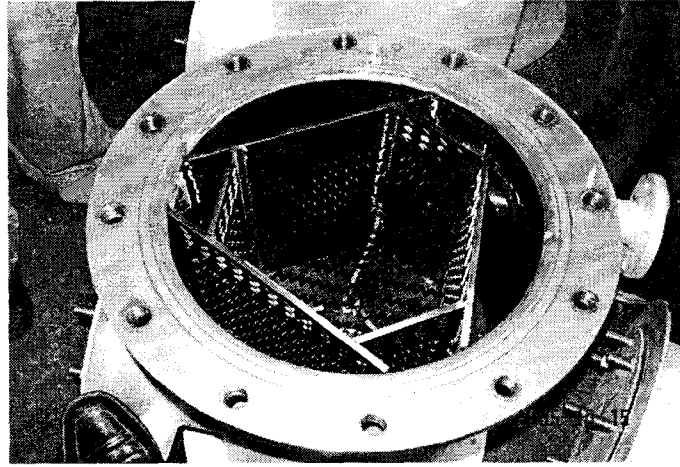


그림5-19 장치 내부에 와류충돌판의 조립 모습

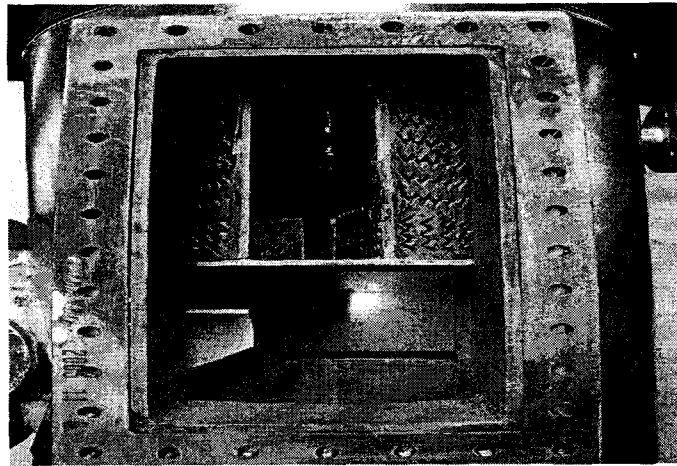


그림5-20 장치 내부의 와류충돌판 설치 모습

5) 가열장치(Heater)

경유는 점도가 낮기 때문에 상온에서 가열할 필요가 없으며, 일반적으로 제작사에서 요구하는 점도의 적정치는 13~17cst(50℃)정도이다. 따라서, 혼합유 등의 점도가 너무 높기 때문에 점도를 낮추기 위하여 Heating을 하여야 하며, Heating 장치로서 전기식 가열장치(Electric Heater)를 설치하여 사용하도록 하였으며, 외관도는 그5-21과 같다.

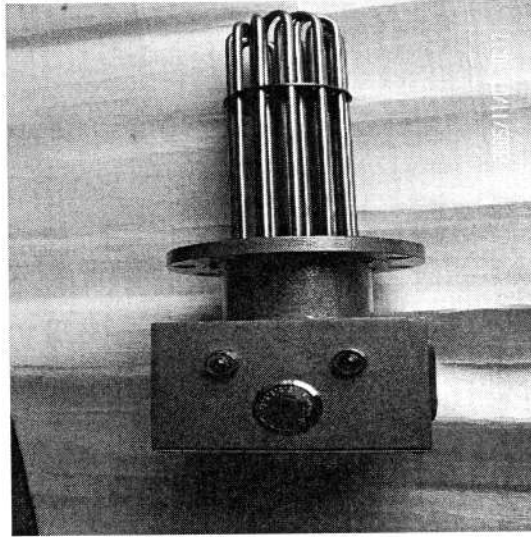


그림5-21 가열장치(Heater) 외관도

6) 안전밸브(Safety V/V)

운전 중 밸브의 오작동, 출구측의 폐쇄 등의 원인으로 일정 압력 이상으로 압력이 상승하였을 경우에 작동하여 장치의 무리를 방지하거나 고장을 사전에 예방하기 위하여 사용되는 밸브이다.

7) 공기토출밸브(air Drain V/V)

초기 운전시 또는 운전중 장치 내부의 상부에 공기가 형성되어 Air Pocket을 형성하여 연료의 흐름을 방해하고, 소음과 진동을 유발하므로, 이를 효과적으로 방지하기 위하여 공기토출밸브를 활용하여 효과적인 공기 토출을 유도하기 위하여 설치한다.

8) 온도계(Thermometer)

현장에서 직접 확인하고 조작할 수 있도록 기동판에 설치되어 있으며, 제어용으로 디지털 온도장치를 사용한다. 일정 온도를 조정 작동 범위안에서 유지할 수 있도록 Setting기능이 추가되어, 일정 온도의 지속적인 유지가 가능토록 제작되었다. 그림5-22은 Thermometer의 외관 모습이다.

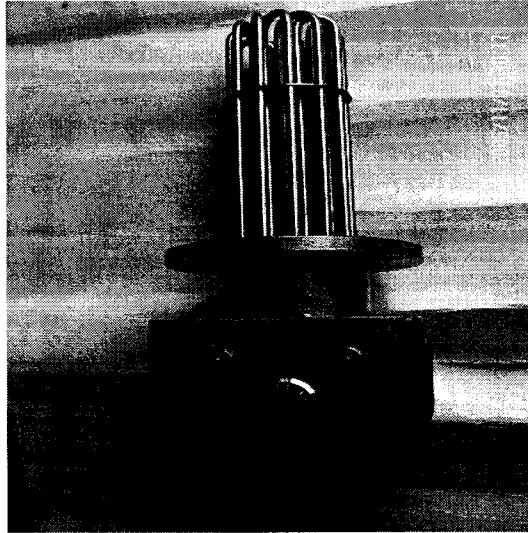


그림5-21 가열장치(Heater) 외관도

6) 안전밸브(Safety V/V)

운전 중 밸브의 오작동, 출구측의 폐쇄 등의 원인으로 일정 압력 이상으로 압력이 상승하였을 경우에 작동하여 장치의 무리를 방지하거나 고장을 사전에 예방하기 위하여 사용되는 밸브이다.

7) 공기토출밸브(air Drain V/V)

초기 운전시 또는 운전중 장치 내부의 상부에 공기가 형성되어 Air Pocket을 형성하여 연료의 흐름을 방해하고, 소음과 진동을 유발하므로, 이를 효과적으로 방지하기 위하여 공기토출밸브를 활용하여 효과적인 공기 토출을 유도하기 위하여 설치한다.

8) 온도계(Thermometer)

현장에서 직접 확인하고 조작할 수 있도록 기동판에 설치되어 있으며, 제어용으로 디지털 온도장치를 사용한다. 일정 온도를 조정 작동 범위안에서 유지할 수 있도록 Setting기능이 추가되어, 일정 온도의 지속적인 유지가 가능토록 제작되었다. 그림5-22은 Thermometer의 외관 모습이다.

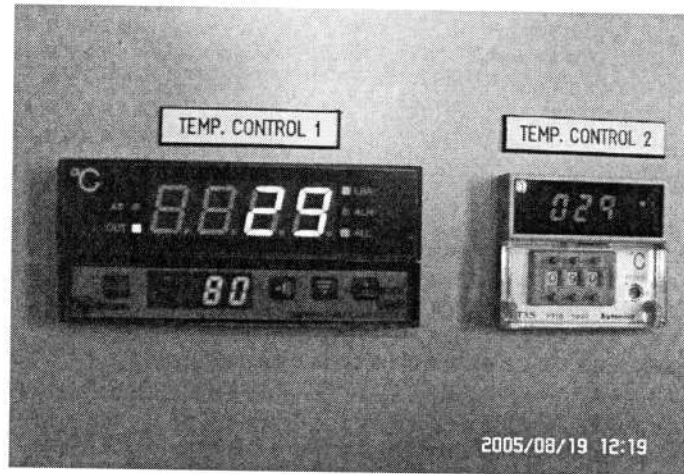


그림5-22 Thermometer의 외관도

5-3 표준모델시스템의 운용

5-3-1 개요

어선에서의 효율적인 연료비 절감형 모델시스템을 구축하기 위하여서 전처리 장치인 M.C.H. 및 Purifier를 어선에서 사용할 수 있도록 시스템을 구축하는 부분이 매우 중요하다. 시스템을 구축하기 위하여서는 장치가 차지하는 공간, 위치, 기계적 효율 등을 고려하지 않을 수 없으며, 이러한 장치의 설치 및 구성에 대하여 설명하고자 한다.

5-3-2 정제시스템의 구축

정제시스템을 구축하기 위하여서는 어선의 기관실 Space를 고려하지 않을 수 없다. 현재 개발되어 있는 Purifying 및 M.C.H. system은 장비 및 시설의 규모가 상대적으로 크기 때문에 중소형 선박에서의 system 구축을 위하여서 기관실의 정리 및 Space를 충분히 활용할 필요가 있다. 현재까지 어선에서는 139톤급 저인망 어선에 M.C.H. system을 설치하여 운용하고 있으며, 그 톤급 이하의 선박에서는 정제시스템을 운용하는 선박은 거의 없는 실정이다. 따라서, 기관실 Space가 적은 선박에 system 구축을 위하여 system의 경량화 작업이 선행되어야 할 것으로 판단되며, 이에 따른 추가적인 연구사업이 이루어져야 할 것으

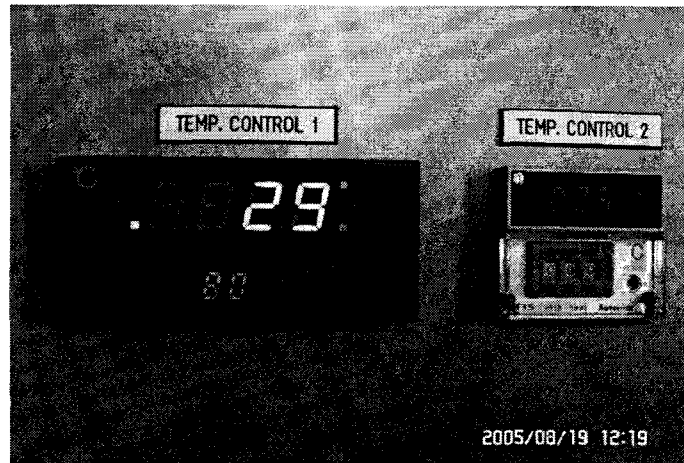


그림5-22 Thermometer의 외관도

5-3 표준모델시스템의 운용

5-3-1 개요

어선에서의 효율적인 연료비 절감형 모델시스템을 구축하기 위하여서 전처리 장치인 M.C.H. 및 Purifier를 어선에서 사용할 수 있도록 시스템을 구축하는 부분이 매우 중요하다. 시스템을 구축하기 위하여서는 장치가 차지하는 공간, 위치, 기계적 효율 등을 고려하지 않을 수 없으며, 이러한 장치의 설치 및 구성에 대하여 설명하고자 한다.

5-3-2 정제시스템의 구축

정제시스템을 구축하기 위하여서는 어선의 기관실 Space를 고려하지 않을 수 없다. 현재 개발되어 있는 Purifying 및 M.C.H. system은 장비 및 시설의 규모가 상대적으로 크기 때문에 중소형 선박에서의 system 구축을 위하여서 기관실의 정리 및 Space를 충분히 활용할 필요가 있다. 현재까지 어선에서는 139톤급 저인망 어선에 M.C.H. system을 설치하여 운용하고 있으며, 그 톤급 이하의 선박에서는 정제시스템을 운용하는 선박은 거의 없는 실정이다. 따라서, 기관실 Space가 적은 선박에 system 구축을 위하여 system의 경량화 작업이 선행되어야 할 것으로 판단되며, 이에 따른 추가적인 연구사업이 이루어져야 할 것으로

로 보여진다.

시험선으로 제공된 풍림수산(주) 소속 풍림12호에 설치된 정제시스템의 시험 결과를 토대로 표준 모델시스템의 설치에 관한 사항을 설명하고자 하였으며, Purifier 단독운전, M.C.H.의 단독운전, Purifier와 M.C.H.의 조합운전의 3가지 system으로 구분하여 설명코자 한다.

1) Purifier의 설치 및 운용

Purifier를 설치하는 경우에 연료소모량과 연료 탱크 용량 및 연료유의 점도와 관계하여 적정 용량의 Purifier를 선택하여야 한다. 이번 연구사업에서는 미쓰비시에서 생산한 P-700기종의 Purifier를 참여기업인 유창상사에서 풍림12호에서 설치하여 사용하였고, P-700기종에 대하여서는 취급상 몇 가지 유의사항에 대하여 살펴보도록 하겠다.

(1) 윤활의 사용

수직 및 수평 샤프트에 위치하는 베어링과 기어의 윤활은 오일 목욕과 나선형 기어를 통한 윤활의 비산을 통해 이루어진다. 추진 부분의 각 부품들의 생명은 정비 및 윤활유 조절과 직접적인 연관을 맺고 있기 때문에 처리함에 있어서 많은 주의가 요구된다.

① 최적의 점도

주변 온도에 따른 적절한 점도를 지닌 윤활유의 선택은 표5-2에 따라야 한다.

표5-2 점도에 따른 윤활유

주변온도	SAE No.	37.8℃에서의 점도 : cst.
20℃이상	40	150~215
20℃이하	20	60~80

사용되어야 할 윤활유의 종류로는 표5-2에서 SAE 번호에 상응하는 기어 오일 또는 터빈 오일이 있으며 산화에도 저항이 우수한 질을 선택해야 한다.

② 윤활유의 양

오일의 높이는 오일게이지의 붉은 눈금에 중앙에서 상위 10mm까지가 적절하다.

③ 교체의 시기

윤활유는 표5-3에 명시되어 있는 대로 교체되어야 한다.

표5-3 윤활유 교체 시기

횟 수	기 간	특이사항
첫 번째 교체	작동후 2주 (매 300시간 마다)	기어들의 접촉면의 질이 들때까지 대략 2주가 소요됨
두 번째 교체	작동 후 한달 (매 600시간 마다)	
세 번째 이후의 교체	4개월마다	

※ 주의사항

1. 나선형 기어가 교체될 시에, 오일 교체는 첫 번째 교체부터 다시 시작해야 한다.
2. 오일이 심각히 더러워졌을 시에, 스케줄보다 일찍이 교체되어야 한다.
3. 만약 기어 케이스에 물 또는 이물질이 들어갔을 경우, 기름은 즉시 제거되어야 하며, 기어 케이스의 내부는 반드시 청소되어야 한다. 그리고 새 윤활유로 교체되어야 한다.

(2) 작동전 검사

Purifier를 작동하기 이전에 파이핑 처리작업이 필요하며, 또한 다음의 부분들에 대한 검사가 필요하다.

① 플러싱

파이핑 작업시 생성된 용접 폐물을 제거하기 위해 철저한 플러싱 작업이 요구된다.

② 작동수 압력의 확인

적정 수압이 유지되고 있는지 확인해야 한다.

(3) 시동시의 유의사항

- ① 비정상적인 소음이 발생시 즉시 작동을 멈추고 원인에 대한 조치를 실시한다. 시정후 다시 시동을 건다
- ② 최초 임계 속도를 지나면서 바울이 일시적으로 진동을 일으킬 것이나 비정상적인 것이다. 그러나, 바울의 잘못된 조립 및 수직 샤프트의 불균형으로 인해 최초 임계 속도시의 진동이 확대되어 비정상적인 진동으로 발전할 수도 있다. 그럴 경우, 작동을 멈추고 조사를 실시하여 시정 후 다시 시동을 걸어야 한다.
- ③ 일정한 시간이 지난 뒤에도 바울이 규정된 회전 속도를 내지 못하면 즉시 작동을 멈추고 조사를 실시한다. 시정후 다시 시동을 건다.
- ④ 오일의 주입 시, 압력과 전류값을 확인해야 하며, 슬러지 배출구에서 오일이 누출이 없는지 확인해야 한다.

(4) 슬러지의 처리

풍림수산(주) 소속 풍림12호 트롤 어선에 설치한 P-700 Purifier의 경우 4시간 기준으로 약 1.3ℓ의 슬러지가 발생함을 확인하였고, 하루당 슬러지 발생량은 $1.3\ell \times 6\text{회} = 7.8\ell$ 의 슬러지가 발생하므로 이에 따른 Purifying 운용 시간 및 슬러지의 양육 처리 등의 기간을 고려하여 적정 규모의 Sludge 탱크를 선박에 설치하여야 하며, 슬러지 이송 및 육상에 양육시 사용할 수 있도록 별도의 슬러지 이송 펌프를 설치하여야 한다.

(5) 처리온도

이번 연구사업에서 Purifier의 적정 처리 온도를 구하기 위하여 MF30급 혼합유의 연소 시험시 연료유의 온도를 변화(60~90℃) 변화하면서 시험을 실시하였고, 제4장에서 설명한 것과 같이 Purifier의 적정 처리 온도는 60~70℃임을 확인하였다. 또한, 제작사에서 요구하는 Purifier의 처리온도는 그림5-23과 같다.

30cst/50deg.°C의 Fuel Oil을 청정하는 경우에, 50deg.°C 수직선 상의 30cst 선과 24cst의 수평선과의 교점(c)에서 수직선을 아래로 온도를 읽으면 56°C이다. 따라서, 이 MF30급 혼합유를 사용하기 위한 처리온도는 56deg.°C가 되므로, 이 Purifier의 적정 온도는 약 60°C정도임을 확인할 수 있다.

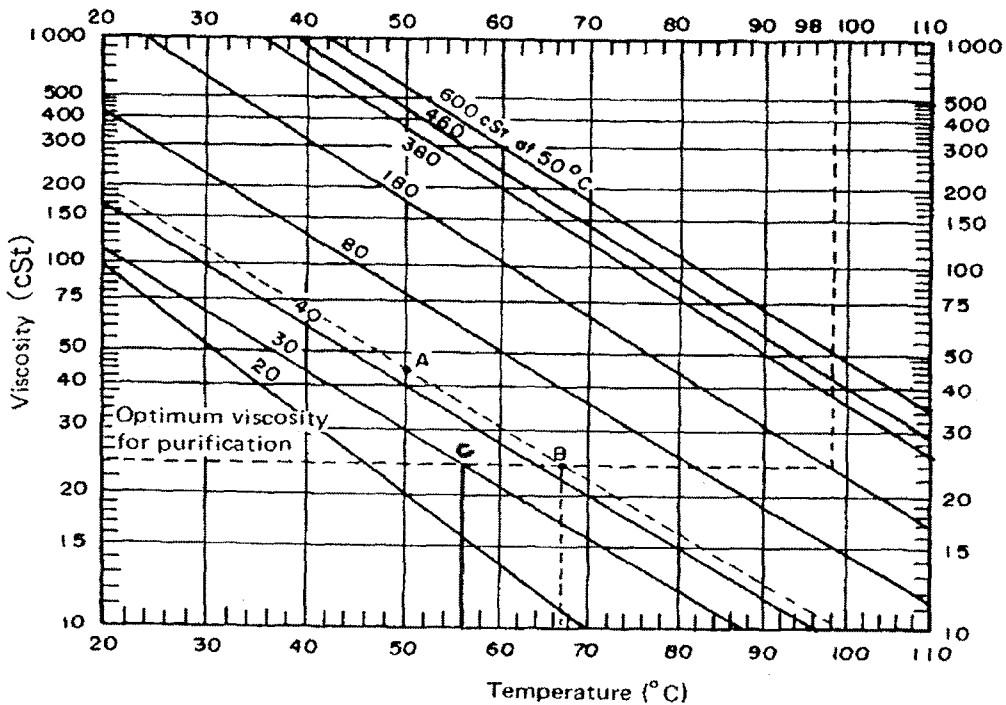


그림5-23 점도 대비 Purifier 처리 온도 그래프

2) M.C.H.의 설치 및 운용

유남조기에서 자체 개발한 M.C.H.는 교반 가열장치로서 Heater를 내장하고 있기 때문에 Line상에 별도의 Heating 장치 없이 사용이 가능하다. 이번 연구 사업에서는 유남조기에서 생산한 YN-MCH 65L-B 모델을 풍림수산(주) 소속 풍림12호에 장착하여 시험을 실시하였으며, 설치 및 운용에 따른 결과를 토대로 M.C.H. system에 대하여 설명하고자 한다.

(1) M.C.H. 운용상 주의사항

① 설치 장소의 조건

- 선체 및 기관 진동이 없어야 한다
- 화재의 위험이 없어야 한다.

- 주위 온도가 60℃를 넘지 않아야 한다.
- 분해 조립 및 부품 교환이 용이하여야 한다.

② 설치시 유의사항

- 연료유 입, 출구 측의 높이는 장비 본체보다 150mm이상 높게 유지하여 장치 내부에 상시 연료유가 충분하도록 조치한다.(메커니칼 썰 및 기타 장치 보호)
- 공급 전원(440V/220V)을 확인하여 장비가 요구하는 적정 전원이 공급되게 한다.

③ 운전 전 확인 및 순서

- 각 체결 부의 볼트와 너트의 풀림이 없는 지 확인한다.
- 각 입,출구 밸브의 개방을 반드시 확인한다.
- 본체 상단에 부착된 공기 토출 밸브를 개방하여 정상 연료유가 나올 때까지 공기를 배출한다.
- 각 부위의 이상 유무를 확인 후 히터 및 믹서를 가동하여 연료의 설정 온도까지 상승 후 본선 순환 펌프를 가동한다.

④ 동절기 운전 전 특히 주의할 점

- 동절기에 엔진을 장시간 정지한 상태에서 히터를 재가동 할 시에는 필터에 고여 있는 연료가 응고 된 상태이므로 히터기를 정상 온도에 도달 할 때까지 운전하여 충분히 히팅 시킨 후 펌프를 운전한다.
(3초 간격으로 3회 운전 후 정상 운전 요함. 단, 펌프 토출 압력 급상승 주의)
- 스위치를 한번에 무리하게 작동시키면 과도한 압력으로 인하여 히터의 각종 팩킹 부위에 누유 현상이 발생하여 위험을 초래할 수 있다.

⑤ 운전 중 확인

- 운전 중 회전부에서 비정상적인 소리가 나지 않는지 확인한다.
- 비정상적인 과열 부위는 없는 지 확인한다.(히팅 온도 확인)
- 히터 출구 압력이 1.0 - 1.5kg/cm²가 되게 조절한다.
- 베어링 하우징부의 그리스를 주입한다.(과다 주입금지)
- 그리스의 주입은 3주당 1회 정도 주입한다.(단, 지정된 그리스를 사용)

⑥ 운전 중 연료 누유 현상이 올 때 확인

- 본 장치를 운전 중에 공기 토출 파이프에서 연료 누유 현상이 보이면 베어링 및 메카니칼 씰을 교환할 것
- 베어링 교환 시에는 필리 C3 6308 베어링을 사용할 것

3) 표준 모델시스템의 구축

(1) Settling Tank와 Service Tank의 구분

Purifier를 설치하기 위하여서는 Settling Tank와 Service Tank를 구분할 필요가 있다. Settling Tank의 연료유를 Purifier를 통하여 정제 후 Service Tank로 이송하는 Line으로 되어 있으며, 각 Tank에는 연료유의 이송을 효율적으로 도모하기 위한 Electric Heater(5Kw)를 설치하였다. 또한, Tank에는 수분 등의 Drain 배출장치를 설치하였으며, 각 Tank간에 상호 이송할 수 있는 Line을 설치하였다.

(2) 슬러지 Tank

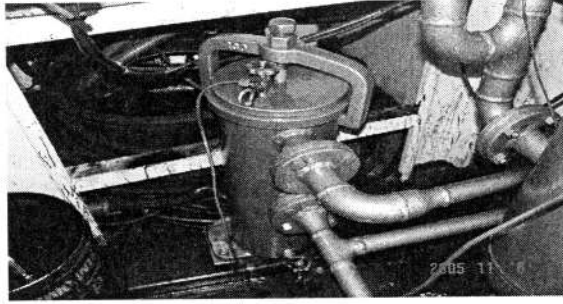
Purifying 과정에서 발생하는 슬러지의 저장 및 이송을 위하여 별도의 슬러지 Tank 및 이송펌프를 설치하여야 한다.

(3) 침전 탱크

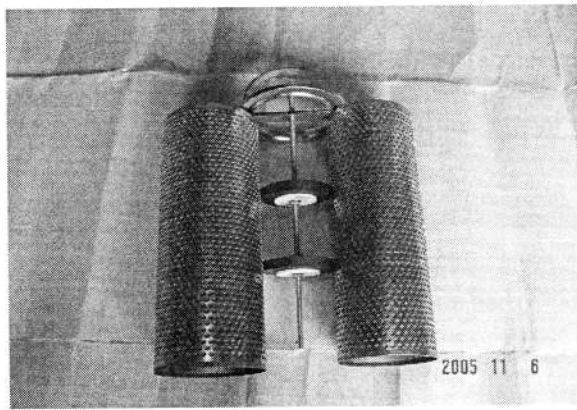
Tank 토출 Line 상에 침전탱크를 설치하여 이물질 및 수분 등의 Drain을 배출토록 침전탱크를 설치하였다.

(4) Filter

F.O Feed Pump의 Suction 부분에 1차필터(80mesh)를 설치하여 입자가 큰 녹, 먼지, 진흙, 모래 등의 연료유에 함유되어 있는 불순물을 제거토록 하였으며, Tank의 녹, 불순물, 기타 금속 등의 제거를 위하여 2차 필터에서는 1200G(Gauss)의 강력한 자장을 통한 미세한 금속을 제거토록 영구자석을 제작하여 설치하였고, 10~20 μ m 정도의 미세 공극 필터의 사용으로 대부분의 이물질 및 불순물을 제거토록 설계하였다. 그림5-24에서는 1차 필터 및 2차 필터를 보여주고 있으며, 그림5-25에서는 2차 필터 사용에 따른 필터 내부의 불순물 부착상태를 나타내고 있다.



<1차 필터>

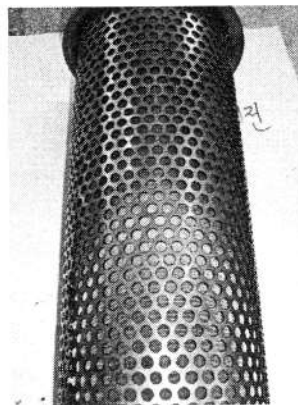


<2차 필터>

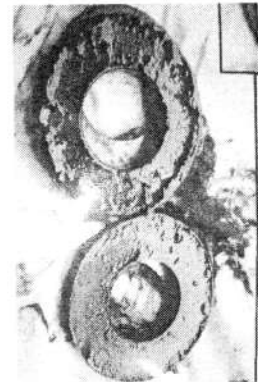
그림5-24 1차 필터 및 2차 필터



<기존 필터>

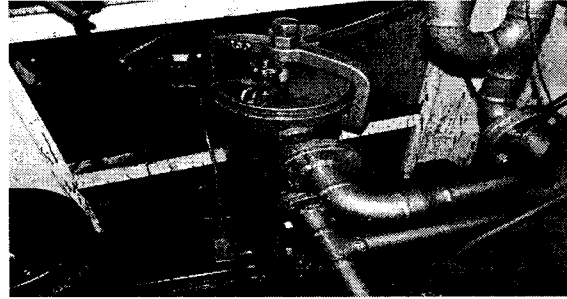


<2차 필터 사용 후>

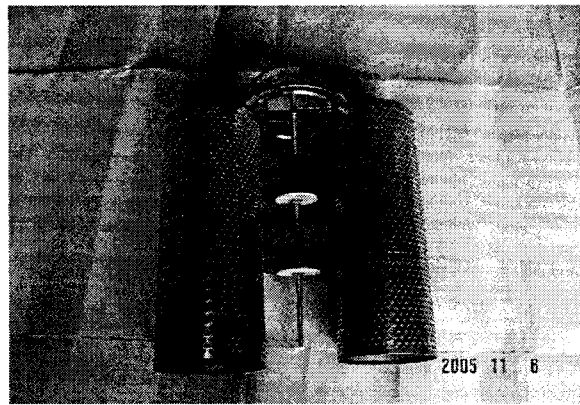


<영구자석에 붙은 금속물질>

그림5-25 2차필터(영구자석)을 이용한 이물질의 제거



<1차 필터>

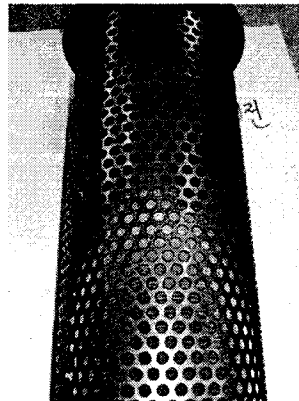


<2차 필터>

그림5-24 1차 필터 및 2차 필터



<기존 필터>



<2차 필터 사용 후>



<영구자석에 붙은 금속물질>

그림5-25 2차필터(영구자석)을 이용한 이물질의 제거

(5) Pump & Motor

연료유를 이송을 목적으로 설치하였으며, 펌프용량은 $1.5 \sim 2.0 \text{M}^3/\text{h}$, 30m을 설치하였고, Motor는 1200RPM을 사용하였다.

(6) By-Pass Line 설치

M.C.H.의 고장시 또는 비상시에 2차 Filter로 바로 연료를 이송하도록 3WAY-Valve를 사용하여 By-Pass Line을 설치하였다.

(7) system의 구축

정제장치의 표준모델시스템으로서, 그림5-26은 Purifying system의 계통도이고, 그림5-27은 M.C.H. system의 계통도이고, 그림 5-28은 Purifying system과 M.C.H. system의 조합 system을 도시한 것이다.

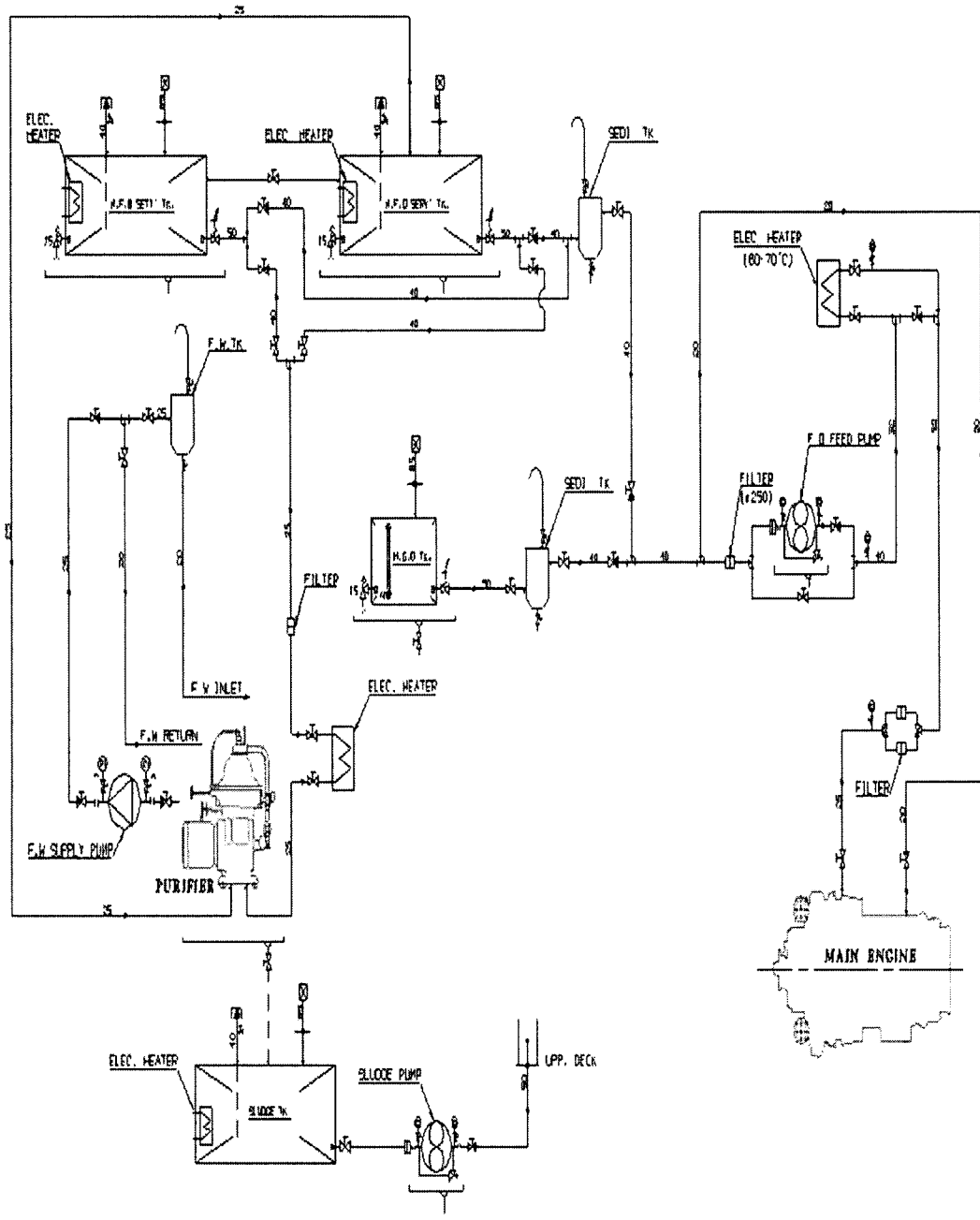


그림 5-26 Purifying system 계통도

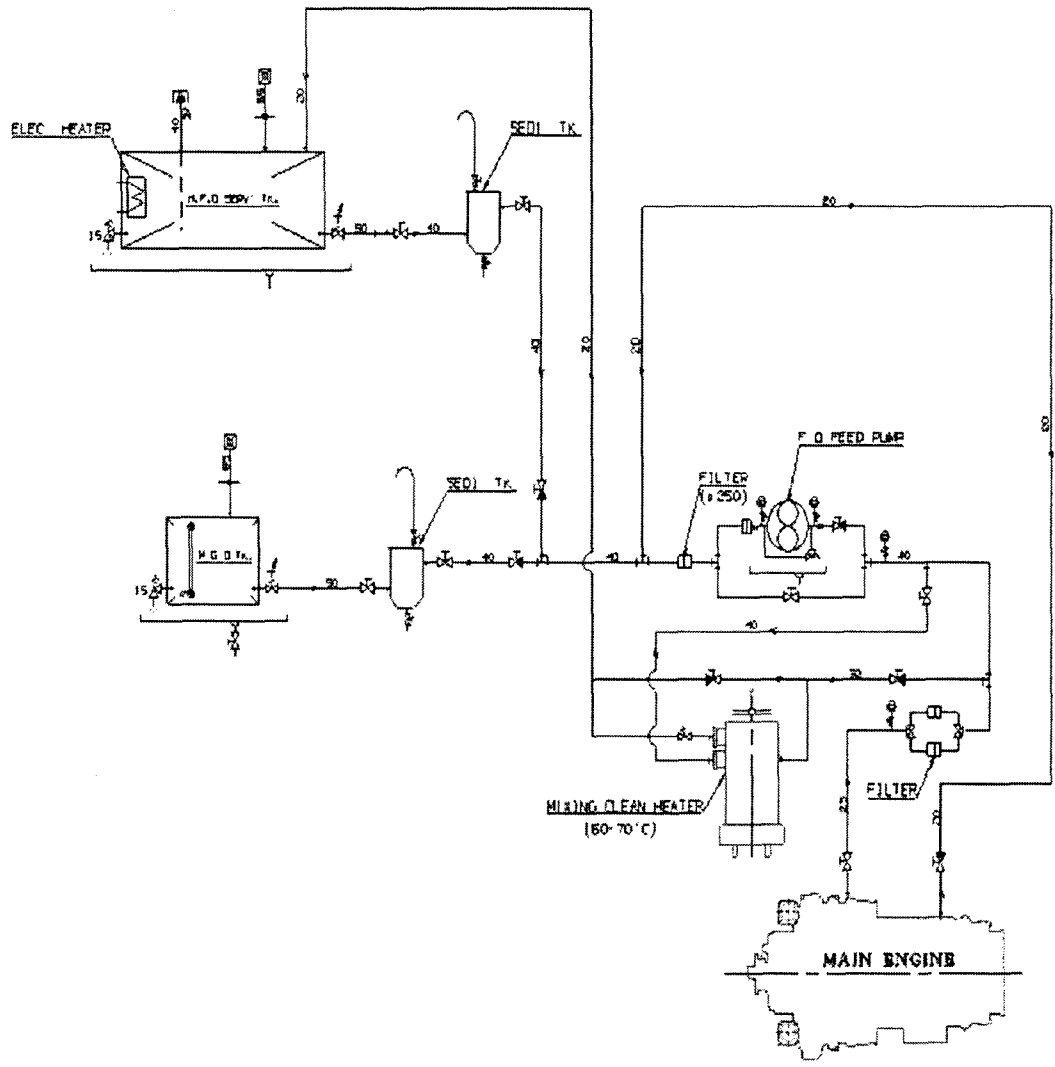


그림 5-27 M.C.H. system 계통도

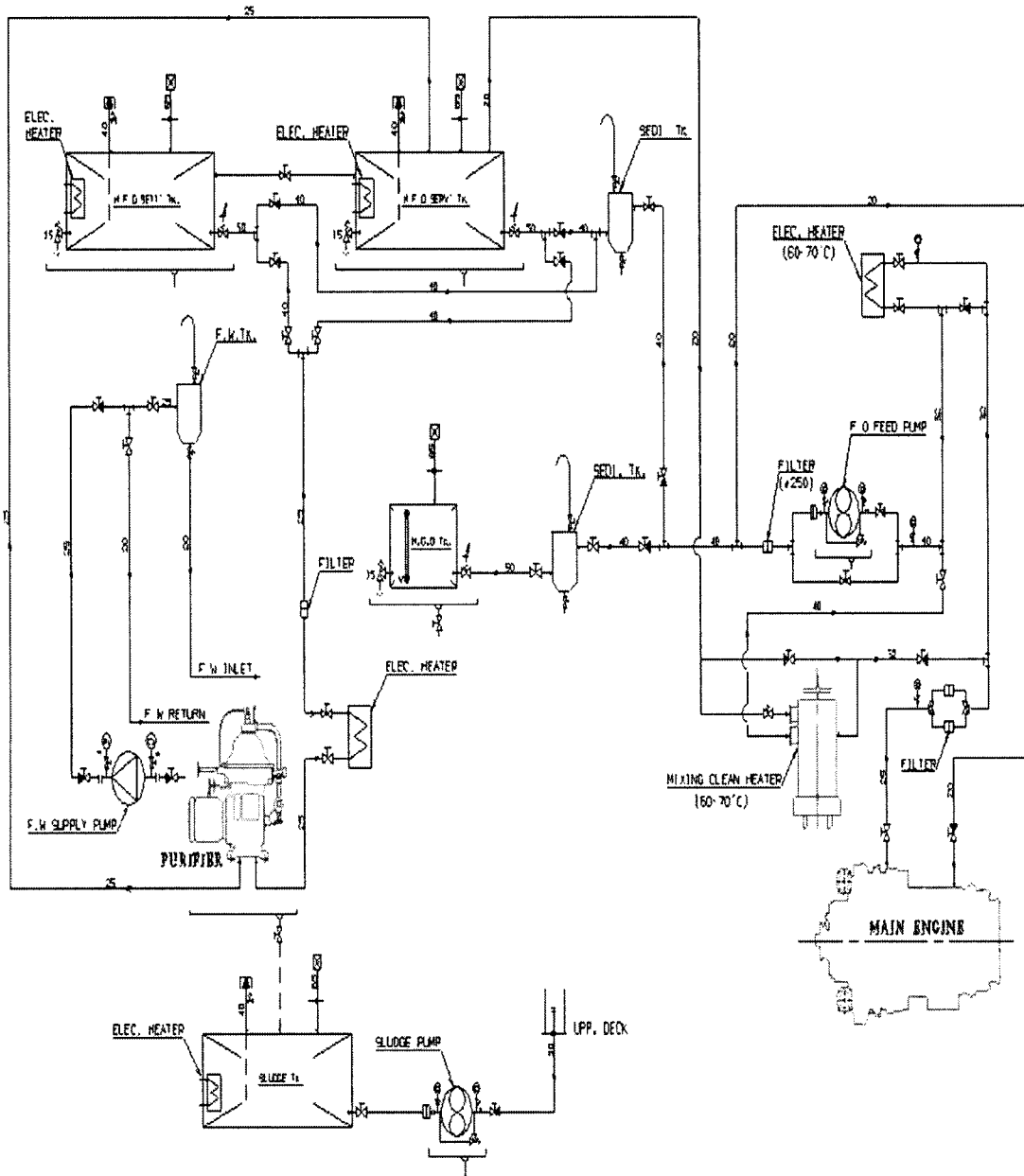


그림 5-28 Purifying + M.C.H. system 계통도

여 백

제 6장 결 론

여 백

제 6 장 결론

1. 연구배경 및 경과

- ◎ 2001년 배럴당 25달러 내외에 불과했던 국제유가는 2005년 8월 배럴당 60달러를 돌파하여 지난 4년간 2배 이상 초고속 상승세를 보였다. 이러한 국제원유가의 초고속 상승은 달러 약세화에 따른 OPEC의 고유가 정책, 미국, 중국, 일본 등 경제대국의 석유 소비 급증, 주요 산유국의 정치적 불안에 기인한 것으로 보여지고 있으며,
- ◎ 이러한 고유가의 영향에 따라 원유를 대부분 수입하여야 하는 우리나라로서는 유가 인상에 따른 국가 경쟁력이 저하되는 등 경제적, 사회적 큰 문제점으로 대두되고 있다. 특히, 석유 제품의 소비량이 많은 운송업 등에서는 기업의 채산성이 악화되고 도산하는 기업 등이 속출하고 있는 실정이다.
- ◎ 따라서, 이번 연구사업은 이러한 고유가 시대에 기업의 채산성 악화로 인하여 극심한 경제난을 겪고 있는 원양업계에서는 채산성의 악화에 따른 선박 운항비를 줄이고자 연료비 절감을 위한 연구 용역을 해양수산부에 건의하게 되었고, 이에 따라 해양수산부에서는 전문가 회의 등을 거쳐 선박검사기술협회로 하여금 『어선 연료비 절감 모델시스템 연구개발』 이란 과제로 연구사업을 수행토록 하였다.
- ◎ 이번 연구사업에서는 현재 사용하고 있는 저급유의 정제시스템인 Purifier와 M.C.H. 장치를 이용하여 어선에서의 모델시스템을 구축하는데 주력하였으며, 장치의 성능을 검증하고, 이 장치들을 이용하여 MF30급 혼합유의 저속 주기관에 대한 사용 가능성을 검토하고, 경유 사용시와 MF30급 혼합유 사용시의 비교시험을 통하여 차이점을 도출하고자 하였다.
- ◎ 이 과정에서 경유와 MF30급 혼합유 사용시의 배기가스(Smoke) 발생량을 측정 및 비교·분석하여 MF30급 혼합유 사용시의 Carbon 퇴적량을 예측하였고, 이에 따른 적절한 처리 방법을 강구토록 하였다. 또한, Purifying 및 M.C.H. system을 선박에 설치하기 전에 간이적인 결과를 도출하기 위하여 육상에서 Purifier 및 M.C.H., Purifier + M.C.H.에서 정제한 각각의 MF30급 혼합유에 조연제 A, B, C를 섞어 각각의 유성상 분석 및 엔진에서의 연소시험을 실시하였다. 또한, 그 결과를 토대로 대서양에서 조업중인 풍림수산(주) 소속 풍림12호에 정제시스템을 설치하여 단독

및 조합 운전을 할 수 있도록 시스템을 구축하였으며, 이 시스템을 통한 MF30급 혼합유를 정제하여 각각의 유성상 분석 및 배기가스 분석, 엔진 성능을 확인하여 MF30급 혼합유의 사용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 연구결과

- ◎ 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 혼합유의 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 실시하였다. 그 결과 유성상 및 배기가스(NOx, SOx, 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(NOx)의 발생량은 IMO에서 규제하는 국제기준치(시험 엔진의 국제규제치 14.72g/kwh, 측정치 10~11g/kwh)를 만족하는 것으로 확인되었다. 또한, 황산화물(SOx)의 발생량에 대한 IMO 규제는 사용하는 연료에 함유되어 있는 황(Sulfur)의 함량으로 규제하게 되어 있으며, 확인결과 MF30급 혼합유의 황 함유량이 국내 시험에서는 2.700 ~ 2.788%, 국외시험에서는 1.26~1.56%로 국제기준치인 4.5%를 만족함을 확인할 수 있었다.
- ◎ 또한, MF30급 혼합유의 검댕(Smoke) 발생량은 중·고 부하에서는 경유 사용시에 비해서 약 10% 정도 더 많았으나, 저 부하인 50% 미만의 부하에서는 경유 사용시보다 약 2.5배에 달하였다. 따라서, 이러한 스모크에 의한 카본 퇴적으로 연소실, 노

즐, 배기밸브 및 터보차저 등의 오염이 염려되므로 경유 사용시보다 정비주기를 짧게 해야 할 것으로 판단된다. 특히, 노즐에 대해서는 주기적인 소제와 함께 압력 Test 등 노즐의 막힘 현상을 조기에 예방할 수 방법을 강구하여야 한다. 또한, 노즐의 열화에 따라서 Nozzle Tip 부분에 잔류탄소분 등이 두텁게 퇴적된 것이 확인되었으며, 이에 대한 대책으로 현재 주로 사용되고 있는 무냉각 노즐을 냉각용 노즐로 개조하는 방법도 하나의 방법으로 추천하고 싶다.

- ◎ MF30급 혼합유 사용시 염려되었던 연소실 최대폭발압력과 배기가스의 온도에 대해서 측정한 결과, 최대폭발압력은 경유 사용시보다 약 10% 정도 상승하였으나, 엔진 설계 당시의 최대 허용폭발압력 범위 이하로써 엔진 내구성 및 내마모성에 대해서는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한, 배기가스 온도는 Full 부하에서 경유보다 약 15℃ 정도 높은 것으로 확인되었으며, MF30급 혼합유의 장기적인 사용에 따른 배기밸브, 실린더, 피스톤, 피스톤-링 등의 고온부식이 염려된다. 장기적인 엔진사용을 고려하여 MF30급 혼합유 적용시험을 통한 부식 진행 정도와 부식 방지에 대한 연구를 계속 진행해야 할 것으로 판단된다.
- ◎ 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.
- ◎ 경유에서 MF30급 혼합유로 연료유 변경 공사에 따른 기관실 내부의 시설물의 변경이 이루어져야 하며, 이에 따른 선박 복원성에 영향을 미치는 요소(Factor)를 확인하여야 한다. 선박 복원성의 변화에 영향을 미치는 경우는 복원성 자료 재심사를 받아야 하며, 개조되는 부분에 대하여 도면심사를 해당 검사기관에 의뢰하여야 한다. 다만, 선박 복원성 자료의 재심사에 대해서는 설치되는 시스템의 각 Weight 및 각 설치 요소의 무게중심이 기선에서부터 상방향으로의 거리(K.G, m)에 따라서 상승 또는 하강하며, 그 Weight의 변동량이 미미할 경우에는 각 검사기관의 기준에 따라 그 심사를 면제할 수 있다. “부록 2”에서 풍림수산(주) 소속 풍림12호에서의 모델시스템 설치에 따른 경하중량 산정 계산을 보여주고 있으며, 복원성계산서를 참고하여 간편하게 경하중량 계산을 할 수 있도록 표준 양식을 작성하였다. 또한, “부록 3”에서는 각 시스템의 계통도를 도시하여 선박에서의 시스템 구성에 참고하고자 하였다.

여 백

참 고 문 헌

여 백

참고문헌

- H. Heisler, "Advanced Engine technology", 1997.
- 최재성, "EGR 시스템을 갖춘 디젤기관의 성능 예측 프로그램 개발", 한국기계연구원 연구 보고서, 1996. 10.
- 김종현, "IMO 대기오염방지 협약의 내용" 선박 대기오염에 관한 국내외 동향, pp. 39~50, 1999. 5
- 손진록, "선박의 대기오염물질 배출규제 및 대책" 한국박용기관학회지, 제25권 제3호, pp. 57~70, 2001. 5
- 이진열, "油類工學", pp. 17~143, 1998. 3, 효성출판사
- S. N. Yoo, J. R. Son, "Successful Test and Certification in compliance with IMO NOx Regulation-2-Stroke, Low-Speed, Crosshead Engine", 선박대기오염에 관한 국내외 동향, pp. 39~50, 1999. 5
- MAN B&W technical report, "Emission Control for Two Stroke Low-Speed Diesel Engines"
- 정경열, 류길수, "질소산화물 제거기술" 한국박용기관학회지, 제25권 제1호, pp. 57~64, 2001.
- 김대식, 엄명도 "선박엔진의 NOx 배출량산정" 한국박용기관학회지, 제24권 제24호, pp. 49~53, 2000.
- 박권하, "박용디젤기관의 질소산화물 저감기술" 한국박용기관학회지, 제25권 제5호, pp. 42~71, 2001.
- 배명환, "박용 디젤기관의 배기규제 및 배기배출물 저감 대책" 한국박용기관학회지, 제25권 제3호, pp. 41~55, 2001. 5
- Myung-whan BAE, Jung-ho Ha, Kazuo TSUCHIYA, "The Characteristics of Wear in Diesel Engines with Scrubber EGR System", F2000A120, pp. 1~7, 2000
- 일본박용기관학회 연료유화조사연구 위원회, 燃料乳化による 排氣淨化に 關する 調査研究" 日本舶用機關學會, 1997. 7
- 남정길, 최재성, "디젤기관의 내장형 EGR시스템 적용 가능성에 관한 연구" 한국박용기관 학회지, 제23권 제3호, 1999. 5
- Masajikumo 外 3人, "Development of New EGR System", 自動車技術, Vol. 54, No. 9, pp. 86~93, 2000.

- 일본 Engine Technology, Vol. 2, No.5, pp. 86~93, 2000.
- CIMAC, Recommendations regarding fuel quality for diesel engines, The International Council on Combustion Engines HFO Working Group.
- ISO Standard, “Performance and tests” , ISO 3046-1, -3,, -4, -7.
- IACS, “Programme for type testing of non-mass produced I. C. engines.” , IACS UR M50, 1999.
- IACS, “Programme for trials of I. C. engines.” , IACS UR M51, 1997.
- MAN B&W Holeby, Project guide engine type L16/24, 2000, MAN B&W.
- MAN B&W, Engine selection guide for MC/MC-C engine, 2001, MAN B&W.
- MAN B&W, S35MC Project Guide, 2001, MAN B&W.
- WÄRTSILÄ NSD, Engine Selection and Project Manual, 1998, WÄRTSILÄ NSD
- Diesel & Gas Turbine Publications, 2005 Global Sourcing Guide, 2005.
- 한국선급, 선급 및 강선규칙 5편과 동 적용지침, 2001
- 전효중 · 이돈출, 선박용디젤 엔진 및 가스터빈, 2005, 동명사

부록 1

여 백

작업지침서 (경유→MF30급 혼합유)

1. 개요

연료유로 사용하는 경유(M.G.O)를 MF30급 혼합유로의 대체 사용에 따른 정제시스템 등의 운용상의 절차 및 기타 제반사항을 정리하여 작업자가 쉽게 운용할 수 있는 지침서로 활용토록 한다.

2. 설치 및 운용

2-1 출입항시, 비상시 또는 엔진부하 50%미만의 부하시에는 경유(M.G.O)를 사용토록 하고, 엔진부하 50%이상의 부하시에는 MF30급 연료유로 대체 사용토록 한다.

2-2 주기관의 Nozzle은 냉각 Nozzle을 사용토록 한다.

2-3 경유와 MF30급 혼합유의 Line Change 부분은 3Way-Valve을 사용하고, 가급적 엔진 Injection Pump Inlet부분에 근접하여 설치토록 한다.

2-4 엔진 Inlet F.O 온도는 60~70℃를 유지토록 한다.

3. 정비주기

3-1 주기관 연소실의 Carbon 퇴적물에 의한 Nozzle 막힘의 우려가 있으므로, Nozzle을 자주 점검 및 소재, 교환토록 한다.(예비품 비치)

3-2 엔진의 Overhaul 기간은 엔진 제작사에서 정한 정비주기를 초과하지 않는 범위내에서 약 10%정도 단축하여 정비 주기를 산정토록 한다.

3-3 Strainer(Filter)는 소재를 주기적으로 실시한다.(20~25일 권장)

3-4 각 탱크(침전탱크)의 Drain은 주기적으로 실시한다.(주 1회 권장)

3-5 탱크 내부에 불순물 및 협잡물이 혼입되지 않도록 불순물 등의 혼입 여부를 항상 확인토록 한다.

4. 점검사항

4-1 엔진 부하별 경유 및 MF30급 혼합유의 사용시의 배기온도, Pmax, 과급기 공기압력, 냉각수온도, 윤활유압력(온도), 기타 특이사항을 항상 Check하여 엔진의 성능 변화를 확인토록 한다.

4-2 연료유 변경에 따른 이상 유무 발생시 현상 및 조치사항을 기관일지에 항상 기록 유지토록 한다.

부록 2

풍림12호 경하중량 산정계산서

○ 기존의 경하상태 : Light Weight : 548.075ton, K.G : 3.682m

※ 기존의 경하상태는 기승인된 복원성자료 또는 경사시험성적서에 포함되어 있음

○ 공사내역

Item	Weight(ton)	K.G(m)
Mixing Clean Heater	0.60	3.35
Purifier	0.50	3.50
Serv. Tank	0.22	5.40
Sett. Tank	0.22	5.40

※ 공사내역에서 K.G는 기선(Base Line)으로부터 해당Item의 무게중심까지의 수직높이를 측정

○ 경하중량계산

Item	Weight(ton)	K.G(m)	t-m
기존 Light Ship	548.075	3.682	2018.012
Mixing Clean Heater	0.60	3.35	2.010
Purifier	0.50	3.50	1.750
Serv. Tank	0.22	5.40	1.188
Sett. Tank	0.22	5.40	1.188
New Light Ship	549.615	3.683	2024.148

기존의 경하상태보다 K.G가 상승된 경우로써 중량증감량(1.54ton)이 기존의 경하중량(548.075ton)의 0.5%(2.74ton)미만이므로 선박안전법 시행규칙 적용지침 제8조 5항 가목에 의거 복원성자료 재심사 면제 가능

○ 차후 다른공사로 인하여 경하중량의 변경이 있을 경우 상기의 방법을 이용하여 계산한 New Light Ship의 K.G가 기승인된 복원성자료내의 Light Ship의 K.G 보다 상승한 경우 중량증감량이 기 승인된 복원성자료내의 0.5%이상, K.G가 하강한 경우 중량증감량이 1.5%이상인 경우 인증된 검사기관으로부터 복원성자료의 재심사를 받아야 함.

경하중량산정 계산예)

○ 기존의 경하상태 : Light Weight : ton, K.G : m

※ 기존의 경하상태는 기승인된 복원성자료 또는 경사시험성적서에 포함되어 있음

○ 공사내역

Item	Weight(ton)	K.G(m)

※ 공사내역에서 K.G는 기선(Base Line)으로부터 해당Item의 무게중심까지의 수직높이를 측정

Item	Weight(ton)(㉑)	K.G(m)(㉒)	t-m
기존 Light Ship			=㉑×㉒
New Light Ship	=상기 중량총합(㉑)	= ㉒/㉑	= 상기 t-m 총합(㉓)

○ 경하중량 증감량 : New Light Ship중량 - 기존 Light Ship 중량

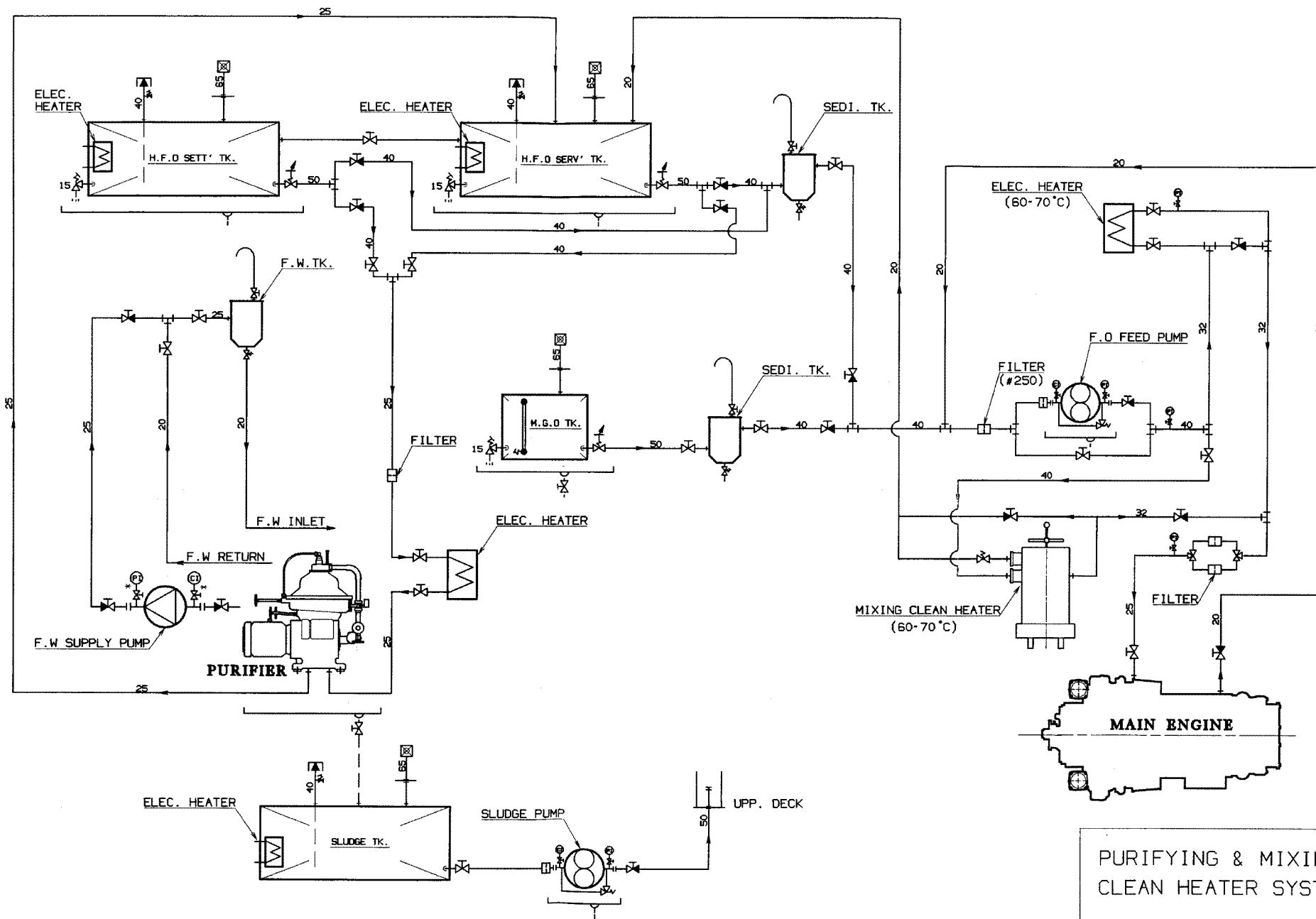
※ +이면 중량증가, -이면 중량감소

○ 무게중심의 증감량 : New Light Ship K.G - 기존 Light Ship K.G

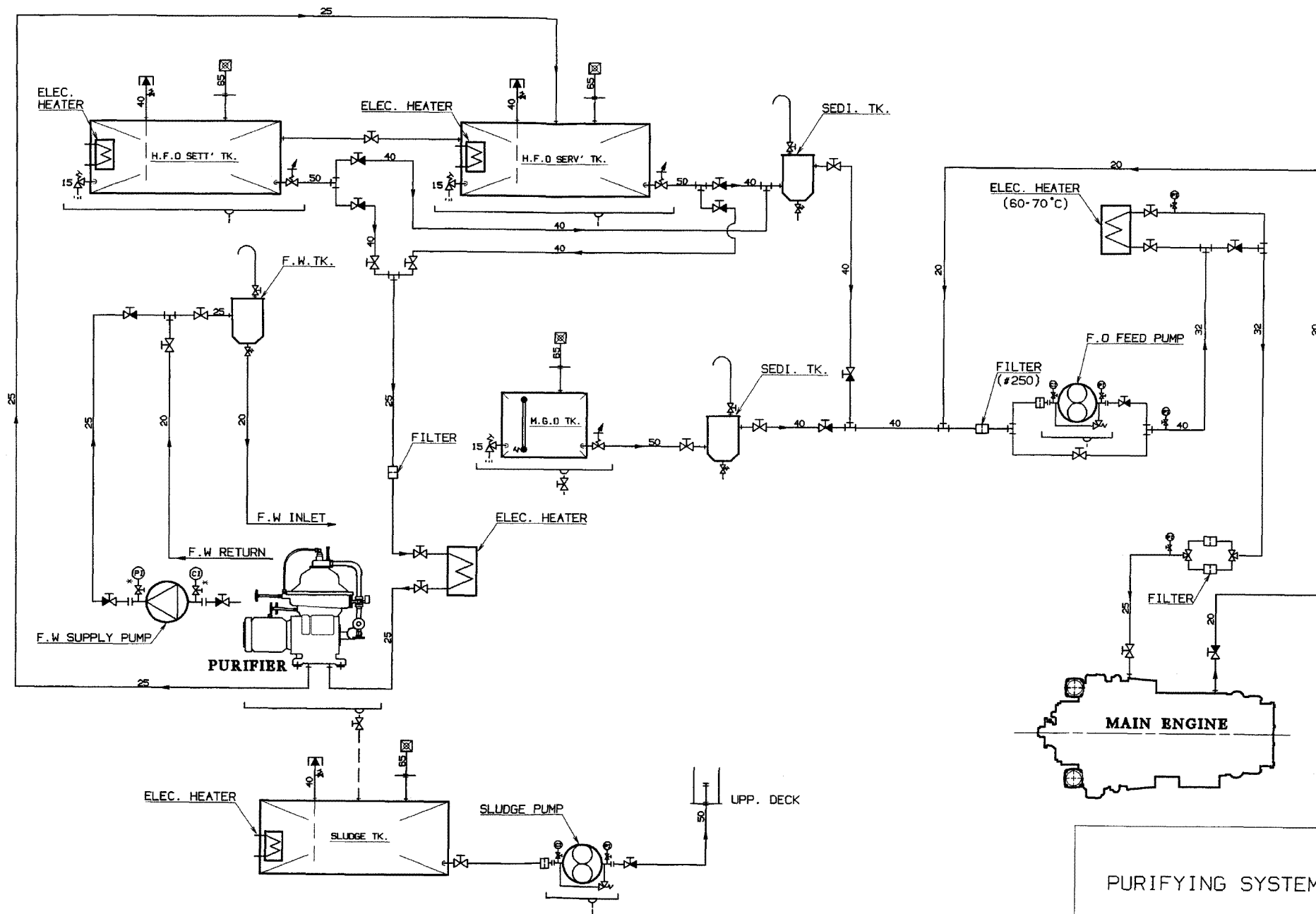
※ +이면 K.G 상승, -이면 중량감소 K.G 하강

※ K.G가 상승한 경우 중량증감량이 기 승인된 복원성자료내의 0.5%이상, K.G가 하강한 경우 중량증감량이 1.5%이상인 경우 인증된 검사기관으로부터 복원성자료의 재심사를 받아야 함.

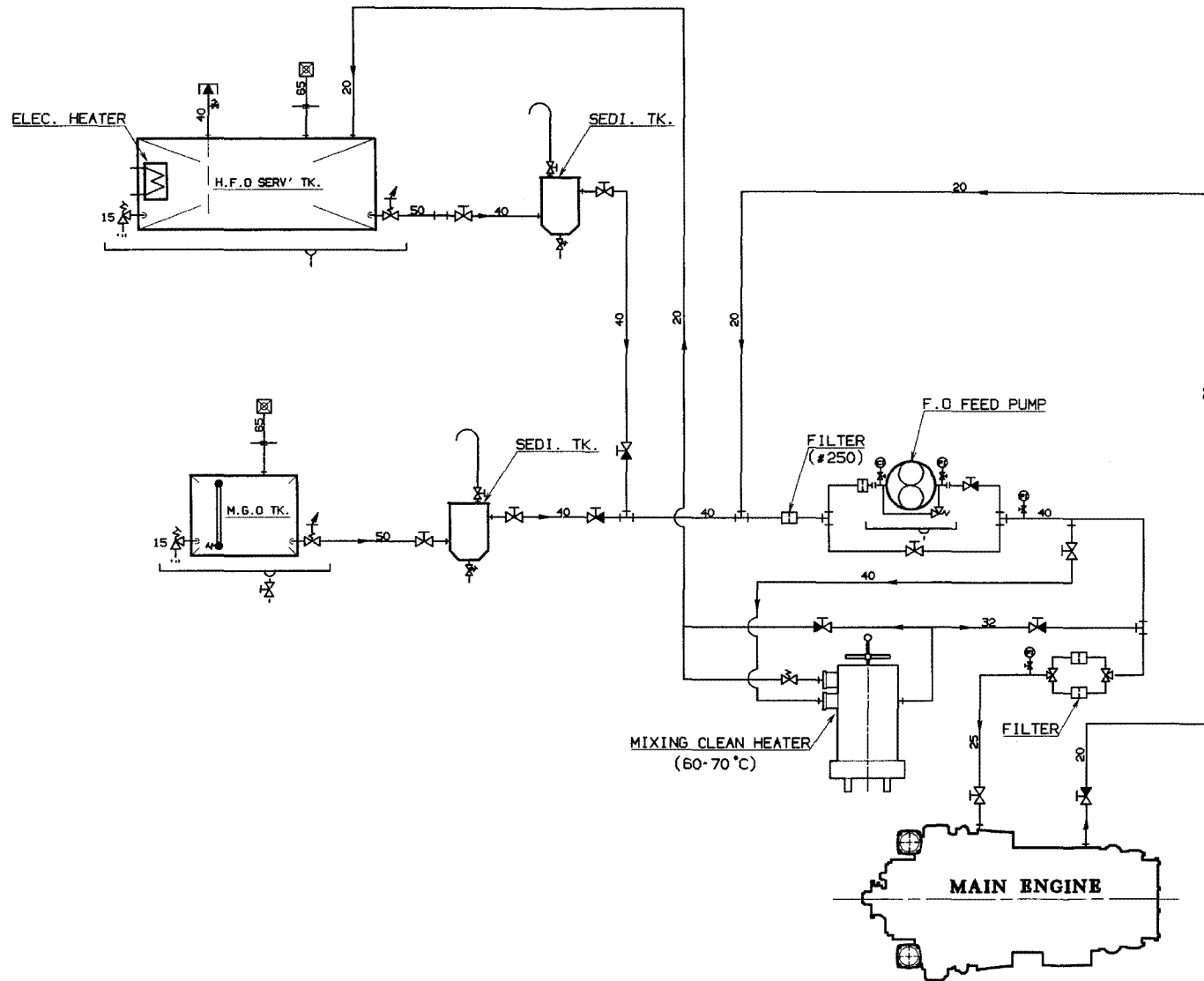
부록 3



PURIFYING & MIXING
CLEAN HEATER SYSTEM



PURIFYING SYSTEM



MIXING CLEAN
HEATER SYSTEM

