

12002497

최 종  
연구보고서

어선 연료비 절감을 위한 저급유 사용시스템  
표준화 등에 관한연구  
studies on the standardization for the system  
using blending oil in the fishing vessel

2008. 12

주관 연구기관 : 선박안전기술공단

위탁 연구기관 : 목포해양대학교

참 여 기 업 : 유남조기공업사

농 립 수 산 식 품 부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “어선연료비 절감을 위한 저급유 사용시스템 표준화 등에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008 년 12 월 31일

주관연구기관명 : 선박안전기술공단  
주관연구책임자 : 강 대 선  
연 구 원 : 정 광 교, 김 원 래  
연 구 원 : 이 석 희, 백 철 호  
연 구 원 : 최 경 일, 권 수 연  
연 구 원 : 손 영 태, 이 기 동  
연 구 원 : 이 한 주(SK주식회사)

위탁연구기관명 : 목포해양대학교  
위탁연구책임자 : 남 정 길  
연 구 원 : 이 돈 출, 한 원 희  
연 구 원 : 김 성 종, 문 세 중  
연 구 원 : 신 동 혁, 김 경 민  
연 구 원 : 장 성 철, 송 명 호

참 여 기 업 : 유남조기공업사  
연 구 원 : 박 남 도  
연 구 원 : 김 하 득, 박 남 두  
연 구 원 : 고 영 수, 전 수 진

# 요 약 문

## I. 제 목

어선연료비 절감을 위한 저급유 사용시스템 표준화 등에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

지속적인 유가상승으로 인한 채산성 악화로 어민들이 어업을 포기하고, 또한 이러한 문제점이 지역경제의 침체로 이어지는 사회·경제적 문제를 야기하고 있어, 수산업계의 어려움을 해결하는 방안으로 어업비용 중 약 22%를 차지하는 연료비를 운항에 지장이 없는 한도 내에서 가능한 한 절감하여 수산업 및 지역사회에 기여할 수 있도록 기존의 경유를 사용하고 있는 선박에 비교적 값이 싼 혼합유를 정제하여 사용함으로써 어업비용을 감소시키는 것이 동연구의 궁극적인 목적이다.

### 2. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

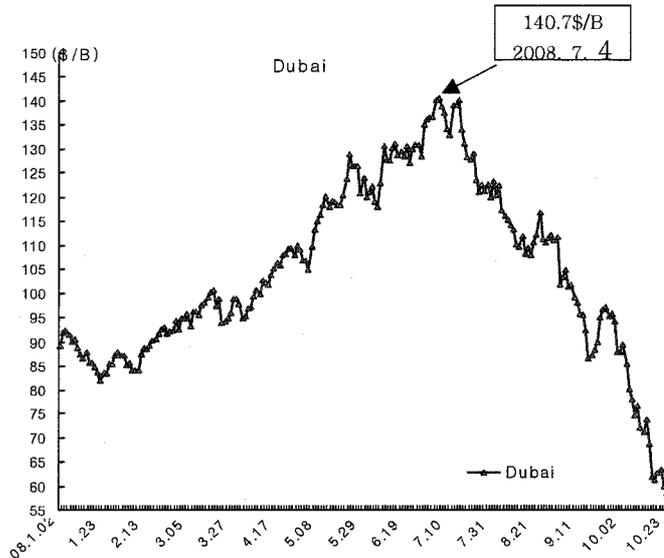
- 2005년도 해양수산부 민간자율화 사업으로 추진된 『어선 연료비 절감 모델시스템 연구개발』에서 이미 MF30급 혼합유 사용 가능성은 확인하였으나, 계속되는 유가상승으로 더욱더 값싼연료의 사용필요성이 대두되었고, 경유를 사용하는 선박에서 특히, 혼합유 사용가능 한계치에 대한 연구를 필요로 하였다. 또한, 혼합유의 사용 한계치를 검증하기 위하여 시험선을

선정하고, MF15에서부터 MF180급 혼합유까지 연소시험을 행하면서 배기가스 중 NOx 발생량과 Smoke 발생량(soot 발생량)을 측정토록 함으로써 기존 경유 사용 시와 비교하여 환경적인 문제에 대한 예측가능한 기술자료 축적을 필요로 하였다.

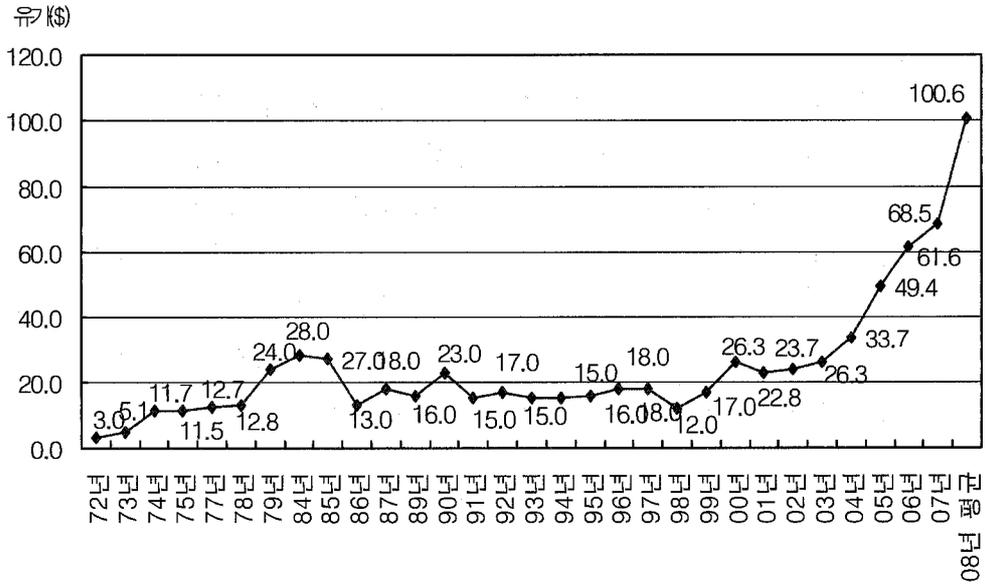
- 장기적인 저급 혼합유 사용에 따른 엔진에 미치는 영향중 부식(Corrosion)과 마모에 대한 기술적 분석을 행함으로써, 연료유가 조악해짐에 따른 예측 가능한 엔진운영 및 관리대책 등의 기술자료 축적을 필요로 하였다.

#### 나. 경제 · 산업적 측면

- 2006년 배럴당 61.6달러, 2007년 68.5달러 수준이었던 원유가가 2008년 11월까지의 평균 110.6달러까지 상승하였다. 2008년 7월에는 140.7달러까지 상승하였다가 11월 19일 현재 45.89달러로 하락하였지만, 이러한 유가의 폭등으로 인해 수산업계에서는 조업을 하여도 적자이기 때문에 아예 출어를 포기하고 항구에 정박해 선박들이 많은 실정이었다.



2008년도 유가변동 추이



연도별 평균 유가변동 추이

- 이러한 업계의 애로사항 해결을 위하여 2005년 해양수산부 민간자율화사업으로 추진된 『연료비 절감 모델시스템 연구개발』에서 MF30급 혼합유의 사용 가능성을 확인하였고, 그때 당시 경유 가격의 약 67% 수준인 혼합유를 사용할 수 있게 되었으나, 계속되는 유가 상승으로 인하여 MF30급의 혼합유 사용으로도 절감되는 연료비의 효과가 반감되어 더욱더 조악한 혼합유를 사용할 수 있는 한계치 규명의 필요성이 대두되었다.

경유 및 혼합유 등급별 국내유가 현황

구분	경유 (고유황)	MF30	MF60	MF80	MF100	MF120	MF150	MF180
유가 (천원)	566	379	360	345	335	327	317	310
대비율 (%)	100	67	64	61	59	58	56	55

(2005년 11월 현재, kl당)

다. 사회·문화적 측면

- 수산업의 경기침체로 어업인구의 감소와 어업에 종사하는 인력의 고령화 등의 문제가 발생되고 있으며, 어업을 포기함으로써 어촌지역을 이주하여 도시로 젊은 인력들이 이동함으로써 어촌공동화 및 노령화 현상들이 더욱 뚜렷해졌다.
- 또한, 조업을 포기하는 동안 선박관련 업종들의 경기 침체와 선박종사자들의 수입 감소가 지역경제의 침체로 이어져 수산업경기 부양이 절실히 필요한 실정에 있다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 혼합연료유 사용한계치 검증

경유를 대신하여 사용가능한 혼합연료의 사용 가능한계치를 검증하기 위하여 동해어업 지도사무소 소속 무궁화 24호(138톤급 트롤어선으로 사용되었던 선박을 183톤급 어업지도선으로 개조한 선박), (주)사조산업 소속 384톤급 참치 연승어선과 제 702 오룡호, (주)투리스 소속 트롤어선 500톤급 투리스 79호의 선박에 대하여 MDO, MF 15, Bunker A, MF 60, MF100, MF 150 및 MF 180의 시험연료로 연소시험을 실시하여 엔진의 배기가스 및 작동상태를 계측 하였다. 시험결과 배기가스 측면에서는 어느 혼합유나 정제과정을 거쳐 점도별 사용온도로 조정된 혼합유는 각각 50%이상의 부하에서는 경유의 연소시와 비슷한 배기가스 발생특성을 보였으며, 엔진 작동상태 측면에서는 연소실 최고압력 및 배기온도가 다소 높게 나타났으나, 허용한계치를 초과하지는 않는 것으로 나타났다.

#### 2. 전처리 시스템 표준화

혼합유 사용을 위해서는 혼합유가 경유의 특성에 가깝도록 만들어주는 전처리 장치가 필요하다. 이러한 전처리장치의 시스템을 구성하기 위해서는 먼저 혼합유 저장탱크가 갖추어져야하고 여기에는 경유에서는 필요치 않는 가열장치를 설치하여야한다. 또한 혼합유는 점도가 경유보다는 훨씬 높기 때문에 저장탱크에서 이송하기 위해서는 배관의 크기도 경유의 사용시 보다는 직경이 커야하고, 혼합유에 포함되어져 있는 슬러지 및 엔진의 마모를 촉진하는 성분을 걸러내기 위하여 연료를 미립화하는 장치와 연료속의 이물질 제거할 수 있는 여과장치를 설치하여야한다. 이러한 시스템의 구체사항을 제3장 3절에서 연구하였다.

### 3. 부식 및 마모 정도확인

혼합유 사용에 있어서 가장 큰 문제점은 혼합유에 포함되어져 있는 Al, Si 성분 등의 금속분에 의한 실린더 라이너 및 피스톤 링의 마모와 불완전 연소 등에서 발생하는 카본 축적물 등에 의한 배기밸브 등의 손상과 노즐 팁의 카본 축적 등으로 인한 연료의 불완전한 분사가 본 연구에서 가장 큰 문제로 파악되었다. 이러한 부분에 대하여 실제 선박에서 혼합유 MF60을 4개월 가량 사용 한 후 엔진을 개방하여 연소실내의 마모 및 카본의 축적정도를 확인하였고, 혼합연료에 의한 금속의 부식정도를 확인하기 위하여는 실험실에서 9개월간 선박용엔진의 연소실에 사용되는 주요 금속시험편으로 부식의 진척정도에 대하여 실험하였다.

### 4. 경제성분석

혼합연료의 사용으로 인하여 연료비의 절감은 가져올 수 있으나, 경유에 비하여 정비주기의 단축과 연소계통의 수명을 단축하는 단점이 있으므로, 연료비의 절감과 엔진의 정비 등으로 들어가는 비용에 대하여 실제 어업경영에 참고할 수 있도록 정확한 손익에 대하여 분석하였다.

### 5. 선박에서 배출되는 배기가스 규제동향 분석

국제해사기구(IMO)에서 진행 중인 선박으로부터 배출되는 배기가스 저감규제의 동향파악을 위하여 IMO 산하의 해양환경보호위원회(MEPC) 회의에서 규제동향을 파악하였고, 관련 규정등을 분석조사하였으며, 배기가스 저감을 위해 각국에서 개발중인 저감 장치들의 기술과 방법들을 조사·분석하였다.

## IV. 연구개발 결과

동 연구의 궁극적인 목표는 경유를 사용하는 엔진에 저급 혼합유를 사용할 경우 그 사용가능한 한계치를 확인하는 것이 가장 큰 목적중의 하나였다. 그러나, 혼합유의 등급이 낮아질 수록 엔진의 마모 등으로 정비주기의 단축이 필요함을 확인하였다. 대기환경 보호를 위한 배기가스의 발생량측면에서는 엔진의 부하에 따라 배기가스 발생량의 차이를 나타냄으로 전체적으로 경유와 비슷한 배기가스의 발생량을 나타내도록 부하별로 사용하는 연료를 변경하는 것이 필수적이다. 즉, 1/2부하 미만의 저부하에서는 경유를 사용하고, 그 이상의 부하에서 혼합유로 변경하여 사용할 필요가 있다.

엔진의 마모 및 부식 측면도 저부하시 혼합유의 불완전연소를 막기 위하여 부하에 따른 연료의 변경이 필요하며, 혼합유의 연소를 위하여 경유와 비슷한 특성을 갖도록 하기 위하여 전처리 장치가 필수적으로 사용되어야 한다. 특히 MF60급 이상의 혼합유에서는 본 연구에서 사용된 MCH 또는 Purifier와 같은 혼합유 전처리장치를 설치하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

동 연구는 급격한 유가상승으로 인하여 어업 경영에 여러 가지 어려움을 겪고 있는 수산업계의 당면한 애로사항을 해결하고자 기존선에 경유를 혼합유로 변경하여 사용하는 방법에 대하여 연구하였다. 지금 2008년 11월 현재 유가는 하락세를 보이면서 배럴당 50달러 미만까지 내려 갔으나, 화석연료는 언젠가는 고갈될 것이라고 전문가들은 예측하고 있어, 멀지 않은 미래에 2008년 7월과 같이 유가가 140달러대를 넘어설 것이다. 이러한 시점을 대비하여 대체에너지들이 개발되고 있으므로 완전한 대체에너지가 개발되기 전까지 동연구의 결과가 과도기적인 상황에서 유가문제의 해결책으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 연구개발 결과의 활용계획

현재 수산업계는 유가상승 및 조업환경 등의 변화로 재정적 어려움을 겪고 있어, 혼합유 사용시스템을 설치하지 못하는 영세어민, 선주 및 선사들이 국가의 재정적 지원을 받아 혼합유 전처리 장치를 설치할 수 있도록 본연구의 결과를 정부에 건의 할 계획이다(이미 '09년 정부예산에 반영하여 동계획은 달성되었음).

또한, 동연구의 결과를 어선뿐만 아니라 일반 소형선박에도 가능한한 적용하고, 육상 자가발전 시설에서도 동연구결과가 활용될 수 있도록 그 활용 범위를 확대토록 추진한다.

한편, 동 연구자료는 차세대 연구자들의 추가연구 및 대체 에너지 등의 개발과 교육 자료로 활용될 수 있도록 조치한다.

# 목 차

요 약 문	i
I. 제 목	i
II. 연구개발의 목적 및 필요성	i
III. 연구개발 내용 및 범위	v
IV. 연구개발 결과	vii
V. 연구개발 결과의 활용계획	viii
제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발의 목적	3
제2절 연구개발의 필요성	3
1. 기술적 측면	3
2. 경제·산업적 측면	4
3. 사회·문화적 측면	6
제3절 연구개발의 범위	8
1. 혼합연료유 사용한계치 검증	8
2. 전처리 시스템 표준화	8
3. 부식 및 마모 정도확인	9
4. 경제성분석	9
5. 선박에서 배출되는 배기가스 규제동향 분석	9
제 2 장 국내의 기술개발 현황 및 과학기술정보	11
1. 국외 기술개발 현황	13
2. 국내 기술개발 현황	13
3. 과학기술정보	13
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	27
제1절 혼합연료유 사용한계치 검증	29

1. 시험장치 .....	29
2. 혼합 연료유 .....	40
3. 혼합유 연소시험 .....	151
4. 엔진 성능 분석 .....	181
제2절 혼합유의 부식 및 마모 .....	219
1. 시험연료 변화에 따른 금속의 부식경향 분석 .....	219
2. 혼합연료유 사용에 따른 부식 및 마모정도 .....	293
제3절 전처리 장치 시스템 표준화 .....	305
1. 연료저장 탱크 .....	305
2. 여과기(1~3차) .....	308
3. Pump 및 Motor .....	313
4. MCH(Mixing Clean Heater, 교반기열장치) .....	314
5. Purifier .....	316
6. 시스템 구성 .....	319
제4절 경제성 분석 .....	327
1. 연구대상 주요 업종의 조업형태 분석 .....	327
2. 어선의 연료소비량 분석 .....	358
3. 실험선박(투리스 79호)의 손익 분석 .....	365
제5절 혼합유 사용을 위한 운전 매뉴얼 .....	370
1. 혼합유 사용에 따른 기관운전 .....	370
2. 혼합연료유의 보관 .....	375
3. 선내간이 연유 혼합장치 설치 .....	376
4. 혼합유의 정제 .....	377
5. 기타 혼합유 사용상의 유의사항 등 .....	377
제6절 선박에서 배출되는 배기가스의 국제동향 및 대응방안 .....	379
1. 국제해사기구(IMO)의 배기가스규제 동향 분석 .....	379
2. 혼합유의 사용에 따른 NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , Smoke 발생량과 국제기준 부합여부 분석 .....	398
3. 대응방안 검토 .....	399

<b>제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b> .....	<b>403</b>
1. 연구개발 목표달성도.....	405
2. 관련분야의 기여도.....	406
<b>제 5 장 연구개발결과의 활용계획</b> .....	<b>409</b>
1. 추가 연구의 필요성.....	411
2. 연구결과의 활용.....	411
<b>제 6 장 참고문헌</b> .....	<b>413</b>

<표 차례>

표 1 경유 및 혼합유 등급별 국내유가 현황	5
표 2 무궁화 24호 제원	30
표 3 무궁화 24호 주기관 사양	30
표 4 무궁화 24호 보조기관 사양	31
표 5 제702 오룡호 제원	32
표 6 제702 오룡호 보조기관 사양	32
표 7 투리스 79호 주기관 사양	33
표 8 투리스 79호 제원	33
표 9 Specification of portable NOx Analyzer	35
표 10 Specification of Smoke Analyzer(AVL 415S)	37
표 11 한반도호 F.O Purifier 사양	38
표 12 F.O Purifier 사양	39
표 13 선박용 연료유의 분류화	41
표 14 선박유출 연료 규격	42
표 15 선박잔사연료 규격(1)	43
표 16 선박잔사연료 규격(2)	44
표 17 시험유 MGO 및 MDO 특성	47
표 18 시험유 Bunker A의 특성	47
표 19 시험유 MF 15의 특성	48
표 20 시험유 MF 60의 특성	48
표 21 시험유 MF 100의 특성	49
표 22 시험유 MF 150 및 MF 180의 특성	49
표 23 시험유 MGO 및 MDO 특성	51
표 24 시험유 Bunker A의 특성	51
표 25 시험유 MF 15의 특성	52
표 26 시험유 MF 60의 특성	52
표 27 시험유 MF 100, 150 및 180의 특성	53

표 28	시료유 분석 결과 .....	55
표 29	투리스 79호 시험연료 유성상 분석.....	86
표 30	Rate of blending oil by cSt 380 and MGO.....	152
표 31	The arranged blending oil for testing.....	153
표 32	Rate of blending oil by cSt 380 and MGO.....	175
표 33	MF 60의 평균온도 변화.....	181
표 34	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)	182
표 35	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)	183
표 36	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)	184
표 37	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)	185
표 38	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)	186
표 39	MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)	187
표 40	MF 100의 평균온도 변화.....	188
표 41	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)	189
표 42	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)	190
표 43	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)	191
표 44	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)	192
표 45	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)	193
표 46	MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)	194
표 47	전처리장치별 부하별 최고 온도차.....	195
표 48	전처리 시스템.....	196
표 49	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.1 Cyl).....	199
표 50	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.2 Cyl).....	201
표 51	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.3 Cyl).....	202
표 52	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.4 Cyl).....	203
표 53	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.5 Cyl).....	204
표 54	부하별 실린더 Pmax 변화(NO.6 Cyl).....	205
표 55	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.1 Cyl.).....	206
표 56	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.2 Cyl.).....	207

표 57	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.3 Cyl.)	208
표 58	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.4 Cyl.)	209
표 59	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.5 Cyl.)	210
표 60	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.6 Cyl.)	211
표 61	부하별 배기온도 변화(제702 오룽호)	216
표 62	부하별 배기온도 변화(투리스 79호)	217
표 63	부하별 Pmax 변화(투리스 79호)	218
표 64	사용된 유류의 혼합비 비교	219
표 65	사용된 금속 재료의 화학조성 비교	220
표 66	침적 실험 절차	221
표 67	다양한 유종과 금속재료에 대한 침적 실험 시 1개월과 3개월의 종합 비교	278
표 68	다양한 유종과 금속재료에 대한 침적 실험 시 6개월과 9개월의 종합 비교	279
표 69	라이너 마모도 계측치	295
표 70	어업종류별 어선세력	330
표 71	연안어업 어선의 규모	331
표 72	근해어업 어선의 규모	332
표 73	근해어선의 기관제조사별 연료소비율	358
표 74	Typical best specific fuel oil consumption value[g/kWh]	359
표 75	동력어선의 선령별 등록현황	360
표 76	기관공사 수리단가	362
표 77	재료비 산출내역	363
표 78	기관정비작업	364
표 79	투리스 79호 주기관 연료소비량	365
표 80	혼합연료유 가격	365
표 81	투리스 79호 부품 단가	366
표 82	투리스 79호의 연료비	367
표 83	혼합유(MF30)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대	

비	재료비 차액	367
표 84	혼합유(MF60)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대비 재료비 차액	368
표 85	혼합유(MF100)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대비 재료비 차액	368
표 86	투리스 79호 경유대비 수리정비 노무비 차액	369
표 87	투리스 79호의 연료비 절감효과	369
표 88	혼합연료의 적정온도 범위	370
표 89	MEPC(해양환경보호 위원회) 회의	380
표 90	BLG(산적액체 및 가스 전문위원회) 회의 및 중간 회의	380
표 91	Tier III의 적용을 위한 3가지 Option	382
표 92	NOx 배출규제 Tier I ~ Tier III	383
표 93	Tier I 대비 Tier II의 NOx 규제치	384
표 94	Tier I 대비 Tier III의 NOx 규제치	384
표 95	Long-term measures	387
표 96	Short-term measures	387
표 97	MEPC 56차에 제출한 SOx 규제에 대한 의견	392
표 98	MEPC 57차에서 결정된 SOx 규제에 대한 의견	393
표 99	IMO 및 EU내 선박용 연료유의 황 배출규제	393
표 100	미국내 선박용 연료유의 황 배출규제치와 인센티브	394
표 101	NOx 배출규제 Tier I ~ Tier III	398
표 102	MEPC 57차에서 결정된 SOx 규제에 대한 의견	399

<그림 차례>

그림 1 2008년도 유가변동 추이	4
그림 2 유가변동 추이	4
그림 3 유가가 산업에 미치는 영향 조사자료	6
그림 4 시험선 무궁화 24호	29
그림 5 무궁화 24호 주기관	30
그림 6 시험선 제702오룡호	31
그림 7 시험선 투리스 79호	33
그림 8 NOx analyzer(EXSA-240CL)	34
그림 9 Installing of probe for NOx analyzer	34
그림 10 Smoke Meter(AVL 415S)	36
그림 11 Smoke Analyzer	36
그림 12 Installing of probe for Smoke analyzer	37
그림 13 Purifier(무궁화 24호에 사용)	38
그림 14 Purifier(제702 오룡호에 사용)	39
그림 15 MCH(Mixing Clean Heater)	40
그림 16 전처리장치에 의한 시험유 동점도 변화	45
그림 17 시험유별 총발열량	46
그림 18 전처리 시스템에 의한 Ai 및 Si 감소추이	50
그림 19 MDO 비중시험 결과 (TS2~TS7)	57
그림 20 MF15 비중시험 결과 (TS8~TS15)	58
그림 21 Bunker A 비중시험 결과 (TS11~TS14)	59
그림 22 MF60 비중시험 결과 (TS15~TS18)	60
그림 23 MF100, MF150 및 MF180 비중시험 결과 (TS19~TS24)	61
그림 24 MDO 동점도시험 결과 (TS2~TS7)	62
그림 25 MF15 동점도시험 결과 (TS8~TS15)	63
그림 26 Bunker A 동점도시험 결과 (TS11~TS14)	64
그림 27 MF60 동점도시험 결과 (TS15~TS18)	65
그림 28 MF100, MF150 및 MF180 동점도시험 결과 (TS19~TS24)	66

그림 29	MDO 유동점시험 결과 (TS2~TS7)	67
그림 30	MF15 유동점시험 결과 (TS8~TS10)	68
그림 31	Bunker A 유동점시험 결과 (TS11~TS14)	69
그림 32	MF60 유동점시험 결과 (TS15~TS18)	70
그림 33	MF100, MF150 및 MF180 유동점시험 결과 (TS19~TS24)	71
그림 34	MDO 인화점시험 결과 (TS2~TS7)	72
그림 35	MF15 인화점시험 결과 (TS8~TS15)	73
그림 36	Bunker A 인화점시험 결과 (TS11~TS14)	74
그림 37	MF60 인화점시험 결과 (TS115~TS18)	75
그림 38	MF100, MF150 및 MF180 인화점시험 결과 (TS19~TS24)	76
그림 39	MDO 수분시험 결과 (TS2~TS7)	77
그림 40	MF15 수분시험 결과 (TS8~TS10)	78
그림 41	Bunker A 수분시험 결과 (TS11~TS14)	78
그림 42	MF60 수분시험 결과 (TS115~TS18)	79
그림 43	MF100, MF150 및 MF180 수분시험 결과 (TS19~TS24)	80
그림 44	MDO 황분시험 결과 (TS2~TS7)	81
그림 45	MF15 황분시험 결과 (TS8~TS10)	82
그림 46	Bunker A 황분시험 결과 (TS11~TS14)	83
그림 47	MF60 황분시험 결과 (TS115~TS18)	84
그림 48	MF100, MF150 및 MF180 황분시험 결과 (TS19~TS24)	85
그림 49	MDO 혼합안정성시험 사진 (TS2~TS7)	87
그림 50	MF15 혼합안정성시험 사진	89
그림 51	Bunker A 혼합안정성시험 사진	90
그림 52	MF60 혼합안정성시험 사진	91
그림 53	MF100, MF150 및 MF180 혼합안정성시험 사진	92
그림 54	혼합안정성시험 결과 (TS8~TS18)	93
그림 55	TS2 100배	94
그림 56	TS5 100배	95
그림 57	TS6 100배	95

그림 58 TS7 100배	96
그림 59 TS2 200배	97
그림 60 TS4 200배	97
그림 61 TS5 200배	98
그림 62 TS6 200배	98
그림 63 TS7 200배	99
그림 64 TS2 400배	100
그림 65 TS4 400배	101
그림 66 TS4 400배	101
그림 67 TS6 400배	102
그림 68 TS5 400배	102
그림 69 TS6 400배	103
그림 70 TS9 400배	103
그림 71 TS7 400배	104
그림 72 TS8 100배	105
그림 73 TS9 100배	105
그림 74 TS10 100배	106
그림 75 TS8 200배	107
그림 76 TS9 200배	107
그림 77 TS10 200배	108
그림 78 TS8 400배	109
그림 79 TS9 400배	109
그림 80 TS10 400배	110
그림 81 TS11 100배	111
그림 82 TS12 100배	111
그림 83 TS13 100배	112
그림 84 TS14 100배	112
그림 85 TS11 200배	113
그림 86 TS12 200배	114

그림 87 TS13 200배	114
그림 88 TS14 200배	115
그림 89 TS11 400배	116
그림 90 TS12 400배	116
그림 91 TS13 400배	117
그림 92 TS14 400배	117
그림 93 TS15 100배	118
그림 94 TS16 100배	119
그림 95 TS17 100배	119
그림 96 TS18 100배	120
그림 97 TS15 200배	121
그림 98 TS16 200배	121
그림 99 TS17 200배	122
그림 100 TS18 200배	122
그림 101 TS15 400배	123
그림 102 TS16 400배	124
그림 103 TS17 400배	124
그림 104 TS18 400배	125
그림 105 TS19 100배	126
그림 106 TS20 100배	127
그림 107 TS21 100배	127
그림 108 TS22 100배	128
그림 109 TS23 100배	128
그림 110 TS24 100배	129
그림 111 TS19 200배	130
그림 112 TS20 200배	130
그림 113 TS21 200배	131
그림 114 TS22 200배	131
그림 115 TS23 200배	132

그림 116 TS24 200배 .....	132
그림 117 TS19 400배 .....	134
그림 118 TS20 400배 .....	134
그림 119 TS21 400배 .....	135
그림 120 TS22 400배 .....	135
그림 121 TS23 400배 .....	136
그림 122 TS24 400배 .....	136
그림 123 Typical batch blending System .....	139
그림 124 전형적인 In-Line Blending System .....	141
그림 125 Skid에 의해 터미널에 설치된 in-line blending 장치 .....	141
그림 126 trailer에 설치된 in-line blending 장치 .....	142
그림 127 skid에 의해 barge에 설치된 in-line blending 시스템 .....	142
그림 128 static mixer .....	145
그림 129 혼합루프 .....	145
그림 130 혼합유의 계측 .....	147
그림 131 Bunker 출하도면 .....	148
그림 132 혼합비율 설정 화면 .....	149
그림 133 혼합비 계산 .....	149
그림 134 혼합장치 .....	150
그림 135 Mugungwha No. 24(Testing ship) .....	154
그림 136 AVL smoke meter .....	154
그림 137 Horiba NOx analyzer .....	155
그림 138 G/E and M/E probes for NOx and smoke measuring .....	155
그림 139 NOx emission for main engine using testing fuel by P and M .....	158
그림 140 NOx emission for main engine using Bunker A by P+M .....	158
그림 141 NOx emission for main engine using MDO+B/A by P+M .....	159

그림 142	NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF15 by P+M	159
그림 143	NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF60 by P, M & P+M	160
그림 144	NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF100 by P, M & P+M	160
그림 145	FSN for main engine using testing fuel by P+M	163
그림 146	FSN for main engine using MGO	163
그림 147	FSN for main engine using Bunker A by P+M	164
그림 148	FSN for main engine using MDO by P+M	164
그림 149	FSN for main engine using MF15 by P+M	165
그림 150	FSN for main engine using MF60 by P, M & P+M	165
그림 151	FSN for main engine using MF100 by P, M & P+M	166
그림 152	NO <sub>x</sub> emission for generator engine using MDO by P, M & P+M	168
그림 153	NO <sub>x</sub> emission for generator engine using B/A	169
그림 154	NO <sub>x</sub> emission for generator engine using MF15	169
그림 155	FSN for generator engine using MDO	171
그림 156	FSN for generator engine using Bunker A by P, M & P+M	172
그림 157	FSN for generator engine using MF15 by P, M & P+M	172
그림 158	Soot concentration for generator engine using MDO by F, P, M & P+M	173
그림 159	Soot concentration for generator engine using Bunker A by P, M & P+M	173
그림 160	Soot concentration for generator engine using MF15	174
그림 161	Toolees No. 79(Testing ship)	176
그림 162	Horiba NO <sub>x</sub> analyzer & AVL smoke meter	176
그림 163	M/E probe for NO <sub>x</sub> and smoke measuring	177
그림 164	Blending oil(MF60, MF150 & MF180) for testing	177

그림 165	NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M	178
그림 166	Smoke Number(FSN) for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M	180
그림 167	Soot concentration for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M	180
그림 168	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)	182
그림 169	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)	183
그림 170	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)	184
그림 171	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)	185
그림 172	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)	186
그림 173	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)	187
그림 174	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)	189
그림 175	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)	190
그림 176	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)	191
그림 177	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)	192
그림 178	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)	193
그림 179	정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)	194
그림 180	무부하 시 전처리장치별 배기온도 변화	196
그림 181	1/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화	197
그림 182	1/2 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화	197
그림 183	3/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화	198
그림 184	4/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화	198
그림 185	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.1 Cyl.)	200
그림 186	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.2 Cyl.)	201
그림 187	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.3 Cyl.)	202
그림 188	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.4 Cyl.)	203
그림 189	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.5 Cyl.)	204
그림 190	부하별 실린더 P <sub>max</sub> 변화(NO.6 Cyl.)	205

그림 191	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.1 Cyl.)	206
그림 192	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.2 Cyl.)	207
그림 193	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.3 Cyl.)	208
그림 194	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.4 Cyl.)	209
그림 195	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.5 Cyl.)	210
그림 196	부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.6 Cyl.)	211
그림 197	무부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화	212
그림 198	1/4 부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화	213
그림 199	1/2부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화	213
그림 200	3/4부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화	214
그림 201	4/4 부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화	214
그림 202	부하별 배기온도 변화(제702 오류호)	215
그림 203	부하별 배기온도 변화(투리스 79호)	217
그림 204	부하별 Pmax 변화(투리스 79호)	218
그림 205	MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상	225
그림 206	MGO에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상	226
그림 207	MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상	227
그림 208	MGO에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상	228
그림 209	MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상	229
그림 210	MGO에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상	230
그림 211	MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편형상	231
그림 212	MGO에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험	

후 시편 형상.....	232
그림 213 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	234
그림 214 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	235
그림 215 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	236
그림 216 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	237
그림 217 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	238
그림 218 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	239
그림 219 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	240
그림 220 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	241
그림 221 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	243
그림 222 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	244
그림 223 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	245
그림 224 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	246
그림 225 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	247
그림 226 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	248

그림 227	MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	249
그림 228	MF60에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	250
그림 229	MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	252
그림 230	MF100에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	253
그림 231	MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	254
그림 232	MF100에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	255
그림 233	MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	256
그림 234	MF100에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	257
그림 235	MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	258
그림 236	MF100에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	259
그림 237	MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	261
그림 238	MF150에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	262
그림 239	MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	263
그림 240	MF150에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	264
그림 241	MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상.....	

	협 후 시편 형상.....	265
그림 242	MF150에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	266
그림 243	MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	267
그림 244	MF150에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	268
그림 245	MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	270
그림 246	MF180에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	271
그림 247	MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	272
그림 248	MF180에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	273
그림 249	MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	274
그림 250	MF180에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	275
그림 251	MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	276
그림 252	MF180에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시 협 후 시편 형상.....	277
그림 253	다양한 유류 종류 별 SS400강을 1개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	281
그림 254	다양한 유류 종류 별 SS400강을 3개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	282
그림 255	다양한 유류 종류 별 SS400강을 6개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	283

그림 256	다양한 유류 종류 별 SS400강을 9개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	284
그림 257	다양한 유류 종류 별 SS400강에 대하여 시간 경과에 따른 소모율 비교 .....	285
그림 258	다양한 유류 종류 별 공구강을 1개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	287
그림 259	다양한 유류 종류 별 공구강을 3개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	288
그림 260	다양한 유류 종류 별 공구강을 6개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	289
그림 261	다양한 유류 종류 별 공구강을 9개월 동안 침적 후 소모 율 비교.....	290
그림 262	다양한 유류 종류 별 공구강에 대하여 시간 경과에 따른 소모율 비교.....	291
그림 263	전처리장치인 MCH 설치장면.....	293
그림 264	투리스 79호에 설치된 MCH.....	293
그림 265	투리스 79호 배기가스 계측장면.....	294
그림 266	투리스 79호 연소상태 계측 Pmax 계측.....	294
그림 267	라이너 계측 위치.....	295
그림 268	라이너 마모계측 장면.....	296
그림 269	Bore gauge.....	296
그림 270	개방 직 후 연소실 내부.....	297
그림 271	개방 직 후 연소실 내부 .....	297
그림 272	연소실 청소 후 연소실 내부.....	298
그림 273	연소실 청소 후 연소실 내부.....	298
그림 274	10일 사용한 배기밸브.....	299
그림 275	20일 사용한 배기밸브.....	300
그림 276	배기밸브.....	300
그림 277	배기 밸브 시트.....	301

그림 278	배기밸브 시트 비교 .....	301
그림 279	연료분사 장치 .....	302
그림 280	노즐 앞부분 .....	303
그림 281	노즐의 카본 축적 정도 .....	303
그림 282	노즐 및 니들 밸브 .....	304
그림 283	노즐 분사 상태 .....	304
그림 284	탱크내에 쌓인 슬러지 .....	306
그림 285	탱크가열장치(방폭형이어야 함) .....	306
그림 286	간접식 가열방법 .....	307
그림 287	직접식 가열방법 .....	307
그림 288	부분가열 방법 .....	308
그림 289	금속망식 여과기 .....	309
그림 290	연구자석에 붙은 금속물질 .....	310
그림 291	2차 여과기 .....	310
그림 292	3차 여과기 .....	311
그림 293	적층 금속판 자동소제식 여과기 .....	312
그림 294	노치와이어식 여과기 .....	313
그림 295	연료이송 펌프 .....	313
그림 296	교반가열장치(M.C.H.)의 단면도 .....	314
그림 297	와류충돌판(Friction Plate) 분해도 .....	315
그림 298	가열장치(Heater) 외관도 .....	316
그림 299	원심분리 .....	316
그림 300	원심식 Purifier의 정제 원리 .....	317
그림 301	Purifier 내부 구조도 .....	318
그림 302	Purifying system 계통도 .....	323
그림 303	M.C.H. system 계통도 .....	324
그림 304	선내간이 혼합장치를 포함하여 구성한 M.C.H. system 계 통도 .....	325
그림 305	Purifying + M.C.H. system 계통도 .....	326

그림 306 수산업법상 분류 .....	327
그림 307 트롤 및 저인망 어선의 주기관 .....	353
그림 308 오징어 채낚기 어선의 조업도 .....	354
그림 309 채낚기어선의 주기관 구동에 의한 전력공급 배치 .....	355
그림 310 안강망 어선의 어업기계 배치도 .....	356
그림 311 워기어 방식 사이드 드럼 .....	357
그림 312 증유의 전형적인 온도/점도 그래프 .....	371
그림 313 NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF60 by P, M & P+M .....	373
그림 314 NO <sub>x</sub> emission for main engine using MF100 by P, M & P+M .....	374
그림 315 FSN for main engine using testing fuel by P+M .....	374
그림 316 IMO Tier 2 & 3에서 NO <sub>x</sub> 저한값 .....	385
그림 317 대기중 년도별 CO <sub>2</sub> 농도 .....	388
그림 318 대기중 CO <sub>2</sub> 농도에 따른 지구의 평균온도 .....	388
그림 319 선박용 원동기별 열효율 .....	389
그림 320 MAN diesel 4 stroke engines NO <sub>x</sub> 배출량 수준 .....	389
그림 321 2000년도 분야에따른 CO <sub>2</sub> emission 분포도 .....	390
그림 322 교통수단에 따른 PM 발생량의 추이 .....	395
그림 323 NO <sub>x</sub> 를 줄이기 위한 선택적환원촉매 장치 .....	400
그림 324 직접 물분사시스템 .....	400
그림 325 SO <sub>x</sub> 을 줄이기 위한 'Bubble-bath' Scrubber .....	401
그림 326 SO <sub>x</sub> Scrubber .....	401

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

여 백

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발의 목적

『어선연료비 절감을 위한 저급유 사용시스템 표준화 등에 관한 연구』는 지속적인 유가상승으로 인한 채산성 악화로 어민들이 어업을 포기하고 또한 지역경제의 침체로 이어지는 사회·경제적 문제를 야기하고 있어, 수산업계의 어려움을 해결하는 방안으로 어업비용 중 22%를 차지하는 연료비를 절감하여 수산업 및 지역사회에 기여할 수 있도록 기존의 경유를 사용하고 있는 선박에 비교적 값이 싼 혼합유를 사용하여 어업비용을 감소시키는 것이 동연구의 궁극적인 목적이다.

## 제2절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

- 2005년도 해양수산부 민간자율화 사업으로 추진된 『어선 연료비 절감 모델시스템 연구개발』 과제를 통하여 MF 30급 혼합유의 사용 가능성을 확인하였으나, 연구기간 등의 제약이 있어 일부 특정선박(대서양 트롤어선, 저인망어선)에 대하여만 연구가 수행되었었다.
- 또한, 혼합유의 사용 한계치를 검증하기 위하여 시험선을 선정하고, MF180급 혼합유까지 연소시험을 행하면서 배기가스(NOx) 발생량과 Smoke 발생량을 측정하여 기존 경유 사용 시와 비교하여 환경적인 문제에 대한 기술자료 축적이 필요하였음.
- 장기적인 저급 혼합유 사용에 따른 엔진에 미치는 영향중 부식(Corrosion)과 마모에 대한 기술자료를 수집하여, 연료유가 조악해짐에 따라 엔진운영 및 관리대책이 필요하였음.

## 2. 경제 · 산업적 측면

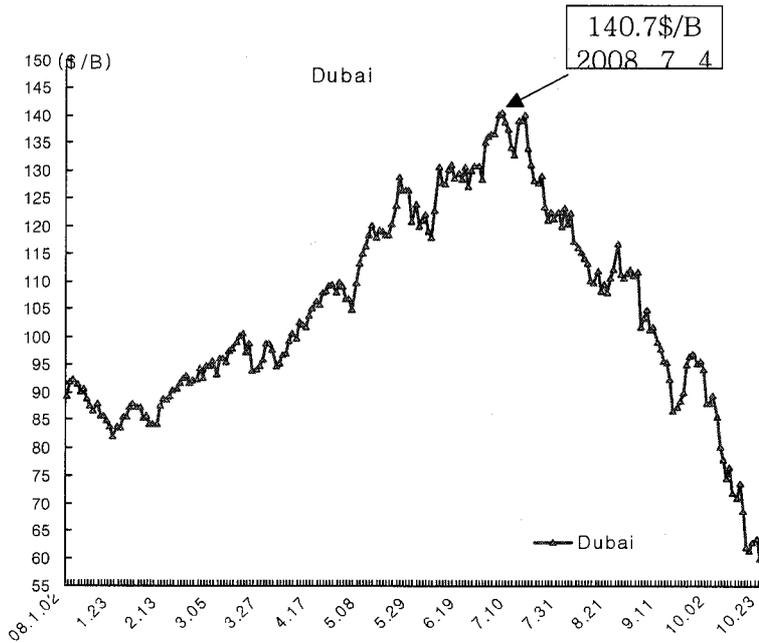


그림 1 2008년도 유가변동 추이

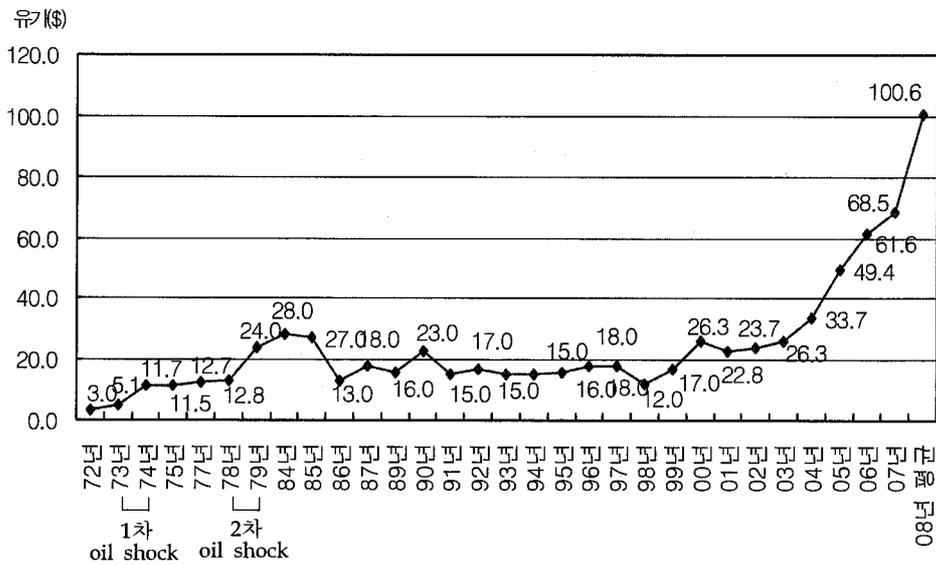


그림 2 유가변동 추이

- 2006년 배럴당 61.6달러, 2007년 68.5달러 수준이었던 원유가가 2008년 11월까지의 평균 110.6달러까지 상승하였다. 2008년 7월에는 140.7달러까지 상승하였다가 11월 19일 현재 45.89달러로 하락하였다. 이러한 유가의 상승으로 인해 수산업계에서는 고기를 잡아도 적자이기 때문에 아예 출어를 포기하고 있는 선박들도 있는 실정이었다.

표 1 경유 및 혼합유 등급별 국내유가 현황

구분	경유 (고유황)	MF30	MF60	MF80	MF100	MF120	MF150	MF180
유가 (천원)	566	379	360	345	335	327	317	310
대비율(%)	100	67	64	61	59	58	56	55

(2005년 11월 현재, kl당)

- 그림 1 ~ 2에서 보이는 것과 같이 1~2차 석유 파동 이후에 안정세를 보이던 유가가 2002년 23.7(\$/B)에서 2008년 7월에는 140.7(\$/B)까지 4배의 급 상승세를 보이고 있다. 이러한 유가상승은 산업계 전반에 걸쳐 채산성악화를 초래하였다. 특히, 어족자원의 고갈, 배타적 경제수역 지정, 어획량 쿼터제 등의 호의적이지 않은 상황으로 수산업 경기는 해를 거듭할 수로 침체되어 가고 있으며, 유류비 부담은 어업인들로 하여금 출어를 포기하는 등의 심각한 문제를 양산하고 있다.
- 2005년 해양수산부 민간자율화사업으로 진행된 『연료비 절감 모델 시스템 연구개발』 과제의 결과에서 MF30급 혼합유의 사용 가능성을 확인하였고 그때당시 MF30급 혼합유는 표 1에서와 같이 경유 가격의 약 67% 수준인 혼합유를 사용할 수 있게 되었으나, 지속적인 유가상승은 이러한 효과를 감소시켜 더욱 경제적인 혼합유의 사용이 필요하게 되었다.

### 3. 사회·문화적 측면

- 국제 유가의 지속적인 상승은 석유자원을 수입에 의존하고 있는 우리나라와 같은 국가 경제에서는 위협적 요소이며, 원자재가격의 상승을 유발하여 산업계 전반에 악영향을 미치고 있다.

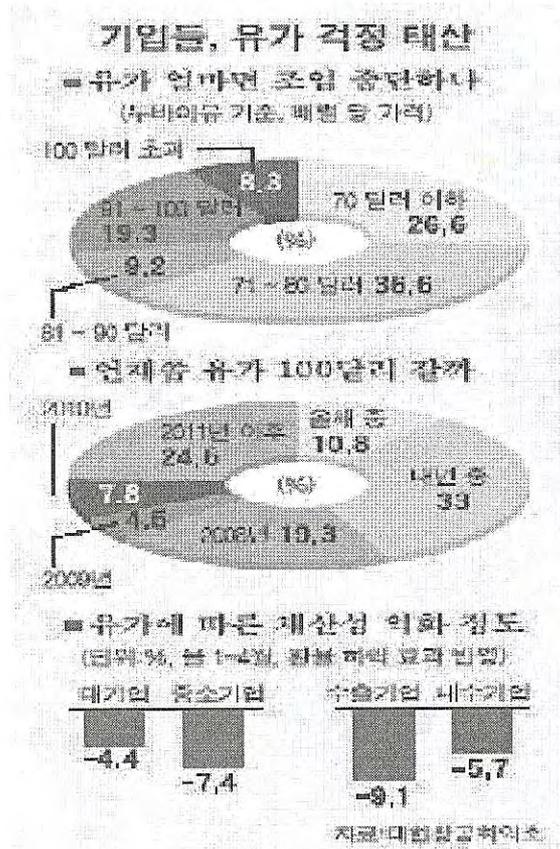


그림 3 유가가 산업에 미치는 영향 조사자료

- 그림 3의 2006년 대한상공회의소의 자료에 따르면, 두바이 유가 기준으로 유가가 배럴당 80\$를 초과할 경우 조업을 중단하겠다고 한 기업은 설문조사 기업 중 63.2%로 2007년 10월 현재 두바이 유가는 배럴당 80.5\$로 80달러를 넘어섰으며, 2008년 7월에는 140\$까지 상승하여 국내 기업의 경영난을 가중시켰다. 이러한 대외적인 장애 요인의 제거를 위한 에너지의 효율적인 이용

과 에너지 대체산업의 육성이 필요하나, 기존의 화석에너지를 사용하는 기계설비들은 갑자기 대체에너지를 이용한 설비로 교체되기에는 많은 시간과 비용이 투자되어야함으로 대체에너지의 개발과 새로운 에너지원으로의 전환을 위한 과도기적인 기간 동안에는 기존의 에너지를 효율적으로 이용하고 관리할 필요가 있다. 그러므로 현재 수산업 분야에서 실현 가능한 상황들을 고려하여 수산업 경기 침체와 유가상승으로 인한 국민고충을 해결할 수 있는 조치 마련과 관련 업계의 기술력 향상을 통한 국가 경쟁력 제고의 계기 마련이 필요하다.

## 제3절 연구개발의 범위

### 1. 혼합연료유 사용한계치 검증

경유를 대신하여 사용가능한 혼합연료의 사용 가능한계치를 검증하기 위하여 동해어업 지도사무소 소속 무궁화 24호(138톤급 트롤어선으로 사용되었던 선박을 183톤급 어업지도선으로 개조한 선박), (주)사조산업 소속 384톤급 참치 연승어선 제702 오룡호 및 (주)투리스 소속 트롤어선 500톤급 투리스 79호의 3선박에 대하여 MDO, MF 15, Bunker A, MF 60, MF100, MF 150 및 MF 180의 시험연료로 연소시험을 실시하여 엔진의 배기가스 및 작동상태 계측을 하였다. 시험결과 배기가스 측면에서는 50%이상의 부하에서는 경유의 연소시와 비슷한 배기가스 발생특성을 보였으며, 엔진 작동상태 측면에서는 연소실 최고압력 및 배기온도가 다소 높게 나타났으나 허용한계치를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

### 2. 전처리 시스템 표준화

혼합유 사용을 위해서는 혼합유가 경유의 특성에 가깝도록 만들어주는 전처리 장치가 필요하다. 이러한 전처리장치의 시스템을 구성하기 위해서는 먼저 혼합유 저장탱크가 갖추어져야하고 여기에는 경유에서는 필요치 않는 가열장치를 설치하여야한다. 또한 혼합유는 점도가 경유보다는 훨씬 높기 때문에 저장탱크에서 이송하기 위해서는 배관의 크기도 경유의 사용 시 보다는 직경이 커야하고, 혼합유에 포함되어져 있는 슬러지 및 엔진의 마모를 촉진하는 성분을 걸러내기 위하여 연료를 미립화하는 장치와 연료속의 이물질 제거할 수 있는 여과장치를 설치하여야한다. 이러한 시스템을 제3절에서 연구하였다.

### 3. 부식 및 마모 정도확인

혼합유 사용에 있어서 가장 큰 문제점은 혼합유에 포함되어져 있는 Al, Si 성분 등의 금속분에 의한 실린더 라이너 및 피스톤 링의 마모와 불완전 연소 등에서 발생하는 카본 축적물 등에 의한 배기밸브 등의 손상과 노즐 팁에 카본의 축적 등으로 인한 연료의 불완전한 분사에 의한 문제점이 본 연구에서 가장 큰 문제로 파악되었다. 이러한 부분에 대하여 실제 선박에서 혼합유 MF60을 4개월가량 사용하고 연소실내의 마모 및 카본의 축적정도를 확인하였고, 혼합연료에 의한 금속의 부식정도를 확인하기 위하여 실험실에서 9개월간 선박용 엔진에 사용되는 금속으로 부식의 진척정도에 대하여 실험하였다.

### 4. 경제성분석

혼합연료의 사용으로 인하여 연료비의 절감은 가져올 수 있으나, 경유에 비하여 정비주기의 단축과 연소계통의 수명을 단축하는 단점이 있다. 그럼으로 연료비의 절감과 엔진의 정비등으로 들어가는 비용에 대한 경제성에 대하여 분석하였다.

### 5. 선박에서 배출되는 배기가스 규제동향 분석

국제해사기구(IMO)에서 진행 중인 선박으로부터 배출되는 배기가스 저감규제의 동향과약을 위하여 IMO의 위원회인 해양환경보호위원회(MEPC) 회의에 참여하였고, 관련 규정등을 분석조사하였으며, 배기가스 저감을 위해 각국에서 개발중인 저감 장치들의 기술과 방법들을 조사·분석하였다.

여 백

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

여 백

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

### 1. 국외 기술개발 현황

국외의 경우는 1~2차 석유파동을 거치면서 대형엔진에서 Bunker C를 사용할 수 있도록하는 연구가 엔진 제조사에서 이루어지고 있으나, 기존의 경유를 사용하는 엔진을 개조하지 아니하고 외부 장치만을 이용하여 저급혼합유를 사용하는 연구는 이루지고 있지않은 것으로 알려져 있으나 사례조사가 필요할 것으로 사료됨

### 2. 국내 기술개발 현황

국내의 경우는 2005년도 해양수산부 민간자율화 지원사업으로 추진된 “어선연료비 절감 모델시스템 연구 개발”에서 저급혼합유 MF30급의 사용가능성을 확인하였음. 그러나 연구 대상이 일부 대서양 트롤어선에 국한되어 어선의 조업형태가 다른 원양어선에는 적용하기가 어려운 실정임.

### 3. 과학기술정보

#### 가. 원유의 구성 및 성분

수록한 내용은 인터넷(<http://blog.daum.net/matecho/6749060>)에 검색된 내용으로서 추후 동 연구에서 각 파트마다 용어의 정의 시험방안의 해석, 시험결과의 비교분석 및 평가 방안 및 그 결과의 분석 등에 활용된다.

원유는 땅속에서 자연상태로 존재하는 기름으로 갈색에서 검은색을 띠는 가연성 액체이다. 원유는 퇴적층에서 발견되며, 해양동식물의 잔해가 높은 압력과 열을 받아 열분해되어 있는 상태라는 설이 유력하다. 유정의 종류에 따라 원유의 구성 성분도 크게 다르지만 모든 원유는 탄화수소로 이루어져 있고 거기에 산소, 질소, 황 등이

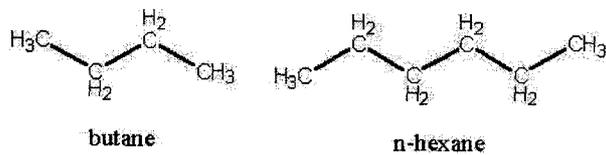
혼합되어 있는 형태이다. 그 외에도 무기염이나 유기금속화합물의 형태로 금속이 소량 존재하기도 한다.

원유는 수백 가지가 넘는 다양한 물질들의 혼합체이며, 부식성 물질들이 많이 포함되어 있기 때문에 원유 자체를 그대로 사용할 수는 없다. 따라서 석유 정제과정을 거쳐야 하며 이를 통해 수많은 중간체가 생성되고 최종적인 석유화학 제품이 만들어진다.

원유는 자연상태에서 포화탄화수소인 알칸(Alkane)의 형태로 존재한다. 알칸은 화학식이  $C_nH_{2n+2}$  형태이며 단일결합으로만 이루어진 탄소와 수소의 결합물질이다. 가지가 없는 선형(직선은 아니다) 알칸을 노르말알칸(n-alkane)이라고 하며, 가지가 붙는 형태에 따라 다양한 형태의 이성질체(isomer)가 형성된다. 고리모양으로 결합된 알칸은 사이클로알칸(cycloalkane)이라 부른다.

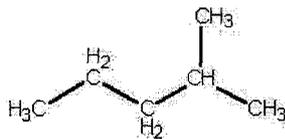
## Alkanes

(=paraffins)



butane

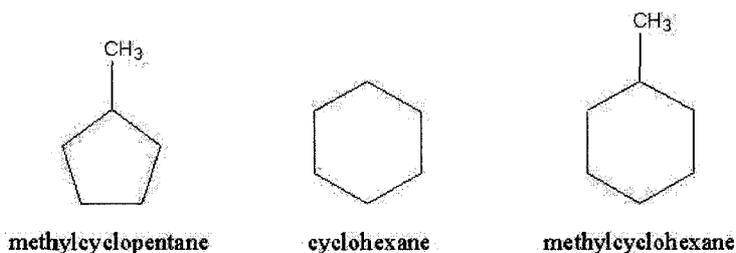
n-hexane



2-methylpentane

# Cycloalkanes

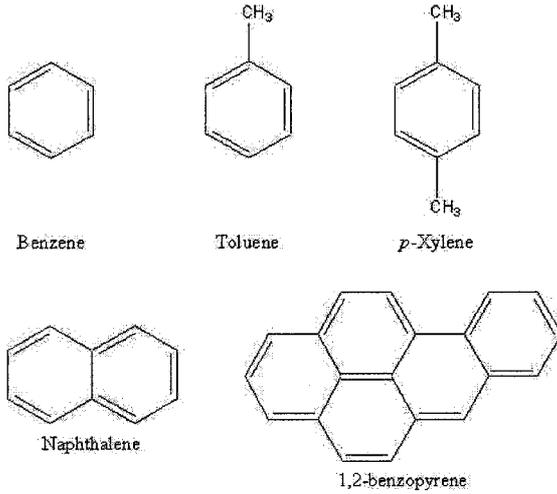
(=cycloparaffins, naphthenes)



씨클로 알칸은 보통 석유화학 업계에서 씨클로파라핀(cycloparaffin) 또는 나프텐(naphthen)이라고 부르며 일반적으로 경질과 중질나프타유분에 존재한다.

씨클로알칸과 비슷하게 생겼지만 탄소수에 비해 수소수가 적은 안정한 구조의 화합물을 방향족 화합물(aromatic compounds)이라고 한다. 방향족이란 이름은 향기를 띄었기 때문에 붙여진 이름으로 관습적으로 사용하는 이름이다. 가장 간단한 방향족 화합물은 벤젠(benzene)이며 여기에 메틸기가 몇 개 치환되었느냐에 따라 톨루엔(toluene)과 크실렌(xylene)이 된다. 이 세가지 간단한 방향족 화합물들의 머리글자를 따서 보통 BTX라고 부르는데 이는 석유화학에서 중요한 중간체의 역할을 하거나 가솔린의 옥탄가를 높이는데 사용되고 있다. 천연상태에서도 소량 존재하지만 대부분은 크래킹(cracking)과정을 통해 인공적으로 합성하여 제조되고 있다.

## Aromatic compounds



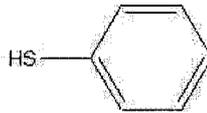
원유는 대부분 탄화수소 화합물이지만 황, 질소, 산소 등의 원소들이 섞인 비탄화수소 화합물도 소량 존재한다. 그 중 대표적인 것이 황 화합물이다. 원유에 들어 있는 황은 주로 유기황화합물의 형태로 존재하는데 황화수소(hydrogen sulfide)는 원유에서 발견되는 유일한 무기황화물이다. 유기황화물도 석유 정제과정에서 열에 의해 황화수소로 바뀌게 되며 이는 탈황공정을 통해 제거된다. 황화합물은 크게 산성과 비산성 화합물로 나눌 수 있다.

# Sulfur compounds

## Acidic sulfur compounds

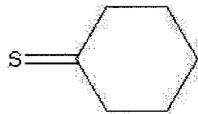


Methyl mercaptan

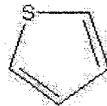


Phenyl mercaptan

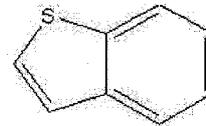
## Non-acidic sulfur compounds



Cyclohexanethione  
Thiocyclohexane



Thiophene



Benzothiophene

원유에서 발견되는 유기질소화합물은 피리딘(pyridine), 피롤(pyrrole)과 같이 간단한 고리형태 또는 포피린(porphyrin)같은 복잡한 구조를 가지고 있다. 질소의 함유량은 매우 낮아 보통 0.1wt%를 넘지 않지만 석유화학 공정에서 촉매를 피독시키기 때문에 반드시 제거해야 한다. 수소화처리(hydrotreatment)를 질소화합물은 수소화 탈질되어 암모니아와 탄화수소로 변하게 된다.

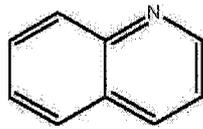
## Nitrogen compounds



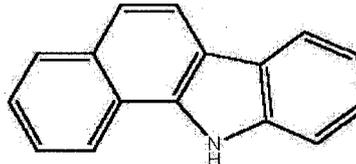
Pyridine



Pyrrole



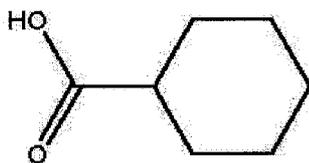
Quinoline



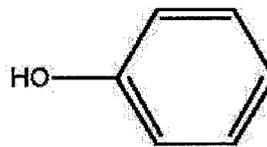
Benzocarbazole

산소화합물은 황화합물보다 복잡하지만 이들은 촉매를 피독시키지 않기 때문에 문제가 되지 않는다. 원유에 존재하는 산소화합물은 카르복시산, 크레실산, 페놀 등이다.

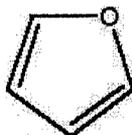
## Oxygen compounds



Cyclohexanecarboxylic acid



Phenol



Furan

$R-COOR'$   
Esters

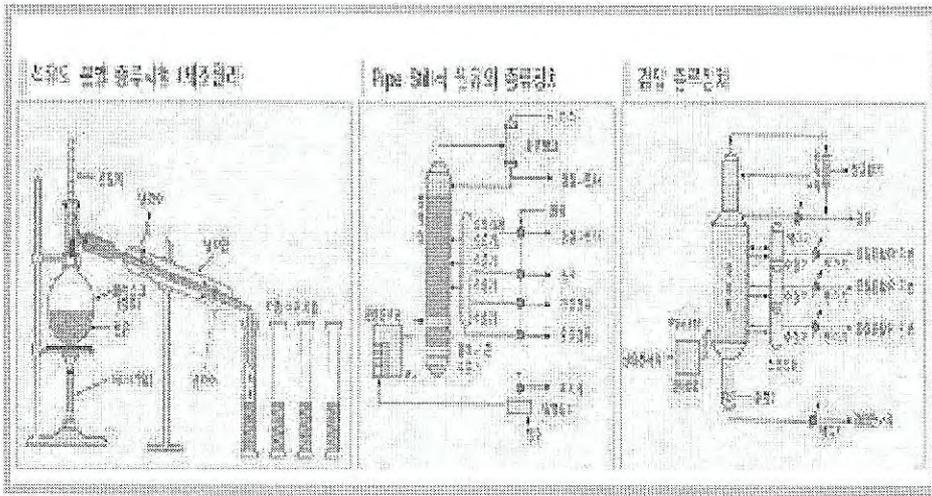
$R-CONHR'$   
Amides

$R-C(=O)-R$   
Ketone

원유에서 발견되는 금속은 나트륨(sodium), 칼슘, 마그네슘, 바나듐, 니켈 등이다. 이들은 무김염 또는 유기금속화합물 형태로 존재한다. 금속염은 미량이 존재하더라도 석유화학 공정에 해롭기 때문에 반드시 제거하여야 한다.

## 나. 원유의 정제와 석유 제품

(출처 : <http://blog.naver.com/maverick6708/150013270878>)



석유 정제란 원유를 증류하여 각종 석유 제품과 반제품을 제조하는 것을 말하며 이를 정유(精油)라고도 부른다.

원유의 주성분은 탄소와 수소의 화합물인 탄화수소이며 이밖에 황, 질소, 산소 등의 화합물이 소량 함유되어 있다. 탄화수소는 그 분자를 구성하는 탄소 원자와 수소 원자의 수나 연결되는 모양에 따라 성질이 달라져 메탄, 프로판, 벤젠 등 여러 가지 종류로 구분된다.

원유의 주성분인 탄화수소는 증류에 의해 분리시킬 수가 있다. 즉, 이 탄화수소들의 각기 끓는점이 다른 특성을 이용하여 원유에서 휘발유 유분, 등유 유분, 경유 유분 등 주요 성분을 분리하여 뽑아 낸다.

원유에서 각 유분을 뽑아 내는 원리는 다음과 같다.

액체를 가열하면 기화되는데, 이를 파이프를 통해 냉각시키면 다시 액체로 변한다.

같은 원리로 원유를 가열하면 끓는점이 낮은 것부터 차례로 높은 것 순으로 증발하여 기화된다.

이것을 식혀 차례로 용기에 담으면 여러 가지 탄화수소가 끓는점 차이에 따라 분류된다.

이것을 증류라 한다. 이렇게 뽑아 낸 여러 가지 유분 중에 포함되어 있는 불순물을 제거하고, 또 촉매를 첨가하여 탄화수소에 반응을 일으켜 성질이 다른 탄화수소를 만들어 내는 '분해', '개질' 과정을 거쳐 양질의 석유제품을 만들어 내는 것이다. 이와 같은 증류, 탈황, 분해, 개질 등의 공정을 총칭하여 석유 정제라고 한다.

정제 공정은 다음의 네 가지 공정군으로 대별할 수 있다.

- ① 원유의 주성분인 탄화수소를 끓는 점 차이에 따라 분리하는 증류 공정.
- ② 화학적인 방법에 의하여 각 유분 중 분자의 구조를 변화시키는 처리를 하여 제품의 품질을 향상시키는 공정으로 정제 공정의 핵심 기술
- ③ 위 공정에서 생산된 각종 유분들에 포함된 황, 질소, 금속 화합물 등 불순물을 제거하는 공정. 이 공정을 Treating이라 하며 수소를 사용하여 불순물을 제거하는 경우가 대부분이며 수소 처리 (Hydrotreating)공정이라고 부른다.
- ④ 규격에 맞는 제품을 생산하기 위한 각종 유분의 블렌딩공정이다. 이 공정은 물리적인 것으로 단순하나 실제로는 기술을 요한다.

※ 상압증류(Topping , Atmospheric distillation )

원유를 상압(常壓)에서 증류시켜 정유탑 정상부에서 가스 및 나프타를 축선에서 등유, 경유를 탑아래에서 중유를 채취한다. 정류탑 내부는 약45~90cm 간격으로 칸막이(tray) 가 수십단 설치되어 있으며, 이 칸막이는 많은 구멍이 뚫려 있는 철판으로 되어 있다. 석유 증기는 이 구멍을 통하여 점차 상부로 올라가며, 이 사이에 비점이 높은 유분부터 칸막이에서 응축된다. 응축되어 액화한 것은 관을 통하여 하단으로 간다. 하단은 상단보다 고온이므로 하단의 액체 중 경질분은 다시 기화하여 상단으로 간다. 여기서 어느 부분은 액화되어 다시 하단으로 내려가고 액화되지 않

은 부분은 다시 한 단 위의 칸막이로 간다. 이와 같이 정류탑 내부에서는 기화가 액화가 계속 반복되어 여러번 재증류한 것과 같은 효과를 나타낸다.

※ 감압증류(Vacuum distillation )

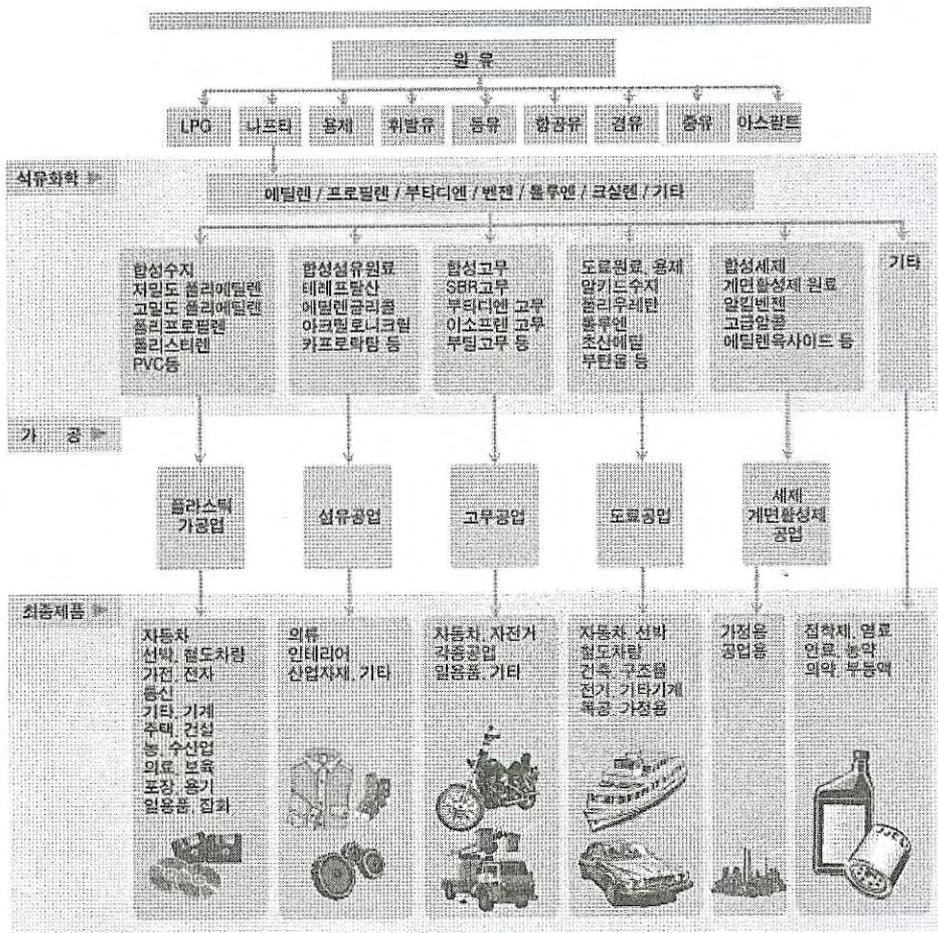
감압증류는 찌끼유로부터 윤향유와 같은 고비점 유분을 얻기 위하여 사용된다. 찌끼유와 같은 重質석유를 그대로 고온에서 증류하면 열분해되어 품질이 떨어지고 수율이 저하되므로 이것을 방지하기 위하여 대기압보다 훨씬 낮은 30~80mmHg 정도로 감압하여 증류하는 것이다.

※ 리포밍(Reforming)

석유를 증류하여 얻어지는 나프타를 직류가솔린(straight-run gasoline)이라고 하며 이는 옥탄가가 낮다. 최근 가솔린 엔진이 발달함에 따라 가솔린 엔진의 효율상 옥탄가가 높은 가솔린이 중요시 되어, 옥탄가가 낮은 가솔린으로부터 옥탄가가 높은 가솔린을 제조하는 분해법이 이용되는데 이를 리포밍이라고 하며 이렇게 얻어진 가솔린을 개질가솔린이라고 한다.※ 크래킹(Cracking)

자동차 ·항공기 등이 발달함에 따라 가솔린의 수요가 급격히 증가하여, 원유의 증류에 의한 직류가솔린이나 천연가스로부터 얻어지는 천연가솔린만으로는 부족하여 중질유를 열분해하여 가솔린을 만드는 것을 크래킹이라고 한다. 크래킹에는 원료유를 고온 고압하에서 분해하는 열분해(thermal cracking)과 촉매를 사용하여 분해하는 접촉분해(catalytic cracking)가 있다. 촉매중에 수소기류를 사용하여 원료유를 고온 고압하에서 분해하여 나프타나 중간유분을 제조하는 수소화분해(catalytic hydrocracking)는 분해와 동시에 탈황, 탈질소, 수소화도 행할 수 있으므로 매우 유용한 공법이나 건설비와 운전비가 높은 단점이 있다.

크래킹과 리포밍의 주목적은 가솔린의 증산 또는 고옥탄가 가솔린의 제조이었으나, 최근 석유화학공업의 발달로 원료인 각종 방향족 탄화수소나 불포화탄화수소의 제조에도 이용되고 있다.



### 휘발유(Gasoline)

석유제품 중 가장 널리 알려져 있는 것이 휘발유이다. 휘발유란 비점 범위가 30~200℃ 정도로서 휘발성이 있는

액체 상태의 석유 유분을 총칭하는 말이다. 휘발유의 물리적 성질은 일반적으로 상온 상압에서 증발하기 쉽고

현저한 인화성을 지니며 공기와 적당히 혼합되면 폭발성 혼합가스가 되어 위험하다. 휘발유는 일반적으로 자동차용, 항공용, 공업용 등 세 가지로 나뉜다. 자동차용 휘발유는 모두 무연 휘발유이며 옥탄가(ROK)에 따라 고급 휘발유(2호=96이상)와 보통 휘발유(1호=91이상)로 구분한다. 무연 휘발유는 알킬납 대신에 MTBE와 같은 옥탄가 첨가제를 사용하거나 점촉 개질 장치에서 만들어지는 개질 나프

타등을 활용하여 옥탄가를 높인 휘발유로서 대기 오염을 막는 저공해 연료로 사용되고 있으며 지난 93년 1월 1일부터 인체에 해로운 유연 휘발유는 사라졌다. 항공용 휘발유는 프로펠러를 가진 경비행기의 연료로 사용된다. 프로펠러 비행기의 항공 피스톤 엔진도 자동차의 휘발유 엔진과 같은 전기 점화식인 4사이클링 엔진이므로 품질도 자동차용 휘발유와 대부분 공통적이나 항공기의 경우 운행 조건이나 환경이 다르고 추락 등 사고 발생의 위험성이 크기 때문에 품질을 엄격하게 규정하고 있다. 공업용 휘발유는 용제로 사용되는데 유지, 드라이크리닝용, 고무공업용, 도료용, 세척용 등으로 널리 사용된다.

### 등유(Kerosene)

등유는 휘발유에 이어 유출되는 유분이며 석유제품 중 가장 오래 전부터 사용되어 온 것으로 흔히 일반가정 스토브에 사용하는 '석유'를 말한다. 자동차가 발명되기 전에는 흔히 석유가 등유로 쓰였는데, 그 때문에 석유라고 하면 등유를 가리키는 것이 일반화되었다. 지금은 가정난방 연료로써 가장 많이 쓰인다.

최근에는 수급상의 문제로 보일러에 사용되는 등유의 수요를 줄이기 위해 실내 등유와 보일러용 등유로 나누어 공급하고 있다. 실내 등유는 주로 가정에서 사용하는 팬히터, 스토브, 온풍기 등 가정 난방용 연료로서 실내에서 사용이 적합하도록 유황 함량이 매우 낮고 색상이 맑다. 보일러 등유는 가정용 난방 연료로 사용되어 오던 등유의 수급상의 애로를 해결하기 위해 등유 유분과 경유 유분을 적절하게 혼합하여 가정용 난방 보일러, 상업용 보일러, 중소 산업용 보일러, 농업용 난방 및 건조기 등의 연료로 적합한 유종이다

### 경유(Diesel oil, Gas oil)

경유는 등유 다음으로 유출되는 유종으로, 원래는 휘발유나 등유보다 용도가 적어서 가격이 낮아 경유를 분해한 가스를 첨가시켜서 도시가스의 열량을 높이는 데 사용하였기 때문에 가스 오일이라는 별칭이 붙게 되었다. 그러나 현재는 디젤 엔진의 보급이 확대되어 대부분(약 80%) 고속 디젤 엔진의 연료로 쓰이고 있어 디젤 오일이라고 부른다.

### 병커C유(Bunker-C oil)

B-C유는 석유제품 중 가장 많이 유출되며 그 수율은 40%에 이른다.

B-C유는 나프타 유분에서 경질유를 제거한 유출유와 상압잔사유의 혼합물이나, 상압잔사유 그 자체를 말한다. 이와같이 B-C유는 증류잔사유를 주성분으로 하고 경유, 감압유출유 등과 혼합된 석유제품으로 화학적인 정제는 하지 않으므로 석유제품 중 품질면에서 저급하다고 할 수 있다. 그러나 B-C유는 다시 가공하면 윤활유, 아스팔트, 석유 코크스 등을 만들 수 있다.

또한 증유는 열 에너지원으로 중요한 역할을 하고 있다. 석탄의 발열량이 5,000~7,000kcal/kg인데 비해 증유는 10,000~11,000kcal/kg으로 발열량이 높으며, 열손실이 적고 연소의 조절이 용이하며 점화 및 소화가 간편하여 열의 이용도가 높다. B-C유는 디젤 엔진의 동력원, 보일러 연료등의 열원으로 사용되고 가스화, 나프타화, 코크스화 등 2차 가공을 거쳐 여러 분야에서 이용되고 있다.

### 나프타(Naphtha)

나프타는 Naft(땅에서 스며나온 것)를 어원으로 하고 있고,미국에서는 정제되지 않은 휘발유란 의미로도 사용되고 있다. 나프타는 휘발유와 비슷한 기름으로 석유화학공업의 기초 원료가 된다.

나프타는 원유를 증류할 때 LPG와 등유 유분 사이에 유출되는 것으로 일반적으로 경질 나프타와 중질 나프타로 구분하나 불특정 다수의 소비자에게 적용되는 유종이 아니란 점 때문에 KS규격 및 석유 사업법상의 품질 규격은 없다. 나프타의 용도는 연료용과 원료용으로 나누는데, 연료용은 휘발유, 제트유 등의 제조원료로 쓰이며, 원료용은 주로 석유화학공업용으로 사용되며 일부가 암모니아 비료용 및 용제용 원료로 사용된다.

나프타를 원료로 하여 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등을 생산하고 이를 기초로 다시 농업용 필름, 인쇄잉크, 합성고무, 합성섬유, 합성수지, 염료, 의약품 등 광범위한 분야의 제품을 만들어 낸다.

### 아스팔트(Asphalt)

아스팔트는 도로 포장용이나 건축 재료로 이용되는 석유 제품으로 널리 알려져 있다.

아스팔트는 천연적으로 산출되는 천연 아스팔트와 원유에서 제조되는 석유 아스팔트가 있다. 석유 아스팔트는 감압 증류라는 공정의 잔류물로서 원유에 포함되어 있는 성분이다.

아스팔트는 검은색의 접착성이 강한 고형 물질인데, 가열하면 연하게 되어 유동질 상태로 된다. 아스팔트는 감압 증류된 잔유를 원료로 하여 제조되는 것이 일반적이다. 이것을 직류 아스팔트라고 부르며 주로 도로 포장용으로 사용된다.

직류 아스팔트에 가열한 공기를 불어넣어 산화시킨 것을 블로운 아스팔트라고 부르며, 이것은 주로 방수 방습 공사, 루핑, 전기절연 재료 등으로 이용된다. 또한 아스팔트에 등유등의 경질유를 섞어서 물과 유화시킨 아스팔트유제는 도로의 간이포장에 쓰인다.

### 윤활유(Lubricating oil)

윤활유란 기계의 활동 부분에 윤활을 위해 사용되는 액체상의 기름이며, 액체상의 윤활유에 비하여 상온에서 반고체상태의 그리스와 고체 분말 상태의 흑연 및 2황화몰리브덴과 같은 윤활성을 갖는 모든 물질을 총칭하여 윤활제라고 한다.

윤활유를 윤활제로 사용하는 기본 목적은 기계 마찰 부분의 고체 마찰을 유체 마찰로 바꾸어 고체 마찰에 의한 기계적 저항을 감소시킴으로써 타서 늘어붙는 현상이나 마모를 줄이는 데 있다.

### LPG

LPG(액화석유가스)는 프로판, 부탄 등을 주성분으로 하는 혼합물이다.

LPG는 주로 원유를 정제할 때 발생하는 부생 가스와 천연산 혼합가스에서 제조되지만 석유 화학 공업의 여러 공정 중에서도 만들어진다. LPG는 다른 연료에 비해 수송이 용이하고 취급이 편리하며 열량이 높기 때문에 그 용도가 다양하다. LPG는 주로 취사용, 난방용으로 쓰이며, 이밖에 도시가스 원료, 금속 공업, 잠업, 도장공업, 섬

유공업, 화학공업 등 공업 용도에 쓰인다.

또 건조, 가열 등의 농업용과 자동차 연료로도 쓰이며, 영업용 택시나 승합차 등에 사용되는 LPG는 부탄가스이고, 취사용으로 철제 용기에 넣어져 배달되는 LPG는 프로판 가스이다.

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

여 백

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제1절 혼합연료유 사용한계치 검증

#### 1. 시험장치

##### 가. 시험 선박

##### 1) 무궁화 24호

그림 4는 동해어업 지도사무소 소속 무궁화 24호이다. 138톤급 트롤어선으로 사용되었던 선박을 183톤급 어업지도선으로 개조한 선박이다. 표 2 및 표 3의 주기관 및 보조기관에 대하여 2007년 2월 5일 ~ 10일까지(6일간) 시험선을 운항하면서, 연소시험을 실시하였다. 주기관에는 시험유 MGO, MDO, MF15, Bunker A, MF 60, MF100과 보조기관에는 MGO, MDO, MF15, Bunker A를 공급하여 연소시험을 실시하여, 엔진의 상태와 배기가스(NOx 및 Smoke)의 배출량에 대하여 계측하였다.



그림 4 시험선 무궁화 24호



그림 5 무궁화 24호 주기관

표 2 무궁화 24호 제원

진수년월일	1991년 5월(진해조선공업)
전장	40.90 M
총톤수	183 Ton
최대속력	14 Knot

표 3 무궁화 24호 주기관 사양

제조사	쌍용 MAN B&W					
모델	6L23/30-K					
출력	1,100 BHP					
Combustion Cycle	4 stroke Cycle					
Bore x Stroke(mm)	225 x 300					
MCR	825 rpm					
Idling	450 rpm					
Exh. Gas Temp	Normal Value + 50OC					
평균유효압력	18.2 bar					
최대폭발압력	130 bar					
Exh. Gas Temp. (Cyl. outlet, OC)	1	2	3	4	5	6
NOx technical Code상의 L23 Parent engine에 대한 자료임	290	295	300	300	300	315

표 4 무궁화 24호 보조기관 사양

제조사	Daewoo
모델	D2366T/6기통
출력	227 BHP
Bore x Stroke(mm)	123 x 155
MCR	2070 rpm
Idling	450 rpm

2) 제702 오룡호

그림 6는 (주)사조산업 소속 384톤급 참치 연승어선 제702 오룡호이다. 2007년 7월 25일~8월 3일까지(10일간) 부산의 대선조선에서 보조기관(Ssangyong Nigata, 420BHP X 1200rpm)에 대하여 시험유 (MDO, MF15, Bunker-A)를 전처리 장치(Purifier, MCH, Purifier + MCH)로 정제하여 엔진에 공급하고, 부하는 본선의 냉동기 3대를 가동하여 배기가스 및 엔진상태를 계측하였다.

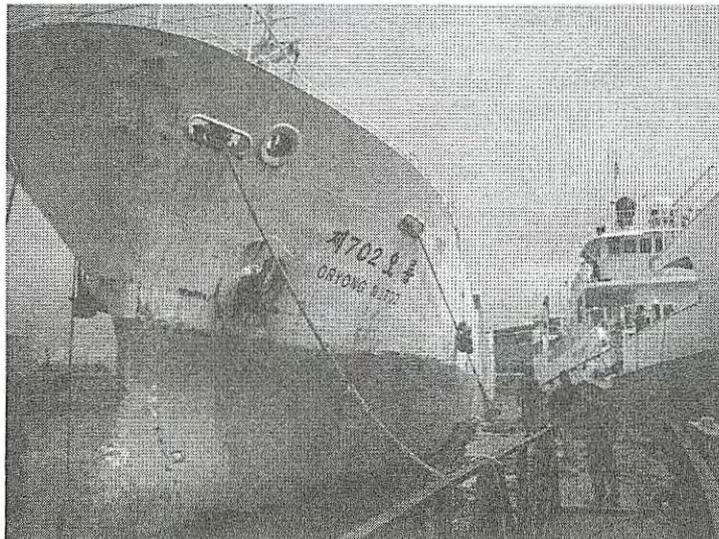


그림 6 시험선 제702오룡호

표 5 제702 오룽호 제원

전장	53.90 M
총톤수	384 Ton
주기관	1000PS x 366 rpm

표 6 제702 오룽호 보조기관 사양

제조사	Ssangyong Nigata
제조일자	1985년 7월
모델	6L16XC ( 6기통)
출력	420 BHP
Bore(mm)	160
MCR	1200 rpm
발전기 용량	380 KVA

### 3) 투리스 79호

그림 7은 (주)투리스 소속 트롤어선 500톤급 투리스 79호이다. 동선박은 대서양에서 조업을 하는 선박으로 수리정비를 위하여 스페인 라스팔마스 MUY EL ASTICAN 조선소에서 수리정비를 하고, 2008년 4월 15일 ~ 4월28일까지 MCH 정제장치를 탑재하여 시험연료인 MF60, MF100, MF150, MF180를 MCH로 정제하여 시험선을 운항하면서 연소시험을 실시하였다. 또한, 연소시험 후 MF60급 혼합유를 약 4개월간 사용하고, 2008년 8월에 시에라리온의 프리타운항에서 엔진을 개방하여 연소실 내부의 부식 및 마모정도를 확인하였다.

표 7 투리스 79호 주기관 사양

제조일자	1975. 02
제조사	AKASAKA
모델	AH-38
출력	2,200 BHP
Bore x Stroke(mm)	380 x 560
MCR	310 rpm
평균유효압력	16.76kg/cm <sup>2</sup>
최대폭발압력	98 kg/cm <sup>2</sup> (96Bar)

표 8 투리스 79호 제원

진수년월일	1975년 2월
L x B x D	54.84M x 10.0M x 6.20M
총톤수	499.36 Ton



그림 7 시험선 투리스 79호

나. 계측 장치

1) 배기가스 계측장치

그림 8과 그림 9는 NO<sub>x</sub> 측정 시 Probe 위치와 NO<sub>x</sub> 분석기의 사진을 나타내고 있다. 실제 운항중인 선박에서 NO<sub>x</sub> 배출량을 계측하여야 함으로 이동성이 좋은 EXSA-240CL을 이용하여 계측하였고 그 세부사양은 표 9와 같다.

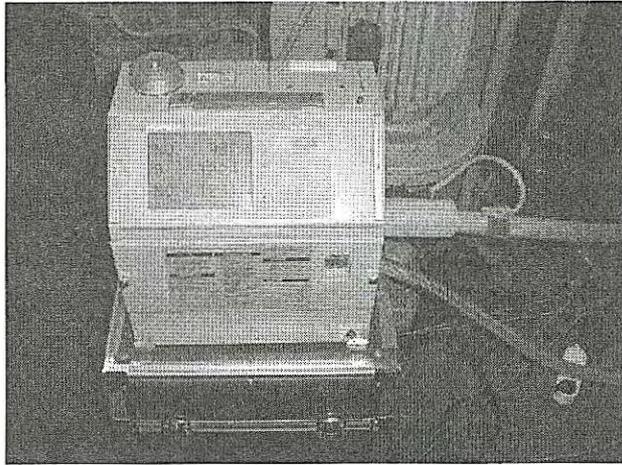


그림 8 NO<sub>x</sub> analyzer(EXSA-240CL)

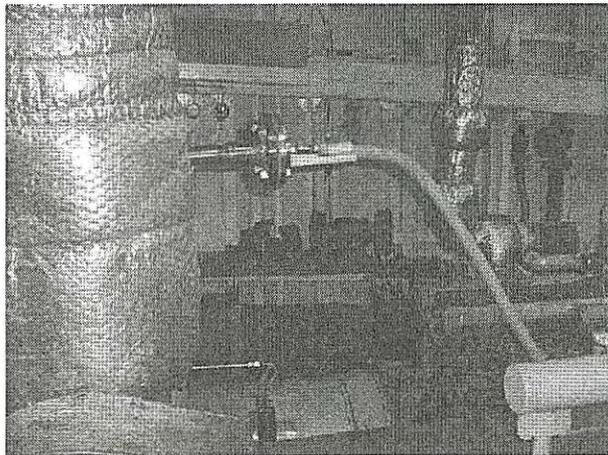


그림 9 Installing of probe for NO<sub>x</sub> analyzer

표 9 Specification of portable NOx Analyzer

	항 목	사 양	비 고
1	작동 원리	NOx : Hot CLD O2 : Galvanic cell	
2	측정 범위	NOx : 0~2,500 ppm O2 : 0 ~ 25 %	
3	작동 온도	5 ~ 45 ℃	
4	응답 시간	T90, 30 초	
5	허용 오차 (Linearity)	NOx : ± 2 % FS O2 : ± 2 % FS	
6	소 음	± 1 % FS	
7	반복성	± 0.5 % FS	
8	간 섭	10% CO2에 대한 NOx의 3% 이하	
9	측정 가스	NO 표준가스 (1리터, 7 atoms)	
10	치 수	300 x 311 x 200(mm)	
11	무 게	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	

## 2) Smoke 측정장치

그림 10 ~ 그림 12은 Smoke 측정 시 Probe 위치와 Smoke 분석기의 사진을 나타내고 있다. Smoke 발생량은 Smoke number(FSN), Soot concentration(mg/m<sup>3</sup>) 및 Pollution level(%) 등 3 가지로 측정가능하고, AVL 415S의 세부사양은 표 10과 같다.

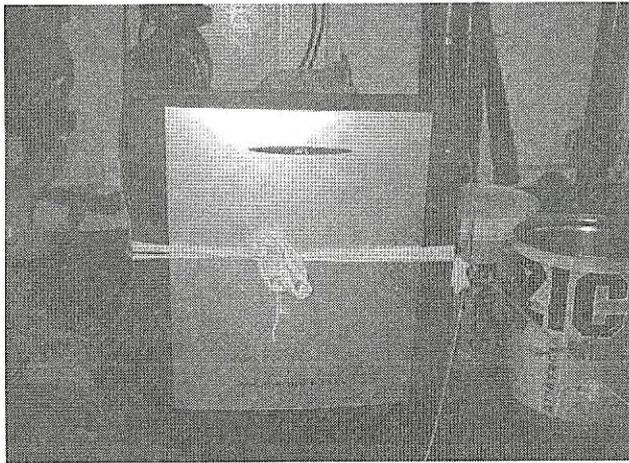


그림 10 Smoke Meter(AVL 415S)

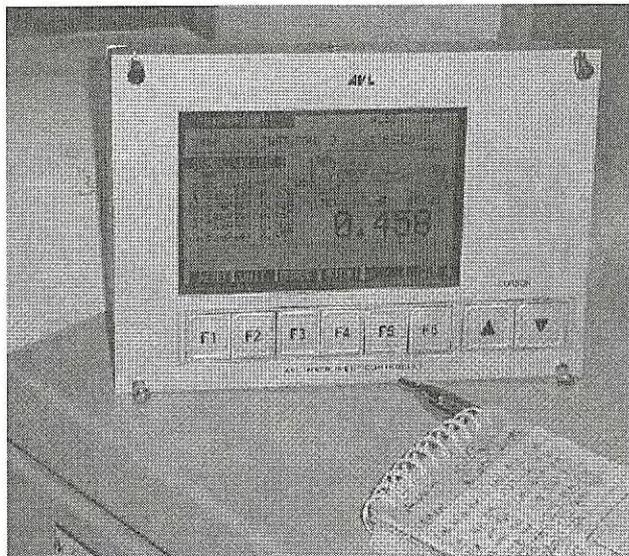


그림 11 Smoke Analyzer



그림 12 Installing of probe for Smoke analyzer

표 10 Specification of Smoke Analyzer(AVL 415S)

	항 목	사 양	비 고
1	Measuring Range	0 ~ 10 FSN	
2	Resolution	0.001 FSN	
3	Repeatability	$\sigma \leq \pm(0.005 \text{ FSN} + 3\%)$	
4	Reproducibility	$\sigma \leq \pm(0.005 \text{ FSN} + 6\%)$	
5	Power Supply	85 ~ 264 VAC, 47 ~ 63 Hz	
6	Power Consumption	180 VA 695 VA	
7	Exh. Gas Temp.	max. 600°C	
8	Exh Gas Back Pressure	-100mbar ~ +400mbar	
9	Demensions (Width x Height x Depth)	560 x 620 x 240 mm	
10	weight	31kg	
11	Protection Class	IP34	

## 다. 전처리 장치

### 1) Purifier

그림 13은 한국해양수산연수원의 실습선인 한반도호에 설치되어 있는 F.O Purifier이다. 무궁화 24호에는 Purifier가 설치되어 있지 않기 때문에 시험연료유를 실습선인 한반도호에서 청정하여 시료를 준비하여 무궁화 24호 연소시험 시 사용하였다. 그림 14는 제702호 룡호의 연소시험 시 사용한 Purifier로 중고 Purifier를 내부 부품을 수리 정비하여 참여기업인 유남조기공업사에서 시료를 청정하여 시험 시 사용하였으며, 세부사양은 표 12와 같다.

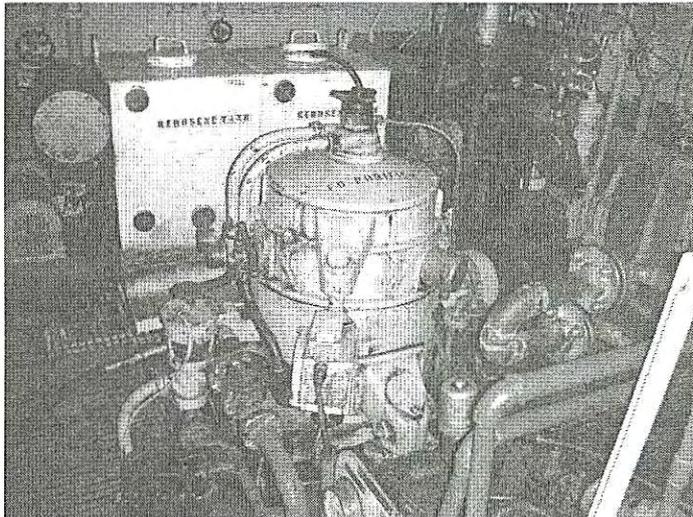


그림 13 Purifier(무궁화 24호에 사용)

표 11 한반도호 F.O Purifier 사양

제조사	MITSUBISHI KAKOKI KAISHA LTD
모델	SJ 11/16 T
출력	1,200 l/h

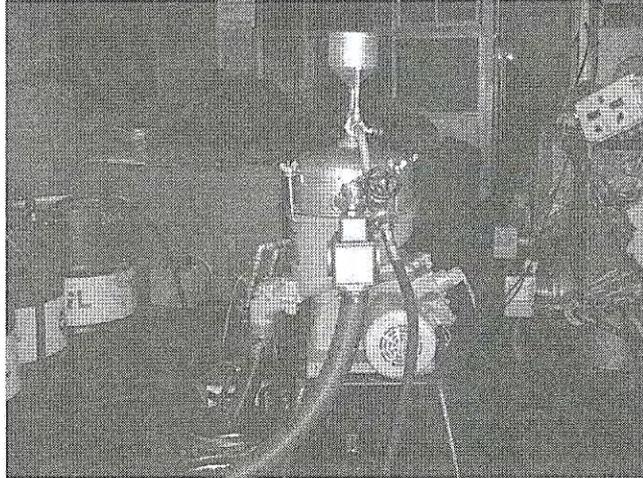


그림 14 Purifier(제702 오룡호에 사용)

표 12 F.O Purifier 사양

제조사	MITSUBISHI KAKOKI KAISHA LTD
모델	SJ-700
출력	700 ℓ/h(50 cSt, 50 °C)

## 2) MCH(Mixing Clean Heater, 연료가열교반기)

그림 15은 연료가열교반기로 혼합유의 고형물을 미세화하고 Heater를 이용하여 혼합유에 열을 가하여 연료유의 연소에 적합한 점도를 유지하도록 하는 전처리 장치로 연소시험 시 선박에 가설치 하여 연료탱크로부터 연료를 공급받아 직접 공급하였다.

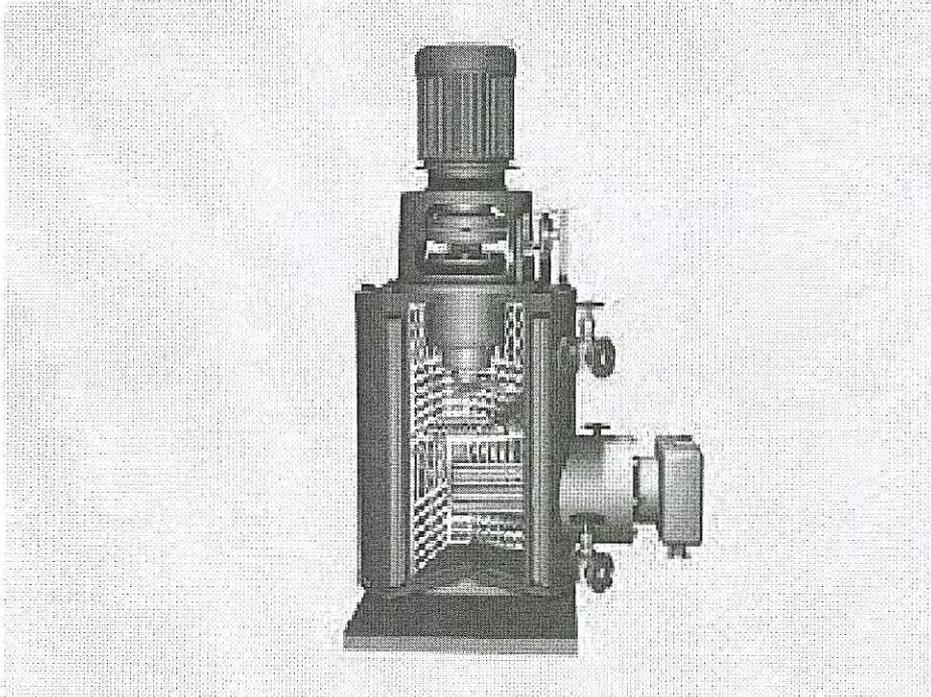


그림 15 MCH(Mixing Clean Heater)

## 2. 혼합 연료유

### 가. 선박용 연료의 종류

국제표준화 기구 ISO에서는 선박용 연료유를 다음과 같이 증류연료(Distillated Marine Fuel)와 잔사연료(Residue Marine Fuel)로 분류하고 있으며, KS 규격에서도 KS M ISO 8216-1 및 KS M ISO 8217에서 ISO 규격을 도입하여 선박용 연료유의 기준을 정하고 있다.

표 13 선박용 연료유의 분류화

군 : 연료유 종류에 따른 세부 분류	ISO-F 코드 명		비고
	부문, 적용과 특성에 따른 세부 분류	최대등점도(mm <sup>2</sup> /s)	
선박용 중류유 연료유	DMX		주장비 공간에 사용되는 외부 비상용
	DMA		잔류물이 포함되서는 안되는 일반용
	DMB		소량의 잔류물이 포함되는 일반용
	DMC		일정량의 잔류물이 포함되는 일반용
선박용 잔류유 연료유	RMA	10	모든 부문에 대한 최대 밀도 한계값은 ISO 8217을 따른다.
	RMB	10	
	RMC	10	
	RMD	15	
	RME	25	
	RMF	25	
	RMG	35	
	RMH	35	
	RMK	35	
	RMH	45	
	RMK	45	
	RMH	55	
	RMK	55	
	RML	45	이들 부문에 대한 밀도 한계값 없음
RML	55		

※ ISO-F : 연료유 분류  
 첫 번째 D / R : 중류유 / 잔사유,  
 두 번째 M : 선박용  
 세 번째 A~L : 중요한 의미는 없지만 제품의 세부 내역(KS M ISO 8217)의 특별한 특성에 관련해서 의미를 가진다.

표 14 선박유출 연료 규격

특성	단위	기준	ISO-F 범주			
			DMX	DMA	DMB	DMC <sup>(1)</sup>
밀도, 15℃	kg/m <sup>3</sup>	이하	-	890.0	900.0	920.0
동점도, 40℃	mm <sup>2</sup> /s <sup>(2)</sup>	이상 이하	1.40 5.50	1.50 6.00	- 11.0	- 14.0
인화점	℃	이상 이상	- 43	60 -	60 -	60 -
유동점(상위) <sup>(3)</sup> -동절기용 -하절기용	℃	이하 이하	- -	-6 0	0 6	0 6
담점	℃	이하	-16 <sup>(4)</sup>	-	-	-
황분	무게 %	이하	1.00	1.50	2.00 <sup>(5)</sup>	2.00 <sup>(5)</sup>
세탄지수	-	이상	45	40	35	-
10부피 % 잔사유의 잔류탄소분	무게 % 무게 %	이하 이하	0.30 -	0.30 -	- 0.30	- 2.50
회분	무게 %	이하	0.01	0.01	0.01	0.05
외관 <sup>(6)</sup>	-	-	투명하고 밝음		<sup>(6)</sup>	-
총 현존 침전물	무게 %	이하	-	-	0.10 <sup>(6)</sup>	0.10
수분	무게 %	이하	-	-	0.3 <sup>(6)</sup>	0.3
바나듐	mg/kg	이하	-	-	-	25
알루미늄+실리콘	mg/kg	이하	-	-	-	25
폐윤활유(ULO) -아연 -인 -칼슘	mg/kg mg/kg mg/kg	이하 이하 이하	- - -	- - -	- - -	ULO <sup>(7)</sup> 15 유리연료 15 30

주<sup>(1)</sup> 일부 지역에서, 최대 한계값이 존재할 수 있다.

<sup>(2)</sup> 1mm<sup>2</sup>/s = 1 cSt

<sup>(3)</sup> 수요자는 남반구와 북반구에서 선박을 운행한다면 이 유동점이 선상의 장비에 적합한지 확인해야 한다.

<sup>(4)</sup> 이 연료는 -16℃ 이하의 실온에서 가열하지 않고 사용할 수 있다.

<sup>(5)</sup> 1.5 무게 % 황분 제한은 국제해사기구(IMO)가 지정한 SOx 배출 제한 지역에서 관련 원안(protocol)이 시행될 때, 적용된다. 예를 들면, EU가 특정 유출유 등급의 황분 함량을 특정 응용에 대해서 0.2 무게 %로 제한하기를 요구한다면 지역 변동이 발생할 수 있다.

<sup>(6)</sup> 시료가 육안으로 관찰되는 침전물 또는 수분이 없이 투명하다면, 총 현존 침전물 및 수분 시험은 필요치 않다

<sup>(7)</sup> 연료에 아연, 인 및 칼슘 원소 하나 이상이 규정값 이하이면, 폐윤활유(ULOs)가 없는 것으로 간주한다. 원소 3종 모두는 ULOs를 포함할 경우 동일한 한계치를 초과하게 된다.

표 15 선박잔사연료 규격(1)

특성	단위	기준	ISO-F 범주					표준시험방법
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	
밀도, 15℃	kg/m <sup>3</sup>	이하	960.0	975.0	980.0	991.0		KS M 2002 또는 KS M ISO 12185 (7.1 참조)
동점도, 50℃	mm <sup>2</sup> /s <sup>(1)</sup>	이상	30.0		80.0	180.0		KS M ISO 3104
인화점	℃	이상	60		60	60		KS M ISO 2719 (7.2참조)
유동점(상위) <sup>(2)</sup>	℃	이하	0	24	30	30		KS M 2016 KS M 2016
-동절기용 -하절기용		이하	6	24	30	30		
잔류탄소분	무게 %	이하	10		14	15	20	KS M ISO 10370
회분	무게 %	이하	0.10		0.10	0.10	0.15	KS M ISO 6245
수분	무게 %	이하	0.5		0.5	0.5		KS M ISO 3733
황분 <sup>(3)</sup>	무게 %	이하	3.50		4.00	4.50		KS M ISO 8754 또는 KS M ISO 14596(7.3 참조)
바나듐	mg/kg	이하	150		350	200	500	KS M ISO 14597 또는 IP 501 또는 IP 470 (7.8 참조)
총 잠재침전물	무게 %	이하	0.10		0.10	0.10		KS M ISO 10307-2(7.6 참조)
알루미늄+실리콘	mg/kg	이하	80		80	80		KS M ISO 10478 또는 IP 501 또는 IP 470 (7.9 참조)
폐윤활유(ULO)			ULO <sup>(4)</sup> 유리연료					
-아연	mg/kg	이하	15					IP 501 또는 IP 470(7.7 참조)
-인	mg/kg	이하	15					IP 501 또는 IP 500(7.7 참조)
-칼슘	mg/kg	이하	30					IP 501 또는 IP 470 (7.7 참조)

주<sup>(1)</sup> 부속서 C의 간단한 점도/온도 표를 참조한다.  
<sup>(2)</sup> 수요자는 남반구와 북반구에서 선박을 운행한다면 이 유동점이 선상의 장비에 적합한지 확인해야 한다.  
<sup>(3)</sup> 1.5 무게 % 황분제한은 국제해사기구(IMO)가 지정한 SOx 배출제한 지역에서 관련 프로토콜이 시행될 때 적용된다. 지역 변동이 발생할 수 있다.  
<sup>(4)</sup> 연료에 아연, 인 및 칼슘 원소 하나 이상이 규정값 이하이면, 폐윤활유(ULOs)가 없는 것으로 간주한다. 원소 3종 모두는 ULOs를 포함할 경우 동일한 한계치를 초과하게 된다.

표 16 선박잔사연료 규격(2)

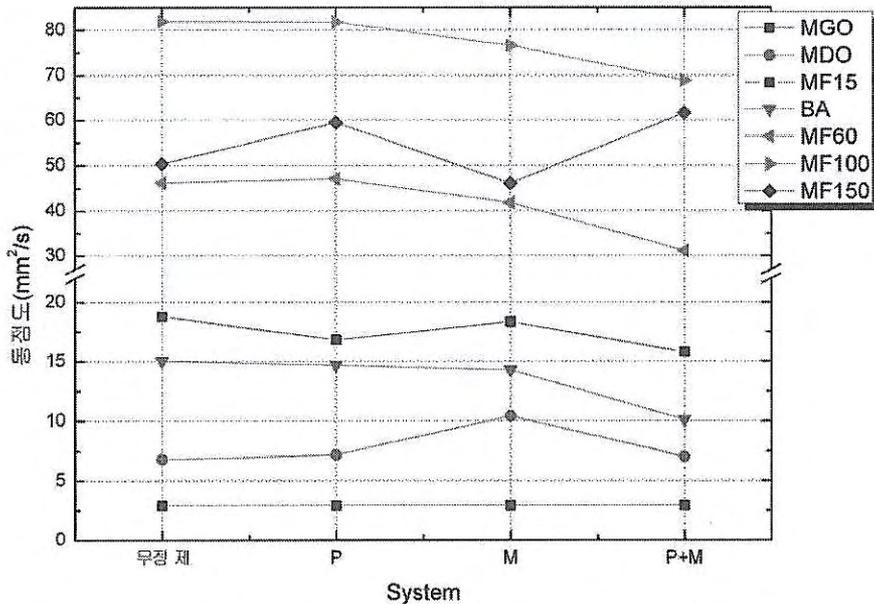
특성	단위	기준	ISO-F 범주					표준시험방법
			RMA 380	RMB 380	RMD 380	RME 700	RMF 700	
밀도, 15℃	kg/m <sup>3</sup>	이하	991.0		1010.0	991.0	1010.0	KS M 2002 또는 KS M ISO 12185 (7.1 참조)
동점도, 50℃	mm <sup>3</sup> /s <sup>(1)</sup>	이상	380.0			700.0		KS M ISO 3104
인화점	℃	이상	60			60		KS M ISO 2719 (7.2참조)
유동점(상위) <sup>(2)</sup> -동질기용 -하질기용	℃	이하 이하	30 30			30 30		KS M 2016 KS M 2016
간류탄소분	무게 %	이하	18	22		22		KS M ISO 10370
회분	무게 %	이하	0.15			0.15		KS M ISO 6245
수분	무게 %	이하	0.5			0.5		KS M ISO 3733
황분 <sup>(3)</sup>	무게 %	이하	4.50			4.50		KS M ISO 8754 또는 KS M ISO 14596(7.3 참조)
바나듐	mg/kg	이하	300	600		600		KS M ISO 14597 또는 IP 501 또는 IP 470 (7.8 참조)
총 잠재침전 물	무게 %	이하	0.10			0.10		KS M ISO 10307-2(7.6 참조)
알루미늄+실 리콘	mg/kg	이하	80			80		KS M ISO 10478 또는 IP 501 또는 IP 470 (7.9 참조)
폐유허유(ULO) -아연	mg/kg	이하	ULO <sup>(4)</sup> 유리연료 15					IP 501 또는 IP 470(7.7 참조)
-인	mg/kg	이하	15					IP 501 또는 IP 500(7.7 참조)
-칼슘	mg/kg	이하	30					IP 501 또는 IP 470 (7.7 참조)

주<sup>(1)</sup> 부속서 C의 간단한 점도/온도 표를 참조한다.  
<sup>(2)</sup> 수요자는 남반구와 북반구에서 선박을 운행한다면 이 유동점이 선상의 장비에 적합한지 확인해야 한다.  
<sup>(3)</sup> 1.5 무게 % 황분제한은 국제해사기구(IMO)가 지정한 SOx 배출제한 지역에서 관련 프로토콜이 시행될 때 적용된다. 지역 변동이 발생할 수 있다.  
<sup>(4)</sup> 연료에 아연, 인 및 칼슘 원소 하나이상 규정이 정해지면, 폐유허유(ULOs)가 없는 것으로 간주한다. 원소 3종 모두는 ULOs를 포함할 경우 동일한 한계치를 초과하게 된다.

## 나. 시험연료의 특성

### 1) 무공화 24호 시험유의 유성상 분석(한국석유품질 검사원)

표 17에서 표 22는 엔진유입직전에 채취한 샘플시료를 한국석유 품질검사원에 의뢰하여 시험유의 성상을 분석한 결과이다. 비교적 유성상이 좋은 MDO에서는 시험유를 전처리하기 전과 후의 성상 변화가 거의 없으나, 혼합유(MF15 ~ 180) 및 Bunker A에서는 전처리장치(Purifier, MCH)를 통과하고 난 이후에 점도가 그림 16에서와 같이 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 이것은 MCH(Mixing Clean Heater : 연료가열교환기)의 입자 미립화 효과와 Purifier의 고형물 제거 기능에 의하여 점도가 좋아진 것으로 예측된다. 또한 MGO(경유)에서 MF 180으로 갈 수록 발열량이 감소하고 있어 MGO 사용 시보다 혼합유 사용시가 같은 출력을 내기 위하여 많은 연료가 소모될 것으로 예측할 수 있다.



※ P : Purifier, M : MCH, P+M : Purifier + MCH

그림 16 전처리장치에 의한 시험유 동점도 변화

그림 17는 각 시험유의 발열량에 대한 시험 결과이다. 연료가 저급유로 갈수록 열량은 감소하는 것으로 나타났다. 혼합유 연소시험 시 저급 혼합유로 갈 수록 Pmax가 증가하여 연료의 열량이 높을 것으로 선박 종사자들은 알고 있으나, 저급유로 갈 수록 잔사유 성분이 많이 포함되어 있어 열량은 낮아진다. 저급유로 갈수록 Pmax가 증가하는 것은 연료의 저질화로 인한 착화지연등에 의한 것으로 보여진다.

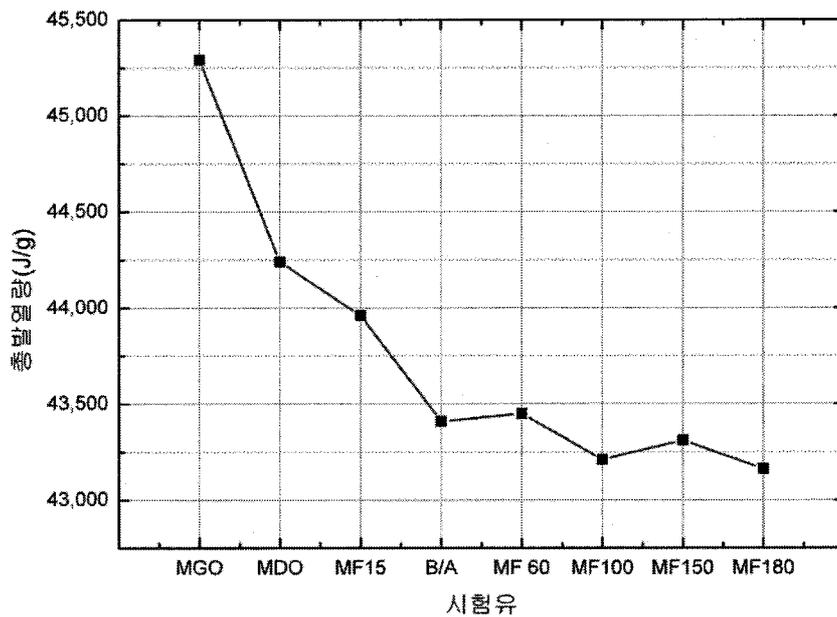


그림 17 시험유별 총발열량

표 17 시험유 MGO 및 MDO 특성

연료유	MGO	MDO			시험방법	
		-	P	M		P+M
전처리장치	-	-	P	M	P+M	
비중(15/4℃)	0.8494	0.890	0.901	0.909	0.898	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	2.892	6.8	7.189	10.92	7.02	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	67.0	69	70	72	70	KS M 2010-2004
유동점(℃)	-20.0	-12.5	-10.0	-10.0	-20.0	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	0.01	3.5	3.62	4.64	3.67	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.001 미만	0.003	0.011	0.016	0.014	KS M ISO 6245-2003
수분	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003				
유황분(무게 %)	0.78	1.62	1.64	2.21	1.64	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	45,290	44,240	-	-	-	KS M 2057-1997

표 18 시험유 Bunker A의 특성

연료유	Bunker A				시험방법
	-	P	M	P+M	
전처리장치	-	P	M	P+M	
비중(15/4℃)	0.933	0.927	0.931	0.926	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	15.03	14.69	14.3	10.09	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	76	76	76	76	KS M 2010-2004
유동점(℃)	-12.5	-27.5	-27.5	-27.5	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	5.48	5.47	5.42	5.55	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.014	0.014	0.014	0.013	KS M ISO 6245-2003
수분	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003
유황분(무게 %)	2.09	2.06	2.07	2.08	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	43,410	-	-	-	KS M 2057-1997

표 19 시험유 MF 15의 특성

연료유	MF 15				시험방법
	-	P	M	P+M	
전처리장치	-	P	M	P+M	
비중(15/4℃)	0.8895	0.913	0.914	0.912	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	18.79	16.83	18.34	15.8	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	68.0	71	71	71	KS M 2010-2004
유동점(℃)	-10.0	-20.0	-12.5	-22.5	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	5.5	5.9	6.06	5.78	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.066	0.014	0.039	0.014	KS M ISO 6245-2003
수분	0.05	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003
유황분(무게 %)	2.20	2.21	2.24	2.19	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	43,960	-	-	-	KS M 2057-1997

표 20 시험유 MF 60의 특성

연료유	MF 60				시험방법
	-	P	M	P+M	
전처리장치	-	P	M	P+M	
비중(15/4℃)	0.937	0.936	0.935	0.930	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	46.23	47.11	41.84	31.11	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	77	78	77	76	KS M 2010-2004
유동점(℃)	-5.0	-15.0	-22.5	-25.0	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	7.72	7.87	7.64	7.3	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.022	0.046	0.016	0.046	KS M ISO 6245-2003
수분	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003
유황분(무게 %)	2.71	2.67	2.66	2.5	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	43,450	-	-	-	KS M 2057-1997

표 21 시험유 MF 100의 특성

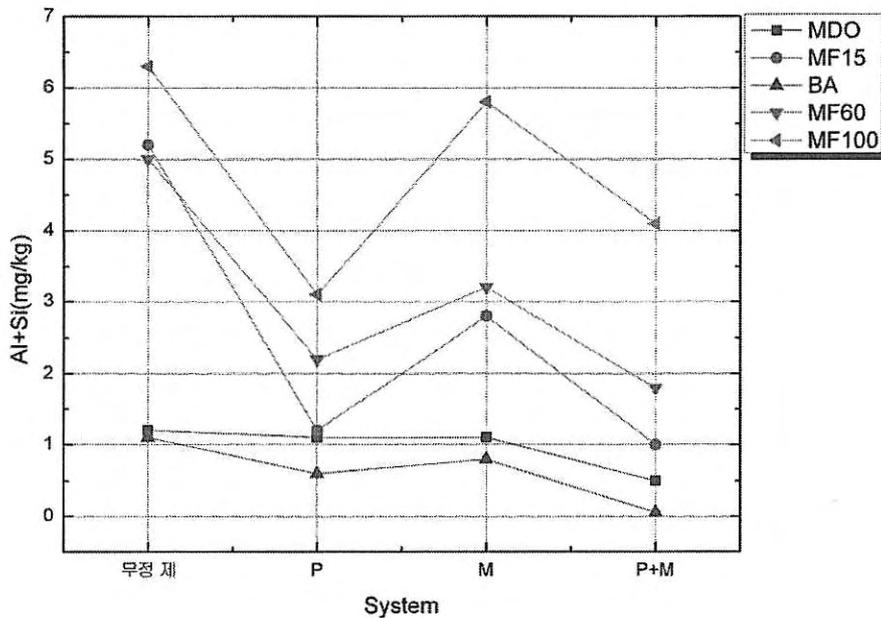
연료유	MF 100				시험방법
	전처리장치	-	P	M	
비중(15/4℃)	0.941	0.950	0.949	0.946	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	81.94	81.8	76.6	68.9	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	87	85	86	84	KS M 2010-2004
유동점(℃)	2.5	-5.0	-20.0	-17.5	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	8.74	8.52	8.85	8.67	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.053	0.05	0.054	0.043	KS M ISO 6245-2003
수분	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003
유황분(무게 %)	2.29	2.91	2.9	2.83	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	43,210	-	-	-	KS M 2057-1997

표 22 시험유 MF 150 및 MF 180의 특성

연료유	MF 150				MF 180	시험방법
	전처리장치	-	P	M	P+M	
비중(15/4℃)	0.940	0.944	0.941	0.944	0.953	KS M 2002-2001
동점도(50℃)	50.38	59.46	46.1	61.57	98.4	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	81	83	82	82	83	KS M 2010-2004
유동점(℃)	2.5	-15.0	-20.0	-20.0	-10.0	KS M 2016-2005
잔류탄소분(무게 %)	7.55	7.93	7.72	7.97	8.74	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.035	0.032	0.032	0.036	0.051	KS M ISO 6245-2003
수분	0.005 미만	KS M ISO 3734-2003				
유황분(무게 %)	2.58	2.64	2.56	2.7	2.83	KS M ISO 8754-2003
총발열량(J/g)	43,310	-	-	-	43,160	KS M 2057-1997

## 2) 무궁화 24호 시험유의 유성상 분석(SK(주))

표 23에서 표 27은 엔진유입직전에 채취한 샘플시료를 SK(주)에 의뢰하여 받은 유성상 시험결과이며, 한국석유품질검사원의 시험 결과에서와 같이 전처리장치를 통과한 시험유는 대체로 동점도가 낮아지고 있다. 또한, 그림 5에서와 같이 알루미늄(Al)과 규소(Si)의 함량이 연료전처리 장치를 통과하고 나서 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 것은 Purifier의 원심분리와 MCH의 필터링에 의하여 엔진 마모를 유발하는 금속성분이 제거되고 있음을 알 수 있다.



※ P : Purifier, M : MCH, P+M : Purifier + MCH

그림 18 전처리 시스템에 의한 Al 및 Si 감소추이

표 23 시험유 MGO 및 MDO 특성

연료유	MGO	MDO				
		x	o	o	o	o
첨가제 유무		x	o	o	o	o
전처리장치	-	-	-	p	m	p+m
비중(15/4℃)	0.8494	0.9100	0.9060	0.8968	0.9089	0.8968
동점도(40℃)	3.209	14.36	13.39	9.221	13.93	9.361
인화점(PM, ℃)	66.0	69.0	70.0	70.0	72.0	66.0
유동점(℃)	-22.5	-5.0	-2.5	-12.5	-7.5	-10.0
잔류탄소분 (무게 %)	0.02	4.4	4.1	3.4	4.3	3.4
회분(무게 %)	0.001	0.022	0.016	0.018	0.021	0.021
수분	0.005	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
유황분(무게 %)	0.78	1.85	1.82	1.63	1.85	1.62
바냐뎀 (무게 mg/kg)	0.1	29.6	27.9	21.2	29.9	17.0
Al+Si (무게 mg/kg)	0.5	1.0	1.2	1.1	1.1	0.5

표 24 시험유 Bunker A의 특성

연료유	Bunker A			
	o	o	o	o
첨가제 유무	o	o	o	o
전처리장치	-	p	m	p+m
비중(15/4℃)	0.9089	0.9095	0.9316	0.9261
동점도(50℃)	14.48	14.96	14.42	14.25
인화점(PM, ℃)	77.0	80.0	76.0	75.0
유동점(℃)	-20.0	-10.0	-15.0	-12.5
잔류탄소분(무게 %)	4.9	5.1	5.3	5.2
회분(무게 %)	0.011	0.007	0.028	0.014
수분	0.05	0.05	0.05	0.05
유황분(무게 %)	2.02	2.03	2.01	2.02
바냐뎀(무게 mg/kg)	21.1	35.5	26.7	20.5
Al+Si(무게 mg/kg)	1.1	0.6	0.8	0.06

표 25 시험유 MF 15의 특성

연료유	MF 15			
	o	o	o	o
첨가제 유무	o	o	o	o
전처리장치	-	p	m	p+m
비중(15/4℃)	0.8895	0.8895	0.9130	0.9118
동점도(50℃)	18.79	18.90	18.20	16.10
인화점(PM, ℃)	68.0	71.0	68.0	70.0
유동점(℃)	-10.0	-7.5	-7.5	-5.0
잔류탄소분(무게 %)	5.5	5.5	5.8	5.5
회분(무게 %)	0.066	0.041	0.063	0.024
수분	0.05	0.05	0.05	0.05
유황분(무게 %)	2.20	2.21	2.18	2.12
바나듐(무게 mg/kg)	39.6	38.4	34.2	31.3
Al+Si(무게 mg/kg)	5.2	1.2	2.8	1.0

표 26 시험유 MF 60의 특성

연료유	MF 60				
	x	o	o	x	x
첨가제유무	x	o	o	x	x
전처리장치	-	-	p	m	p+m
비중(15/4℃)	0.9366	0.9372	0.9341	0.9359	0.9298
동점도(50℃)	45.70	45.88	41.18	42.57	31.30
인화점(PM, ℃)	76.0	74.0	78.0	77.0	74.0
유동점(℃)	-10.0	-10.0	-7.5	-5.0	-7.5
잔류탄소분(무게 %)	7.4	7.4	6.9	7.4	6.8
회분(무게 %)	0.055	0.037	0.074	0.026	0.049
수분	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
유황분(무게 %)	2.65	2.66	2.53	2.59	2.42
바나듐(무게 mg/kg)	48.3	50.5	40.6	39.2	43.3
Al+Si(무게 mg/kg)	5.0	5.9	2.2	3.2	1.8

표 27 시험유 MF 100, 150 및 180의 특성

연료유	MF 100						MF 150	MF 180
	x	o	x	o	x	x	o	o
첨가제 유무	x	o	x	o	x	x	o	o
전처리장치	-	-	p	p	m	p+m	p	p
비중 (15/4℃)	0.9491	0.9491	0.9491	0.9498	0.9485	0.9453	0.9422	0.9555
동점도 (50℃)	82.22	83.23	82.49	84.14	79.28	70.25	54.73	104.1
인화점 (PM, ℃)	82.0	81.0	84.0	83.0	85.0	81.0	80.0	84.0
유동점 (℃)	-7.5	-5.0	-7.5	-5.0	-7.5	-7.5	-5.0	-5.0
잔류탄소분 (무게 %)	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	7.5	8.6
회분 (무게 %)	0.066	0.029	0.062	0.038	0.027	0.038	0.014	0.018
수분	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
유황분 (무게 %)	2.86	2.86	2.83	2.85	2.80	2.76	2.64	2.90
마나듐 (무게 mg/kg)	45.8	49.3	50.5	45.7	54.2	54.3	52.5	59.4
Al+Si (무게 mg/kg)	5.5	6.3	2.7	3.1	5.8	4.1	7.9	9.1

### 3) 무궁화 24호 시험유의 유성상 분석(목포해양대학교)

#### 가) 시료의 종류 및 분류

시험에 사용된 시료유는 8가지 유종에 연료첨가제(조연제)의 혼합유무 및 정제장치의 종류에 따라 분류된 총 24가지이다. 유종은 MGO(경유), MDO, MF15, B/A(Bunker A), MF60, MF100, MF150 및 MF180로 분류된 총 8가지이다.

8가지 유종을 기본으로 하여 연료첨가제(조연제)를 혼합 하거나 하지 않고, 3종류의 정제처리 장치인 원심식청정기(Purifier : "P"로 표기), 믹싱크린히터(Mixing Clean Heater : "M"로 표기) 및 세라믹볼필터(Ceramic Ball Filter : "C"로 표기)를 통하여 정제한 시료 24종류를 대상으로 물리화학적 성분 시험 및 현미경 사진 촬영을 수행하였다. 시험의 편의상 시료(Test Sample)의 번호를 TS1(MGO), TS2~TS7(MDO), TS8~TS10(MF15), TS11~TS14(B/A), TS15~TS18(MF60), TS19~TS122(MF100), TS23(MF150) 그리고 TS24(MF180)라고 칭하였다.

#### 나) 시료유의 시험

시험은 시료유의 대표적인 물리화학적 성상을 나타내는 비중(specific gravity), 동점도(kinematic viscosity), 유동점(pour point), 인화점(flash point), 수분(water), 황분(sulfur) 그리고 혼합안정성(compatibility)을 조사하였다. 또한 각 시료의 정제처리 효과를 알 수 있는 입자의 균질화 등을 살펴보기 위하여 위상차 현미경을 이용한 촬영 및 분석을 실시하였다. 현미경 사진은 각각의 시료에 대하여 현미경의 배율을 100배, 200배 그리고 400배를 적용하여 촬영하였고, 총 105장의 사진을 획득한 후 분석하였다.

표 28은 엔진유입직전에 채취한 샘플시료를 목포해양대학교에서 분석한 총 24종의 시료에 대한 성상 분석 결과표이다. 시료의 종류를 유종에 따라 8가지로 분류하고, 첨가제의 혼합유무 및 정제장치의 종류에 따라 24가지로 세분하여 시료번호를 TS1부터 TS24로 나타내었다.

표 28 시료유 분석 결과

시료 번호 (TS)	시료종류			비중 (15/4℃)	동점도 (cSt@40℃) (cSt@50℃)	유동점 (℃)	인화점 (℃)	수분 (v/v%)	황분 (wt%)	혼합 안정성 (No. 1-5)
	유종	첨 가 제	정제 장치							
1	MGO	-	-	0.8500	2.9*	-22.5	66.0	0.005	0.78	-
2	MDO	●	P	0.9000	7.2*	-12.5	70.0	0.11	1.63	2
3		●	P+M	0.8980	7.0*	-10.0	66.0	0.13	1.62	-
4		●	M	0.9050	11.3*	-7.5	72.0	0.15	1.85	2
5		●	-	0.9100	8.7*	-7.5	68.0	0.13	1.60	2
6		-	M	0.9010	10.3*	-7.5	72.0	0.14	1.78	2
7		-	-	0.9120	10.5*	-5.0	69.0	0.13	1.85	2
8		MF15	●	P	0.8990	14.5	-7.5	71.0	0.16	2.21
9	●		P+M	0.9050	13.9	-5.0	70.0	0.15	2.12	3
10	●		M	0.9020	15.7	-7.5	68.0	0.15	2.18	4
11	B/A	●	P	0.9110	12.8	-10.0	80.0	0.15	2.03	3
12		●	P+M	0.9130	12.1	-12.5	75.0	0.16	2.02	4
13		●	M	0.9140	13.5	-15.0	76.0	0.14	2.01	4
14		●	-	0.9110	13.1	-20.0	77.0	0.14	2.02	4
15	MF60	-	P	0.9140	41.4	-15.0	78.0	0.11	2.67	2
16		-	P+M	0.9130	28.0	-7.5	74.0	0.15	2.42	4
17		-	M	0.9190	37.8	-5.0	77.0	0.11	2.59	5
18		-	-	0.9120	41.8	-10.0	76.0	0.15	2.65	3
19	MF100	-	P	0.9500	79.2	-7.5	84.0	0.20	2.83	5
20		-	P+M	0.9470	65.4	-7.5	83.0	0.23	2.76	5
21		-	M	0.9440	72.8	-7.5	85.0	0.18	2.80	5
22		-	-	0.9450	77.6	-7.5	82.0	0.18	2.86	5
23	MF150	●	C	0.9500	33.7	-20.0	75.0	0.20	2.47	5
24	MF180	●	P+C	0.9530	83.0	-15.0	83.0	0.15	2.82	5

다) 비중(specific gravity, 15/4℃)

연료유의 대표적인 물리적 특성을 나타내는 비중은 표준기압 하에서 4℃의 물의 질량에 대한 비교치로서 통상적으로 같은 장소에서의 무게비로 결정된다. 일반적으로 15℃에서 측정한 값은 증류연료인 경질유는 0.7~0.9, 잔사유 등의 중질유는 0.9~1.0 정도를 나타낸다.

(1) MDO (TS2~TS7)

그림 19은 MDO유에 대한 비중을 측정한 그래프이다. 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7가 0.9120으로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS7가 0.9100으로 나타나 첨가제로 인한 비중의 변화는 경미하였다. 가장 낮은 수치를 보인 시료는 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS3이 0.8980으로 나타났고, 가장 높은 비중값은 TS7의 0.9120으로 나타났기 때문에 첨가제에 의한 비중 감소의 효과는 TS3에서 가장 크게 나타났다. 또한 단일 정제장치로 처리한 시료중에서는 첨가제를 혼합하여 Purifier로 처리한 TS2의 비중이 0.9000으로 나타나 가장 낮은 값을 보였다.

이 결과를 살펴보면 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 MDO 연료유가 첨가제를 혼합하고 Purifier 정제처리 과정과 Mixing Clean Heater를 거치면서 비중이 소폭 감소하였고, 이것은 슬러지분 등의 제거 및 미립화로 인한 효과로 판단되어 연료유 개질(改質)에 긍정적으로 작용할 수 있다고 사료된다.

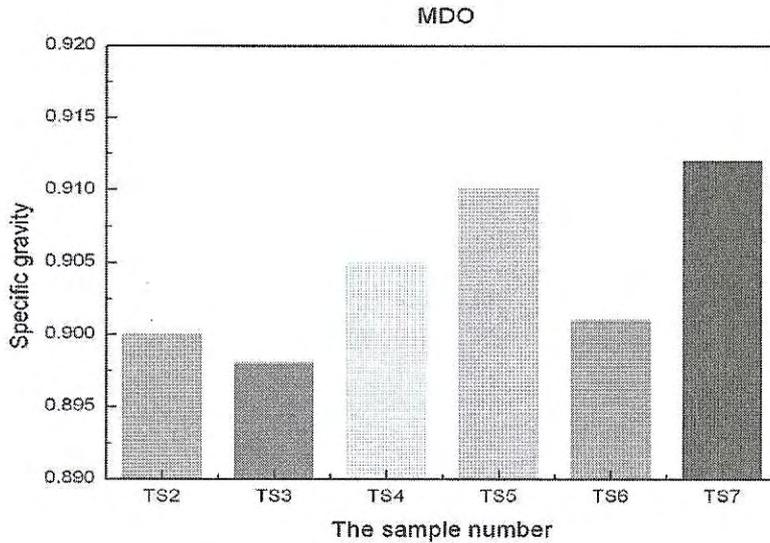


그림 19 MDO 비중시험 결과 (TS2~TS7)

(2) MF15 (TS8~TS10)

그림 20은 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 비중을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프를 살펴보면 가장 낮은 비중값을 나타내는 시료는 Purifier로 정제한 TS8에서 0.8990으로 나타났고, 가장 높은 비중값은 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS9에서 0.9050으로 나타났다. 그 외 나머지 시료들은 0.9010~0.9040까지 거의 비슷한 수준의 비중값을 보이고 있다.

앞서 그림19에서 고찰한 MDO의 비중값은 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS3이 가장 낮은 비중값을 나타낸 반면, MF15유에서는 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 TS9가 가장 높은 비중값을 나타내었다.

단일 정제장치로 처리한 시료 또한 Purifier로 정제한 TS8이 가장 낮은 비중값을 나타내고 있기 때문에 비중의 감소로 인한 연료유의 개질 효과는 MF15유의 경우에 Purifier 정제장치가 가장 좋았다.

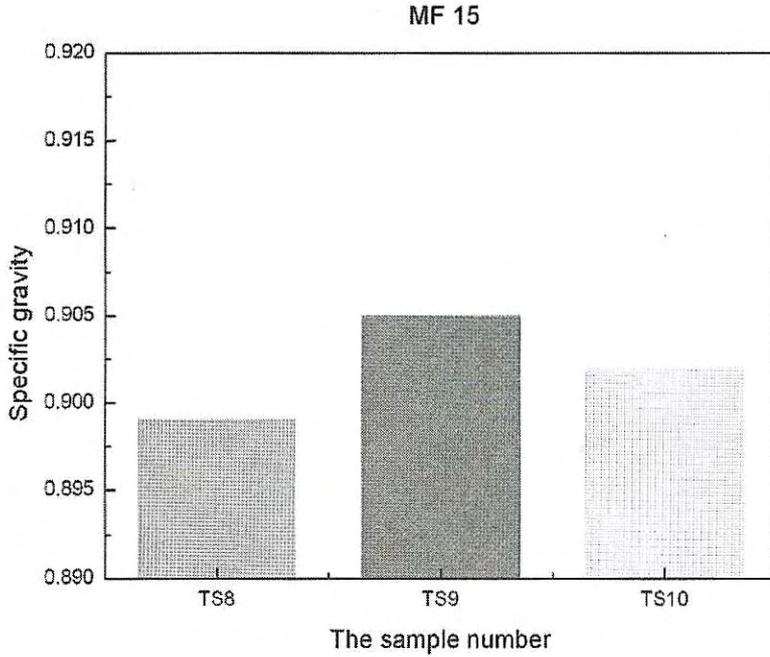


그림 20 MF15 비중시험 결과 (TS8~TS15)

(3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 21은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 비중을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제만을 혼합하고 다른 정제처리를 하지 않은 시료, 즉 기준이 되는 시료인 TS14의 비중이 0.9110이다. 가장 낮은 비중값을 나타내는 시료는 Purifier로 정제한 TS11에서 0.9110으로 나타났고, 가장 높은 비중값은 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS13에서 0.9140으로 나타났으나 특별한 차이는 보이지 않고 있다.

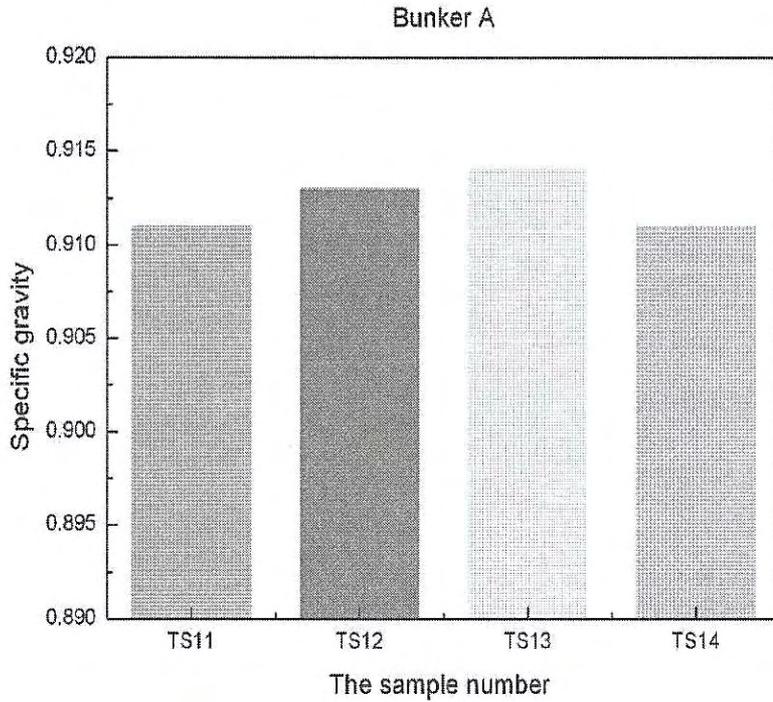


그림 21 Bunker A 비중시험 결과 (TS11~TS14)

(4) MF60 (TS115~TS18)

그림 22는 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 비중을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고, 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 비중이 0.9120이다. MF60유에서는 기준 시료보다 높은 비중으로 나타나 정제처리에 따른 비중 감소 효과는 없는 것으로 판단된다.

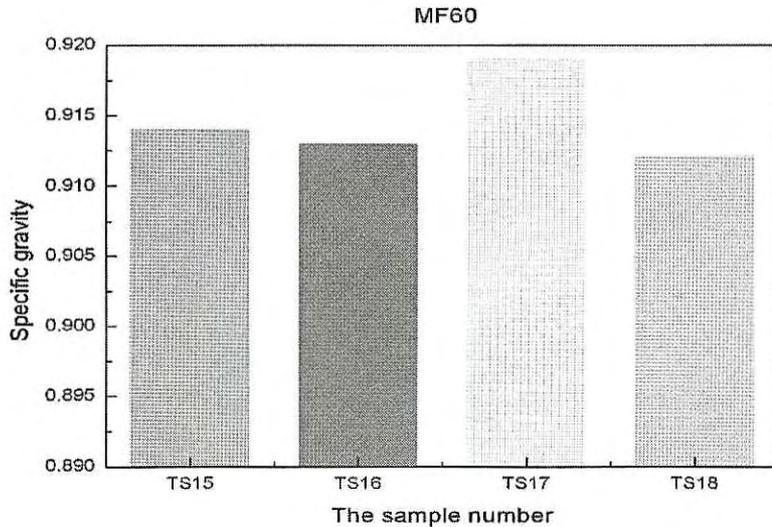


그림 22 MF60 비중시험 결과 (TS15~TS18)

(5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 23은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제 처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22과, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 비중을 측정하여 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 MF100유 중 아무런 처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 비중이 0.9450으로 나타났고, Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS21의 비중이 0.9440으로 아주 미소하게 비중이 감소한 것으로 나타났다. 그 외 나머지 시료들은 기준이 되는 0.9450과 같거나 약간 높은 비중값을 보이고 있다. 따라서 MF100유에서는 정제처리에 의한 비중 감소 효과는 없는 것으로 사료된다.

MF150유는 비중이 0.9500으로 MF100유와 거의 동일한 비중으로 조사되었고, Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유는 0.9530으로 나타났다.

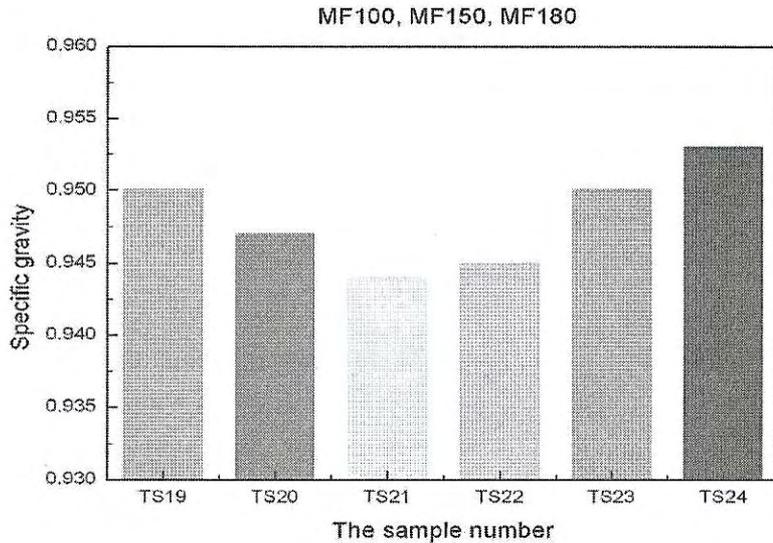


그림 23 MF100, MF150 및 MF180 비중시험 결과 (TS19~TS24)

라) 동점도(kinematic viscosity, cSt@40°C / 50°C)

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(1cSt=1mm<sup>2</sup>/sec)로 측정된 동점도에 기초하여 국제적으로 거래되고 있으며 점도를 인용할 때 그것이 결정되는 온도를 함께 표시하여야 한다. 선박 연료의 점도 결정을 위하여 일반적으로 인용되는 온도는 경질유 등의 증류 연료는 40°C 그리고 잔사연료는 50°C이다.

(1) MDO (TS2~TS7)

그림 24는 MDO를 대상으로 40°C에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7의 동점도가 10.5cSt로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS5는 8.7cSt로 나타나 첨가제 혼합으로 인한 동점도는 낮아지는 수치를 보였다. 이것은 연료유첨가제의 혼합으로

인한 동점도 저하효과가 나타나고 있는 것으로 판단되기 때문에 첨가제 혼합으로 인한 연료유 개질효과가 다소 나타나고 있다고 사료된다. 가장 낮은 수치를 보인 시료는 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS3이 7.0cSt을 나타내었고, 앞장에서 살펴본 비중값 또한 TS3에서 가장 좋은 효과를 나타내었기 때문에 비중과 동점도의 저하로 인한 연료유의 개질 효과는 MDO의 경우에 TS3이 가장 우수하였다.

Mixing Clean Heater로 단일 처리한 TS4가 가장 높은 동점도 값을 보인 것은 Heater로 인한 연료유의 가열로 수분 및 경질유 성분이 다소 증발한 결과로 추정된다. TS4를 제외한 나머지 첨가제를 혼합한 시료들의 동점도 값이 7.0~8.7cSt로 나타나고 있는 반면, 첨가제를 혼합하지 않은 시료들은 10.3~10.8cSt값을 나타내고 있으므로 첨가제의 혼합으로 인한 동점도 값은 저하하는 효과를 보였다.

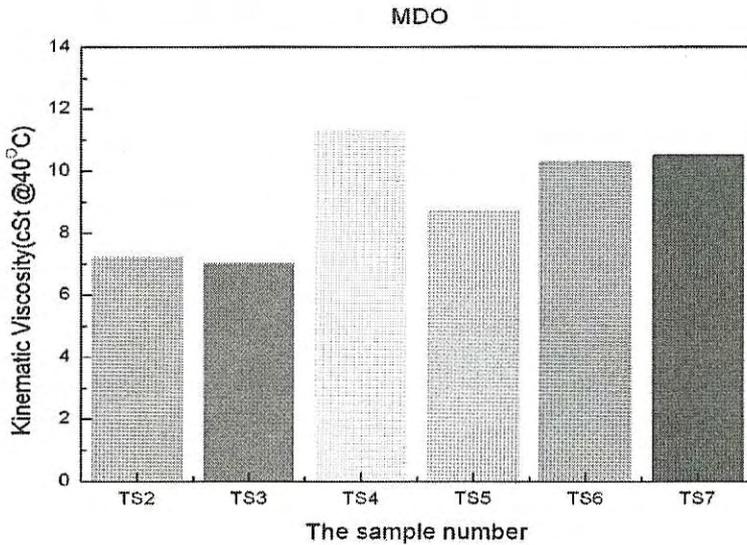


그림 24 MDO 동점도시험 결과 (TS2~TS7)

## (2) MF15 (TS8~TS11)

그림 25는 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 50℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 가장 낮은 동점도값은 Purifier 및 MCH로 정제처리한 TS9가 13.9cSt을 나타냈고, MCH 단독으로 정제처리한 TS15가 15.8cSt로 가장 높은 값을 나타냈다. 따라서 MF15유에서는 단독으로 정제처리한 시료보다는 두 개의 정제처리 과정을 거친 시료에서 동점도 저하효과가 있는 것으로 판단되고 연료유 개질효과가 다소 나타나고 있다고 사료된다.

다만, 동점도 저하로 인한 연료유 개질 효과가 비중의 저하로 인한 개질 효과와는 다소 상이한 결과가 도출되었다.

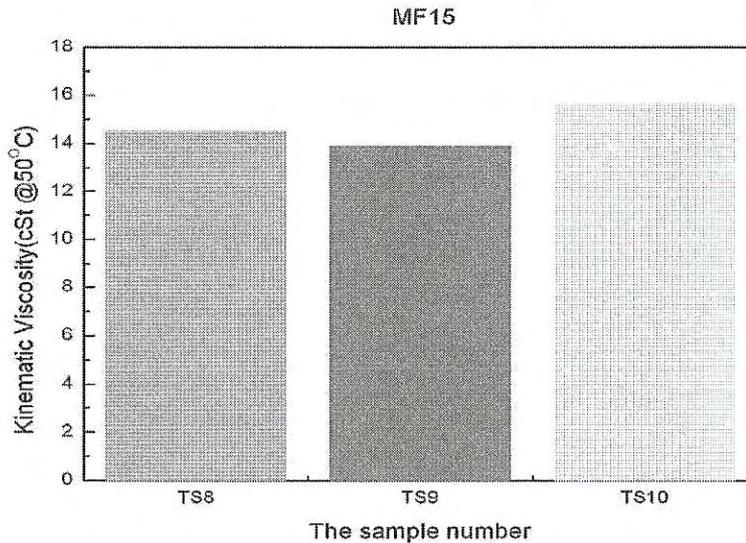


그림 25 MF15 동점도시험 결과 (TS8~TS15)

### (3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 26은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 50℃에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 가장 낮은 동점도 값은 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS12가 12.1cSt로 나타났고, MCH로 정제처리 한 TS13이 13.5cSt로 가장 높은 수치를 나타냈다. 첨가제만을 혼합하고 정제처리 과정을 거치지 않은 TS14가 13.1cSt였고, 그 외 다른 시료들은 12.8~13.6cSt으로 거의 비슷한 수준의 동점도 값을 나타냈다. 따라서 Bunker A유에서는 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 시료에서 동점도 저하효과가 소폭 나타나고 있으며, 그 외 시료에서는 정제처리 과정이 동점도에 미치는 영향은 미미한 것으로 사료된다.

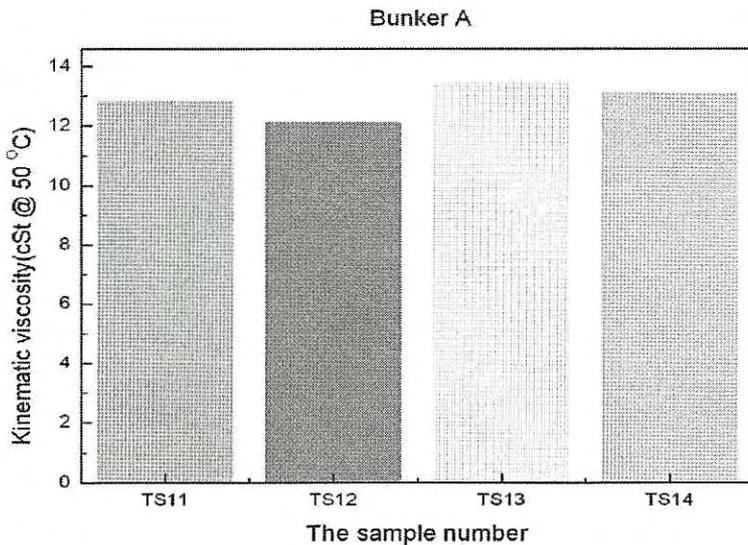


그림 26 Bunker A 동점도시험 결과 (TS11~TS14)

#### (4) MF60 (TS115~TS18)

그림 27은 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 50°C에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고, 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 동점도가 41.8cSt로 가장 높게 나타났다. 가장 낮은 동점도 값을 나타내는 시료는 Purifier 및 MCH로 정제처리 한 TS16이 28.0cSt을 나타냈다. 따라서 MF60유에서는 정제처리에 따른 동점도의 저하효과가 뚜렷이 나타났으며, 단독으로 정제처리 한 시료보다는 두 개의 정제처리 과정을 거친 시료에서 동점도 저하효과가 있는 것으로 판단되고 연료유 개질효과가 다소 나타나고 있다고 사료된다. MF60유에서의 동점도 분석결과는 비중 분석 결과와도 비슷한 양상을 나타냈기 때문에 두 가지를 혼합한 정제처리 과정이 연료유 개질효과가 뚜렷한 것으로 판단된다.

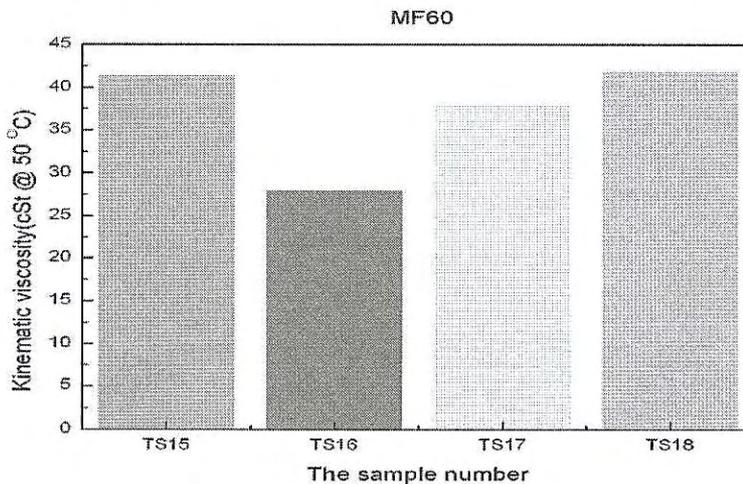


그림 27 MF60 동점도시험 결과 (TS15~TS18)

#### (5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 28은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22와 첨가제를 혼합하여

Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 50°C에서의 동점도 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 MF100유 중 아무런 처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 동점도가 77.6cSt으로 나타났고, Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제 처리한 TS20이 65.4cSt로 조사되어 가장 낮은 동점도 값을 나타냈다. Purifier로 단독처리한 TS19가 79.2cSt로 가장 높은 동점도 값을 나타냈고, 그 외 나머지 시료들은 기준이 되는 77.6cSt보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 따라서 MF100유는 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리한 시료에서 동점도 저하 효과가 있었다.

MF150유는 동점도 값이 33.7cSt를 나타냈는데, 이것은 MF150급 보다 더 경질유 성분에서 나타나는 동점도 값으로 MF150유를 Ceramic Ball Filter로 단독 정제 처리한 경우에 연료유 개질 효과가 있다고 판단된다.

Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유는 83.0cSt로 나타났다.

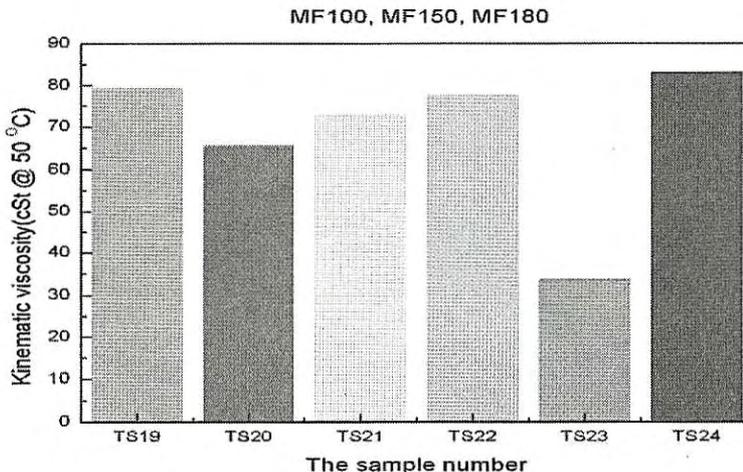


그림 28 MF100, MF150 및 MF180 동점도 시험 결과 (TS19~TS24)

마) 유동점(pour point, °C)

유동점은 기름이 유체로 남아있는 가장 낮은 온도이며 따라서 선내에서 취급목적을 위하여 알고 있는 것이 중요하다. 통상 응고점 또는 기름이 고체로 남아 있는 가장 높은 온도 보다 약 3°C정도 높은 온도이다. 일반적으로 경질유 등의 증류연료유는 6°C 이하, 중질유등의 잔사연료유는 최고 30°C 이하 까지 허용되고 있다.

(1) MDO (TS2~TS7)

그림 29는 MDO를 대상으로 유동점 시험 결과를 나타내고 있다. 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7의 유동점이 -5.0°C로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS5가 -7.5°C로 나타나 첨가제 혼합으로 인한 유동점 강하 효과가 소폭이나마 나타났다고 사료된다. 유동점이 가장 낮은 온도인 -12.5°C를 보인 TS2는 첨가제를 혼합한 상태에서 Purifier 단독 처리한 시료이고, 또한, Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS3의 유동점이 -10.0°C로서 낮은 유동점을 나타내고 있기 때문에 유동점의 저하로 인한 연료유의 개질 효과는 첨가제를 혼합하여 Purifier 단독 정제 처리 또는 Purifier와 다른 정제처리 과정을 혼합한 시료에서 가장 좋게 나타났다.

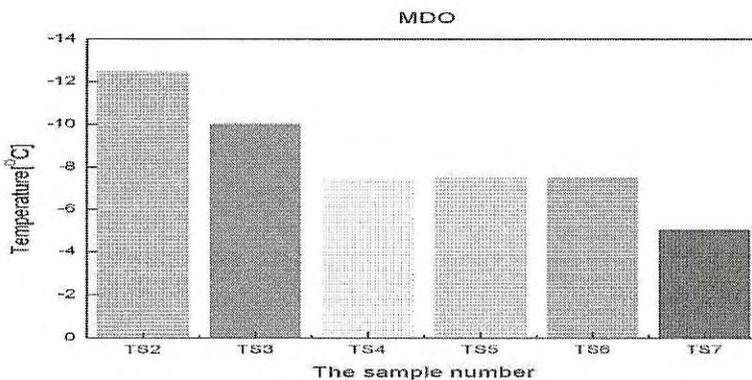


그림 29 MDO 유동점시험 결과 (TS2~TS7)

(2) MF15 (TS8~TS10)

그림 30은 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 유동점을 측정된 결과를 나타내고 있다. 그래프를 살펴보면 가장 낮은 유동점은 Purifier로 단독 정제처리 한 TS8과 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS10에서  $-7.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 그 외 나머지 시료들은  $-5.0^{\circ}\text{C}$ 로 동일하게 조사 되었다. 따라서 MF15유에서는 각 정제처리 과정에 의한 유동점 강하효과는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

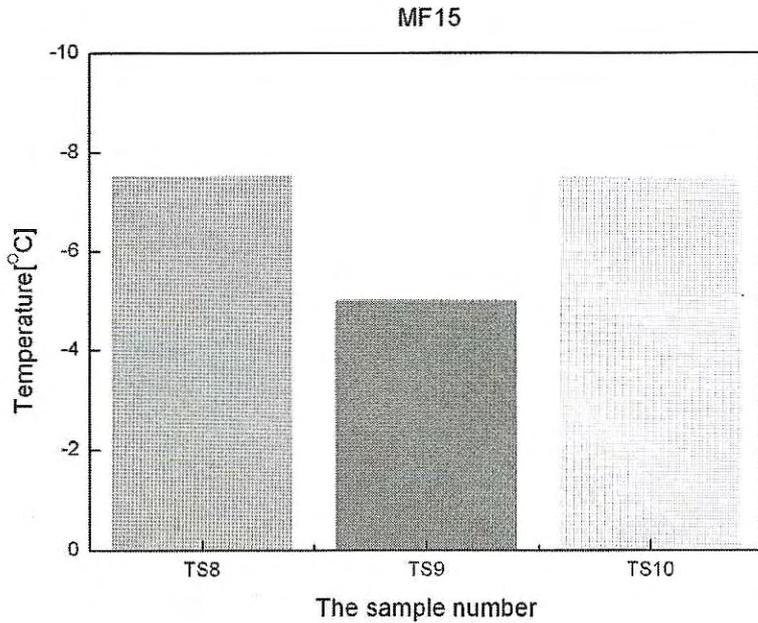


그림 30 MF15 유동점시험 결과 (TS8~TS10)

### (3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 31은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 유동점을 측정된 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제만을 혼합하고 다른 정제처리를 하지 않은 시료, 즉 기준이 되는 시료인 TS14의 유동점이  $-20.0^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮은 유동점을 나타냈다. 이러한 결과는 MDO급 보다도 더 낮은 수준의 유동점으로 판단된다. 정제처리 과정을 거친 다른 시료들도 상당히 낮은 유동점인  $-15.0^{\circ}\text{C} \sim -10.0^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 전체적으로 시험대상인 Bunker A유의 유동점은 상대적으로 낮은 수준을 나타냈다.

그러나 정제처리를 하지 않은 기준시료의 유동점 보다 각 정제처리 과정을 거친 시료의 유동점이 더 높게 조사된 결과로 보면 정제처리 과정이 유동점 강하 효과로 나타나지 않고 오히려 더 증가되는 역효과가 나타났다.

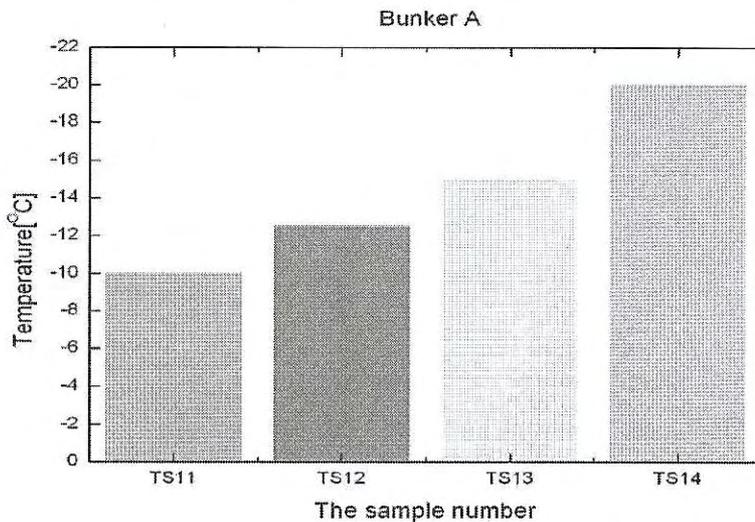


그림 31 Bunker A 유동점시험 결과 (TS11~TS14)

### (4) MF60 (TS15~TS18)

그림 32는 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 유

동점 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고, 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 유동점이  $-10.0^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 가장 낮은 유동점은 Purifier로 단독 정제처리 한 TS15에서  $-15.0^{\circ}\text{C}$ 로 조사되었다. 그 외 나머지 시료들은 유동점이 기준시료와 같은  $-10.0^{\circ}\text{C}$ 이거나 더 높은  $-5.0^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 정제처리에 따른 유동점 강하 효과는 없었다. 따라서 MF60유에서는 정제처리에 따른 유동점 강하는 Purifier로 처리한 방법 외에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으며, 오히려 유동점이 소폭 증가하는 경향을 보였다.

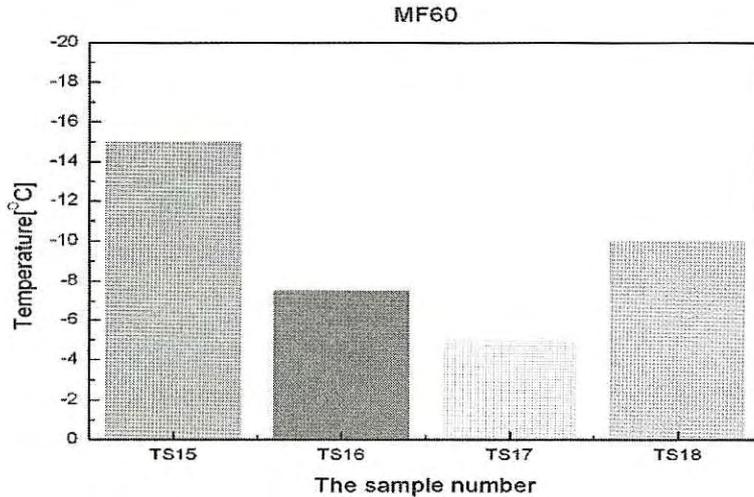


그림 32 MF60 유동점시험 결과 (TS15~TS18)

(5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 33은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22와, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 유동점 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 MF100유는 아무런 처리를

하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 유동점과 각 정제처리 과정을 거친 시료들의 유동점이 모두 동일하게  $-7.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 정제처리에 따른 유동점 강하 효과는 없었다.

MF150유는 유동점이  $-20.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈는데, 앞서 동점도 시험 결과와도 동일하게 매우 낮은 수준의 유동점을 보이고 있다. 따라서 동점도 및 유동점의 강하로 인한 연료유의 개질 효과 측면에서 살펴보면 MF150유를 Ceramic Ball Filter로 단독 정제 처리한 경우에 효과가 있다고 판단된다.

Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유 또한  $-15.0^{\circ}\text{C}$ 로 경질유 수준의 매우 낮은 유동점을 보이고 있다. 따라서 기준이 되는 시료가 없는 관계로 비교 분석이 불가능하지만, 고비중의 저질중유 급 연료유에서 Ceramic Ball Filter 정제처리 법은 연료유 개질 효과가 있다고 사료된다.

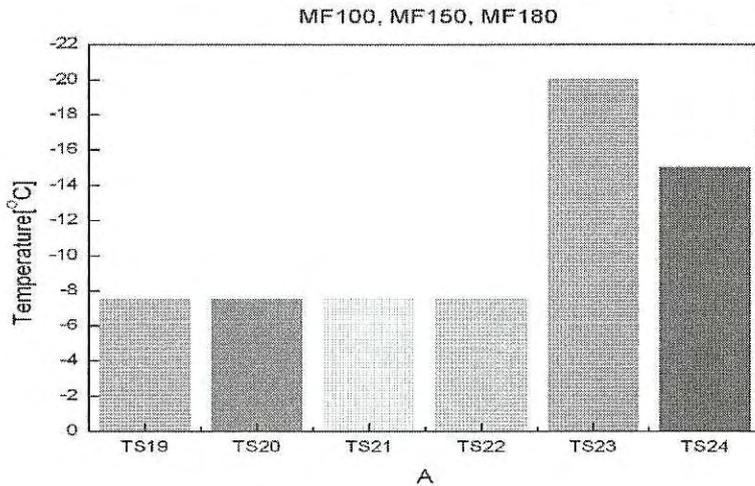


그림 33 MF100, MF150 및 MF180 유동점시험 결과 (TS19~TS24)

#### 바) 인화점(flash point, $^{\circ}\text{C}$ )

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 중질유

는 60℃ 이상을 나타내며 인화점이 낮을수록 경질유에 가까운 양질의 연료로 간주 될 수 있다.

(1) MDO (TS2~TS7)

그림 34는 MDO를 대상으로 인화점 시험 결과를 나타내고 있다. 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7의 인화점이 69.0℃로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS5가 68.0℃로 나타나 첨가제 혼합으로 인한 인화점 강하 효과는 미미하였다. 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS3의 인화점이 66.0℃로서 가장 낮은 값을 나타내고 있기 때문에 앞장에서 살펴본바 있는 비중 및 동점도의 경우와 마찬가지로 인화점의 강하로 인한 연료유의 개질 효과는 TS3이 가장 좋았다. MCH로 정제 처리한 시료인 TS4 및 TS6에서 가장 높은 인화점인 72.0℃를 나타내고 있으며, 그 외 나머지 시료들은 68.0℃~72.0℃의 분포를 보이고 있기 때문에 인화점 강하로 인한 연료유의 개질 효과는 두드러지게 나타나지 않았다.

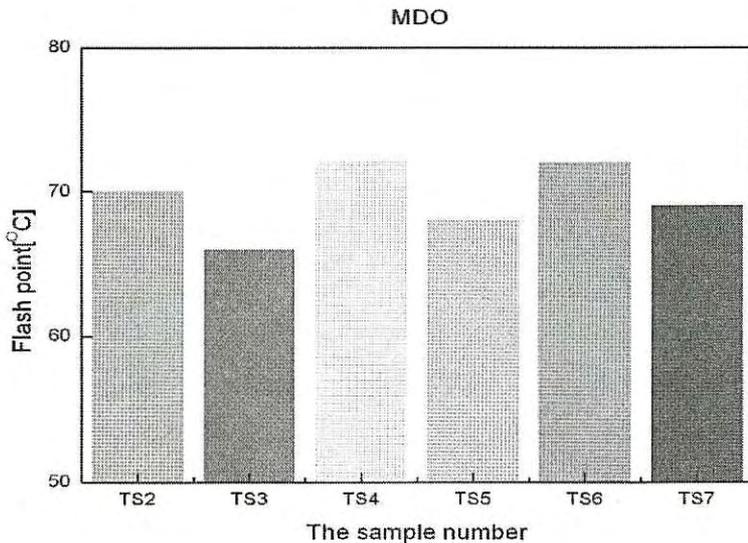


그림 34 MDO 인화점시험 결과 (TS2~TS7)

## (2) MF15 (TS8~TS10)

그림 35는 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 인화점을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프를 살펴보면 가장 낮은 인화점은 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS10에서 68.0℃로 나타났다. 그 외 나머지 시료들은 69.0℃~ 71.0℃로 조사되었기 때문에 MF15유에서는 각 정제처리 과정에 의한 인화점 강화효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

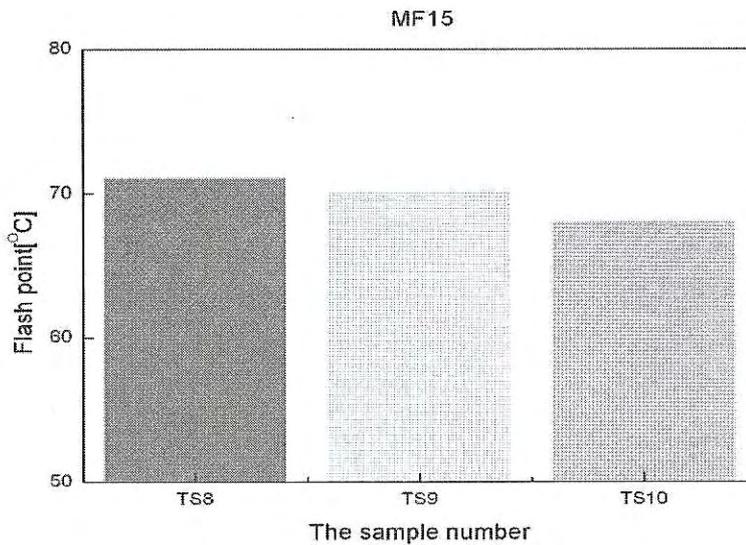


그림 35 MF15 인화점시험 결과 (TS8~TS15)

## (3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 36은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 인화점을 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제만을 혼합하고 다른 정제처리를 하지 않은 시료, 즉 기준이 되는 시료인 TS14의 인화점이 77.0℃로 조사되었고, 가장 높은 인화점은 Purifier로 단독 정제처리 한 TS11에서 80.0℃로 나타났다. 그 외 시료들은 75.0℃~76.0℃로 나타나 정제처리 전과 비슷한 수준의 인화점을 나타냈다. 따라서

Bunker A유에서는 정제처리 과정으로 인한 인화점 강하 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

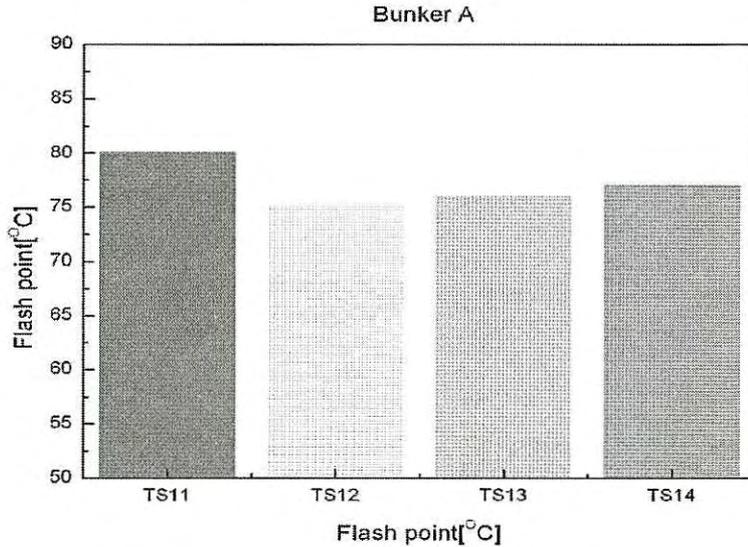


그림 36 Bunker A 인화점시험 결과 (TS11~TS14)

#### (4) MF60 (TS115~TS18)

그림 37은 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 인화점 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고, 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 유동점이 76.0°C로 나타났다. 가장 낮은 인화점은 Purifier 및 MCH로 정제처리 한 TS16에서 74.0°C로 조사되었다. 그 외 나머지 시료들은 인화점이 기준시료보다 약간 낮거나 높은 수준인 74.0°C~78.0°C로 나타나 정제처리에 따른 뚜렷한 인화점 강하 효과는 없었다.

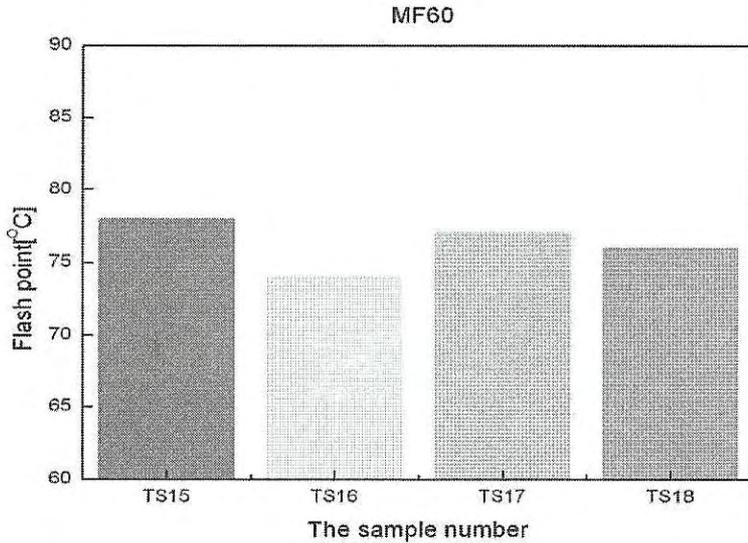


그림 37 MF60 인화점시험 결과 (TS15~TS18)

(5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 38은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제 처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS24과, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 인화점 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 MF100유는 아무런 처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 인화점이 82.0°C 이고 나머지 시료들의 인화점이 기준시료와 비슷한 수준인 81.0°C~85.0°C로 나타나 정제처리에 따른 뚜렷한 인화점 강화 효과는 없었다.

MF150유는 인화점이 75.0°C를 나타냈는데, 앞서 동점도 및 유동점 시험 결과와도 동일하게 낮은 수준의 인화점을 나타냈다. 따라서 동점도, 유동점 및 인화점의 강하로 인한 연료유의 개질 효과 측면에서 살펴보면 MF150유를 Ceramic Ball Filter로 단독 정제 처리한 경우에 연료유 개질 효과가 있다고 판단

된다.

Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유는 인화점이 83.0℃로 나타나 비교적 낮은 수준의 인화점을 나타냈다.

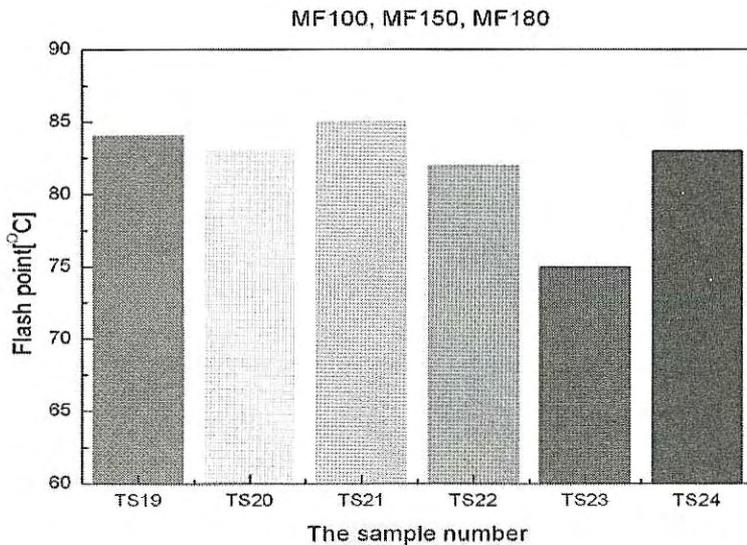


그림 38 MF100, MF150 및 MF180 인화점시험 결과 (TS19~TS24)

#### 사) 수분(water, V/V %)

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

##### (1) MDO (TS2~TS7)

일반적으로 연료유첨가제의 혼합으로 인한 수분의 감소는 나타나지 않는다. 수분의 제거 효과는 원심식 유청정장치인 Purifier에서 가장 높은 것으로 알려져 있다. 그림 39은 MDO를 대상으로 수분 시험 결과를 나타내고 있다.

첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7의 수분이 0.13%로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS5 또한 0.13%로 나타나 첨가제의 혼합으로 인한 수분의 변화는 없었다. 가장 낮은 수치인 0.11%를 보인 시료는 첨가제를 혼합하고 Purifier로 단독 정제처리 한 TS2로 나타났고, 가장 높은 수분값은 첨가제를 혼합하고 Mixing Clean Heater로 단독 처리한 TS4에서 0.15%로 나타났다. 따라서 수분의 제거 효과는 Purifier 정제처리 장치에서만 소폭 나타났으며, 그 외 정제처리 장치를 통한 수분 제거 효과는 없거나 오히려 수분이 증가하는 경향을 나타냈다.

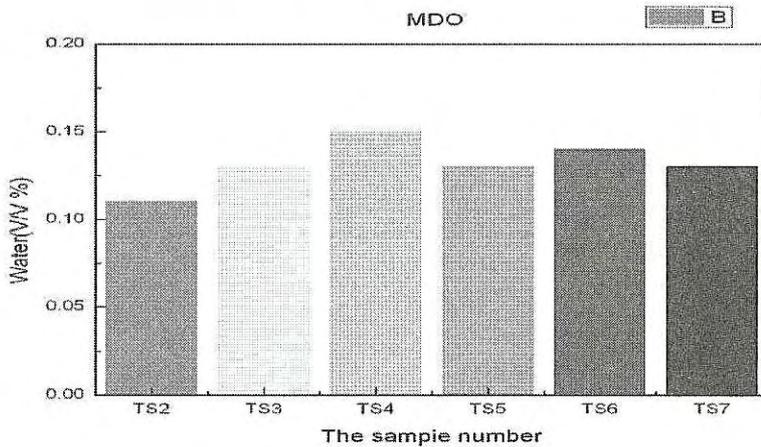


그림 39 MDO 수분시험 결과 (TS2~TS7)

(2) MF15 (TS8~TS10)

그림 40은 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 수분 함량을 측정한 결과를 나타내고 있다. 각 시료의 수분 함량이 0.15%~0.16%로 나타나 큰 변화는 없었다. 따라서 MF15유에서는 각 정제처리 과정에 의한 수분 제거 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

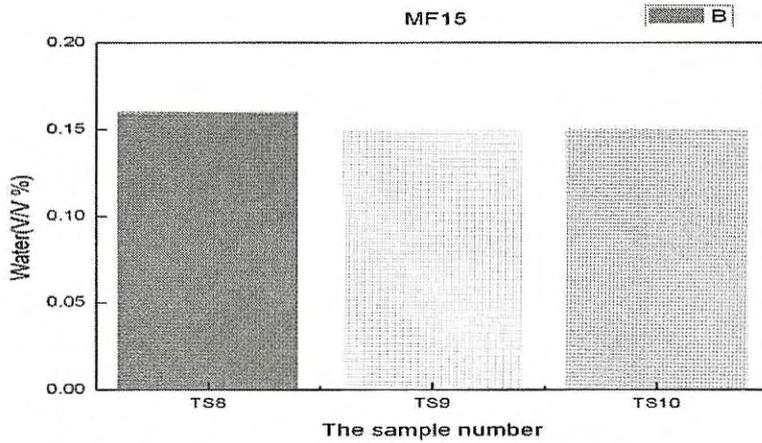


그림 40 MF15 수분시험 결과 (TS8~TS10)

(3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 41은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 수분함량 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 각 시료의 수분함량은 0.14~0.16%로 수분제거 효과는 나타나지 않았다.

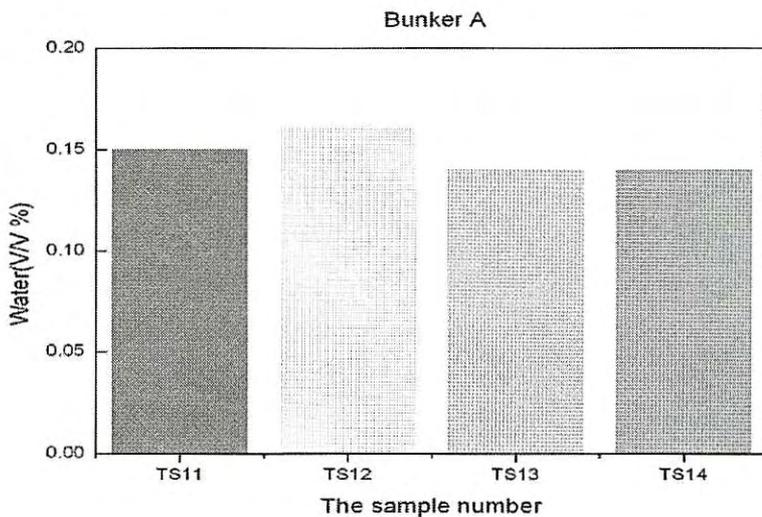


그림 41 Bunker A 수분시험 결과 (TS11~TS14)

#### (4) MF60 (TS115~TS18)

그림 42은 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 수분함량 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 수분이 0.15%로 가장 높은 수준으로 나타났다. 또한 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제 처리 한 TS16이 가장 높은 수준인 0.15%로 조사되어 수분 제거 효과는 없었다. 그 외 나머지 시료들은 0.11~0.12%로 나타나 정제처리 과정을 거치면서 수분이 소폭 제거 되는 효과를 나타냈다.

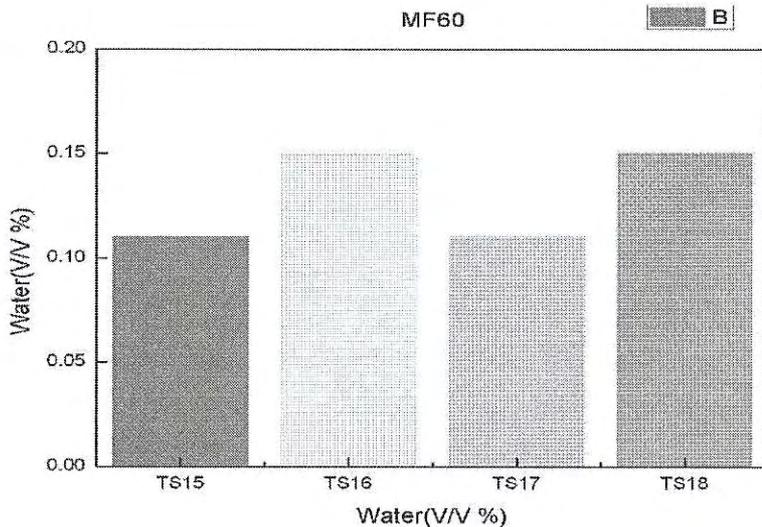


그림 42 MF60 수분시험 결과 (TS115~TS18)

#### (5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 43는 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제 처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22와, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 수분 함량 시험 결과를 나타내

고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 아무런 처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 수분이 0.18%이고 Mixing Clean Heater로 단독 정제 처리한 TS21의 수분함량이 기준시료와 동일한 0.18%를 나타내어 수분제거 효과는 없었다. 나머지 시료들은 수분 함량이 기준시료보다 오히려 증가된 0.20%~0.23%로 조사되어 정제처리에 따라서 수분이 증가하는 경우도 나타났다.

Ceramic Ball Filter로 단독 정제 처리한 MF150유는 수분함량이 0.20%로 나타났고, Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유의 수분은 0.15%로 조사되어 MF100유에 비해 수분함량이 다소 낮은 수준으로 나타났다.

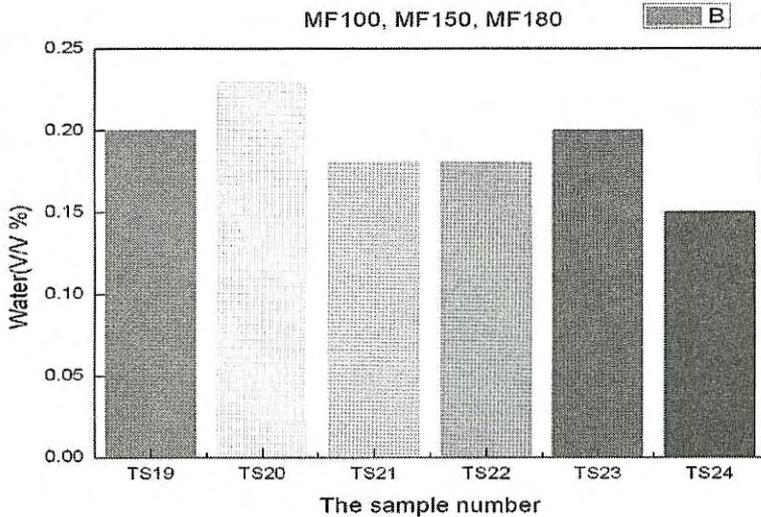


그림 43 MF100, MF150 및 MF180 수분시험 결과 (TS19~TS24)

아) 황분(sulfur, wt %)

황은 연소에는 영향이 없지만, 저온부식을 일으키는 원인이 되므로 황의 함유량만큼 실린더 라이너의 마모도 같이 일어나는 경향이 있다고 알려져 있다. 일반적으로 경질유등의 증류연료유는 최대 2.0% 이하, 중질유등의 잔사연료유는 최대 3.5~4.5%이

하의 황분을 함유하고 있다.

(1) MDO (TS2~TS7)

일반적으로 연료유첨가제의 혼합 및 물리적인 정제처리로 인한 황분의 감소는 나타나지 않는다고 알려져 있다. 그림 44는 MDO를 대상으로 황분 시험 결과를 나타내고 있다. 첨가제를 혼합하지 않은 정제 전 시료인 TS7의 황분이 1.85%로 나타났고, 첨가제를 혼합한 정제 전 시료인 TS5의 황분이 1.60%로 나타나 첨가제의 혼합으로 인한 황분의 변화 0.25% 감소하는 효과로 나타났다. 가장 낮은 수치인 1.60%를 보인 시료는 첨가제를 혼합하고 아무런 정제처리도 하지 않은 시료인 TS5로 나타났고, 가장 높은 황분값은 원시료인 TS7과 첨가제를 혼합하고 Mixing Clean Heater로 단독 처리한 TS4에서 1.85%로 나타났다. 첨가제를 혼합하지 않은 시료인 TS6 그리고 TS7에서 황분의 분포는 1.78~1.85%로 나타난 반면, TS4를 제외한 첨가제를 혼합한 시료에서는 1.60~1.71%로 나타나 첨가제 혼합으로 인하여 황분이 소폭이나마 감소하는 경향을 보였다.

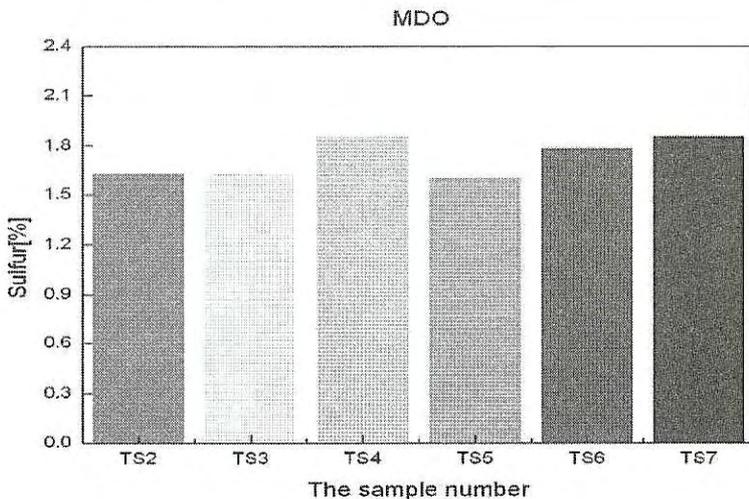


그림 44 MDO 황분시험 결과 (TS2~TS7)

## (2) MF15 (TS8~TS10)

그림 45는 첨가제를 혼합한 MF15유를 대상으로 황분 함량을 측정된 결과를 나타내고 있다. 각 시료의 황분 함량이 2.12%~2.21%로 나타나 큰 변화는 없었다. 가장 높은 황분 함량은 Purifier로 단독 처리 한 TS8에서 2.21%로 나타났으나 다른 시료들과 비슷한 수준으로 판단된다. 따라서 MF15 유에서는 각 정제처리 과정에 의한 수분 제거 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

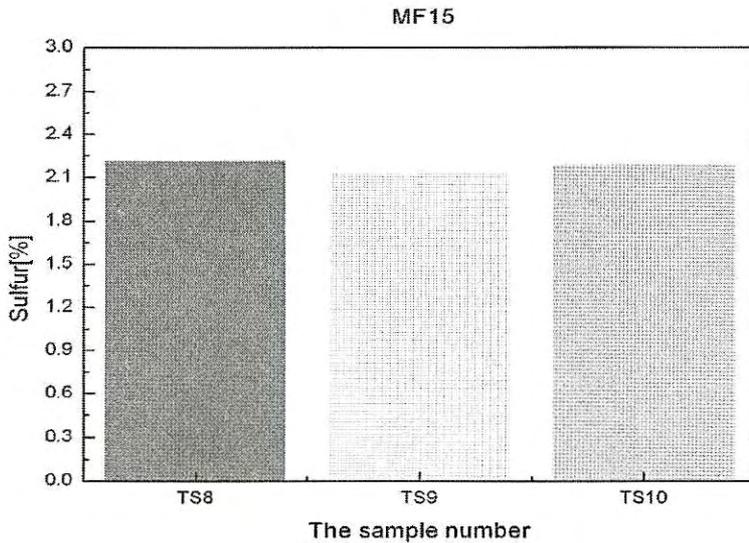


그림 45 MF15 황분시험 결과 (TS8~TS10)

## (3) Bunker A (TS11~TS14)

그림 46은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 대상으로 황분 함량 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제만을 혼합하고 다른 정제처리를 하지 않은 시료, 즉 기준이 되는 시료인 TS14의 황분함량이 2.02%로 조사되었고, 시료들 또한 황분함량이 2.01%~2.03%로 나타나 정제처리 전과

비슷한 수준의 황분함량을 나타냈다. 따라서 Bunker A유에서는 정제처리 과정으로 인한 황분 제거 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

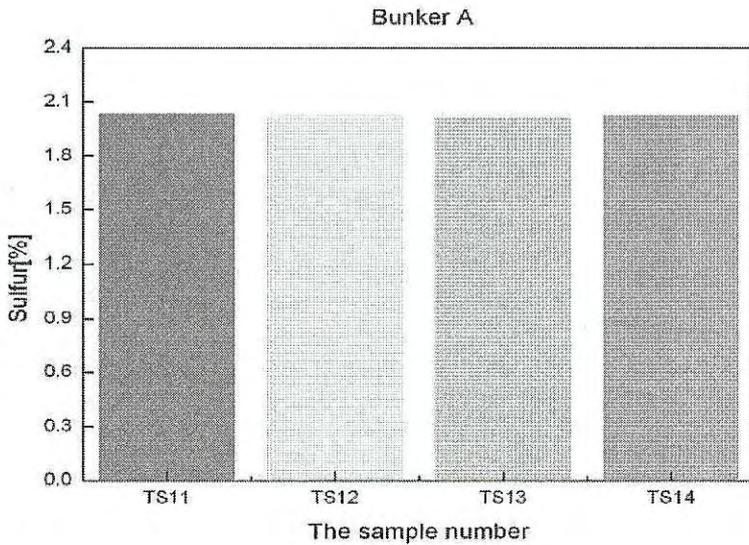


그림 46 Bunker A 황분시험 결과 (TS11~TS14)

#### (4) MF60 (TS115~TS18)

그림 47은 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 대상으로 수분함량 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 첨가제를 혼합하지 않고 또한 다른 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS18의 황분이 2.65%로 나타났으며, Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS116이 2.42%로 비교적 낮은 황분함량을 나타냈다. 그 외 시료들은 황분함량이 2.58%~2.67%로 나타나 정제처리 전과 비슷한 수준의 황분함량을 나타냈다. 따라서 MF60유에서는 두 가지 정제처리 과정을 혼합한 시료에서 소폭의 황분감소 효과가 나타났고, 그 외 정제처리 과정으로 인한 황분 제거 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

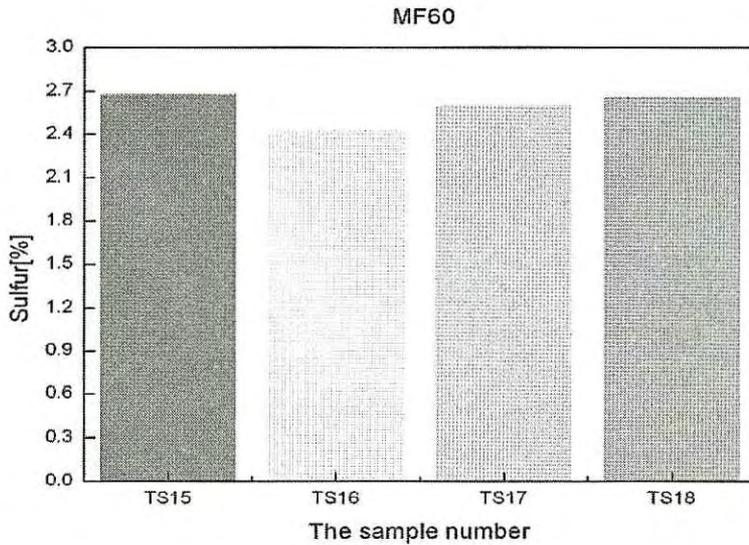


그림 47 MF60 황분시험 결과 (TS115~TS18)

(5) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 48은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제 처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22과, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 대상으로 황분 함량 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에 나타난 바와 같이 정제처리를 하지 않은, 기준이 되는 시료인 TS22의 황분이 2.86%로 나타났고, 나머지 시료들도 황분함량이 2.76%~2.90%로 조사되어 정제처리에 따라 황분 함량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

Ceramic Ball Filter로 단독 정제 처리한 MF150유는 황분함량이 2.47%로 비교적 낮은 황분함유량을 보였고, Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유의 황분은 2.82%로 나타났다.

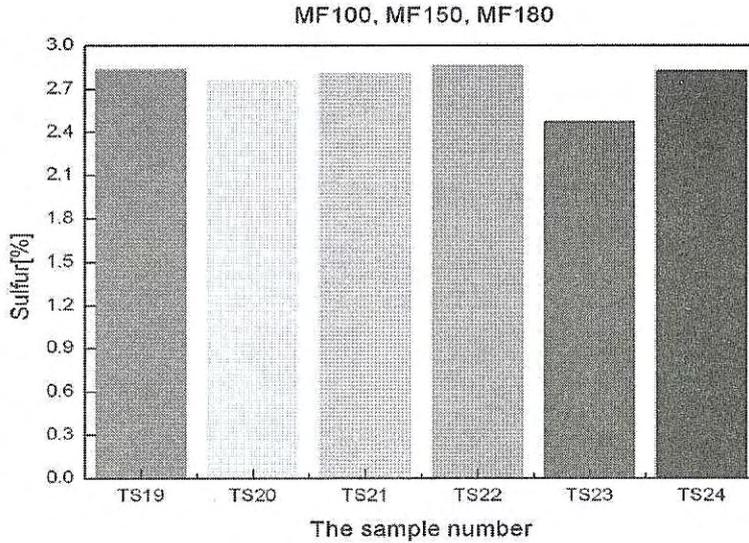


그림 48 MF100, MF150 및 MF180 황분시험 결과 (TS19~TS24)

#### 4) 투리스 79호 시험연료의 유성상분석(한국석유품질검사원)

표 29는 스페인 라스팔마스에서 투리스 79호를 대상으로 장기시험을 실시하기 전 혼합유에 대한 연소시험을 실시하고, 그 때 채취한 시험연료를 한국석유품질검사원에 의뢰하여 분석한 자료이다. MF 180은 현지 스페인에서 선사를 통하여 드럼으로 구매하였고, MF 60은 선박에서 사용하고 있던 연료유를 이용하여 시험하였다. 나머지 MF150은 현지에서 구입할 수가 없어서 혼합비율에 따라 MF 180과 경유를 혼합하여 제조한 것이다. 현지에서 구매된 혼합유들은 한국에서 일반적으로 생각하고 있는 것보다 동점도가 많이 낮아 혼합비율에 맞게 혼합된 MF150도 점도가 낮게 나타나고 있다.

표 29 투리스 79호 시험연료 유성상 분석

연료유	MGO	MF60	MF150	MF180	시험방법
전처리장치	-	MCH	MCH	MCH	
밀도@15℃(kg/m <sup>3</sup> )	860.0	921.4	958.2	966.5	KS M 2002-2001
동점도(50℃)(mm <sup>2</sup> /s)	4.638	20.27	68.44	89.14	KS M 2014-2004
인화점(PM, ℃)	87	84	87	87	KS M 2010-2004
유동점(℃)	-25.0	-10.0	-15.0	-17.5	KS M 2016-2005
잔류탄소분 (무게 %)	0.05	6.72	8.06	8.47	KS M 2017-2001
회분(무게 %)	0.009	0.012	0.039	0.047	KS M ISO 6245-2003
수분(부피 %)	0.005미만	0.05 미만	0.05미만	0.05미만	KS M ISO 3734-2003
유황분(무게 %)	0.19	1.39	1.81	1.93	KS M ISO 8754-2003
금속분(mg/kg)	1미만	51	92	93	ICP
총발열량 J/g	45,340	43,600	43,710	42,870	KS M 2057-1997

### 5) 혼합안정성 (Compatability, No.1~5)

혼합안정성 시험(Compatability Test)은 경질유와 중질유가 섞였을 경우 서로 다른 두 종류의 기름이 안정되게 혼합될 수 있는가를 시험하는 것이다. 시험방법은 ASTM D 2781-69T를 따르며, 다섯 가지 단계에 따라 분석한다. 이때 색의 차이, 밝기 등은 고려하지 않고, 시료의 유동성을 결정적으로 판단한다. 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.(표 28 참조)

#### 가) MDO

그림 49는 MDO를 대상으로 한 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다. MDO의 경우에는 첨가제의 혼합 여부 및 정제처리 장치의 종류에 관계없이 모두 No.2 등급으로 좋은 혼합성을 나타내었다.

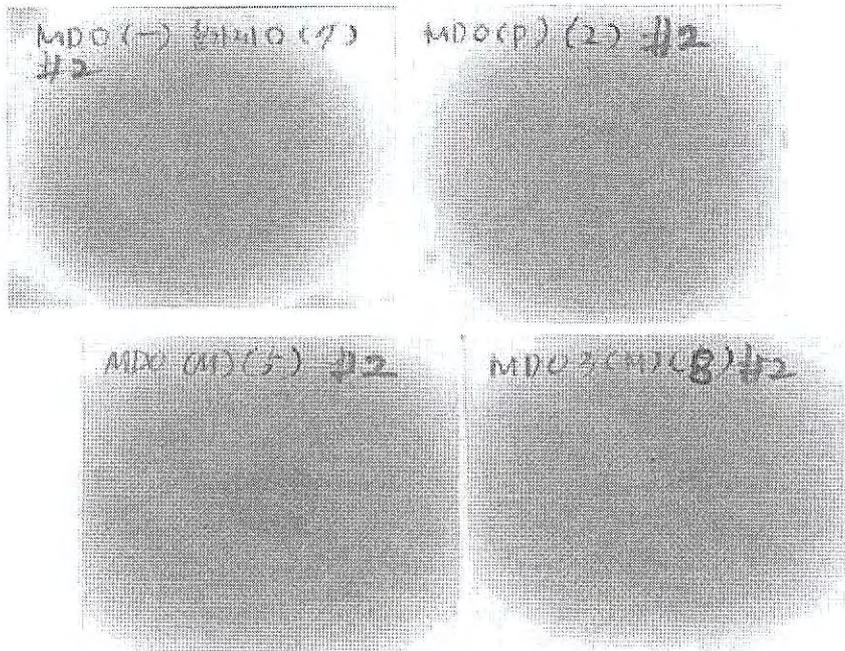


그림 49 MDO 혼합안정성시험 사진 (TS2~TS7)  
좌상:TS5 우상:TS2 좌하:TS4 우하:TS6

## 나) MF15

그림 50은 MF15유 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다. 그래프를 살펴보면 Purifier로 단독 처리한 TS8이 1등급으로 매우 좋은 혼합성을 나타냈다. Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS9가 3등급으로 혼합성의 한계치를 나타냈다. 또한 Mixing Clean Heater로 단독 처리한 TS10은 4등급으로 불혼합성을 나타냈다.

이러한 결과를 살펴보면 Purifier를 이용한 정제처리가 혼합안정성을 유지하는 측면에 있어서는 가장 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다. Purifier는 앞서 기술한 바와 같이 원심분리법을 이용한 장치이기 때문에 비중과 동점도가 다른 경질유와 중질유라 할지라도 빠른 속도로 회전하면서 강한 혼합력의 형성이 가능하다고 판단된다. 다른 정제처리 장치 중 Mixing Clean Heater는 회전력과 원심력이 아닌 서로 다른 연료들의 충돌 효과와 분쇄, 균질화 효과를 주로 이용하는 장치이기 때문에 경질유와 중질유를 혼합한 MF15급 연료유의 혼합안정성을 원심분리기에 비해 상대적으로 향상 시킬 수 없는 조건이라고 사료된다.

그림 50에 나온 사진은 MF15유의 혼합안정성 시험(Spot Test) 결과를 사진으로 촬영한 것이다. 혼합안정성 분석은 Spot test를 실시한 후 약 24시간이 경과한 후에 등급을 판단하지만, 그림 50에 나타난 사진은 완전히 건조한 후인 약 120시간이 지난 후에 촬영된 것으로 분석된 등급과는 다소 다른 양상을 나타내고 있다.

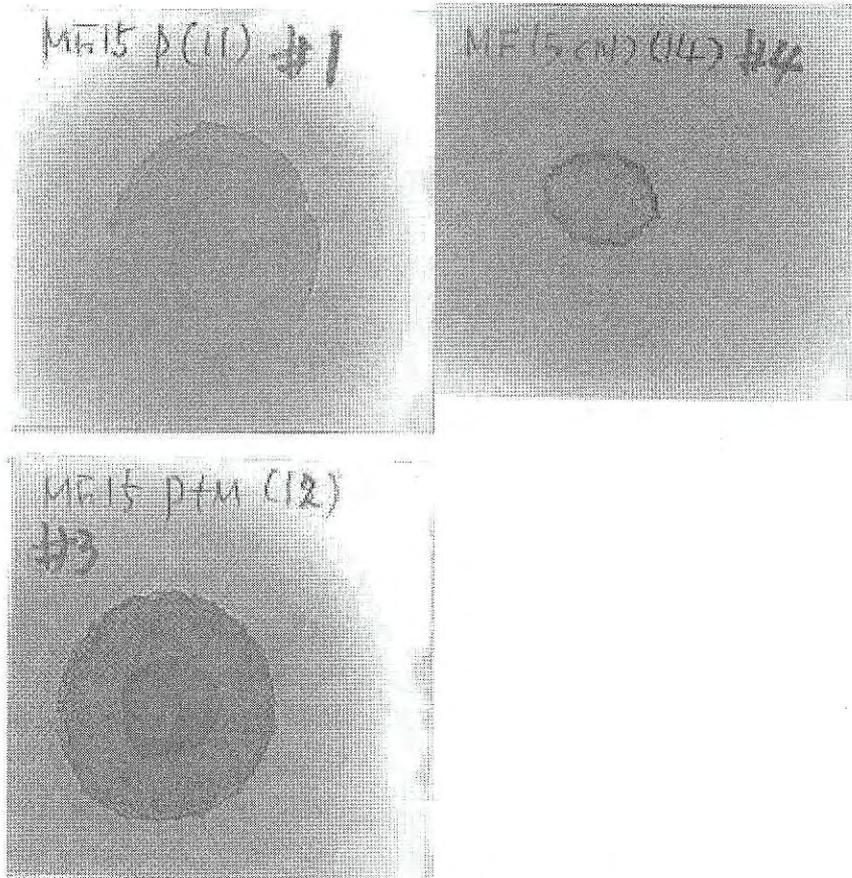


그림 50 MF15 혼합안정성시험 사진  
좌상:TS8 우상:TS10 좌하:TS9

#### 다) Bunker A

그림 51는 Bunker A유 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다.

그래프를 살펴보면 Purifier로 단독 처리한 TS11이 3등급으로 혼합성의 한계치를 나타냈고, 나머지 시료들은 모두 4등급으로 불혼합성을 나타냈다. 앞서 MF15유 에서와 마찬가지로 Purifier를 이용한 단독 정제처리가 혼합안정성을 유지하는 측면에 있어서는 가장 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 판단되며, 그 이유는 앞서 MF15유의 경우에서 설명하였다.

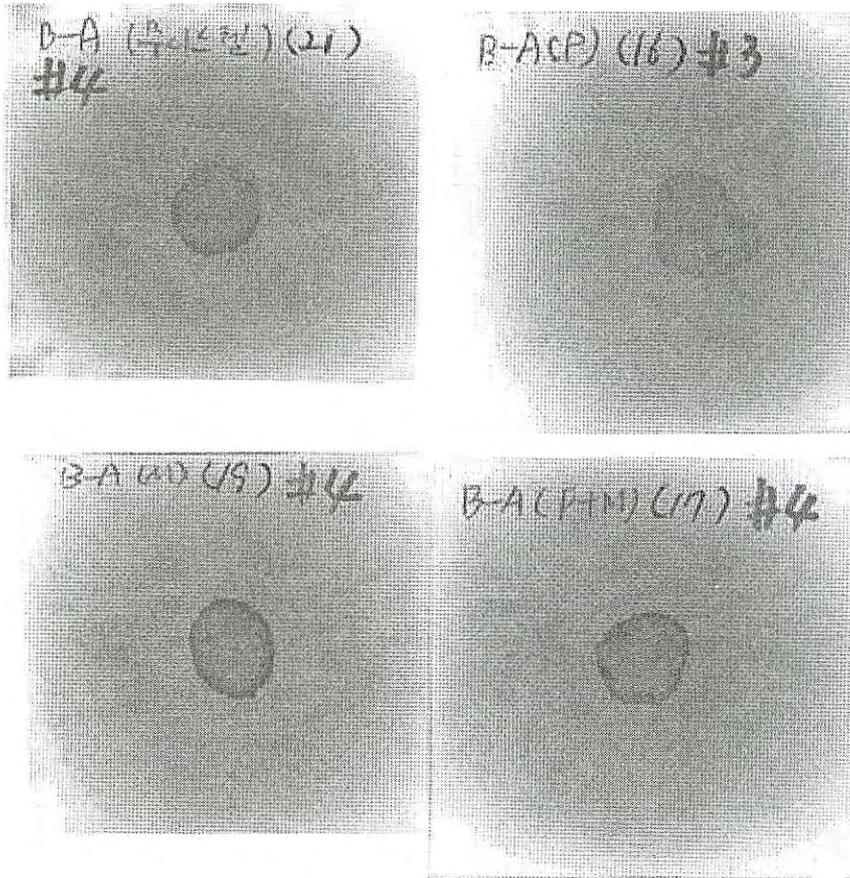


그림 51 Bunker A 혼합안정성시험 사진  
 좌상:TS14 우상:TS11 좌하:TS13 우하:TS12

라) MF60

그림 52은 MF60유 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다.

그래프를 살펴보면 Purifier로 단독 처리한 TS15가 2등급으로 좋은 혼합성을 나타내고 있고, 정제처리를 거치지 않은 TS18이 3등급으로 혼합안정성의 한계치를 나타냈다. 가장 좋지 않은 혼합안정성은 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS17이 5등급을 보이면서 전혀 혼합되지 않은 상태를 나타내며 정제처리 전 보다 더 좋지 않은 효과를 보였다. 따라서 앞서 MF15유 및

Bunker A유의 경우와 마찬가지로 Purifier를 이용한 단독 정제 처리가 혼합안정성을 향상시켜서 연료유를 개질하는 측면에 있어서는 가장 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 판단되며, 그 이유는 앞서 기술하였다.

그림 52에 나타낸 사진은 MF60유의 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다. 앞서 밝힌 바와 같이 혼합안정성 등급 판단 후 완전히 건조한 후인 약 120시간이 지난 후에 촬영된 것으로 분석된 등급과는 다소 다른 양상을 나타내고 있다.

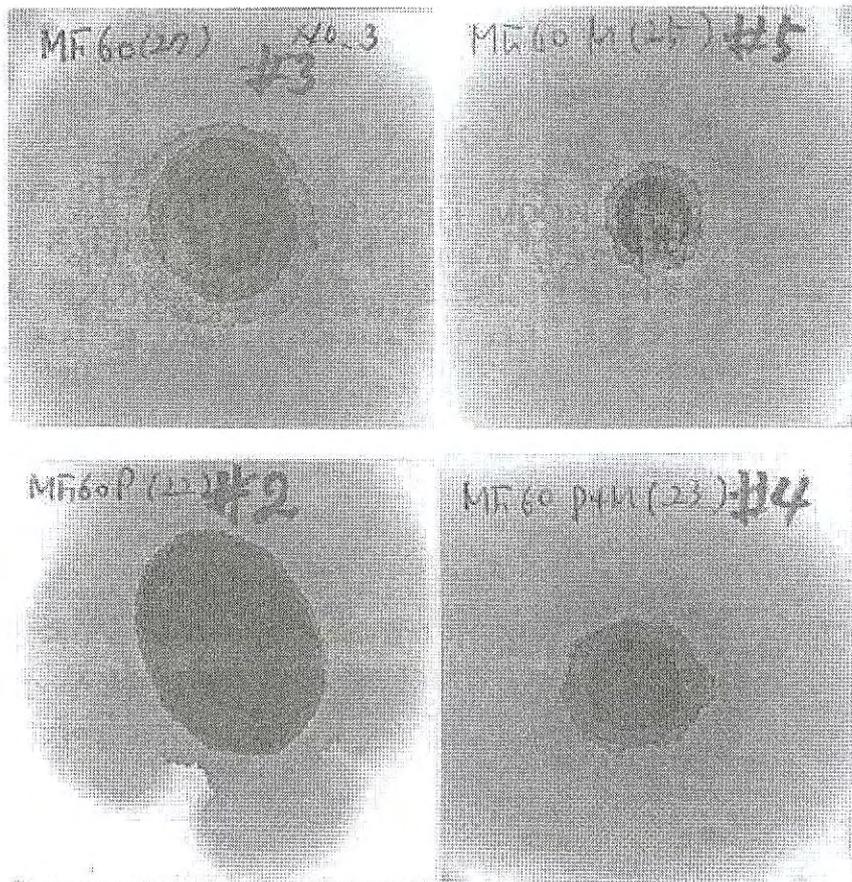


그림 52 MF60 혼합안정성시험 사진  
좌상:TS18 우상:TS17 좌하:TS15 우하:TS16

마) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

그림 53은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 2가지 정제처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22와, 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180 유인 TS24를 대상으로 한 혼합안정성 시험(Spot Test)결과를 사진으로 촬영한 것이다. 첨가제의 혼합여부 및 정제처리 장치의 종류에 관계없이 모두 No.5 등급으로 전혀 혼합되지 않음을 나타내었다. 이러한 현상은 혼합유의 제조 과정에서 혼합안정성을 고려하지 않고 경질유와 중질유를 혼합한 결과라고 판단된다.

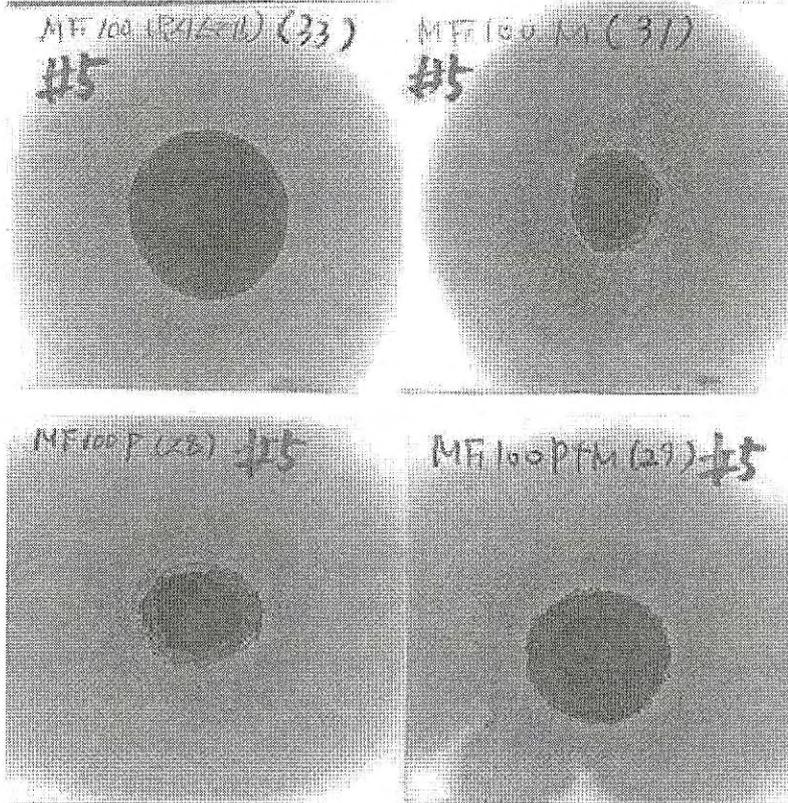


그림 53 MF100, MF150 및 MF180 혼합안정성시험 사진  
좌상:TS22 우상:TS21 좌하:TS19 우하:TS20

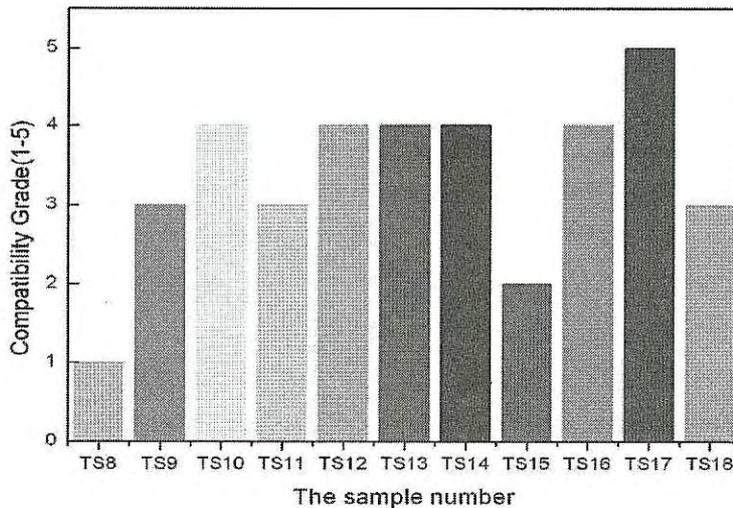


그림 54 혼합안정성시험 결과 (TS8~TS18)

#### 6) 현미경 분석

연료유중의 슬러지분과 이물질 그리고 축매 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 시료의 이물질의 혼입 상태와 균질화 효과를 알아보기 위하여 위상차현미경을 이용하여 100배, 200배 그리고 400배 사진을 획득하여 분석하였다. 현미경으로 확대한 사진 촬영은 각 시료별로 촬영 위치에 따라 입자의 분포가 다르고, 또한 입자의 크기가 고르지 못하여 분석에는 한계가 있었다. 사진으로 나타난 결과들은 해상도가 충분하게 확보되지 못하였기 때문에 저배율(100배 및 200배)의 사진은 전체적인 슬러지 및 이물질의 분포를 분석하는데 참고하고, 고배율인 400배 확대 사진을 바탕으로 입자의 크기 등을 분석하여 슬러지 및 이물질 입자의 분포 및 크기를 중심으로 분석하였다.

가) MDO(TS2~TS7)

(1) 100배 확대 사진

그림 55~58은 MDO에 대한 현미경 확대 사진으로 배율은 100배이다. 시료인 MDO가 슬러지분 및 고형분 등의 이물질의 혼입이 많지 않은 중질유이기 때문에 전체적으로 고형분의 분포가 뚜렷이 나타나지 않았다. 따라서 Purifier 또는 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 시료는 어느 정도 슬러지 및 고형분의 제거 효과와 균질화 효과가 있는 것으로 판단된다. 연료첨가제의 혼합 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.

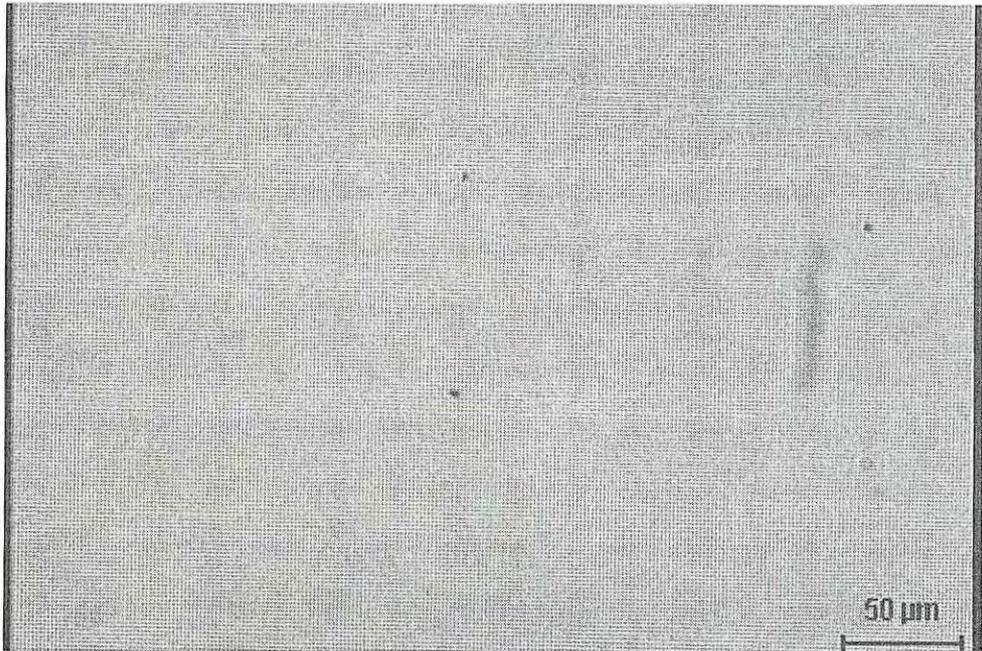


그림 55 TS2 100배

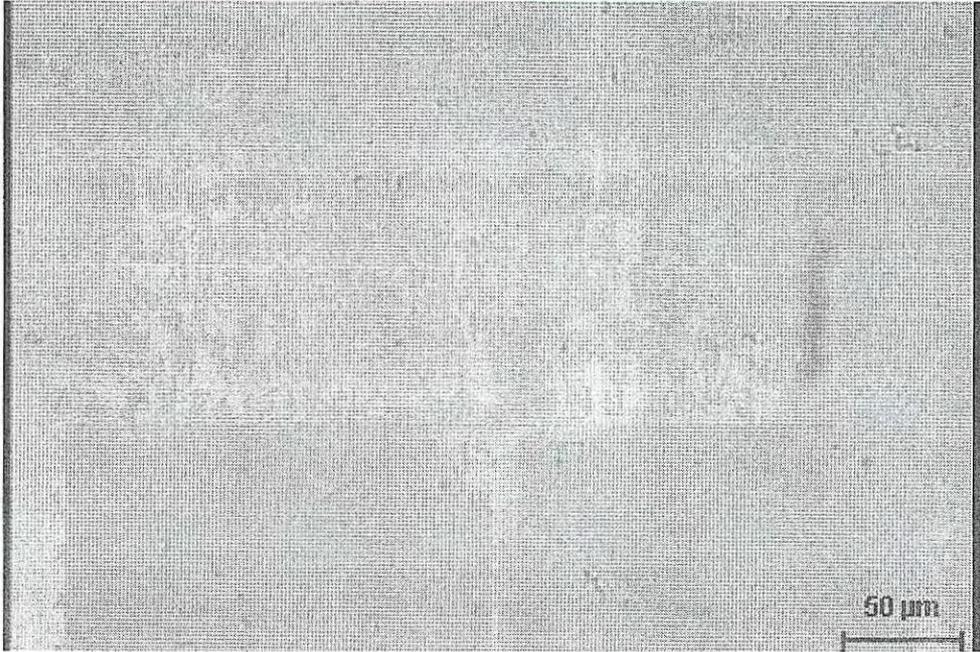


그림 56 TS5 100배

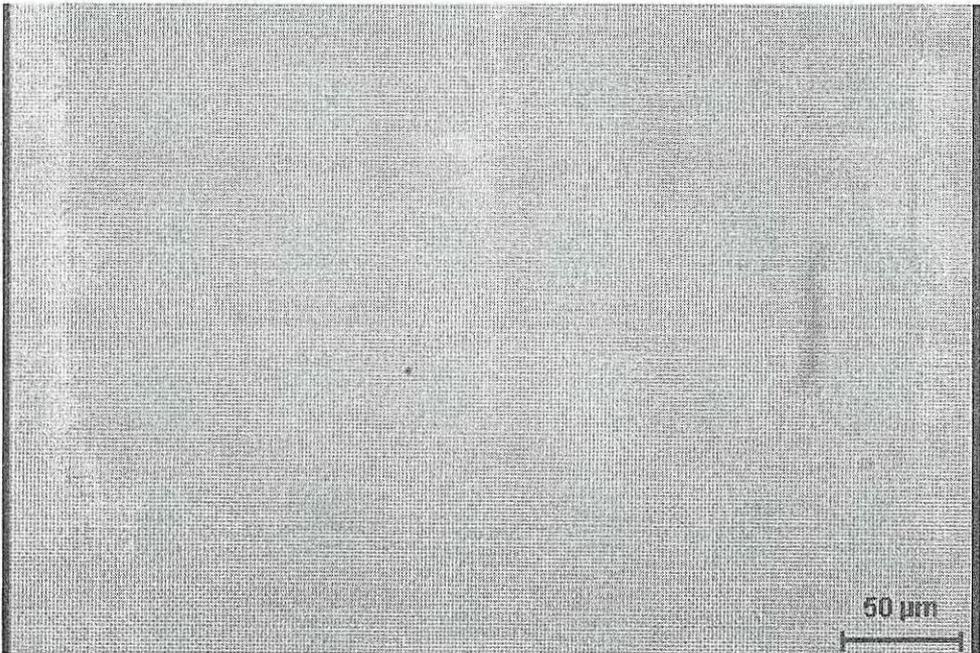


그림 57 TS6 100배

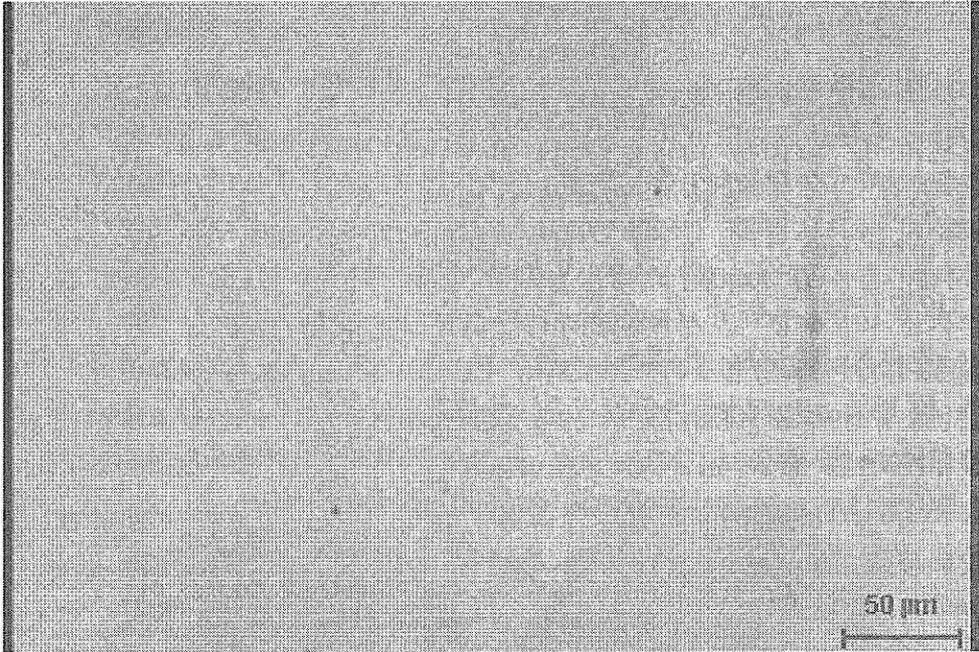


그림 58 TS7 100배

(2) 200배 확대 사진

그림 59~63은 MDO에 대한 현미경 확대 사진으로 배율은 200배이다. 앞서 100배 확대 사진에서 살펴본 바와 같이 전체적으로 고형분의 분포가 뚜렷이 나타나지 않았다. 연료유 첨가제를 혼합하지 않고 정제처리를 거치지 않은 시료인 TS7을 촬영한 그림 63과 정제처리를 거치지 않았지만 연료유 첨가제를 혼합한 시료인 TS5를 촬영한 그림 61을 비교해 보았을 때 그다지 큰 변화는 없는 것으로 관찰된다. 따라서 연료첨가제의 혼합 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다.



그림 59 TS2 200배

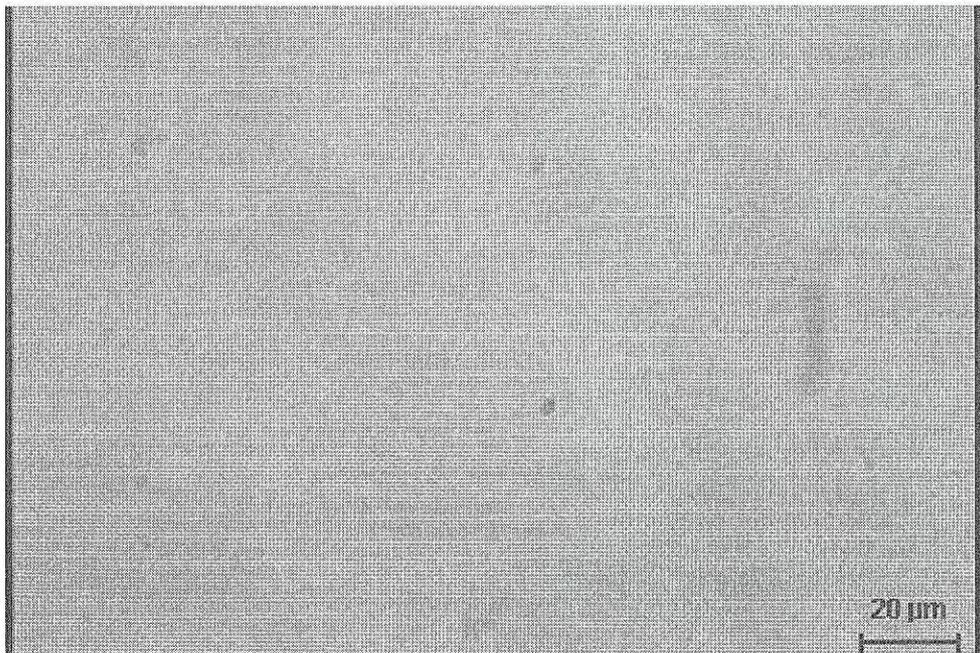


그림 60 TS4 200배

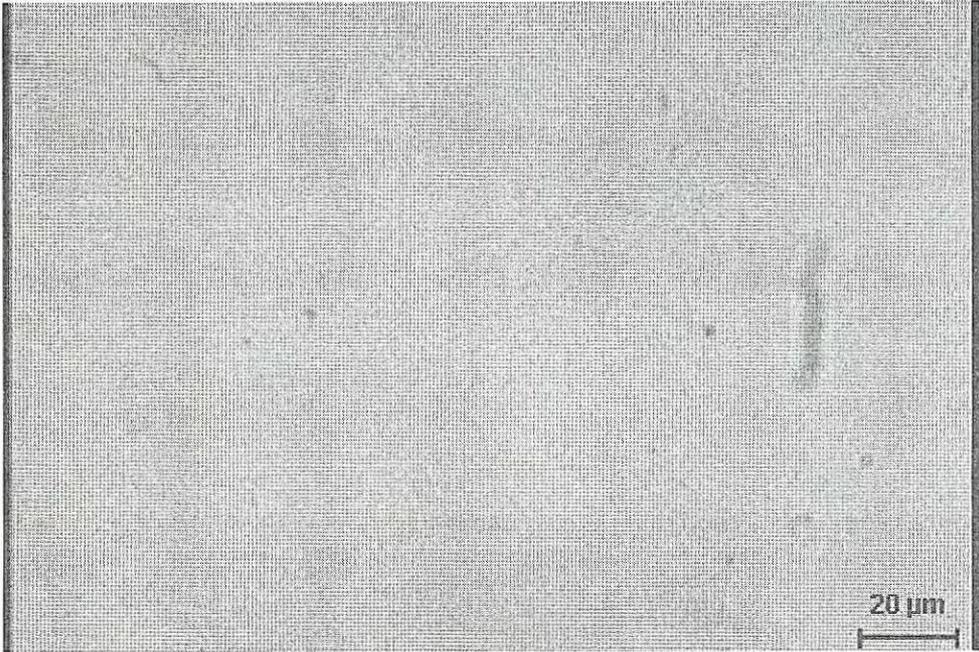


그림 61 TS5 200배

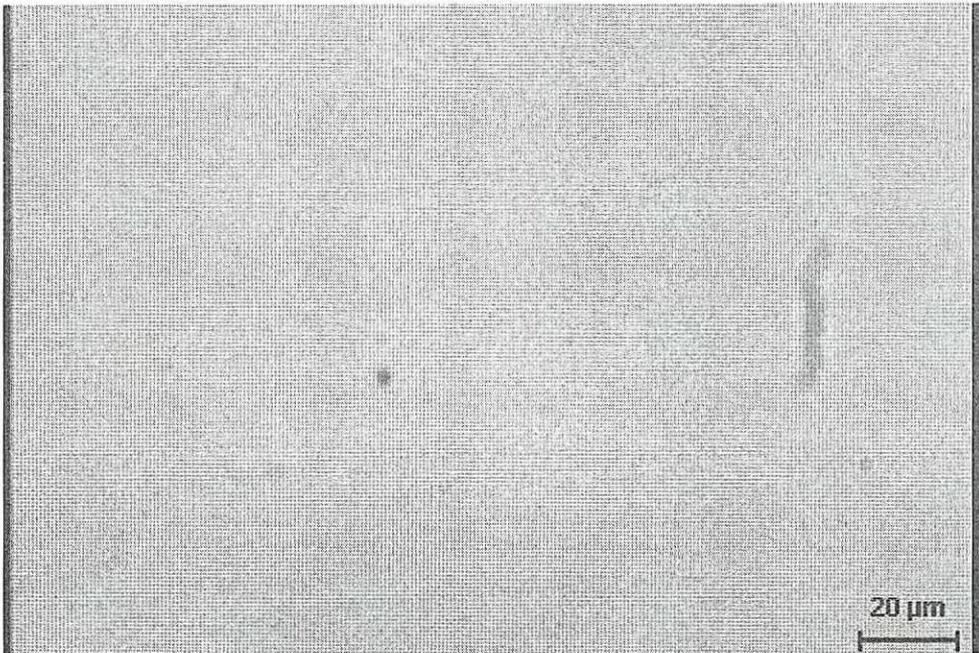


그림 62 TS6 200배



그림 63 TS7 200배

(3) 400배 확대 사진

그림 64~71은 MDO에 대한 현미경 확대 사진으로 배율은 400배이다. 각 그림의 우측 하단에 나타난 것과 같이  $10\mu\text{m}$  포식자가 표시되어 있다. 400배의 높은 배율이기 때문에 매우 작은 범위에서 관찰되므로 고휘분 입자의 분포는 잘 나타나 있지 않다. 따라서 각 입자의 최대 크기를 중심으로 분석하였다.

연료유 첨가제를 혼합하지 않고 정제처리를 거치지 않은 시료인 TS7과 정제처리를 거치지 않았지만 연료유첨가제를 혼합한 시료인 TS5에 나타난 입자크기는 약  $3.0\sim 3.6\mu\text{m}$ 으로 조사되어 연료첨가제의 혼합 효과는 뚜렷이 나타나지 않았다. Purifier로 단독 처리로 정제처리 한 TS2에 나타난 입자의 크기가  $4.6\sim 5.3\mu\text{m}$ 이고, Mixing Clean Heater로 단독 처리한 TS4와 TS6에 나타난 입자의 크기가  $3.3\sim 4.0\mu\text{m}$ 으로 나타났다. 따라서 고휘분의 분포 및 크기를 중심으로 연료유의 균질화

효과를 분석한다면, MDO에서는 Mixing Clean Heater가 가장 효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

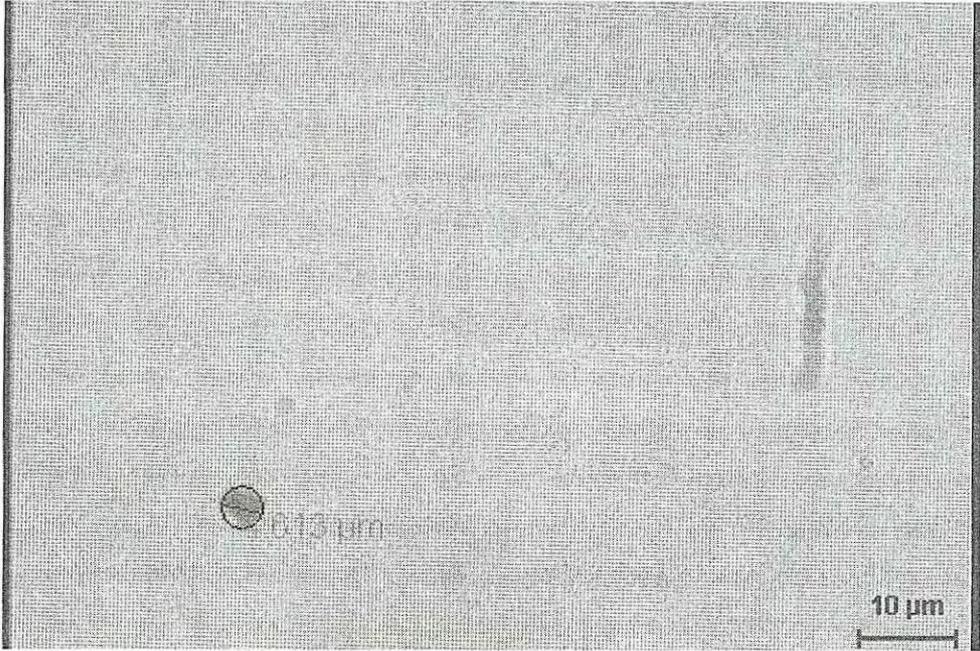


그림 64 TS2 400배

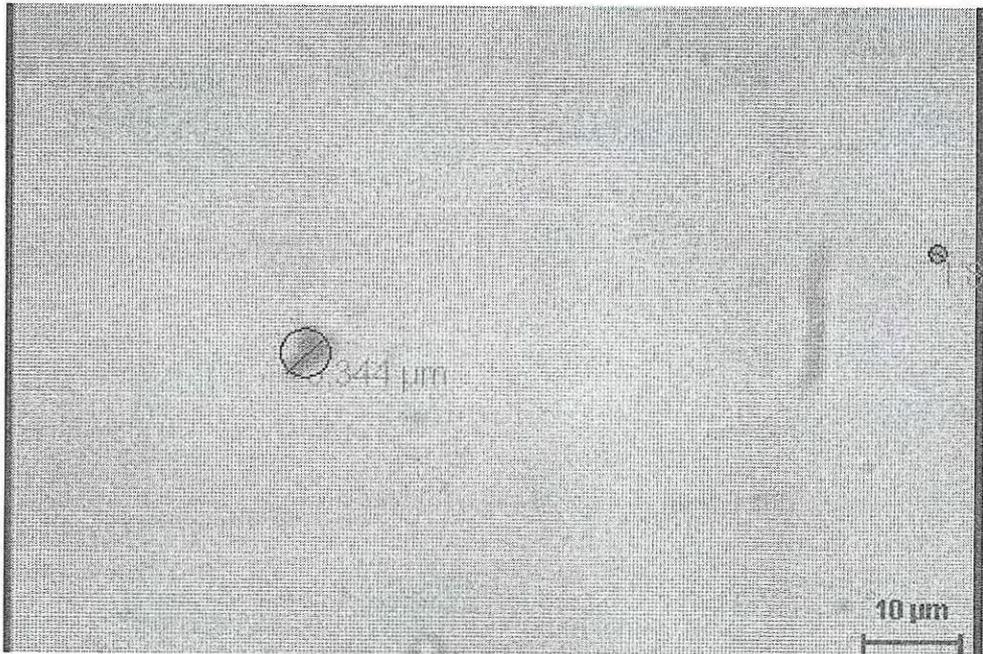


그림 65 TS4 400배

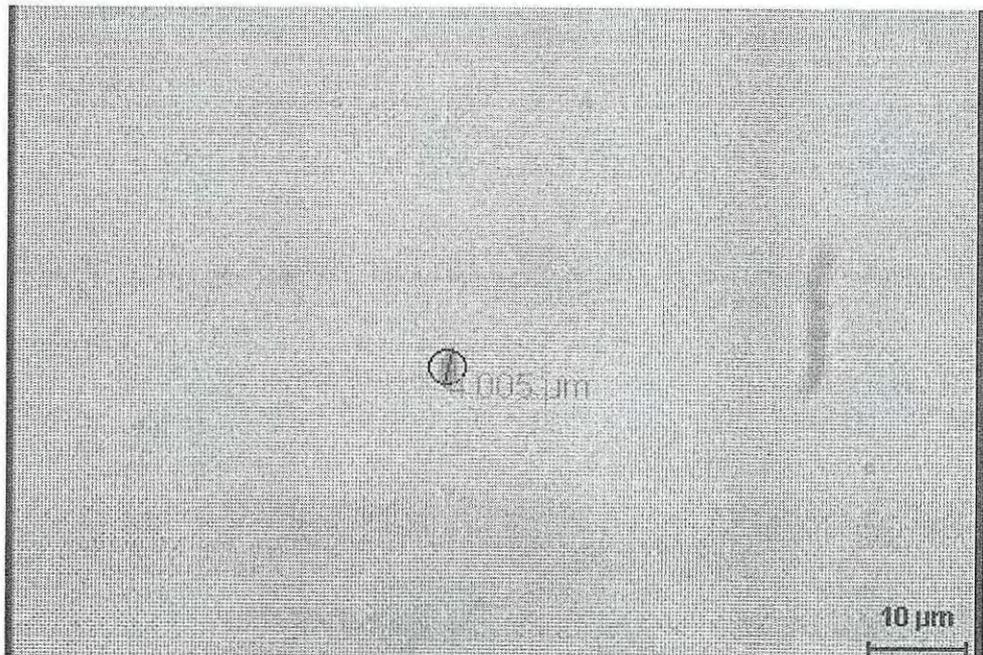


그림 66 TS4 400배

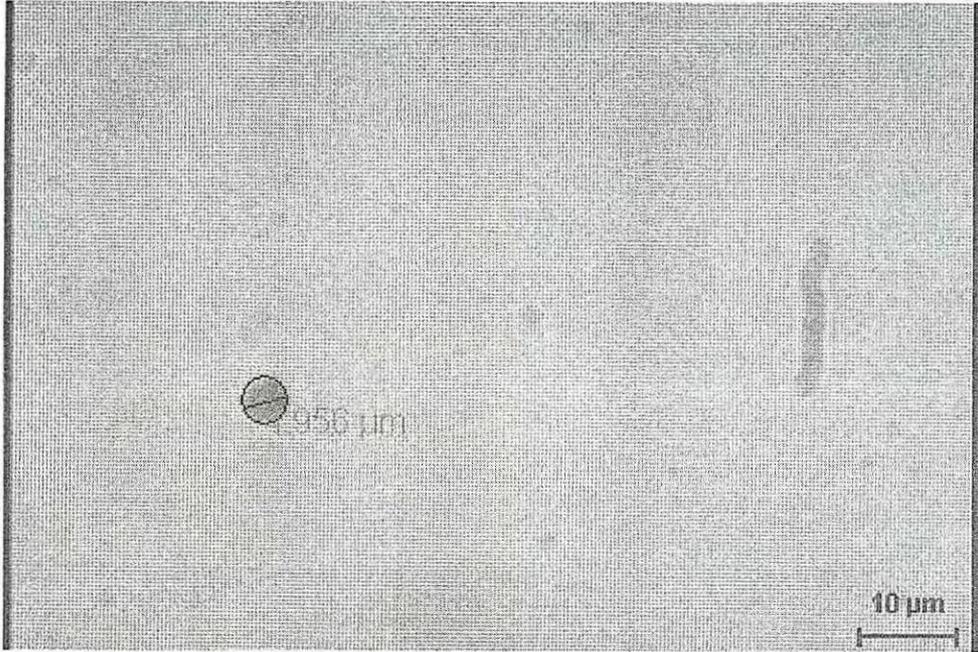


그림 67 TS6 400배

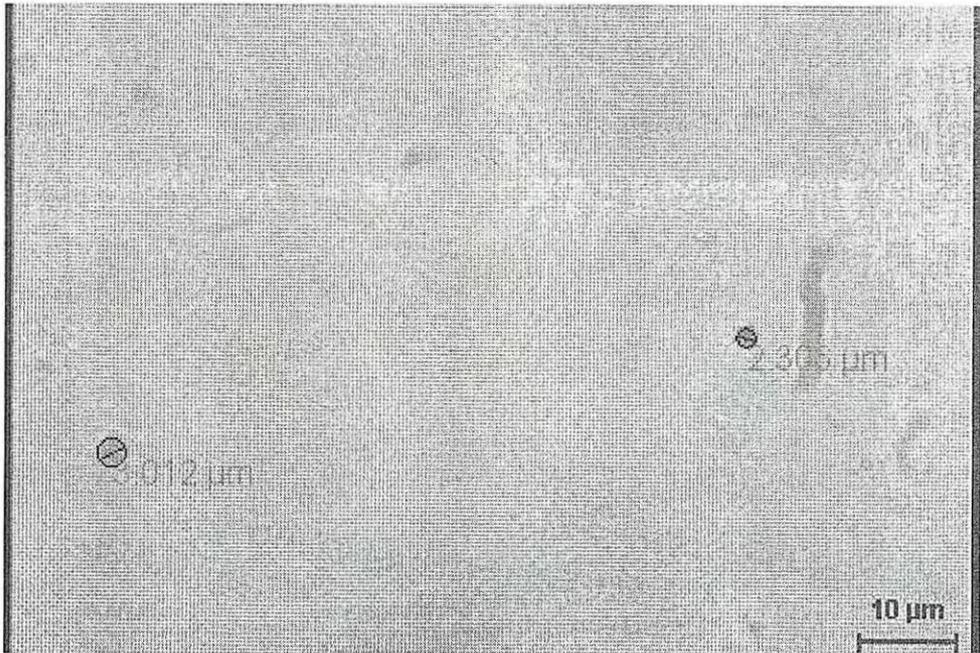


그림 68 TS5 400배

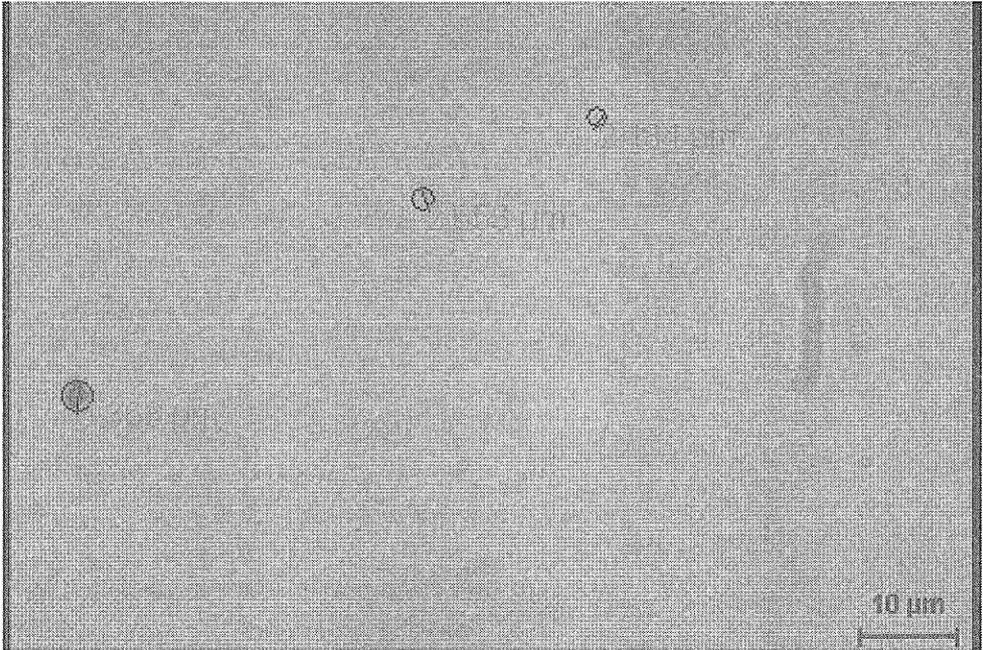


그림 69 TS6 400배

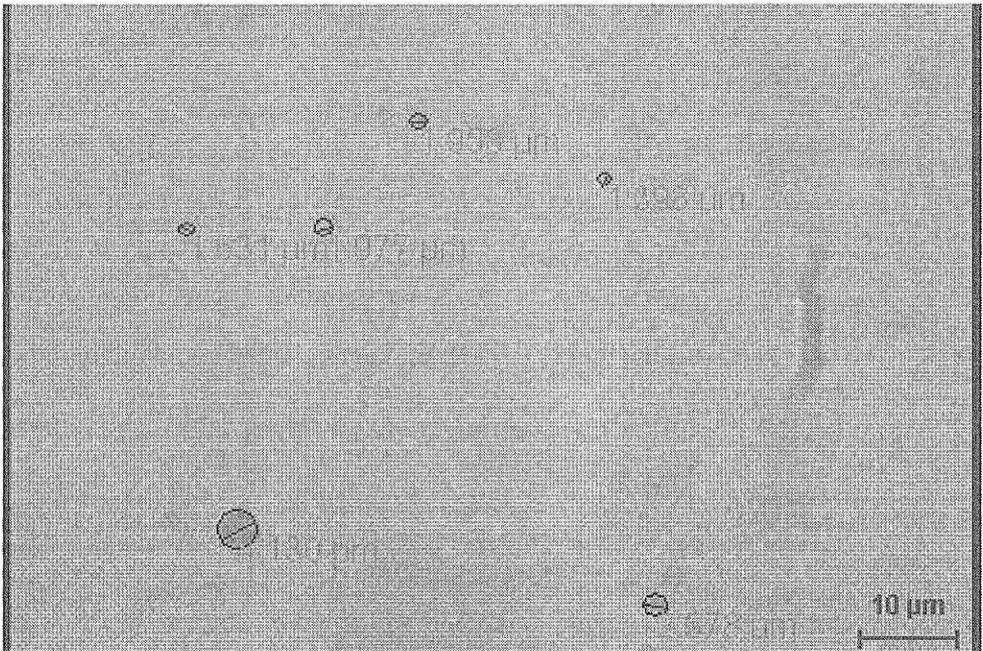


그림 70 TS9 400배

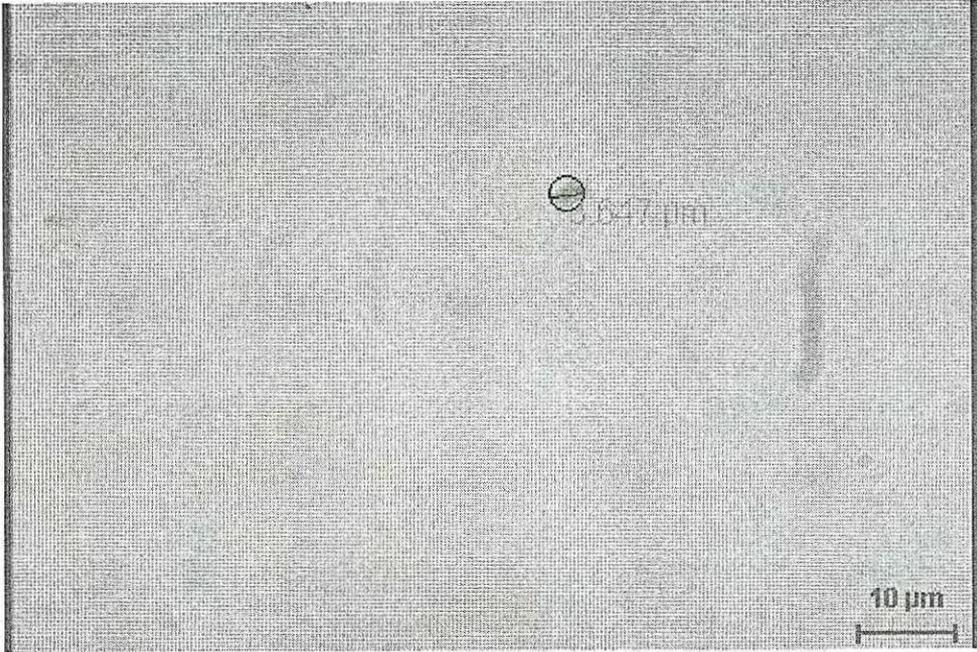


그림 71 TS7 400배

나) MF15 (TS8~TS15)

(1) 100배 확대 사진

그림 72~74은 첨가제를 혼합한 MF15유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 100배이다.

Purifier로 단독 정제처리 한 TS8에서 다소 많은 입자가 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 또한 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리 한 TS10에 비해 다른 시료들의 사진에서 더 많은 고형분이 관찰되고 있다.

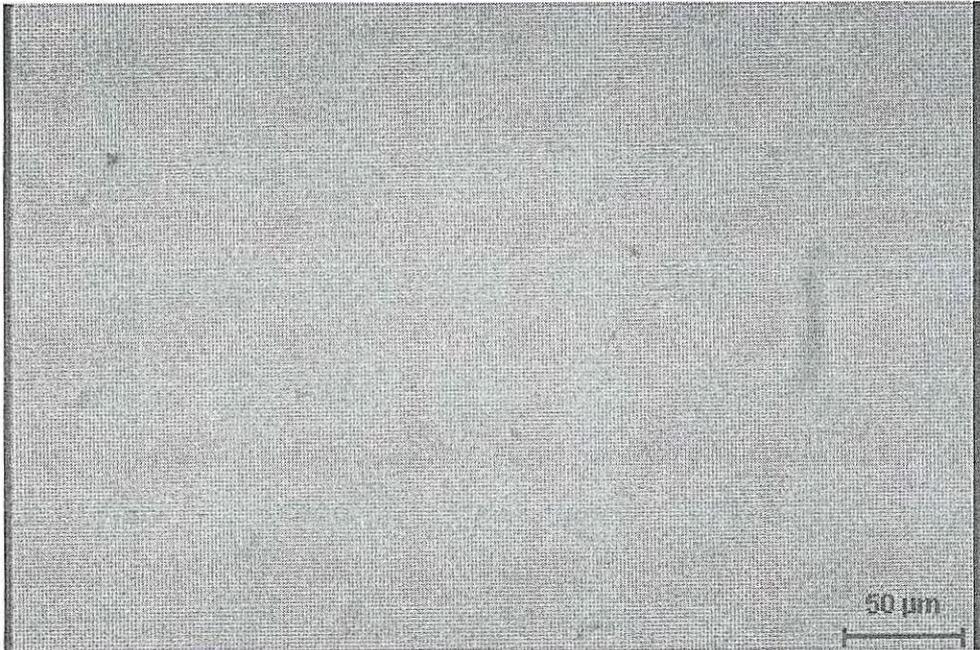


그림 72 TS8 100배

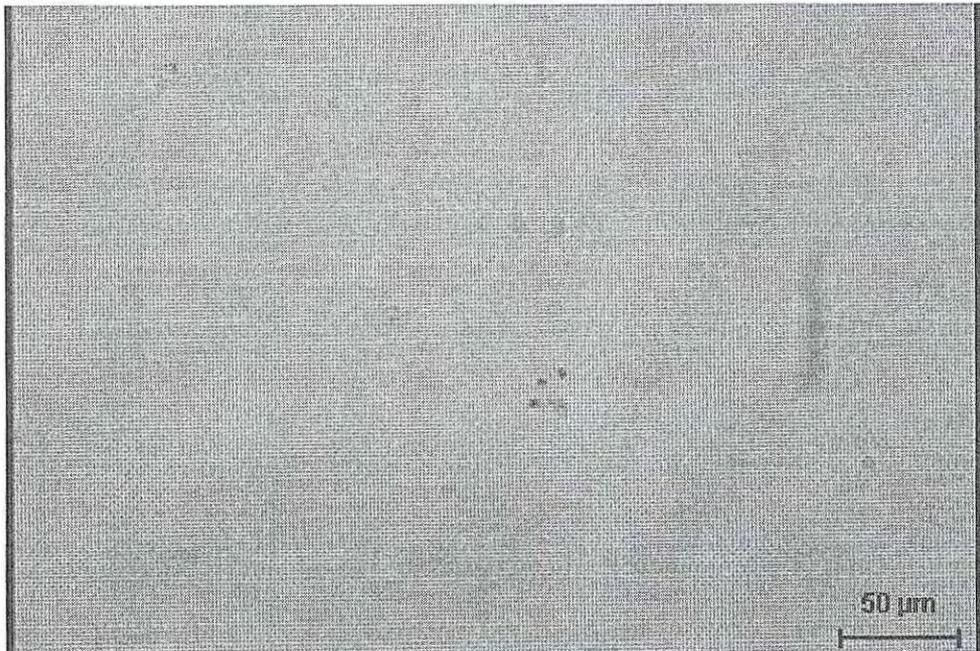


그림 73 TS9 100배

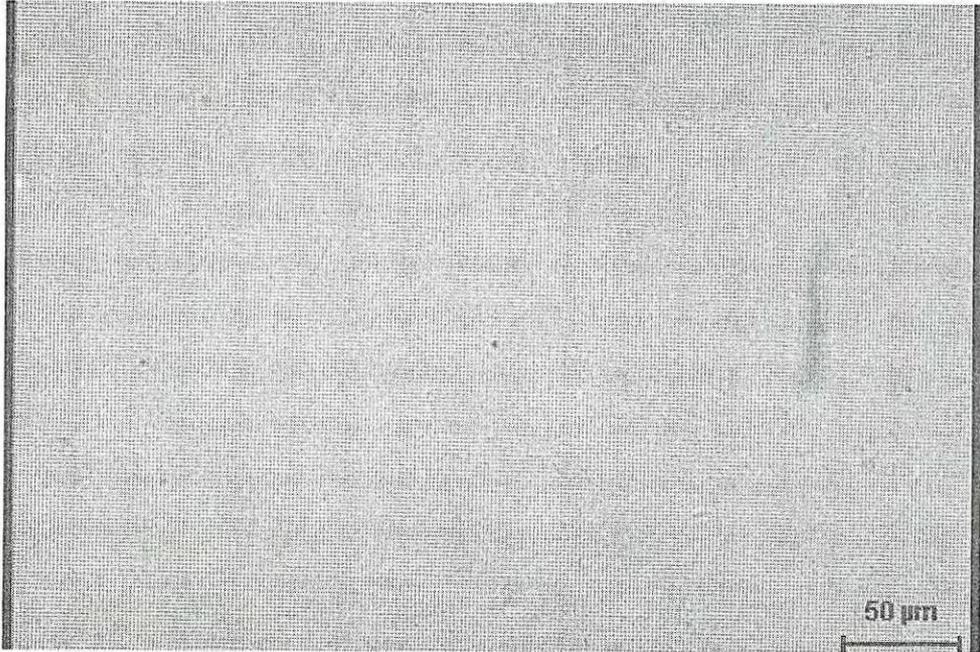


그림 74 TS10 100배

(2) 200배 확대 사진

그림 75~77은 첨가제를 혼합한 MF15유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 200배이다.

다른 시료에 비해 Mixing Clean Heater로 단독 정제처리한 TS10에서 다소 적은 고행분 입자가 나타나고 있다.

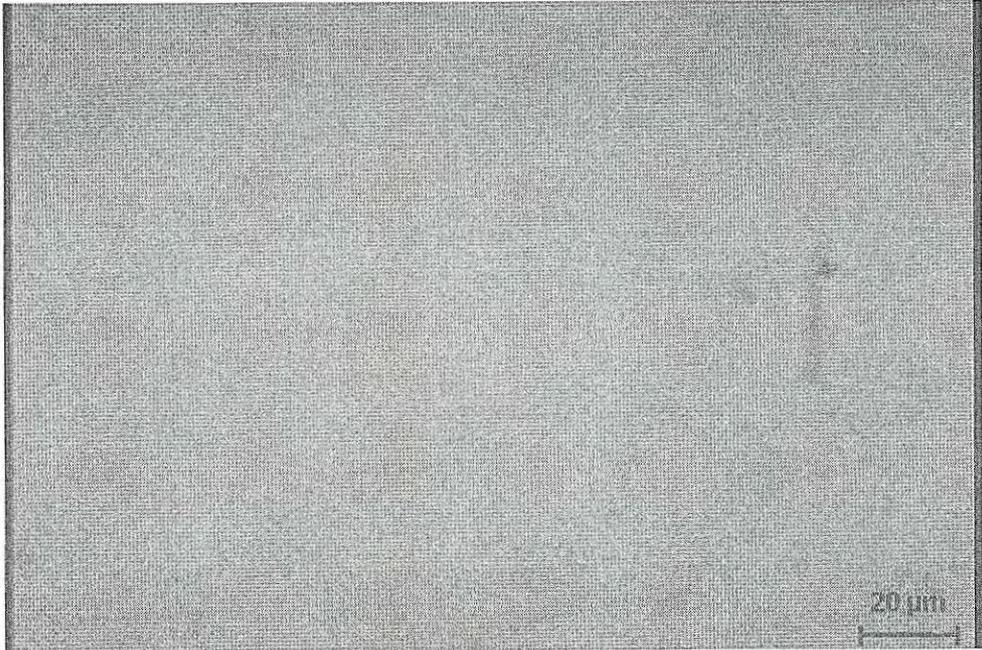


그림 75 TS8 200배

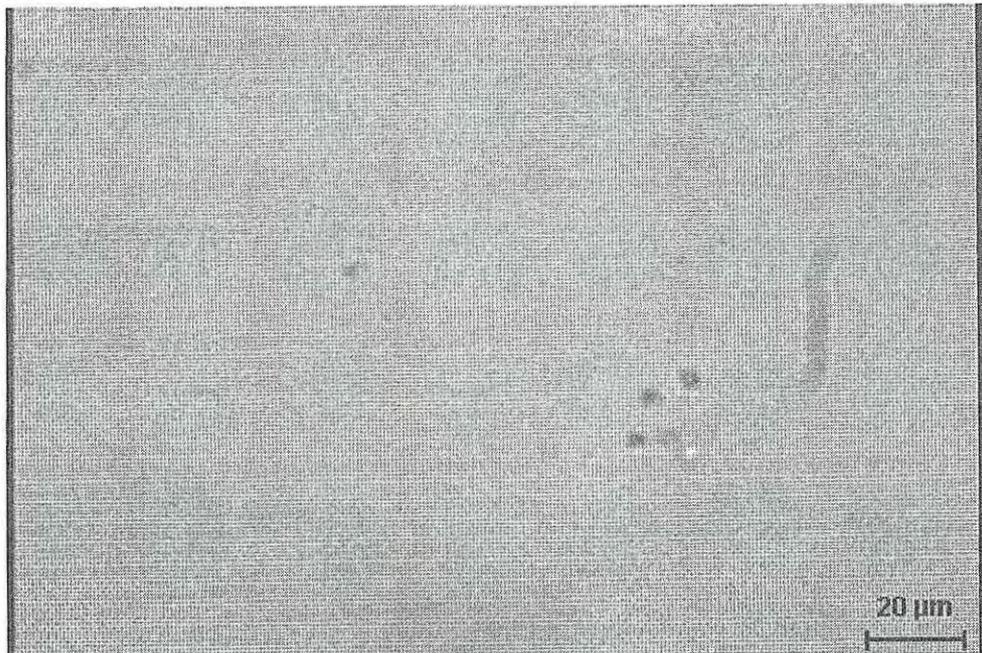


그림 76 TS9 200배

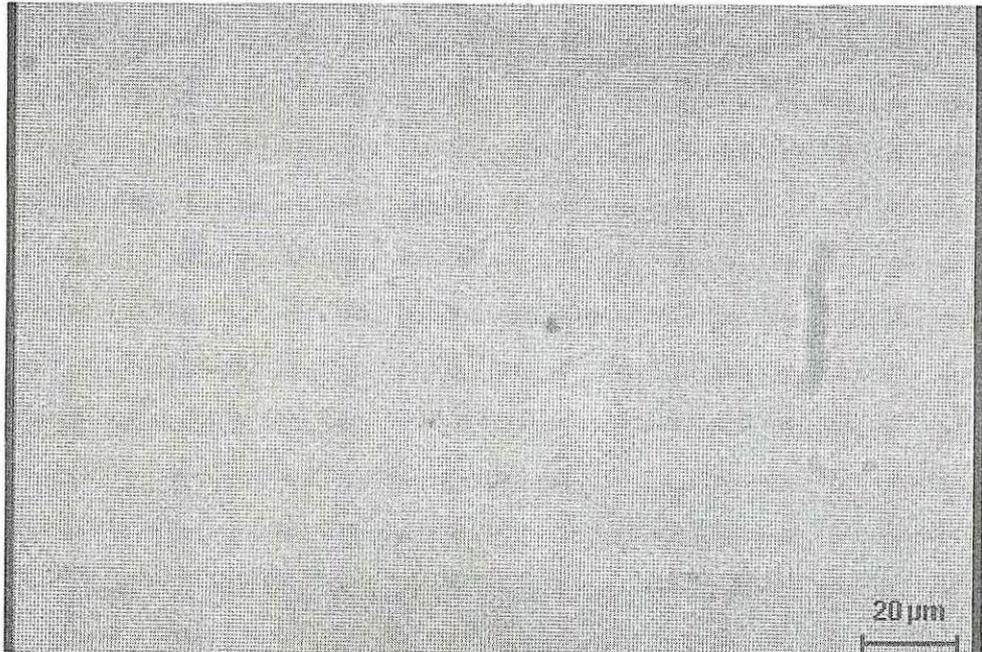


그림 77 TS10 200배

(3) 400배 확대 사진

그림 78~80는 첨가제를 혼합한 MF15유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 400배이다. 각 그림의 우측 하단에 나타난 것과 같이 10 $\mu\text{m}$  표식자가 표시되어 있다. 400배의 높은 배율이기 때문에 매우 작은 범위에서 관찰되므로 고형분 입자의 분포는 잘 나타나 있지 않다. 따라서 각 입자의 최대 크기를 중심으로 분석하였다.

사진에서 살펴보면 Purifier로 단독 정제처리 한 TS8, Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS9에서 입자 크기는 약 4.5~5.1 $\mu\text{m}$ 이고, Mixing Clean Heater 단독 처리한 TS10의 입자 크기는 약 2.5 $\mu\text{m}$ 로 나타났다. 따라서 고형분의 분포 및 크기를 중심으로 연료유의 균질화 효과를 분석한다면, MDO에서와 마찬가지로 Mixing Clean Heater가 가장 효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

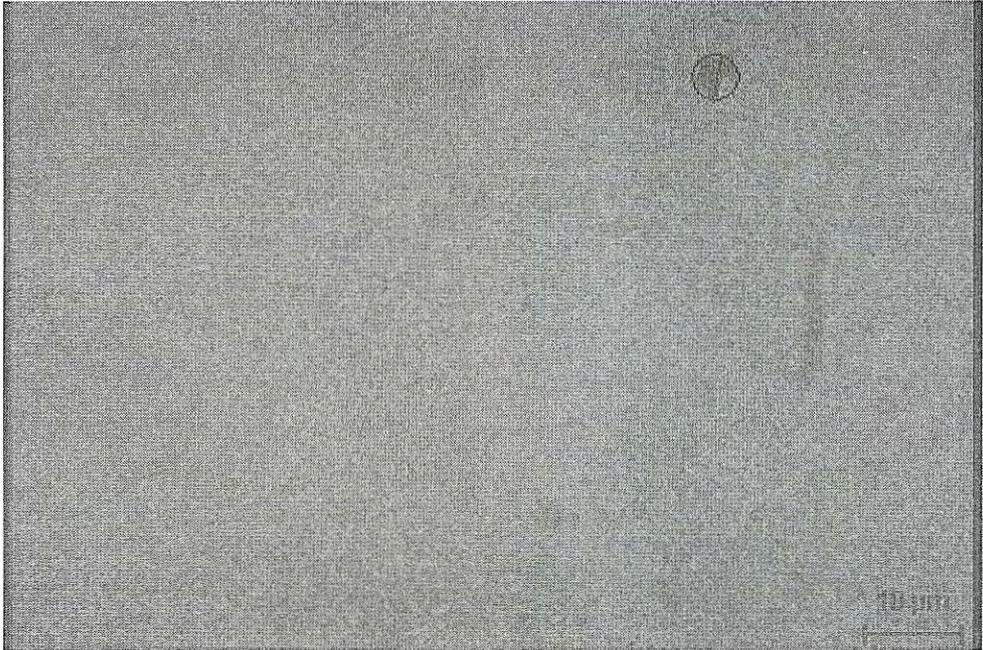


그림 78 TS8 400배

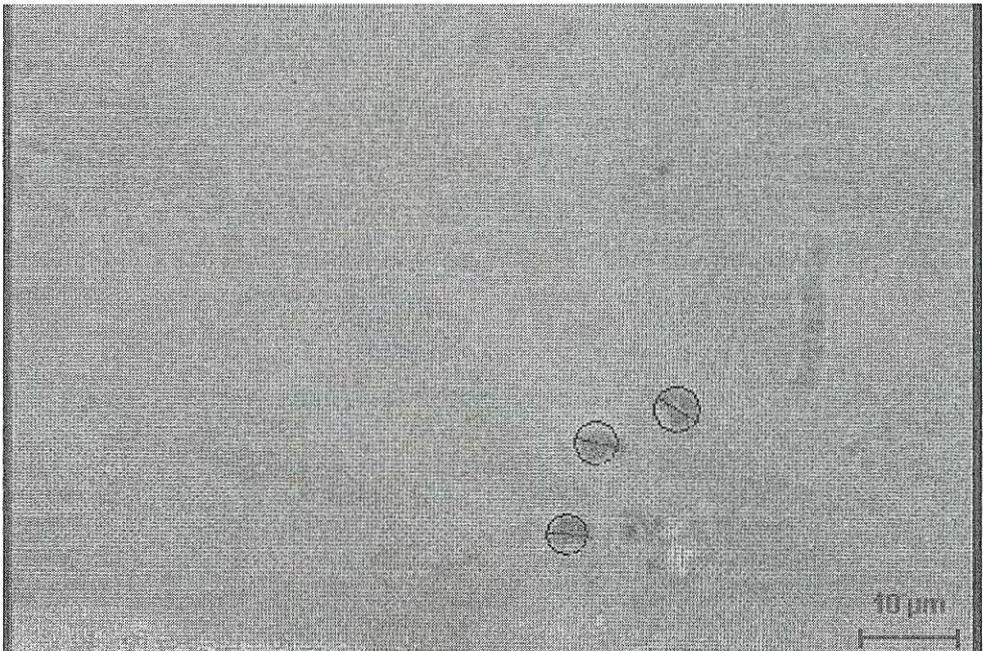


그림 79 TS9 400배

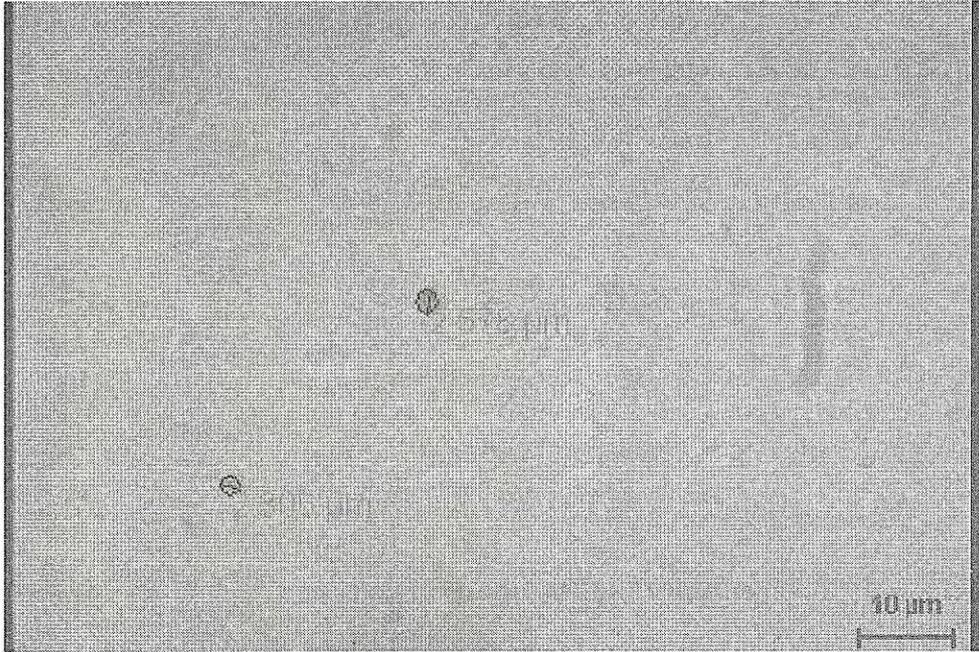


그림 80 TS10 400배

#### 다) Bunker A (TS11~TS14)

##### (1) 100배 확대 사진

그림 81~84은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 100배이다.

사진에서 살펴보면 Purifier로 단독처리 한 TS11과 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS12가 다른 시료에 비해 입자의 분포가 많음을 볼 수 있다. 따라서 Bunker A유에서는 Purifier 정제처리가 그다지 효과적이지 않다고 사료된다.

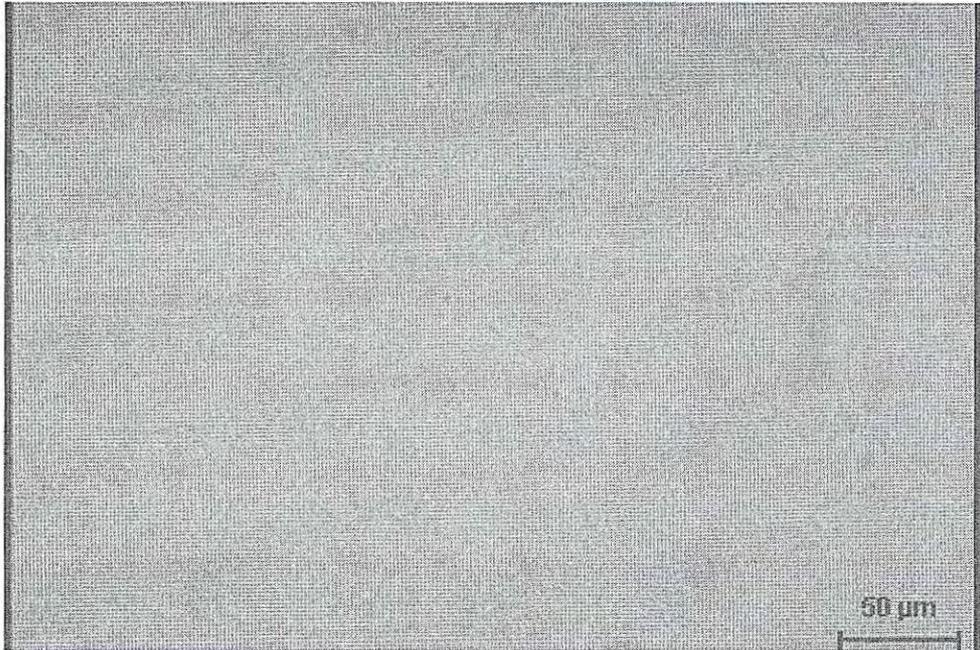


그림 81 TS11 100배

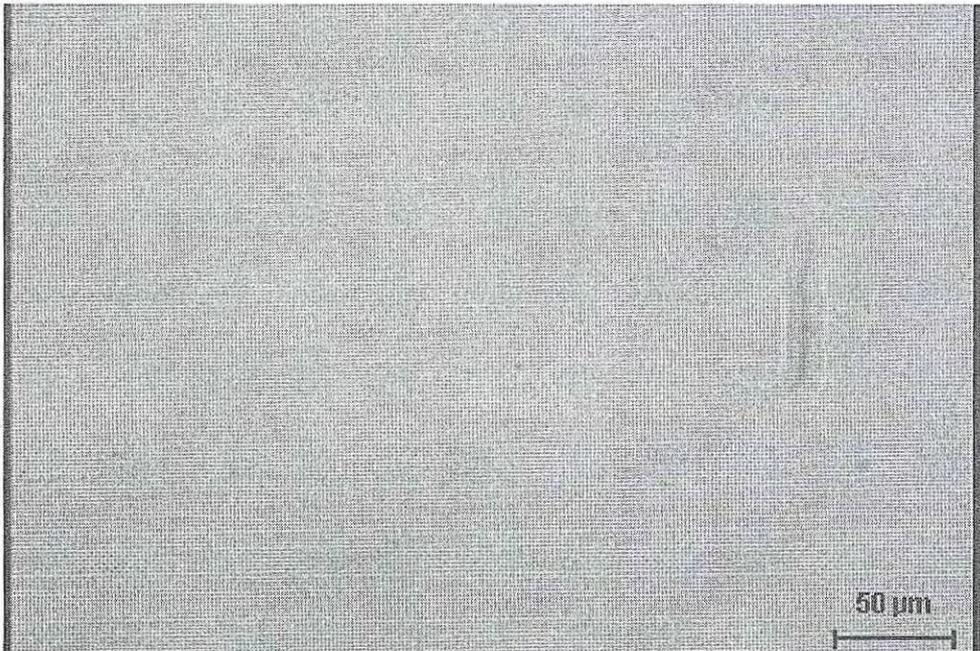


그림 82 TS12 100배

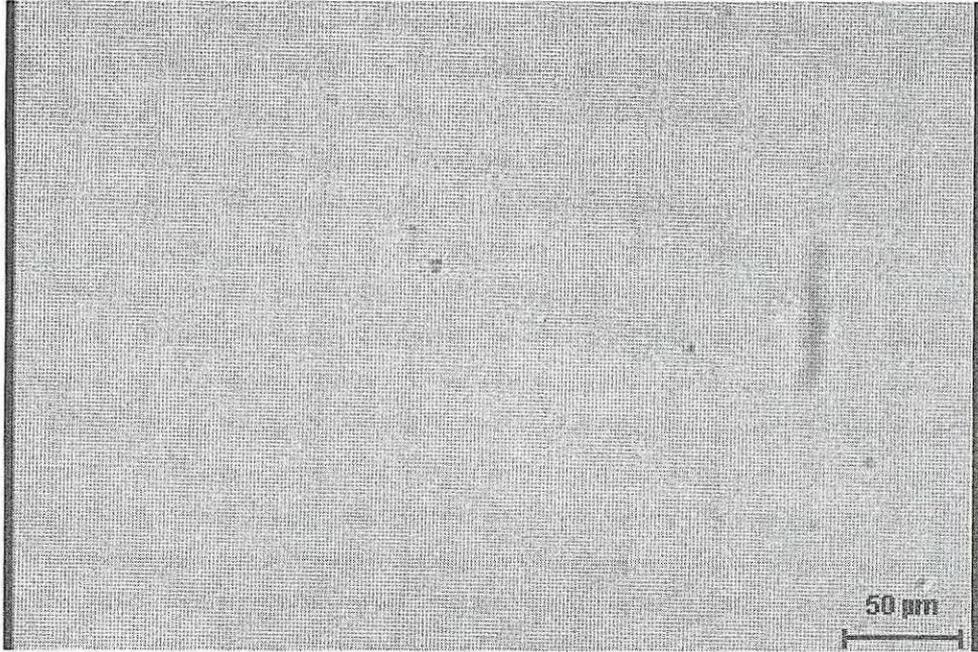


그림 83 TS13 100배

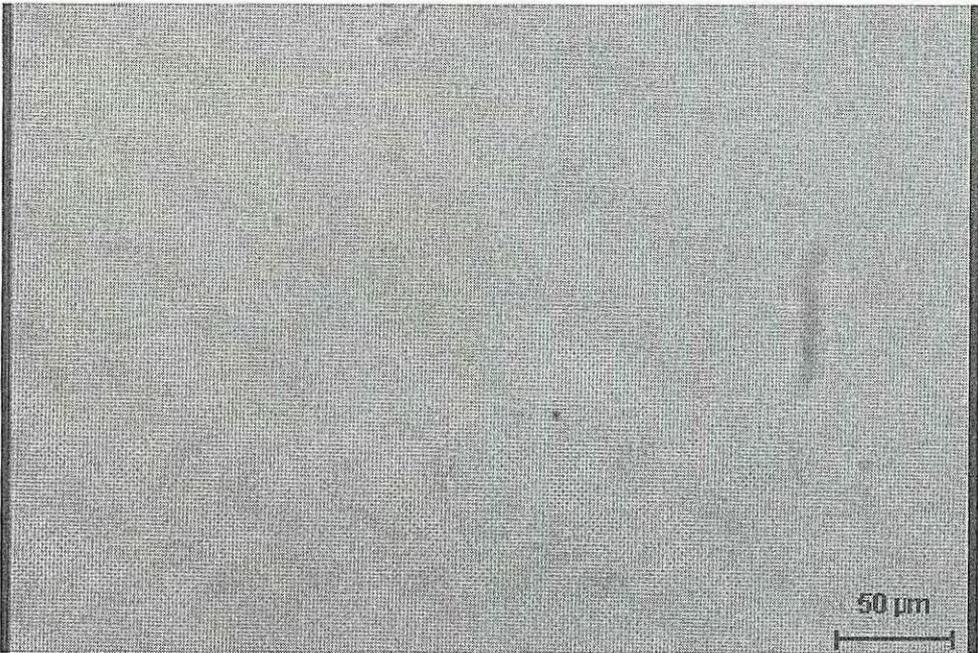


그림 84 TS14 100배

(2) 200배 확대 사진

그림 85~88은 첨가제를 혼합한 Bunker A유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 200배이다.

Purifier 단독처리 한 TS11과 Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제처리 한 TS12가 다른 시료에 비해 입자의 분포가 많음을 볼 수 있다.

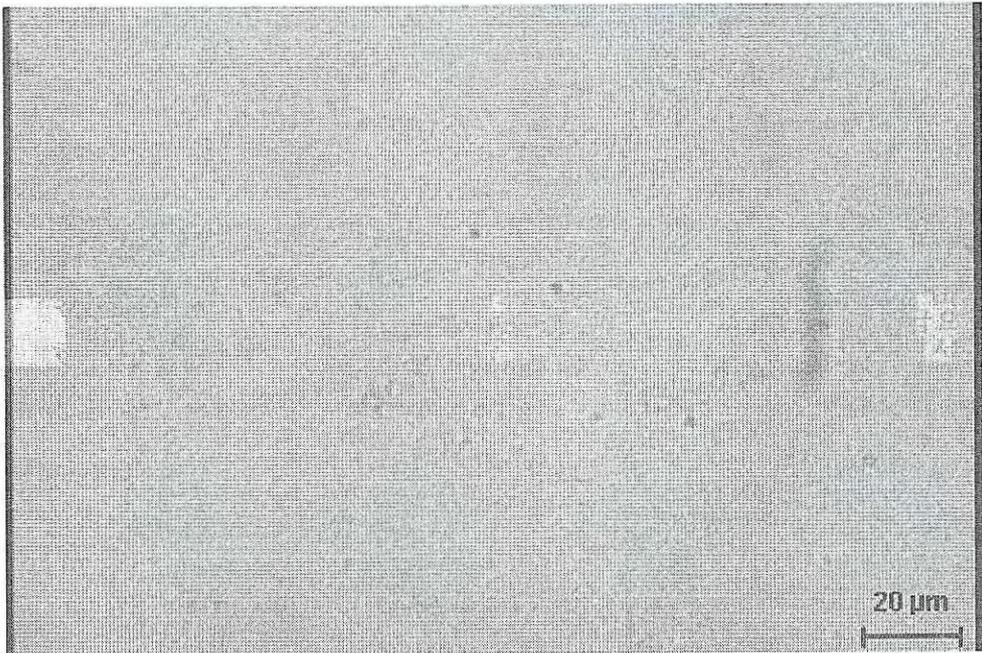


그림 85 TS11 200배



그림 86 TS12 200배

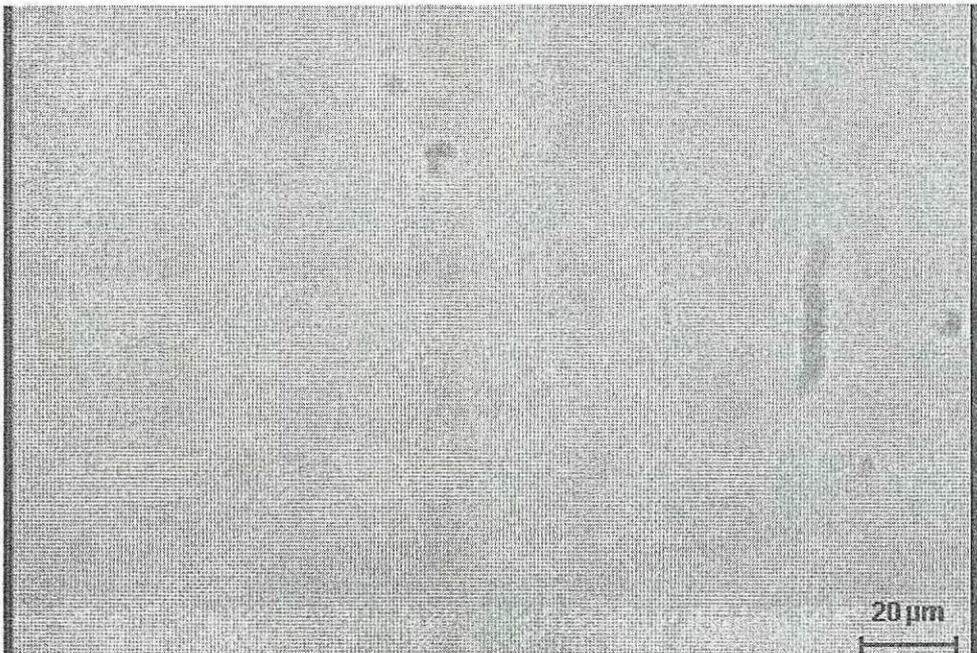


그림 87 TS13 200배



그림 88 TS14 200배

(3) 400배 확대 사진

Bunker A유의 400배 확대 사진인 그림 89~92에서는 앞서 100배와 200배에서 살펴본 바와 같이 TS11 및 TS12에서 입자가 더 많이 분포되어 있고, 최대 입자의 크기는 약  $2.8\sim 3.2\mu\text{m}$ 로 나타나고 있다. Mixing Clean Heater로 처리한 TS13이 약  $2.3\mu\text{m}$ 를 나타냈다. 따라서 앞서 MDO 및 MF15에서와 마찬가지로 Bunker A유에서도 연료유의 균질화 효과는 Mixing Clean Heater가 가장 뛰어난 것으로 사료된다.

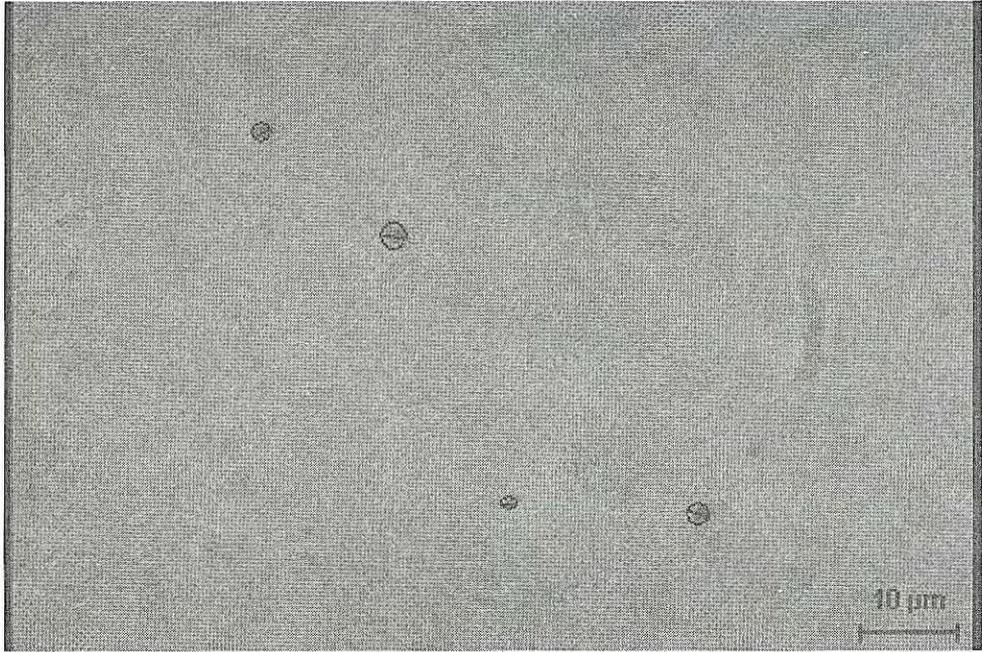


그림 89 TS11 400배

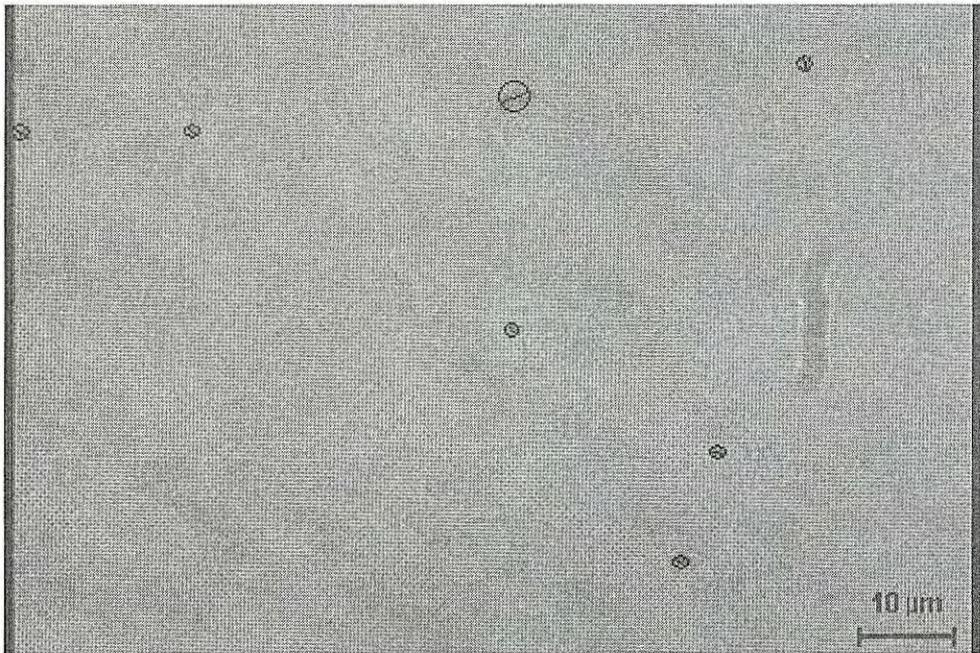


그림 90 TS12 400배

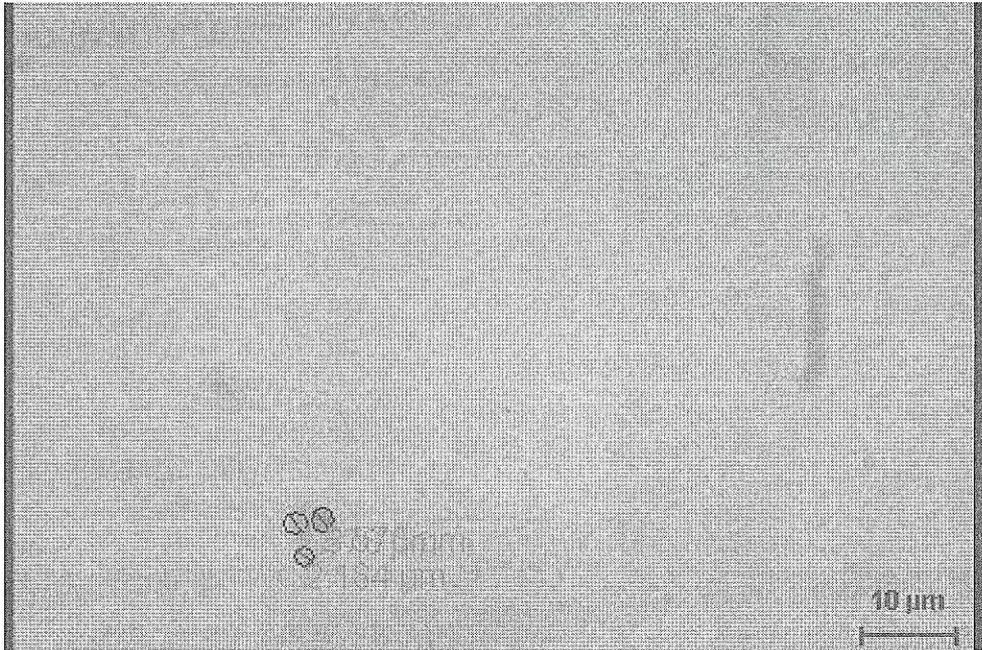


그림 91 TS13 400배

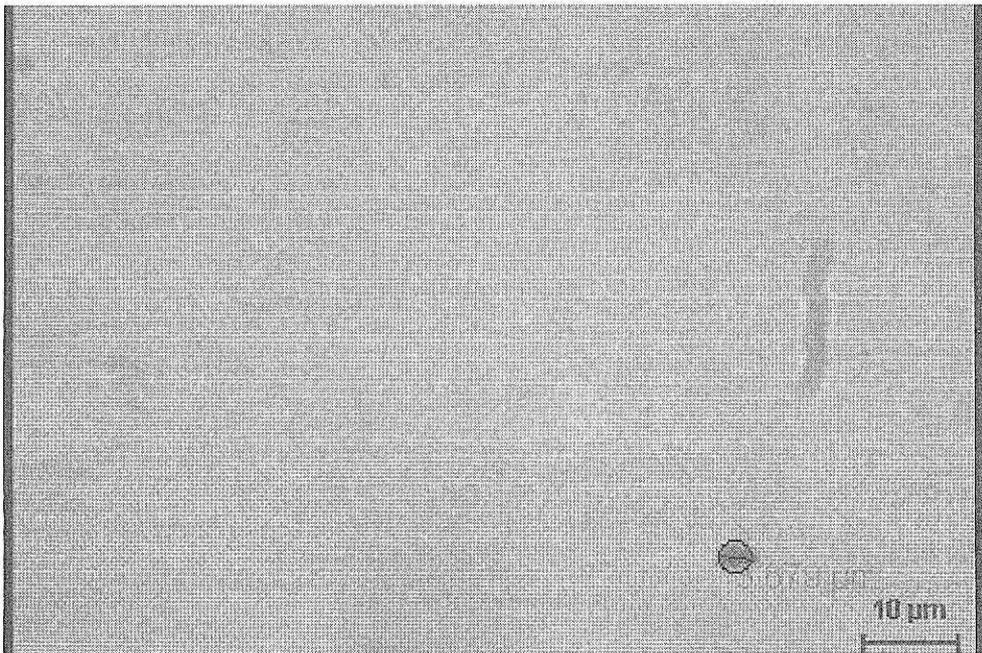


그림 92 TS14 400배

라) MF60 (TS15~TS18)

(1) 100배 확대 사진

그림 93~96은 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유의 100배 확대 사진이다.

앞서 살펴본 MDO, MF15 및 Bunker A유에 비해 시료의 상태가 저질인 MF60에서 고휘분 입자가 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. Mixing Clean Heater로 처리한 TS17에서 상대적으로 양호한 상태를 보여주고 있다.

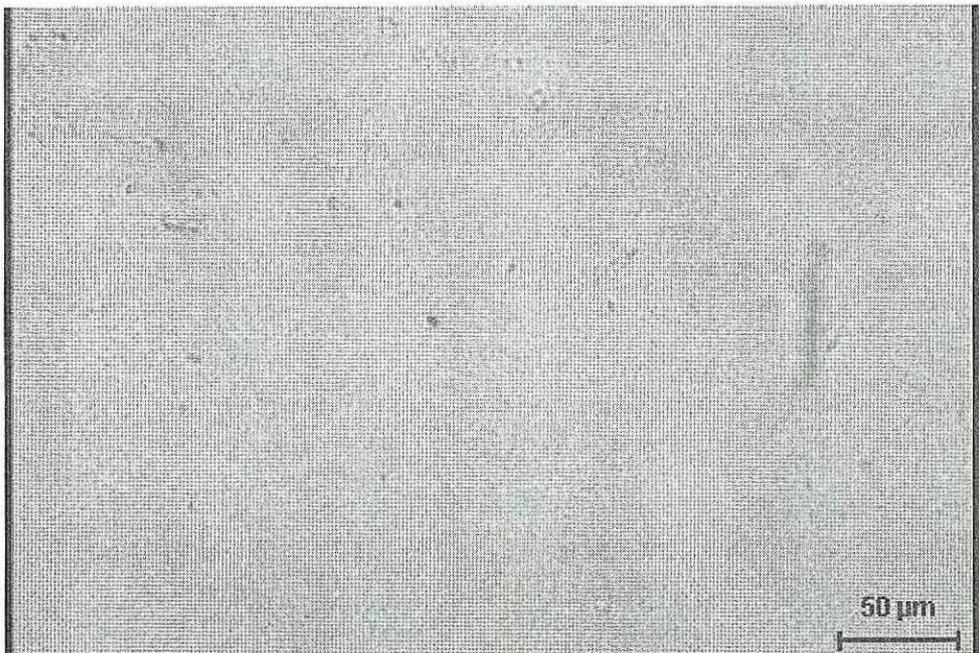


그림 93 TS15 100배

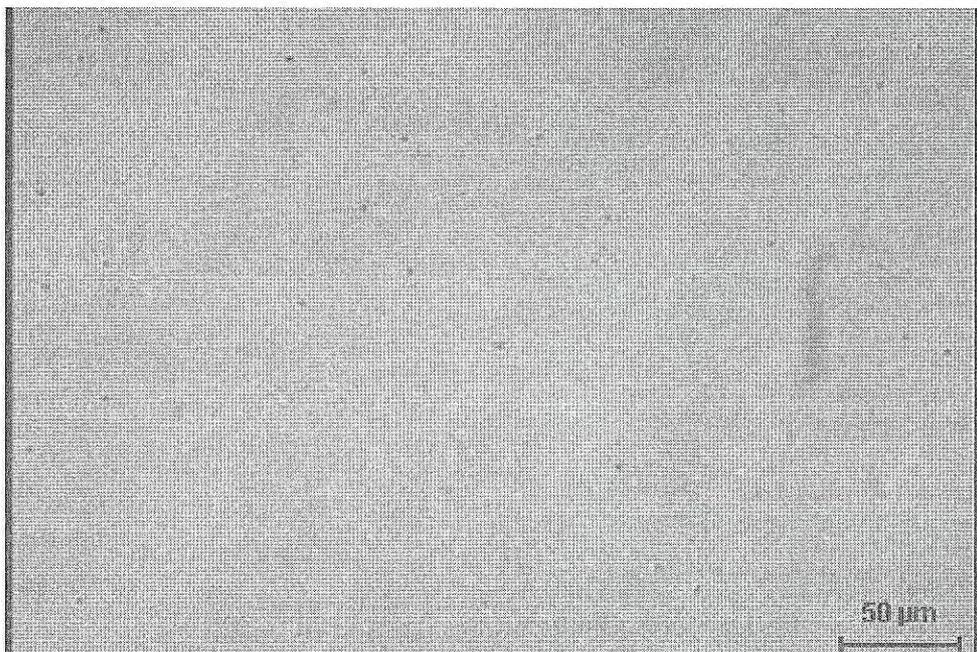


그림 94 TS16 100배

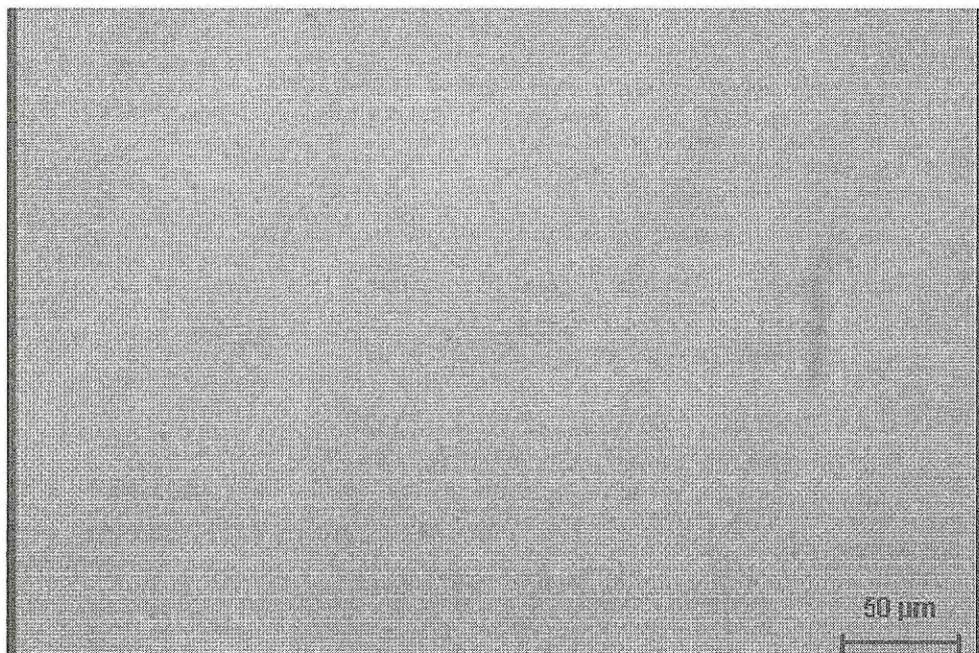


그림 95 TS17 100배

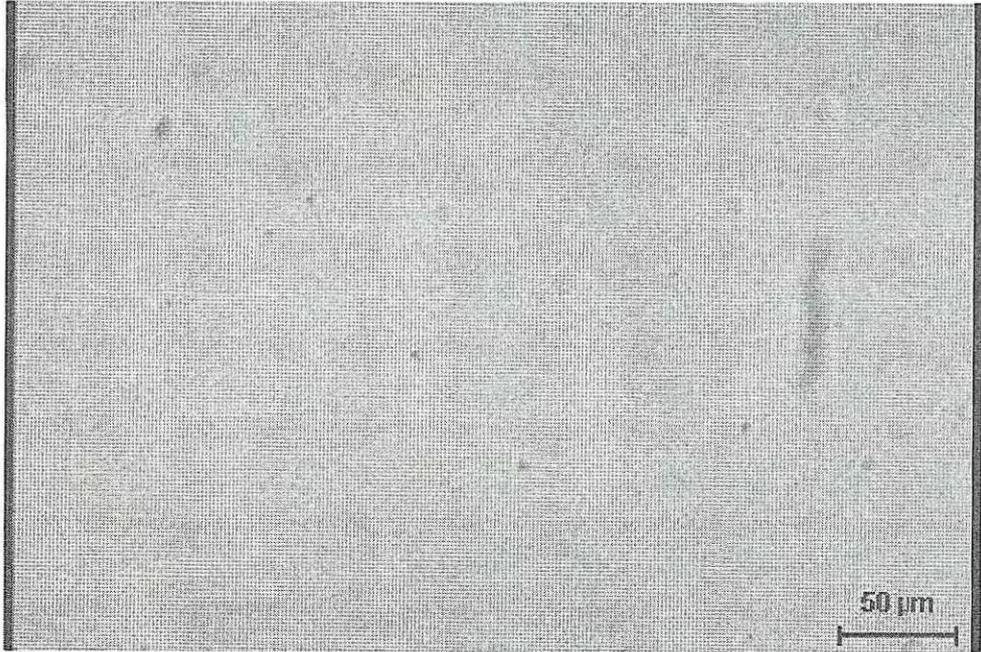


그림 96 TS18 100배

(2) 200배 확대 사진

그림 97~100는 첨가제를 혼합하지 않은 MF60유의 200배 확대 사진이다.

앞서 100배 확대 사진에서 살펴본 바와 같이 Mixing Clean Heater로 처리한 TS17에서 고형분 입자의 분포 및 크기가 상대적으로 양호한 상태를 보여주고 있다. 정제처리 과정을 거치지 않은 기준 시료인 TS18은 입자의 분포는 양호하나 상대적으로 큰 크기의 입자가 관찰되었다.



그림 97 TS15 200배



그림 98 TS16 200배

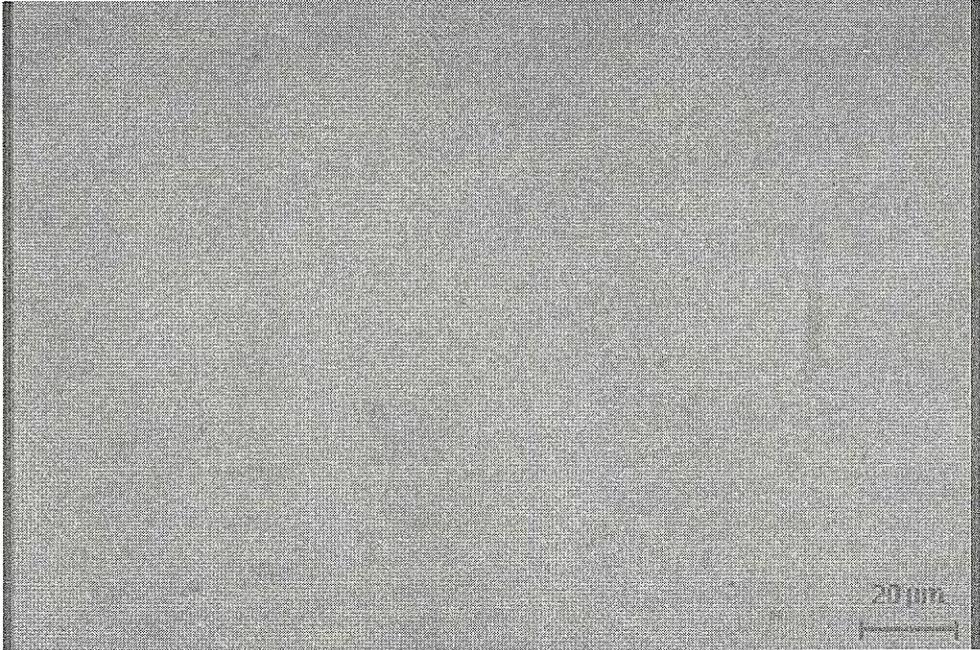


그림 99 TS17 200배

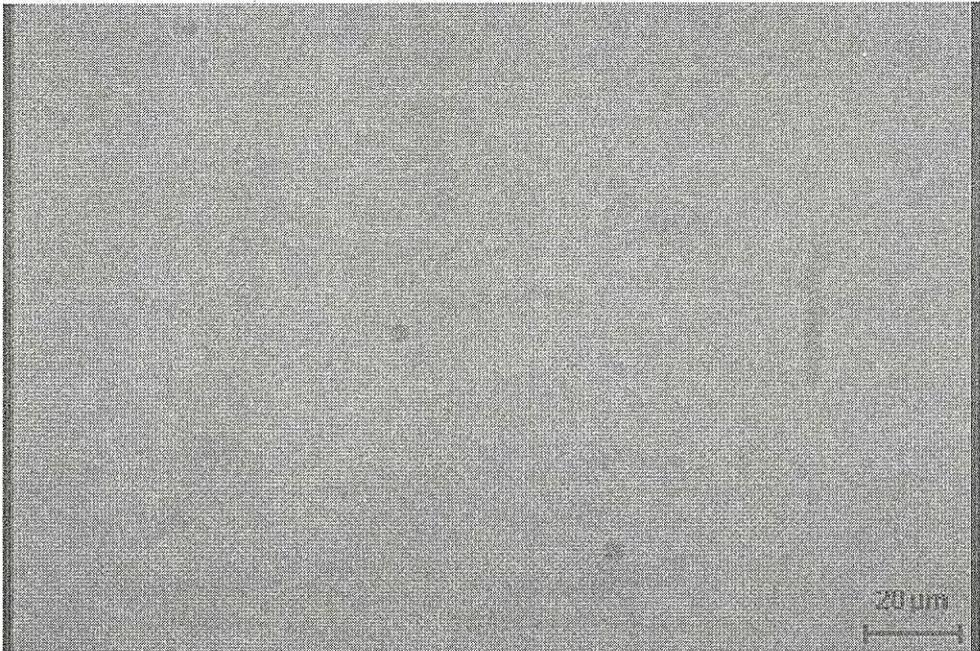


그림 100 TS18 200배

(3) 400배 확대 사진

MF60의 400배 확대 사진인 그림 101~104에서는 기준시료인 TS18에서 고형분 입자 크기가 약  $3.7\mu\text{m}$ 로 나타났고, Mixing Clean Heater로 단독 처리한 TS17을 제외한 나머지 시료들은 최대 입자의 크기가 약  $3.8\sim 4.4\mu\text{m}$ 로 나타났기 때문에 고형분 및 슬러지의 처리 효과가 미미한 것으로 사료된다. TS17의 사진인 그림 103에 나타난 입자의 최대 크기는 약  $2.2\mu\text{m}$ 로서 가장 양호한 분쇄상태를 나타냈다. 따라서 앞서 살펴본 바와 같이 고형분 입자의 분포 및 크기를 중심으로 한 연료유의 균질화 효과는 Mixing Clean Heater가 가장 효과적이다 사료된다.

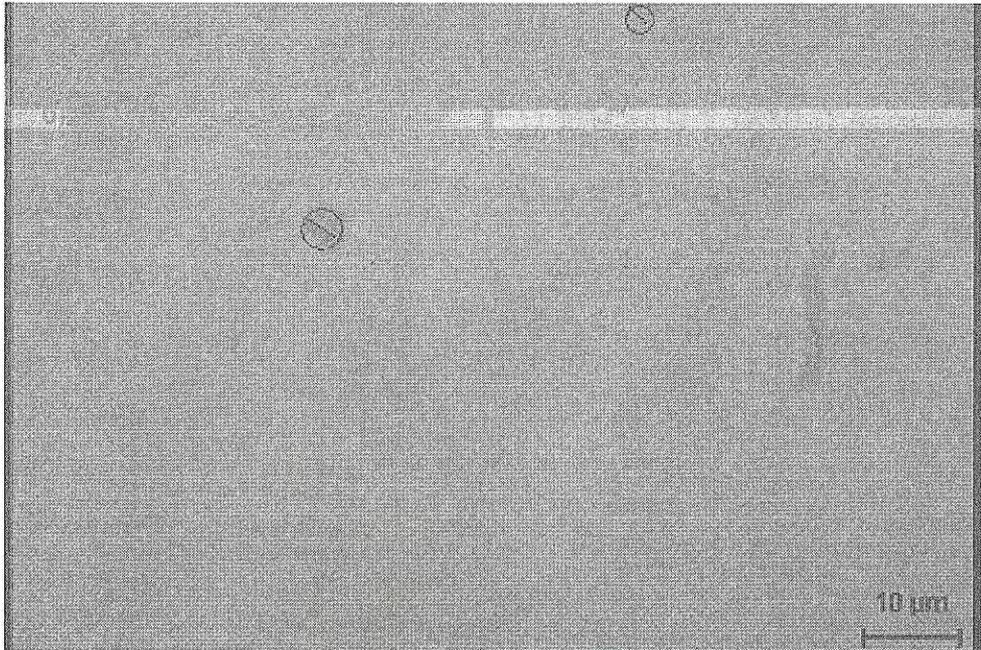


그림 101 TS15 400배

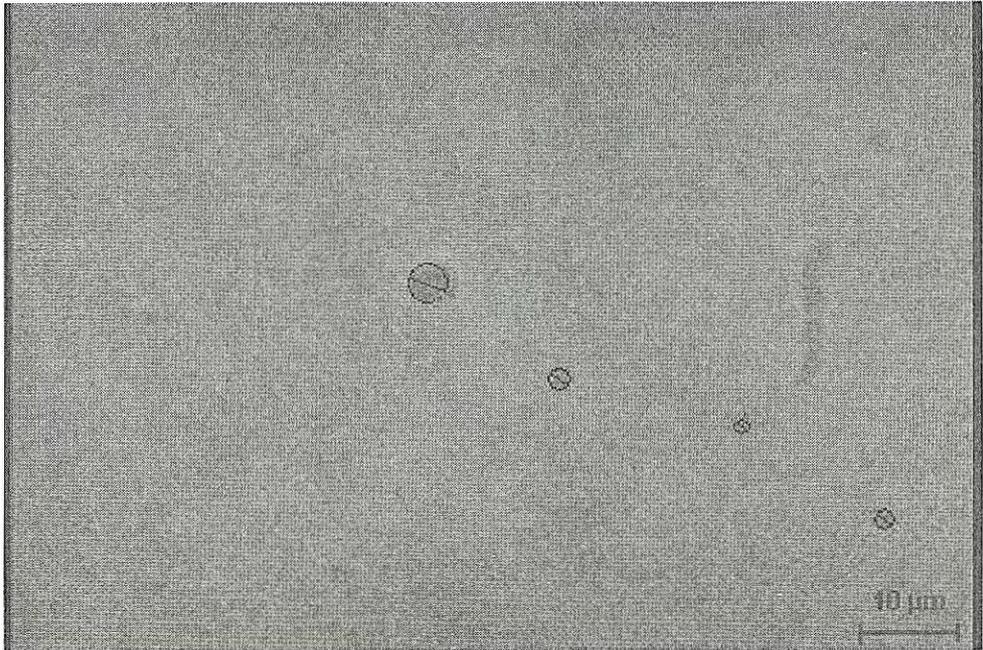


그림 102 TS16 400배

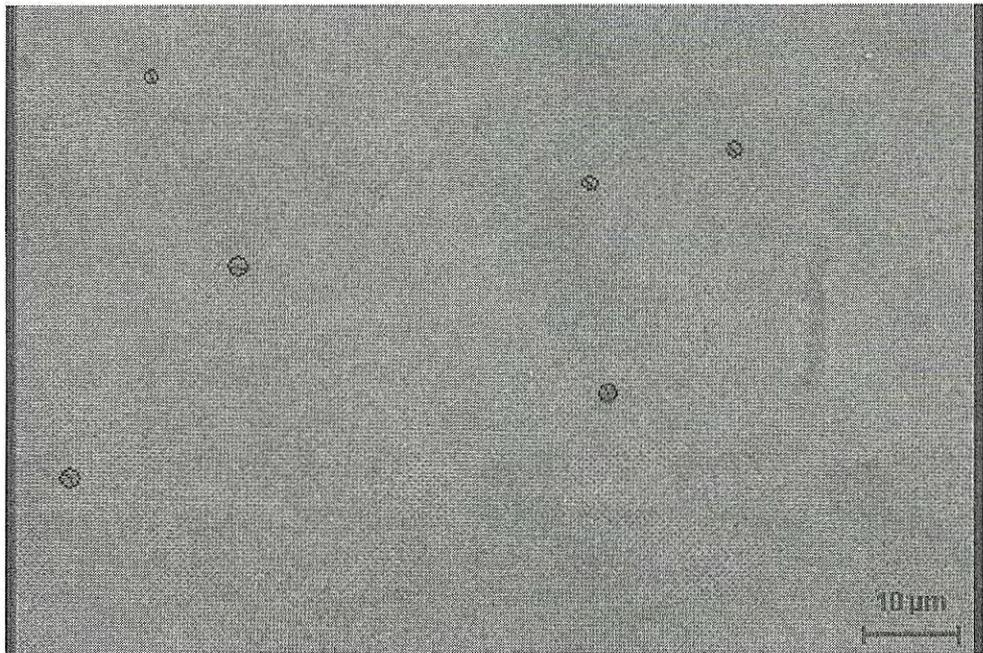


그림 103 TS17 400배

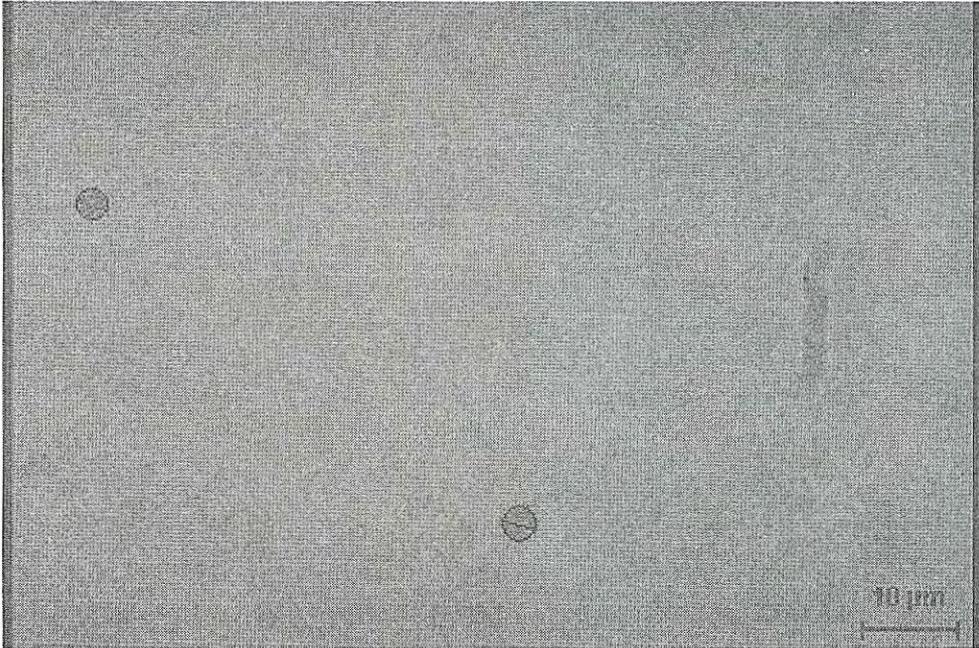


그림 104 TS18 400배

마) MF100, MF150 및 MF180 (TS19~TS24)

(1) 100배 확대 사진

그림 105~110은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22와 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 100배이다.

사진을 살펴보면 MF100유 중 정제처리 과정을 거치지 않은 시료인 TS22의 고형분 입자의 크기는 모두 정제 전에 비해 상대적으로 작아진 양상을 보이고 있다. 따라서 저질중유인 MF100유에서는 MCH 정제처리가 유효한 방법으로 판단되며, 나머지 정제처리는 고형분 입자를 분쇄하여 그 크기를 작게

하는 효과가 소폭 나타나는 것으로 판단된다.

MF150유는 고형분 입자의 크기가 상대적으로 크게 나타났으며, 작은 입자의 분포는 많이 보이지 않았다.

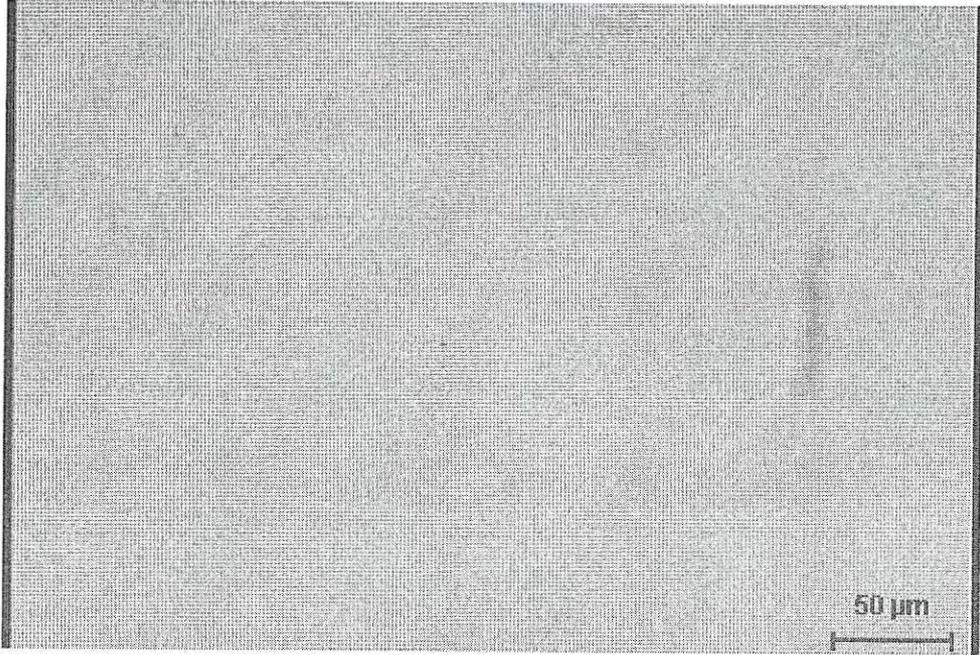


그림 105 TS19 100배

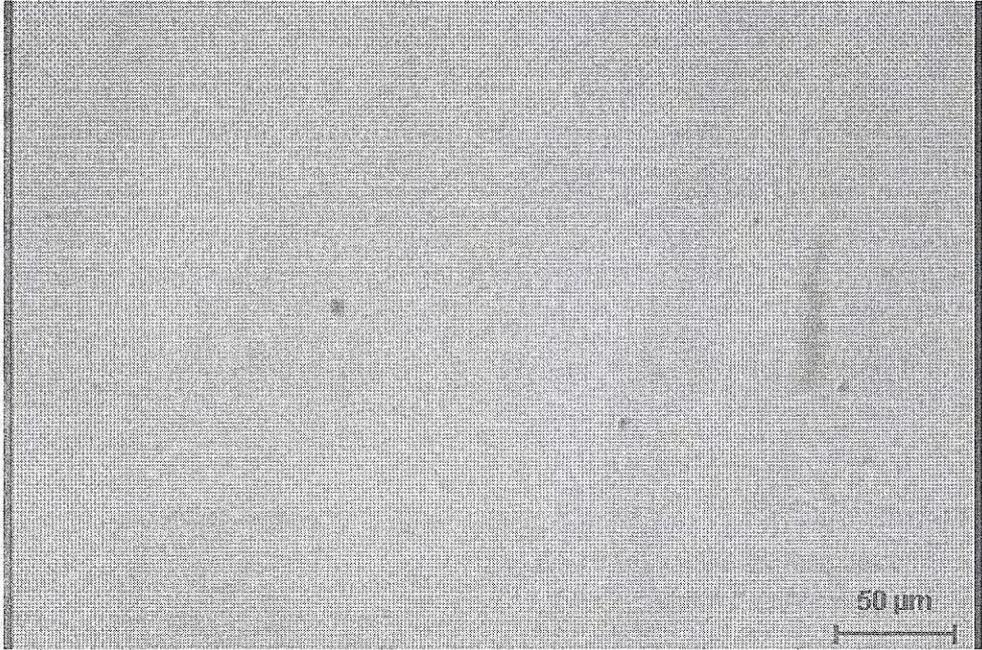


그림 106 TS20 100배

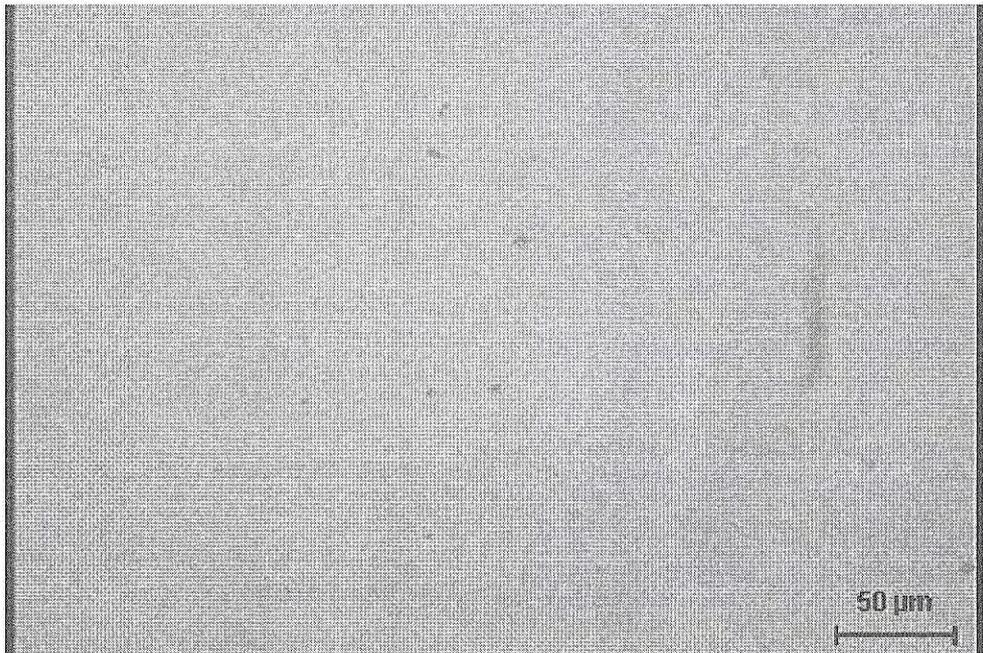


그림 107 TS21 100배

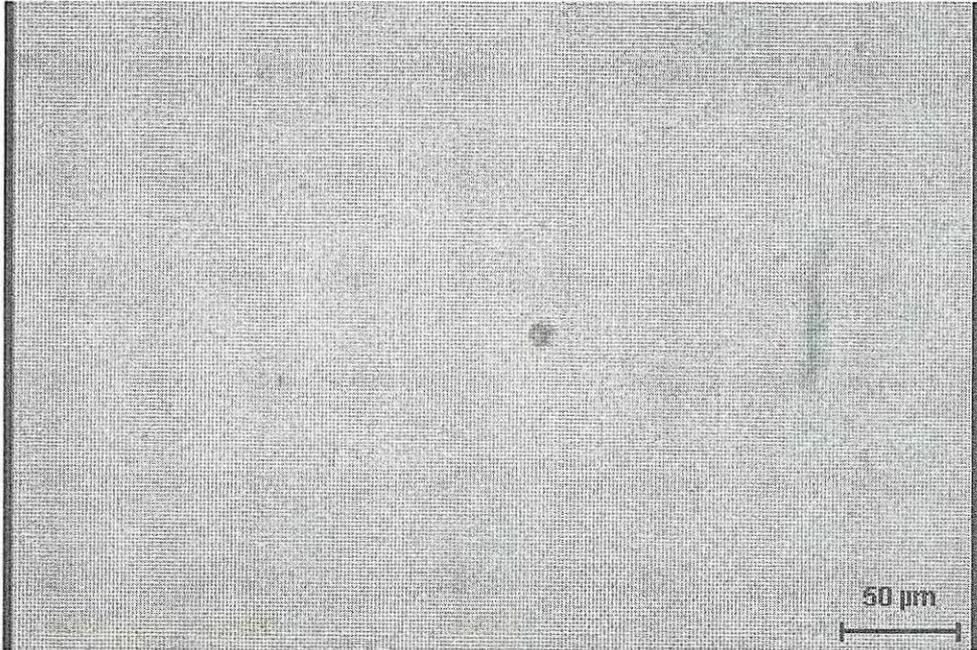


그림 108 TS22 100배

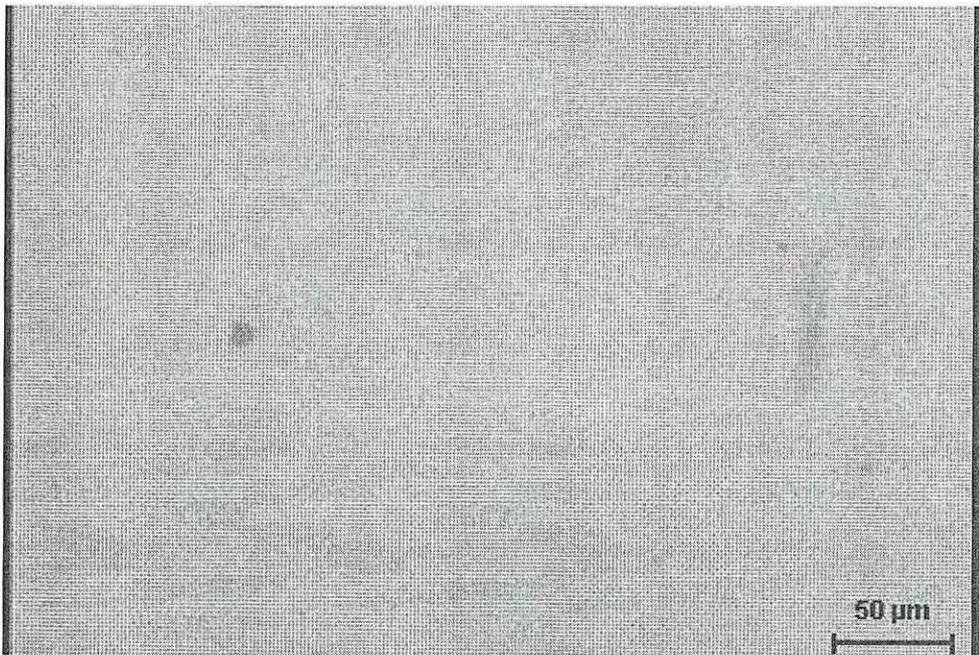


그림 109 TS23 100배

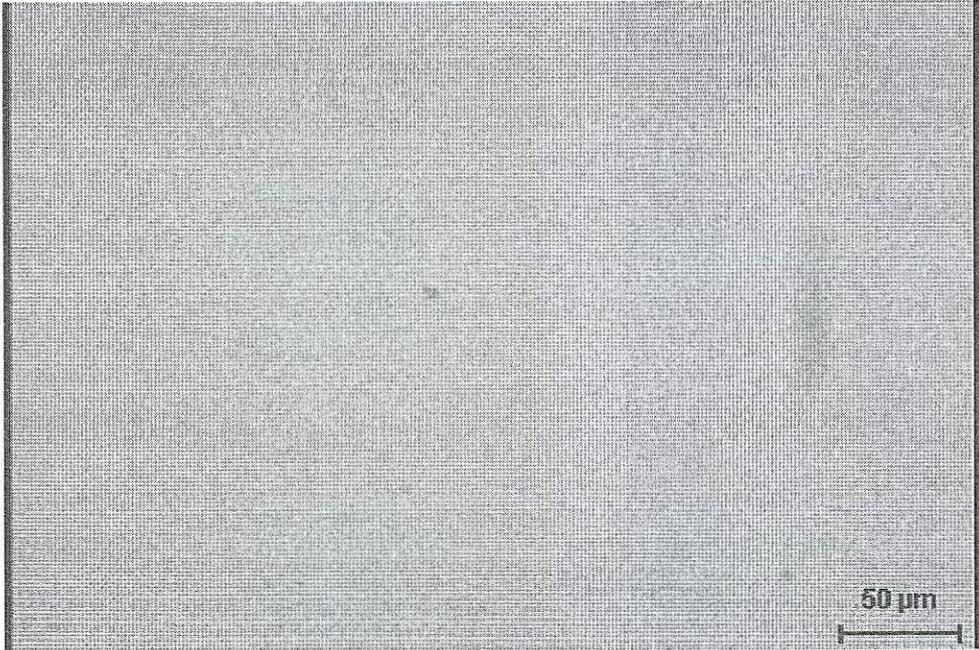


그림 110 TS24 100배

(2) 200배 확대 사진

그림 111~116은 첨가제를 혼합하지 않은 MF100과 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 200배이다.

그림 119에 나타난 바와 같이 MF100유에서는 MCH로 정제한 시료 TS21의 고휘분 입자가 작고 분포도도 작다. 나머지 시료들은 비교적 큰 크기의 입자가 많이 분포되어 있는 것으로 나타났다. 저질중유인 MF100유에서는 MCH 정제처리가 연료유 균질화를 위한 효과적인 방법으로 판단된다.

MF150유는 고휘분 입자의 크기가 상대적으로 크게 나타났다.

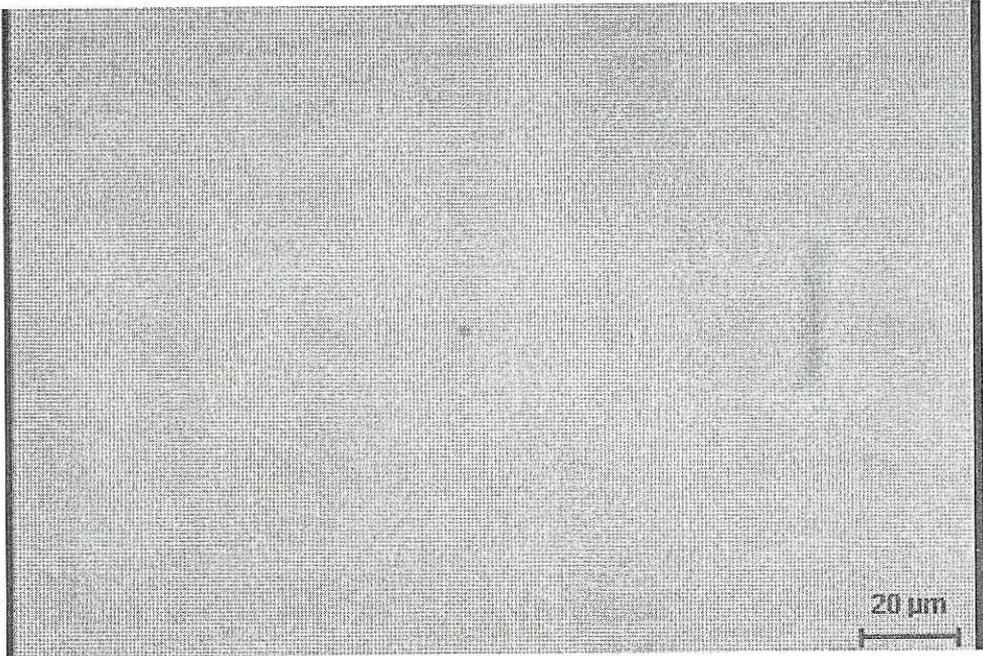


그림 111 TS19 200배

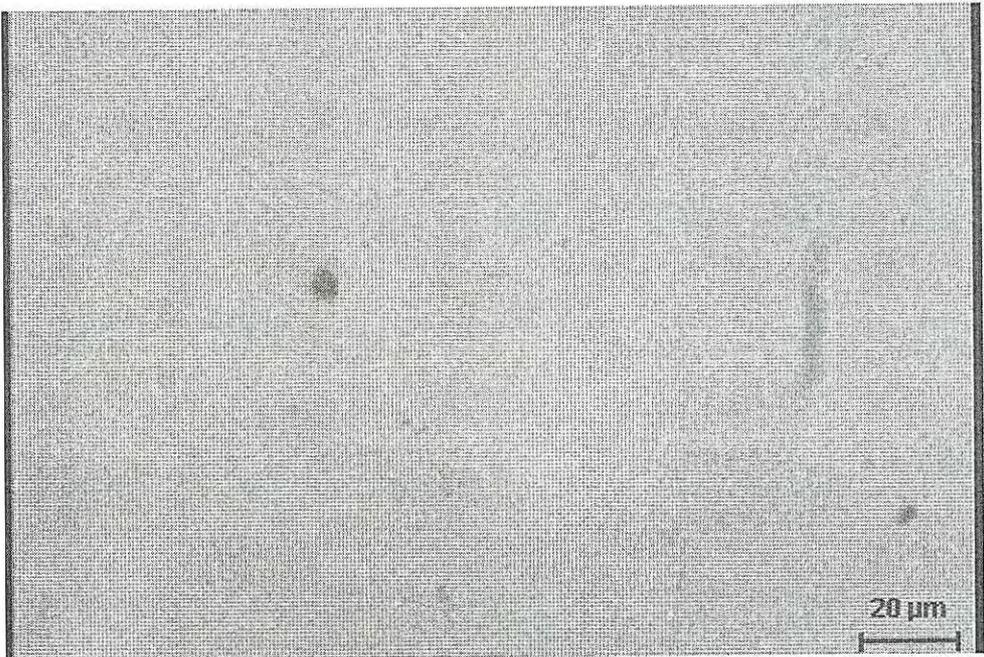


그림 112 TS20 200배

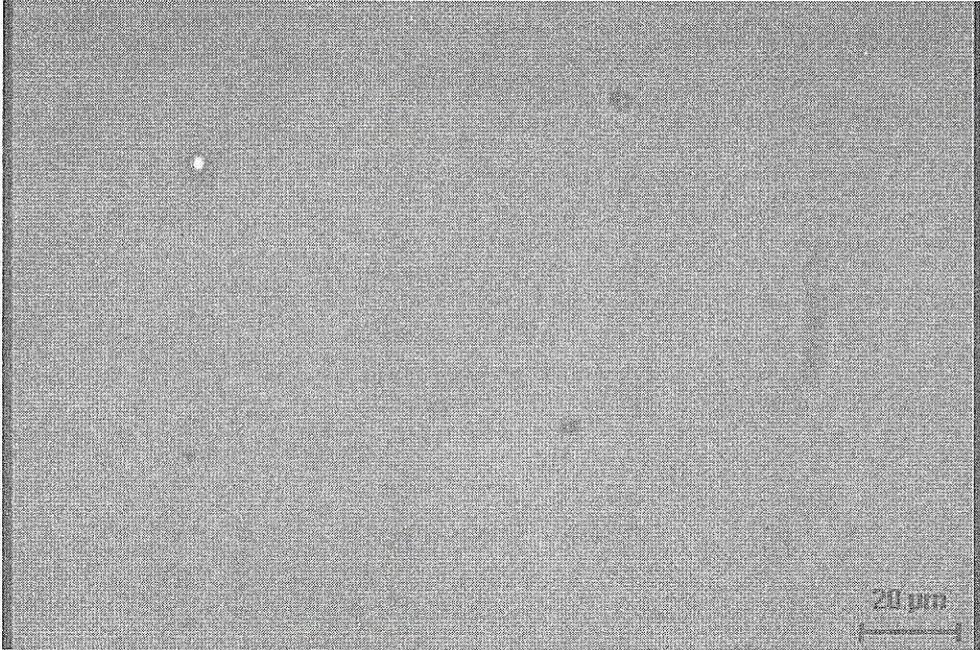


그림 113 TS21 200배

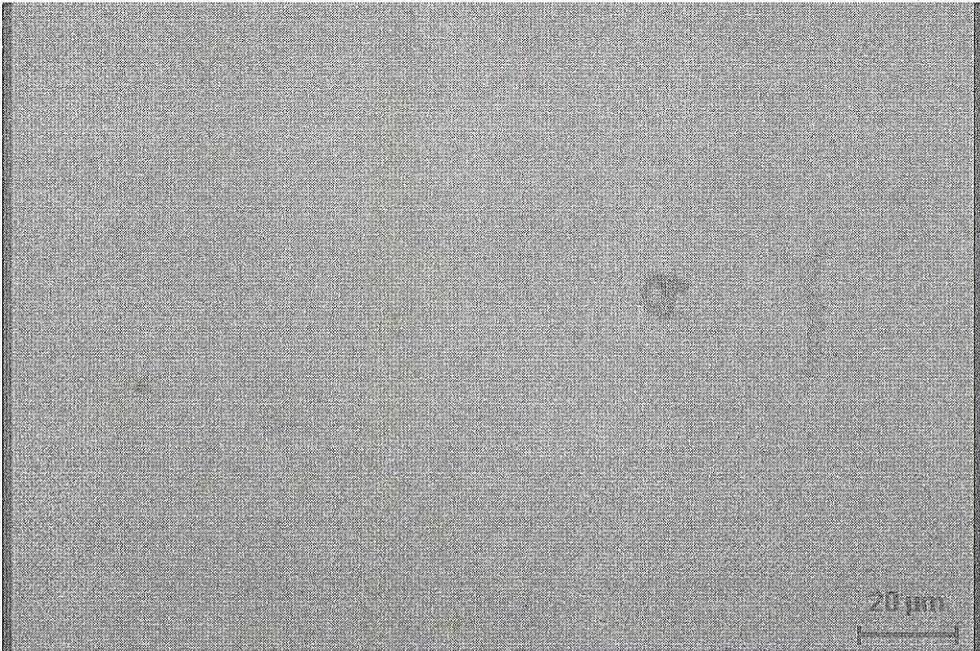


그림 114 TS22 200배

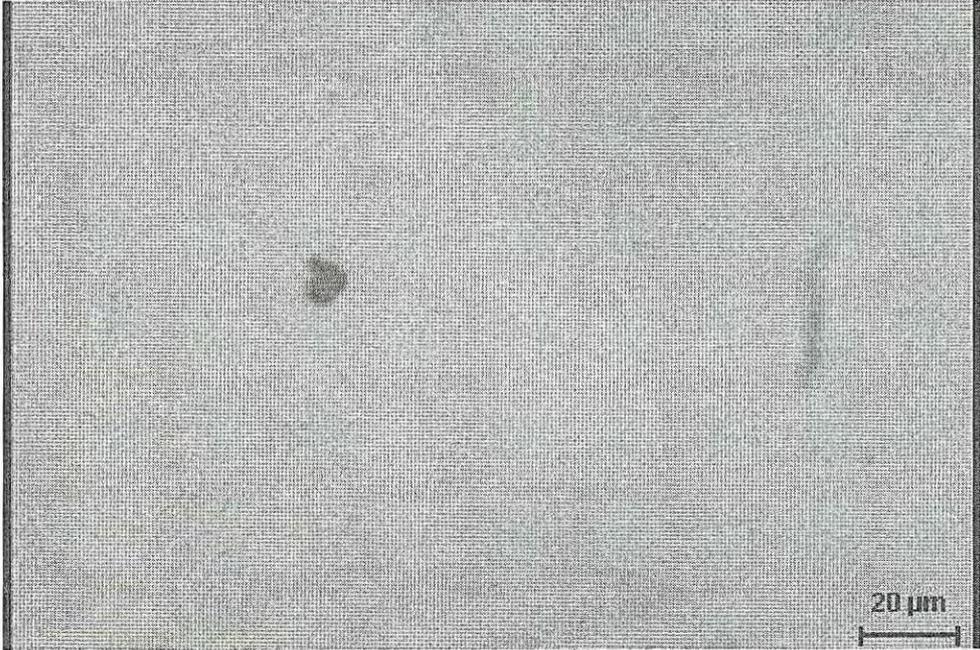


그림 115 TS23 200배

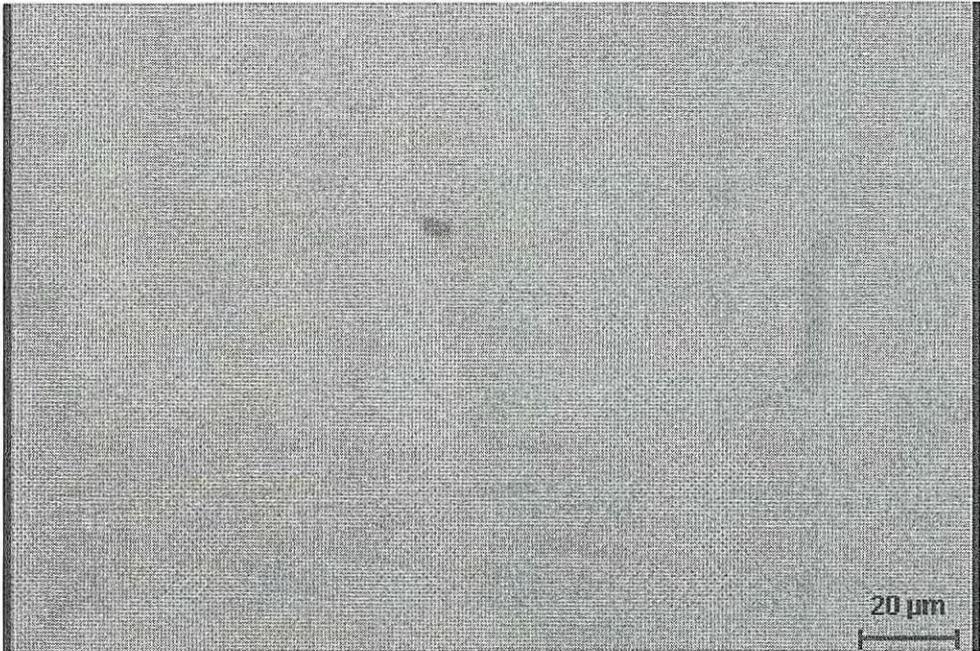


그림 116 TS24 200배

### (3) 400배 확대 사진

그림 119~122는 첨가제를 혼합하지 않은 MF100을 세 가지 정제처리 장치로 정제한 시료인 TS19~TS22과 첨가제를 혼합하여 Ceramic Ball Filter로 정제한 MF150유인 TS23 그리고 첨가제를 혼합하고 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제 처리한 MF180유인 TS24를 현미경으로 촬영한 사진으로 배율은 400배이다.

그림 119에 나타난 바와 같이 MCH로 정제한 시료 TS21의 고형분 입자 크기가 약  $1.8\mu\text{m}$ 로 가장 작고 입자의 분포도 적다.

Purifier 및 Mixing Clean Heater로 정제한 시료 TS20의 입자 크기는 약  $4.5\mu\text{m}$ 를 나타내 비교적 양호한 양상을 나타냈다.

Purifier로 단독 정제한 시료인 TS19는 고형분 입자의 분포는 약  $6.7\mu\text{m}$ 이었다.

정제처리 과정을 거치지 않은 시료인 TS22의 고형분 입자 크기는  $9.6\mu\text{m}$ 로 나타나 MF100유 중 가장 컸다. 따라서 저질중유인 MF100유에서는 Purifier 정제처리가 연료유 균질화를 위한 효과적인 방법으로 판단되며, Mixing Clean Heater로 처리하는 정제법도 유효한 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

MF150유를 촬영한 그림 121은 고형분 입자의 크기가 약  $10\mu\text{m}$ 로 나타났으며, 입자의 분포는 상대적으로 적게 나타났다.

그림 122에 Purifier 및 Ceramic Ball Filter로 정제처리 한 MF180유의 확대사진을 나타내었고, 이 경우에 고형분 입자 크기는 약  $5.8\mu\text{m}$ 로 나타났다.

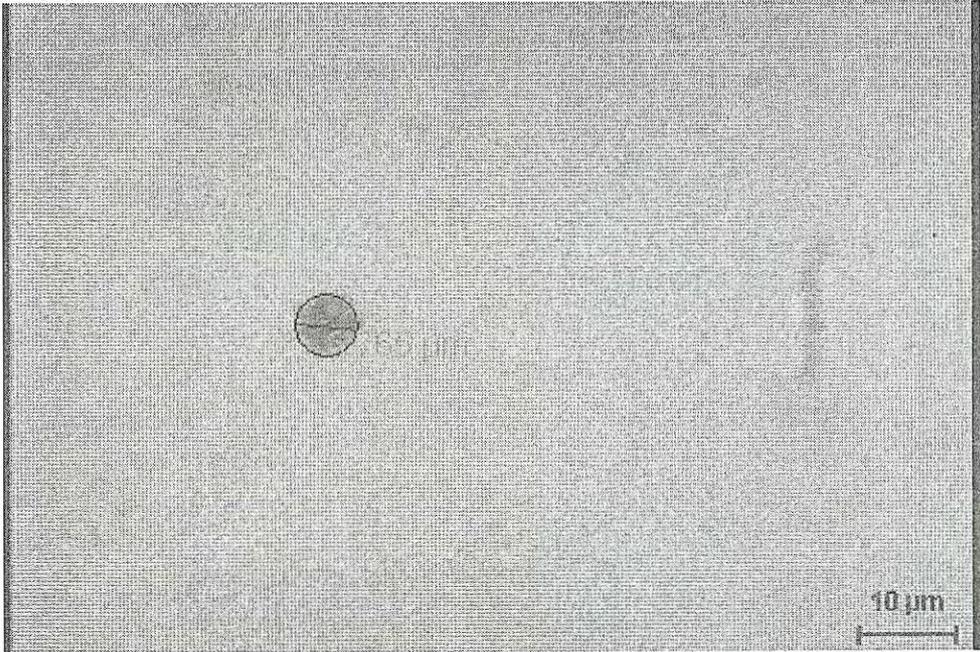


그림 117 TS19 400배

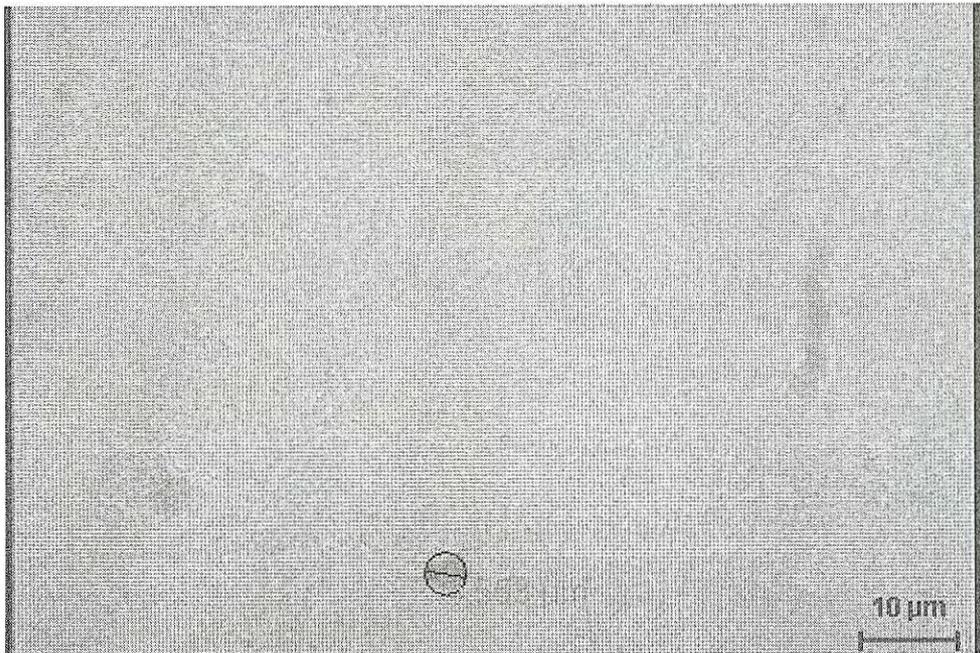


그림 118 TS20 400배

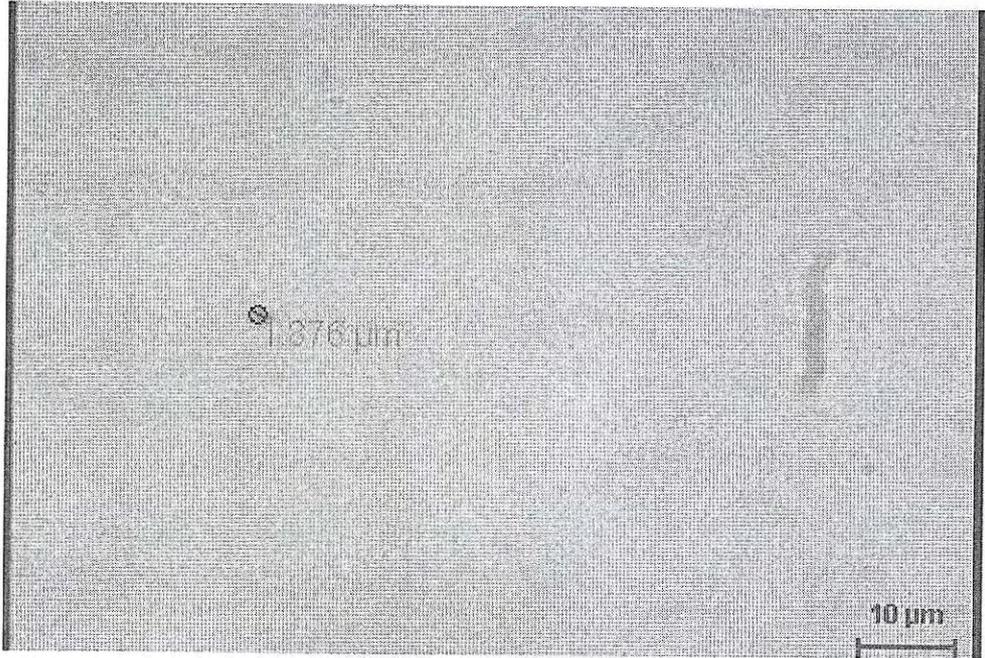


그림 119 TS21 400배

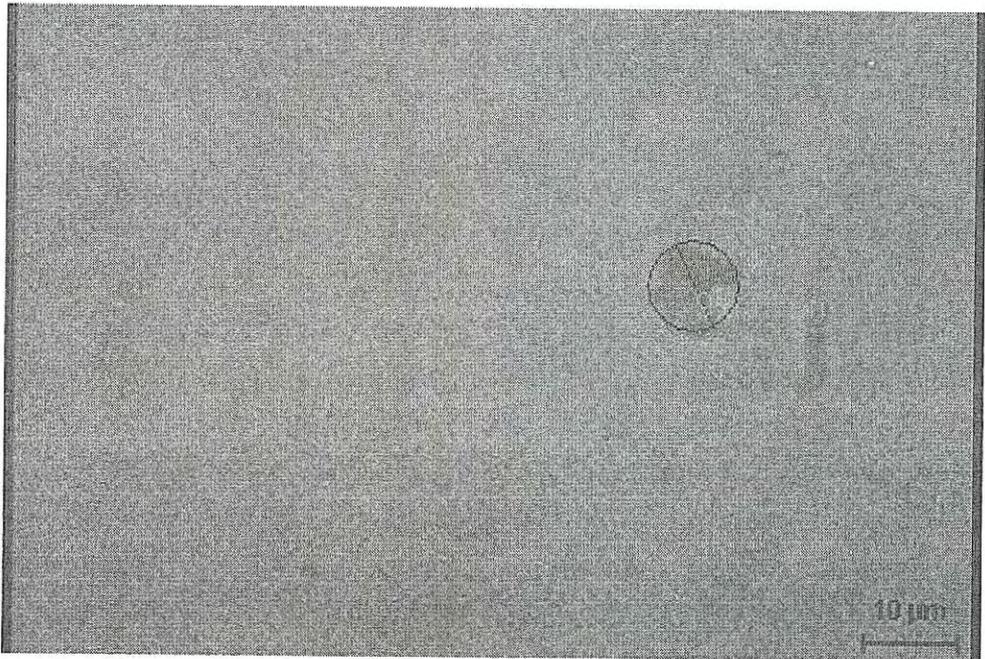


그림 120 TS22 400배

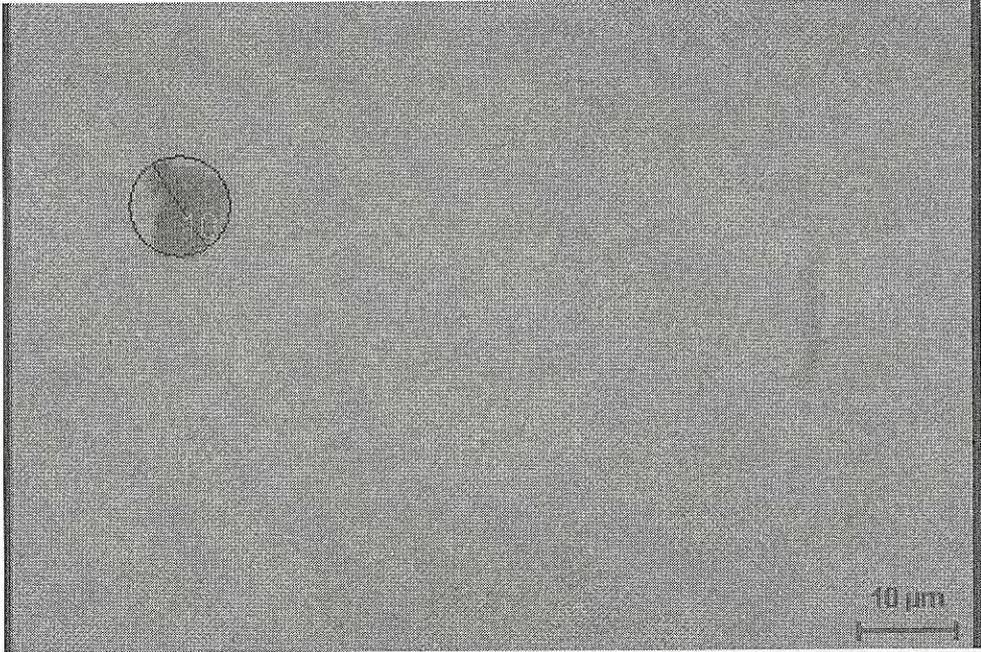


그림 121 TS23 400배

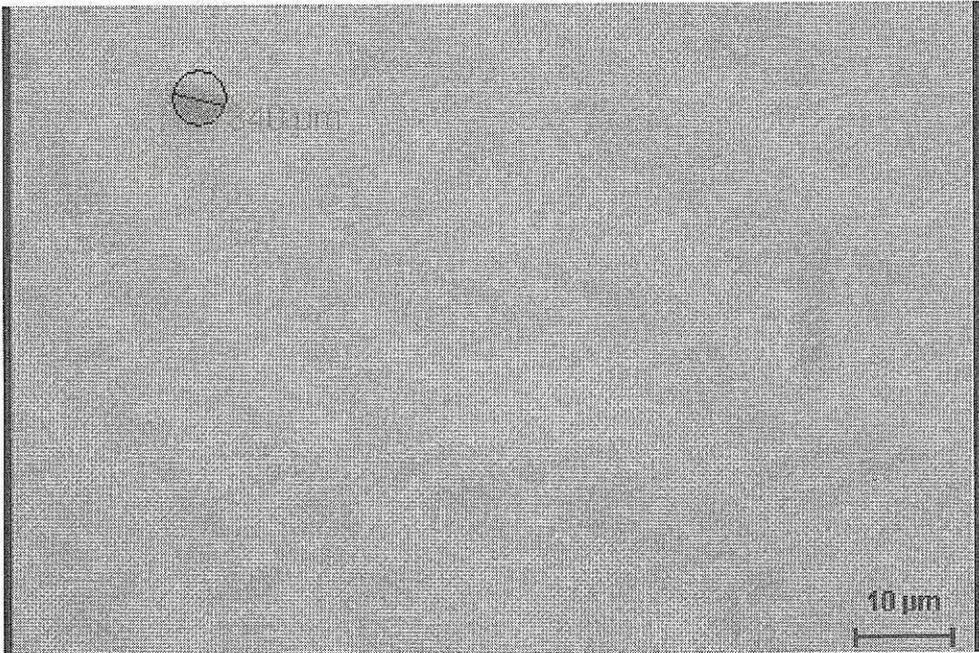


그림 122 TS24 400배

MGO(경유), MDO, MF15, B/A(Bunker A), MF60, MF100, MF150 및 MF180로 분류된 총 8가지 연료유를 기본으로 연료 첨가제(조연제)를 혼합 하거나 하지 않고 3가지 정제처리 장치인 원심식청정기(Purifier), 믹싱클린히터(Mixing Clean Heater) 및 세라믹볼필터(Ceramic Ball Filter)를 통하여 정제한 시료 24종류를 대상으로 연료유의 연소효율에 미치는 대표적인 물리화학적 성상을 분석하고 현미경으로 확대한 사진을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 연료유첨가제를 혼합하거나 혼합하지 않은 MDO의 경우에 비중, 동점도 및 유동점 등에서 첨가제를 혼합한 시료가 연료유의 개질(改質) 효과가 나타났다. 또한 Purifier를 이용한 정제처리 방법에서 가장 좋은 개질 효과가 있었다.
- 2) 연료유첨가제를 모두 혼합한 MF15유에서는 Purifier를 이용한 정제처리 효과가 다소 우세하게 나타났다.
- 3) 연료유첨가제를 모두 혼합한 Bunker A유는 정제처리를 하지 않고 연료유첨가제만을 혼합한 시료가 오히려 더 좋은 물리적 성상을 나타내었다.
- 4) 연료유첨가제를 혼합하지 않은 MF60유를 정제처리 한 시료에서는 각 정제처리에 따른 뚜렷한 개질 효과는 나타나지 않았다.
- 5) 연료유첨가제를 혼합하지 않은 MF100유를 정제처리 한 시료에서는 각 정제처리에 따른 뚜렷한 개질 효과는 나타나지 않았다.
- 6) 경질유와 중질유를 혼합하여 제조한 연료유인 MF15, Bunker A 그리고 MF60에서의 혼합안정성(Compatibility)은 원심식청정장치인 Purifier를 이용한 방법이 가장 효과적이었고, MF100급은 전혀 혼합되지 않은 상태를 나타냈다.
- 7) 고형분 및 슬러지의 제거 또는 분쇄로 인한 연료유의 균질화 효과는 MDO, MF15, Bunker A 그리고 MF60에서는 Mixing Clean Heater로 정제 처리하는 것이 가장 효과가 좋았다. 또한 상대적으로 저질중유인 MF100유에서는

Purifier를 이용한 원심식청정법이 고형분 제거 및 연료유 균질화 효과를 나타냈다.

#### 다. 연료 혼합방법 및 혼합 장치

##### 1) 연료 혼합방법

중유를 경유 또는 MDO(Marine Diesel Oil)와 혼합하여 일정범위 내의 해상유로 만드는 것은 유류산업의 주요한 기술 중에 하나이다. 정확한 점도로 혼합하는 기술과 정확한 양을 이송하는 기술은 기존의 경유사용 시와는 달리 혼합유를 사용하게 될 경우 중요한 부분임으로 현재 사용되고 있는 연료혼합방법에 대하여 기술하고자 한다. 블랜딩은 과거 수십년 동안 수행되어져 온 것으로 원유사업에서는 새로운 부분은 아니며, 선박에서 또한 1,2차 오일쇼크 이후 일부선박에서도 사용하였으나, 최근 몇 년 전까지만 해도 거의 사용되지 않았다.

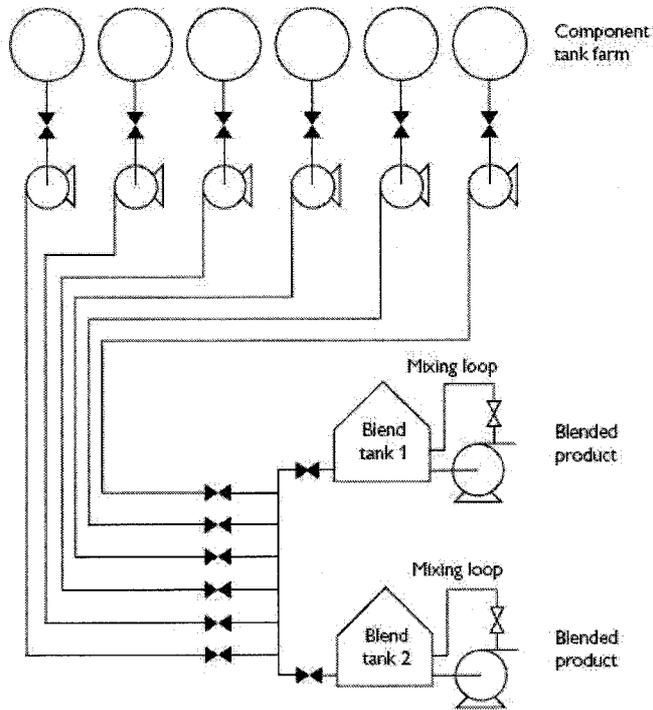
현재 연료의 혼합방법에는 혼합할 연료를 탱크에 순차적으로 넣고 혼합하는 batch blending과 관내에서 바로 혼합하는 in line blending의 두 가지 방법이 있다.

##### 가) Batch blending

batch blending의 과정은 수십년동안 bunker 공급업자들에 의해 사용되어져온 방법이다. 공급업자는 혼합탱크를 준비하고, 각각 다른 제품을 탱크에 추가하여 혼합할 준비를 한다. 혼합 후 혼합유의 성분을 분석하여 출하하게 된다. 아래 그림 123에서와 같이 기본유 탱크에서부터 기름을 뽑아내어 혼합탱크에서 일정 부피로 각 기본유를 주입하여 혼합한다. 관내에서 혼합하는 in-line blending과는 탱크 내에서 순환되어 진다는 점에서 차이가 있고, batch blending 시스템에서 기름은 분산효과를 높일 수 있도록 sloping tube를 통해서 탱크로 재순환되도록 되어있다. 이 방법은 연료의 동질성을 높일 수 있고 분석을 위한 샘플을 순환파이프에서 채취할 수 있다는 장점이 있으나, 완전히 혼

합하기 위해서는 적어도 1시간 이상이 소요된다는 단점이 있다. 결과적으로 batch blending은 혼합하는데 필요한 시간과 혼합할 탱크를 준비해야하는 손실을 가지게되는데 이러한 손실들은 소비자에게 전가되는 문제점을 가지게 된다.

batch blending에서의 혼합 정확성은 혼합될 기름의 정확성과 순차적으로 기름이 공급되도록 하는 장비에 달려있다고 할 수 있고, batch blending과 유사한 sparge blending이 바지선 등에서 수행되고 있지만, 복잡한 혼합탱크의 규모와 설비설치 공간 등의 제약으로 주로 육상에서 많이 수행되는 방법이다. 이 혼합 방법은 수요가 작고 간헐적인 수요가 있는 경우에 유용한 방법으로 알려져 있다.



Typical batch blending system

그림 123 Typical batch blending System

## 나) In-line Blending

최근에는 in-line blending이라는 기술이 개발되어 이용되어지고 있다. in-line blending은 최종 제품유를 출하와 동시에 생산하는 방식으로 복잡한 제품생산 계획없이, 혼합된 제품의 제고를 줄일 수 있는 방법으로 두개 또는 그 이상의 제품유를 비율에 따라 혼합한다.

○ In-line blending은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 혼합시간의 단축
- 제품혼합의 유연성(제품의 특성을 쉽게 변경할 수 있음)
- 향상된 혼합율
- 혼합 구성유의 낭비 감소
- 간단한 조작
- 생산비용 절감
- 단순한 혼합장치

또한, 그림 124에서와 같이 차량, 기차 선박 등에 직접 전달할 수 있는 혼합방법으로 최근에 많이 이용되고 있는 방법이다. 이 방법이 고안된 초기에는 두개 유체의 흐름을 기계 혼합기를 통해 비율을 조절하여 혼합하였다. 기본적인 동작은 한쪽 밸브가 열려지면 다른 밸브가 비율적으로 닫히도록 하는 공동 다이아프램 액추에이터를 이용하는 간단한 방법으로 비율조절은 metering valve의 handwheel을 이용하여 조정되었다.

현재는 좀 더 정확한 제품을 생산을 위하여 in-line blender를 마이크로프로세서를 이용한 제어기로 설계한다. 이러한 혼합기의 기본원리는 유량계를 통하여 기름의 유량을 측정하고, 유량의 증감을 위하여 전자식 밸브의 개폐를 조절하거나 펌프 출력을 변화하여 혼합비율을 조절하도록 하는 것이다. 석유화학산업의 혼합시스템이 이 방법을 많이 이용하고 있으며, 현재 매우 좋은 혼합결과를 얻어내고 있다. 이러한 형태의 장치는 스킵드 또는 드레일러에 설치되어 아래 그림 125~127에서와 같이 이동 가능한 bunkering barge나 트레일러에 탑재되어 항구 또는 터미널 설치될 수 있다.

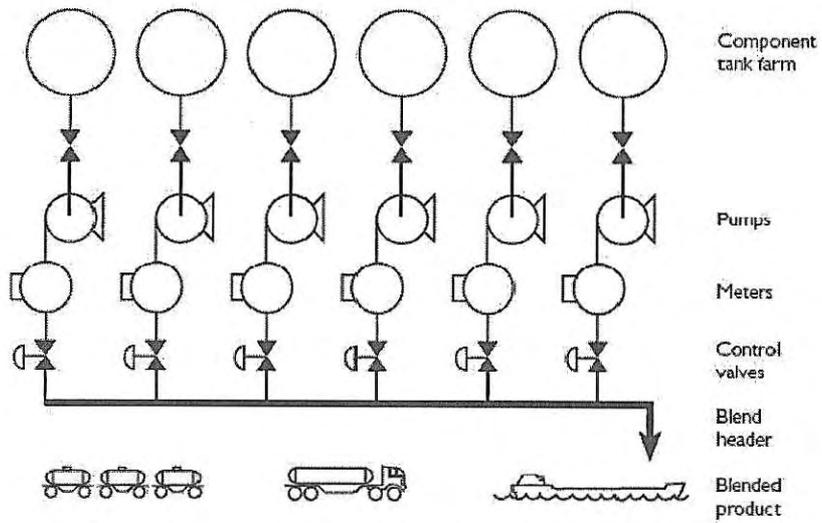


그림 124 전형적인 In-Line Blending System

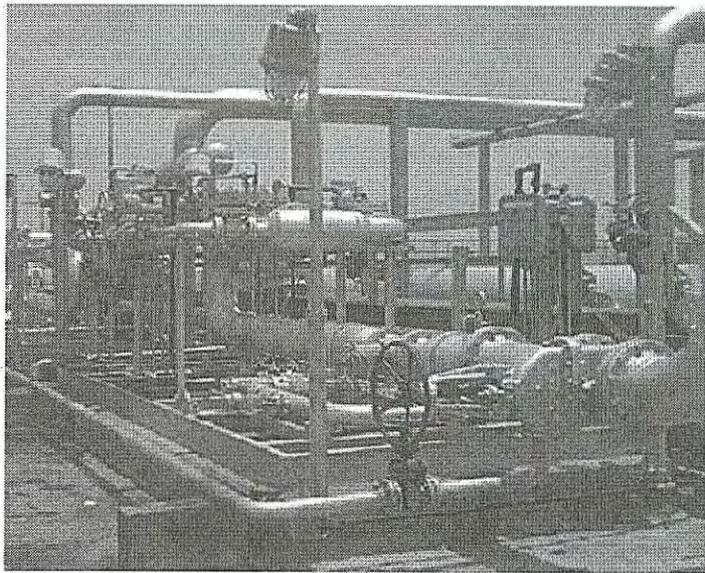


그림 125 Skid에 의해 터미널에 설치된 in-line blending 장치

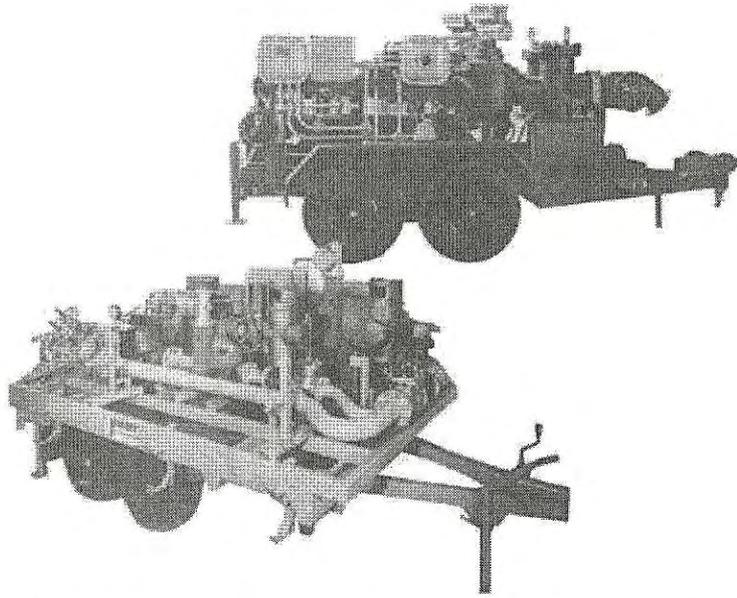


그림 126 trailer에 설치된 in-line blending 장치

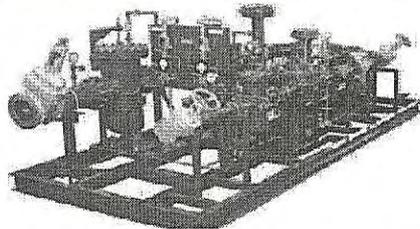


그림 127 skid에 의해 barge에 설치된 in-line blending 시스템

마이크로프로세서를 기본으로 하는 제어기의 이용은 다양한 특성과 발전된 장치를 이용할 수 있도록 한다. 예를 들면 미리 정해진 혼합방법들은 시스템 장치내부에 미리 저장하고, 운영자는 단지 명칭이나 숫자로 호출하여 적절한 비율로 기름을 혼합한다. 온도의 유지는 온도 센서로부터 전기신호로 계측된다. 혼합제어기는 RS232 또는 422시리얼 링크를 통하여 다른 컴퓨터 시스템과 연결하고, 시스템을 디지털화하여 아날로그 계측값을 4-20mA를 약 1/8000로 분해하여 정확도를 높게한다. 모든 시스템의 정확성은 사용하는 유량계의 정확성에 달려있고, 이것은 순간 유량의  $\pm 0.5\%$ 안에서 성분을 혼합할 수 있도록 한다. 다시 말해서 혼합은 mass basis로 수행될 수 있다. 기본 구성요소들이 질적으로 좋은 상태라면 최종 생산품을 좋은 상태를 유지할 수 있다.

In-line blending에는 여과기, 유량계측장치, 온도계측장치, 유량제어장치 및 밸브 등의 장치가 포함되어 있으며, 혼합관 (blend header)에는 혼합장치와 샘플채취 또는 분석장치가 설치되어 있다. In-line blending의 혼합 방법을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

#### (1) 혼합비율

혼합비율은 두개 또는 그 이상의 제품을 부피 또는 무게에 따라 혼합하는 일반적인 기술이다. 이 방법에서의 혼합정확성은 사용되는 flow meter 및 flow transmitter의 정확성에 달려있다. 혼합될 제품의 요소들이 정확하다면 양질의 최종 제품을 생산할 수 있다.

#### (2) 혼합

In-line blending에서 혼합은 매우 중요한 부분이다. Batch blending에서와는 다르게 In-line blending에서는 혼합이 지속적으로 이루어지고 혼합상태가 일정하도록 하기 위하여 기

본유의 흐름이 한곳으로 모이도록 하면서 혼합한다. 혼합의 정확도는 에너지의 분산에 달려있는데, In-line blending시 자연적인 와류에 의하여 혼합되도록 하는 것은 좋은 혼합상태를 유지하기에는 부족하다.

그림 128에서와 같이 관내 유체 흐름에 와류가 발생되도록 하는 static mixer와 같은 전통적인 혼합장치는 압력강하를 통하여 에너지를 분산하여 유체에 회전력을 가한다. 동력을 이용하지 않는 장점이 있고 Mixing 하고자 하는 유분을 Mixer 전단에 연결하여 Mixer를 통과하면, Mixer 내에 설치되어 있는 장애물들에 의해 혼합이 이루어진다. Mixer의 길이는 최소 연결배관의 5 ~ 10배, 최대 50 ~ 100 배이다. Mixer의 길이가 길어질수록 압력강하에 의한 에너지 손실은 많아지고, Mixing 효과는 커진다. Blender header 후단에 설치하여 각 Component를 혼합한다.

일반적으로 static mixer에 의한 압력손실은 유량/유속의 제곱에 비례한다. 만약 혼합제품의 유량 turndown ratio( $q_{max}/q_{min}$ )가 작다면 static mixer는 지나친 압력강하 없이 적절한 혼합상태를 만들수 있을 것이다. 그러나, 일반적으로 in-line blending에서와 같이 유량 turndown ratio가 크다면, static mixer는 지나친 압력강하를 하게 만들어 현장에 적용하기에는 적절하지 못할 것이다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 그림 129에서와 같은 혼합루프를 만들고 유체에 충분한 에너지를 가함으로써 자연와류가 발생하는 것 이상으로 기본유가 혼합되도록 한다.

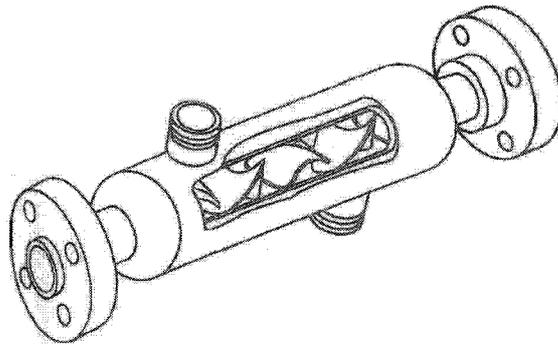
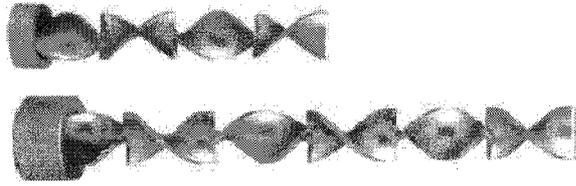


그림 128 static mixer

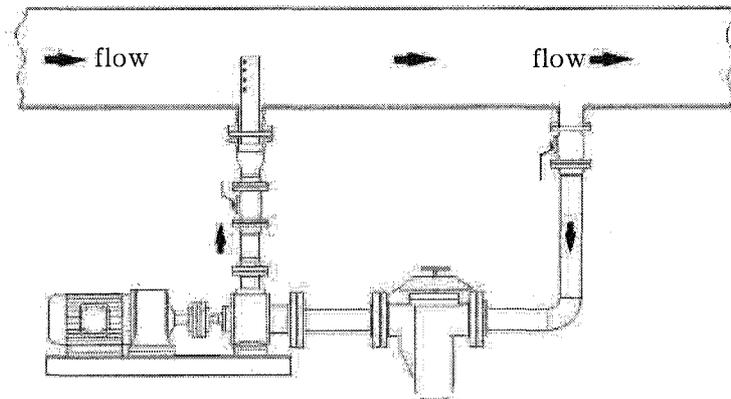


그림 129 혼합루프

### (3) 혼합상태 계측

체적비율로 혼합하는 장치는 기본유의 품질이 일정하고, 연료 특성에 대한 자료가 정확하다면 좋은 혼합결과를 얻을 수 있으나 종종 기본유의 품질이 변화되어 최종 혼합유에 영향을 미치는 경우가 있다. 이러한 문제의 해결방법은 그림 130에서와 같이 혼합상태를 분석하는 장치를 설치하여 혼합유의 계측을 혼합과정의 일부로 편입하는 것이다. 그러나 분석기를 설계하고 설치할 때에는 혼합장치의 정확성에 역효과가 없도록 다음사항을 고려하여야 한다.

- 계측장치는 혼합이 이루어지는 곳에 설치되어야 한다.
- 전체 유동범위에 계측할 수 있도록 설계되어야하고, 유동을 방해하는 압력강하가 생기지 않도록 하여야 한다.
- 분석기가 관내 유동과 온도를 함께 계측하고 있다면, 각각의 계측범위에 적합하여야 한다. 대부분의 분석기는 ASTM 또는 행열곡선으로 기준온도에 대한 관내측정치를 분석한다. 이러한 방법은 점도는 일정하고 온도만 변화하는 것으로 가정하고 있기 때문에 일반적으로 인정되지 못한다. 또한, 혼합제품은 가능한 분석오차를 감소시키기 위해 referral temperature에 가깝도록 유지하여야 한다. 그리고 온도 유류의 계측에 중요한 요소임으로 가능한 한 오차를 줄이도록 하여야 한다.(예로 냉각되는 벙커유의 점도는 온도에 따라 극격히 변화된다고 알려져 있다)
- 분석기는 햇빛에 영향을 받지 않도록 계측장치 및 온도장치 주위에 단열재로 처리하는 것이 좋다.

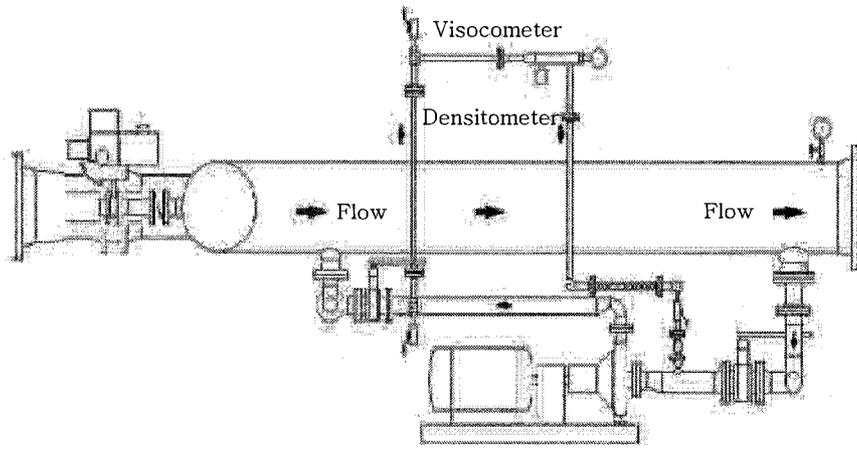


그림 130 혼합유의 계측

#### (4) 시료 채취

혼합유의 샘플을 채취하여 품질을 검사하는 것은 연료의 혼합과정에서 매우 중요한 부분으로 샘플은 혼합된 최종생산품의 대표성을 갖도록 혼합되는 부분에서 비례적인 간격으로 채취되어야 한다.

#### 2) 정유사 혼합장치

그림 131는 SK 에너지의 해상용 연료의 혼합시스템을 나타내는 파이프라인 도면이다. 대형 정유사에서는 본 도면에서와 같이 각각의 기본 연료탱크에 연료를 저장하였다가 필요에 따라 제품유를 혼합하여 만드는 In-line blending을 사용하고 있다.

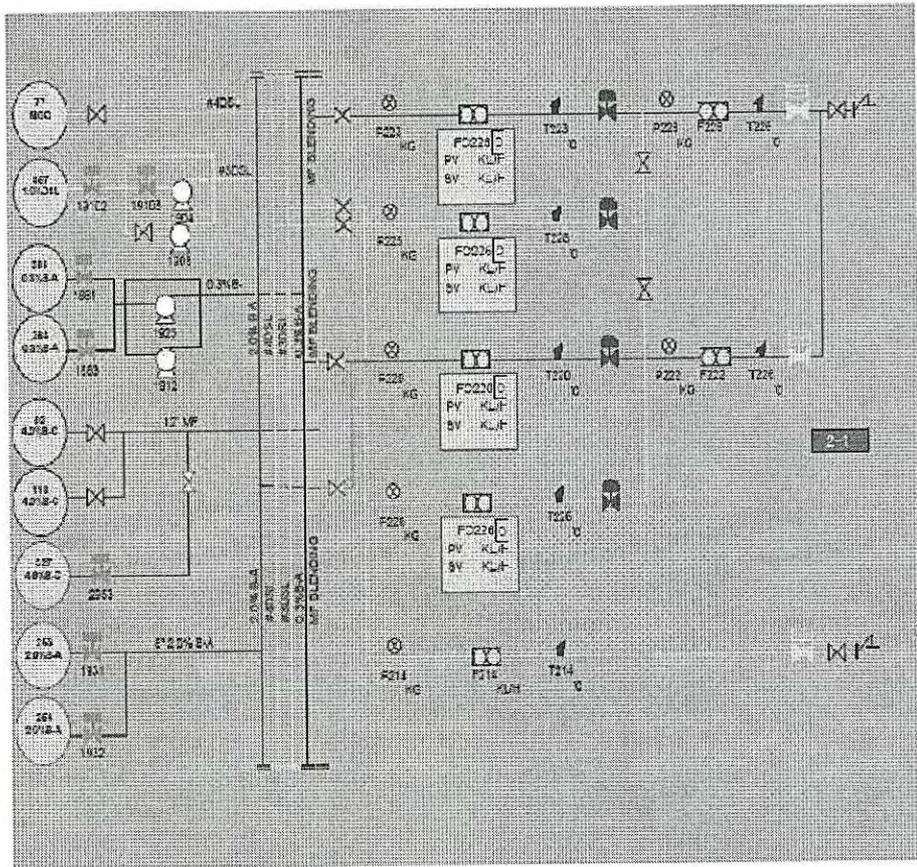


그림 131 Bunker 출하도면

그림 132와 133은 그림 131의 최종 제품을 생산하기 위하여 연료 혼합장치를 제어하는 모니터 화면을 캡처한 것이다. 각 탱크에서 계측된 기본유의 특성에 따라 제품의 양과 혼합비를 계산하여 입력하여 주면 부피의 비율에 따라 출하되면서 연료가 혼합되어 Bunkering 바지에 선적되어 진다.

**M/F BLENDING DEFINITION** SK

- BLENDING    /    GENERAL DOURD

작업 ID:     운전 상태:

PRODUCT:     OIL TYPE:     MODE: SEAM

SHIP NAME:     SALES CODE:

CUSTOMER:

TARGET VOL:     TARGET VOL:  MT    PUMP STOP VOL:

INSTRATE:  KJ/H    TARGET RATE:  KJ/H

B/C/B/A	SOURCE	RATIO	SP. GR.	VIS.	CCR	SULF.	TEAM
MGO	<input type="text"/>						
ME/MDO	<input type="text"/>						

PUMP	FLOW METER	DESTINATION
<input type="text"/>	MASTER / SUB	<input type="text"/>

B/C/B/A	비입비	부피(D)
MGO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ME/MDO	<input type="text"/>	<input type="text"/>

M/F
CALC

NEW	FIND	REGISTER	Y.A.C.C.P.
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

OPERATION	ORDER UNIT	ORDER SUM
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

CLOSE

그림 132 혼합비율 설정 화면

**MF CALCULATION** SK

작업 ID:

자료입력/선택

계산 범위

출력계량량:  200 MT

제품명: MF / MGO

4.0%B-C Tank: X 1118

MGO Tank: Y 1457

	4.0%B-C	MGO	합계값	API
Dens(Kg/m <sup>3</sup> )	973.9	853.0	961.4	13.6
KIN VLN.50	374.0	2.574	170	
TEMP°C	71.3	21.6	66.9	

계산

계산수원결과

	비입비	부피(D)
4.0%B-C	89.7 %	186.807
MGO	10.3 %	21.457
MF	100.0 %	208.264

NEW	MGO	보급지연해	비리보기
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

CLOSE

그림 133 혼합비 계산

### 3) 선내간이 혼합장치 개발

선내 간이 혼합장치의 개발은 동연구계획에는 포함되어 있지 아니한 과제였으나 연구과정에서 꼭 개발되어야 할 필요성이 대두되어 개발된 것이다. 그림 134은 선박에서 간이하게 사용할 수 있도록 고안한 혼합장치로서 혼합유 정제장치 시스템 내에 포함되어 있다. 국외 원양어선의 경우 국외에서 연료수급을 하는 경우가 많이 있어 혼합유를 제때 수급하기가 힘들고 혼합유를 받는다 할지라도 혼합기술의 부족 및 장비의 부재로 정확한 혼합 연료를 수급하기 힘든 실정에 있다. 실제로 MF 30급의 혼합유를 신청하여도 MF 30급 보다 더 나쁜 기름을 받는 경우가 많이 있다고 현지 관계자들이 전하고 있어, 비용은 비용대로 들고 연료는 연료대로 더 나쁜 저급유를 사용하게 되는 현장 애로사항이 있다 하였다. 또한, 혼합유의 특성상 일정한 기간이 지나면, 비중차에 의한 층분리 현상이 발생하여 혼합유 사용목적이 없어지고 저장탱크의 저층에 고이게 되는 비중이 높은 연료 층의 연료를 계속 사용하게 되면 연소실의 라이너 및 피스톤의 마모를 촉진할 수 밖에 없는 혼합유 사용에 따른 가장 심각한 문제에 봉착하게 된다. 이러한 상황에 따라 기관실 조건에 맞추어 보다 간단히 선내에서 경유와 MF 180(규격제품 시중 구입가능)을 비율에 맞추어 혼합정제하여 바로 사용할 수 있도록 몇가지 방안을 고안하였다.

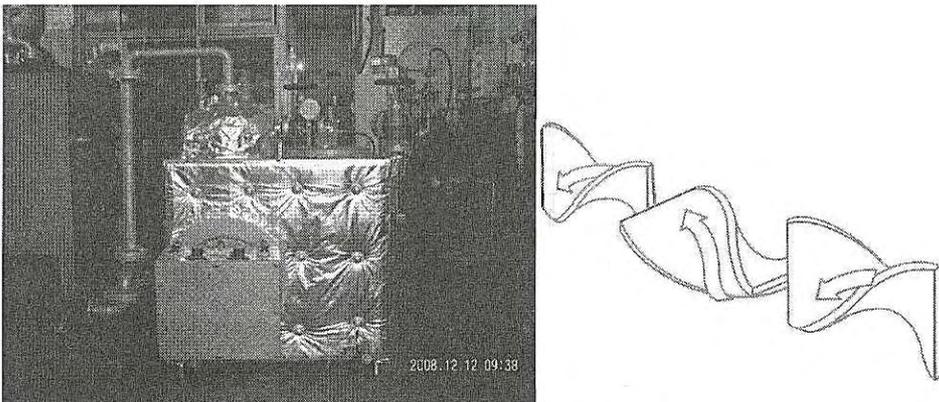


그림 134 혼합장치

유량별로 크기가 다른 2개 유종의 다른 유송관을 1개의 혼합관인 Y자형으로 연결하되, 관내부에 나선형 홈과 그림 134의 static mixer를 만들어 관을 통과하는 유체가 소용돌이 와류현상을 일으켜 서로 섞이게하는 방법으로 주로 소량의 혼합유를 필요로 할 때 공급하는 방식으로 손쉽게 섞을 수는 있으나 혼합이 후 탱크내에서 2유종의 분리현상(분자구조가 다른 2유종이 와류에 따라 일시적으로 다른 유종과 혼합된 것으로 보이나 어느 정도의 시간이 경과하면 원래의 분자구조끼리 재구성 현상이 일어나 비중이 높은 중유는 밑으로 비중이 낮은 경유는 위로 각각 유리되는 현상을 말한다)이 일어나 추후 탱크에 있는 연료유 사용 시 갈아얇은 B-C유와 위로 떠있는 경유가 각각 따로 엔진에 공급되게 되어 혼합유의 역할을 하지 못하고 중유사용을 바로 사용하는 것과 같은 불완전 연소구간이 생기게되어 엔진에 큰 손상을 입힐 수도 있게 된다.

### 3. 혼합유 연소시험

#### 가. 국내 시험(어업지도선, 무궁화 24호)

시험선박은 어업지도선인 무궁화 24호를 사용하였으며, 경유(MGO)를 사용하던 주기관 및 발전기에 5가지의 시료(MDO, Bunker A, MF15, MF60, MF100)를 준비하여 각각 전처리장치인 Purifier 및 Mixing Clean Heater 정제처리 후 시험을 실시하였다.

경유를 사용하던 본선 주기관에 시료(MDO, MF15, B/A, MF60 및 MF100)를 각각 정제처리하여 주기관에 사용한 후 엔진의 성능(배기가스온도, P max., 등) 및 Emission(NOx, SOx) 상태 등을 비교 연구하였으며, 경유를 사용하던 본선 발전기에 MDO, MF15 및 Bunker A를 각각 정제처리하여 발전기 엔진에 사용한 후 엔진의 성능(배기가스온도, P max., 등) 및 Emission(NOx, SOx) 상태를 비교 연구하였다. 표 30은 시료의 MGO와 Bunker C(380 cSt)의 혼합비를 나타내고 있으며, 표 31은 시험을 위한 시료에 첨가제 투입여부를 나타내고 있다. 그림 135은 시험선인 어업지도선 무궁화 24호의 앞모습을 보이고 있으며, 그림 136 및 137은 AVL Smoke 메타 및

Horiba NOx 분석기를 보이고 있다. 또한, 그림 138은 NOx 및 Smoke를 측정하기 위한 주기관 및 발전기관의 프로브 위치 및 프로브가 연결된 상태를 나타내고 있다. 또한, 실험결과인 그래프의 이해를 돕기 위하여 약어의 의미를 소개하면 P는 Purifier를, M은 Mixing clean heater를, F는 Filtering을 나타내며, FSN은 Filter smoke number를 의미한다.

표 30 Rate of blending oil by cSt 380 and MGO

유종	혼합비		Remarks
	cSt 380 (%)	MGO3.0 (%)	
MGO 3.0	0	100	-
MDO	-	-	시료
Bunker A	-	-	시료
MDO+B/A	-	-	시료
MF60	73.0	27.0	시료
MF100	81.2	18.8	시료
MF380	100	0	-

표 31 The arranged blending oil for testing

시료		첨가제	정제장치				Remarks
			P	P+M	M	무	
1	경유(MGO)		1				
2	MDO	o	1	1	1	1	
		x			1	1	
3	MF15	o	1	1	1		
		x					
4	B/A	o	1	1	1	1	
		x					
5	MF60	o					
		x	1	1	1	1	
6	MF100	o					
		x	1	1	1	1	



그림 135 Mugungwha No. 24(Testing ship)

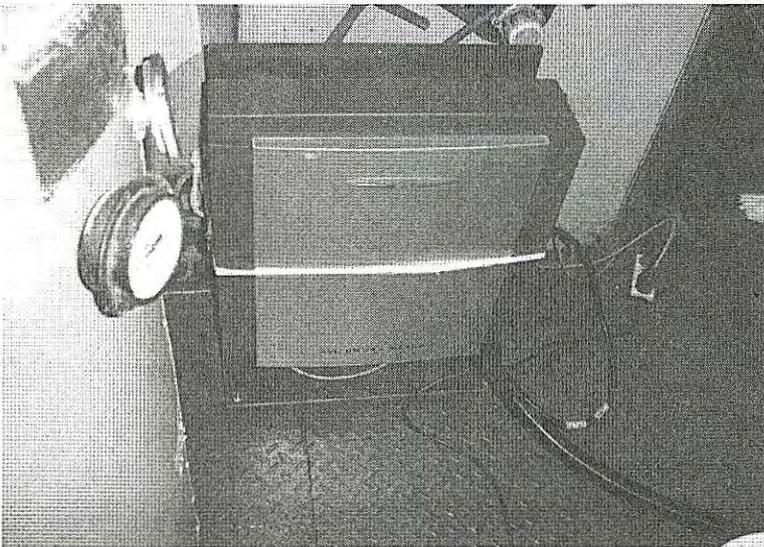


그림 136 AVL smoke meter

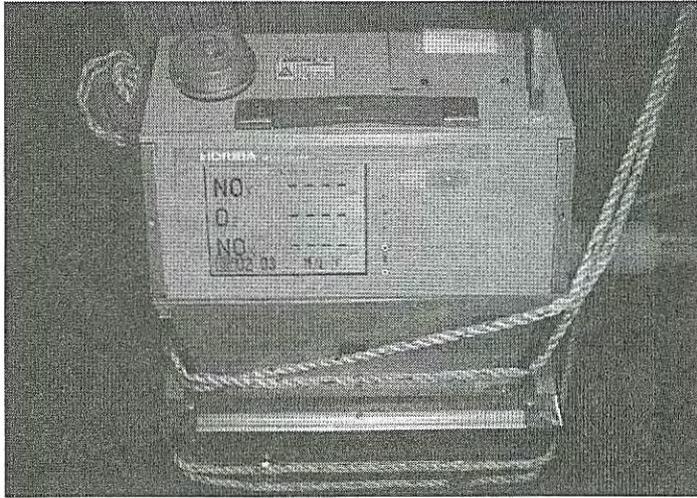
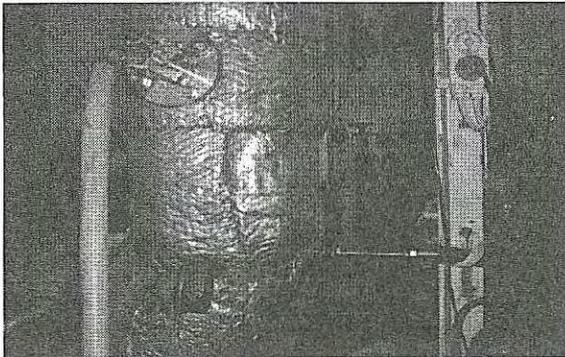
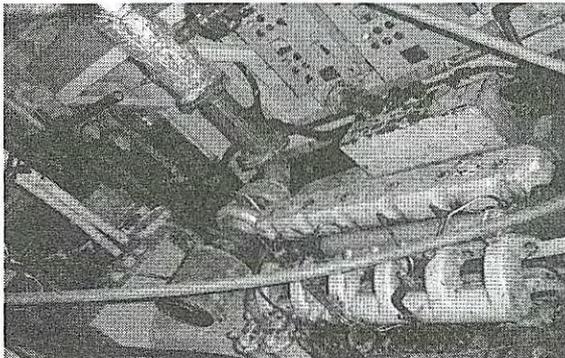


그림 137 Horiba NOx analyzer



(a) M/E probes for NOx and smoke



(b) G/E probes for NOx and smoke

그림 138 G/E and M/E probes for NOx and smoke measuring

## 1) 주기관의 NOx 측정

경유를 사용하던 무궁화 24호 주기관의 NOx 발생량을 비교하기 위해서 시료(MGO, MDO, MF15, Bunker A, MF60, MF100)를 Purifier 및 Mixing clean heater로 전처리하여 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별로 시험을 하였다.

그림 139는 본선에서 사용하고 있는 경유(MGO) 대비 전처리 (Purified+Mixing clean heater)시킨 시료(MDO, MF15, Bunker A, MF60, MF100)를 주기관(Main engine)에 사용시 NOx 발생량을 부하별 및 시료별로 비교하여 나타내고 있다. 그래프에서 나타내고 있는 바와 같이, MF60 및 MF100 사용 시 본선의 경유 사용시보다 NOx 발생량이 적음을 알 수 있었으며, 특히, 시료 MF60 사용 시가 NOx 발생량이 가장 적음을 알 수 있었다. 또한, MF15와 Bunker A 사용시의 NOx 발생량은 거의 같은 수준이었으며, 전부하에 걸쳐서 본선의 경유 사용 시보다 NOx 발생량이 많음을 알 수 있었다.

그림 140은 Bunker A를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용시 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 NOx 발생량을 나타내고 있다. MGO 대비 Bunker A 사용시 NOx 발생량이 전 구간에 걸쳐서 높은 수준임을 알 수 있었으며, 특히, 25% 및 50%의 저부하 구간에서 경유대비 NOx 발생량이 훨씬 많아짐을 알 수 있었다.

그림 141은 MDO를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용 시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 NOx 발생량을 나타내고 있으며, MGO 대비 MDO와 Bunker A를 혼합한 시료 사용 시 NOx 발생량이 전 구간에 걸쳐서 비례해서 높아짐을 알 수 있었다.

그림 142은 혼합유 MF15를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 NOx 발생량을 나타내고 있으며, MGO 대비 혼합유 MF15 사용시 NOx 발생량이 전 구간에 걸쳐서 높은 수준임을 알 수 있었으며, 특히, 25% 및 50%

의 저부하 구간에서 경유대비 NOx 발생량이 훨씬 많아짐을 알 수 있었다.

그림 143은 혼합유 MF60을 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 주기관에 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 NOx 발생량을 나타내고 있으며, MGO 대비 혼합유 MF60를 Purifier 및 P+M 처리하여 사용시 NOx 발생량이 전 구간에 걸쳐서 더 낮은 수준임을 알 수 있었으며, Mixing clean heater로 전처리한 경우에는 60% 이하 구간에서는 NOx 발생량이 다소 많았으나, 그 이상의 고부하 구간에서는 오히려 NOx 발생량이 적음을 알 수 있었다. 특히, 시료 MF60을 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)시 NOx 발생량의 저감효과가 가장 좋음을 알 수 있었다.

그림 144는 혼합유 MF100을 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 주기관에 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 NOx 발생량을 나타내고 있다. 혼합유 MF100를 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료의 NOx 발생량이 전구간에 걸쳐서 경유 사용의 경우와 비슷함을 알 수 있었으며, 혼합유 MF100을 Purifier로 전처리하여 사용한 경우 60% 부하 이상의 경우에는 경유 대비 NOx 발생량이 많아짐을 알 수 있었다. 특히, 혼합유 MF100을 Mixing clean heater로 전처리한 경우의 시료가 25% 및 50%의 저부하 구간에서 경유대비 NOx 발생량이 훨씬 많아짐을 알 수 있었다.

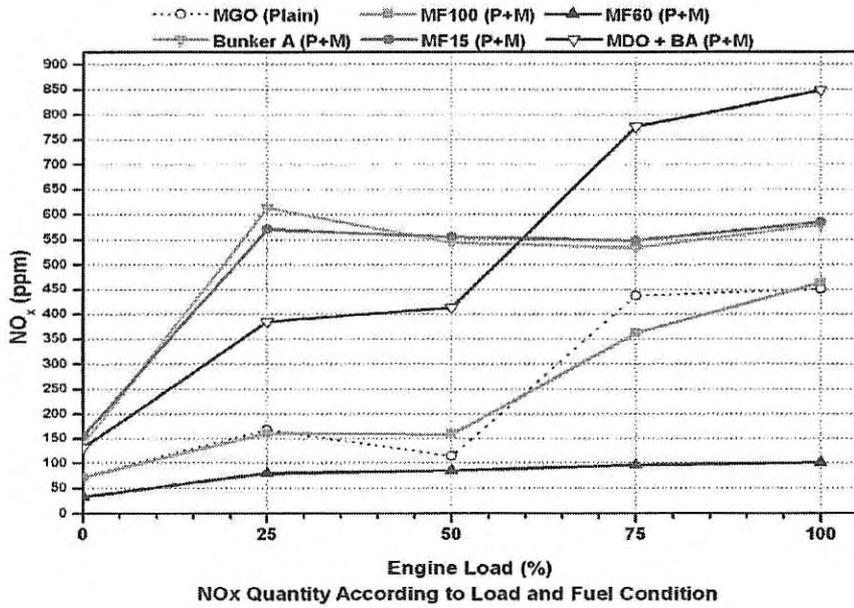


그림 139 NOx emission for main engine using testing fuel by P and M

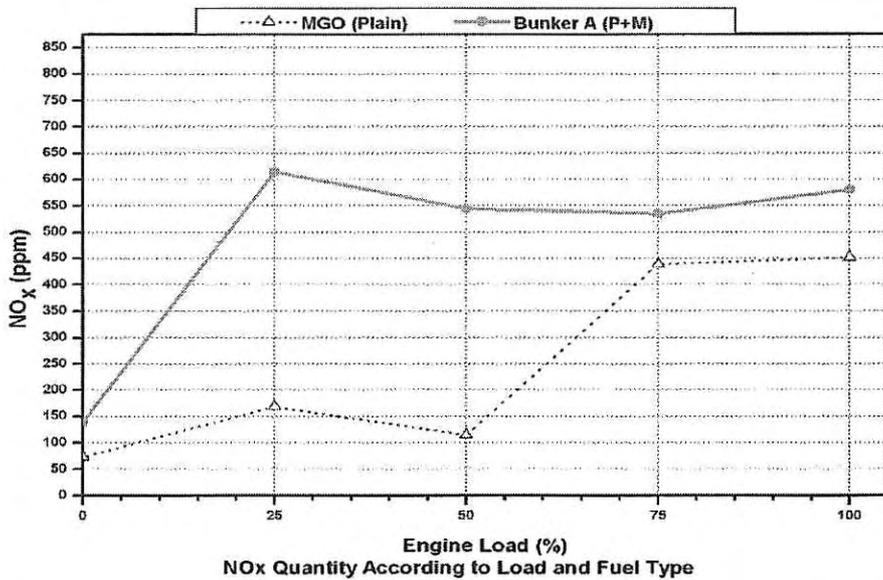


그림 140 NOx emission for main engine using Bunker A by P+M

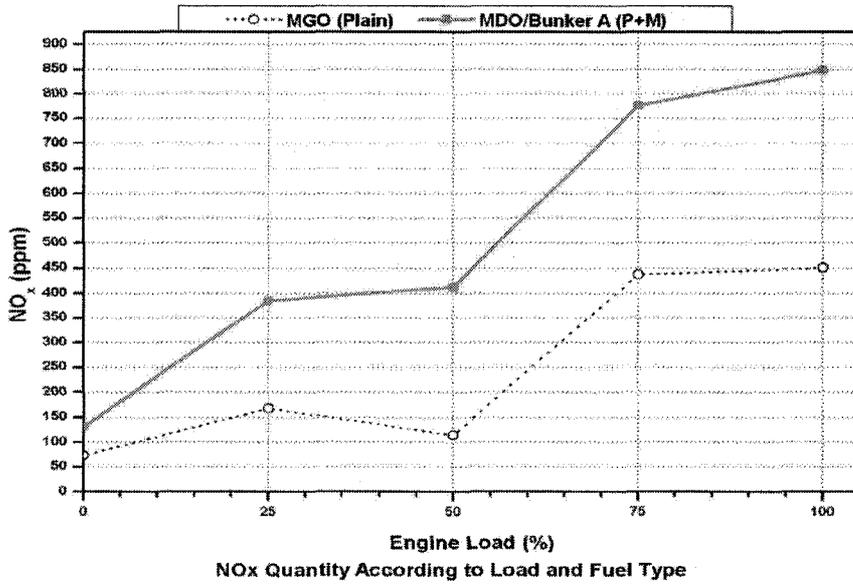


그림 141 NOx emission for main engine using MDO+B/A by P+M

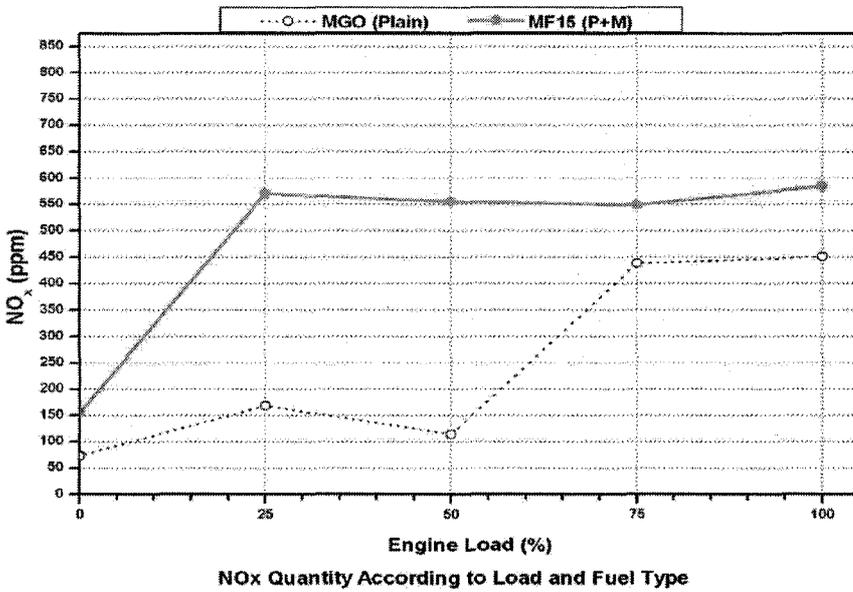


그림 142 NOx emission for main engine using MF15 by P+M

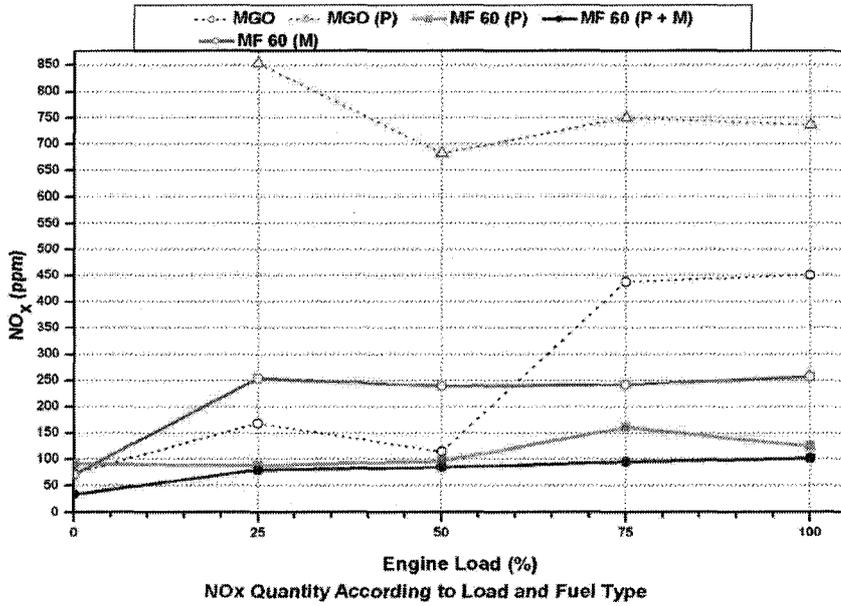


그림 143 NOx emission for main engine using MF60 by P, M & P+M

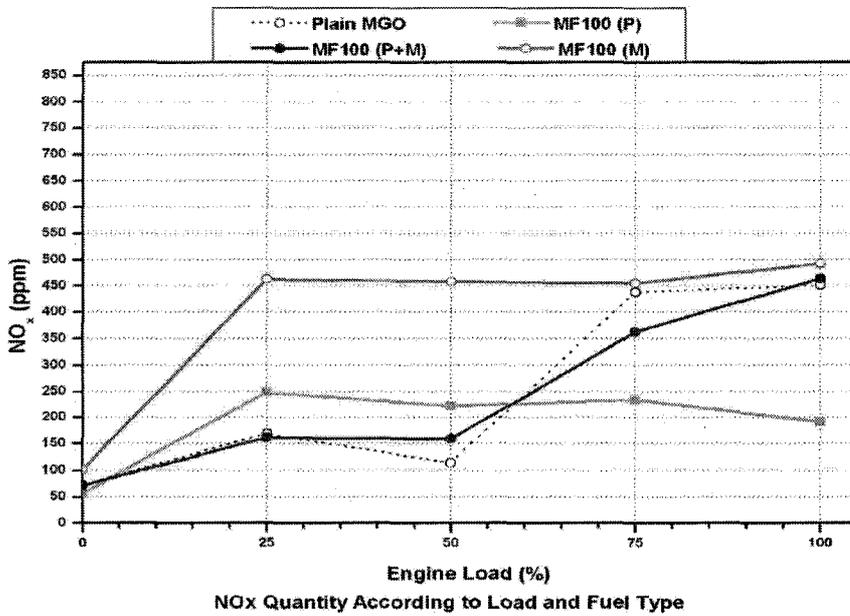


그림 144 NOx emission for main engine using MF100 by P, M & P+M

## 2) 주기관의 Soot 측정

경유를 사용하던 무공화 24호 주기관의 Soot 발생량을 FSN(Filter Smoke Number)로 비교하기 위해서 시료(MGO, MDO, MF15, Bunker A, MF60, MF100)를 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 시험을 하였다.

그림 145은 본선에서 사용하고 있는 경유 대비 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리(P+M)시킨 시료 (MDO, MF15, Bunker A, MF60, MF100) 사용시 Soot의 발생량을 나타내고 있다. 경유 사용시 50% 이하 부하에서는 Soot 발생량이 전체적으로 적었으나, 50%를 초과한 부하에서는 하연 오히려 혼합유 사용시보다 Soot 발생량이 많음을 알 수 있었다. 경유보다 조악한 혼합유 사용시는 25% 부하에서 Soot 발생량이 가장 많음을 확인할 수 있었으며, 일반적으로 조악하다고 생각되는 MF100, MF60, B/A, MF15, MDO 순으로 Soot 발생량이 많았다.

그림 146은 기존에 사용하고 있는 경유를 주기관에 사용시 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있으며, 무부하에서 50% 부하시까지 Soot 발생량이 점점 증가하다가 50% 부하시를 기점으로 Full 부하시까지 점점 Soot 발생량이 감소함을 알 수 있었다.

그림 147는 Bunker A를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용시 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있으며, 무부하 및 Full 부하 대비 25% 및 50%의 저부하 구간에서 Soot 발생량이 훨씬 많음을 알 수 있었다.

그림 148은 MDO를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용시 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있으며, 무부하 및 Full 부하 대비 25% 및 50%의 저부하 구간에서 Soot 발생량이 훨씬 많음을 알 수 있었으며, 25% 부하에서 Soot 발생량이 가장 많음을 알 수 있었다.

그림 149는 MF 15를 Purifier로 전처리한 후, Mixing clean heater로 전처리하여 주기관에 사용시 엔진부하 (무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있으며, 무부하 및 Full 부하 대비 25% 및 50%의 저부하 구간에서 Soot 발생량이 훨씬 많음을 알 수 있었으며, 25% 부하에서 Soot 발생량이 가장 많음을 알 수 있었다.

그림 150은 혼합유 MF60을 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 주기관에 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있다. 시료 MF60을 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 경우의 Soot 발생량이 가장 적어짐을 알 수 있었으며, 혼합유 MF60에서는 Mixing clean heater 효과보다 Purifier의 효과가 더 좋음을 알 수 있었다.

그림 151은 혼합유 MF100을 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 주기관에 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별 Soot 발생량을 나타내고 있다. 시료 MF100을 Mixing clean heater로 전처리한 경우의 Soot 발생량이 가장 적음을 알 수 있었으며, 혼합유 MF100에서는 Purifier 효과가 아주 미미함을 알 수 있었다.

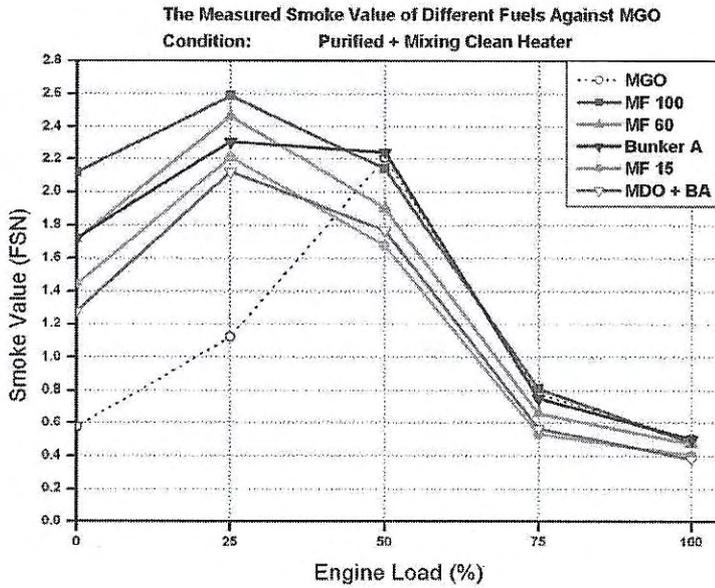


그림 145 FSN for main engine using testing fuel by P+M

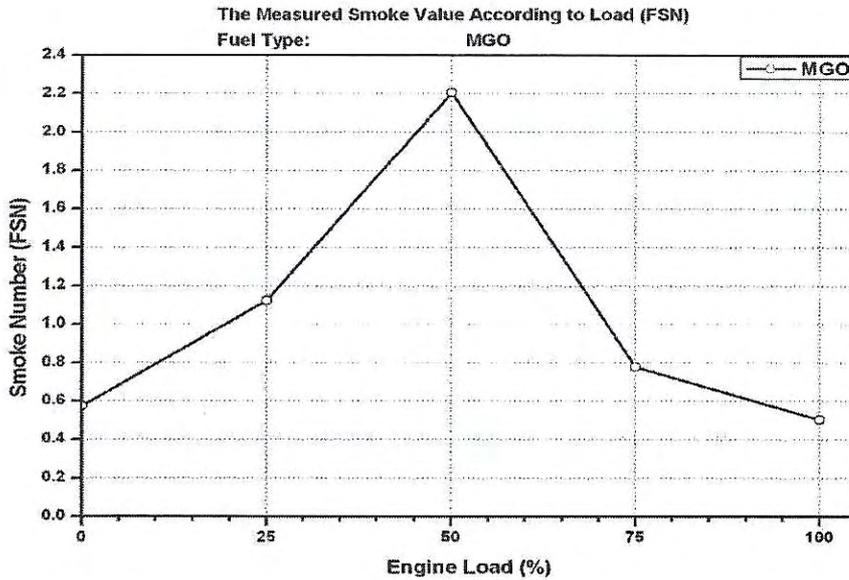


그림 146 FSN for main engine using MGO

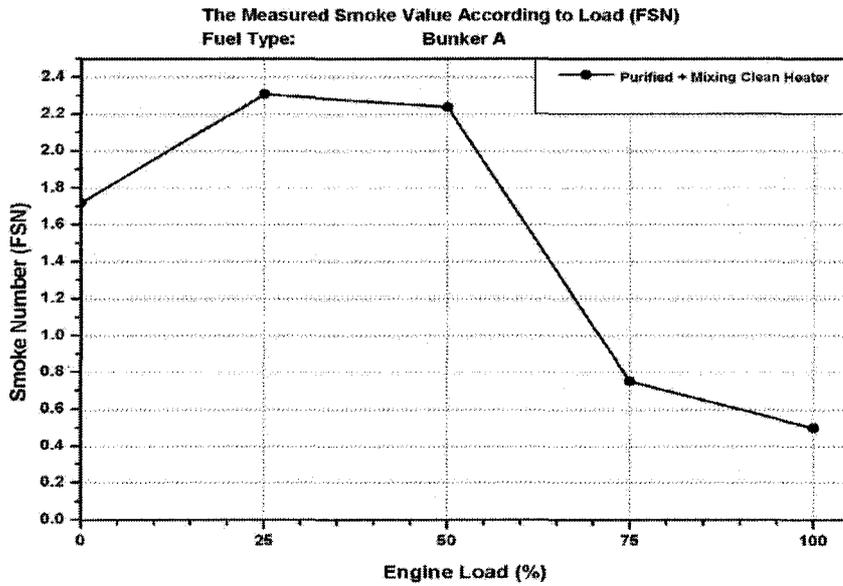


그림 147 FSN for main engine using Bunker A by P+M

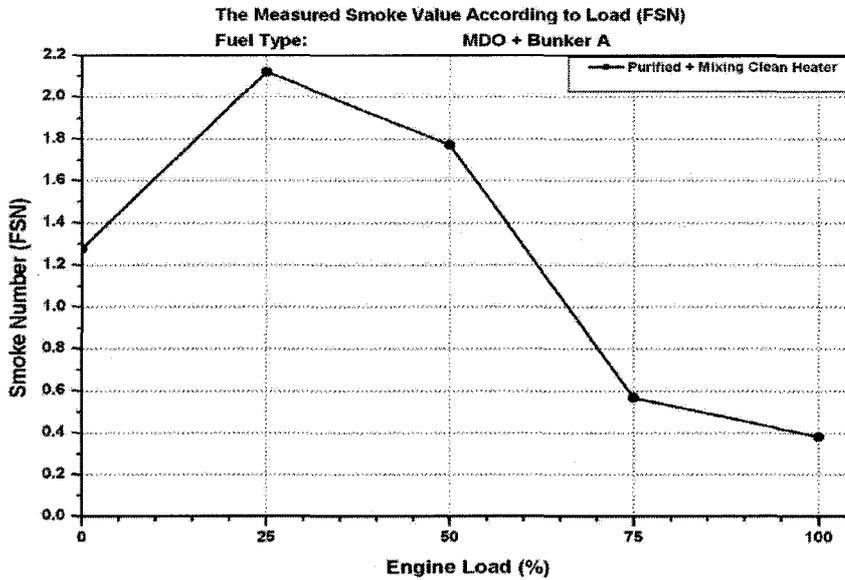


그림 148 FSN for main engine using MDO by P+M

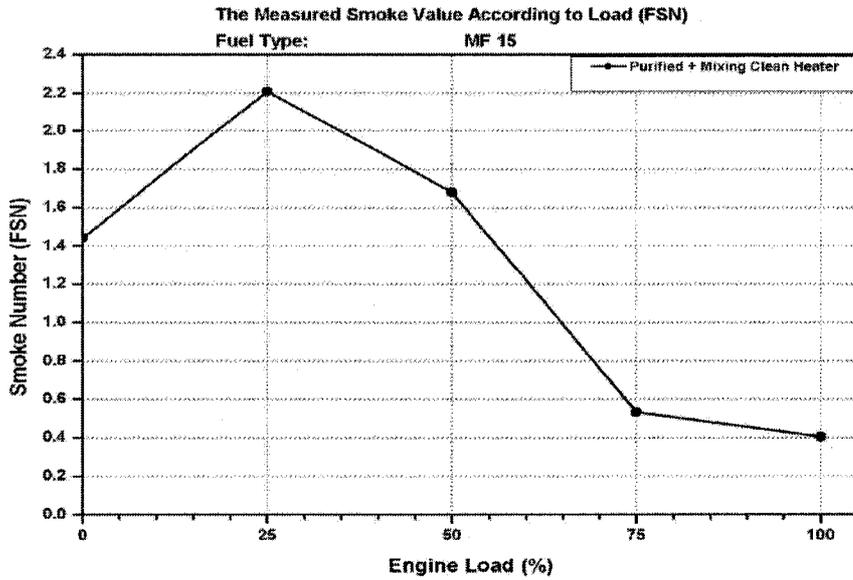


그림 149 FSN for main engine using MF15 by P+M

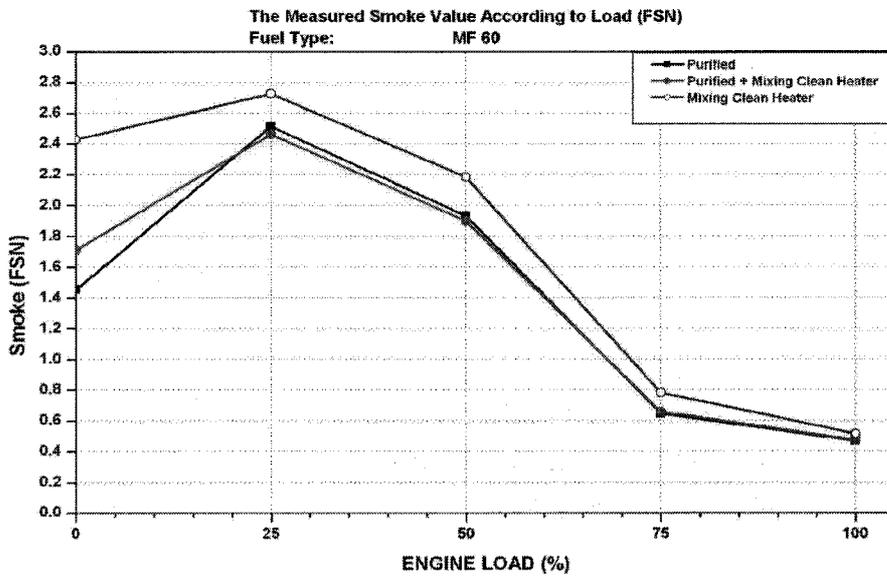


그림 150 FSN for main engine using MF60 by P, M & P+M

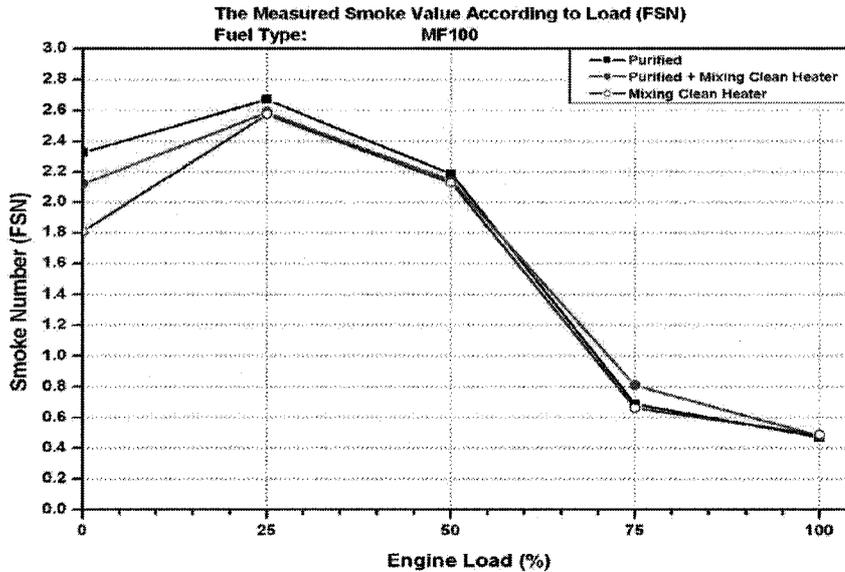


그림 151 FSN for main engine using MF100 by P, M & P+M

NO<sub>x</sub> 발생량의 시험결과 본선에서 사용하던 경유대비 혼합유 MF60을 Purifier로 전처리한 후에 Mixing cleaning heater로 전처리한 시료가 NO<sub>x</sub> 발생량이 훨씬적었으며, 혼합유 MF100을 Purifier로 전처리한 후에 Mixing cleaning heater로 전처리한 시료의 NO<sub>x</sub> 발생량도 경유대비 비슷함을 알 수 있었다. 그러나 혼합유 MF15 및 Bunker A를 Purifier로 전처리한 후에 Mixing cleaning heater로 전처리한 시료는 경유대비 NO<sub>x</sub> 발생량이 훨씬 많음을 알 수 있었다.

또한, Soot 발생량의 시험결과 본선에서 사용하던 경유대비 시료 (Bunker A, MDO, MF15, MF60, MF100)를 Purifier로 전처리한 후에 Mixing cleaning heater로 전처리한 경우 Soot 발생량은 50% 이상의 부하에서는 거의 비슷하게 나왔으나 저부하로 갈수록 Soot 발생량이 점점 많아짐을 알 수 있었다. 특히, 경유를 제외한 시료 사용시 25% 부하에서 Soot 발생량이 가장 많음을 알 수 있었다. 또한, 시료가 조악해질수록 저부하에서 Soot 발생량이 많아짐을

알 수 있었으므로, 조악한 연료를 사용할 경우에는 가능하면 50% 이상의 부하에서 운전해야 할 것으로 사료됨.

### 3) 발전기의 NO<sub>x</sub> 측정

경유를 사용하던 무공화 24호 발전기의 NO<sub>x</sub> 발생량을 비교하기 위해서 시료(MDO, Bunker A, MF15)를 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 후 발전기 부하(15kW ~ 65kW)에 따라 시험을 행하였다.

그림 152은 본선에 사용중이던 경유(MGO)의 NO<sub>x</sub> 발생량과 MDO 사용시 NO<sub>x</sub> 발생량을 비교하기 위해서 MDO를 Purifier 및 Mixing clean heater 그리고 Filter로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기(Generator engine)용 연료로 사용시 발전기 부하별(15kW ~ 60kW) NO<sub>x</sub> 발생량을 비교하여 나타내고 있다. 그래프상에 크게 2가지 결과로 나누어 지는데, 실험진행 순서상 NO<sub>x</sub> 발생량이 많은 위쪽 부분(P, P+M)은 본선의 경유가 섞인것 같으며, 아래쪽 부분(M, F)은 MDO에 B/A가 섞인것 같다. 따라서 전체적으로 MDO 사용시가 MGO 사용시보다 NO<sub>x</sub> 발생량이 적음을 알 수 있었다.

그림 153은 본선에 사용중이던 경유 대비 Bunker A를 Purifier 및 Mixing clean heater 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기(Generator engine)용 연료로 사용시 발전기 부하(15kW ~ 55kW)별로 NO<sub>x</sub> 발생량을 비교하여 나타내고 있다. Bunker A 사용시가 본선용 경유 사용시 보다 전구간에 걸쳐서 NO<sub>x</sub> 발생량이 적음을 알 수 있었으며, Purifier보다 Mixing clean heater의 효과가 더 좋음을 알 수 있었다.

그림 154는 본선에 사용중이던 경유(MGO) 와 MF15 혼합유를 Purifier 및 Mixing clean heater 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기(Generator engine)용 연료로 사용시 발전기 부하별(15kW ~ 65kW)

별로 NOx 발생량을 비교하여 나타내고 있다. MF15 혼합유 사용시  
 가 본선용 경유 사용시 보다 전구간에 걸쳐서 NOx 발생량이 적  
 음을 알 수 있었으며, Mixing clean heater의 효과가 가장 좋음을  
 알 수 있었다.

이상에서 검토한 바와 같이 발전기에 평상시 사용하던 고가인 경  
 유를 대신하여 값이 저렴하고 전처리된 혼합유(MDO, MF15,  
 Bunker A)를 사용하여도 NOx 발생량에 대해서는 문제가 없음을  
 알 수 있었다.

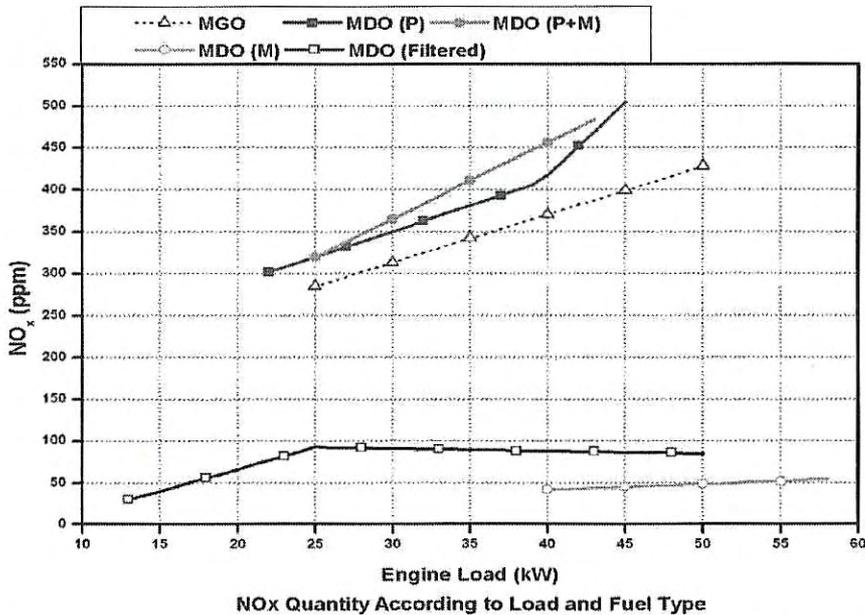


그림 152 NOx emission for generator engine using MDO by P, M & P+M

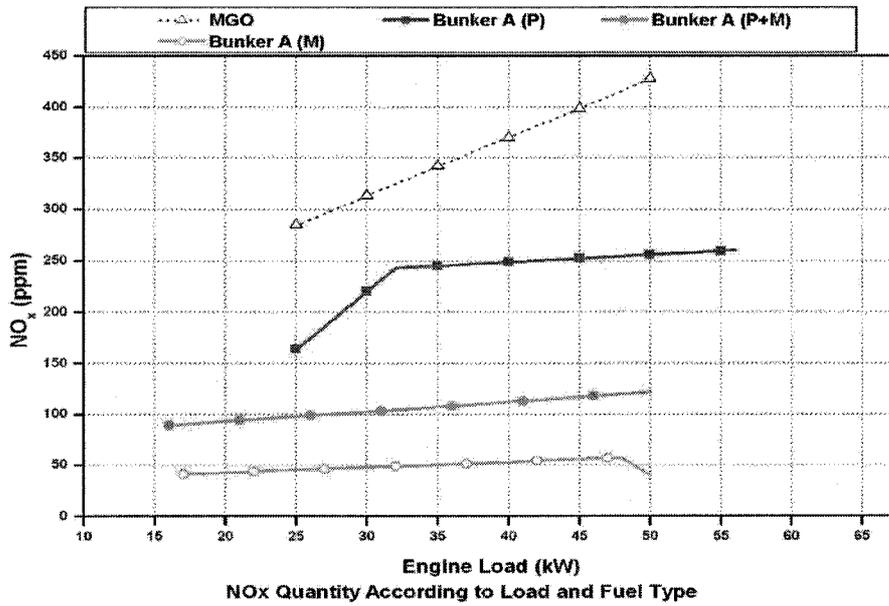


그림 153 NOx emission for generator engine using B/A by P, M & P+M

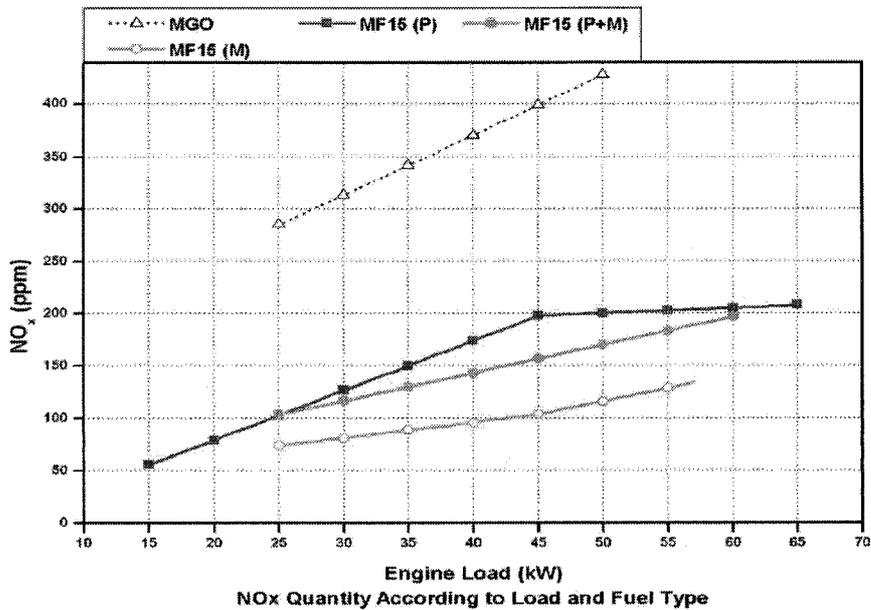


그림 154 NOx emission for generator engine using MF15 by P, M & P+M

#### 4) 발전기의 Soot 측정

경유를 사용하던 무궁화 24호 발전기의 Soot 발생량을 경유 사용시와 비교하기 위해서 시료(MDO, Bunker A, MF15)를 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 후 발전기 부하(15kW ~ 65kW)별로 시험을 행하였다.

그림 155는 본선 경유 대비 MDO를 Purifier, Mixing clean heater 및 Filter로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기(Generator engine)용 연료로 사용시 발전기 부하별(15kW ~ 65kW) Soot 발생량을 Smoke Number(FSN)으로 비교하여 나타내고 있다. 전구간에 걸쳐서 Soot 발생량이 본선의 경유 사용시보다 MDO 사용시에 더 적게 발생함을 알 수 있었으며, MDO를 Purifier로 전처리하여 사용시 Soot 저감효과가 가장 좋음을 알 수 있었다. 또한, 그림 158는 Soot 발생량을 FSN 대신 Soot concentration(mg/m<sup>3</sup>)으로 나타내고 있다.

그림 156은 본선에서 사용하는 경유 대비 Bunker A를 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기용 연료로 사용시 발전기 부하별(15kW ~ 65kW) Soot 발생량을 Smoke Number(FSN)으로 비교하여 나타내고 있다. 전구간에 걸쳐서 Soot 발생량이 본선의 경유 사용시보다 전처리한 Bunker A 사용시에 더 적게 발생함을 알 수 있었으며, Bunker A는 Purifier보다도 Mixing clean heater로 전처리 할 경우에 Soot 저감효과가 더 좋음을 알 수 있었다. 또한, 그림 159은 Soot 발생량을 FSN 대신 Soot concentration(mg/m<sup>3</sup>)으로 나타내고 있다.

그림 157은 본선에서 사용하는 경유 대비 MF15 혼합유를 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)한 시료를 발전기용 연료로 사용시 발전기 부하별(15kW ~ 65kW)

Soot 발생량을 Smoke Number(FSN)으로 비교하여 나타내고 있다. 전구간에 걸쳐서 Soot 발생량이 본선의 경유 사용시보다 전처리한 MF15 혼합유 사용시에 더 적음을 알 수 있었으며, MF15 혼합유도 Purifier보다도 Mixing clean heater로 전처리 할 경우에 Soot 저감효과가 더 좋음을 알 수 있었다. 또한, 그림 160는 Soot 발생량을 FSN 대신 Soot concentration(mg/m3)으로 나타내고 있다.

이상에서 검토한 바와 같이 발전기에 평상시 사용하던 고가인 경유(MGO) 대신 값이 저렴한 시료(MDO, MF15, Bunker A)를 Purifier 및 Mixing clean heater로 각각 전처리한 시료와 Purifier로 전처리한 후 Mixing clean heater로 전처리(P+M)하여 사용시 오히려 Soot 발생량이 적음을 알 수 있었으며, 발전기에 Bunker A 까지 사용하여도 무방함을 알 수 있었다. 또한 질이 좋은 혼합유 일수록 Purifier의 효과가 매우 미미함을 확인할 수 있었다.

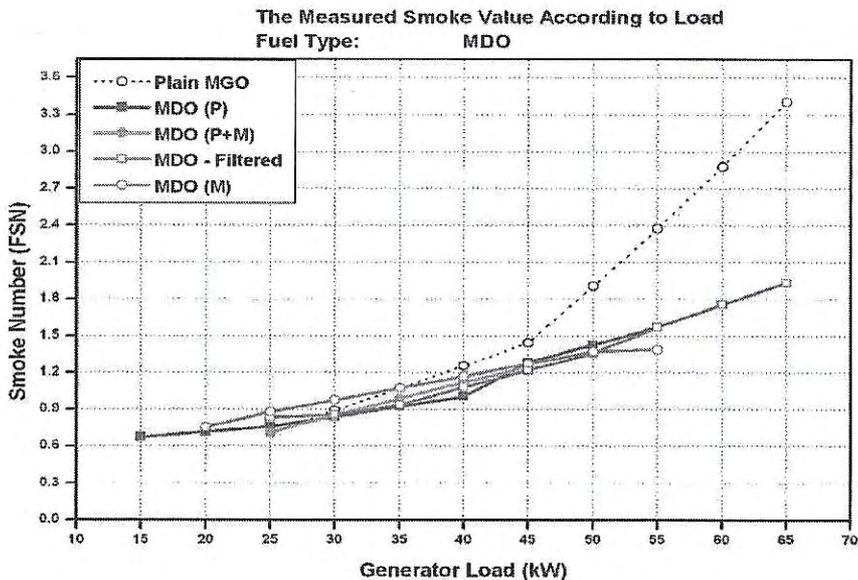


그림 155 FSN for generator engine using MDO by F, P, M & P+M

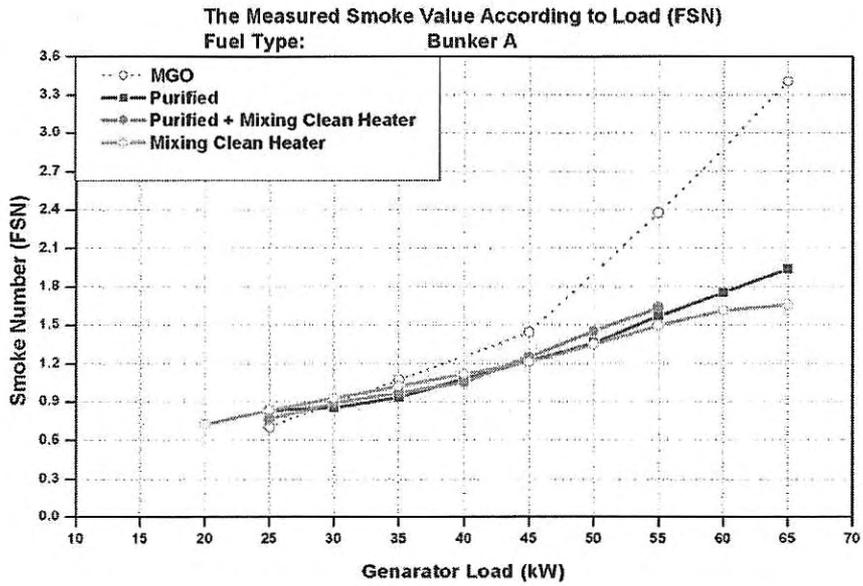


그림 156 FSN for generator engine using Bunker A by P, M & P+M

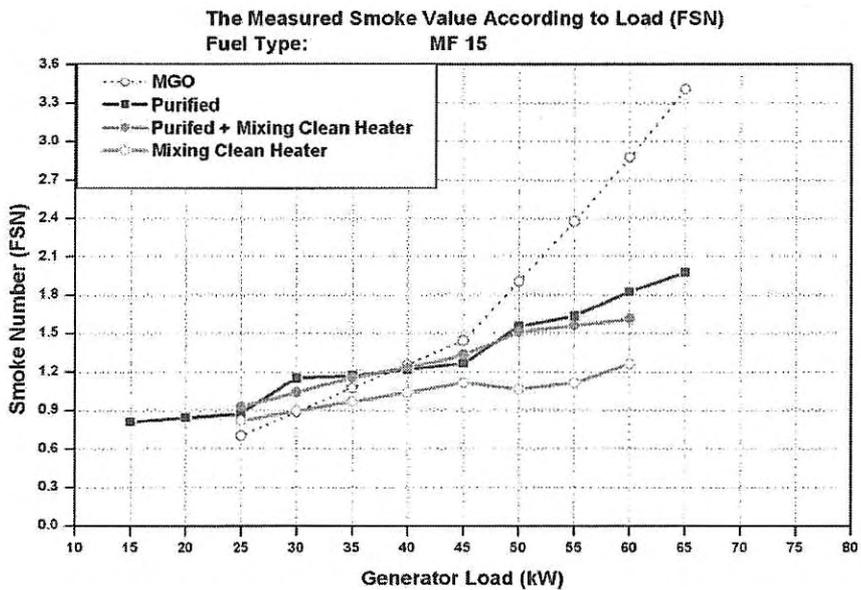


그림 157 FSN for generator engine using MF15 by P, M & P+M

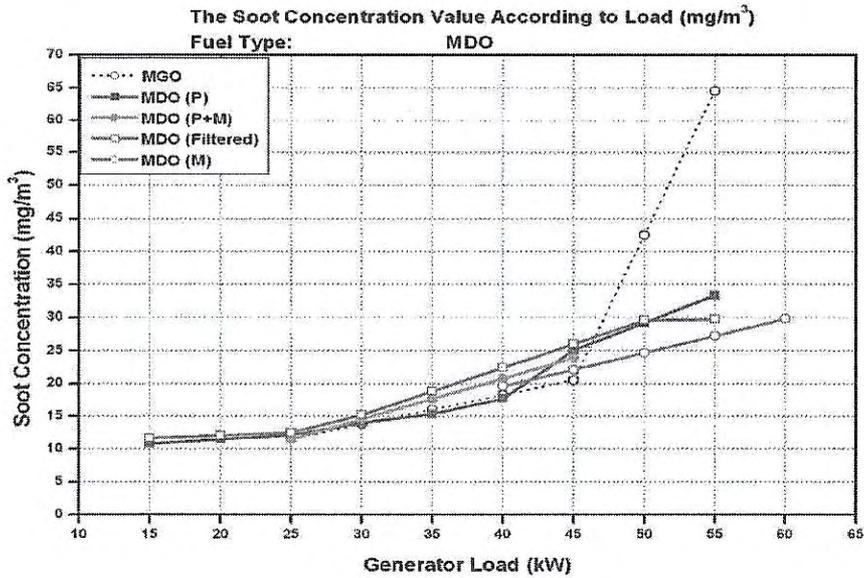


그림 158 Soot concentration for generator engine using MDO by F, P, M & P+M

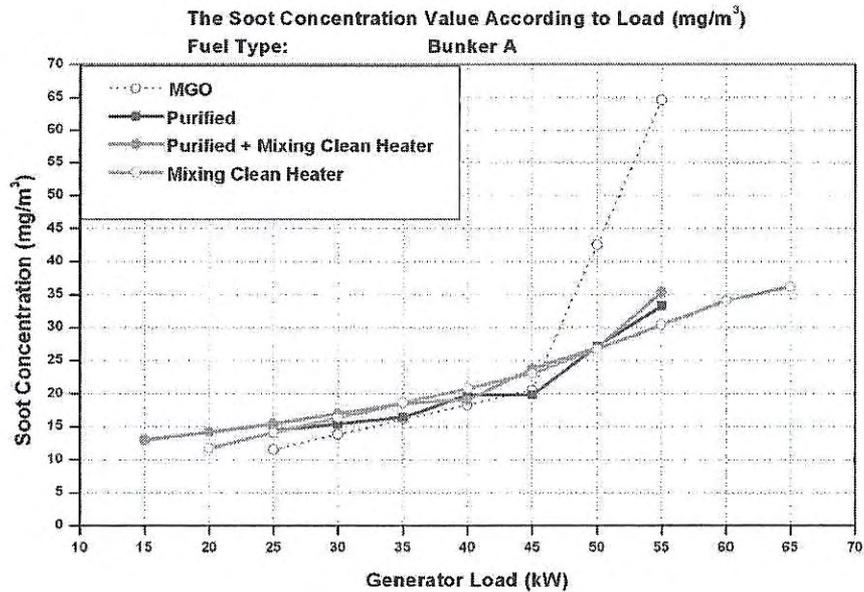


그림 159 Soot concentration for generator engine using Bunker A by P, M & P+M

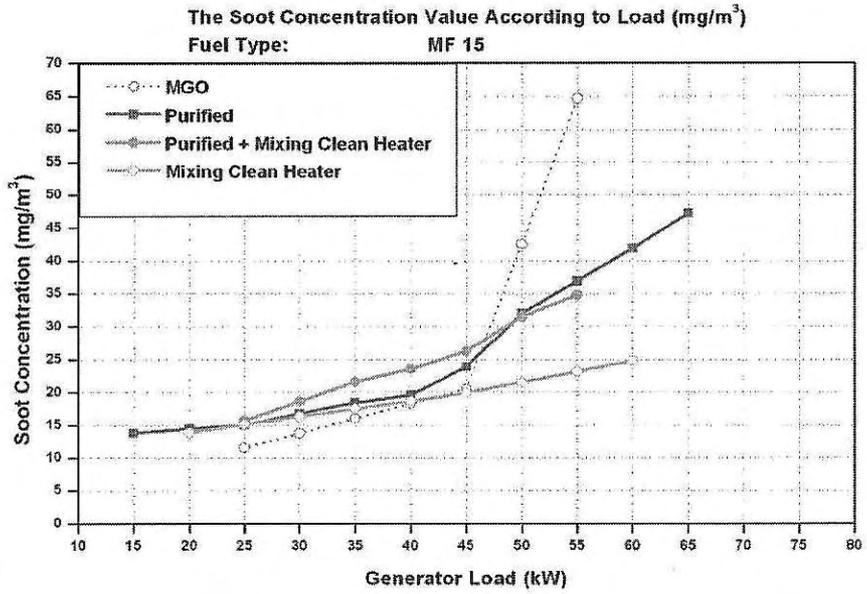


그림 160 Soot concentration for generator engine using MF15 by P, M & P+M

나. 국외(Laspalmas) 시험(어선, Toolees 79호)

시험선박은 어선인 Toolees 79호를 사용하였으며, 경유(MGO)를 사용하던 주기관에 3가지의 시료(MF60, MF150 및 MF180)를 각각 Mixing Clean Heater로 정제처리하여 주기관에 사용한 후 엔진의 성능(배기가스온도, Pmax., 등) 및 Emission(NOx, Smoke 등) 상태 등을 비교 연구하였으며, 혼합유의 사용한계치를 규명하고자 하였다. 표 323은 시료의 혼합율을 나타내고 있으며, 그림 161는 시험선인 투리스 79호의 앞 모습을 나타내고 있다. 그림 162은 호리바 NOx 분석기와 AVL Smoke Meter를 보이고 있으며, 그림 163은 NOx 와 Smoke를 측정하기 위한 프로브의 위치가 주기관의 배기관 중간 부분에 있음을 나타내고 있다. 또한, 그림 164은 시험을 위하여 준비된 혼합유를 보이고 있다.

표 32 Rate of blending oil by cSt 380 and MGO

유종	혼합비		Remarks
	cSt 380 (%)	MGO3.0 (%)	
MGO3.0	0	100	-
MF60	73.0	27.0	시료
MF150	87.1	12.9	시료
MF180	89.6	10.4	시료
MF380	100	0	-



그림 161 Toolees No. 79(Testing ship)

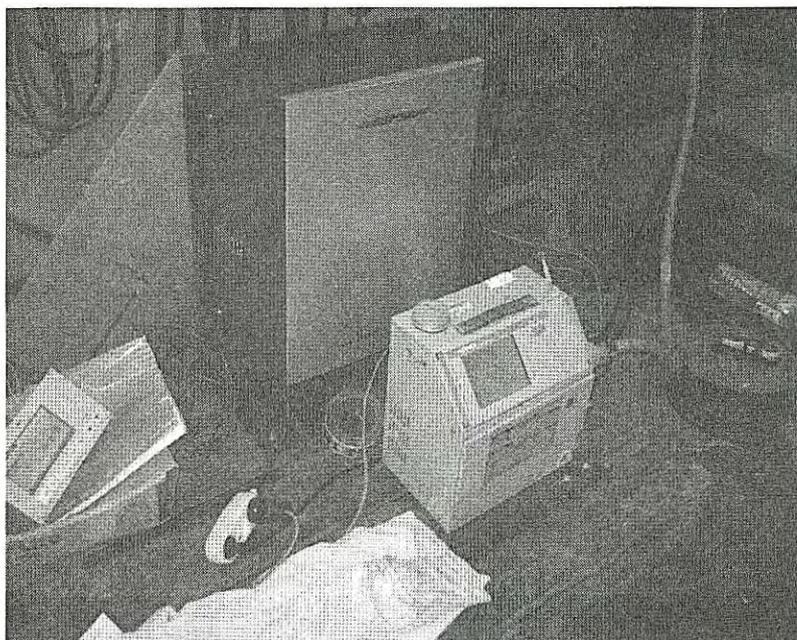


그림 162 Horiba NOx analyzer & AVL smoke meter

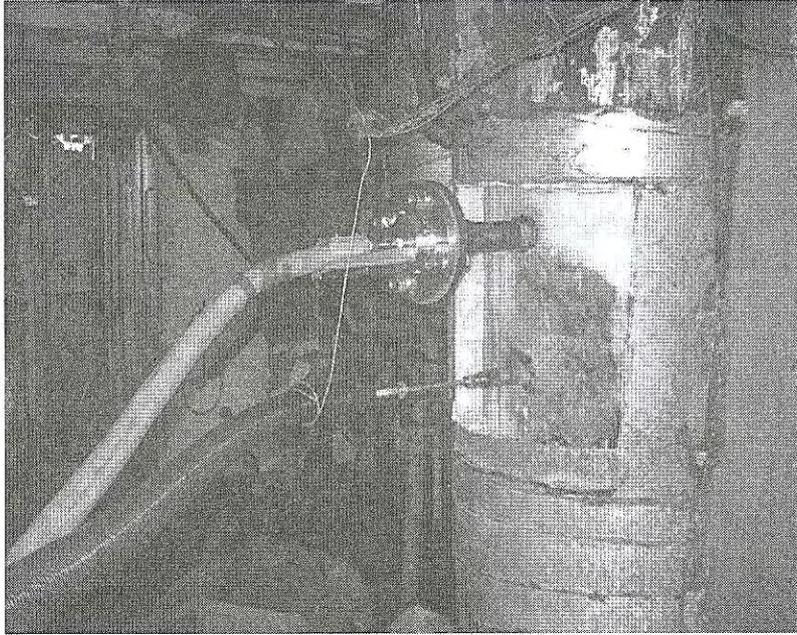


그림 163 M/E probe for NOx and smoke measuring



그림 164 Blending oil(MF60, MF150 & MF180) for testing

### 1) Main engine NOx 측정

경유를 사용하던 톨리스 79호 주기관의 NOx 발생량을 비교하기 위해서 Mixing clean heater로 전처리된 시료(MF60, MF150, MF180)를 사용하여 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)별로 시험을 행하였다.

그림 165은 본선에서 사용하고 있는 경유 대비 혼합유(MF60, MF150, MF180)를 Mixing clean heater로 전처리하여 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)에 따른 Soot 발생량을 Smoke Number(FSN)로 비교하여 나타내고 있다. 그래프에서 나타내고 있는 바와 같이, 시료 MF150 및 MF180 사용시 본선의 경유 사용시보다 NOx 발생량이 적음을 알 수 있었으며, 시료 MF60 사용시는 NOx 발생량이 약간 높음을 알 수 있었다.

이상에서 검토한 바와 같이 주기관에 평상시 사용하던 경유 대신에 조약하지만 값이 저렴한 혼합유를 Mixing clean heater로 전처리한 시료(MF60, MF150, MF180) 사용시 대체적으로 전구간에 걸쳐서 NOx 발생량이 적은 편임을 알 수 있었다.

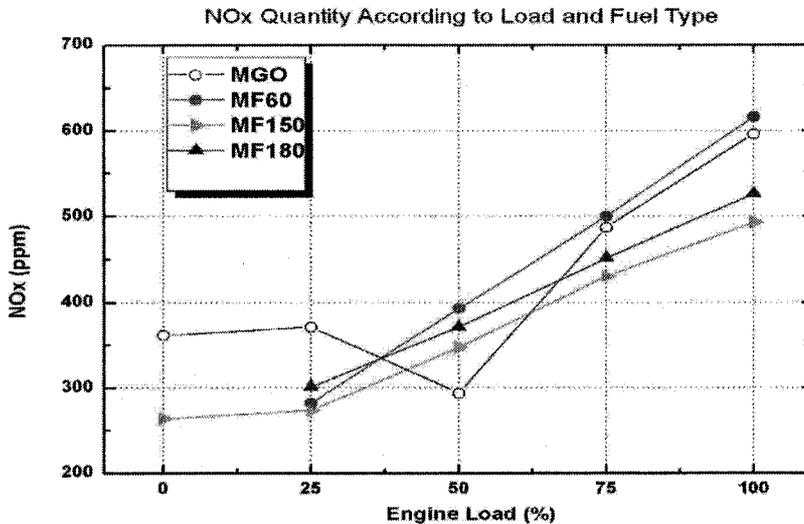


그림 165 NOx emission for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M

## 2) Main engine Soot 측정

어선인 투리스 79호 주기관의 Soot 발생량의 비교 및 혼합유의 사용한계치를 규명하기 위해서, 본선에서 사용중인 MGO 대비 혼합유(MF60, MF150, MF180)를 Mixing clean heater로 전처리하여 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)에 따른 시험을 실시하였다.

그림 166은 본선에서 사용하고 있는 경유(MGO) 대비 혼합유(MF60, MF150, MF180)를 Mixing clean heater로 전처리하여 사용시 엔진부하(무부하, 1/4 부하, 1/2 부하, 3/4 부하, Full 부하)에 따른 시험 결과를 나타내고 있다. 그래프에서 나타내고 있는 바와 같이, 시료 MF180, MF150 및 MF60 사용시가 본선의 경유 사용시보다 Soot 발생량이 전구간에 걸쳐서 높게 발생함을 알 수 있었으며, 특히, 조악한 시료(MF180)일수록 저부하 구간에서 Soot 발생량이 훨씬 많아짐을 알 수 있었다.

이상에서 검토한 바와 같이 주기관에 평상시 사용하던 경유 대신 값이 저렴하고 조악한 혼합유를 Mixing clean heater로 전처리한 시료(MF60, MF150, MF180) 사용시 대체적으로 전구간에 걸쳐서 Soot 발생량이 높은 편임을 알 수 있었으며, 특히, 혼합유 MF150 및 MF180 사용시 25% 부하 이하 구간에서 Soot 발생량이 과다하여, 발전기용으로는 사용하기 어렵다고 사료된다.

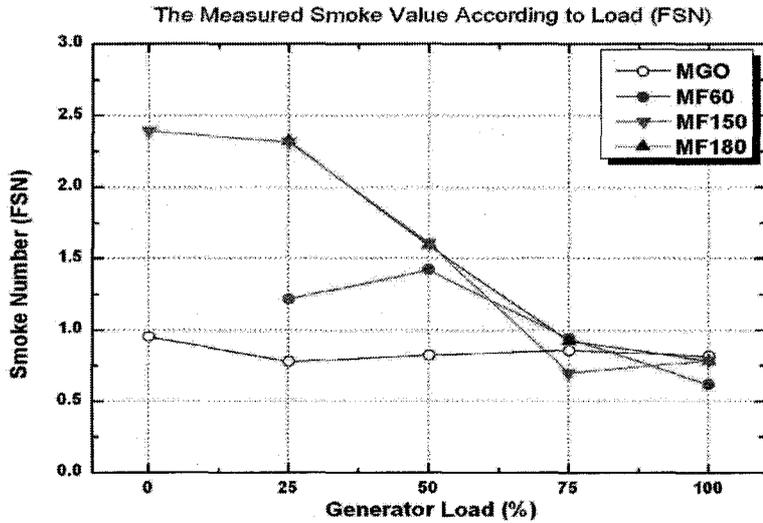


그림 166 Smoke Number(FSN) for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M

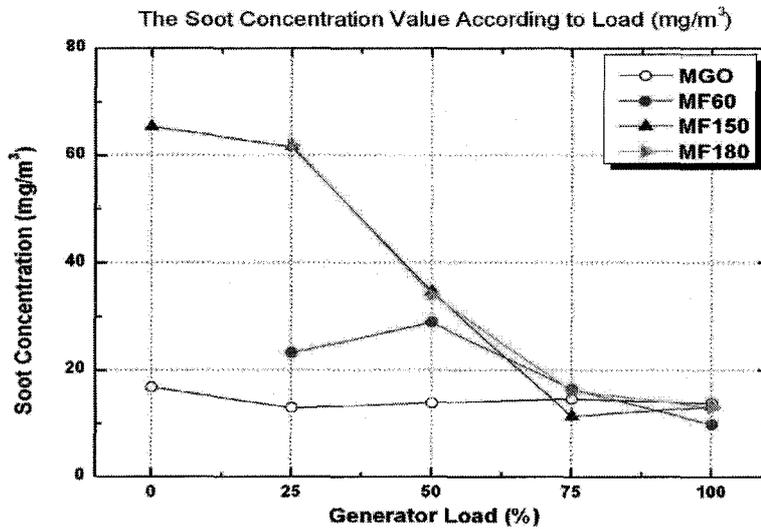


그림 167 Soot concentration for main engine using MF60, MF150 and MF180 by M

## 4. 엔진 성능 분석

### 가. 무공화 24호

#### 1) MF 60 사용 시 배기온도 변화

표 33은 MF 60 혼합유의 사용 시 각 부하에 대하여 각 실린더의 배기온도를 합하여 평균하였고, MF 60 사용 시 배기가스의 온도 상승에 대한 정도를 알아보기 위하여 기존에 무공화 24호에서 사용하고 있는 MGO(경유)의 각 실린더 배기온도를 평균하여 비교하였다. 표 33에서와 같이 1/4 ~ 4/4 부하에서는 MF60 혼합유 사용 시 MGO의 사용시보다 배기온도가 낮으며, 또한 고부하에서는 온도차가 거의 없는 것으로 나타났다. 무부하시에 온도변화의 차이가 큰 것은 혼합유 시험 시 엔진이 충분히 가열된 후에 온도가 측정되어 워밍상태 후에 측정된 MGO의 배기온도와 차이가 나는 것으로 사료된다.

표 33 MF 60의 평균온도 변화

	①MGO 평균	②MF60 전체평균	② - ①
무부하	95.0	124.7	29.7
1/4	198.3	183.9	-14.4
1/2	261.7	246.1	-15.6
3/4	280.8	281.4	0.6
4/4	305.8	303.1	-2.8

그림 168는 MF60 연료의 연소 시 각 부하에 대한 1번 실린더의 배기가스 온도를 나타낸다. 여기서 P는 Purifier에 의하여 정제된 것이고, M은 MCH(Mixign Clean Heat, 연료가열교환기), PM은 Purifier에 의하여 정제된 시험유를 MCH를 통하여 한 번 더 전처리하여 엔진에서 연소시킨 것이다. 전반적으로 MGO와 MF60 사이의 온도차는 크게 나타나지 않고 있으며, 최고 온도가 295°C로 표 3의 배기가스 최고한계치의 범위 넘지 않고 있다.

표 34 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)

전처리장치 \ 부하	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	80	180	245	265	290
P	120	125	205	250	270
MCH	55	170	230	275	295
P+M	135	150	200	250	270
②MF 60 평균온도	103.3	148.3	211.7	258.3	278.3
② - ①	23.3	-31.7	-33.3	-6.7	-11.7

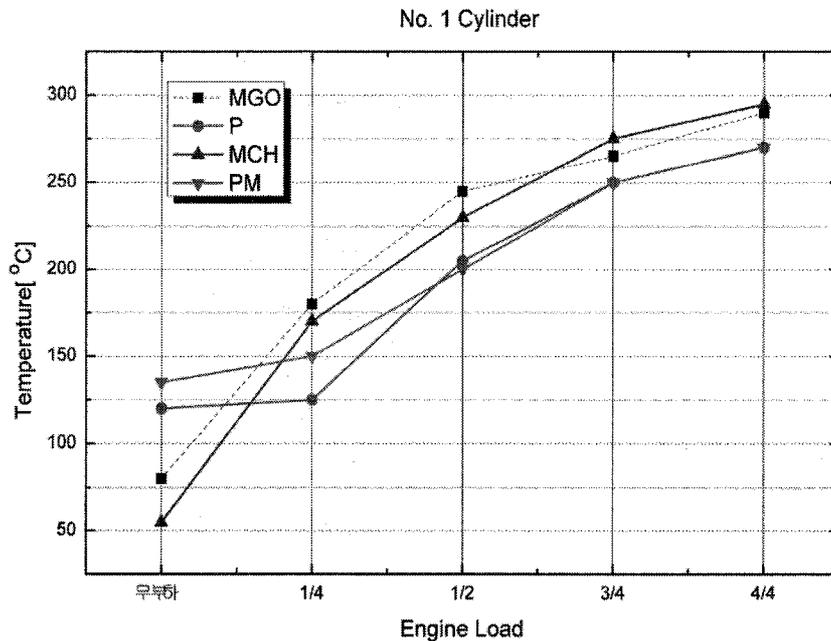


그림 168 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)

그림 169와 표35은 각 부하에 대한 2번 실린더의 배기가스 온도를 나타낸다. MCH로 정제된 MF60 사용 시 MGO 사용 시의 배기온도 변화와 유사하게 나타나고 있으며 배기온도 차이는 크게 나타나지 않고 있다. Purifier 단독과 Purifier + MCH에 의하여 전처리된 것은 MGO의 연소시보다 배기온도가 낮게 나타나고 있고, 최고

온도는 325°C로 나타났으나 L23엔진의 배기가스온도 범위내의 값으로 적절한 것으로 사료되고, 고부하인 3/4과 4/4부하 시에는 모두 배기온도의 특성이 유사하게 나타나고 있다.

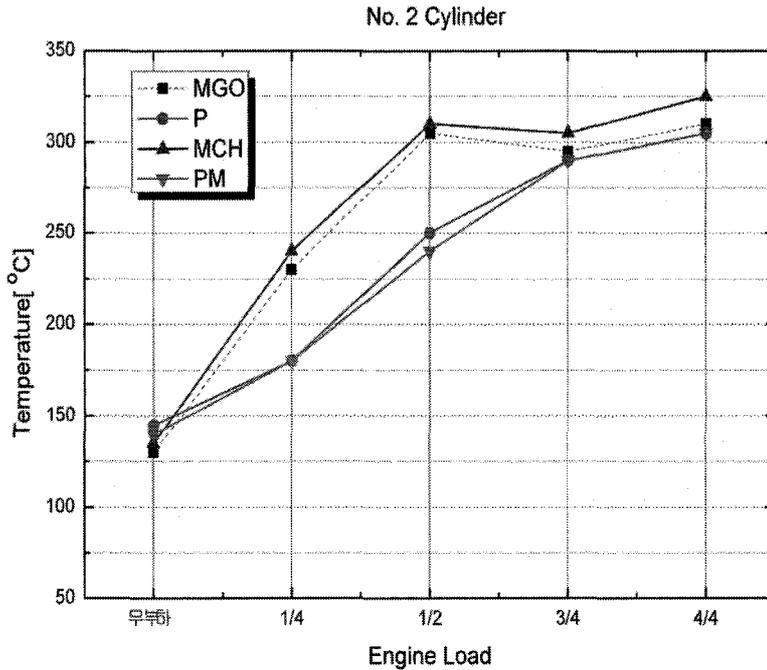


그림 169 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)

표 35 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)

정제장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	130	230	305	295	310
P	170	180	250	290	305
MCH	135	240	310	305	325
P+M	160	180	240	290	305
②MF 60 평균온도	155.0	200.0	266.7	295.0	311.7
② - ①	25.0	-30.0	-38.3	0.0	1.7

그림 170과 표 36은 각 부하에 대한 3번 실린더의 배기가스 온도를 나타낸다. 2번 실린더와 유사한 특성을 나타내고 있으나, 저부하에서의 온도차가 일정하게 유지되고 있다.

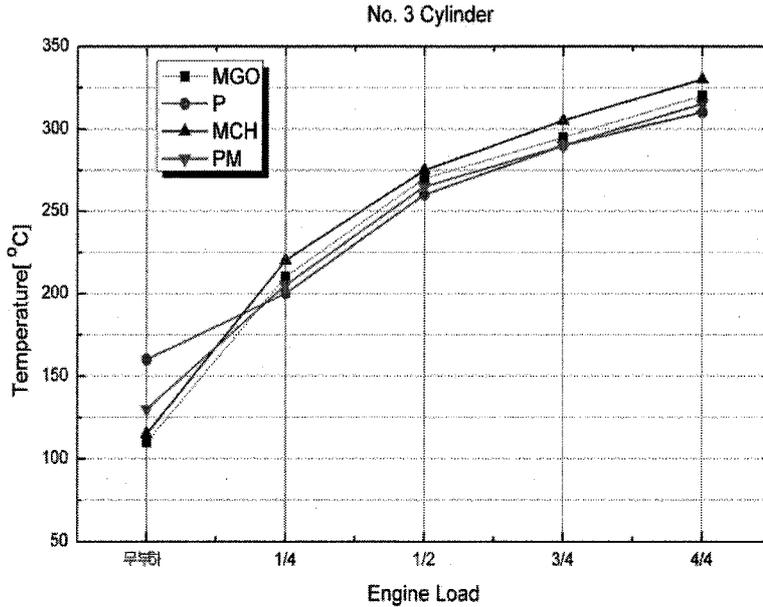


그림 170 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)

표 36 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)

정제장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	110	210	270	295	320
P	160	200	260	290	310
MCH	115	220	275	305	330
P+M	130	205	265	290	315
②MF 60 평균온도	135.0	208.3	266.7	295.0	318.3
② - ①	25.0	-1.7	-3.3	0.0	-1.7

그림 171과 표 37은 각 부하에 대한 4번 실린더의 배기가스 온도

를 나타낸다. 3번 실린더에서와 같이 MGO의 배기가스 상승상태와 유사한 형태를 나타내고 있으며, 무부하시를 제외하고 배기온도 차이도 10°C내외를 유지하고 있다.

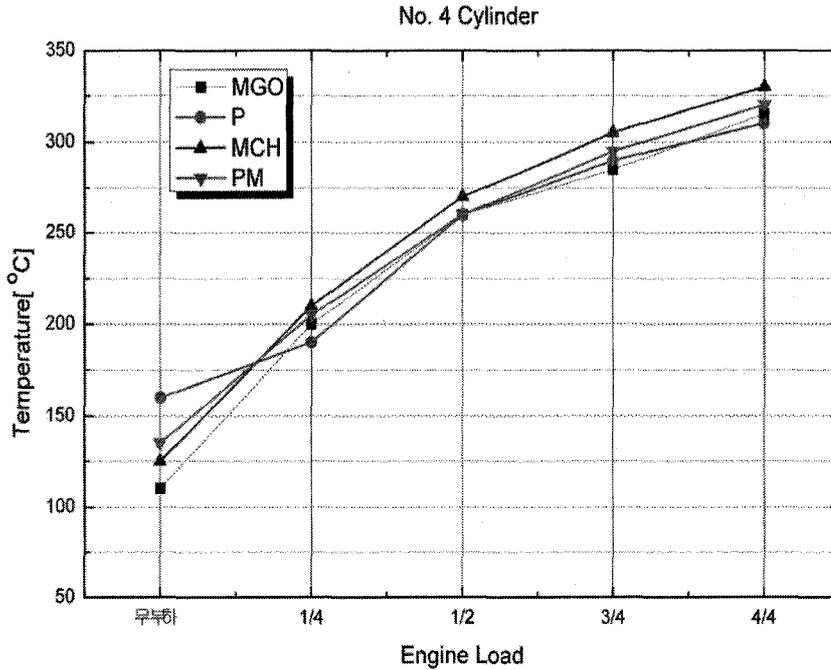


그림 171 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)

표 37 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)

정제장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	110	200	260	285	315
P	160	190	260	290	310
MCH	125	210	270	305	330
P+M	135	205	260	295	320
②MF 60 평균온도	140.0	201.7	263.3	296.7	320.0
② - ①	30.0	1.7	3.3	11.7	5.0

그림 172와 표 38은 각 부하에 대한 5번 실린더의 배기가스 온도를 나타낸다. 1번 실린더에서와 같이 MF60 사용 시가 MGO 사용 시보다 배기온도가 낮게 나타나고 있다.

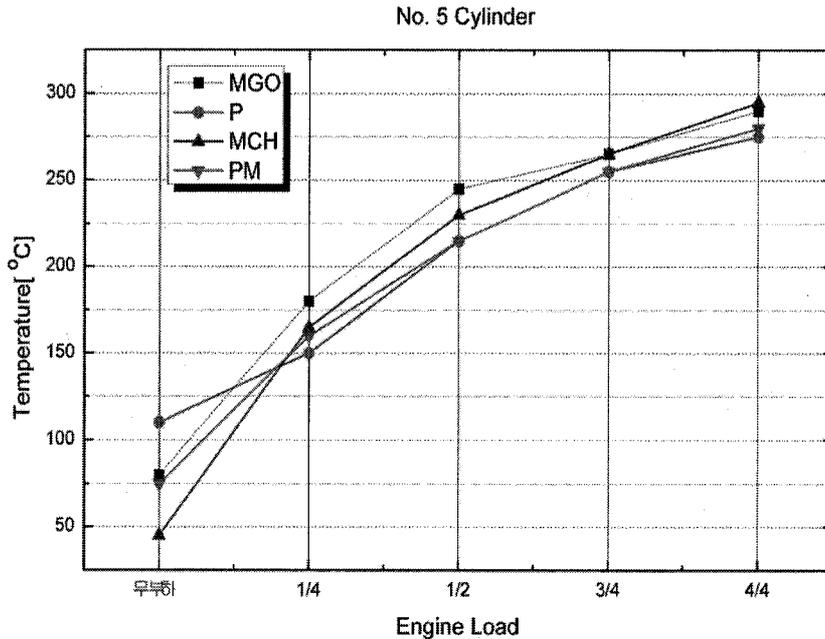


그림 172 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)

표 38 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)

정제장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	50	160	225	260	290
P	110	150	215	255	275
MCH	45	165	230	265	295
P+M	75	160	215	255	280
②MF 60 평균온도	76.7	158.3	220.0	258.3	283.3
② - ①	26.7	-1.7	-5.0	-1.7	-6.7

그림 173와 표 39는 각 부하에 대한 6번 실린더의 배기가스 온도

를 나타낸다. MGO보다 낮게 나타내고 있으며, 3/4 및 4/4부하에 서는 온도차가 5°C 내외로 유지되고 있다.

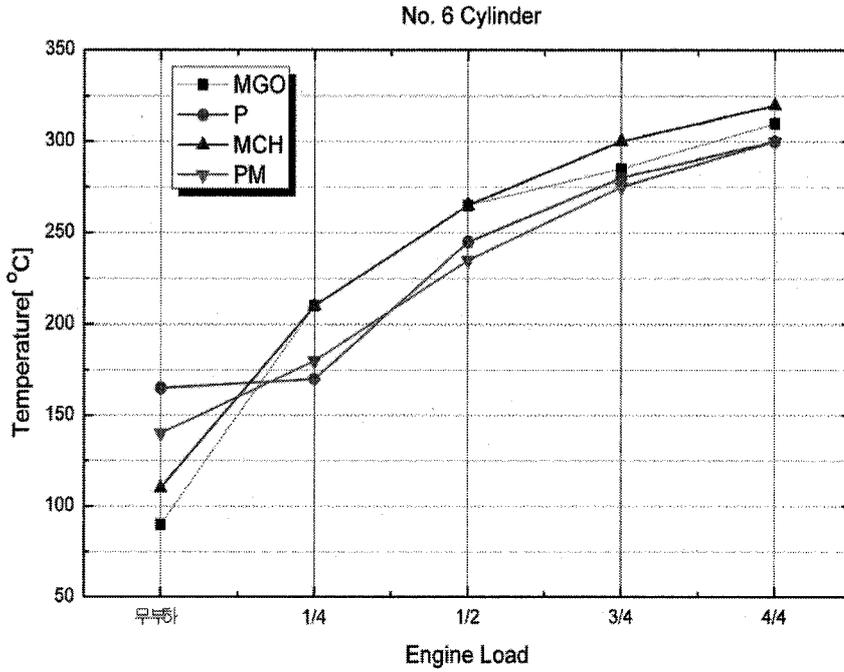


그림 173 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)

표 39 MF60에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)

전처리장치 \ 부하	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	90	210	265	285	310
P	165	170	245	280	300
MCH	110	210	265	300	320
P+M	140	180	235	275	300
②MF 60 평균온도	138.3	186.7	248.3	285.0	306.7
② - ①	48.3	-23.3	-16.7	0.0	-3.3

## 2) MF100 사용 시 배기온도 변화

표 40은 부하별 MGO의 배기가스 온도 변화와 비교하기 위하여 MF 100 혼합유의 각 부하별로 각 실린더의 배기온도를 평균하였다. 아래 표에서와 같이 전 부하에 대하여 배기가스의 온도차이는 10°C를 내외로 MF60 혼합유 사용 시 보다 MF100 혼합유의 사용 시가 전반적으로 온도차이가 고르게 나타났다. MGO의 사용 시보다 MF100 사용 시의 배기온도가 높게 나타나는 것은 연료가 조약해짐에 따라 발생하는 후연소에 의하여 배기온도가 상승한 것으로 추측된다.

표 40 MF 100의 평균온도 변화

	①MGO 평균	②MF100 전체평균	② - ①
무부하	95.0	105.3	10.3
1/4	198.3	203.6	5.3
1/2	261.7	265.8	4.2
3/4	280.8	292.8	11.9
4/4	305.8	318.1	12.2

그림 174 및 표 36은 1번 실린더에 MF100 혼합유와 MGO를 공급하여 연소 시 배기온도의 변화를 측정한 것이다. 전반적으로 MF 100혼합유의 온도변화 특성은 MGO의 온도변화 특성과 유사하게 나타나고 있으며, MF 60의 연소시와 같이 4/4부하에서 배기온도가 300도 내외로 낮게 나타나고 있다. 1번 실린더의 배기가스 온도 변화 특성에서 MGO 보다는 조약한 MF100 혼합유를 공급하여 연소시킬 경우 연소후 발생하는 미연소가스의 증가로 후연소 기간이 길어지게 되고, 이에 의하여 배기온도가 크게 상승할 것으로 예상하였으나, 실제 연소시험 시에는 온도차가 크게 발생하지는 않은 것으로 보아 MGO와 비슷한 연소특성을 가지고 있는 것으로 추론된다.

표 41 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)

전처리장치 \ 부하	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	80	180	245	265	290
P	70	170	245	270	300
MCH	70	190	260	275	305
P+M	100	200	250	270	300
②MF 100 평균온도	80.0	186.7	251.7	271.7	301.7
② - ①	0.0	6.7	6.7	6.7	11.7

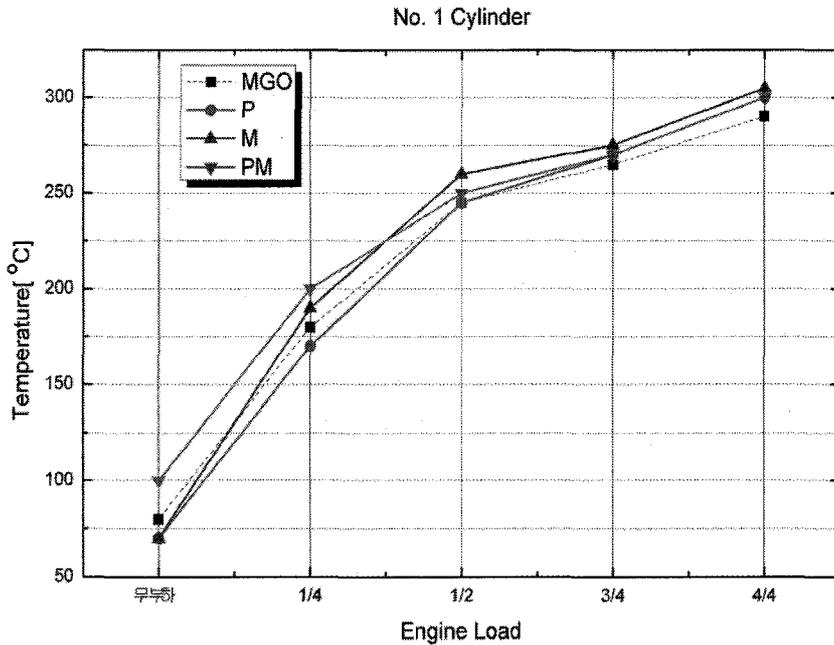


그림 174 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.1 Cyl.)

그림 175 및 표 42은 2번 실린더에 MF100 혼합유를 공급하여 연소 시 배기온도의 변화를 계측한 것이다. 1/2과 3/4 부하에서 1번 실린더 보다는 높은 배기온도 변화를 나타내고 있다. 이것은 2번실린더의 노즐의 상태가 저부하에서는 정상적이지 않아 발생하는 것

으로 추측되나, 4/4부하시의 최대온도가 330℃로 제조사의 온도허용치이내에 있다. 또한, 3/4과 4/4부하 시의 MGO와 MF100의 배기온도차이가 약 15℃로 저급혼합유에 의한 배기가스 온도변화 특성은 크게 변하지 않은 것으로 나타났다.

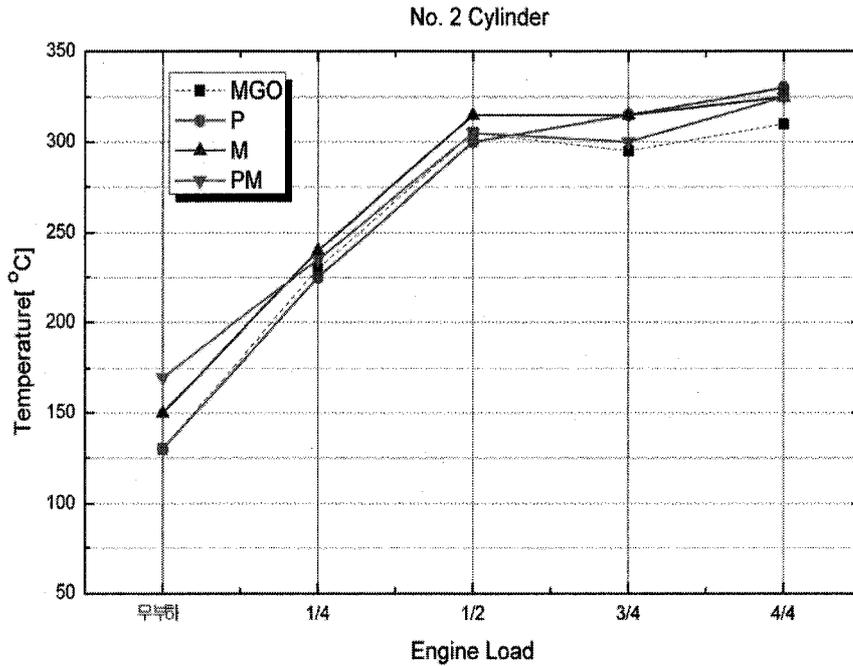


그림 175 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)

표 42 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.2 Cyl.)

정제장치 \ 부하	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	130	230	305	295	310
P	130	225	300	315	330
MCH	150	240	315	315	325
P+M	170	235	305	300	325
②MF 100 평균온도	150.0	233.3	306.7	310.0	326.7
② - ①	20.0	3.3	1.7	15.0	16.7

그림 176 및 표 43은 3번 실린더에 MF100 혼합유와 MGO를 공

급하여 연소 시 배기온도의 변화를 계측한 것이다. 전반적으로 1번 실린더와 같이 배기온도변화 특성을 나타내고 있으며, 3/4과 4/4 부하 시의 배기온도차이는 약 10℃ 정도이고 4/4부하시의 최대온도는 330℃로 3종류의 전처리장치의 온도가 같이 나타났다.

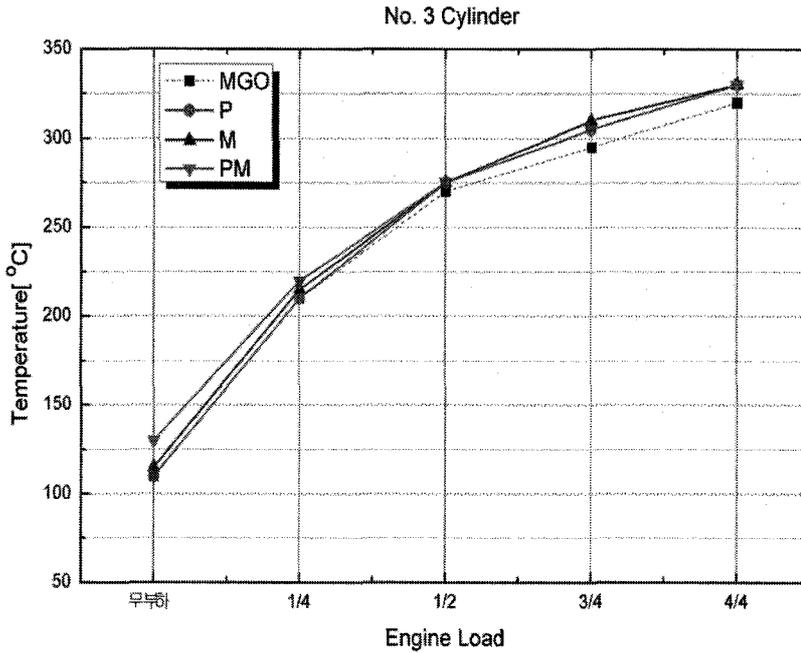


그림 176 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)

표 43 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.3 Cyl.)

전처리장치 \ 부하	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	110	210	270	295	320
P	110	210	275	305	330
MCH	115	215	275	310	330
P+M	130	220	275	305	330
②MF 100 평균온도	118.3	215.0	275.0	306.7	330.0
② - ①	8.3	5.0	5.0	11.7	10.0

그림 177 및 표 39는 4번 실린더에 MF100 혼합유와 MGO를 공

급하여 연소 시 배기온도의 변화를 계측한 것이다. 전반적으로 1번 실린더와 유사한 배기온도변화 특성을 나타내고 있다. 3/4부하 시의 배기온도차이가 약 20℃ 정도로 크게 나타나고 있으나, 이것은 MGO 연소시의 주변환경과 MF100 연소시의 주변상태의 변화나 엔진 노즐의 저부하 특성에 의한 것으로 사료된다. 4/4부하시의 최대 온도는 330℃로 3번 실린더와 같이 3종류의 전처리장치의 온도가 같이 나타났다.

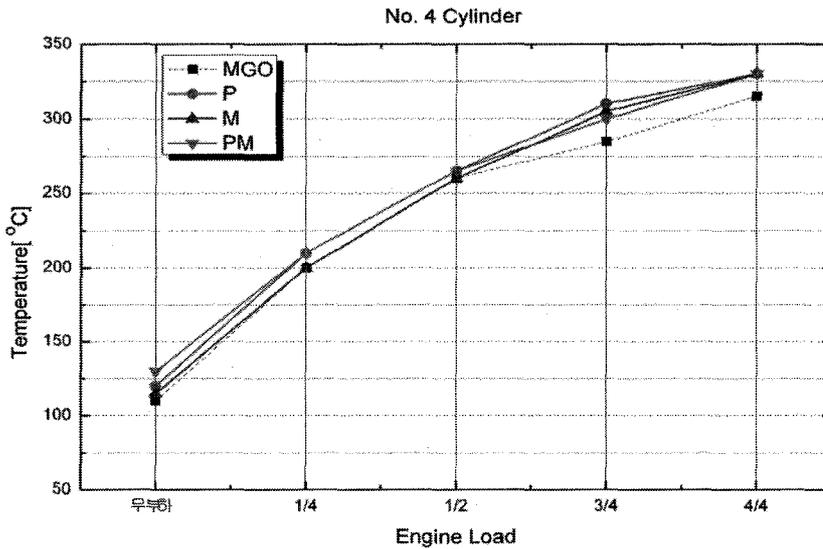


그림 177 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)

표 44 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.4 Cyl.)

전처리장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	110	200	260	285	315
P	120	210	265	310	330
MCH	115	200	260	305	330
P+M	130	210	265	300	330
②MF 100 평균온도	121.7	206.7	263.3	305.0	330.0
② - ①	11.7	6.7	3.3	20.0	15.0

그림 178 및 표 45은 5번 실린더에 MF100 혼합유와 MGO를 공

급하여 연소 시 배기온도의 변화를 계측한 것이다. 전반적으로 앞의 실린더들과 유사한 배기온도변화 특성을 나타내고 있다. 3/4 및 4/4부하 시의 배기온도차이가 약 10℃ 정도로 크진 않으며, 4/4부하시의 최대온도는 300℃로 1번 실린더와 같이 다른 실린더에 비하여 배기온도가 낮게 나타났다.

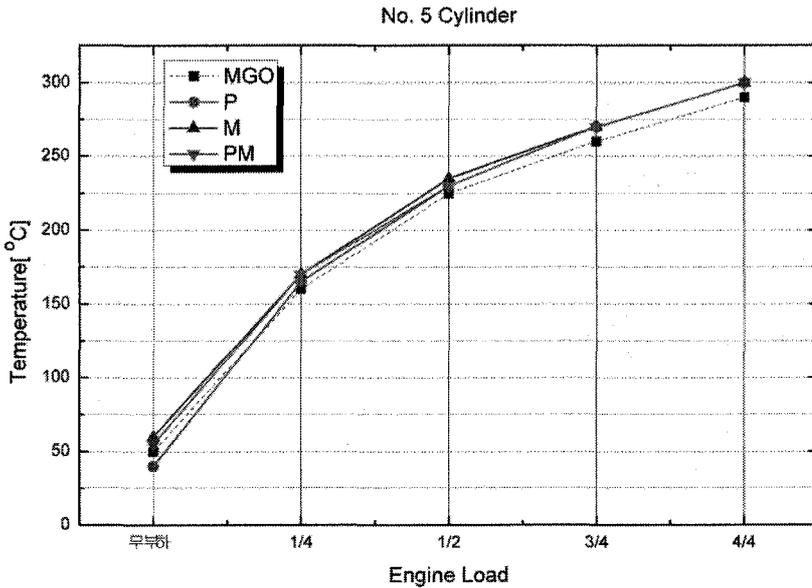


그림 178 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)

표 45 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.5 Cyl.)

정처리장치	부하				
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
①MGO	50	160	225	260	290
P	40	165	230	270	300
MCH	60	170	235	270	300
P+M	55	170	230	270	300
②MF 100 평균온도	51.7	168.3	231.7	270.0	300.0
② - ①	1.7	8.3	6.7	10.0	10.0

그림 179 및 표 46은 6번 실린더에 MF100 혼합유와 MGO를 공급하여 연소 시 배기온도의 변화를 측정한 것이다. 전반적으로 앞의 실린더들과 유사한 배기온도변화 특성을 나타내고 있다. 고부하시의 배기온도변화는 10℃ 이내로 크진 않으며, 4/4부하시의 최대온도는 320℃로 3종류의 정처리장치의 온도가 같이 나타났다.

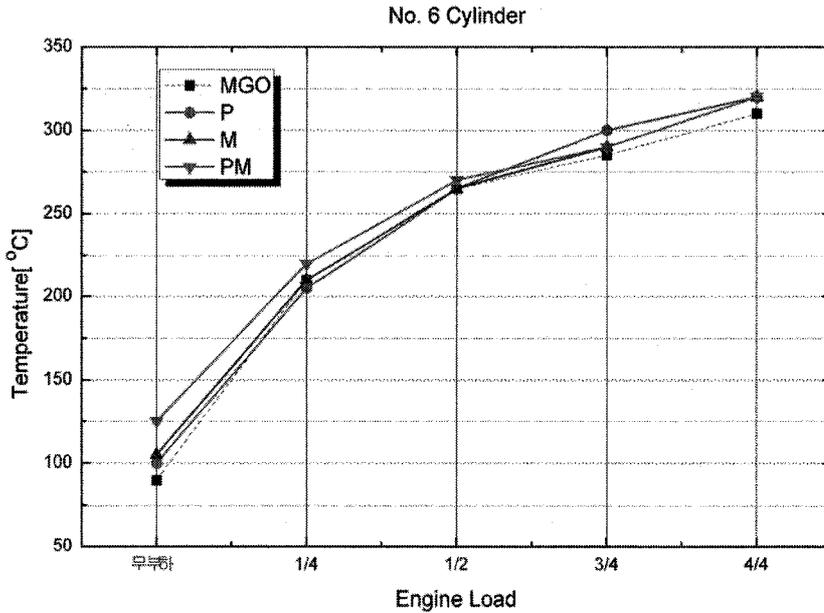


그림 179 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)

표 46 MF100에 대한 정제장치 및 부하별 배기온도 변화(NO.6 Cyl.)

정처리장치	부하					
	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4	
①MGO	90	210	265	285	310	
P	100	205	265	300	320	
MCH	105	210	265	290	320	
P+M	125	220	270	290	320	
②MF 100 평균온도	110.0	211.7	266.7	293.3	320	
② - ①	20.0	1.7	1.7	8.3	10.0	

그림 180 및 그림 184는 전처리장치에 대한 부하별 배기온도 변화를 나타내고, 표 47는 각 정제장치별로 각 부하에 대하여 전기통의 최고 배기온도와 최저 배기온도의 차이를 표로 나타낸 것이다. 실린더에 대하여는 2번실린더의 배기온도가 높게 나타나고, 5번 실린더의 배기온도는 낮게 나타나고 있으며, 전처리 장치에 대하여는 MF60(S5, S6, S7)의 혼합유 사용시 배기온도가 높거나 낮게 나타났다. 또한, 표 47에서와 같이 고부하로 갈수록 각 실린더별 온도차이가 작게 나타나고있어 저부하 시의 각 실린더의 연료분사상태 등이 일정하지 않는 것으로 사료된다. 그러나 전체 배기온도가 350℃를 넘지 않고 있어 혼합연료유의 배기가스 온도에 의한 엔진 운전 상태의 변화는 크지 않을 것으로 예상되나 저부하시의 온도변화가 다소 크게 나타나고 있어 저부하시에는 MGO 사용이 필요할 것으로 사료된다.

표 47 전처리장치별 부하별 최고 온도차

	무부하	1/4	1/2	3/4	4/4
본선경유	80	70	80	35	30
MDO(P+M)	105	60	75	35	40
MF15(P+M)	105	80	90	45	35
B-A(P+M)	95	60	65	40	40
MF60(P)	60	75	55	40	40
MF60(M)	90	75	80	40	35
MF60(P+M)	85	55	65	45	50
MF100(P)	90	60	70	45	30
MF100(M)	90	70	80	45	30
MF100(P+M)	115	65	75	35	30
평균온도차	91.5	67	73.5	40.5	36

표 48 전처리 시스템

시스템	혼합유 및 전처리장치	시스템	혼합유 및 전처리장치
S1	MGO	S6	MF60(MCH)
S2	MDO(Purifier+MCH)	S7	MF60(Purifier+MCH)
S3	MF15(Purifier+MCH)	S8	MF100(Purifier)
S4	B-A((Purifier+MCH)	S9	MF100(MCH)
S5	MF60(Purifier)	S10	MF100(Purifier+MCH)

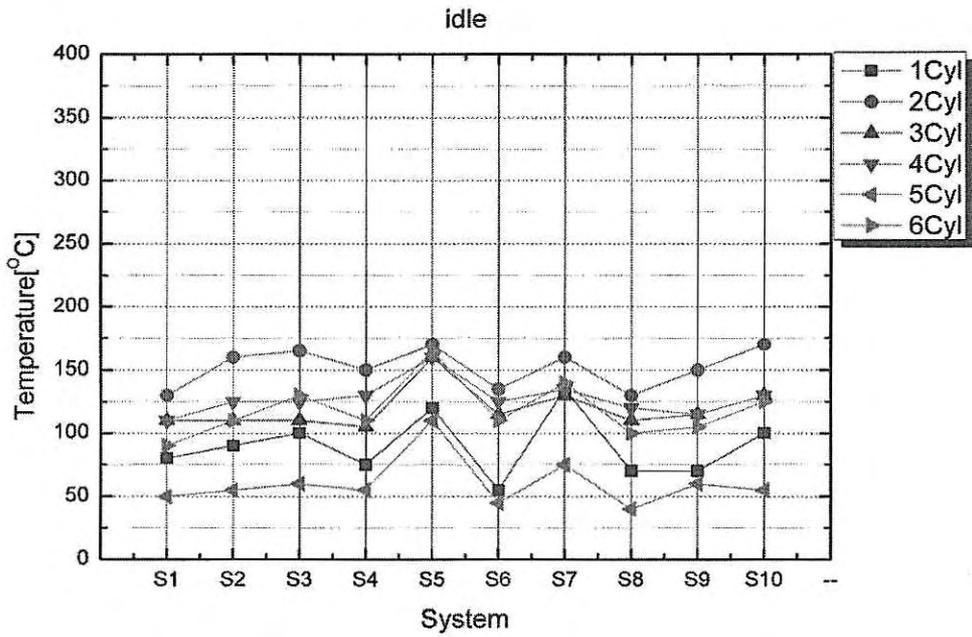


그림 180 무부하 시 전처리장치별 배기온도 변화

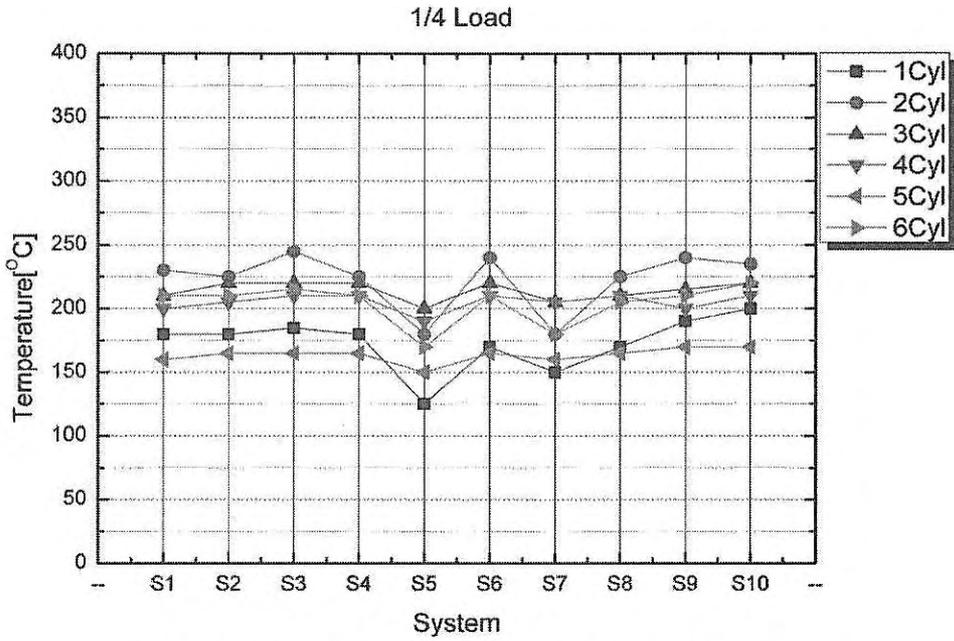


그림 181 1/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화

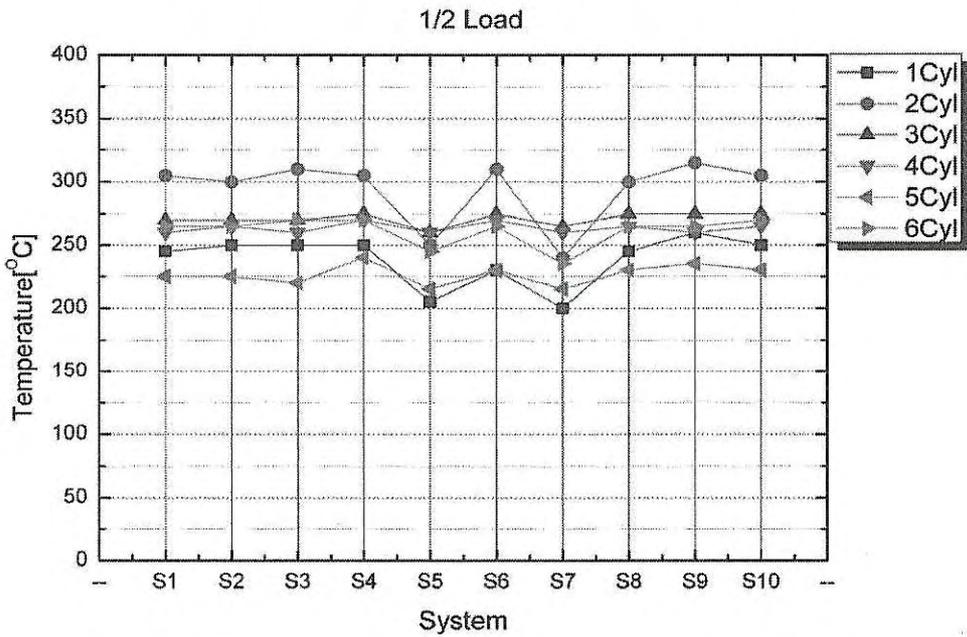


그림 182 1/2 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화

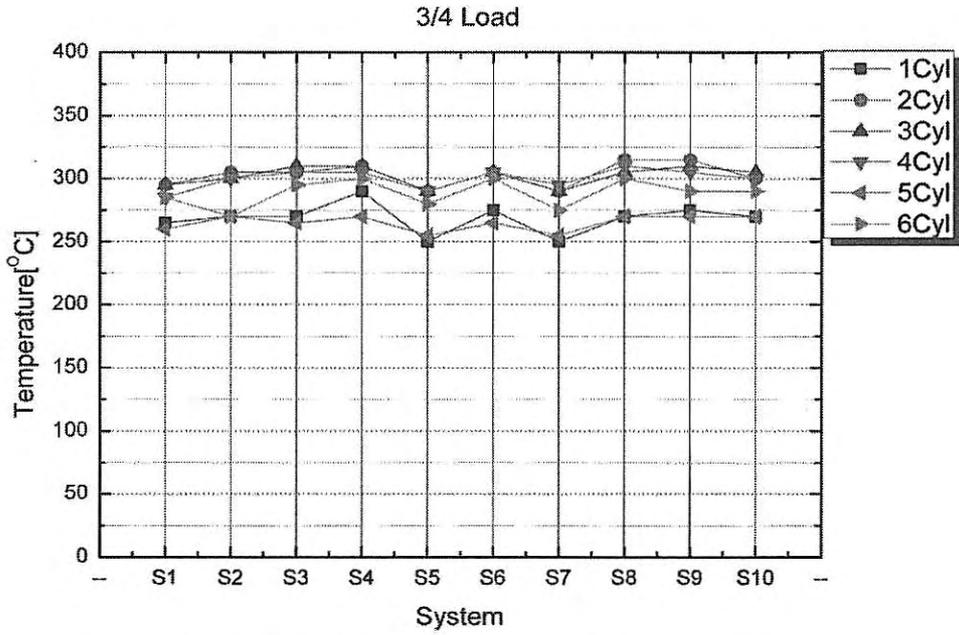


그림 183 3/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화

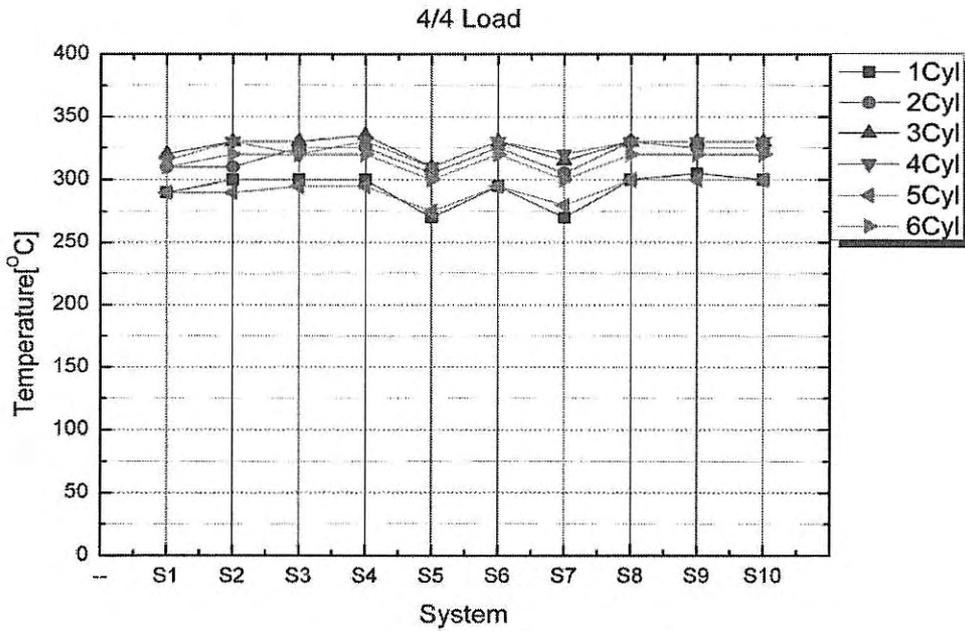


그림 184 4/4 부하 시 전처리장치별 배기온도 변화

### 3) 실린더별 Pmax 변화량

그림 185은 각 시험연료에 대한 부하별 Pmax의 변화를 나타내고 있다. MGO는 본선에서 사용하고 있는 경유이며, MDOPM은 MDO를 Purifier와 MCH로 전처리한것이고, MF15PM은 MF15를 Purifier와 MCH로 전처리하였고, BAPM은 Bunker A를 Purifier와 MCH로, MF60 P, M, PM은 MF60혼합유를 Purifier, MCH, Purifier+MCH로, MF100 P, M, PM은 MF100혼합유를 Purifier, MCH, Purifier+MCH로 전처리한 시험유이다.

전반적으로 Pmax의 변화는 경유(MGO)의 Pmax 변화와 거의 유사하게 변화하고 있으며, 각 부하별로 Pmax의 차이는 표 49에서와 같이 무부하에서는 3.1bar(Bunker A 제외), 1/4부하에서는 5bar, 1/2부하에서는 5bar, 3/4부하에서는 5bar, 4/4부하에서는 7bar로 연료유 별로 Pmax의 차이가 크게 나타나고 있지 않다. 또한 Pmax의 최고값은 105bar로 6L23엔진의 Pmax 최대허용치인 130bar보다 낮게 나타나고 있어 혼합유 사용에 의한 연소압력의 증가로 인한 문제는 없을 것으로 예상된다.

표 49 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.1 Cyl)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	35	32	30	45	30	32	35	31.9	31.9	31.9	10
1/4	59	56.5	56.5	58	56	55	60	55	55	55	1
1/2	75	73	70	72.3	75	72	75	70	72.3	73	0
3/4	90	92	90	89.6	90	89	90	90	87	85	2
4/4	105	104.7	104.7	105	105	103	110	105	104.7	105	5

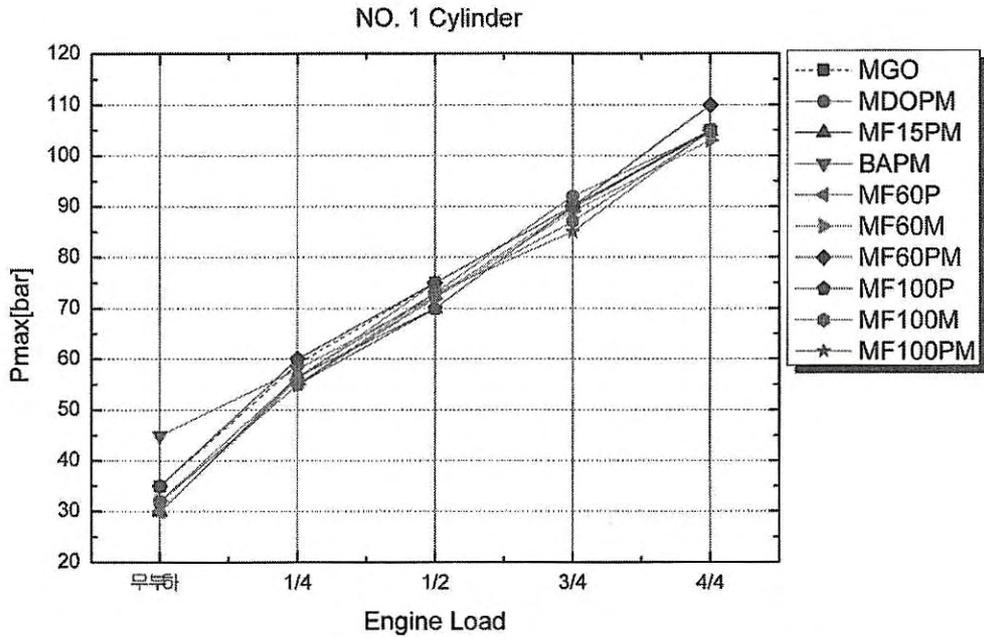


그림 185 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.1 Cyl)

그림 186은 2번 실린더에 대한 부하별 최고압력의 변화량을 나타낸다. 각 부하별로 Pmax의 차이는 표 50에서와 같이 무부하에서는 3bar, 1/4부하에서는 12bar, 1/2부하에서는 9bar, 3/4부하에서는 5bar, 4/4부하에서는 5bar로 저부하에서 Pmax 변화는 1번 실린더 보다는 크게 나타나고 있으나, 이것은 계측환경의 차이 등에 의한 것으로 사료된다. 그러나 고부하에서의 Pmax의 차이가 크게 나타나고 있지 않다. Pmax의 최고치 또한 115bar로 최대허용치인 130bar보다 낮게 나타나고 있다.

표 50 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.2 Cyl)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	45	44.2	44.2	44.2	45	45	45	42	42	45	0
1/4	51	62	50	59.4	63	62	60	60	59.4	59.4	12
1/2	80	77.1	77.1	80	78	77	75	78	71	76	0
3/4	95	96.1	96.1	98	95	95	100	98	96.1	95	5
4/4	115	115	110	112.9	112.9	110	115	112	115	113	0

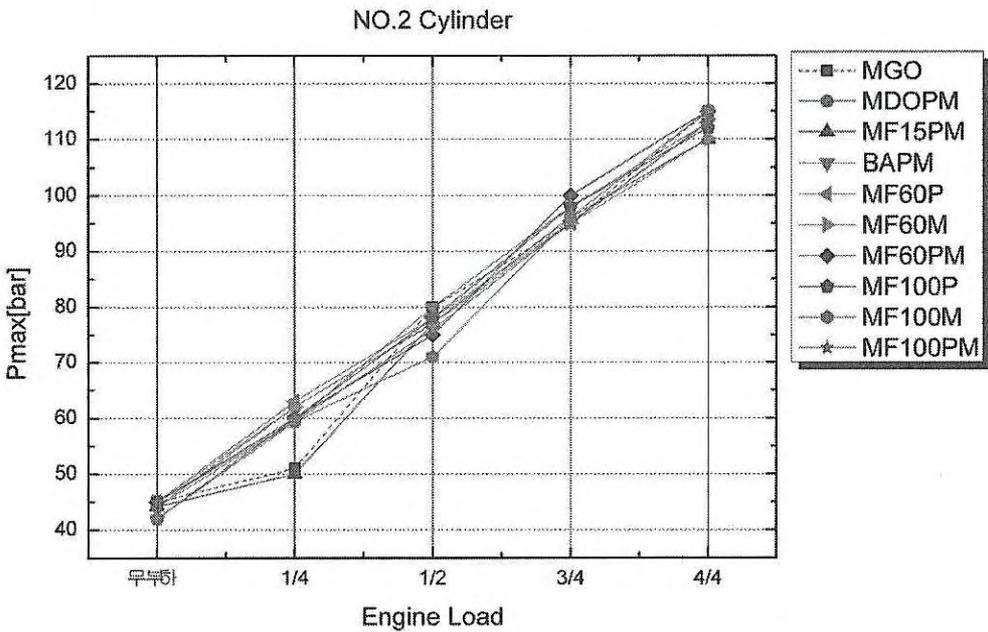


그림 186 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.2 Cyl)

그림 187은 3번 실린더에 대한 부하별 최고압력(Pmax)의 변화량을 나타낸다. 각 부하별로 Pmax의 차이는 표 51에서와 같이 전 부하에서 Pmax의 차이는 5bar이내에 있고, 최대값 또한 110bar로 1,2번 실린더와 비슷하다.

표 51 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.3 Cyl)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	0
1/4	63	61.3	61.3	64	60	62	60	62	64	60	1
1/2	77	75	75	75.4	75	77	75	76	75.4	75	0
3/4	95	95	90	92	93	94	90	95	90	90	0
4/4	110	108.6	108.6	110	105	110	110	106	108	110	0

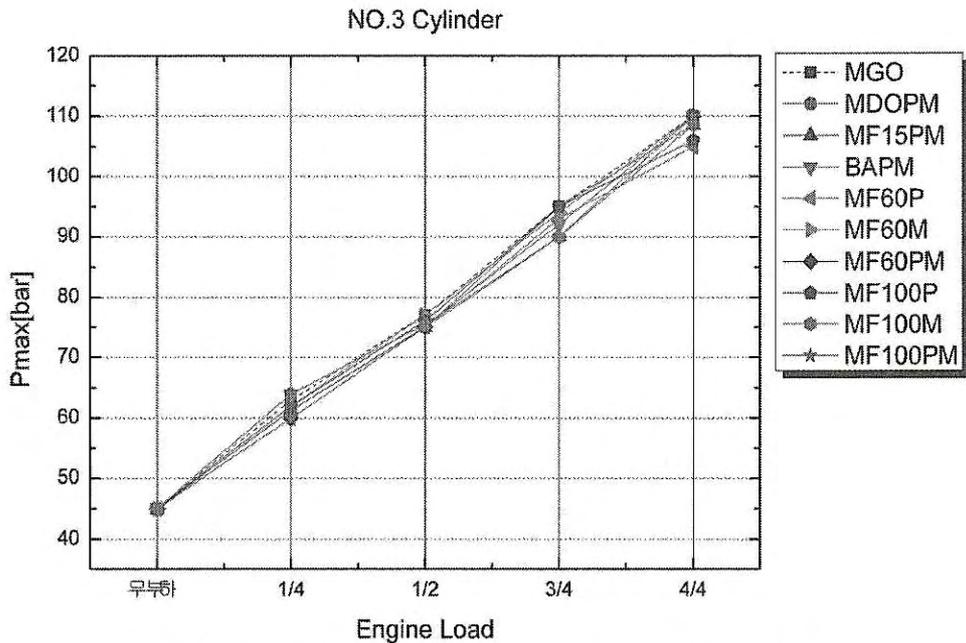


그림 187 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.3 Cyl)

그림 188은 4번 실린더에 대한 부하별 최고압력(Pmax)의 변화량을 나타낸다. 각 부하별로 Pmax의 차이는 무부하, 6bar, 1/4부하 5bar, 1/2부하 3bar, 3/4부하에서 8bar, 4/4부하에서 7bar 전 부하에서 Pmax의 차이는 5bar이내에 있고, 최대값 또한 110bar로 1,2번 실린더와 비슷하다.

표 52 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.4 Cyl)

혼합유 부하	M G O	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	45	44.3	44.3	44.3	48	45	45	42	42	45	3
1/4	64	64	60	61.3	63	61	65	60	61.3	61.3	1
1/2	78	75.1	75.1	75	75	76	75	75	75	75	-2
3/4	96	93.9	93.9	98	93	94	90	95	93.9	93	2
4/4	110	115	110	108.5	108.5	112	105	107	108	110	5

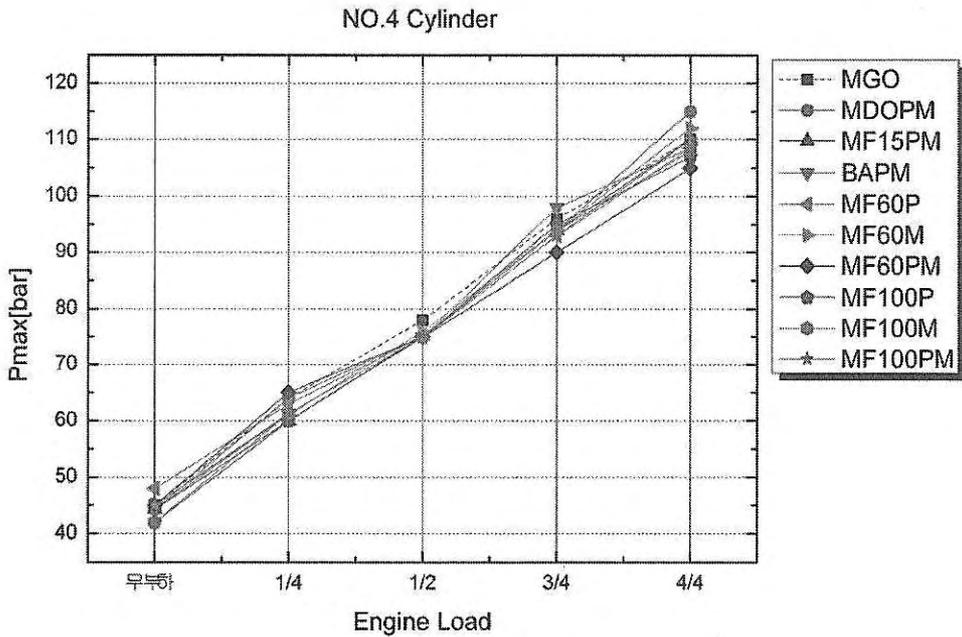


그림 188 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.4 Cyl)

그림 189은 5번 실린더에 대한 부하별 최고압력(Pmax)의 변화량을 나타낸다. 표 53에서와 같이 각 부하별로 Pmax의 차이는 무부하, 8bar, 1/4부하 14bar, 1/2부하 5bar, 3/4부하에서 5bar, 4/4 부하에서 11bar 이었고, 최대값 또한 115bar로 나타났으나 Pmax 최대허용치인 130bar보다는 낮은 값을 보이고 있다.

표 53 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.5 Cyl)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	33	33	32	40	34	32	30	32.7	32.7	32.7	7
1/4	64	60	60.4	64	50	60	60	60	60	60	0
1/2	80	76	75	75.9	75	80	75	75	75.9	75	0
3/4	98	95	95	94.6	95	93	95	93	94	95	-3
4/4	115	109.3	109.3	110	104	110	110	108	109.3	110	-5

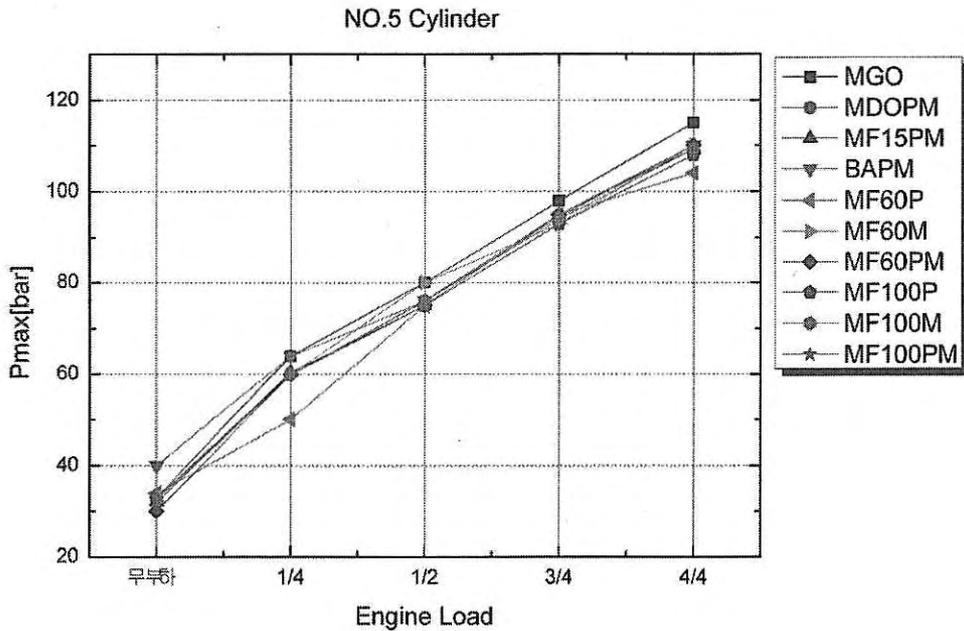


그림 189 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.5 Cyl)

그림 190은 6번 실린더에 대한 부하별 최고압력(Pmax)의 변화량을 나타낸다. 표 54에서와 같이 각 부하별로 Pmax의 차이는 무부하, 2bar, 1/4부하 4bar, 1/2부하 2bar, 3/4부하에서 7bar, 4/4부하에서 7bar 였고, 최대값 또한 110bar로 나타났다.

표 54 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.6 Cyl)

혼합유 부하	M G O	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대Pmax
무부하	40	40.2	40.2	40.2	42	42	40	40	40	40	2
1/4	63	64	60	60.6	50	60	60	60	60.6	60.6	1
1/2	75	74.6	74.6	75	75	73	75	74	75	75	0
3/4	97	91.7	91.7	95	93	92	90	92	91.7	90	-2
4/4	110	110	106	108.2	108.2	103	110	108	108	110	0

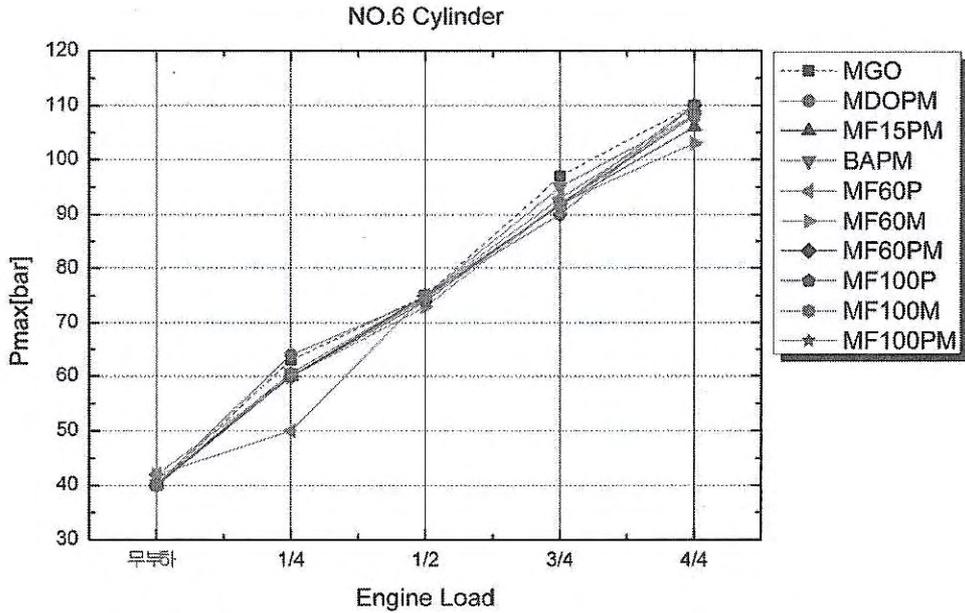


그림 190 부하별 실린더 Pmax 변화(NO.6 Cyl)

표 49 ~ 표 54의 MGO의 Pmax 값과 각 시험유 중 Pmax 최대값의 차이에서 알 수 있는 바와 같이 최대연소압력에서의 큰 차이는 보이지 않고 있다. 또한 전체적인 Pmax의 변화 경향도 MGO사용시와 특별한 차이가 없는 것으로 나타나고 있어 저급혼합연료유 사용시 연소압력에 의한 기관의 영향은 크지 않을 것으로 사료된다.

#### 4) 실린더별 F.O Rack 변화량

시험유에 따른 정확한 연료소모량을 계측하여야 하나 시험여건 상 장기간 각 시험연료에 대하여 연료사용량을 계측할 수가 없어 연소시험 시 계측하였던 F.O 펌프의 Rack를 통하여 기존에 사용하고 있는 경유와의 비율을 비교하고자한다.

그림 191 및 표 55은 각 시험연료에 대한 1번 실린더의 F.O 펌프 Rack 값을 나타낸 것이다. 표 55에서와 같이 각 부하별로 F.O Rack의 차이는 1미만으로 경유 사용 시와 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 1번 실린더의 경우 전반적으로 경유보다는 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다.

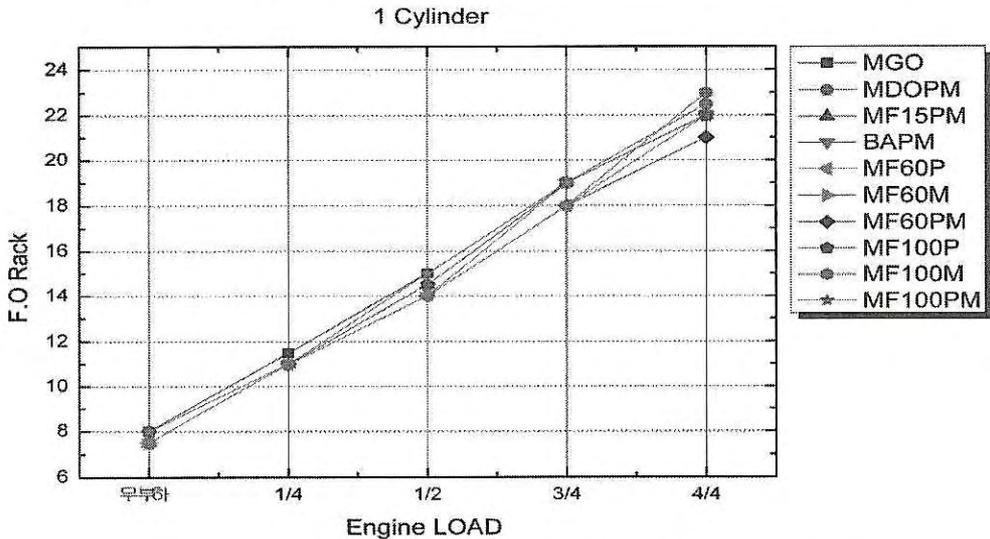


그림 191 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.1 Cyl.)

표 55 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.1 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대값
무부하	8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	7.5	8	0
1/4	11.5	11	11	11	11	11	11	11	11	11	0.5
1/2	15	14	14.5	14	14	14.5	14	14.5	14	15	0
3/4	19	19	19	19	18	19	18	19	18	19	0
4/4	22	22.5	22	22	22	22	21	22	23	22.5	-0.5

그림 192 및 표 56은 각 시험연료에 대한 2번 실린더의 F.O 펌프 Rack 값을 나타낸 것이다. 표 56에서와 같이 경유의 F.O Rack 값과 시험유종 최대치의 F.O Rack을 비교하여 보면 거의 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 이것은 전반적으로 시험유가 경유보다 연료를 적게 사용하고 있다는 것으로 판단할 수 있다.

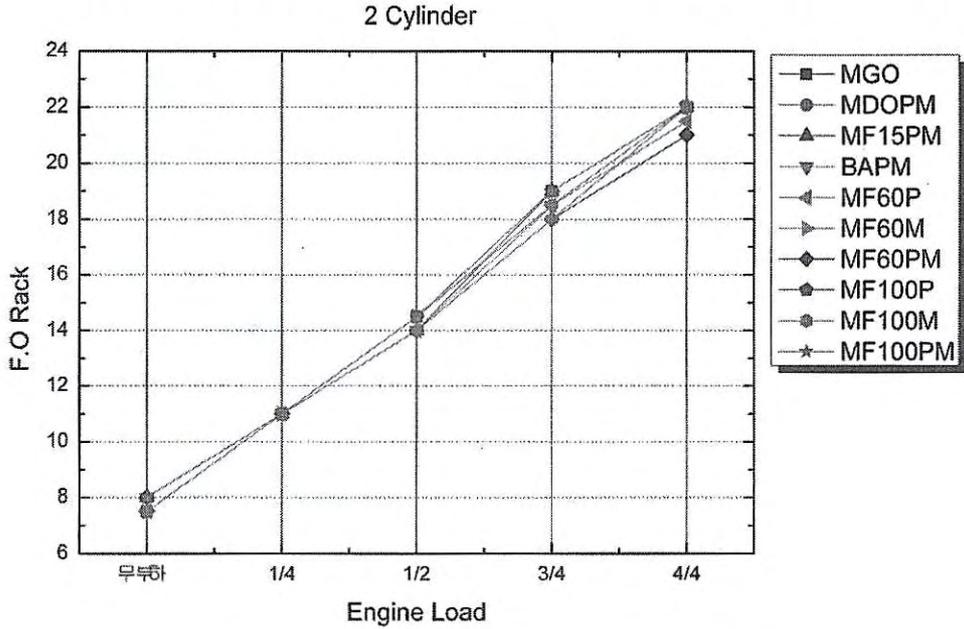


그림 192 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.2 Cyl.)

표 56 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.2 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대값
무부하	7.5	7.5	8	8	7.5	7.5	8	7.5	7.5	8	-0.5
1/4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	0
1/2	14.5	14.5	14	14	14	14.5	14	14.5	14	14.5	0
3/4	19	18.5	19	18.5	18.5	19	18	19	18	19	0
4/4	22	22	22	22	21.5	22	21	22	22	22	0

그림 193 및 표 57는 각 시험연료에 대한 3번 실린더의 F.O 펌프 Rack 값을 나타내고 있다. 표 56에서와 같이 3번 실린더의 경우도 앞의 1,2번 실린더와 같이 경유 사용시가 시험유 사용시보다 F.o Rack 값이 높은 것으로 나타나고 있어 시험유가 경유보다는 연료를 적게 사용하고 있다는 것을 추측할 수 있다.

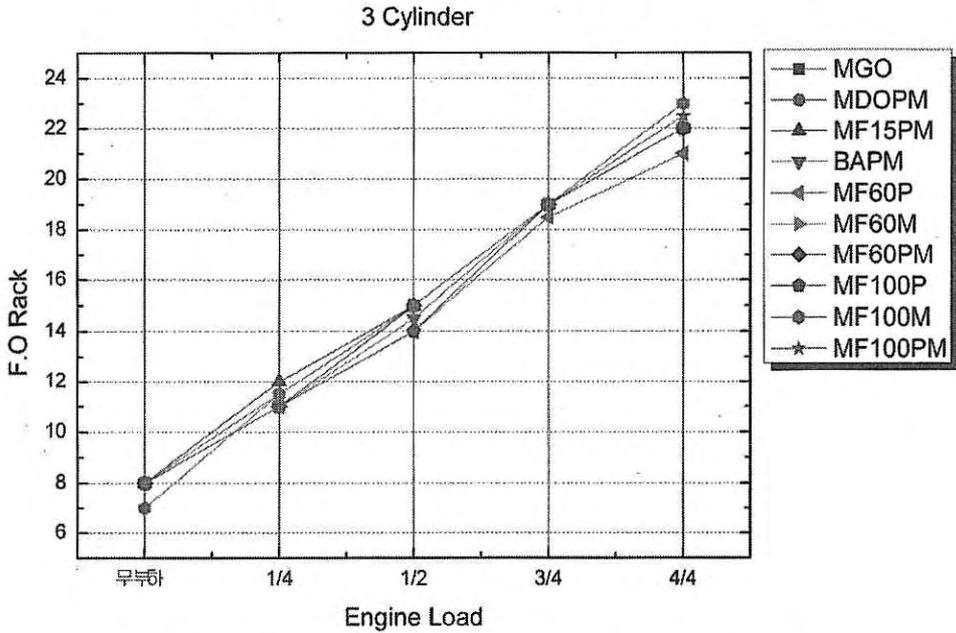


그림 193 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.3 Cyl.)

표 57 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.3 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대값
무부하	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	0
1/4	11	11.5	12	11	11	11	11	11	11.5	11.5	-1
1/2	15	15	15	14.5	14	15	15	14	15	15	0
3/4	19	19	19	19	18.5	19	19	19	19	19	0
4/4	22	22	22	22	21	22	22	22	23	22.5	-0.5

그림 194 및 표 58은 4번 실린더의 F.O 펌프 Rack 값을 나타낸 것이다. 표 58의 경유 Rack 값 - 시험유 Rack 최대값에서 부하 전 반에서 경유의 F.O Rack값과 유사하게 나타나고 있다.

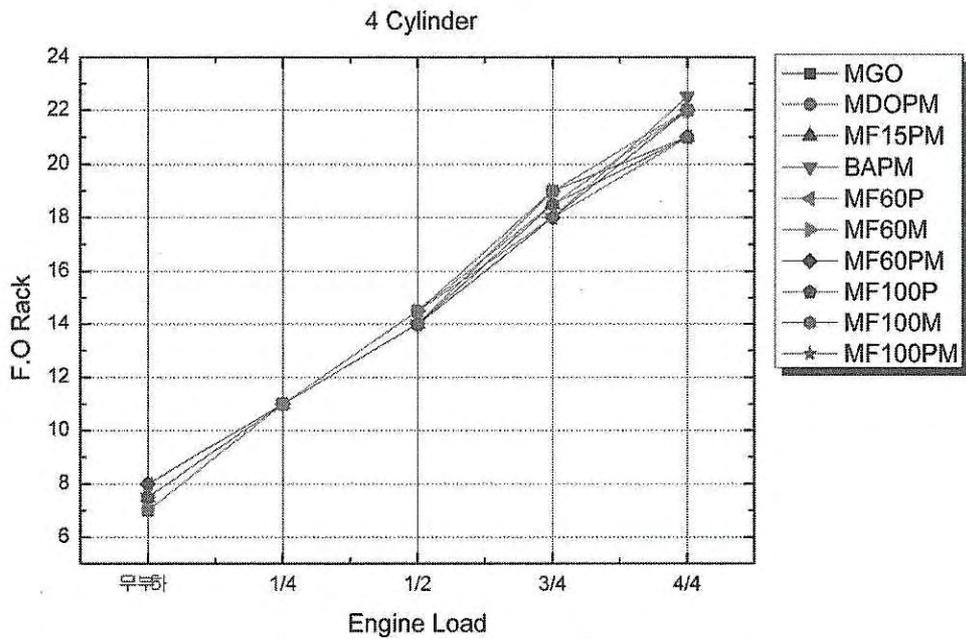


그림 194 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.4 Cyl.)

표 58 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.4 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대값
무부하	7	8	7.5	7.5	8	7.5	8	7.5	7	7	-1
1/4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	0
1/2	14.5	14.5	14	14	14	14.5	14	14	14.5	14.5	0
3/4	19	18.5	18.5	18	18	19	18	19	19	18	0
4/4	22	22	21	22.5	21	22	22	21	22	21	-0.5

그림 195 및 표 59은 5번 실린더의 F.O 펌프 Rack 값을 나타내고 있으며, 앞의 1~4번 실린더와 유사한 경향을 보이고 있다.

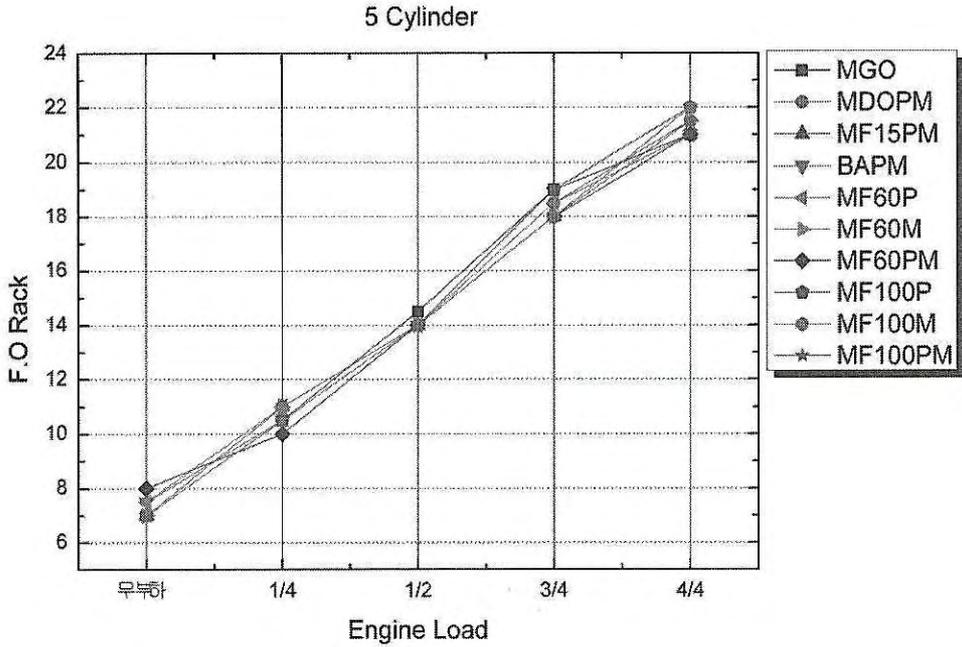


그림 195 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.5 Cyl.)

표 59 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.5 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO 최대값
무부하	7	7	7	7.5	7.5	7	8	7	7	7	-1
1/4	10.5	10.5	11	10.5	11	11	10	10.5	11	10.5	-0.5
1/2	14.5	14	14	14	14	14	14	14	14	14	-0.5
3/4	19	18.5	18	18	18.5	18	18	19	18	18	1
4/4	21	21.5	21	21	21	21.5	21	22	22	21.5	1

6번 실린더의 경우도 시험유의 F.O Rack 변화량이 전반적으로 경유의 변화와 비슷하게 변화되고 있다.

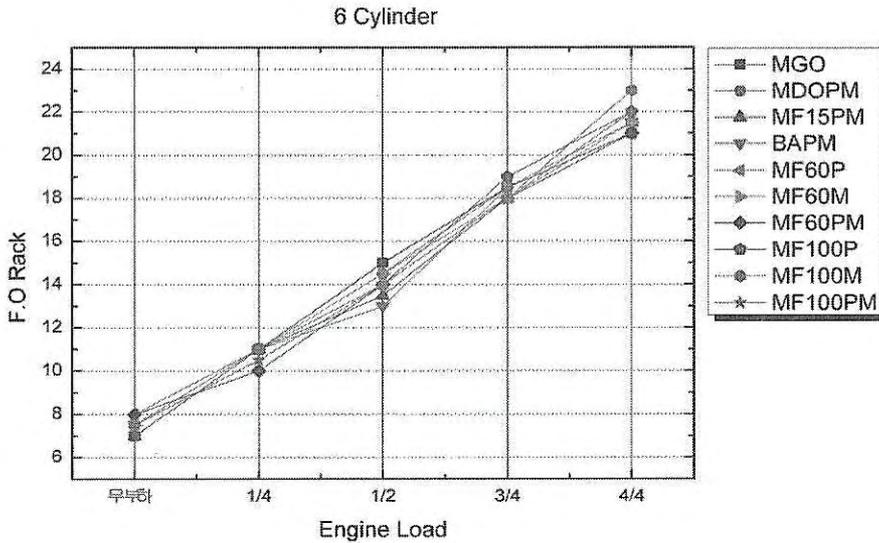


그림 196 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.6 Cyl.)

표 60 부하별 실린더 F.O Rack 변화(NO.6 Cyl.)

혼합유 부하	MGO	MDO PM	MF15 PM	B-A PM	MF60 P	MF60 M	MF60 PM	MF100 P	MF100 M	MF100 PM	MGO - 최대값
무부하	7	7.5	7	7.5	8	7.5	8	7	7.5	7.5	-1
1/4	11	11	11	11	11	11	10	11	11	10.5	0
1/2	15	14.5	13.5	13	14	14.5	14	14	14	14	0.5
3/4	18.5	18.5	18	18.5	18	18	18	19	18	18	-0.5
4/4	21	21.5	21.5	21.5	21	21.5	21	22	23	22	-2

전체적으로 시험유의 연소시험 시 측정된 F.O Rack 값의 변화를 근거로 연료의 소모량을 추정해보면, 거의 유사한 연료소모량을 갖을 것으로 예상된다. 그러나, 무궁화 24호에서의 연소시험은 실제 선박을 운항하면서 실시한 것이어서, 해상상태나 시험시기에 따라 다소 오차가를 포함하고 있음을 감안하여야한다.

### 5) 부하별 냉각수 온도변화

그림 197 ~ 201는 시험유에 따른 윤활유 및 냉각수의 온도변화를 나타낸 것이다. 각 시험연료에 따라 조금씩은 온도차이가 있으나 입·출구의 온도변화는 일정하게 유지되고 있어 시험연료의 변화에 따른 연소실 내부의 급격한 온도변화는 없는 것으로 추측되어진다.

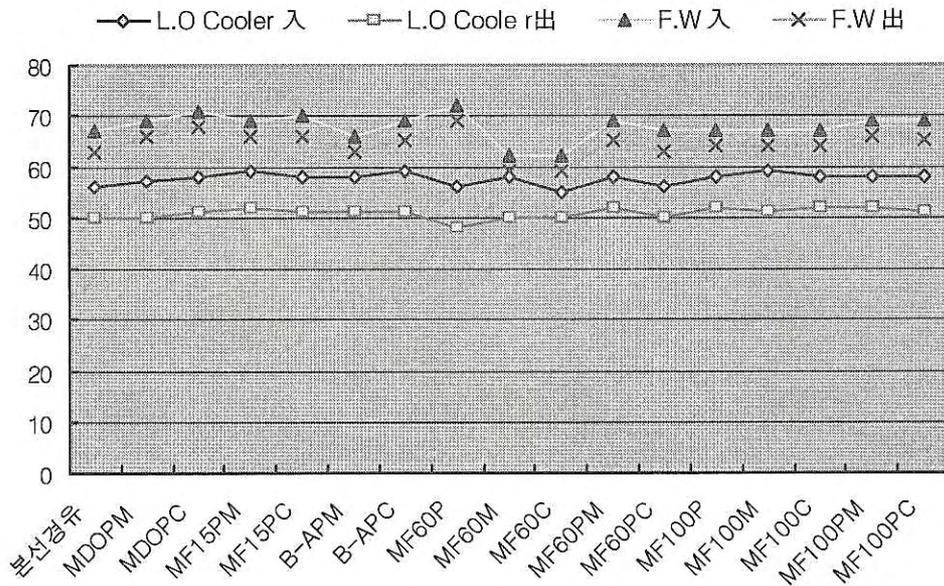


그림 197 무부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화

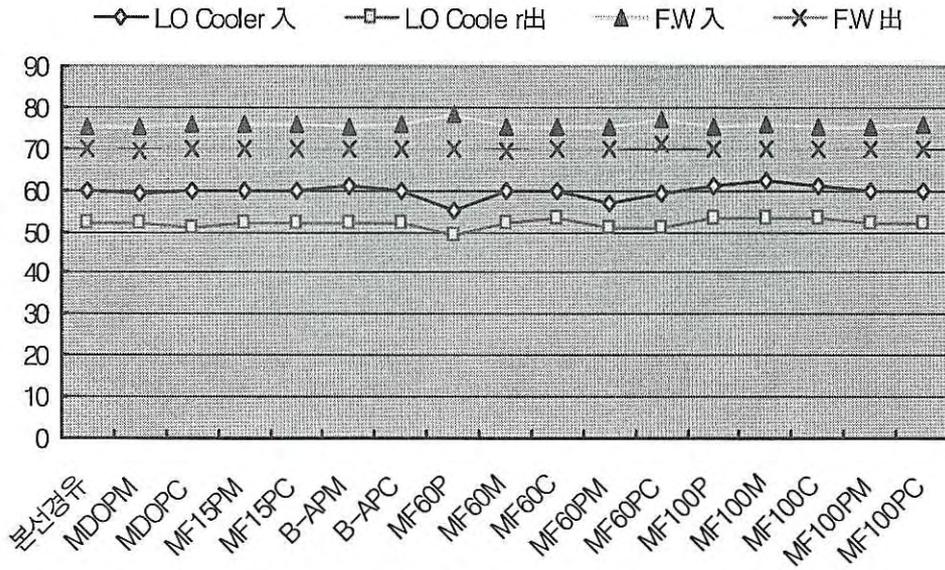


그림 198 1/4 부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화

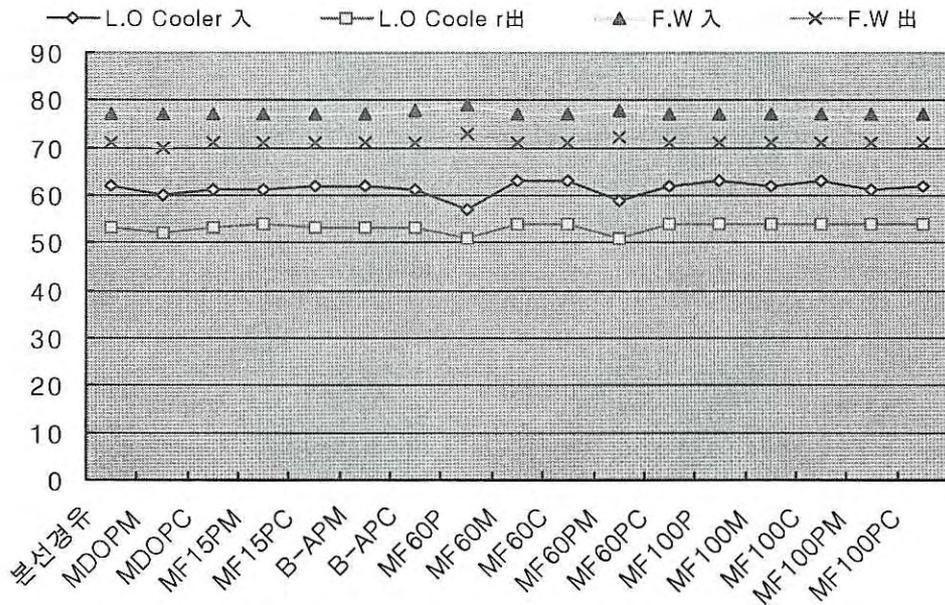


그림 199 1/2부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화

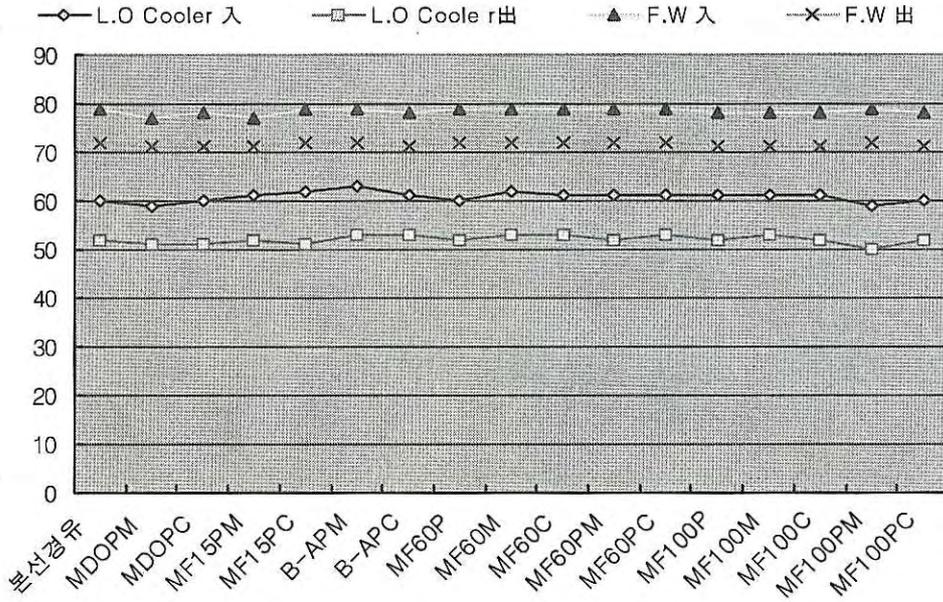


그림 200 3/4부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화

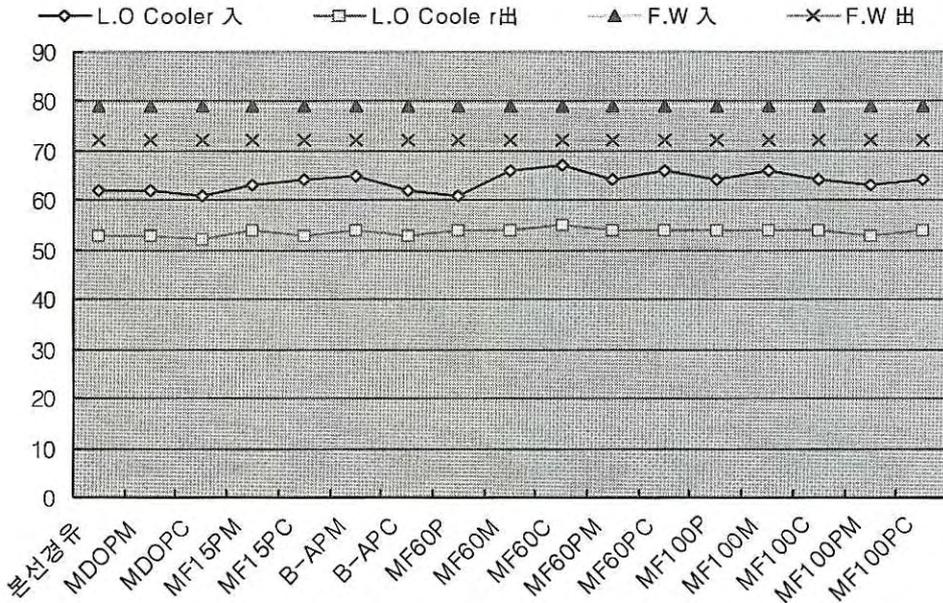


그림 201 4/4 부하 시 냉각수 및 윤활유 온도변화

나. 제702 오룡호

그림 202 및 표 61은 (주)사조산업 소속 384톤급 참치 연승어선 제702오룡호의 보조기관에 대한 배기가스의 온도변화를 나타낸 것이다. 제 702오룡호에서는 고속기관에서 사용 가능한 연료에 대하여 알아보기 위하여 연소시험을 실시하였다. 시험유로는 본선에서 사용하고 있는 MGO, MDO, MF15 및 Bunker A를 사용하였고 정제장치로는 MCH를 이용하여 전처리하였다. 702오룡호의 발전기관은 표 6에 설명된 것과 같이 Ssangyong Nigata 1200rpm 420BHP의 엔진을 원동기로 사용하고 있다.

제702 오룡호에서는 선박의 여건상 운항시험을 할 수가 없어, 부두에 정박한 상태에서 냉동기를 운전하여 발전기의 부하를 조절하였기 때문에 시험연료유 마다 부하의 차이가 있어 계측된 데이터를 기준으로 그림 202의 그래프를 완성하였다.

표 61에서와 같이 저부하에서는 온도차이가 크게 나지 않고 있으나 부하를 높일 수록 온도차가 크게 발생하고 있다.

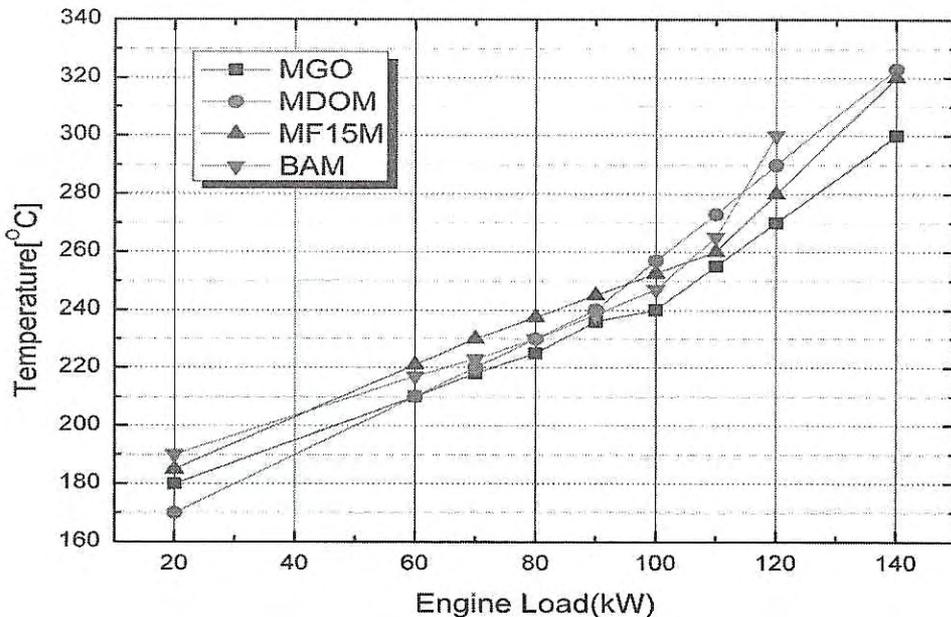


그림 202 부하별 배기온도 변화(제702 오룡호)

표 61 부하별 배기온도 변화(제702 오룡호)

시험유 Load	MGO ①	MDO MCH	MF15M	Bunker A M	시험유 평균 ②	②-①
20	180	170	185	190	181.7	1.7
60	210	210	221	217	216.0	6.0
70	218	220	230	223	224.3	6.3
80	225	230	238	230	232.7	7.7
90	236	240	245	238	241.0	5.0
100	240	257	253	247	252.3	12.3
110	255	273	260	265	266.0	11.0
120	270	290	280	300	290.0	20.0
140	300	323	320	--	321.5	21.5

다. 투리스 79호

표 62 및 그림 64은 (주)투리스 소속 트롤어선 500톤급 투리스 79호의 주기관에 대한 배기온도의 변화를 나타내고 있다. 투리스 79호에는 추진장치로 가변피치 프로펠러(Controllable Pitch Propeller : CPP)를 탑재하고 있어 엔진의 부하를 피치각도로 설정하였다. 시험유로는 MF 60, MF150, MF 180을 사용하였으며, 라스팔마스 현지에서는 혼합유를 종류별로 구매할 수 있는 여건이 되지않아 MF 180급 혼합유를 구매하여 비율적으로 혼합하여 MF150을 만들고 MF60은 본선에서 보유하고 있는 기름을 사용하였다.

그림 203에서와 같이 전반적으로 시험유들은 MGO보다 배기온도가 높게 나타났으며, 평균온도가 각 부하별로 배기온도가 20℃ 정도 차이가 나타났다. 그러나 투리스 79호에 탑재된 엔진(AKASAKA AH-38, 2200BHP)의 배기가스 최대허용온도는 380℃로 현재 4/4부하에서의 최대 배기가스 온도가 360℃로 최대허용온도 보다는 낮게 나타나고 있으나, 장기간 사용 후의 배기가스 상승을 고려하여 볼 때 MF100급 이상의 혼합유 사용시에는 배기온도에 주의 할 필요가 있다.

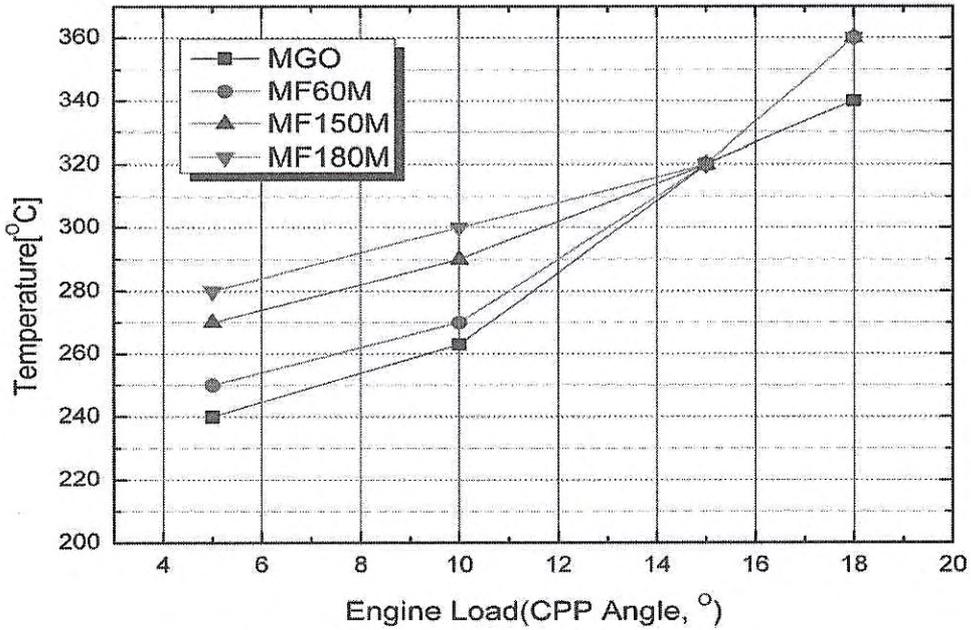


그림 203 부하별 배기온도 변화(투리스 79호)

표 62 부하별 배기온도 변화(투리스 79호)

시험유 Load CPP각도	MGO ①	MF 60 M	MF150 M	MF 180 M	시험유 평균 ②	②-①
5	240	250	270	280	266.7	26.7
10	263	270	290	300	286.7	23.7
15	320	320	320	320	320.0	0.0
18	340	360	360	360	360.0	20.0

그림 204는 및 표 63은 투리스 79호 주기관 1번실린더에 대한 Pmax의 변화를 나타내고 있다. 전반적으로 MGO 사용시 보다는 약 2bar 정도 높게 나타나고 있으나 큰 차이가 아니고, Pmax 최대허용치 이내에 있어 Pmax에 의한 문제는 없을 것으로 사료된다.

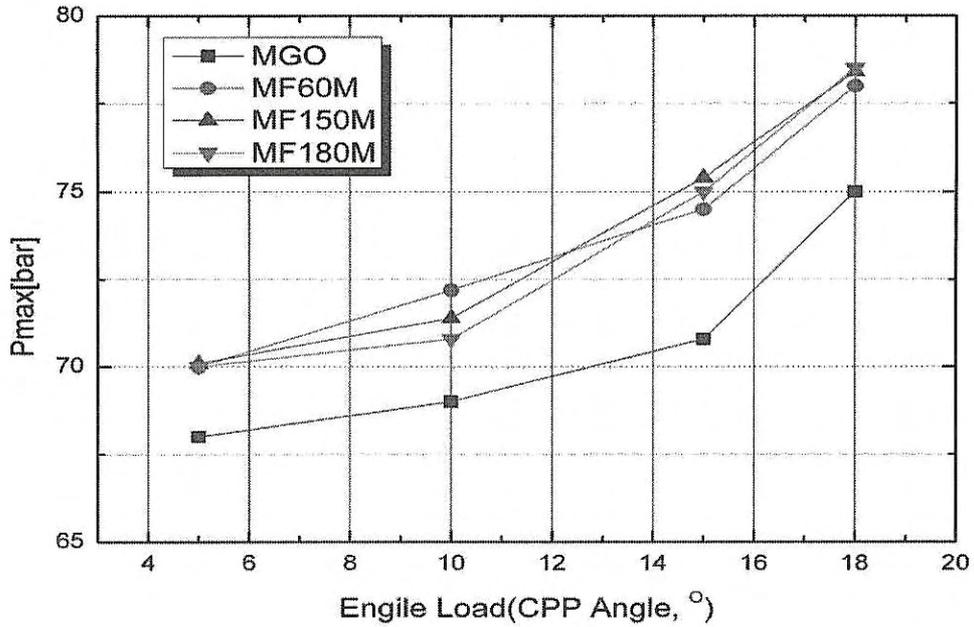


그림 204 부하별 Pmax 변화(투리스 79호)

표 63 부하별 Pmax 변화(투리스 79호)

시험유 Load CPP각도	MGO	MF60	MF150	MF180	시험유 평균 ②	② - ①
	①	M	M	M		
5	68	70	70	70	70.0	2.0
10	69	72	71	71	71.3	2.3
15	71	75	75	75	75.0	4.0
18	75	78	78	79	78.3	3.3

## 제2절 혼합유의 부식 및 마모

### 1. 시험연료 변화에 따른 금속의 부식경향 분석

가. 실험에 사용된 유류의 종류와 금속재료

#### 1) 유류의 종류

본 실험에 사용된 유류의 종류는 MGO, MF15, MF60, MF100, MF150 및 MF180을 사용하였으며, 그 혼합비는 아래 표와 같다.

표 64 사용된 유류의 혼합비 비교

유종	혼합비	
	cSt 380 (%)	MGO 3.0 (%)
MGO		
MF15	47.6	52.4
MF60	73.0	27.0
MF100	81.2	18.8
MF150	87.1	12.9
MF180	89.6	10.4

#### 2) 금속 재료

본 실험에 사용된 재료는 기계구조용 강, SS400강, SS400강을 용접한 강 그리고 공구강을 사용하여 실시하였다.

각 재료의 용도는 기계구조용 강인 SCM강은 보통 대형압력용기나 크랭크축, 치차 등과 같은 고강도 재료이며, SS400강은 탄소강중 저급강으로 가장 널리 사용되는 강종이다. 이 SS400강에 대하여 일미나이트계 용접봉(E4301)을 사용하였으며, 용접조건은 아크전압 40V, 아크전류 125~130A로 피복아크용접을 실시하였다. 이때 사용된 일미나이트계 용접봉은 조선의 중요부분이나 일반구조물, 보일

리 등에 사용되며, 기계적 성질 및 작업성이 뛰어나며, 고능률용접에 적합하고, 비교적 사용범위가 넓다는 특징이 있다. 공구강은 금속재료 혹은 비금속 재료를 상온 또는 고온에서 절삭 혹은 성형하는 공구에 사용되는 강으로서 상온 및 고온의 경도, 강도가 높은 것, 내마멸성, 인성, 내열성이 커야하는 특징이 있다. 언급한 재료에 관한 화학조성을 아래 표에서 비교하였다.

표 65 사용된 금속 재료의 화학 조성 비교

조 성	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Cu	V	Al
기계구조용 강	0.43	0.24	0.60	<0.0008	0.026	1.2	0.15	0.10		
SS400	0.13	0.24	0.98	0.020	<0.0027					
공구강	1.54	0.36	0.23	0.002	0.022	11.58	0.72		0.915	0.014

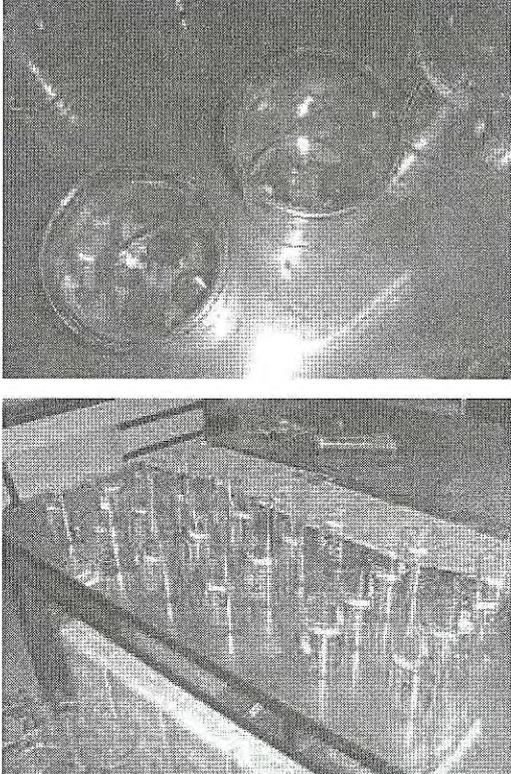
### 3) 시험 방법

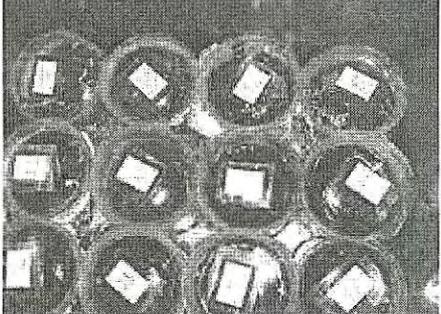
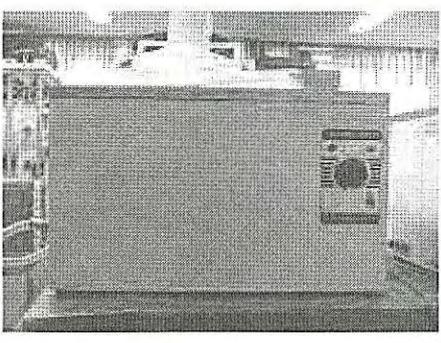
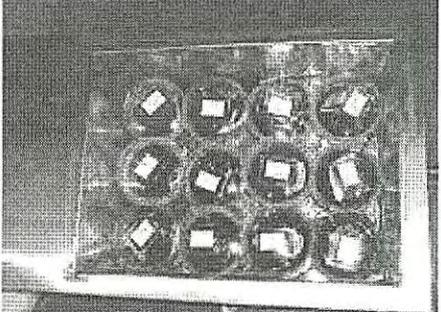
주사전자현미경 분석 실험 ; 500리터의 비이커 내에 4종류 시험편을 유류 변수에 따라 60℃로 일정온도를 유지한 후 1개월, 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과 후 채취하여 기름 성분을 제거한 후 아세톤과 증류수로 세척하여 24시간 이상 50℃의 노 속에 보관 후 분석을 실시하였다. 이 때 사용된 재료는 SS400강, SS400강의 용접부, 기계구조용 강 그리고 공구강이다.

무게 감소율 측정 시험 ; 일정 노출면적(SS400강은 183~189cm<sup>2</sup>, 공구강은 149~175cm<sup>2</sup>)을 갖는 시험편을 주사전자 현미경 분석 실험과 동일 조건에서 침적하여 1, 3, 6 그리고 9개월 경과 후 꺼내어 기름 성분을 완전 제거한 후 아세톤과 증류수로 세척하여 24시간 이상 50℃의 노 속에 보관 후 4 ~ 10g까지 측정하여 무게 감소율 [(초기무게-측정무게)X100/초기무게]을 구하여 상호 비교하였다. 본 실험에서는 SS400강과 공구강에 대해서 실시하였다.

실험 절차는 다음 표66과 같다.

표 66 침적 실험 절차

순서	전경 사진	내 용
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비이커 내부에 주사 전자 현미경 촬영용 시편을 에폭시로 마운팅을 실시하여 하단부에 배치한다.</li> <li>- 무게감량 시편은 측면에 기울게 하여 배치한다.</li> </ul>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시편을 배치한 후 연료유를 종류별로 일정량을 채운다.</li> </ul>

순서	전경 사진	내 용
3		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 증류수의 유입을 방지하기 위하여 랩과 고무줄을 이용하여 수차례 여러 겹 감싼다.</li> </ul>
4		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해당 비이커에 채취시기와 연료유 종류 등을 표시한다.</li> </ul>
5		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항온조내에 보관하여 60도를 유지한다.</li> <li>- 항온조(제조 : 창신 Scientific 10~110'C, 모델명 : C-WB2 20 watt)</li> <li>- 이후 일정 간격으로 시편을 채취하여 현미경분석과 무게 감량을 측정한다.</li> </ul>
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항온조에 보관한 상태에서의 전경</li> </ul>

## 나. 주사전자현미경 분석 시험

### 1) MGO인 경우

그림 205와 206은 MGO에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우는 부분적으로 용해반응에 의한 부식이 발생하였으며, 고배율로 갈수록 부식이 심한 부위는 박리현상과 같이 용해되어 있는 경우가 관찰되었다. 한편 용접부의 경우는 모재부에 비하여 용해반응이 보다 심한 부식이 발생하였으며, 그 분포가 크고 깊게 나타난 것으로 보인다. 한편 기계구조용 강은 부분적인 부위에서만 부식이 발생하였으며, 공구강의 경우는 기계구조용 강보다 많은 부식이 발생하였음을 알 수 있었다. 전체적으로 기계구조용 강의 경우가 가장 부식이 적게 발생하였으며, 다음은 공구강, 그리고 SS400강 순으로 나타났다. 공구강은 내식성을 향상시키는 크롬의 함량이 11.5%이고, 기계구조용 강은 1.2%에 불과하나 오히려 기계구조용강이 내식성이 우수한 경향을 보인 이유는 내식성 향상에 도움을 주는 구리가 0.10% 포함되어 있으며, 내식성을 저하시키는 탄소가 현저히 적게 포함되었기 때문으로 판단된다. 한편 SS400강은 가장 낮은 내식성을 나타낸 이유는 가장 저급강이며, 내식성을 향상시키는 크롬이나 구리는 포함되어 있지 않기 때문으로 여겨진다. 또한 용접부위가 부식이 많이 발생한 이유는 용접재료의 화학조성과 용접부 특유의 용접 공정에 기이한 것으로 여겨진다.

그림 207 ~ 212는 MGO에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우에 비해 동일한 경향으로 진전되어 넓은 범위에 걸쳐서 부식이 발생하였음을 알 수 있으며, 6개월 경과한 경우는 보다 깊이 방향으로 진전되어 가고 있는 것으로 사료된다. 이러한 이유로 인하여 시간이 경과함에 따라 부식이 진행하면서 구조물의 두께가 얇아져서 파괴에 이르는 것으로 여겨진다. 한편 9개월이 경과한 경우는 시편 전체에 걸쳐서 부식이 진행되어 부식생성물로 인하여 전체적으로 분포되어 있는 것으로 판단된다. 그리고 용접부의 경우는 1개월과 3개월은 거의 유사한 경향이 관찰된 반면 6개월 경

과한 뒤에는 현저하게 부식이 진행되어 깊이 방향으로 부식이 진전된 경향을 관찰할 수 있었다. 이후 9개월 경과한 경우는 부식생성물로 인하여 모재인 경우와 거의 유사한 시편 형상을 관찰할 수 있었다. 그러므로 MGO 환경에서는 SS400강의 경우 가혹한 부식 환경이기 때문에 적용하는 것은 부적절한 것으로 판단된다. 한편 기계구조용 강은 3개월 경과 후 보다 부식이 진전되었으며, 6개월 경과한 후에는 공식(pitting) 부식이 발생하였음을 알 수 있었다. 이러한 공식은 주로 알루미늄이나 스테인리스강과 같은 금속에서 발생하는 대표적인 부식 경향인데 기계구조용강에서도 이런 부식이 발생한 이유는 크롬이나 탄소에 기인한 것으로 판단된다. 9개월 경과한 후에는 SS400강과 같이 부식생성물로 인하여 시편을 덮고 있음을 알 수 있었다. 한편 공구강은 1개월 경과 후 피팅과 같은 부식이 발생한 것이 성장하거나 합체되어 가고 있는 경향을 나타냈으며, 6개월 경과한 후에는 그러한 경향이 보다 많이 나타났음을 알 수 있었는데 이는 크롬과 탄소의 함량이 많기 때문으로 여겨진다. 한편 9개월 경과한 후에는 다른 시편과 마찬가지로 부식생성물이 많이 형성되었음을 알 수 있었다.

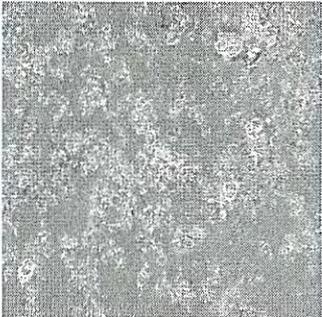
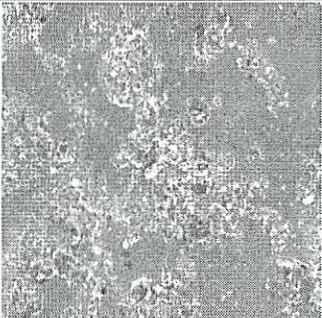
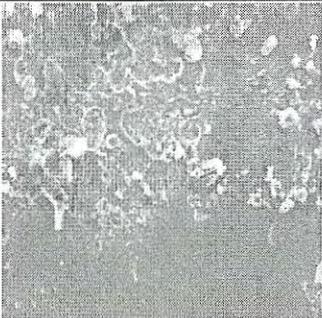
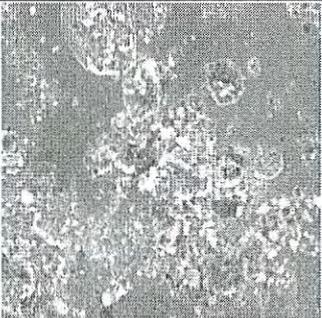
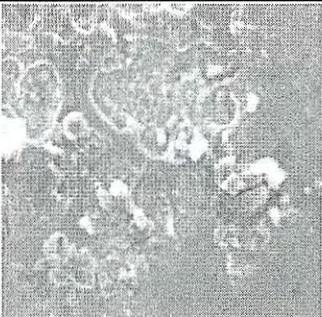
배율	MGO. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 205 MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

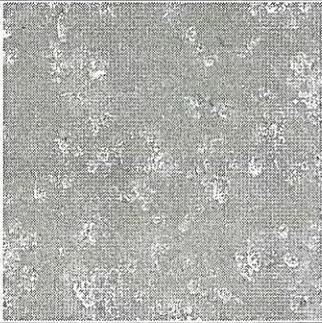
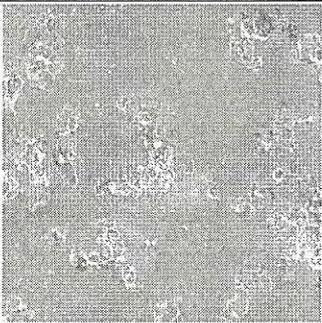
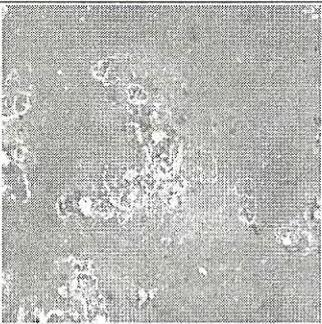
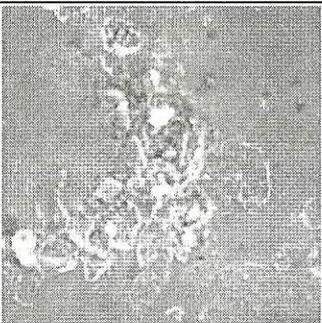
배율	MGO 1개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 206 MGO에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

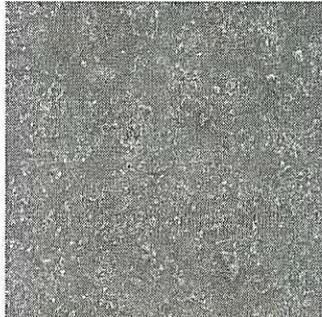
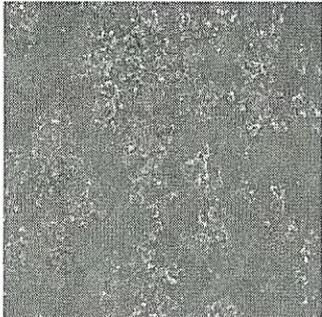
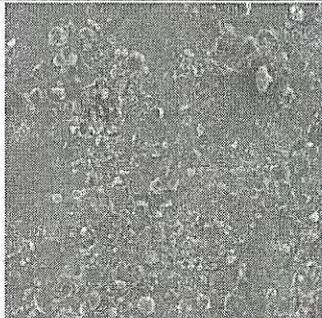
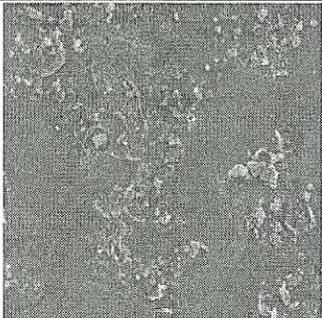
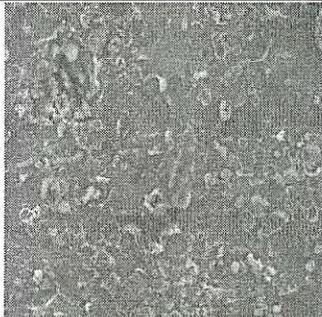
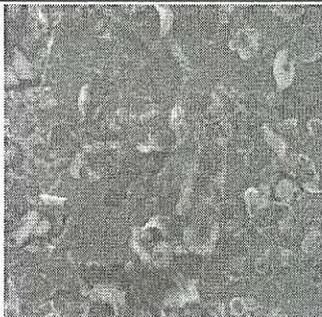
배율	MGO 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 207 MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

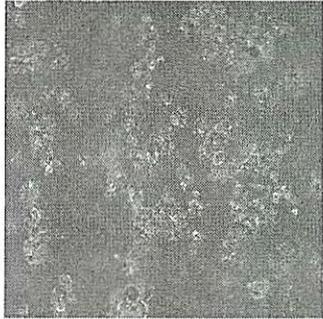
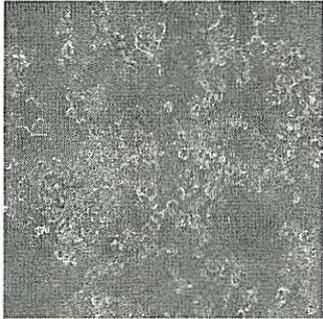
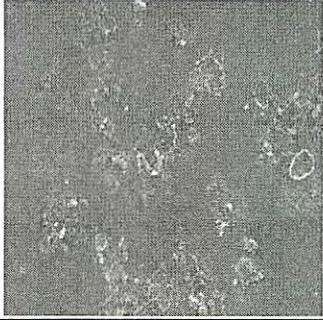
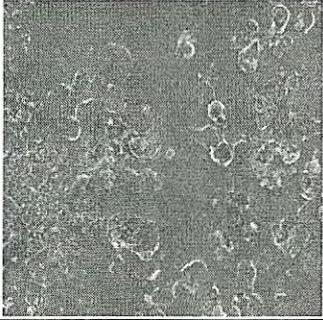
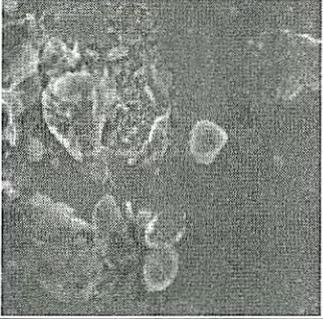
배율	MGO 3개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 208 MGO에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

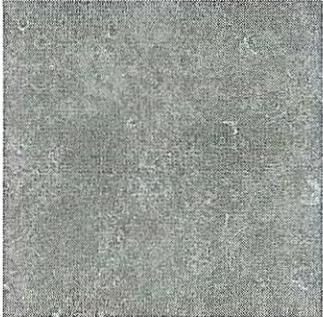
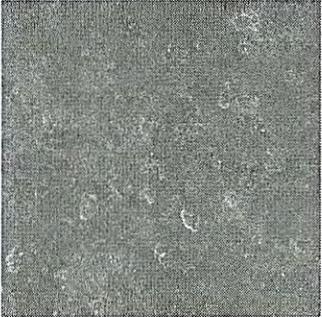
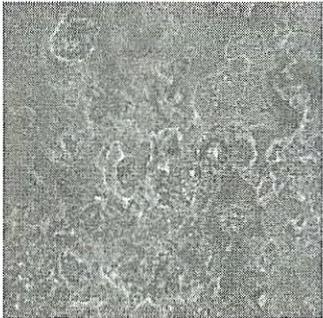
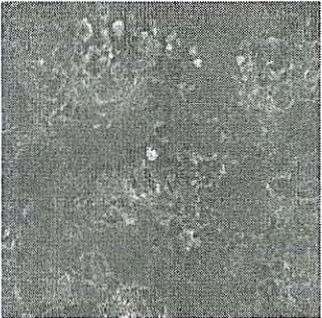
배율	MGO 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 209 MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

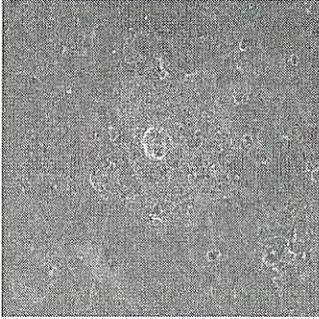
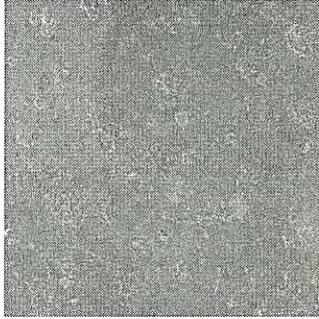
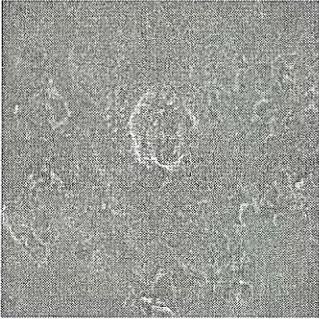
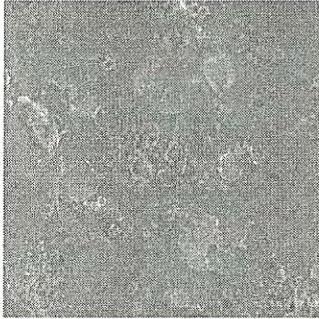
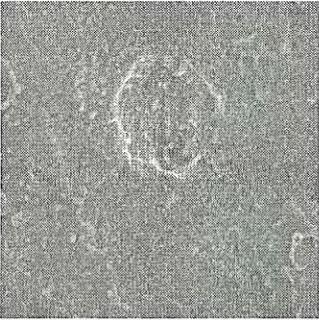
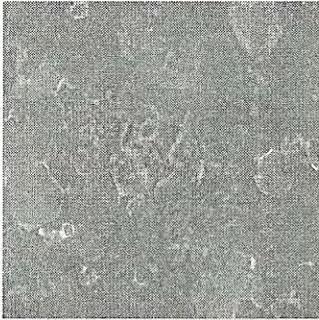
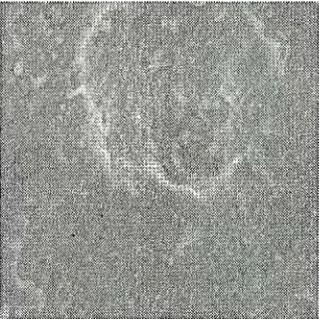
배율	MGO 6개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 210 MGO에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

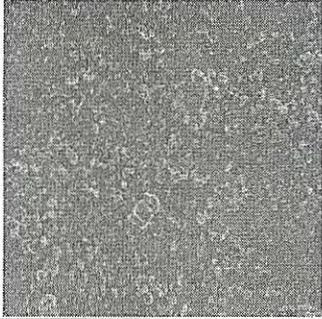
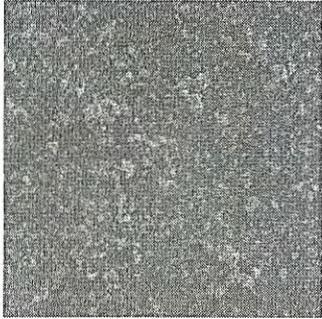
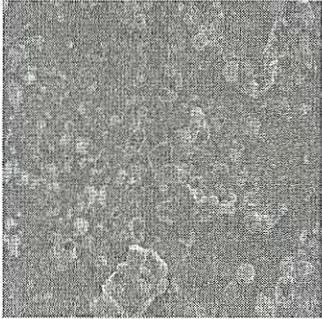
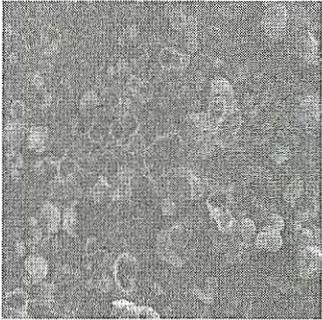
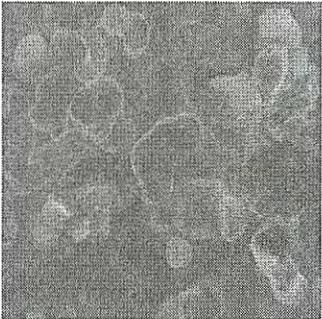
배율	MGO 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 211 MGO에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편형상

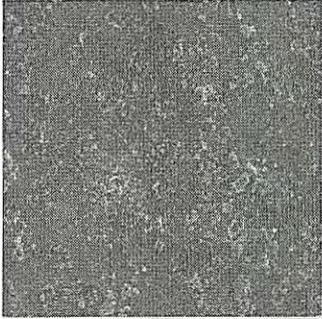
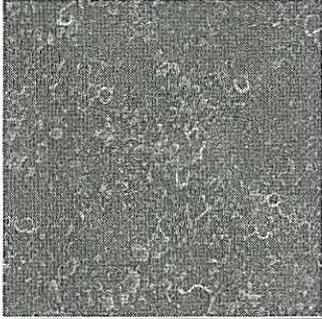
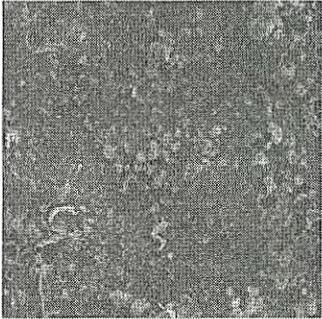
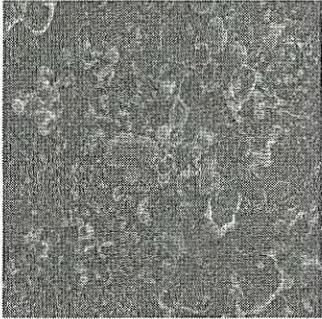
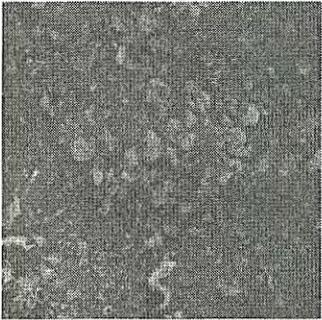
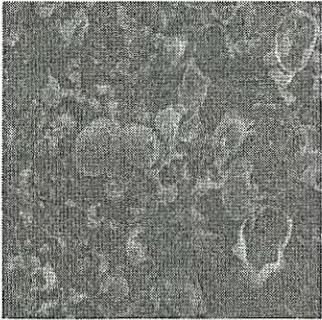
배율	MGO 9개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 212 MGO에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

## 2) MF15인 경우

그림 213과 214는 MF15에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우는 불과 몇 개의 작은 피팅이 관찰되었으며, 용접부에서는 피팅의 개수가 많으며, 그 크기도 약간 큰 것이 관찰되었다. 그러나 기계구조용강과 공구강에는 용해반응에 의한 부식은 전혀 관찰되지 않았다.

그림 215 ~ 220은 MF15에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우와 비교하여 거의 동일한 경향을 나타냈다. 부분적으로 스크레치와 같은 것이 관찰되었는데 이는 연마시 발생한 것이므로 연료유에서의 부식과는 무관한 것이라 할 수 있다. 한편 용접부는 피팅이 약간 더 많이 관찰되었음을 알 수 있다. 이후 SS400강의 경우는 6개월에서 현저히 공식부식이 발생했음을 알 수 있었으며, 9개월이 경과하면서 이러한 공식은 보다 진전되어 7~8  $\mu\text{m}$  크기의 공식도 관찰되었으며, 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 한편 용접부의 경우는 6개월 후에 심한 용해반응으로 인하여 부식이 심하게 관찰되었으며, 9개월 경과한 후에는 현저한 부식이 발생하였음을 알 수 있었다. 기계구조용 강과 공구강은 SS400강과 같이 3개월이 경과한 시점까지는 거의 유사한 경향이 관찰되었다. 6개월이 경과한 기계구조용 강과 공구강의 경우 아주 작은 용해반응이 관찰되었으며, 불과 몇 개의 공식과 같은 부식도 관찰되었다. 9개월 경과한 뒤에는 부식이 보다 진전되었으며, 그 분포가 많음을 알 수 있었다. 한편 공구강의 경우는 6개월 경과한 시점에서 현저한 공식과 같은 부식이 관찰되었으며, 명확하지는 않으나 입계 주위에서 발생한 것으로 여겨졌다. 9개월 경과한 시점에서는 현저한 입계에서의 부식이 발생하였음을 알 수 있었다. 전체적으로 SS400강에 대하여 용접한 부위가 부식이 가장 많이 진전되었으며, 그 다음은 SS400강, 공구강 그리고 기계구조용 강의 순으로 나타났다. MF15의 경우는 MGO에 비하여 부식이 현저히 적게 발생했으며, 9개월 경과한 뒤에도 부식생성물이 쌓이는 현상은 관찰되지 않았다.

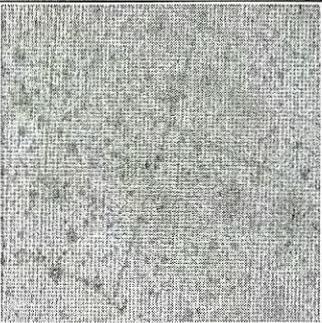
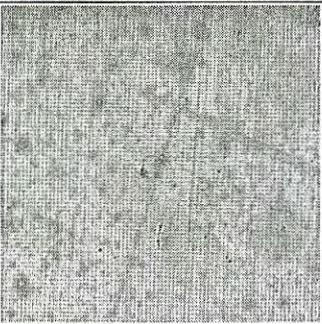
배율	MF15. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 213 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

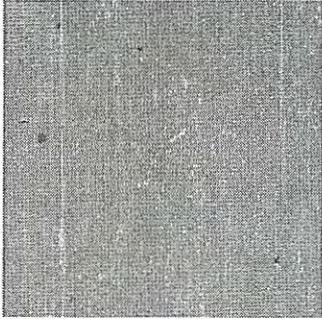
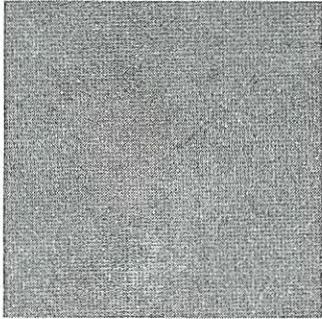
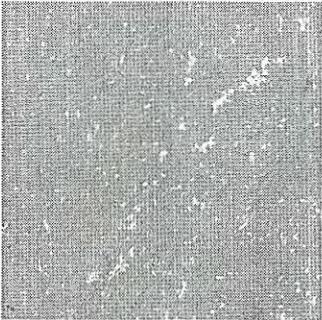
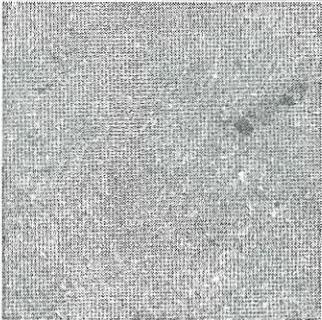
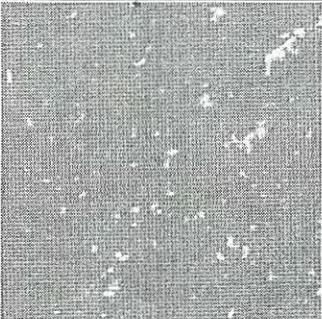
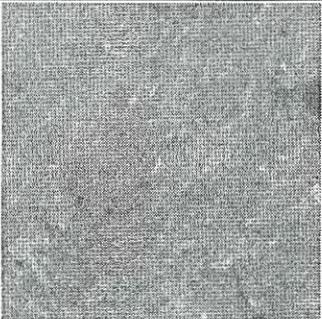
배율	MF15. 1개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 214 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

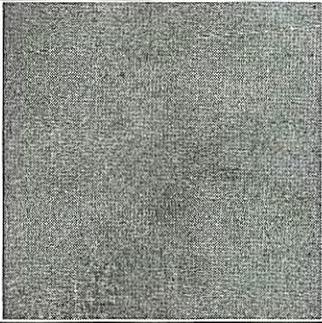
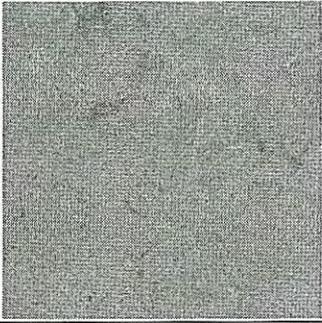
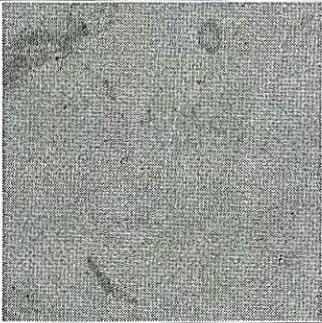
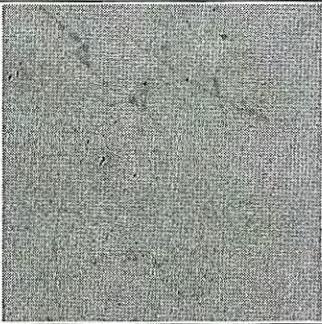
배율	MF15. 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 215 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

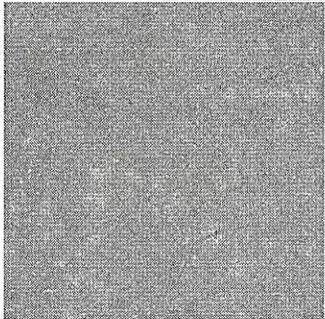
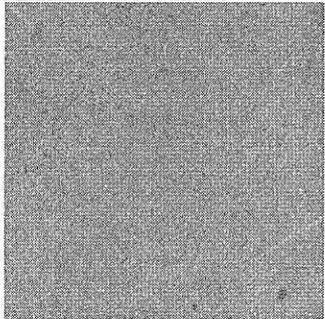
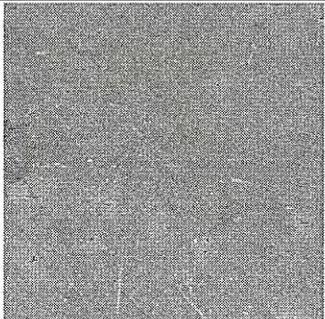
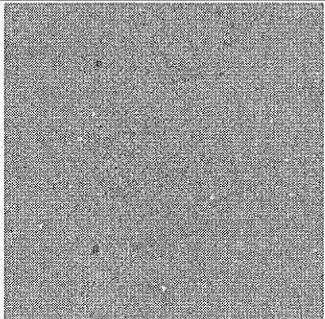
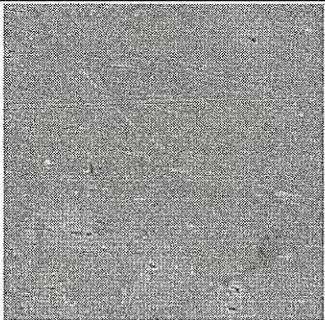
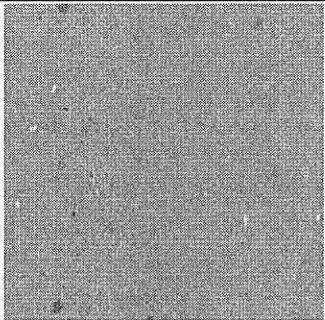
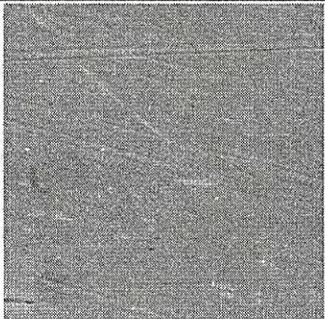
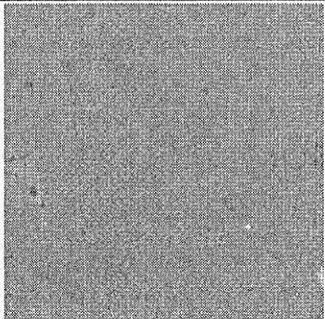
배율	MF15. 3개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 216 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

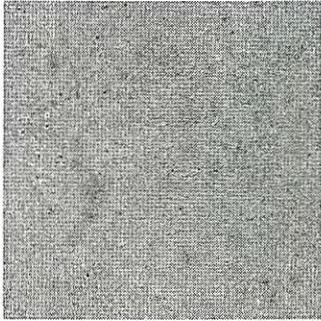
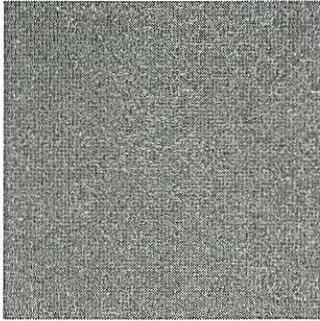
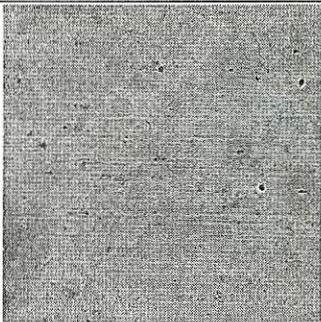
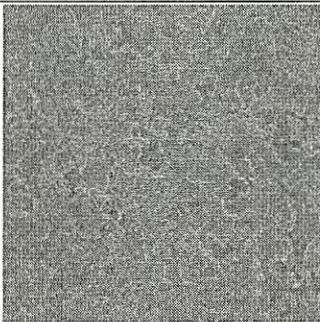
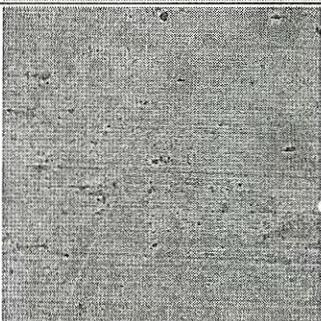
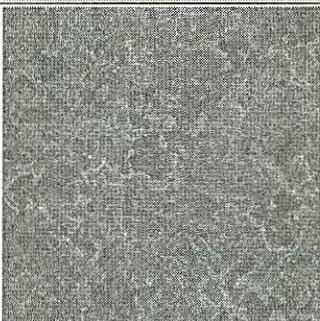
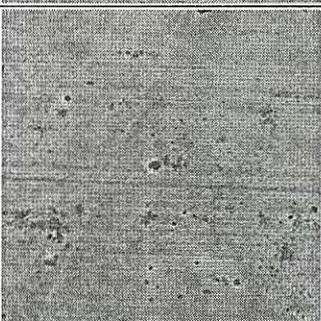
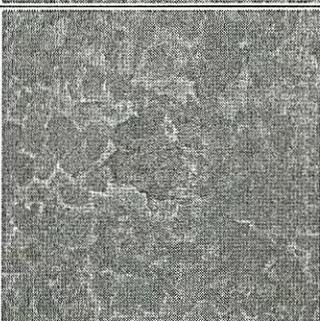
배율	MF15. 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 217 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

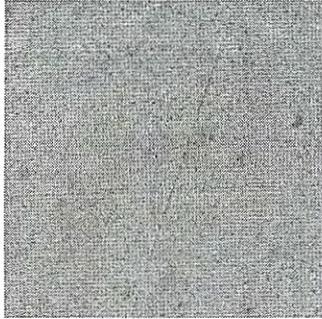
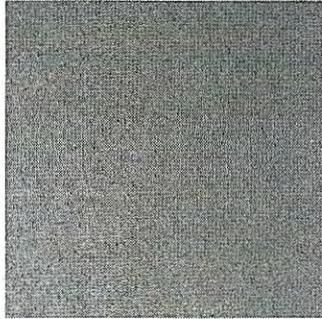
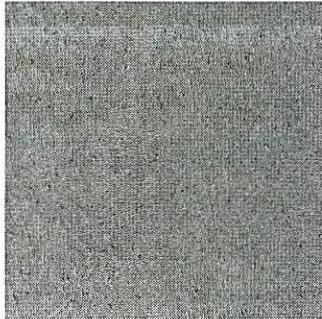
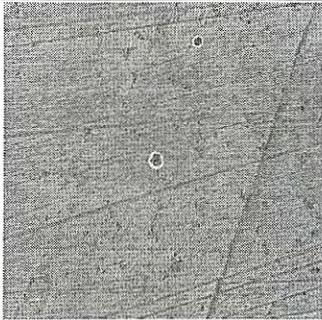
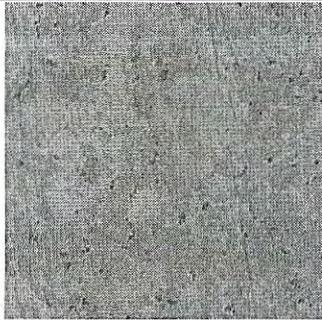
배율	MF15. 6개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 218 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

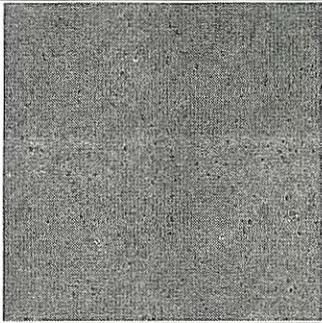
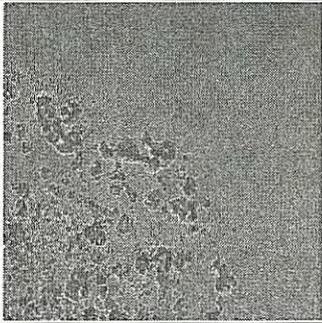
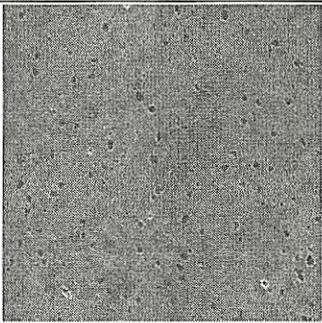
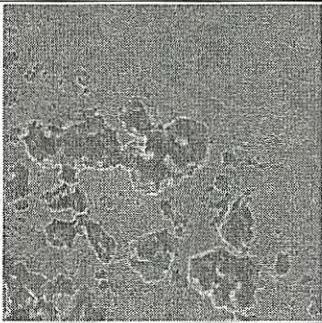
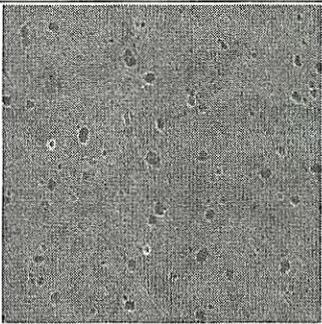
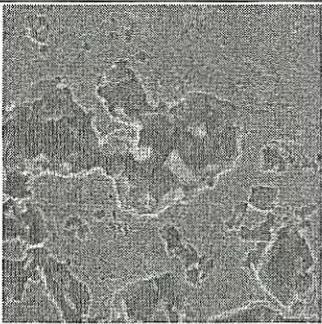
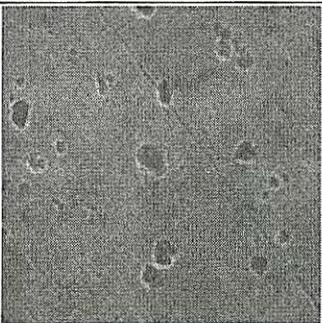
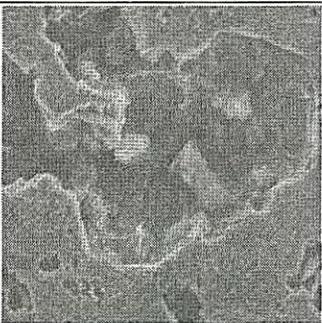
배율	MF15. 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 219 MF15에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

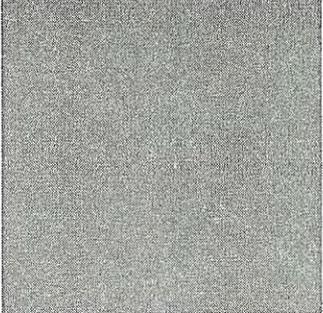
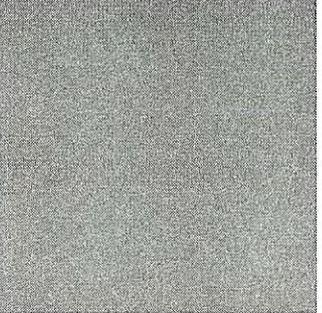
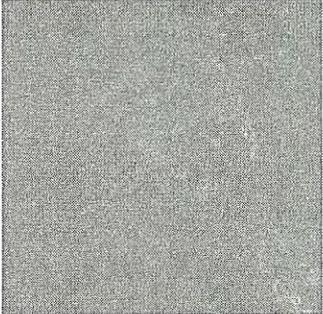
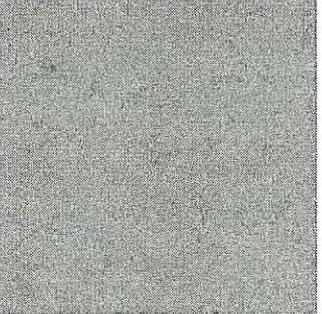
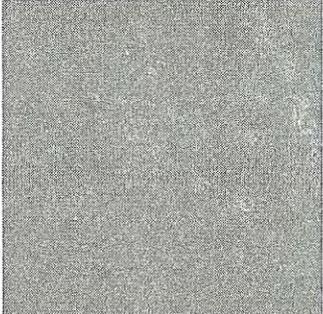
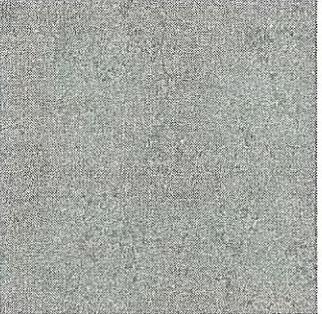
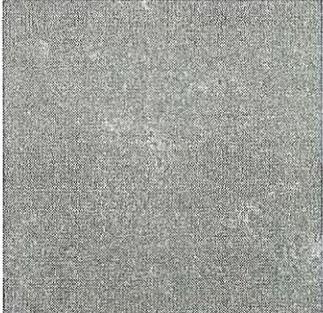
배율	MF15. 9개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 220 MF15에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

### 3) MF60인 경우

그림 221과 222은 MF60에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우는 흰색 원이 관찰되었는데 그 내부에 약간의 부식경향이 관찰되었으며, 용접부도 거의 유사한 경향이 나타났으나 약간 더 많은 부식이 발생했음을 알 수 있었다. 한편 기계구조용 강외의 경우는 거의 부식이 발생하지 않았으며, 약간의 부식이 관찰되었다.

그림 223 ~ 228는 MF60에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월과 6개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우와 비교하여 보다 많은 부식이 동일한 경향으로 진행되었다. 그러나 9개월 경과한 후에는 현저한 부식 발생으로 인하여 시편 전체에 걸쳐서 부식생성물이 형성되었음을 관찰할 수 있었다. 이에 비해 용접부에서는 3개월의 경우 1개월과 같이 유사한 경향이 관찰되었으며, 6개월이 경과한 경우는 현저한 공식과 같은 부식이 관찰되었다. 이후 9개월 경과한 후에는 SS400강과 거의 동일하게 부식생성물이 형성되었음을 알 수 있었다. 기계구조용 강과 공구강의 경우는 3개월은 1개월과 거의 유사한 경향을 보이다, 6개월 경과한 후의 경우 약간의 부분적인 부식은 관찰되었으나 전체적으로 거의 유사한 경향이 관찰되었으며, 9개월 경과한 후에는 SS400강과 거의 유사한 경향을 나타냈다.

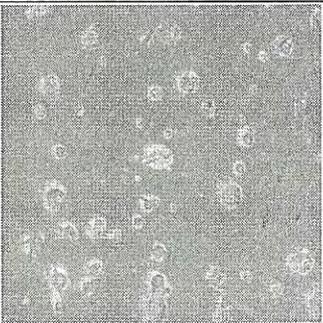
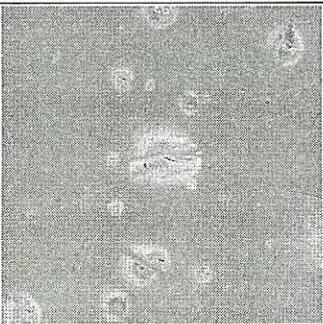
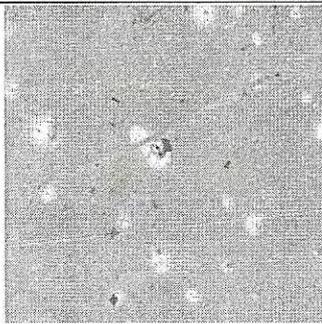
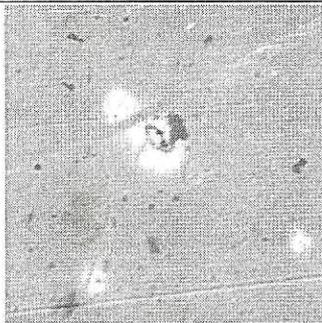
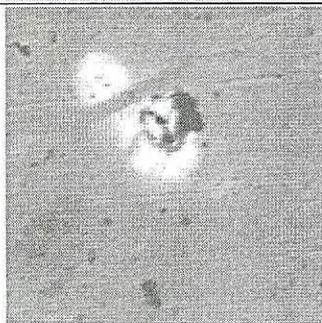
배율	MF60. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 221 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

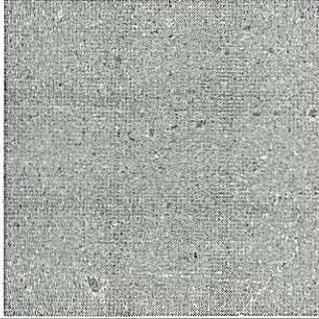
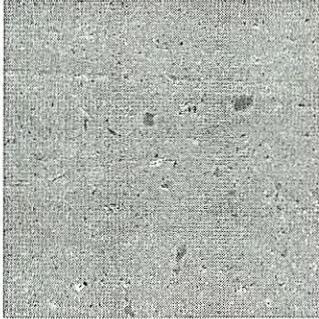
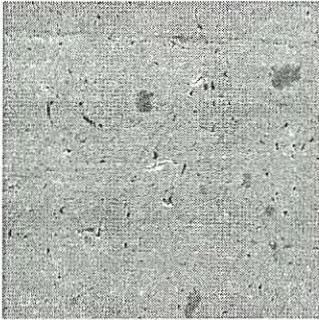
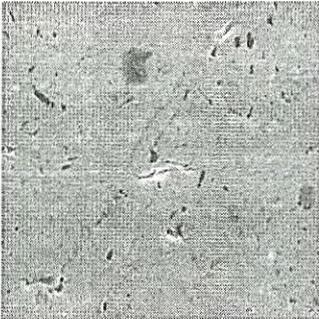
배율	MF60. 1개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 222 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

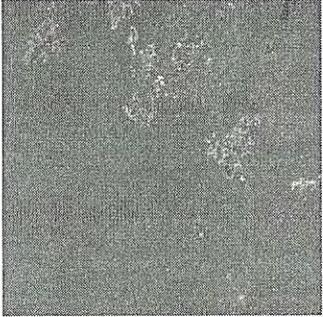
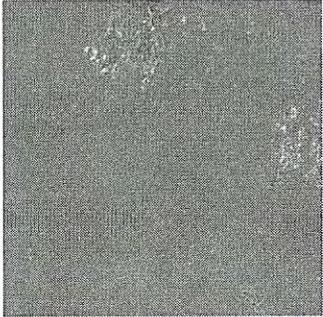
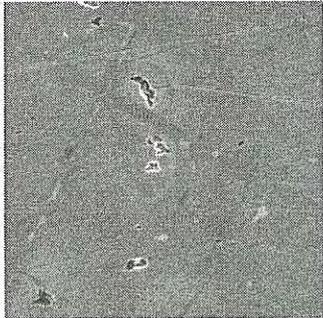
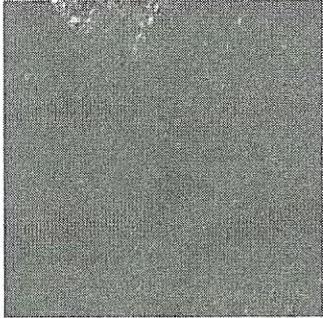
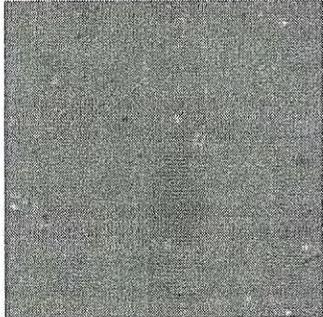
배율	MF60. 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 223 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

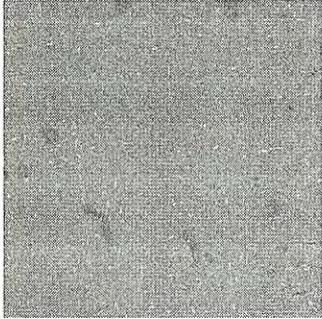
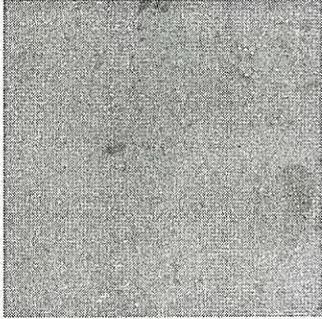
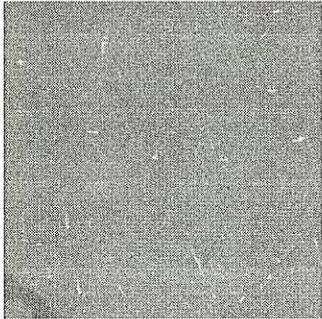
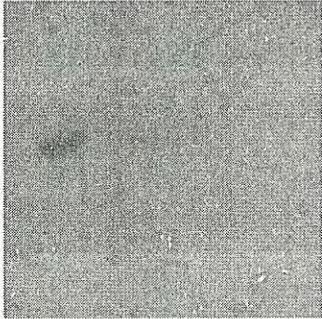
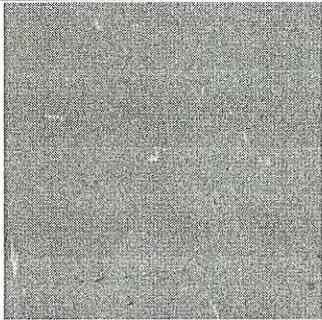
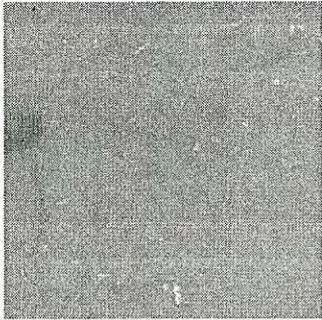
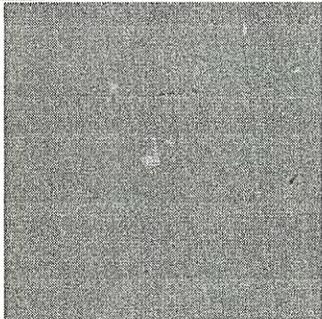
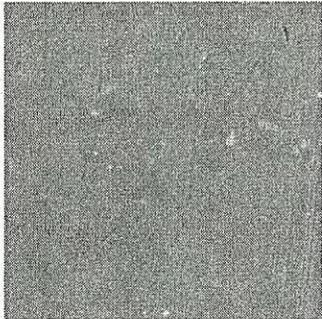
배율	MF60. 3개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 224 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

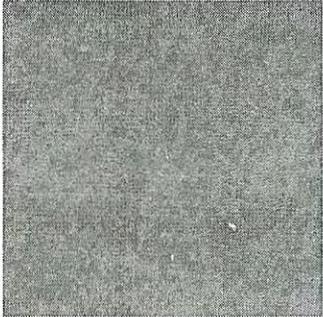
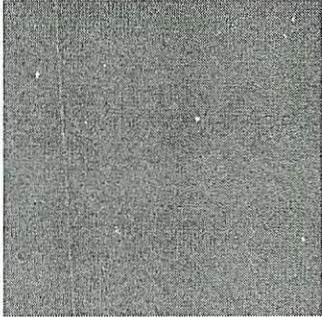
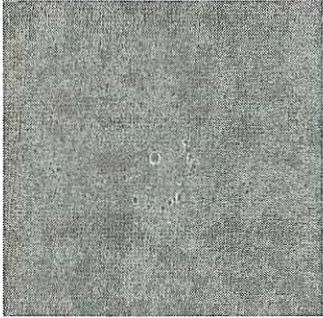
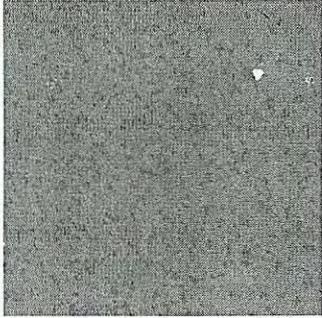
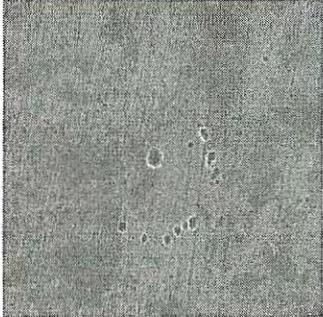
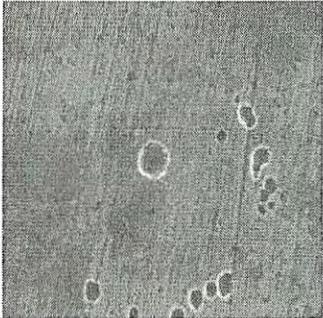
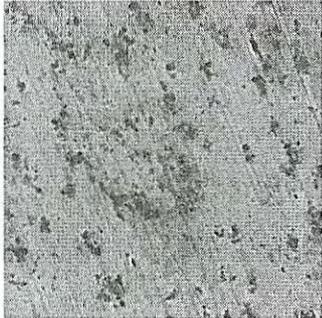
배율	MF60. 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 225 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

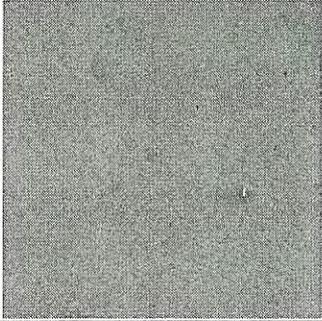
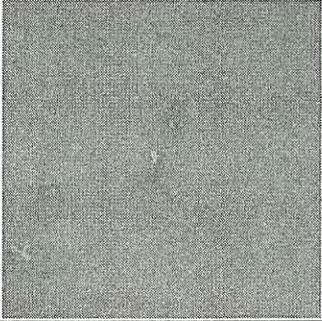
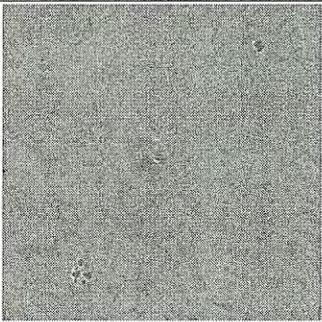
배율	MF60. 6개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 226 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

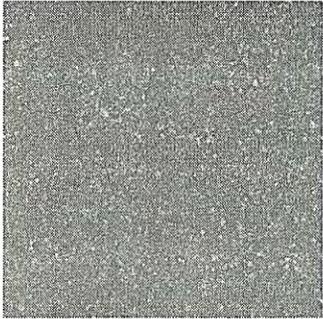
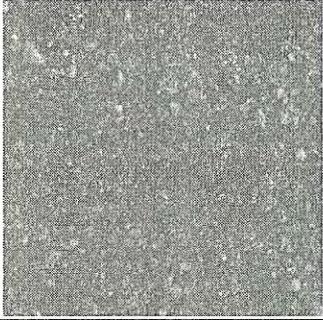
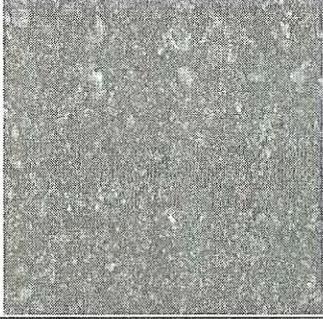
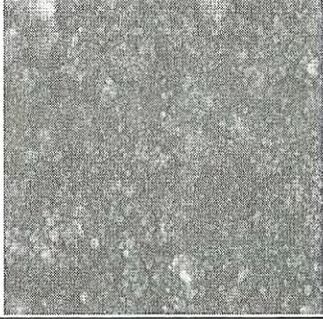
배율	MF60. 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 227 MF60에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

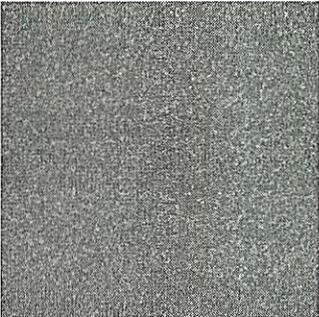
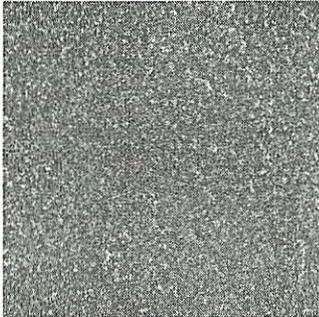
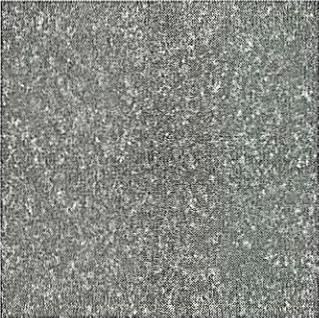
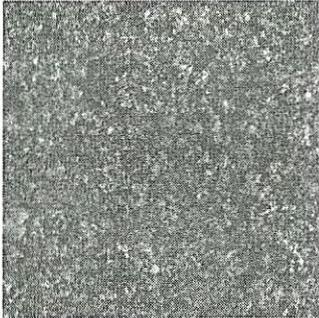
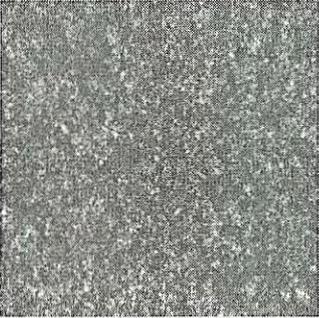
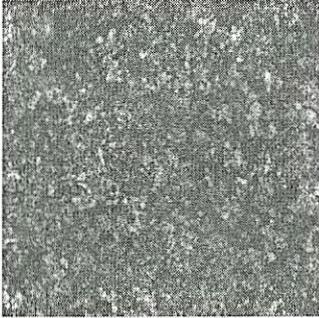
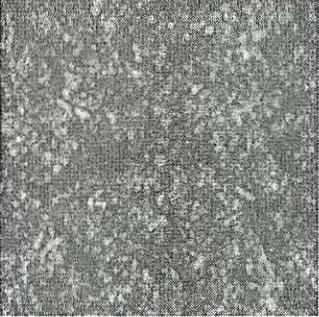
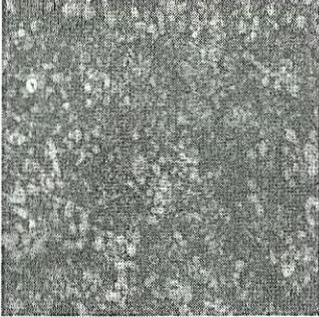
배율	MF60. 9개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 228 MF60에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

#### 4) MF100인 경우

그림 229와 230은 MF100에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우, 일정 방향으로 부식이 발생하였음을 알 수 있었으며, 용접부의 경우는 거의 유사한 경향이 나타났으나 보다 많은 부식 경향이 관찰되었다. 한편 기계구조용 강과 공구강의 경우는 약간의 부식만 발생한 깨끗한 경향을 나타냈다.

그림 231 ~ 236는 MF100에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월과 6개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우와 비교하여 보다 많은 부식이 동일한 경향으로 진행되었다. 이후 9개월 경과한 후에는 현저한 부식 발생은 물론 공식과 같은 부식이 합체되는 경향도 관찰되었다. 이에 비해 용접부에서는 3개월의 경우 1개월과 같이 유사한 경향이 관찰되었으며, 이후에는 약간의 부식만 진전되었으며, 9개월이 경과한 뒤에는 그 경향이 뚜렷하였다. 한편 기계구조용 강과 공구강의 경우는 시간 경과에 따라 거의 차이를 보이지 않다가 9개월 경과한 후에는 약간의 부식생성물만 관찰되었다.

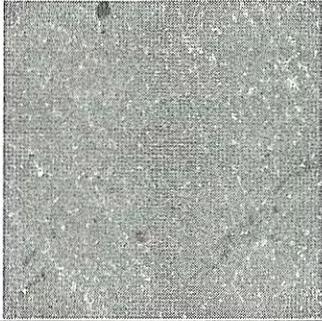
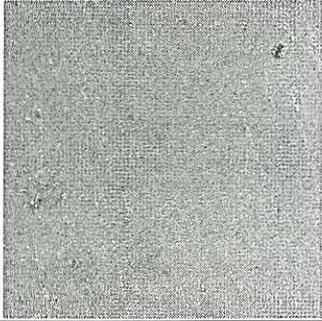
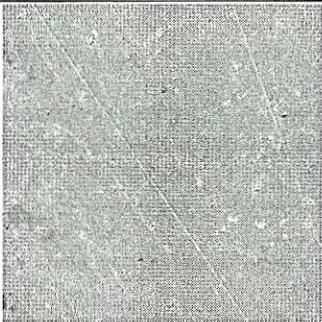
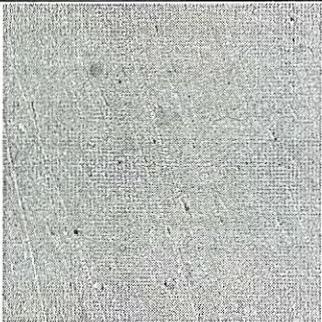
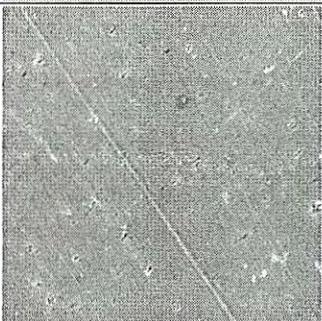
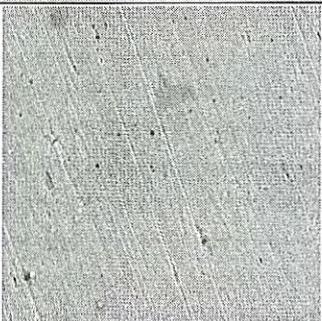
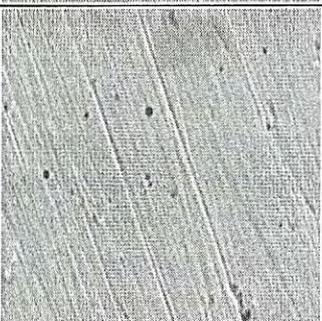
배율	MF100. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 229 MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

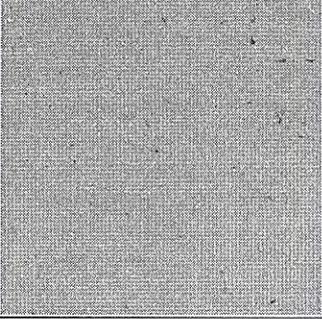
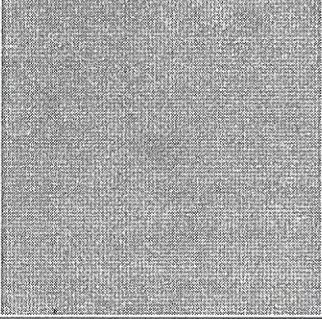
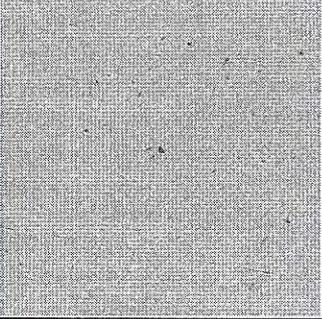
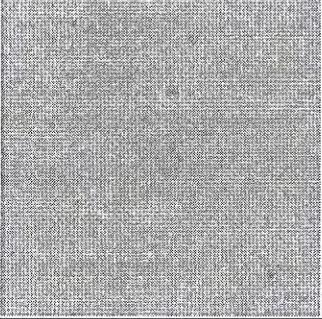
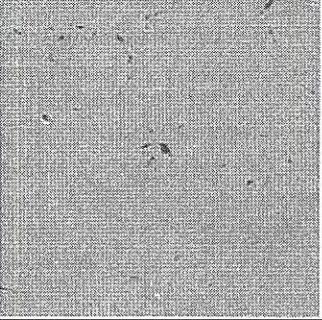
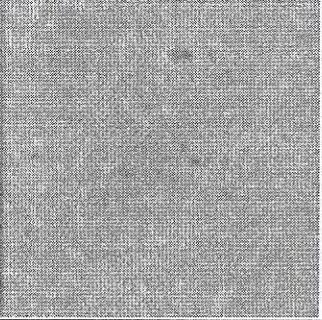
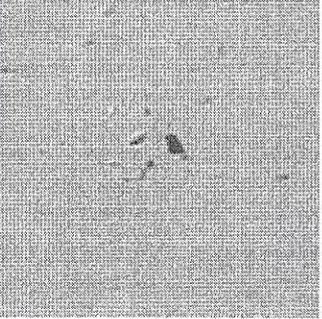
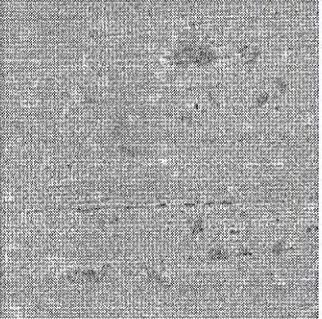
배율	MF100. 1개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 230 MF100에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

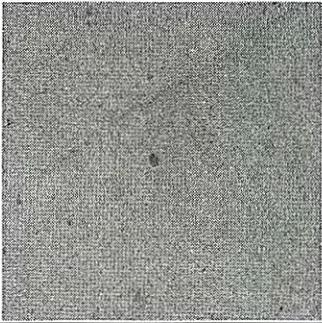
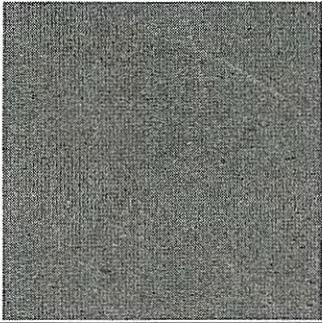
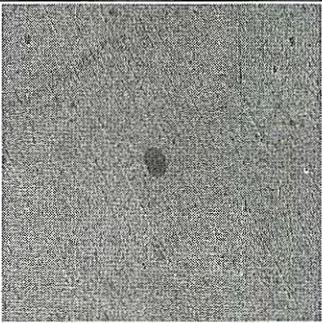
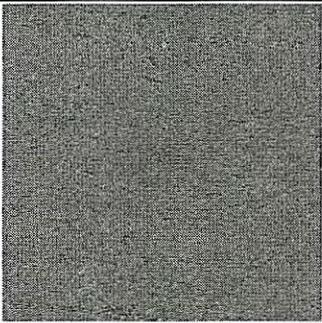
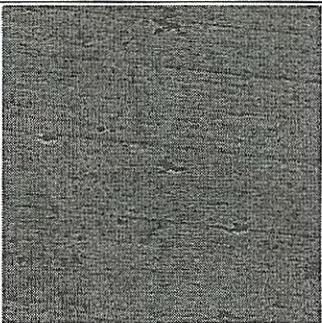
배율	MF100. 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 231 MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

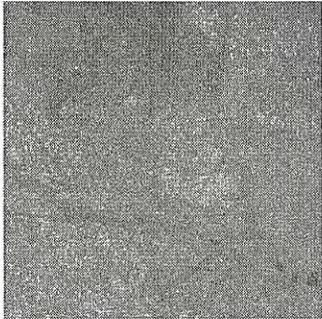
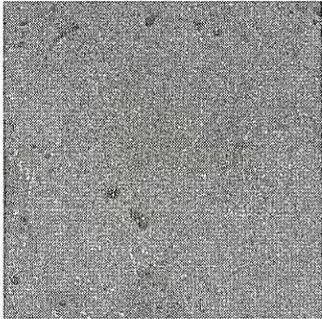
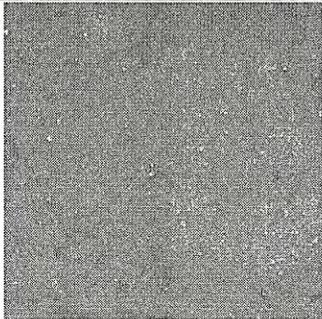
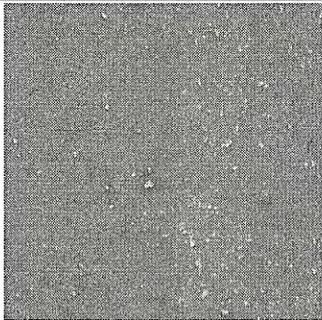
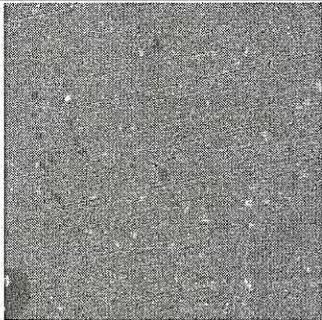
배율	MF100. 3개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 232 MF100에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

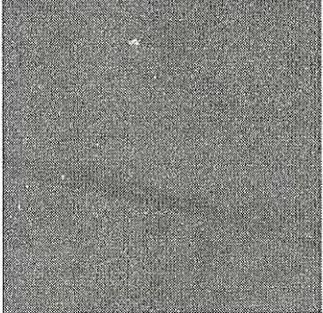
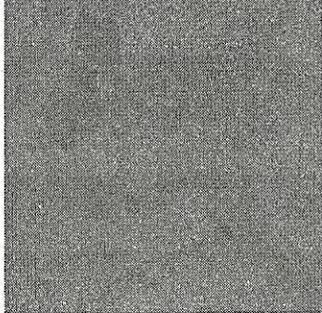
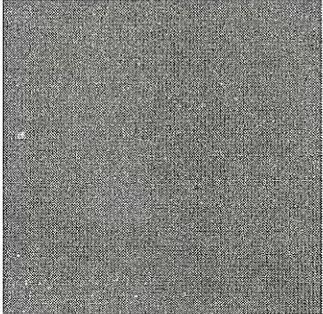
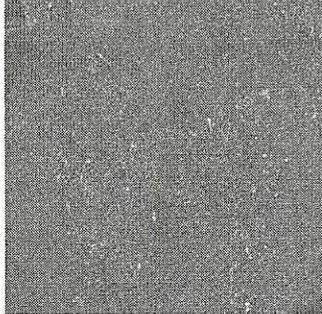
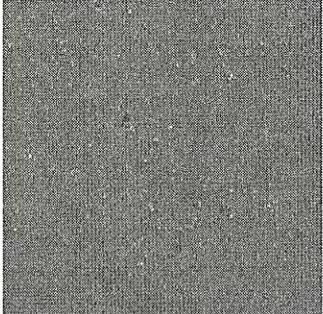
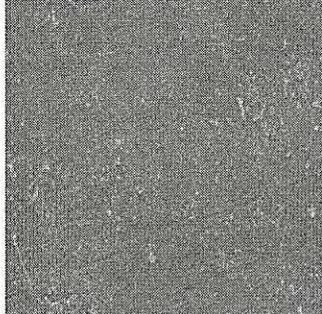
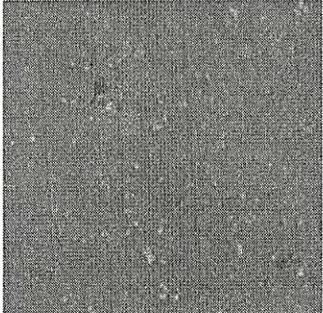
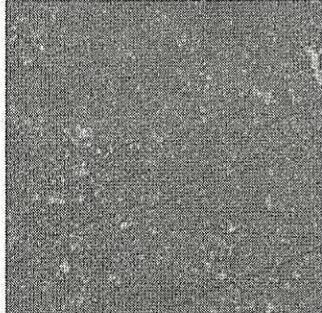
배율	MF100. 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 233MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

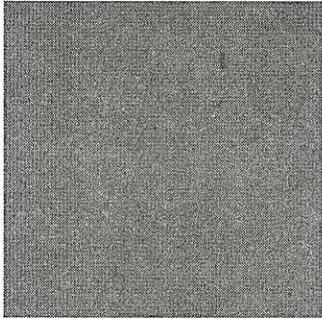
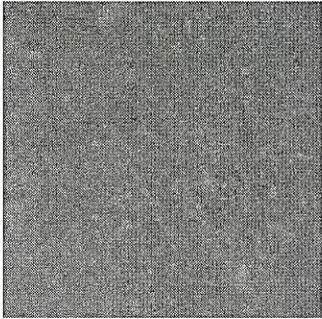
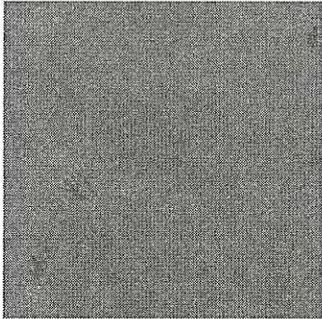
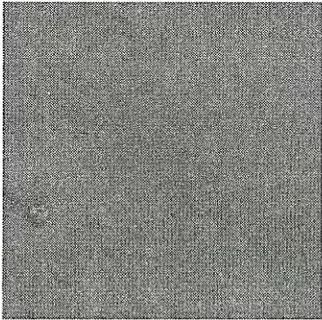
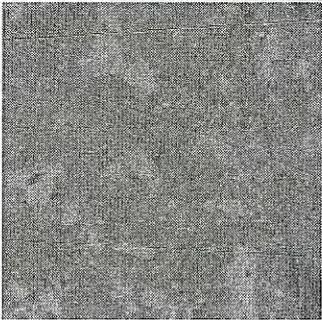
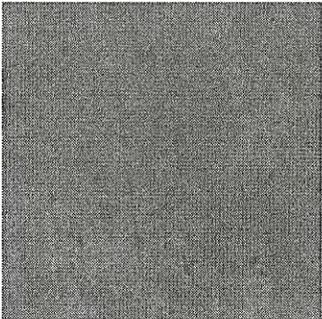
배율	MF100. 6개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 234 MF100에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

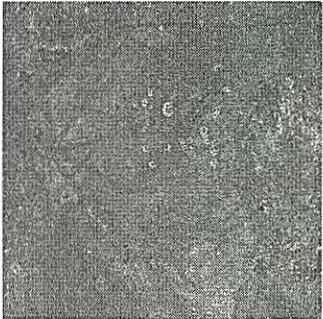
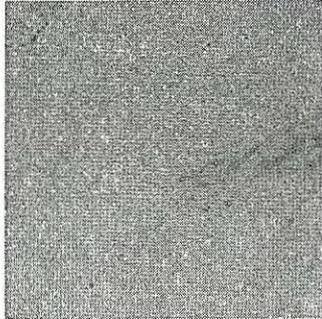
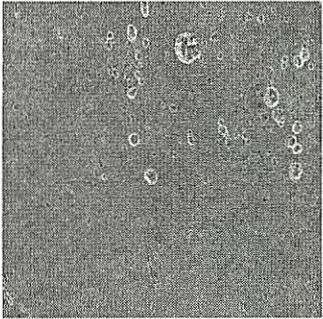
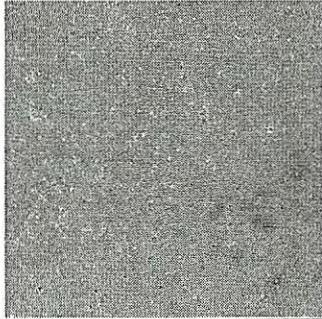
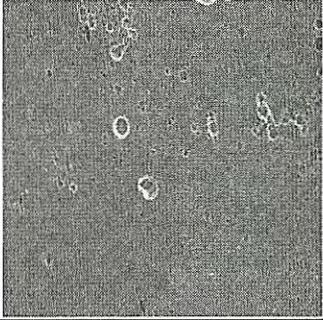
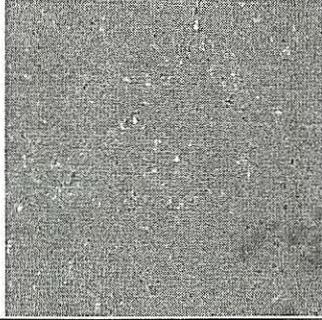
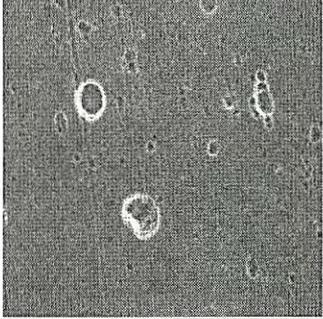
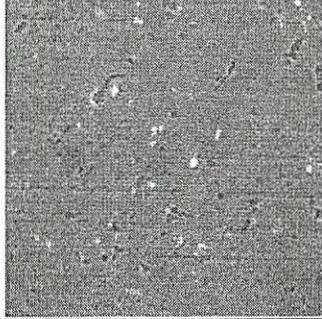
배율	MF100. 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 235 MF100에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

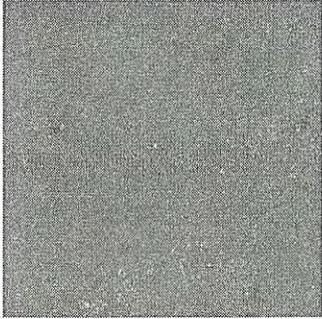
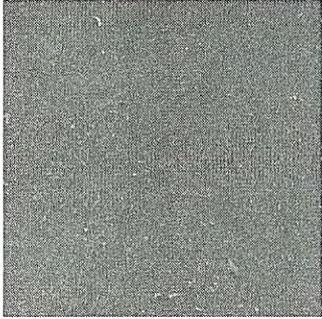
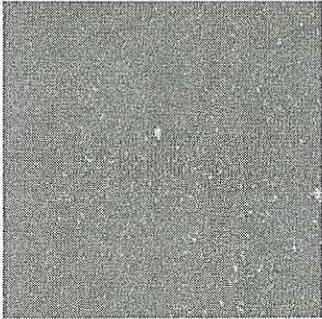
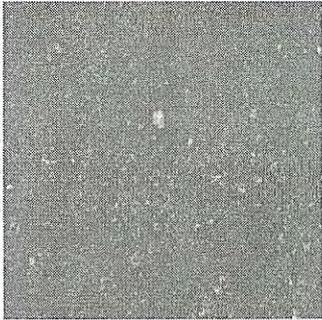
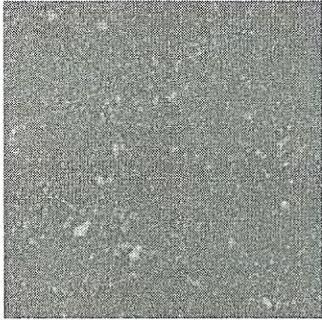
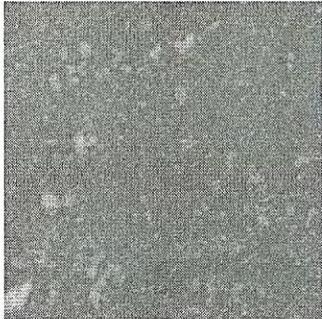
배율	MF100. 9개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 236 MF100에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편  
형상

## 5) MF150인 경우

그림 237와 238는 MF150에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우, 불과 몇 개의 공식이외에 모두 건전한 표면 형상이 관찰되었으며, 용접부는 약간 더 많은 부식이 관찰되었다. 한편 기계구조용 강은 용해반응에 의한 부식은 관찰되지 않았으며, 공구강은 흰색 형상은 많이 관찰되었으나 부식의 흔적은 거의 관찰되지 않았다.

그림 239 ~ 244은 MF150에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우와 거의 유사한 경향이 관찰되었다. 이후 6개월이 경과한 경우 작은 공식이 분포하고 있음을 알 수 있으며, 9개월 경과한 후에는 모든 부위에서 부식생성물로 인하여 덮여 있는 형상이 관찰되었다. 3개월과 6개월이 경과한 용접부는 1개월과 거의 유사한 경향이 관찰되었으며, 9개월 경과한 후에는 모재와 거의 유사하나 약간 적게 부식이 된 것으로 여겨진다. 한편 3개월이 경과한 기계구조용 강과 공구강의 경우는 1개월이 경과한 경우와 거의 유사한 경향을 보여 주었으나 6개월 경과한 후에는 2가지 조건 모두 현저한 부식 경향이 관찰되었으며, 기계구조용 강의 경우가 그 경향은 현저하게 나타났으며, 9개월 경과한 후에는 SS400강과 유사하게 많은 부식생성물이 관찰되었다.

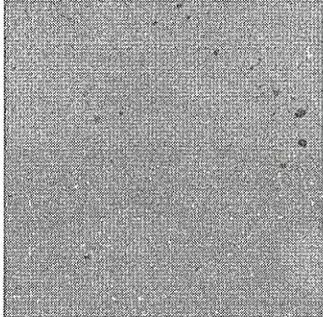
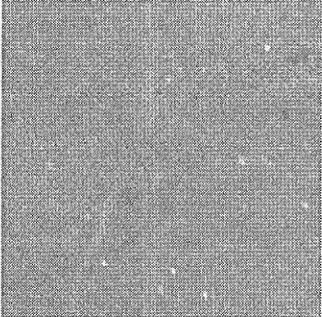
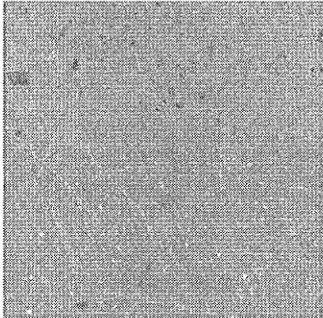
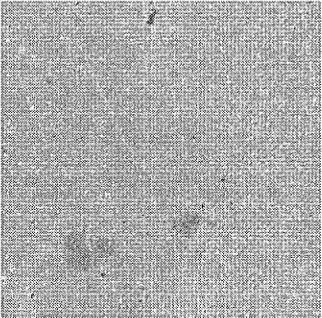
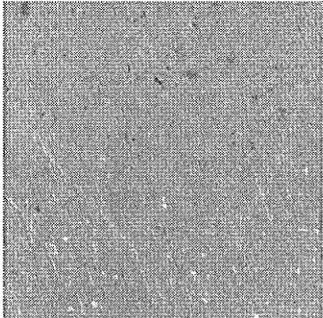
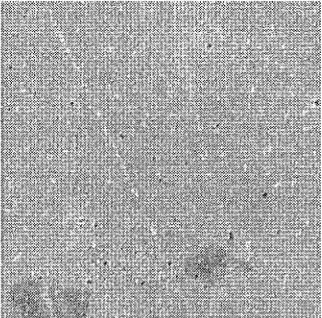
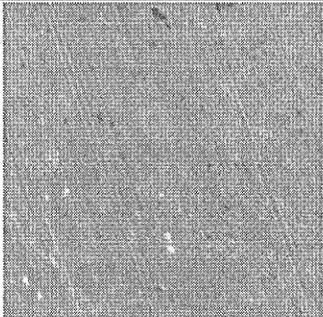
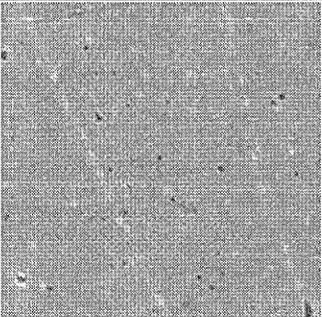
배율	MF150. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 237 MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

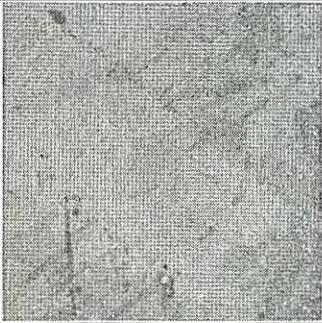
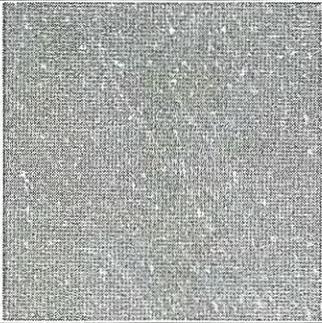
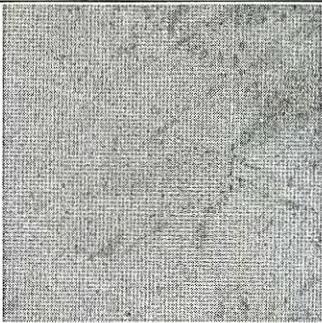
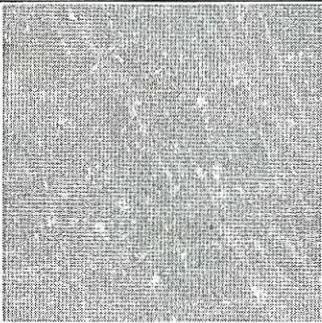
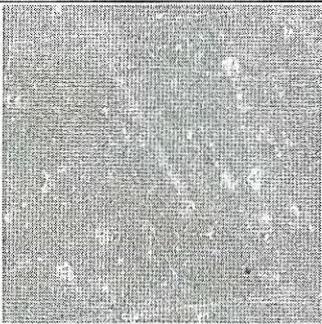
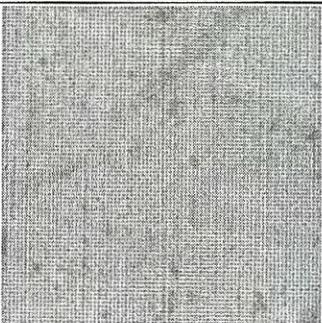
배율	MF150. 1개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 238 MF150에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

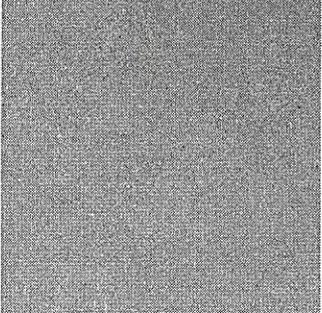
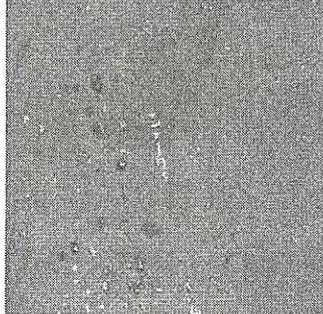
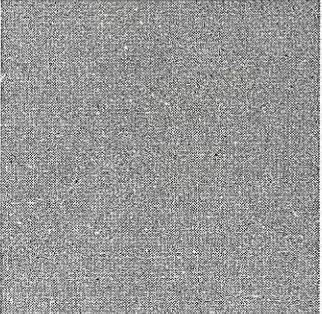
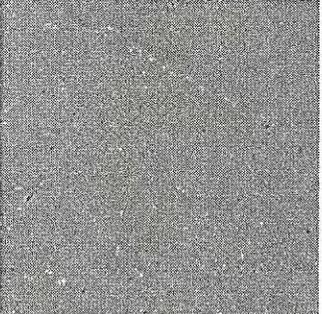
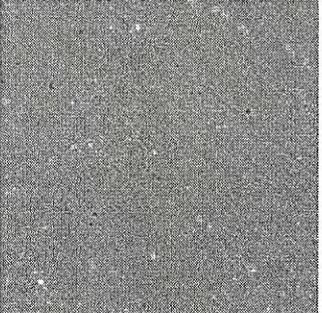
배율	MF150. 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 239 MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

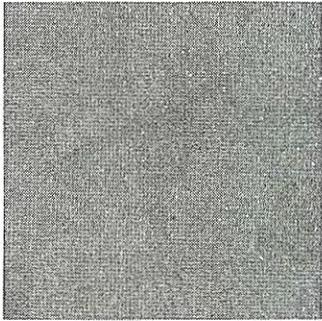
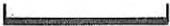
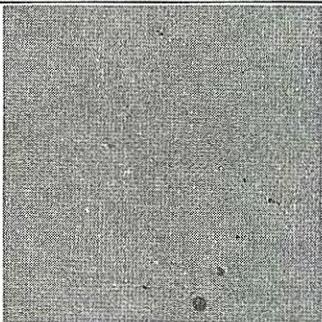
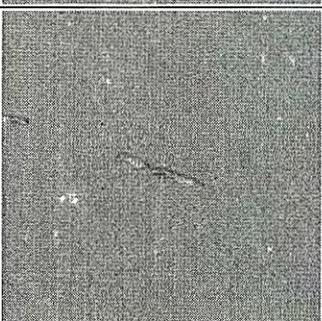
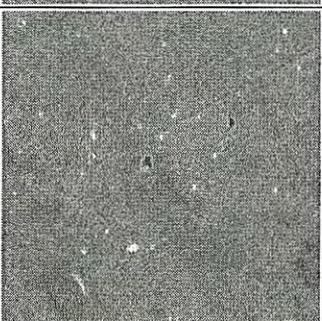
배율	MF150. 3개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 240 MF150에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

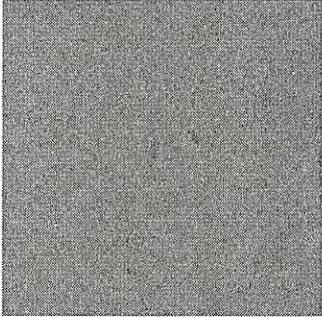
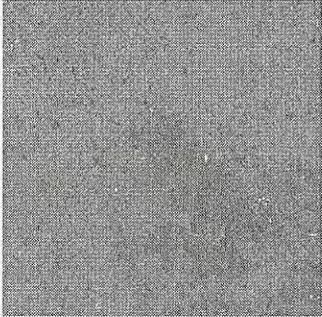
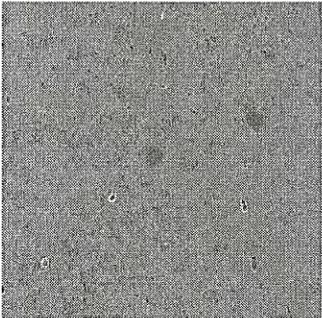
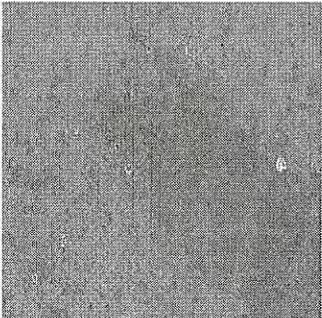
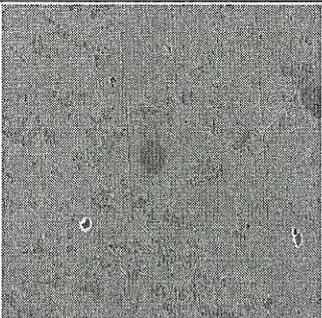
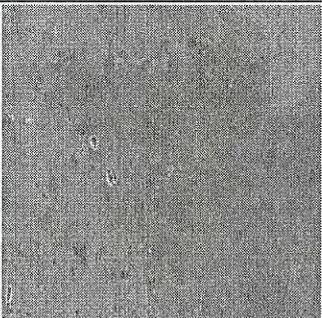
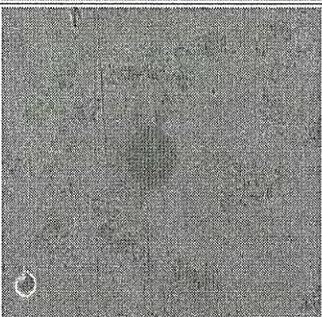
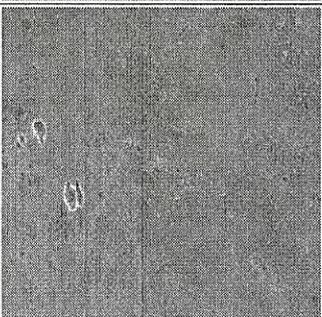
배율	MF150. 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 241 MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

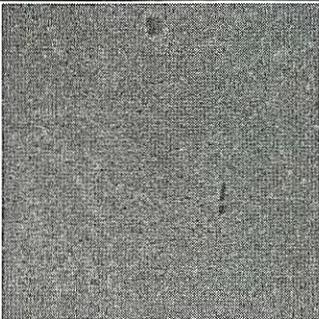
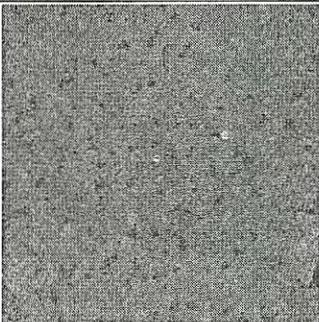
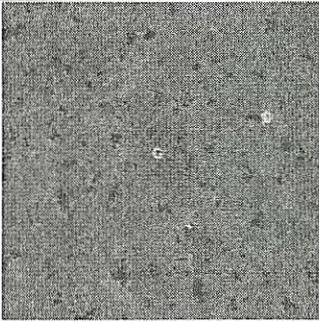
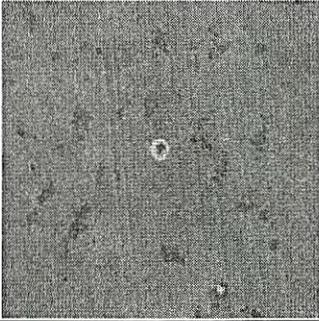
배율	MF150. 6개월 경과	
	기계구조용 강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 242 MF150에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

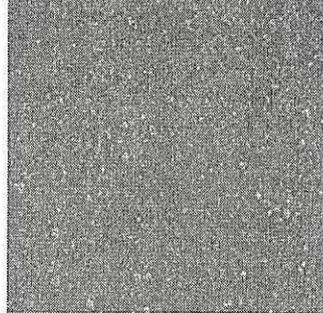
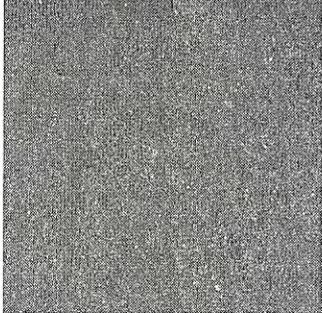
배율	MF150. 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 243 MF150에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

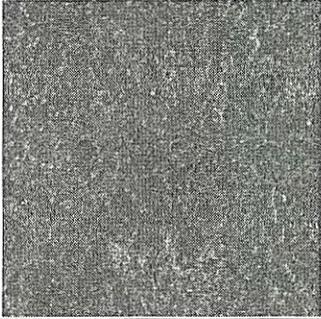
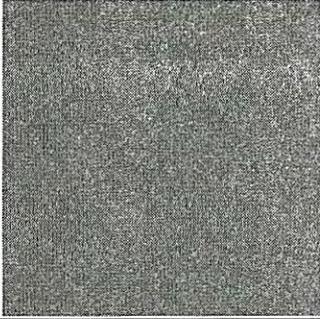
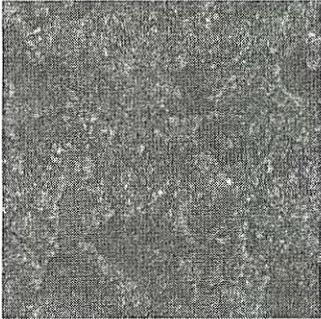
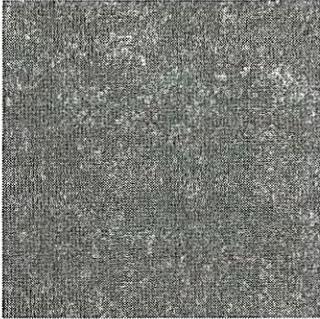
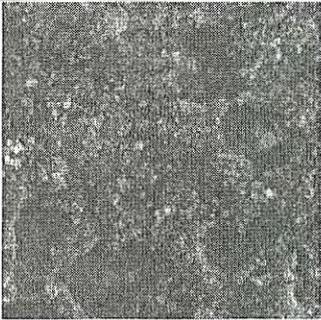
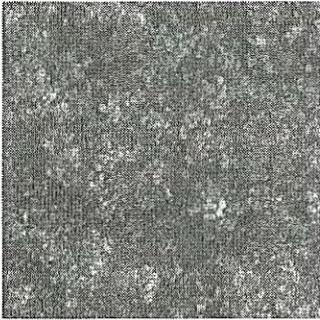
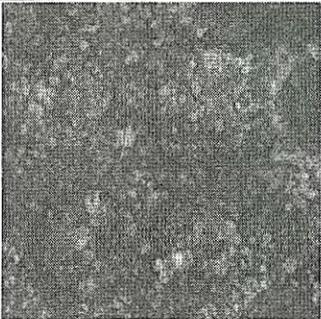
배율	MF150. 9개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 244 MF150에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

## 6) MF180인 경우

그림 245과 246는 MF180에서 1개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. SS400강 모재의 경우, 전체적으로 아주 깨끗한 형상을 보여 주었으나 극소수의 공식은 관찰되었다. 한편 용접부의 경우는 거의 유사한 패턴을 보여 주었으나 용해 정도가 약간 진전되었음을 알 수 있었다. 한편 기계구조용 강과 공구강은 거의 부식이 관찰되지 않았다.

그림 247 ~ 252은 MF180에서 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 시편 형상을 보여주고 있다. 3개월이 경과한 SS400강의 경우 1개월 경과한 경우와 비교하여 부분적으로 현저히 많은 부식이 발생하였음을 알 수 있었으며, 6개월이 경과한 경우 작은 공식이 전체적으로 분포하였으며, 부분적으로 큰 부식의 흔적도 관찰되었다. 한편 9개월 경과한 후에는 모든 부위에서 부식생성물로 덮여 있는 형상이 관찰되었다. 3개월이 경과한 용접부의 경우는 현저한 변화는 관찰되지 않았으며, 6개월 경과 경우는 전체적으로 깨끗하나 부분적으로 부식반응이 발생한 경우도 관찰되었다. 이후 9개월 경과한 후에는 SS400강과 거의 유사한 부식 경향이 관찰되었다. 한편 3개월이 경과한 기계구조용 강은 약간의 부식생성물이 분포하고 있음을 알 수 있으나 공구강의 경우는 많은 흰색 반점의 형태의 것이 많이 관찰되었다. 이후 6개월 경과한 후 기계구조용 강과 공구강은 입계를 중심으로 부식이 되는 경향이 관찰되었으며, 9개월 경과 후 부식생성물이 관찰되었으나 전체적으로 기계구조용 강의 경우가 가장 적은 부식이 발생하였음을 알 수 있었다.

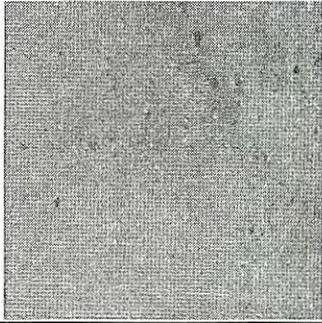
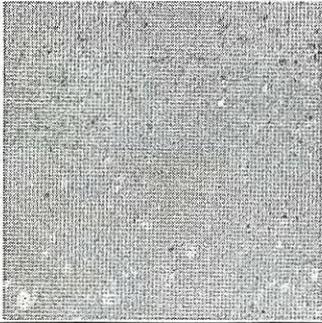
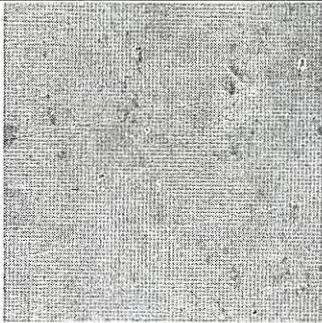
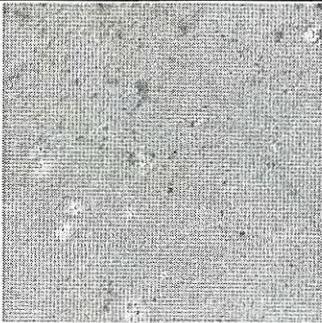
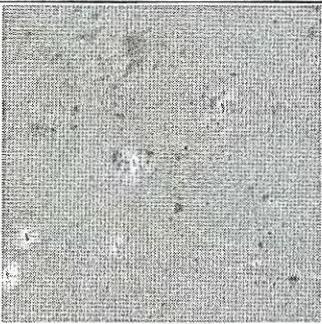
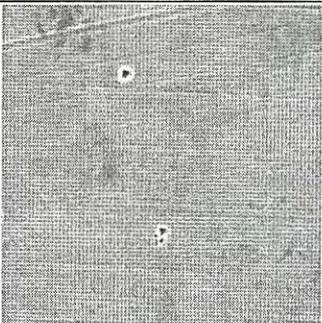
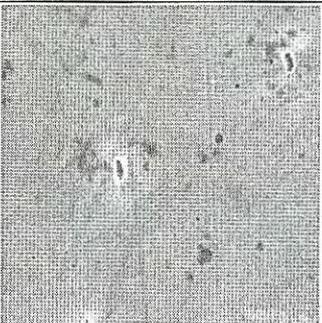
배율	MF180. 1개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu$ m 		
100 $\mu$ m 		
50 $\mu$ m 		
20 $\mu$ m 		

그림 245 MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

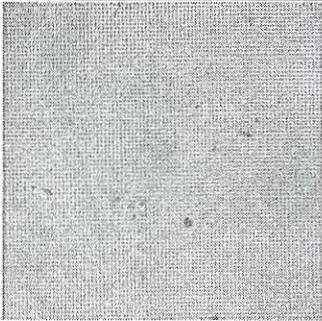
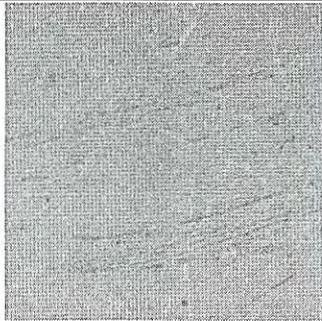
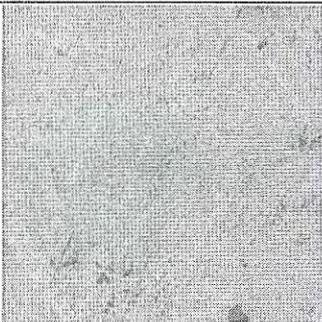
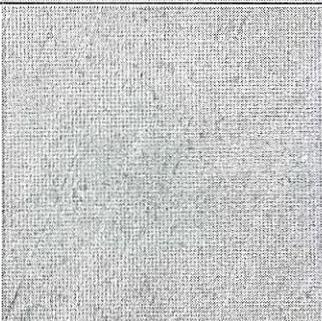
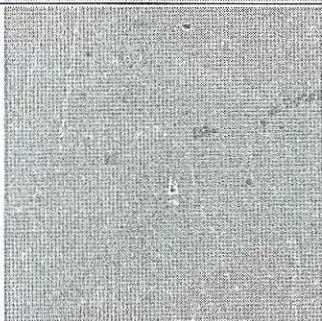
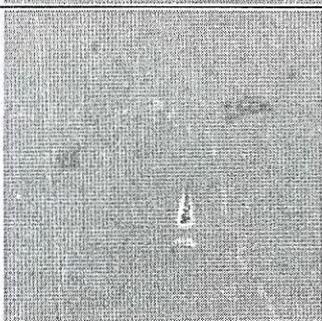
배율	MF180. 1개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 246 MF180에서 기계구조용강과 공구강의 1개월 동안 침적시험 후 시편 형상

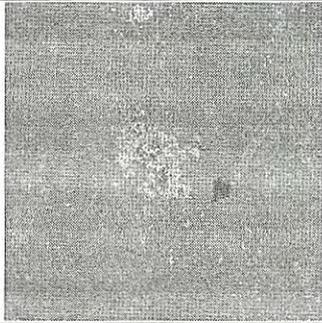
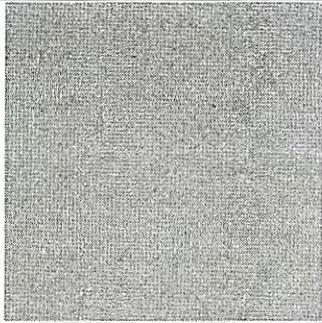
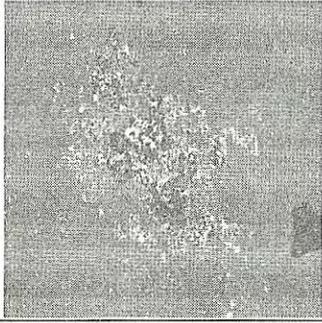
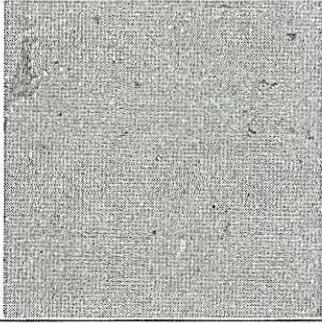
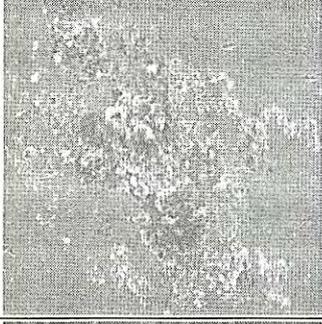
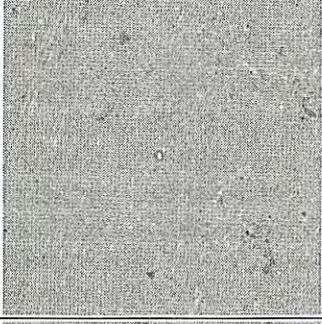
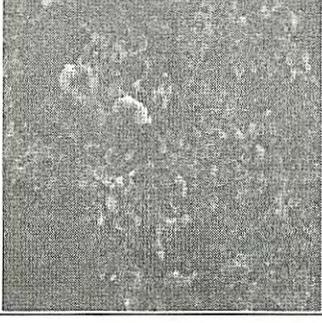
배율	MF180. 3개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 247 MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

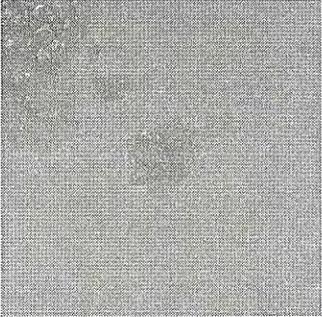
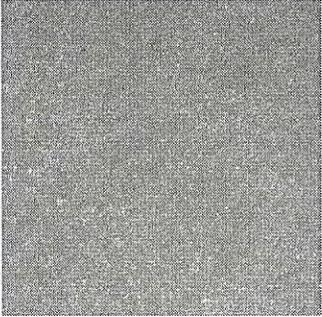
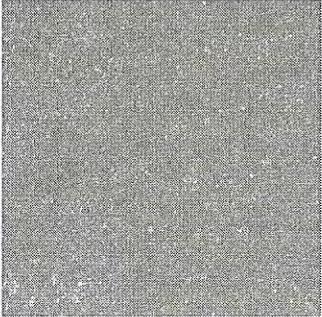
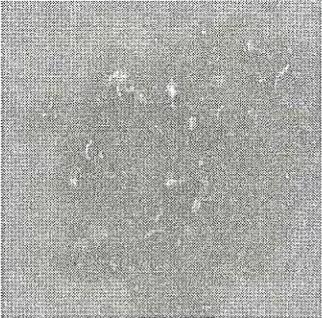
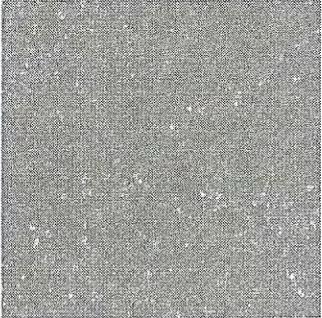
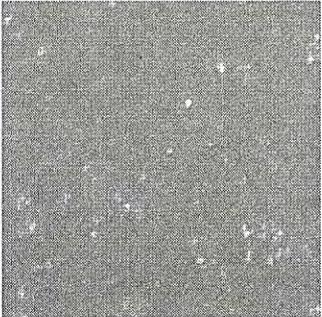
배율	MF180. 3개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 248 MF180에서 기계구조용강과 공구강의 3개월 동안 침적시험 후 시편 형상

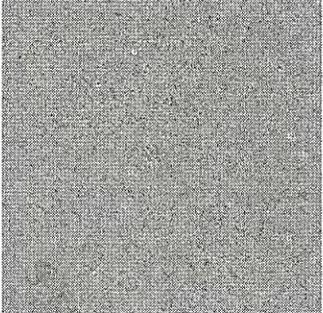
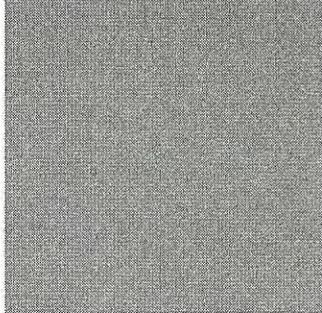
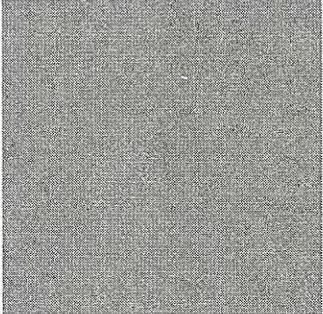
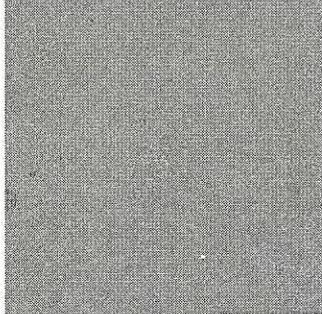
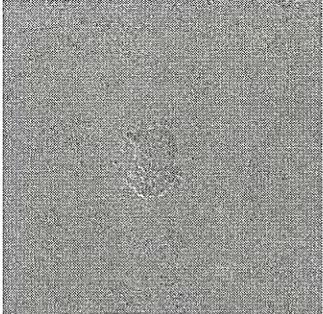
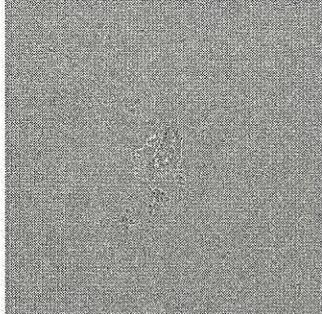
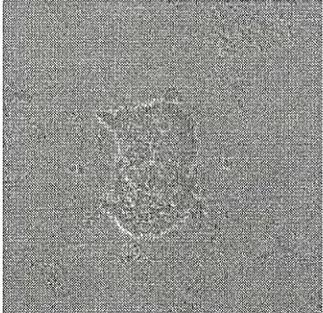
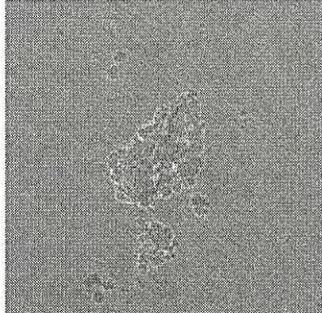
배율	MF180. 6개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 249 MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

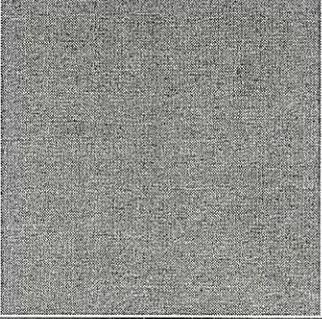
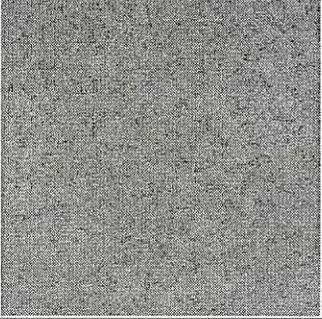
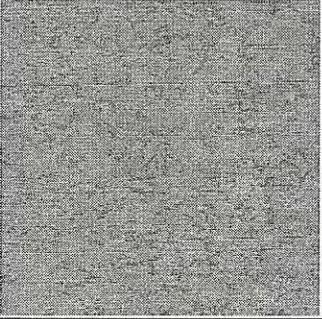
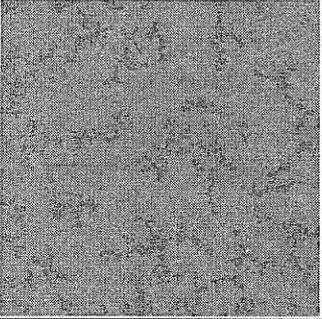
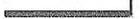
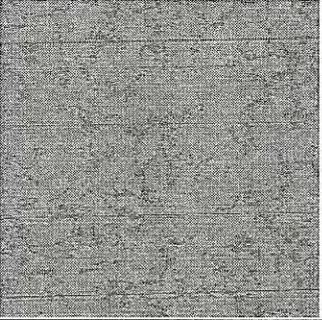
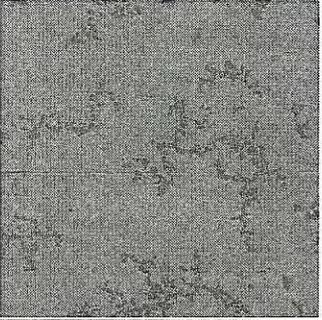
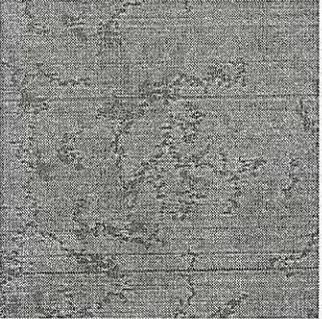
배율	MF180. 6개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 250 MF180에서 기계구조용강과 공구강의 6개월 동안 침적시험 후 시편 형상

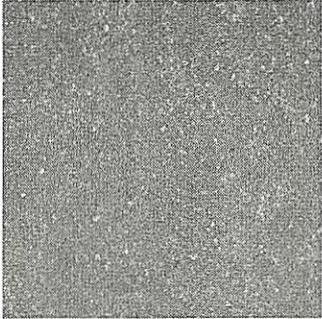
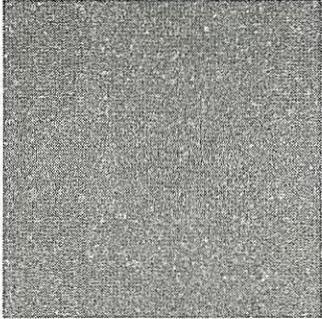
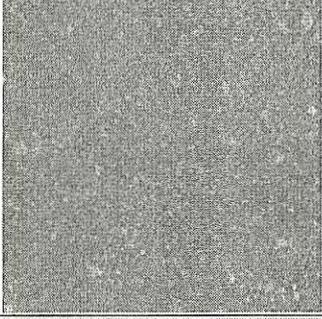
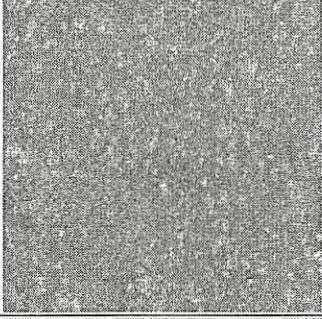
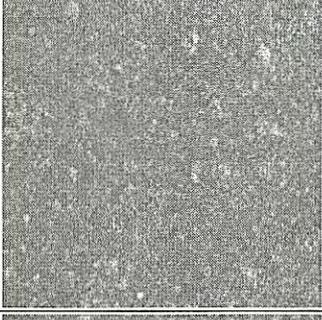
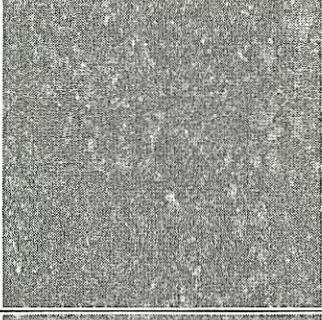
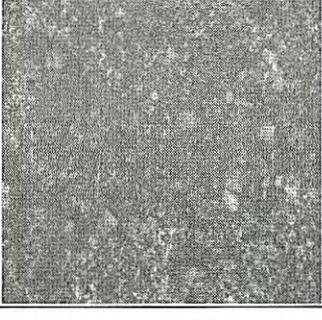
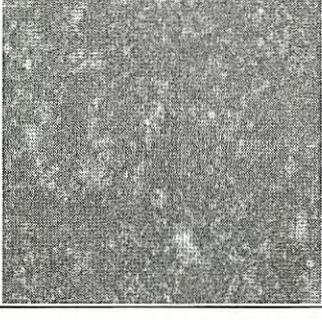
배율	MF180. 9개월 경과	
	SS400-BM	SS400-WM
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 251 MF180에서 SS400강 모재와 용접부의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

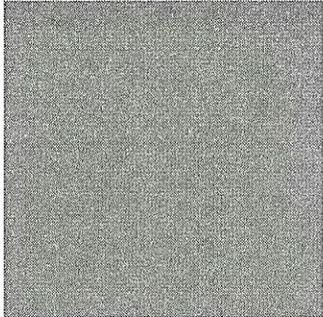
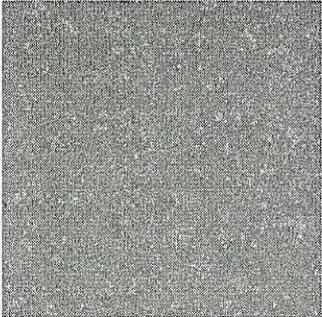
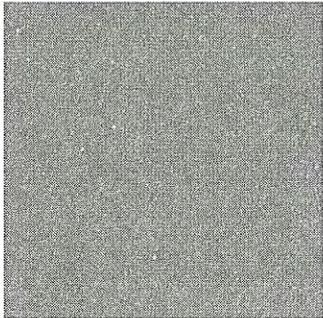
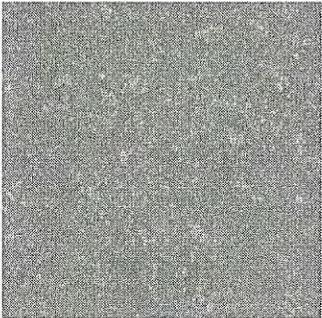
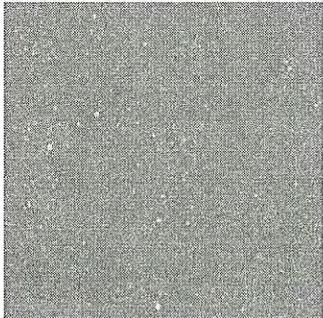
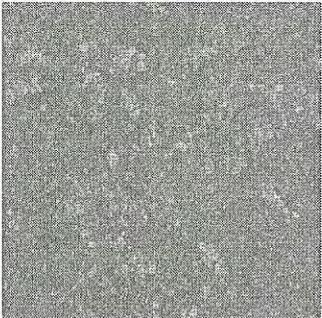
배율	MF180. 9개월 경과	
	기계구조용강	공구강
200 $\mu\text{m}$ 		
100 $\mu\text{m}$ 		
50 $\mu\text{m}$ 		
20 $\mu\text{m}$ 		

그림 252 MF180에서 기계구조용강과 공구강의 9개월 동안 침적시험 후 시편 형상

다음은 다양한 연료유 종류와 금속재료 변수에 침적실험을 실시한 경우에 대한 종합적인 비교를 표 67과 표 68에 나타냈다. MGO의 경우 모든 조건에서 부식이 발생하였음을 알 수 있었으며, MF15의 경우, SS400강은 특이하게 9개월째부터, 기계구조용강과 공구강은 6개월부터 넓은 범위에 걸쳐 공식이 분포하였으며, 용접부는 6개월부터 전면 부식이 발생하였다. 한편 MF60의 경우는 침지 1개월부터 부식이 시작되어 9개월 경과한 뒤에는 모든 시편에 대하여 전면 부식이 발생하였다. 또한 MF100의 경우는 SS400강의 경우만 6개월과 9개월 경과 뒤 넓은 범위에서 공식이 발생하였으며, 용접부의 경우는 9개월 경과한 후 이러한 공식이 관찰되었다. 한편 MF150에서는 기계구조용 강과 공구강은 6개월 경과한 뒤 공식이 관찰되었으며, 9개월 후에는 모든 조건에서 전면 부식이 관찰되었다. 마지막으로 MF180의 경우는 6개월 정도에 공식이 관찰된 후 9개월 경과 후에는 전면적인 부식이 발생하였다. 지금까지의 연구내용에서 부식은 분포 정도에 따라 분석하였으며, 무게 감량에 대해서는 다음 장에서 언급하기로 한다.

전체적으로 MGO에서 침적 실험을 실시한 경우가 현저하게 가장 많은 부식이 발생하였음을 알 수 있었으며, 기계구조용 강 의 경우가 가장 양호한 내식성을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

표 67 다양한 유종과 금속재료에 대한 침적 실험 시 1개월과 3개월의 종합 비교

	1 개월						3 개월					
	MGO	15	60	100	150	180	MGO	15	60	100	150	180
SS400	●		○				●					
SS400-용접부	●		○				●					
기계구조용 강	●		○				●					
공구강	●		○				●					

○ ; 부식 시작(소수 공식만 발생한 경우는 제외)

○ ; 공식 분포가 많은 경우

● ; 전면 부식 발생

표 68 다양한 유종과 금속재료에 대한 침적 실험 시 6개월과 9개월의  
종합 비교

	6 개월						9 개월					
	MGO	15	60	100	150	180	MGO	15	60	100	150	180
SS400	●			○		○	●	○	●	○	●	●
SS400-용접부	●	●	○				●	●	●	○	●	●
기계구조용 강	●	○			○	○	●	●	●		●	●
공구강	●	○			○	○	●	●	●		●	●

○ ; 부식 시작(소수 공식만 발생한 경우는 제외)

○ ; 공식 분포가 많은 경우

● ; 전면 부식 발생

## 다. 무게감량 시험

### 1) SS400강의 경우

그림 253 ~ 256는 다양한 유류 종류에 따라 SS400강에 대하여 1개월, 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 무게 감소율을 상호 비교한 것이다. 1개월 경과한 후 MGO인 경우 무게 감소율이 0.01129%로 가장 높은 값을 나타냈으며, MF15인 경우는 0.008806%로 두 번째로 높은 무게 감소율을 나타냈다. 한편 MF60~180인 경우는 무게 감소율이 0.001~0.002% 전후의 값으로 거의 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 실험 종료 시까지 거의 지속되었음을 알 수 있으나 9개월 경과한 후에는 MF15인 경우가 MGO에 비하여 오히려 높은 값을 나타냈음을 알 수 있었다. 결국 시간 경과에 따라 모든 용액에서 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈으며, MGO와 MF15의 경우가 가장 많은 무게 감소율을 보여 주었다. 일반적으로 중유로 갈수록 내식성을 저하시키는 물질인 유황성분이 많이 포함되어 있으므로 부식에 기인한 무게 감소량이 증가할 것으로 예측하였으나 크게 차이를 보이지 않는 다른 결과를 나타냈다. 이는 연료유의 농도가 증가할수록 금속재료와 연료유와의 계면에서 전기화학적 반응을 일으키는 것을 방해하는 에너지 장벽으로 작용하기 때문으로 사료된다.

한편 그림 257은 SS400강에 대하여 여러 유류 종류별 시간 경과에 따른 무게 감소율을 상호 비교한 경우 전체적으로 침지 시간이 증가할수록 거의 일정 간격으로 무게 감소율이 증가하는 경향을 파악할 수 있었는데 이는 금속과 연료유와의 전기화학적 반응을 일으킬 시간이 증가하여 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타낸 것으로 사료된다. 전체적으로 MGO와 MF15는 무게 감소율이 많은 경향을 나타낸 반면 MF60~MF180은 거의 유사한 무게 감소율을 나타냈다.

	초기 무게 (g)	1개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	186.3562	186.3352	0.011268742
MF15	183.9679	183.9517	0.008806
MF60	188.7850	188.7816	0.001801
MF100	189.1063	189.1023	0.002115
MF150	188.6165	188.6131	0.001803
MF180	188.0203	188.0172	0.001649

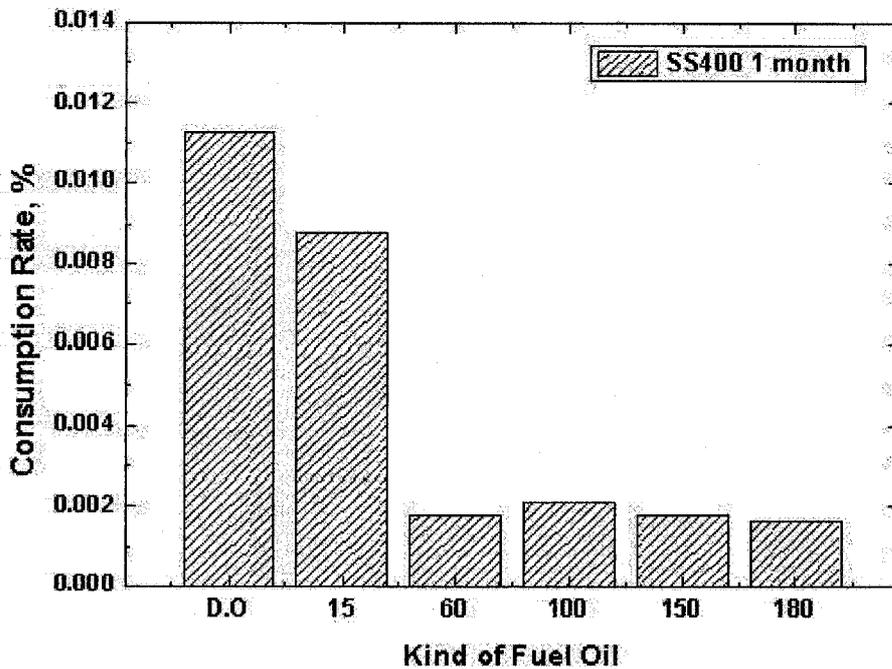


그림 253 다양한 유류 종류 별 SS400강을 1개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	3개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	186.3562	186.3260	0.016205525
MF15	183.9679	183.9416	0.014296
MF60	188.7850	188.7718	0.006992
MF100	189.1063	189.0916	0.007773
MF150	188.6165	188.6033	0.006998
MF180	188.0203	188.0059	0.007659

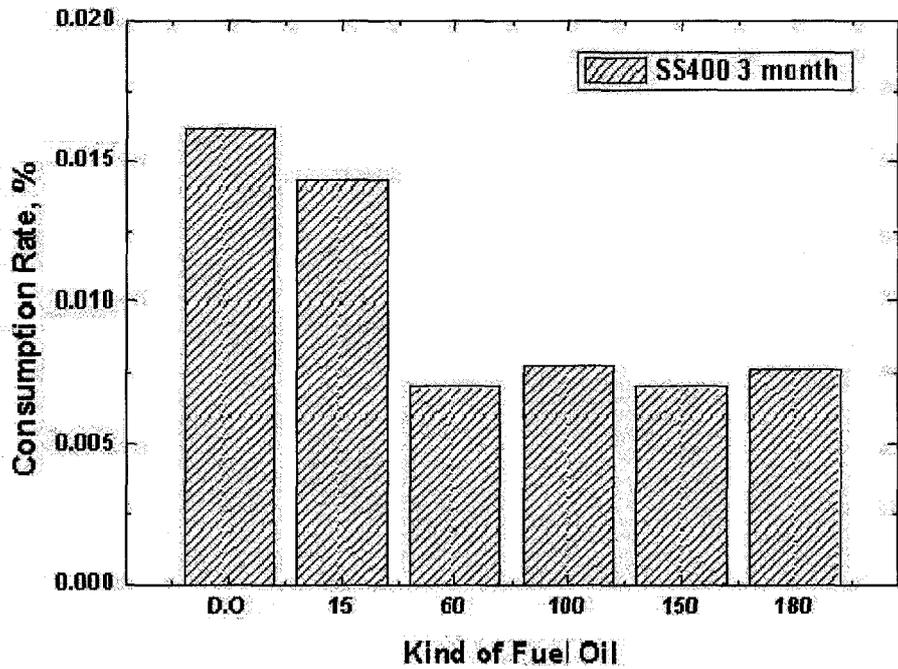


그림 254 다양한 유류 종류 별 SS400강을 3개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	6개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	186.3562	186.3227	0.017976327
MF15	183.9679	183.9358	0.017449
MF60	188.7850	188.7656	0.010276
MF100	189.1063	189.0873	0.010047
MF150	188.6165	188.5991	0.009225
MF180	188.0203	188.0028	0.009308

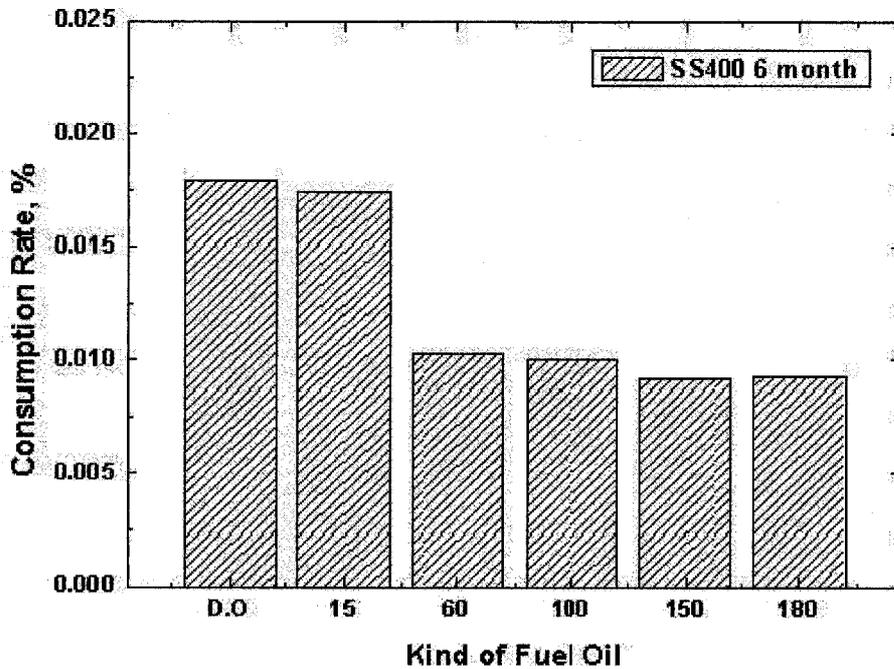


그림 255 다양한 유류 종류 별 SS400강을 6개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	9개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	186.3562	186.3180	0.020498379
MF15	183.9679	183.9218	0.025059
MF60	188.7850	188.7588	0.013878
MF100	189.1063	189.0839	0.011845
MF150	188.6165	188.5911	0.013466
MF180	188.0203	187.9984	0.011648

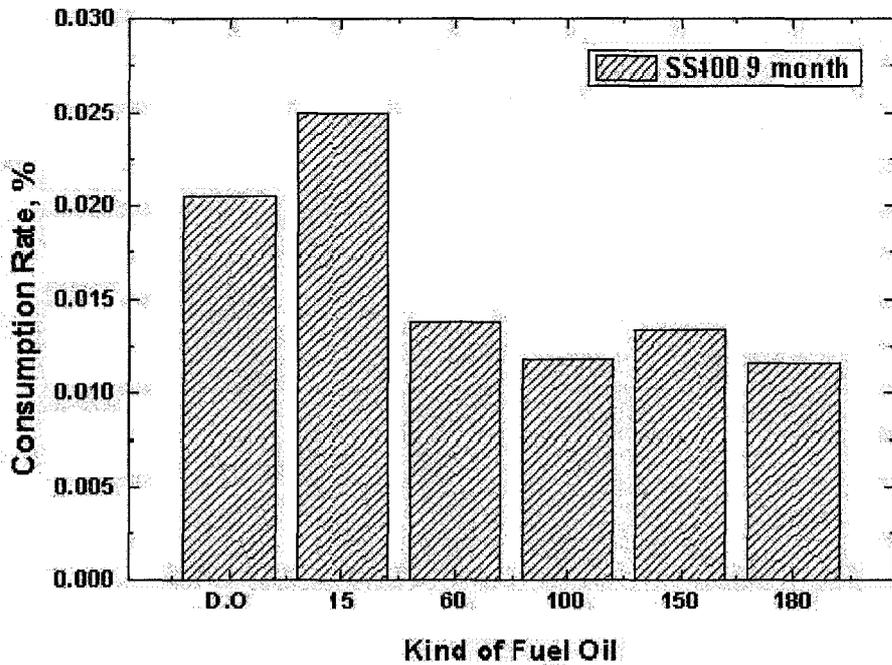


그림 256 다양한 유류 종류 별 SS400강을 9개월 동안 침적 후 소모율 비교

	1개월 후	3개월 후	6개월 후	9개월 후
MGO	0.011268742	0.016205525	0.017976327	0.020498379
MF15	0.008806	0.014296	0.017449	0.025059
MF60	0.001801	0.006992	0.010276	0.013878
MF100	0.002115	0.007773	0.010047	0.011845
MF150	0.001803	0.006998	0.009225	0.013466
MF180	0.001649	0.007659	0.009308	0.011648

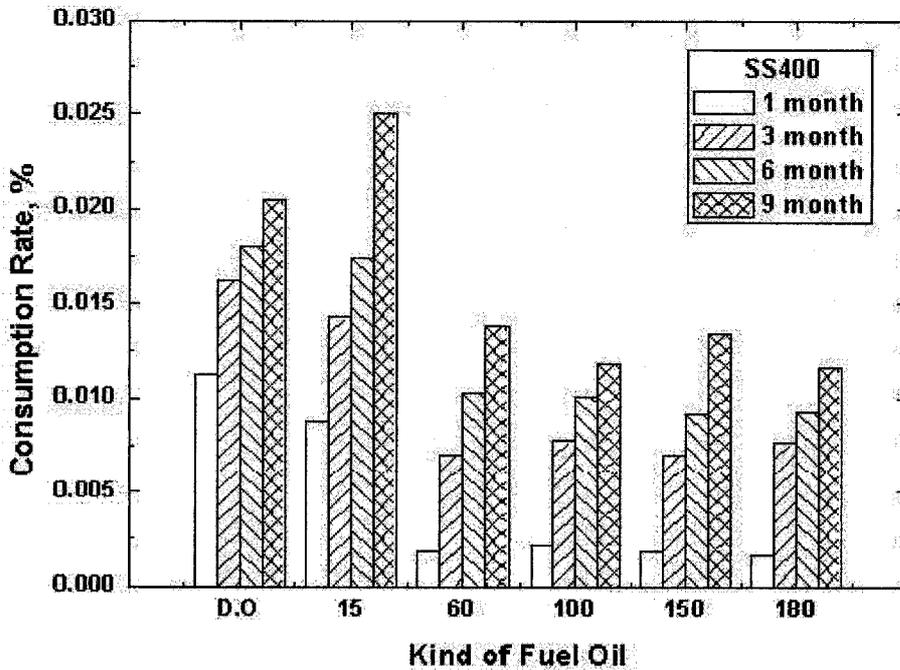


그림 257 다양한 유류 종류 별 SS400강에 대하여 시간 경과에 따른 소모율 비교

## 2) 공구강의 경우

그림 258 ~ 261은 다양한 유류 종류에 따라 공구강에 대하여 1개월, 3개월, 6개월 그리고 9개월 경과한 후의 무게 감소율을 상호 비교한 것이다. 시간 경과에 따라 모든 용액에서 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈으며, MGO의 경우가 SS400강과 달리 가장 적은 0.000131619%의 무게 감소율을 보여 주었으나 실제로는 부식 생성물이 가장 많이 발생하여 초음파세척을 실시하였어도 탈리되지 않은 상태에서 측정되었기 때문이다. 한편 MF15인 경우가 현저하게 높은 무게 감소율을 나타냈으며, MF60~180은 거의 유사한 무게 감소율을 나타냈으며, 시간 증가에 따라 그 값은 증가하는 경향을 보여 주었다. 일반적으로 SS400강의 무게 감소율 실험에서 언급한 바와 같이 중유로 갈수록 내식성을 저하시키는 물질인 유황성분이 많이 포함되어 있으므로 부식에 기인한 무게 감소량이 증가할 것으로 예측하였으나 크게 차이를 보이지 않는 다른 결과를 나타냈다. 이는 연료유의 농도가 증가할수록 금속재료와 연료유와의 계면에서 전기화학 반응을 일으키는 것을 방해하는 에너지 장벽으로 작용하기 때문으로 사료된다.

한편 그림 262은 공구강에 대하여 여러 유류 종류별 시간 경과에 따른 무게 감소율을 상호 비교한 결과, 전체적으로 침지 시간이 증가할수록 금속과 연료유와의 전기화학적 반응을 일으킬 시간이 증가하여 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈다. SS400강의 경우 MGO의 경우가 가장 많은 부식이 발생하였으며, 공구강이 MGO 환경에서는 크롬의 함량이 많아서 내식성을 향상시키는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 부동태 피막을 형성시켜 부식이 잘 되지 않은 것으로 사료되었으나 실제로는 많은 부식이 발생하였다. 그 이외에 MF15인 경우가 가장 많은 무게 감소율을 나타냈으며, 그 이상에서는 시간 경과에 따라 약간의 차이는 있으며, 9개월 경과한 후에는 거의 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

	초기 무게 (g)	1개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	151.9552	151.9550	0.000131618
MF15	175.3123	175.2639	0.027608
MF60	168.419	168.4159	0.001841
MF100	170.7474	170.7447	0.001581
MF150	149.4083	149.4054	0.001941
MF180	150.2306	150.2274	0.00213

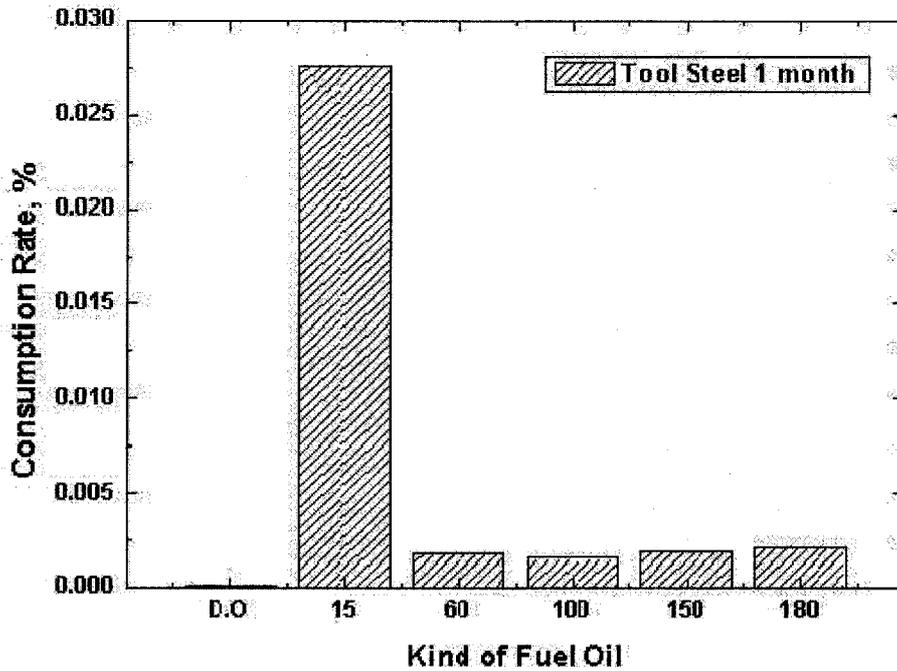


그림 258 다양한 유류 종류 별 공구강을 1개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	3개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	151.9552	151.9430	0.008028682
MF15	175.3123	175.2547	0.032856
MF60	168.419	168.4088	0.006056
MF100	170.7474	170.7307	0.009781
MF150	149.4083	149.4018	0.00435
MF180	150.2306	150.2196	0.007322

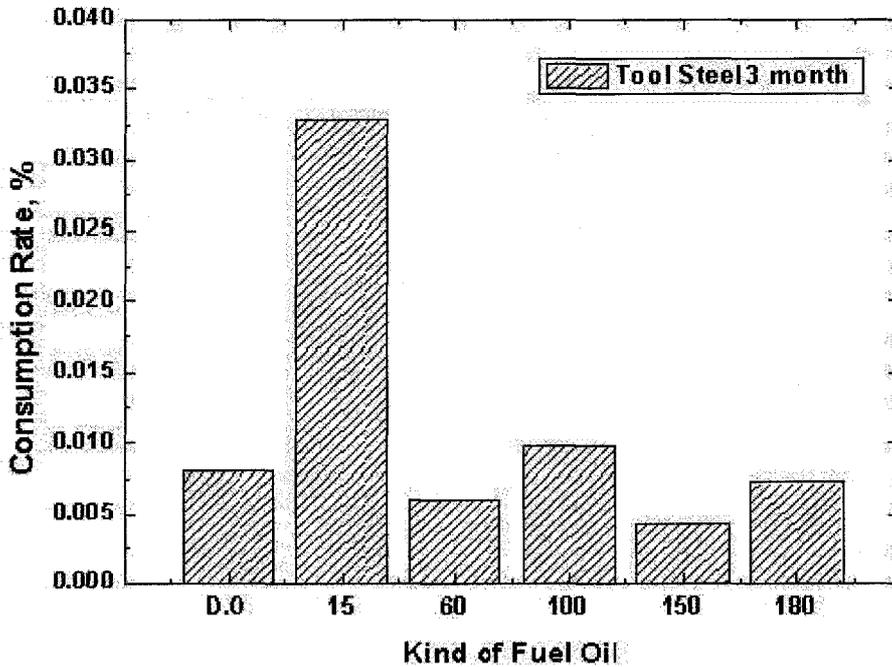


그림 259 다양한 유류 종류 별 공구강을 3개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	6개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	151.9552	151.9423	0.008489344
MF15	175.3123	175.2437	0.03913
MF60	168.419	168.3996	0.011519
MF100	170.7474	170.7231	0.014232
MF150	149.4083	149.3964	0.007965
MF180	150.2306	150.2145	0.010717

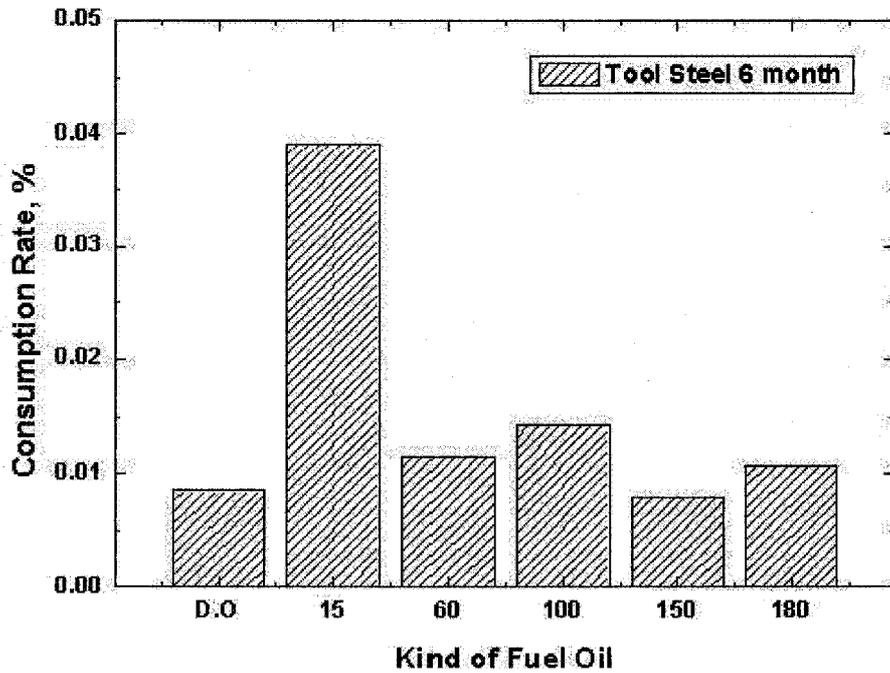


그림 260 다양한 유류 종류 별 공구강을 6개월 동안 침적 후 소모율 비교

	초기 무게 (g)	9개월 후 (g)	무게감소율(%)
MGO	151.9552	151.9414	0.009081624
MF15	175.3123	175.2230	0.050938
MF60	168.419	168.3687	0.029866
MF100	170.7474	170.7192	0.016516
MF150	149.4083	149.3659	0.028379
MF180	150.2306	150.1883	0.028157

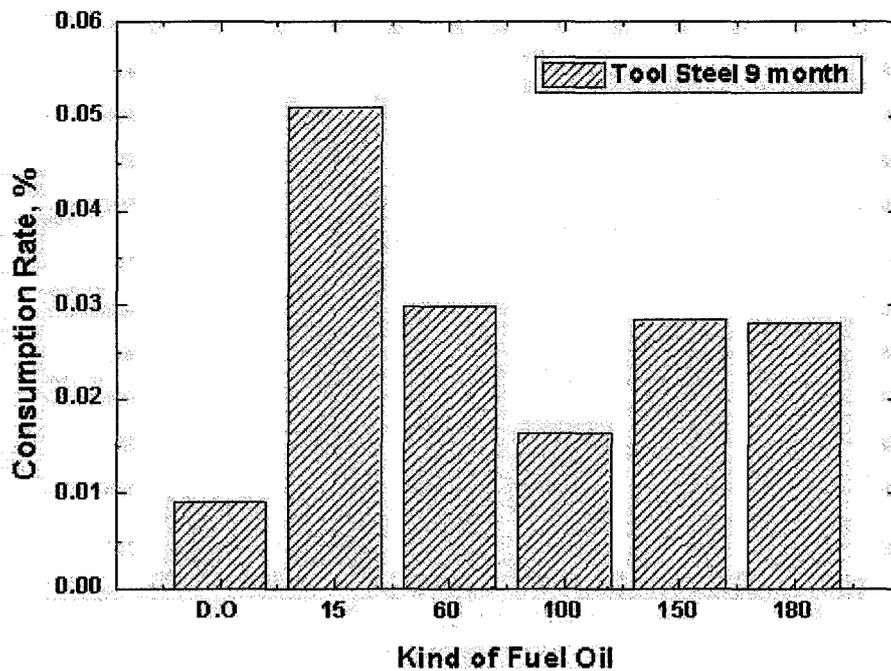


그림 261 다양한 유류 종류 별 공구강을 9개월 동안 침적 후 소모율 비교

	1개월 후	3개월 후	6개월 후	9개월 후
MGO	0.000131618	0.008028682	0.008489344	0.009081624
MF15	0.027608	0.032856	0.03913	0.050938
MF60	0.001841	0.006056	0.011519	0.029866
MF100	0.001581	0.009781	0.014232	0.016516
MF150	0.001941	0.00435	0.007965	0.028379
MF180	0.00213	0.007322	0.010717	0.028157

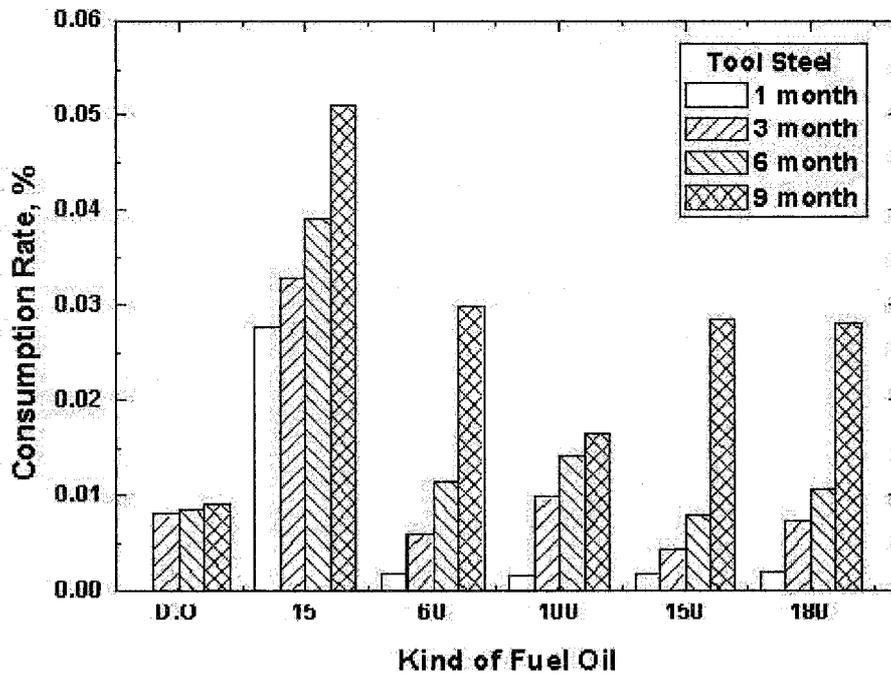


그림 262 다양한 유류 종류 별 공구강에 대하여 시간 경과에 따른 소모율 비교

#### 가) 주사전자 현미경 분석 결과

다양한 연료유 종류와 금속재료 변수에 침적실험을 실시하여 주사전자현미경으로 분석한 결과, 전체적으로 MGO에서 침적 실험을 실시한 경우가 현저하게 가장 많은 부식이 발생하였음을 알 수 있었으며, 기계구조용 강의 경우가 가장 양호한 내식성을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

#### 나) 무게감량 시험 결과

##### ○ SS400강의 경우

시간 경과에 따라 모든 용액에서 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈으며, MGO와 MF15의 경우가 가장 많은 무게 감소율을 보여 주었으며, MF60 이상에서는 거의 유사한 값의 무게 감소율을 보여 주었다.

여러 유류 종류별 시간 경과에 따른 무게 감소율을 상호 비교한 결과, 전체적으로 침지 시간이 증가할수록 거의 일정 간격으로 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈다.

##### ○ 공구강의 경우

시간 경과에 따라 모든 용액에서 무게 감소율이 증가하는 경향을 나타냈다. SS400강의 경우 MGO의 경우가 가장 많은 부식이 발생하였으며, 공구강이 MGO 환경에서는 크롬의 함량이 많아서 내식성을 향상시키는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 부동태 피막을 형성시켜 부식이 잘 되지 않은 것으로 사료되었으나 실제로는 많은 부식이 발생하였다. 그 이외에 MF15인 경우가 가장 많은 무게 감소율을 나타냈으며, 그 이상에서는 시간 경과에 따라 약간의 차이는 있으며, 9개월 경과한 후에는 거의 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

## 2. 혼합연료유 사용에 따른 부식 및 마모정도

스페인 라스팔마스에서 2008년 4월 15일부터 28일까지 (주)투리스 소속 투리스 79호(대서양 트롤어선)를 대상으로 장기시험을 위한 기본 연소시험을 실시하고 MF60급 혼합유를 약 4개월 사용 후 아프리카 시에라리온국의 프리타운 외항에서 연소실을 개방하여 혼합유 사용에 따른 연소실 내부의 부식 및 마모정도를 확인하였다.



그림 263 전처리장치인 MCH 설치장면

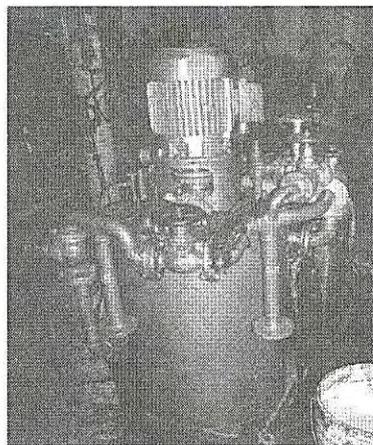


그림 264 투리스 79호에  
설치된 MCH

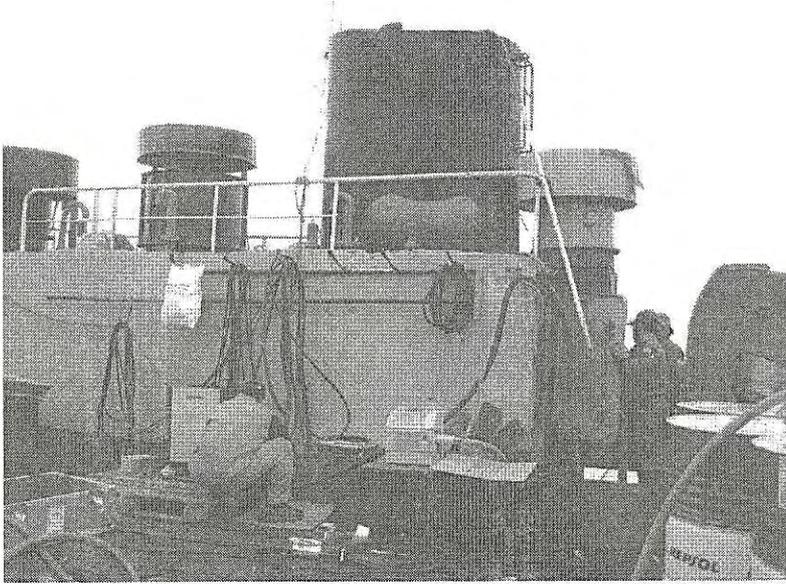


그림 265 투리스 79호 배기가스 계측장면

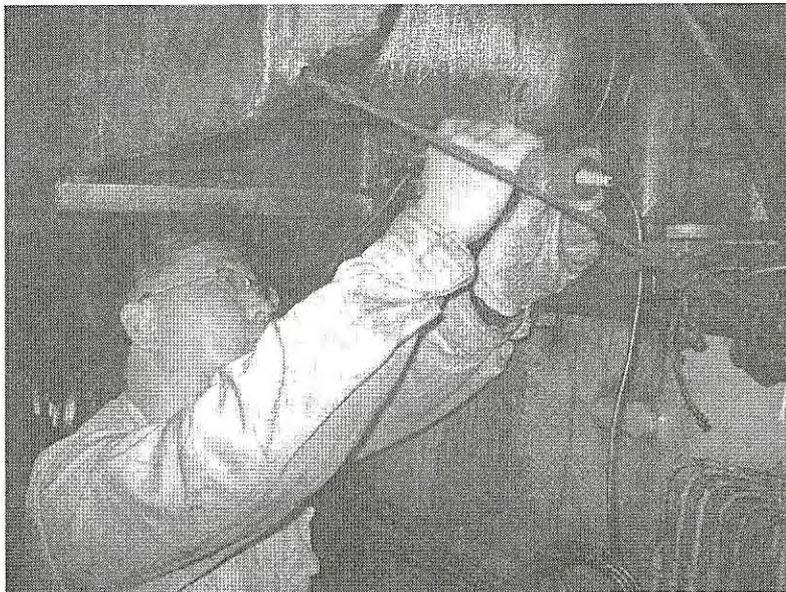


그림 266 투리스 79호 연소상태 계측 Pmax 계측

가. 라이너 마모 정도 측정

표 69는 라이너를 신품으로 교환한 후 MF60급 혼합유로 약 4개월  
 조업 후 1번 실린더의 마모정도를 측정한 값이다. AKASAKA  
 AH-38 엔진의 라이너 마모 한도는 0.5 ~ 0.6mm로 하고 있어 대체  
 적으로 마모한도내에 있으나 피스톤 top ring의 PS(좌우현)측의 편  
 마모가 나타나고 있다.

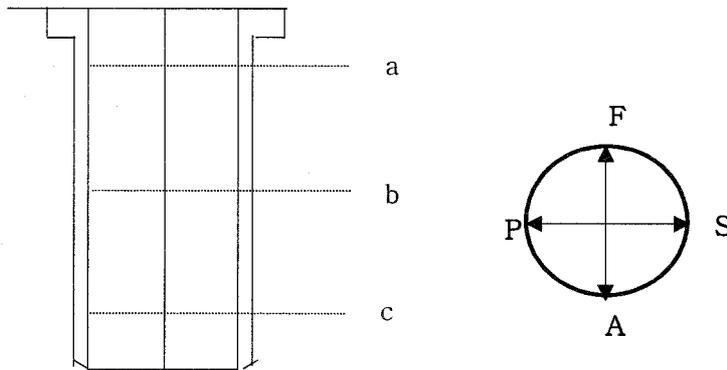


그림 267 라이너 측정 위치

표 69 라이너 마모도 측정치

측정위치		측정치(mm)
a	FA	380.40
	PS	380.70
b	FA	380.15
	PS	380.25
c	FA	380.25
	PS	380.45
※ 실린더 직경 : 380mm		

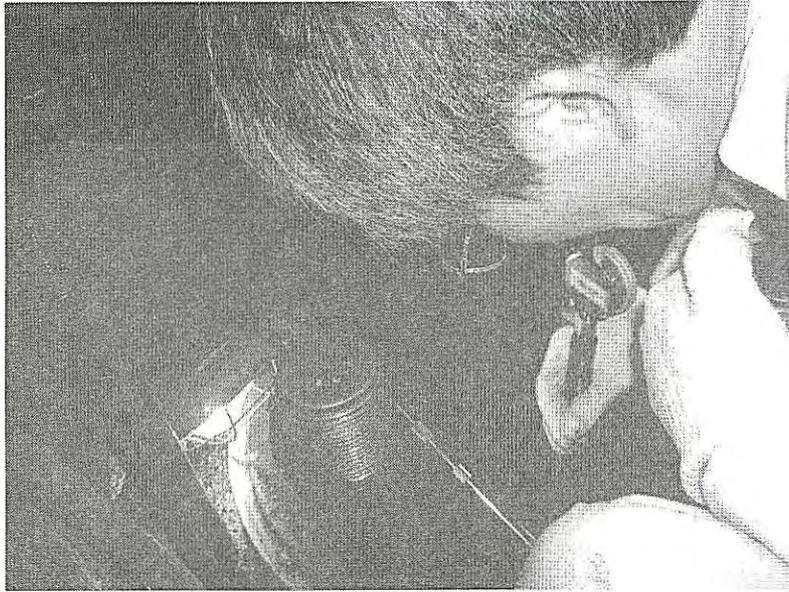


그림 268 라이너 마모계측 장면

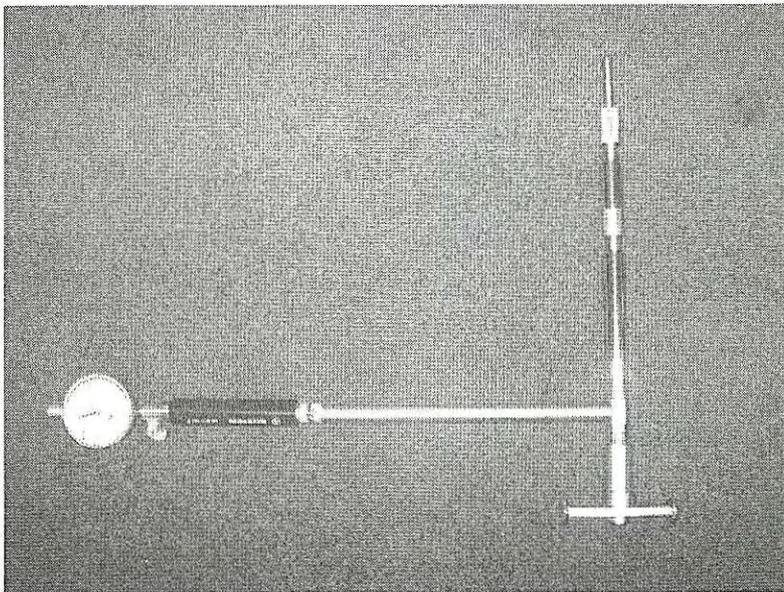


그림 269 Bore gauge

그림 270과 273은 실린더 커버헤드를 분리한 연소실의 내부 사진이다. 아래 그림에서 혼합유 사용에 의하여 발생된 부식의 흔적은 보이지 않고 있다.

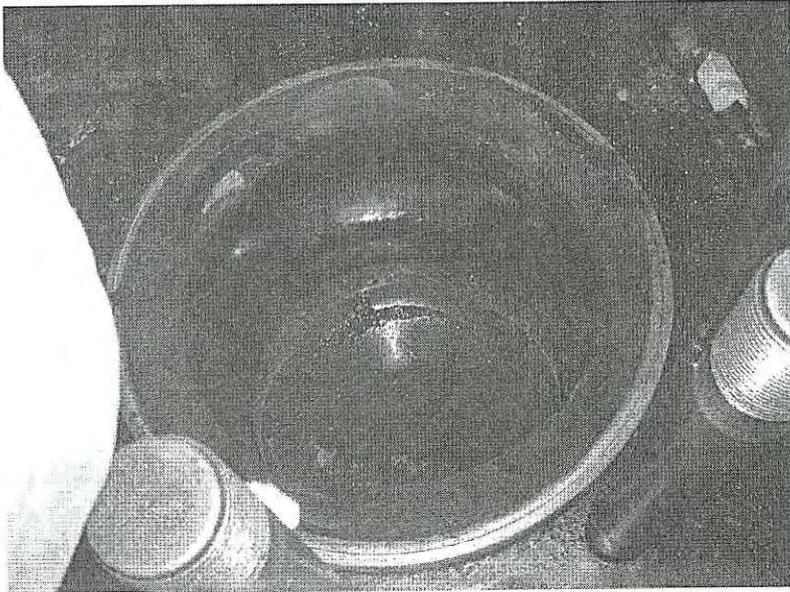


그림 270 개방 직 후 연소실 내부

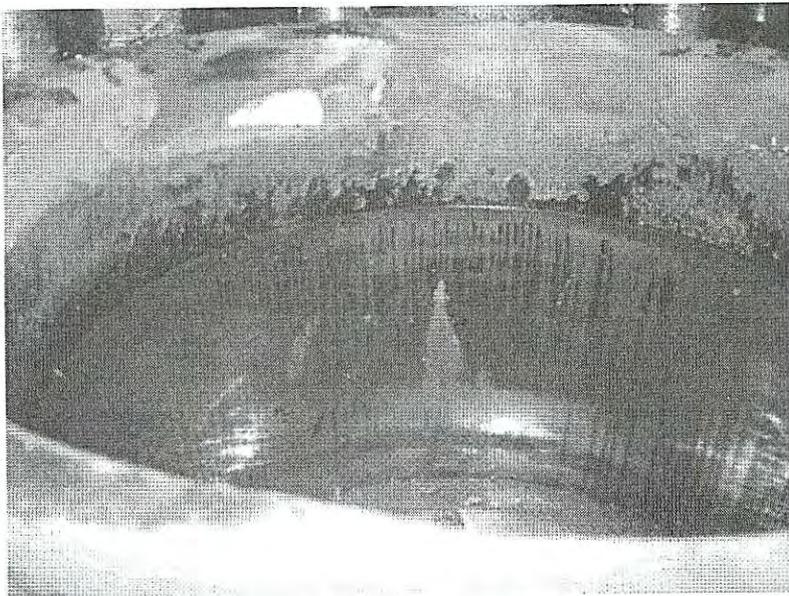


그림 271 개방 직 후 연소실 내부



그림 272 연소실 청소 후 연소실 내부



그림 273 연소실 청소 후 연소실 내부

## 나. 배기밸브 상태확인

그림 274 ~ 276는 투리스 79호에서 사용한 배기밸브의 사진이다. 그림 274는 연소실 확인을 위하여 분해한 10일 사용한 배기밸브이다. 그림에서와 같이 시트와의 접촉면에 특별한 마모흔적은 보이지 않고 있다. 그러나 그림 275는 약 20일 정도 사용하고 교체된 배기밸브인데 시트와의 접촉면이 심하게 손상되어 있다. 또한 현지 기관장과의 면담에서 MF30 사용시에는 배기밸브를 약 30일 정도 사용하였으나 MF60으로 연료유를 변경하고 나서는 배기밸브를 20일 정도 사용하고 나면 아래의 그림과 같이 밸브가 손상된다고 하였다.

그림 277 및 278은 배기밸브의 시트를 분리한 것이다. 그림에서와 같이 밸브시트에는 특별한 손상이 없는 것으로 나타나고 있다.

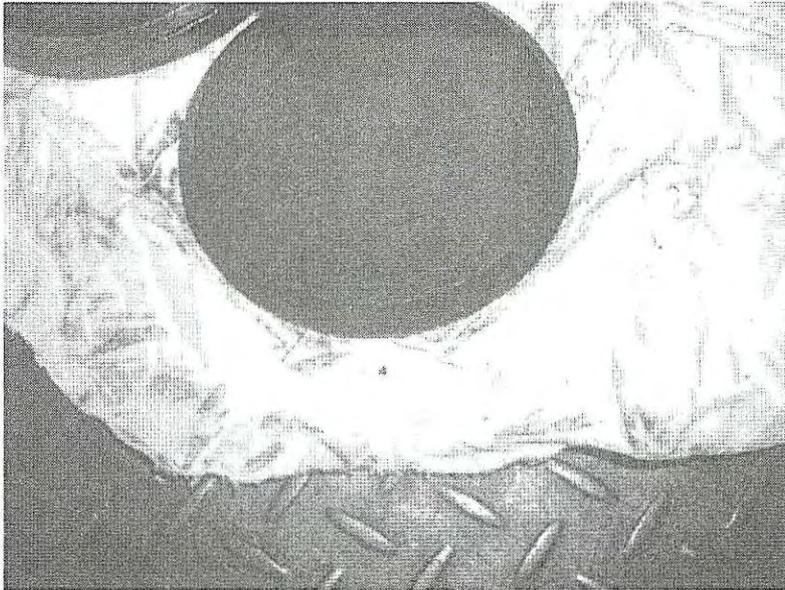


그림 274 10일 사용한 배기밸브



그림 275 20일 사용한 배기밸브



그림 276 배기밸브

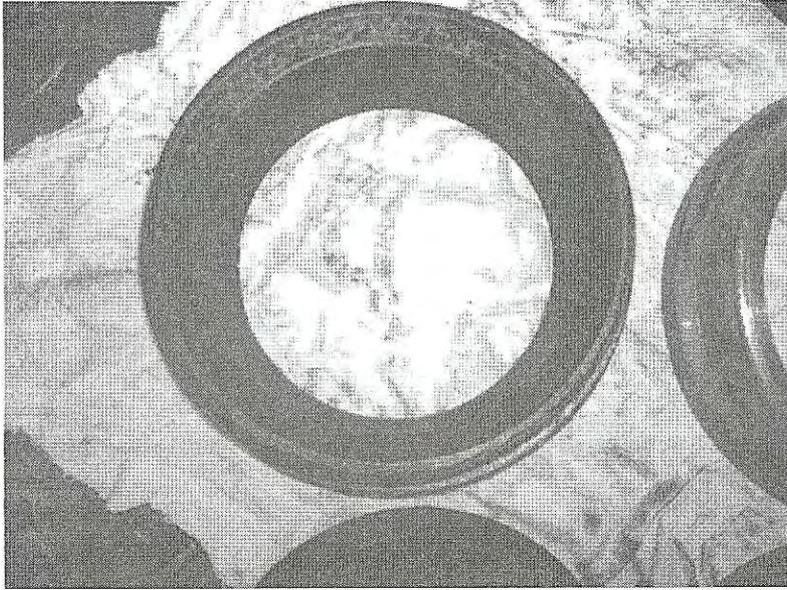


그림 277 배기 밸브 시트

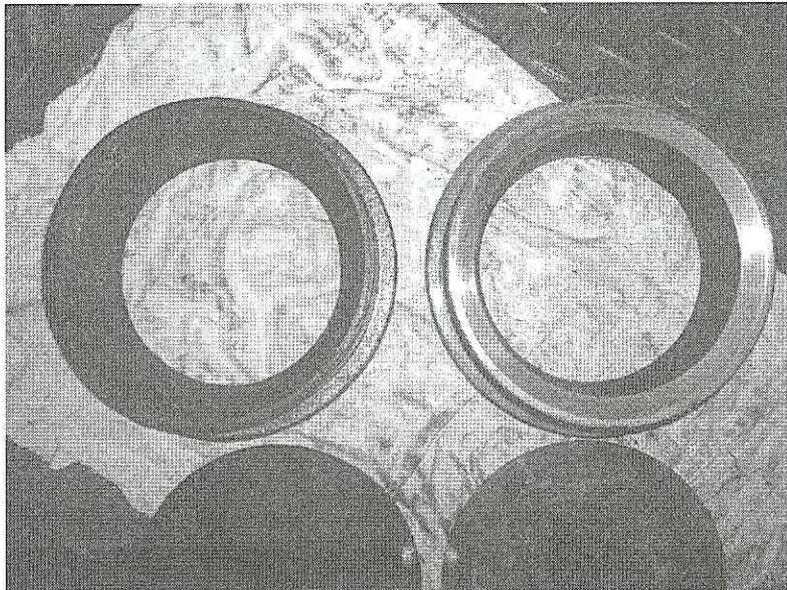


그림 278 배기밸브 시트 비교

#### 다. 연료분사 노즐 상태확인

그림 279 ~ 283은 연료분사 노즐을 분리한 사진이다. 각 그림에서와 같이 약 4개월 정도 사용한 노즐 팁부분의 카본의 축적정도가 아래 그림에서와 같이 양호한 것으로 나타났다. 또한, 그림 283은 분리한 노즐을 노즐 분사시험기에 장착하고 분사상태를 확인한 것인데 연료의 적하현상도 발생되지 않았고 분무상태도 양호한 것으로 확인되었다.

기관장과의 면담시 MCH(Mixing Clean Heater : 연료가열교반장치)장치 없이 MF30을 사용했을 때와 비교하여, 분사노즐이 카본에 의하여 막히는 빈도가 많이 좋아진 것으로 기관장이 설명하였다. 전처리장치가 혼합유의 성질을 미세화하여 연료의 분사상태를 개선하고 있는 것으로 추측된다.

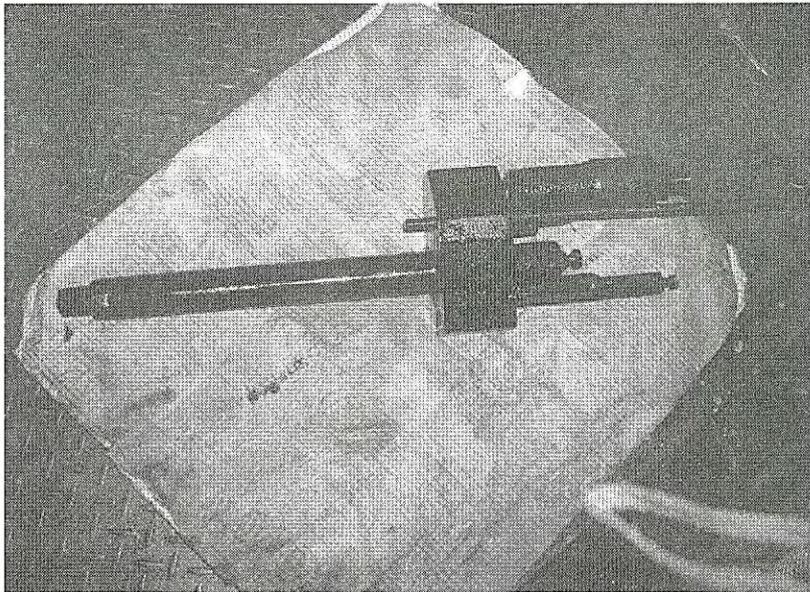


그림 279 연료분사 장치

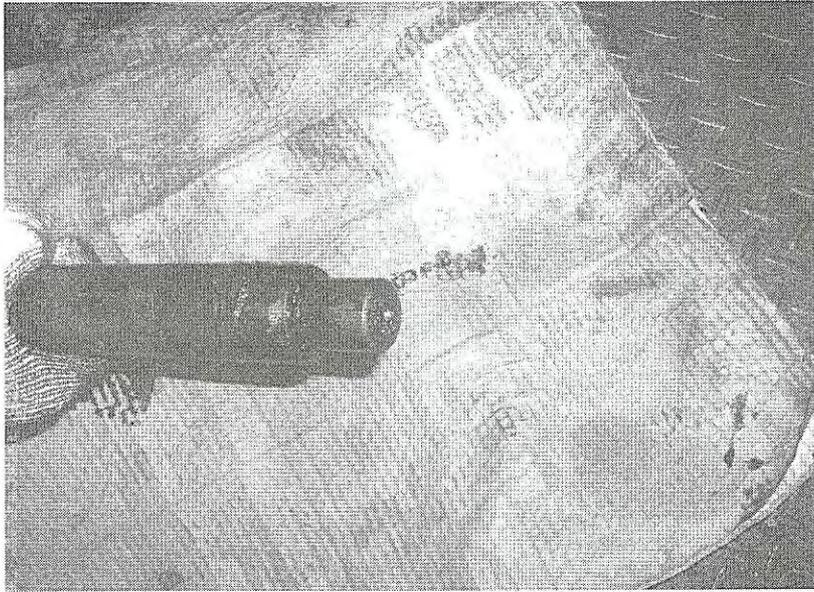


그림 280 노즐 앞부분

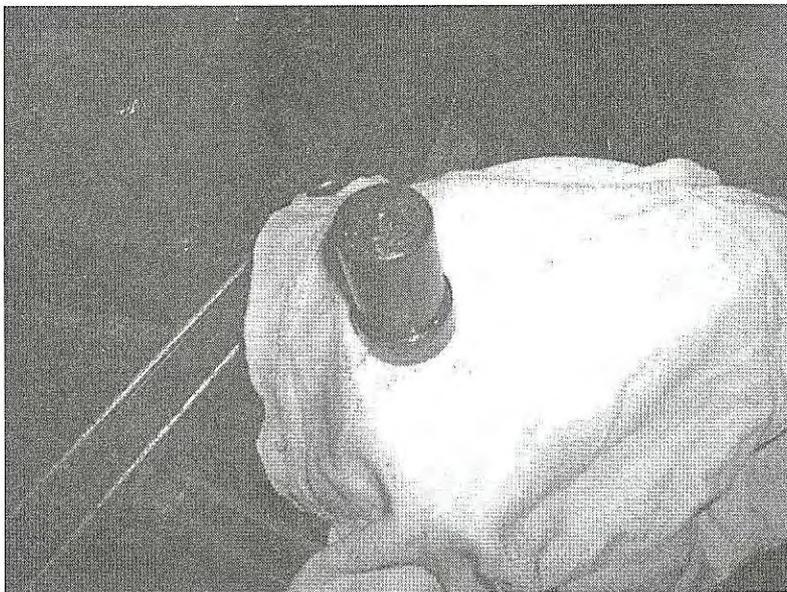


그림 281 노즐의 카본 축적 정도



그림 282 노즐 및 니들 밸브

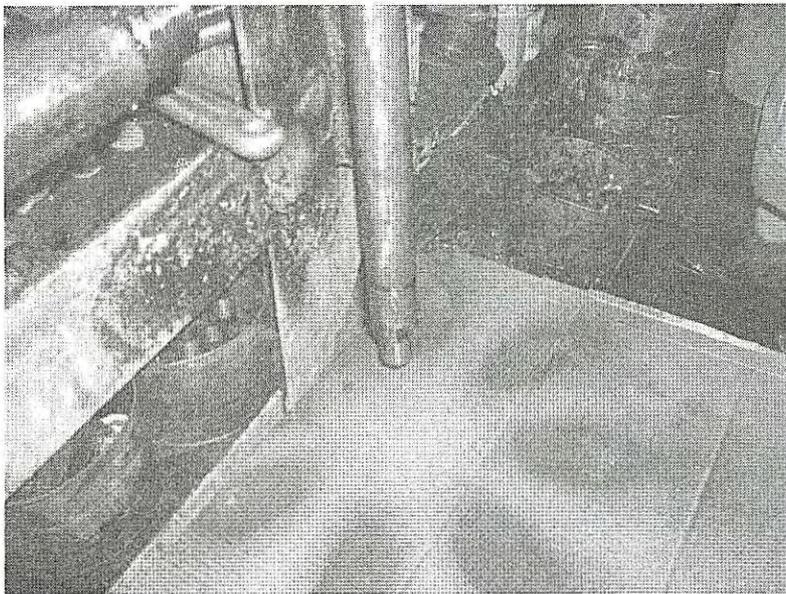


그림 283 노즐 분사 상태

## 제3절 전처리 장치 시스템 표준화

### 1. 연료저장 탱크

#### 가. Settling Tank 및 Service Tank

일반적으로 선박에는 Settling Tank와 Service Tank가 설치되어 있는데, 선저의 연료저장탱크로부터 연료를 Settling Tank로 이송하여 중력을 이용하여 고형물질 및 슬러지를 침전시키는 작용을 위해 Settling Tank를 설치하고 있으나, 혼합유를 사용할 경우 침전을 위하여 장시간 연료를 순환시키지 않으면, 혼합유의 특성상 층분리 현상이 발생할 수 있으므로 침전탱크의 사용에 유의하여야 한다.

일단 혼합연료의 사용을 위하여 Settling 혹은 Service Tank에 연료를 저장하고 나면 MCH 및 Purifier를 통해 혼합유에 포함된 고형물질 및 슬러지를 제거하고, 층분리 현상이 일어나지 않도록 연료의 사용 시까지 계속해서 전처리 해주는 것이 필요하다.

저급혼합유를 사용하기 위해서는 그림 285와 같은 탱크내의 연료를 가열하는 장치(방폭형이어야 함)가 필요하다. MF60 이하의 혼합유는 유동점이 낮기 때문에 사용하고자 할 경우에는 동절기를 대비하여 탱크 가열장치가 필수적이다.

그림 286과 288은 대형선박에서 일반적으로 사용되고 있는 방법으로 선박용 보일러의 증기를 이용하여 연료를 가열하고 있다. 그러나 현재 어선에는 보일러 장치 및 연료탱크 가열장치가 설치되어 있지 아니한 선박이 대부분이다. 이로 인해 혼합유를 사용한다 하더라도 동절기에 수온저하로 인하여 연료이송에 많은 애로사항이 있다. 그림 288은 연료흡입구 측에 방폭형 전기히터를 설치하여 흡입관 주위를 부분적으로 가열하여 연료의 점도가 내려가도록 하여 이송 펌프로 이송할 수 있도록 하는 장치이다. 그림 288의 방법과 더불어 흡입관을 기존의 경유를 쓰던 관보다 크게 확장하여 사용하면 동절기에 연료이송으로 인한 문제점은 해결될 수 있을 것으로 사료된다.



그림 284 탱크내에 쌓인 슬러지

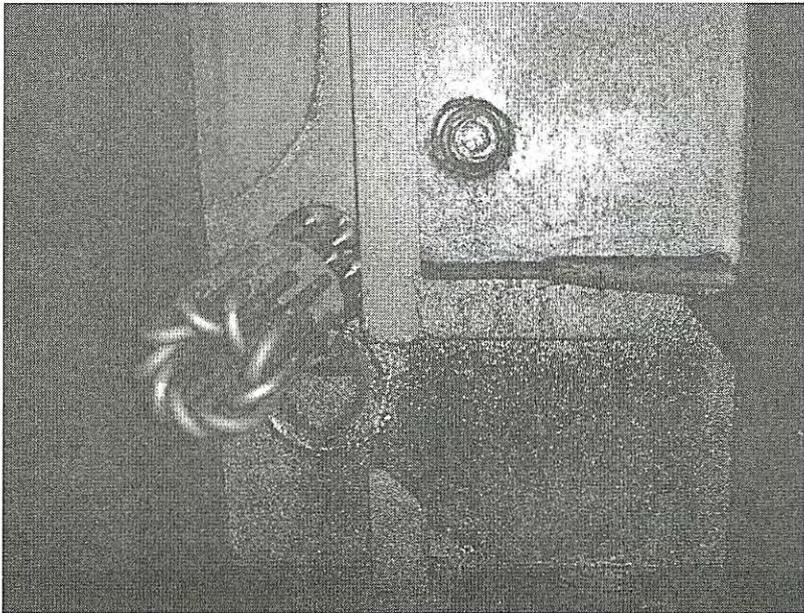


그림 285 탱크가열장치(방폭형이어야 함)

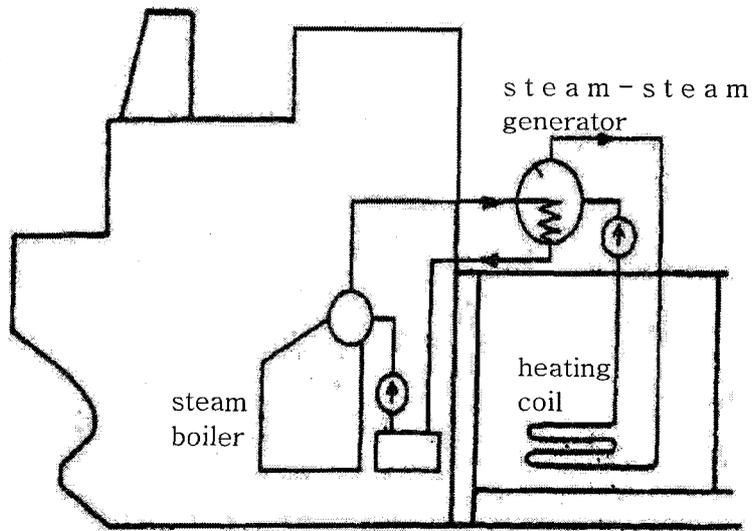


그림 286 간접식 가열방법

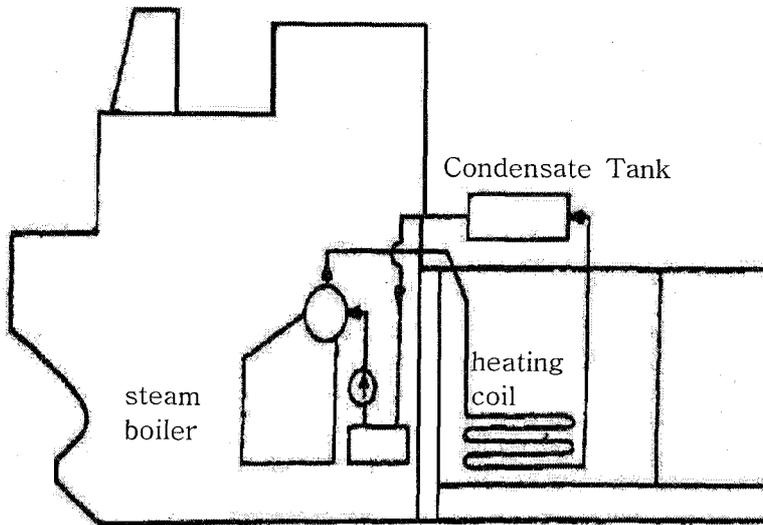


그림 287 직접식 가열방법

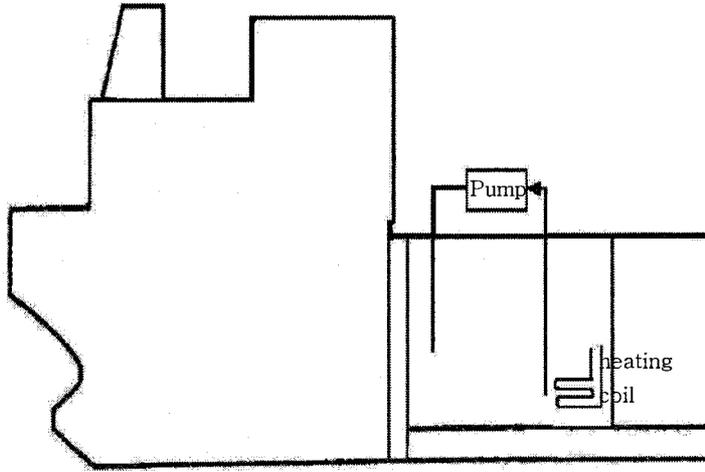


그림 288 부분가열 방법

#### 나. 슬러지 Tank

연료 전처리 장치로 Purifier를 사용할 경우 필연적으로 발생하는 슬러지를 저장하는 탱크이다. 어선의 경우는 장기간 해상에서 조업을 하는 경우가 많고, 공간 또한 협소하여 선박에서 발생하는 슬러지를 오랫동안 저장하여야 하는 문제점이 있다. 또한 국외의 경우는 슬러지 등의 선박폐기물을 처리할 수 있는 기반시설들을 보유하고 있지 아니한 경우가 많아 이러한 폐기물을 처리하는데 어려움이 있다.

## 2. 여과기(1~3차)

연료유중의 물, 슬러지 등을 여과하는 방법이 오래 전부터 사용되어 왔으며 여러 가지 형식의 여과기가 시판되고 있다. 기존에 경유를 사용하던 선박이 혼합연료로 연료를 변경함에 있어 문제점 중의 하나가 혼합유 속에 포함되어진 회분 및 금속성분에 의한 연소실의 마모이다. 경유는 중류유이기 때문에 회분 및 금속화합물에 대하여 별문제가 없으나 중유와 혼합된 혼합유는 저급유로 갈수록 회분과 금속분이 증가하기 때문에 연소실 내의 피스톤과 라이너를 마모할 수 있어 적절한 여과기의 설치가 필요하다.

본 시스템에는 F.O Feed Pump의 Suction 부분에 그림 289에서와

같이 1차 여과기(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 그림 291에서와 같이 2차 여과기(100mesh)로 전처리장치 출구측에 설치하고 1200G(Gauss)의 강력한 자장을 통한 미세한 금속을 제거토록 영구자석을 제작·설치하여 이물질 및 불순물을 제거토록 설계하였다. 또한, 그림 292에서와 같이 엔진 입구측에 280mesh의 3차 여과기를 설치하여 이물질을 제거할 수 있도록 하였다.

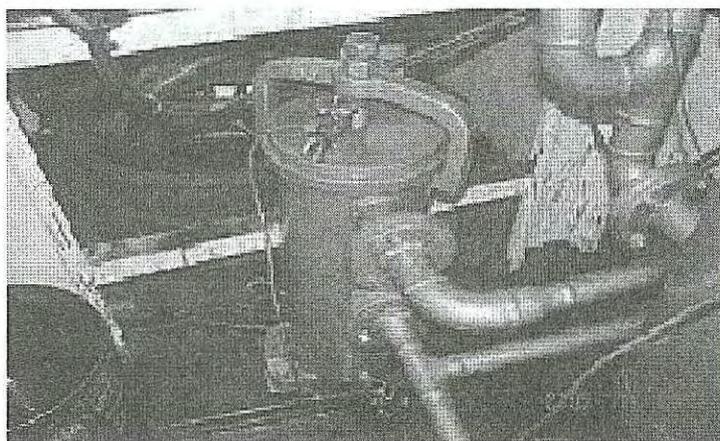
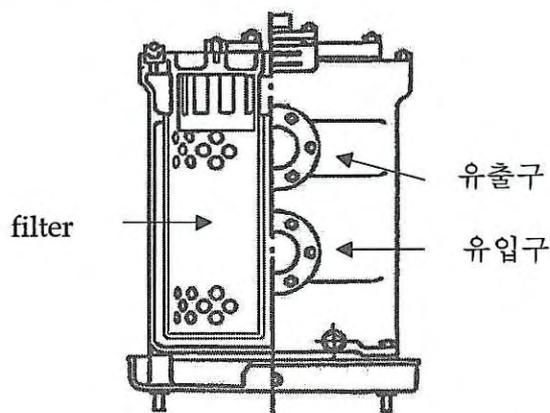


그림 289 금속망식 여과기



그림 290 연구자석에 붙은  
금속물질

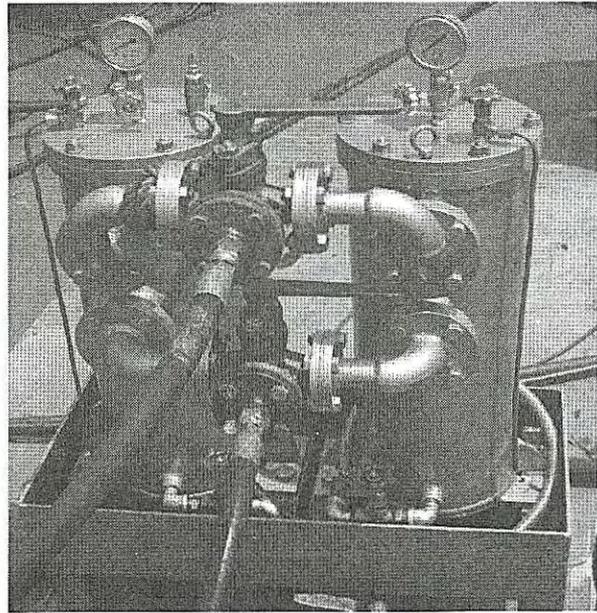
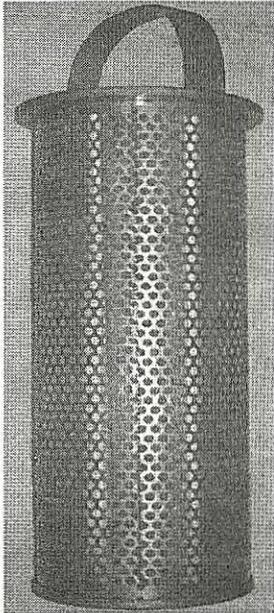


그림 291 2차 여과기

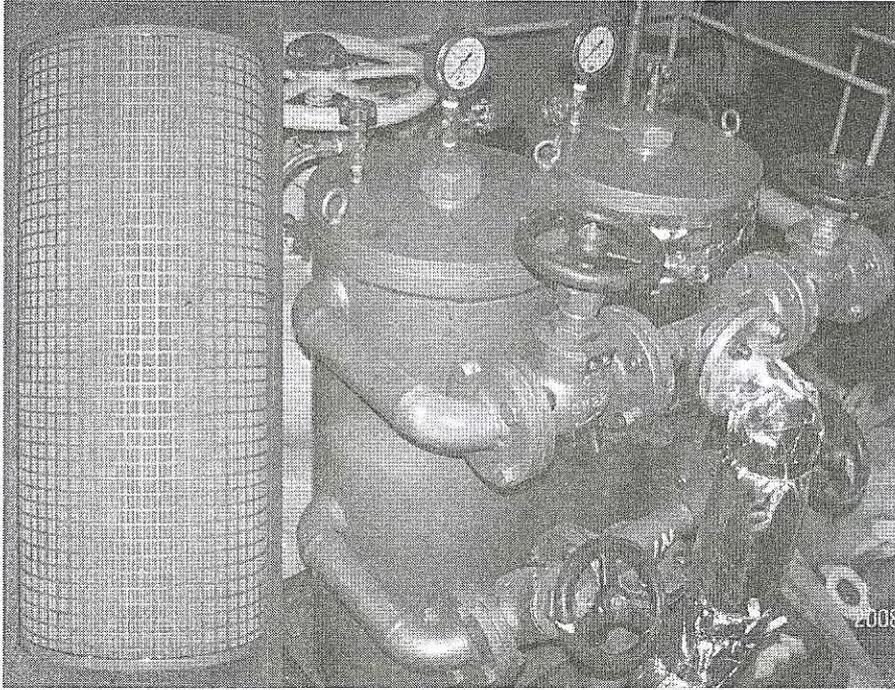


그림 292 3차 여과기

일반적으로 여과기는 금속망식, 적층판식, 노치와이어식 여과기 등이 있다.

금속망식 여과기는 연료용으로 가장 많이 사용되고 있는 것으로 금속망의 꼬이는 방법에 따라 평직(平構), 능직(綾織), 첩직(疊織) 등이 있으며 메쉬(mesh, 1inch 내에 있는 구멍수)가 많아지면, 평직에서는 선경(線徑)이 가늘어서 강도가 부족하기 때문에 첩직이 사용된다. 또한, 여과입도(濾過粒度)는 구멍크기( $\mu m$ )로 결정되고 금속망은 원통, 명판 등이 있다. 또한 기름의 유입·유출방향에 따라 망사의 내외의 여과를 분류한다. 재질(材質)로는 스테인레스강이 가장 많고 황동 또는 보통강도 사용되며, 용도로는 주로 청수, 해수, 유류 등에 사용된다.

적층판식 여과기는 얇은 금속판을 서로 겹친 형태로 그 간격에 따라 여과입도가 결정된다. 핸들(handle)을 회전시킴에 따라 고정된 여과기 망사(cleaner-plate)에 부착된 협잡물을 말끔히 소제하는 형태와

핸들을 일정 시간에 따라 회전시키는 방법으로 된 것을 자동여과식(auto-clean type)이라고 한다. 재질은 황동 또는 스테인레스강이 많은데 주로 제어공기용에 사용된다. 그림 293은 자동소제식 여과기의 개략도를 표시하고 있다.

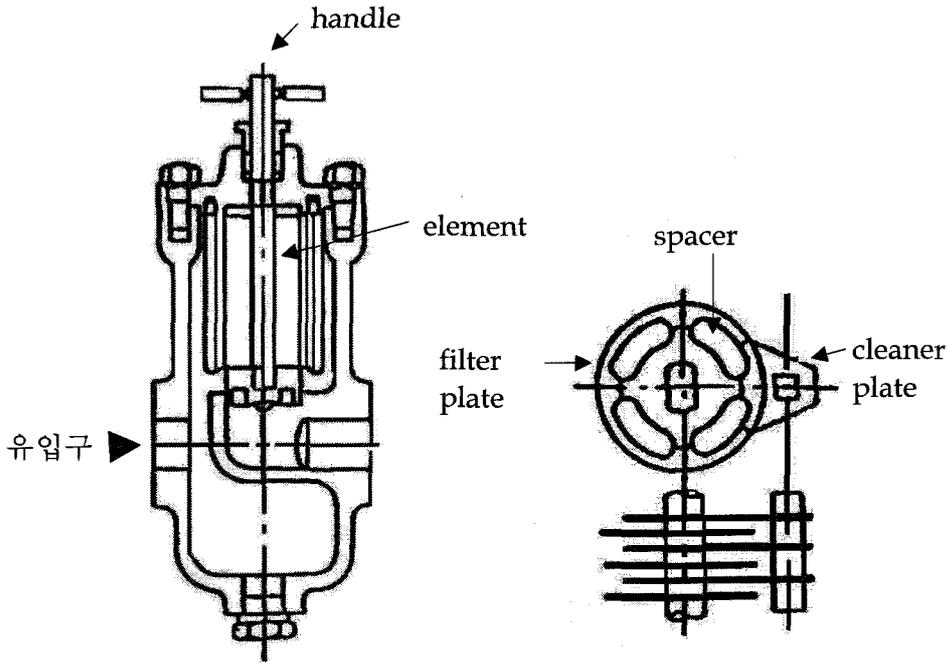


그림 293 적층 금속판 자동소제식 여과기

노치 와이어식(notch wire type)여과기는 방전가공(放電加功)으로 돌기를 만든 금속선을 원통으로 감아 제작한 것이기 때문에 돌기의 높이(또는 notch의 높이)에 따라 여과입도(또는 여과능력)가 결정된다. 금속망에 비교하여 선의 두께를 크게할 수 있으므로 구멍을 적게 하여도 강도를 유지할 수 있다. 재질은 스테인레스강이 일반적이며 유체 공급용에 사용된다. 그림 294은 노치와이어식의 여과기를 나타내고 있다.

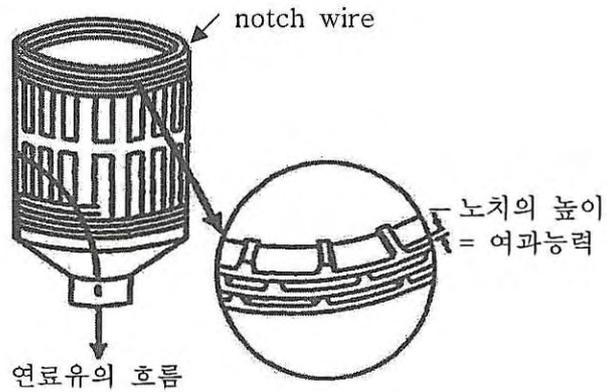


그림 294 노치와이어식 여과기

### 3. Pump 및 Motor

그림 295에서와 같이 연료유 이송을 위하여 기어펌프를 설치하였으며, 펌프용량은  $1.5 \sim 2.0 \text{M}^3/\text{h}$ 이고 Motor는 1200RPM의 3상유도전동기를 사용하여 연소시험 시 사용하였다. 실제 선박에서 시스템을 구성할 때에는 새로운 펌프의 설치없이 기존에 선박에서 사용하고 있는 F.O Feed Pump를 사용하여 시스템을 구성할 수 있다.

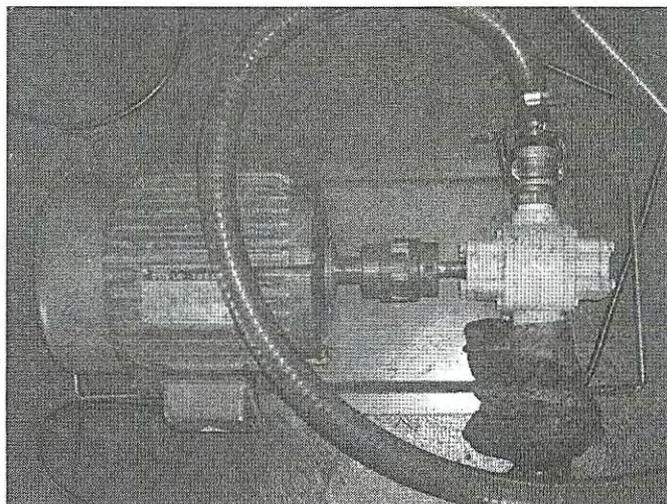


그림 295 연료이송 펌프

#### 4. MCH(Mixing Clean Heater, 교반기열장치)

선박용 디젤기관에 사용되는 연료의 적절한 동점도(Kinetic Viscosity mm<sup>2</sup>/sec at 50°C)는 8~27cSt이므로 M.G.O(경유)나 M.D.O(A 중유)은 가열하지 아니한 상온에서도 적정 점도가 유지되지만 중유와 경유를 혼합한 혼합유의 경우는 적절한 점도를 유지하기 위하여 연료를 가열하여야 한다. M.C.H는 이러한 혼합유의 가열을 목적으로 제작된 가열장치이며, 또한 장치 내부에 와류충돌판(Friction Plate)를 설치하고 Screw를 회전시켜 연료유의 회전을 통하여 장치 내부의 열의 분포를 균일하게 유지하고, 연료유가 와류충돌판에 부딪히는 Splash 현상을 통하여 연료유의 고형물을 미세화 하도록 고안되었다.

장치 내부에 설치된 Screw의 회전을 위하여 동력전달장치를 장치의 상부에 설치하였고, Screw와는 Motor축 Shaft Coupling과 프로펠러 축 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 그림 296과 같다.

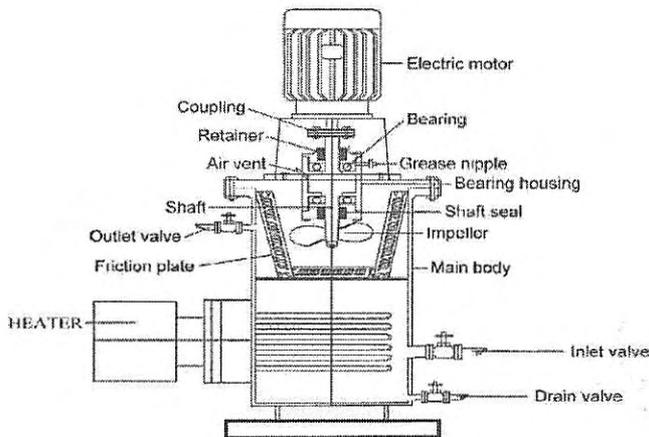


그림 296 교반기열장치(M.C.H.)의 단면도  
Screw에서 만들어진 연료유의 흐름은 상방향에서 하방향으로 급

격한 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 미세화하는 기능을 포함하고 있다. 그림 297은 와류충돌판의 모습이다.

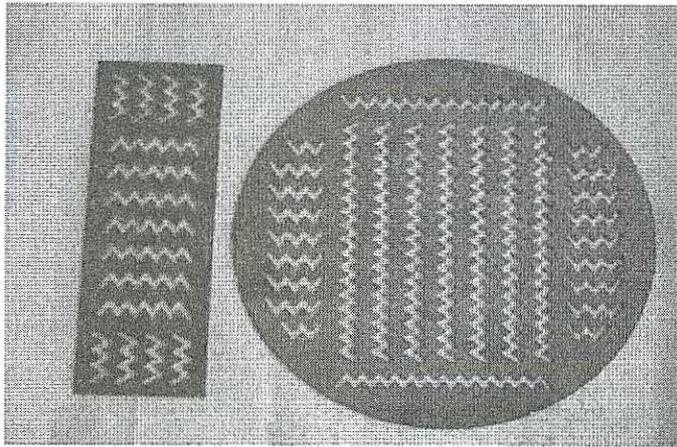


그림 297 와류충돌판(Friction Plate) 분해도

경유는 점도가 낮기 때문에 상온에서 가열할 필요가 없으며, 일반적으로 제작사에서 요구하는 점도의 적정치는 8~27cst(50℃)정도이다. 따라서, 혼합유 등은 점도가 너무 높기 때문에 점도를 낮추기 위하여 Heating을 하여야 하며, Heating 장치로서 전기식 가열장치(Electric Heater)를 설치하여 사용하도록 하였으며, 외관도는 그림 298과 같다.

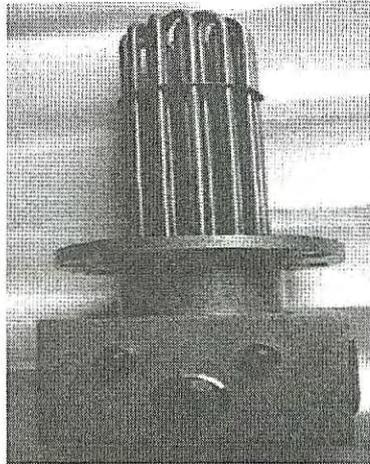


그림 298 가열장치(Heater) 외관도

## 5. Purifier

Purifier는 비중에 따라 작용하는 원심력의 차이를 이용하여 연료를 청정하는 장치로서 360cSt 이상의 저급유를 사용하는 대형상선 등에서 오랫동안 사용되고 검증된 장치이다.

여러가지 불순물이 함유된 기름을 회전통(bowl)내에 넣고 고속으로 회전시켜 기름에 원심력을 주면 그림 299에서처럼 바깥쪽에서부터 비중이 큰 물질이 쌓이게 된다. 이론적으로는 기름보다 비중이 큰 모래나 슬러지, 금속성분 등은 분리가 되나 회분 등과 같이 기름보다 비중이 낮은 물질은 분리하기가 어렵다.

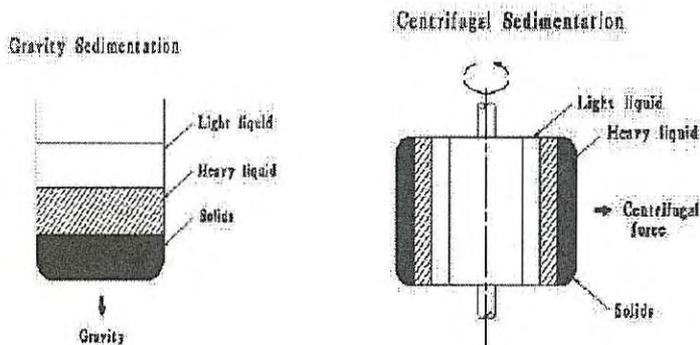


그림 299 원심분리

원심식 Purifier의 청정원리는 그림 300에서와 같이 청정기내에 여러 겹으로 쌓여있는 분리판 사이(1~3mm)이 있고 원심력에 의하여 분리판 주위로 물(봉수, seal water)이 둘러싸여 있다. 가운데 distributor를 통해 정제할 기름이 유입되면, 물보다 비중이 낮은 기름은 봉수 내부에 모이게 되고, 슬러지(비중 약 1.8)와 같이 물보다 비중이 큰 물질들은 원심력에 의하여 disk hole을 통해 외측으로 싸이게 된다.

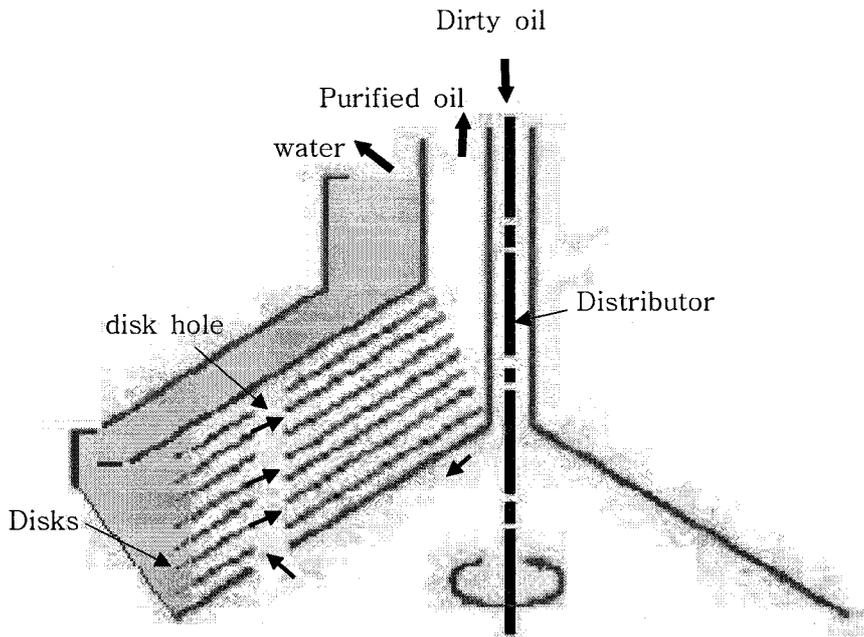


그림 300 원심식 Purifier의 정제 원리

그림 301은 일반적인 Purifier의 구조도를 나타내고 있다. 동력전달과정은 Motor에서 Friction Clutch를 통하여 Horizontal Shaft에 동력이 전달되고, Horizontal shaft의 Spiral Gear와 Vertical Shaft의 Pinion Gear에 의하여 동력이 유체에 원심력을 가하는 Bowl에 연결되어 있다. Bowl은 Vertical Shaft의 상부에 취부되어 있어, Vertical Shaft의 회전수로 회전하면서 내부의 기름에 원심력을 가하게 된다. Oil을 Purifier에 공급하기 위한 Suction Pump가 Horizontal Shaft에 Safety Joint에 의해 접속되어 있다. 또한, Bowl 내의 Oil을 토출하기 위한 원심펌프가 Bowl상부에 조립되어 있다.

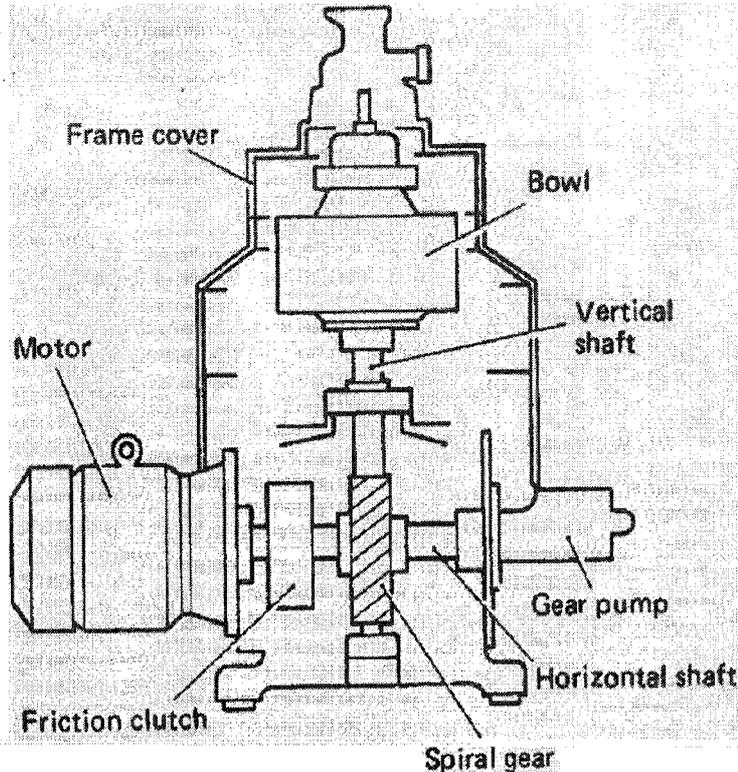


그림 301 Purifier 내부 구조도

## 6. 시스템 구성

현재 경유를 사용하고 있는 선박에서 연료유를 혼합유로 바꾸고자 한다면 다음의 사항이 먼저 고려되어야한다.

- ① 연료전처리장치의 설치공간(기관실 또는 기타공간)
- ② 혼합유 저장탱크 및 탱크 가열장치 설치
- ③ 동절기를 대비한 연료유 배관의 크기
- ④ 윤활유 변경 및 처리장치 설치
- ⑤ 전처리장치(Purifier)에서 발생하는 Sludge의 저장 및 처리장치 설치
- ⑥ 기관 정비주기 단축에 따른 경제성 문제
- ⑦ 연소 계통의 Spare parts 준비
- ⑧ 혼합유의 조달 및 혼합방법(해외에서 급유하는 경우 주문한 혼합유보다 질이 낮은 경우가 많음)

① 연료유를 혼합유로 변경하기 위해서는 전처리장치를 필수적으로 설치하여야한다. 경유의 경우는 증류유로 연료유 내부에 엔진의 마모 및 연소계통에 문제를 일으킬 수 있는 성분들이 적기 때문에 연료를 선박에서 전처리하지 않고 사용하여도 엔진에 큰 문제가 되지 않으나, 혼합유의 경우는 Bunker C와 경유를 혼합하여 만들기 때문에 잔사유인 Bunker C에는 회분, 금속분, 잔류탄소분, 슬러지 등이 경유에 비하여 다량 포함되어져 있으므로 엔진의 손상과 엔진고장으로 인한 손실을 최소화하기 위하여 연료를 전처리하는 것이 필수적이다. 전처리 장치의 설치를 위해서는 기관실 내에 열손실이 적은 곳에 설치하면 운전과 조작 시에 용이하나 공간이 부족한 경우에는 단열이 잘되는 안전한 곳에 설치할 수도 있다.

② 또한, 저급혼합유로 갈수록 점도가 급격하게 높아지기 때문에 연소실내에서 적절히 연소될 수 있도록 연료의 점도를 유지하는 가열장치 또한, 필수적이다. Purifier의 경우는 연료가열장치를 별도로 설치하여 적절한 온도를 유지하여야 하고, MCH는 장치내부에 연료가열장치가 설치되어 있으므로 따로 연료가열장치를 설치할

필요가 없다.

- ③ 연구를 진행하면서 혼합유를 사용하고 있는 국내선박의 기관담당 자들과 면담해 보았더니 저급유로 갈 수록 연료의 점도가 높기 때문에 연료이송에 대한 애로사항을 많이 듣게 되었는데, 기존의 경유를 쓰던 배관을 그대로 이용하여 전처리장치만을 설치하였을 경우 수온저하 등으로 점도가 높아져 펌핑이 잘되지 않았기 때문에 연료배관을 다시 확장하는 공사를 시행하는 경우가 여러 번 청취되었다. 또한 어선의 경우는 연료저장탱크가 선저에 위치해 왔으므로, 그 위에는 보통 어창이 있어 탱크의 온도를 더욱 떨어뜨리는 역할을 하게 된다. 그렇다고, 탱크에 가열장치를 설치하게 되면 어창의 온도상승으로 어창에 보관되어 있는 상품들의 손상을 일으킬 수 있어 일반적인 가열장치를 설치할 수 없다. 그래서 연료의 이송을 위해서는 그림 288에서 언급한 부분가열방식을 이용하여 연료를 이송하는 방식을 택하는 것도 좋은 방법이라 판단 된다.
- ④ 저급 연료를 사용하게 되면 경유를 사용할 때보다 엔진의 연소계통의 정비 주기가 단축되는 것은 당연하다. 특히 라이너, 피스톤 링, 배기밸브의 마모가 빠르게 진행될 수 있으므로 윤활유의 오손도 경유 사용 시에 비하여 빠를 수 있다. 따라서, 윤활유를 혼합유 사용에 적합한 윤활유로 변경하되 가능하다면 윤활유 청정 장치의 설치를 고려해 볼 필요가 있을 것으로 보인다.
- ⑤ 전처리 시스템의 선정 시에 전처리 장치들로부터 발생하는 슬러지 등의 처리문제도 고려하여야 한다. 어선의 경우는 일반 대형 상선과는 달리 공간적인 여유가 부족함으로 발생하는 슬러지 등을 장기간 저장할 만한 공간적인 여유가 없다. 그러므로 슬러지의 해양투기를 방지할 수 있는 대책을 신중히 고려할 필요가 있다.
- ⑥ ~⑦ 등 연구에서 사용된 전처리 장치는 MCH나 Purifier를 단독

으로 이용한 시스템과 MCH와 Purifier를 같이 사용한 시스템에 대하여 엔진상태 및 배기상태와 장기간 사용 시의 엔진 상태에 대하여 조사하였다. 3가지 시스템의 경우 기본 운전시험 시의 배기 가스 측면에서는 엔진의 운전방법을 조절함으로써 경유와 비슷한 배기가스의 발생량과 엔진의 상태를 유지할 수 있었으나, 장기간 운전 시에는 혼합유 사용 시의 마모가 경유 사용 시보다는 다소 빠르게 진행되는 것으로 조사되었으며, 특히 배기밸브 및 엔진 노즐의 손상이 자주 일어 나는 것으로 조사되고 있어 정비주기의 단축과 여분의 spare parts를 본선에 항상 비치하여 해양사고로 이어지지 않도록 하여야 한다.

- ⑧ 현재 원양에서 조업중인 선박들이 혼합유를 급유받을 경우 주문한 제품보다 저급한 혼합유를 수급하거나 수급된 혼합유가 주문한 제품인지에 신뢰가 가지 않는 문제 등이 있어 한 선사에서는 제품유로 출시되는 MF 180을 사용하는 경우가 있다. 이런 경우 과거의 유가파동시 혼합유를 직접 본선에서 제작하여 사용한 것과 같이 선내에 간이한 혼합장치를 설치하여 제품의 비율에 맞게 혼합함으로써 유류비용의 절감과 엔진의 정비주기 연장에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

동 연구에서 제안하는 연료 전처리장치의 시스템으로서 Purifier system과, M.C.H. system, 그리고 Purifier system과 M.C.H system을 조합한 system을 제안한다.

그림 302의 Purifier system은 기존의 선박에서 사용하고 있는 Purifier 장치를 사용하기 위한 시스템으로 기존에는 1차적으로 침전 탱크에서 중력으로 슬러지 등의 이물질을 침전시키고 나서 가열장치를 통하여 Purifier로 청정한 기름을 Service 탱크로 보내거나 Service 탱크의 청정된 연료를 계속해서 청정하는 시스템이었으나. 혼합유의 특성상 침전탱크에서 침전을 오랫동안 시킬 경우 층분리 현상이 발생할 수 있으므로 혼합유를 침전탱크로 이송하고 전처리된 연료를 Service 탱크로 보내어 Service 탱크의 기름이 침전탱크로 넘어갈수 있도록 하여 계속적으로 혼합연료가 혼합될 수 있도록 하였다.

그림 304은 연료 청정라인에 연료가 3개의 여과기를 통과하면서 이물질이 제거될 수 있도록 하였고, 혼합유의 층분리현상을 방지하기 위하여 MCH를 통해서 계속적으로 연료를 순환하면서 혼합되도록 하였다. 그림 304은 MCH System에 선내간이 혼합장치를 포함하여 구성한 System으로서 본선의 여유공간 확보가 곤란한 경우에는 Blending 탱크를 생략하고 서비스탱크만으로 시스템을 구성하도록 한다. 경유(MGO)와 선내저장 탱크내의 중유(Bunker B 또는 C, MF 180)은 1차 선내간이 혼합장치에서 혼합되고, 2차 MCH의 교반장치내에서 호합되며, 3차 동 혼합 시스템을 순환하면서 혼합된 후 즉시 엔진에 공급되거나 혼합유 탱크에 잠시 저장되었다가 곧 엔진에 공급되기 때문에 종래의 분리현상을 염려할 필요가 없다.

그림 305은 Purifier와 MCH를 조합하여 MCH로 먼저 연료를 미세화하고 난 후에 Purifier를 운전함으로써 sluge의 발생량을 최소화할 수 있도록하였다.



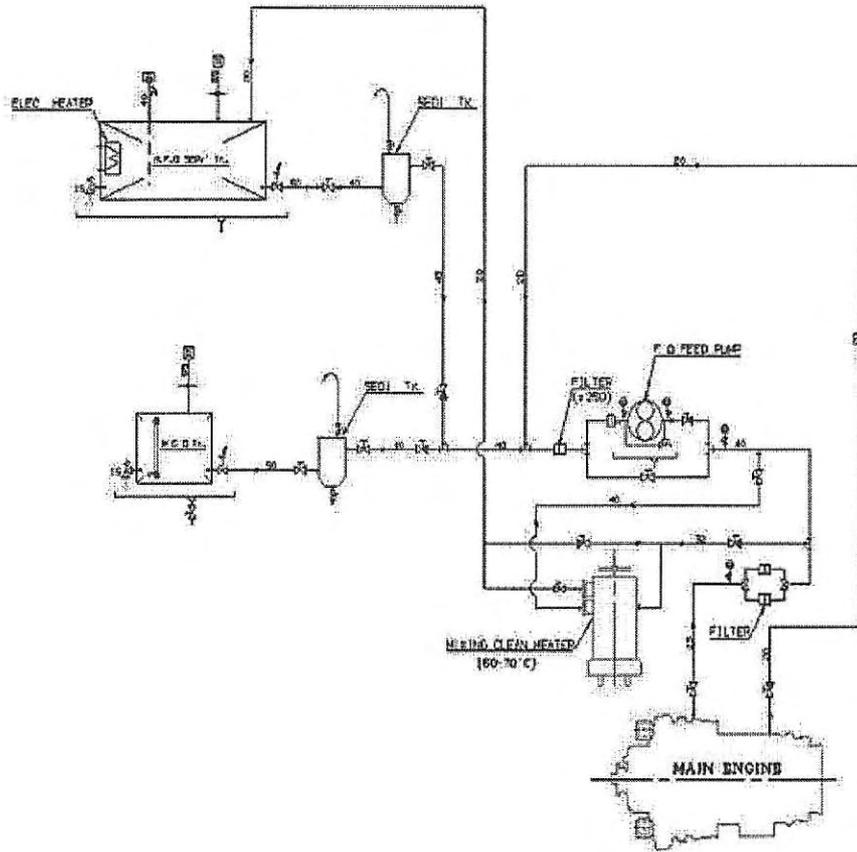


그림 303 M.C.H. system 계통도

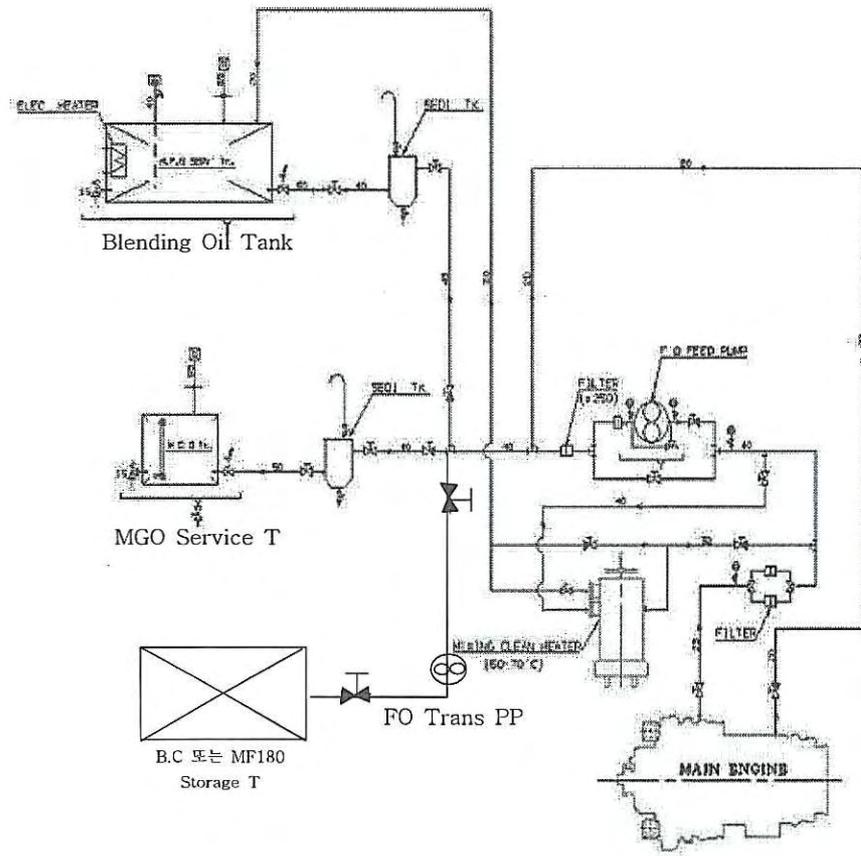


그림 304 선내간이 혼합장치를 포함하여 구성한 M.C.H. system 계통도

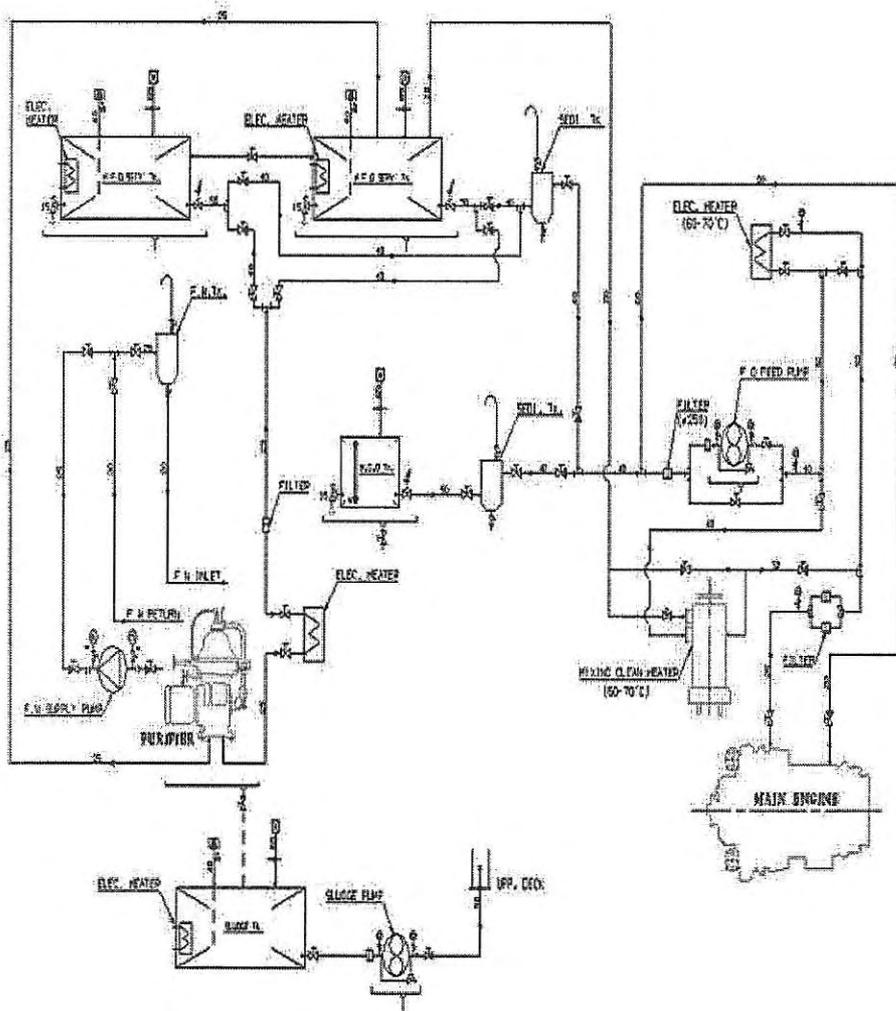


그림 305 Purifying + M.C.H. system 계통도

## 제4절 경제성 분석

### 1. 연구대상 주요 업종의 조업형태 분석

#### 가. 어업의 정의

어업이란 수산업법 제2조에 의하여 수산동식물을 채취·포획 또는 양식하는 사업을 말하며 그 범위는 그림 305과 같다.

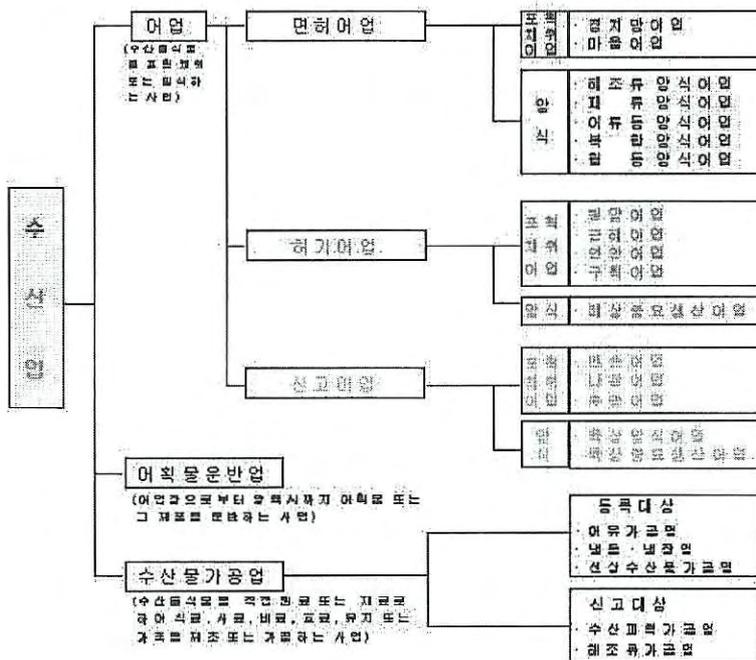


그림 306 수산업법상 분류

나. 어업의 분류

그림 305에서 보는 어업의 종류에서 보는 바와 같이 어업은 어선 및 수산물의 어획방법에 따라 매우 다양한 종류가 존재하며 계절적으로 잡히는 어획물의 종류가 차이가 나기 때문에 어로형태의 차이가 크다. 국내 어업의 경우에는 먼허·허가·신고어업으로 구분되며 2007년 해양수산부 해양수산물통계연보에 따르면 2006년 기준 어업종류별 어선세력은 총 86,113척으로 표 70와 같다.

표 70 어업종류별 어선세력

구분	어업종류	동력선		무동력선		총계	
		척수	톤수	척수	톤수	척수	톤수
원양어선	원양연승	194	78,453	-	-	194	78,453
	원양트롤	177	120,826			177	120,826
	원양선망	24	24,358			24	24,358
	원양유자망	2	320			2	320
	원양봉수망	8	3,752			8	3,752
	원양채낚기	62	27,122			62	27,122
	원양통발	7	1,615			7	1,615
	기타	9	1,971			9	1,971
근해어선	외끌이대형기저	52	4,839			52	4,839
	쌍끌이대형기저	88	11,080			88	11,080
	동해구기선저인망	44	2,609			44	2,609
	외끌이중형기저	44	2,354			44	2,354
	쌍끌이중형기저	22	1,134			22	1,134
	대형트롤	58	8,088			58	8,088
	동해구트롤	38	1,994			38	1,994
	대형선망	191	26,191			191	26,191
	소형선망	105	1,748			105	1,748

구분	어업종류	동력선		무동력선		총계	
		척수	톤수	척수	톤수	척수	톤수
근해어선	근해채낚기	679	26,266			679	26,266
	기선권현망	469	16,995			469	16,995
	근해유자망	464	14,816			464	14,816
	근해안강망	266	14,054			266	14,054
	근해봉수망	9	151			9	151
	잡수기	236	1,218			236	1,218
	근해통발	250	13,943			250	13,943
	근해형망	119	1,757			119	1,757
	근해연승	495	13,585			495	13,585
연안어선	연안유자망	15,564	40,163	408	357	15,972	40,520
	연안안강망	397	2,460	5	15	402	2,475
	연안형망						
	연안선망	302	1,755	7	11	309	1,767
	연안연승						
	연안채낚기						
	연안통발	7,756	19,800	211	262	7,967	20,062
	연안들망	139	681	13	19	152	700
	연안조망	433	2,302			433	2,302
	연안선인망	7	41			7	41
	연안복합	32,553	76,328	705	499	33,258	76,827
	구획어업(정치성)	440	822	30	53	470	875
	구획어업(이동성)	445	1,122	67	148	512	1,270
	정치망	354	2,793	53	110	407	2,904
연안기타							
양식어선	천해양식	16,049	23,645	288	309	16,337	23,955
내수면	내수면어업	3,549	3,376	601	180	4,150	3,557

구 분	어업종류	동력선		무동력선		총계	
		척수	톤수	척수	톤수	척수	톤수
기타 어선	어획물운반선	132	29,143			132	29,143
	지도단속선	154	18,811			154	18,811
	시험및교습선	38	7,140	1	1	39	7,141
	기타	934	19,655	366	454	1,300	20,107
총 계		83,358	671,276	2,755	2,418	86,113	673,696

출처 : 해양수산부, 해양수산통계연보(2007)

#### 다. 해역별 어업별 현황

우리나라 수산업의 경우 수산자원량에 적합한 어업세력의 범위를 설정하여 지속적인 수산자원의 이용·관리를 위해 업종별 어업허가의 수를 정한 허가정수가 설정되어 있으며 2006년 기준 우리나라의 연안어업 허가건수는 64,247건이 처분되어 있다. 연안어업의 허가건수 중 연안복합어업이 가장 많은 30,753건이고, 다음은 연안자망어업으로 19,273건, 연안통발 10,672건, 연안조망 1,475건의 순이었다.

해역별 주요 어업업종을 살펴보면, 서해안은 연안안강망, 자망어업 및 복합어업이 우세하고, 남해안은 연안선망어업, 연안통발어업 및 복합어업이 우세하며, 동해안은 연안자망어업과 복합어업이 우세한 것으로 나타났다.(여기서 복합어업은 연안연승어업, 연안통발어업, 연안채낚기어업 등의 어업을 겸업으로 할 수 있는 어업허가이다)

근해어업의 경우 13개 업종에 21개의 명칭으로 허가되고 있으며 채낚기어업 1,031건, 자망어업 949건, 연승어업 859건 순으로 허가건수가 많으며, 일부업종 중 중형기선저인망어업과 기선권현망어업 두 종은 어업자원 보호와 경비절감 등 경쟁력 제고를 위해 기관마력을 제한하고 있다.

중형기선저인망어업의 경우 주기관 회전수가 1,200rpm 미만은 450PS 이하, 1,200rpm 이상은 550PS 이하, 기선권현망어업의 경우 주기관 회전수가 1,200rpm 미만은 220PS 이하, 1200rpm 이상은 350PS 이하로 제한하여 운영하고 있다.

표 71 연안어업 어선의 규모

어업의 종류	어업의 명칭	어선의 규모		허가의 청수
		구톤수	신통수	
연안자망어업	연안자망어업	무동력선, 10톤미만의 동력선	무동력선, 10톤미만의 동력선	19,273건
연안안강망어업	연안개량안강망어업	10톤미만의 동력선	8톤미만의 동력선	850건
연안선망어업	연안양조망어업	10톤미만의 동력선	8톤미만의 동력선	426건
연안통발어업	연안통발어업	무동력선, 10톤미만의 동력선	무동력선, 8톤미만의 동력선	10,672건
연안들망어업	연안들망어업	무동력선, 10톤미만의 동력선	무동력선, 10톤미만의 동력선	781건
연안조망어업	연안새우망어업	10톤미만의 동력선	8톤미만의 동력선	1,475건
연안선인망어업	연안선인망어업	10톤미만의 동력선	8톤미만의 동력선	17건
연안복합어업	연안복합어업	무동력선, 10톤미만의 동력선	무동력선, 10톤미만의 동력선	30,753건

출처 : 수산업법, 어업허가및신고등에관한규칙

표 72 근해어업 어선의 규모

어업의 종류	어업의 명칭	어선의 규모		기관 마력
		구톤수	신톤수	
대형기선저인망어업	외끌이 대형기선저인망어업	80톤이상170톤미만	60톤이상140톤미만	-
	쌍끌이 대형기선저인망어업	80톤이상170톤미만	60톤이상140톤미만	-
중형기선저인망어업	동해구기선저인망어업	20톤이상80톤미만	20톤이상60톤미만	회전수가1,200미만은450마력이하, 회전수가 1,200이상은550마력이하
	외끌이 서남해구기선저인망어업	20톤이상80톤미만	20톤이상60톤미만	
	쌍끌이 서남해구기선저인망어업	20톤이상80톤미만	20톤이상60톤미만	
근해트롤어업	대형트롤어업	100톤이상170톤미만	70톤이상140톤미만	-
	동해구트롤어업	20톤이상80톤미만	20톤이상60톤미만	-
근해선망어업	대형선망어업	70톤이상150톤미만	50톤이상130톤미만	-
	소형선망어업	10톤이상30톤미만	8톤이상20톤미만	-
근해채낚기어업	근해채낚기어업	10톤이상130톤미만	8톤이상90톤미만	-
기선선인망어업	기선권현망어업	50톤미만	40톤미만	예인선의 경우: 회전수가 1200미만은220마력이하 회전수가1200이상은 350마력이하
근해자망어업	근해자망어업	10톤이상100톤미만	8톤이상70톤미만	-
근해안강망어업	근해안강망어업	10톤이상130톤미만	8톤이상90톤미만	-

어업의 종류	어업의 명칭	어선의 규모		기관 마력
		구톤수	신통수	
근해봉수망어업	근해봉수망어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-
	근해자리돔들망어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-
잠수기어업	잠수기어업	10톤미만	8톤미만	-
근해통발어업	장어통발어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-
	기타통발어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-
	문어단지어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-
근해형망어업	패류형망어업	25톤미만	20톤미만	-
근해연승어업	근해연승어업	10톤이상 100톤미만	8톤이상 70톤미만	-

출처 : 수산업법, 어업허가및신고등에관한규칙

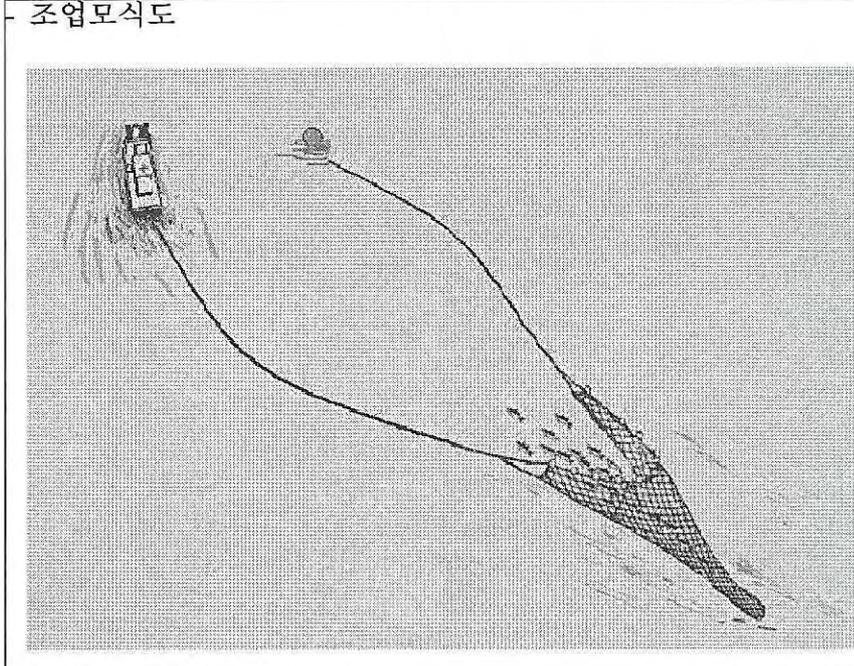
#### 라. 어업별 조업모식도

우리나라의 어업의 종류별 조업형태를 분석하기 위하여 국립수산과학원에서 작성한 어업별 조업형태 자료 중에서 수산업법상 어업종류별 조업모식도를 참고하였으며 기관 마력 및 선원수는 어선실정에 따라 다소 차이가 있음을 미리 밝혀둔다.

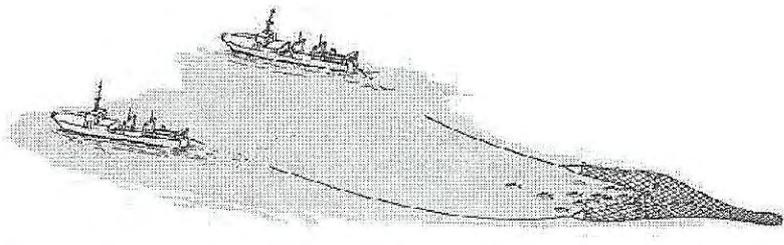
1) 근해어업

○ 외끌이대형기선저인망어업

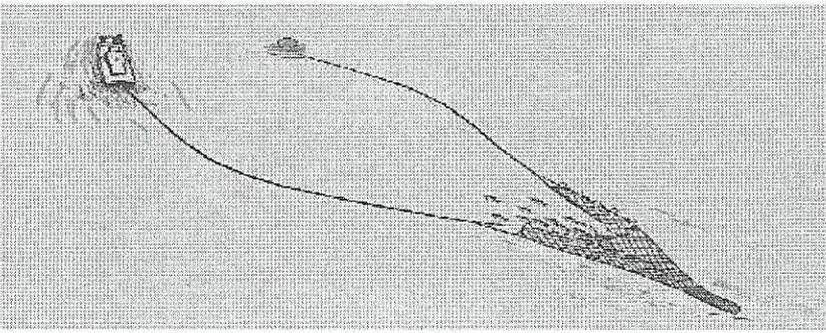
어업의 종류	대형기선저인망어업
어업의 명칭	외끌이대형기선저인망어업
어선규모 / 사용어구수	60톤이상 140톤미만 / 1통
기관마력	평균 424마력(1척당) /
선원수	약 12~14명 내외
주 조업시기	년중(9월~6월)



○ 쌍끌이대형기선저인망어업

어업의 종류	대형기선저인망어업
어업의 명칭	쌍끌이대형기선저인망어업
어선규모 / 사용어구수	60톤이상 140톤미만 / 1통
기관마력	평균 799마력(1척당)
선원수	척당 약 12~14명 내외
주 조업시기	년중(9월~6월)
조업모식도	

○ 동해구기선저인망어업

어업의 종류	중형기선저인망어업
어업의 명칭	동해구 기선저인망어업
어선규모 / 사용어구수	20톤 이상 60톤 미만 / 1통
기관마력	회전수가 1,200미만은 450마력 이하, 1,200이상은 550마력 이하 (평균 440마력/1척당)
선원수	12~13명 내외
주 조업시기	년중(10월~5월)
조업모식도	

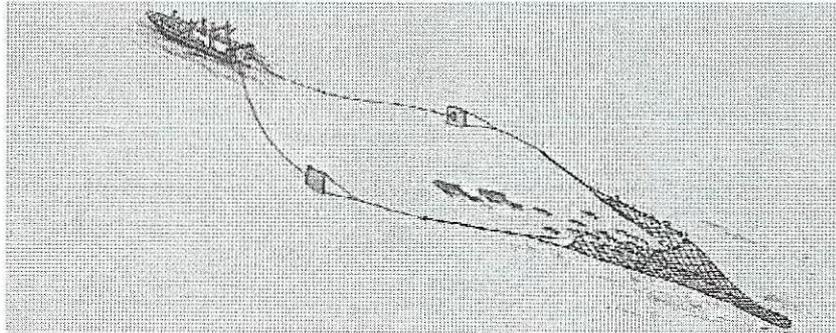
○ 외끌이서남해구기선저인망어업

어업의 종류	중형기선저인망어업
어업의 명칭	외끌이 서남해구 기선저인망어업
어선규모 / 사용어구수	20톤이상 60톤미만 / 1통
기관마력	회전수가 1,200미만은 450마력이 하, 1,200이상은 550마력이하(평균 420마력/1척당)
선원수	약 12~13명 내외
주 조업시기	연중(10월~5월)
조업모식도 : 동해구기선저인망어업 조업모식도와 같음	

○ 쌍끌이서남해구기선저인망어업

어업의 종류	중형 기선저인망어업
어업의 명칭	쌍끌이 서남해구 기선저인망어업
어선규모 / 사용어구수	20톤이상 60톤미만 / 사용어구수 : 1통
기관마력	회전수가 1,200미만은 450마력 이하, 1,200이상은 550마력 이하 (평균 420마력/1척당)
선원수	척당 약 12~13명 내외
주 조업시기	연중(10월~5월)
조업모식도 : 쌍끌이기선저인망 조업모식도와 같음	

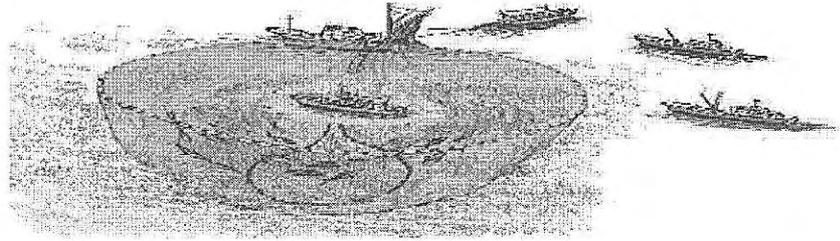
○ 대형트롤어업

어업의 종류	근해 트롤어업
어업의 명칭	대형 트롤어업
어선규모 / 사용어구수	70톤이상 140톤미만 / 1통
기관마력	평균 1,300마력(1척당)
선원수	약 14~16명 내외
주 조업시기	연중(7월~4월)
- 조업모식도	
	

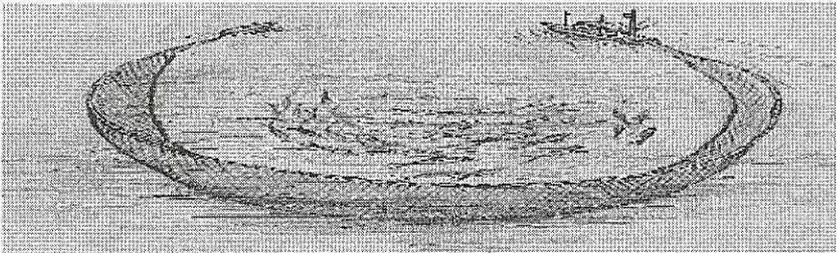
○ 동해구트롤어업

어업의 종류	근해트롤어업
어업의 명칭	동해구트롤어업
어선규모 / 사용어구수	20톤이상 60톤미만 / 1통
기관마력	평균 481마력(1척당)
선원수	약 10~12명 내외
주 조업시기	연중(12월~4월)
- 조업모식도	
: 대형트롤어업 조업모식도와 같음	

○ 대형선망어업

어업의 종류	근해 선망어업
어업의 명칭	대형 선망어업
어선규모 / 사용어구수	50톤이상 130톤미만 / 1통
기관마력	평균 1,077마력(1척당)
선원수	그물배1척, 어탐선2~3척, 운반선 2~3척에 총 80~90명 내외
주 조업시기	연중
조업모식도	

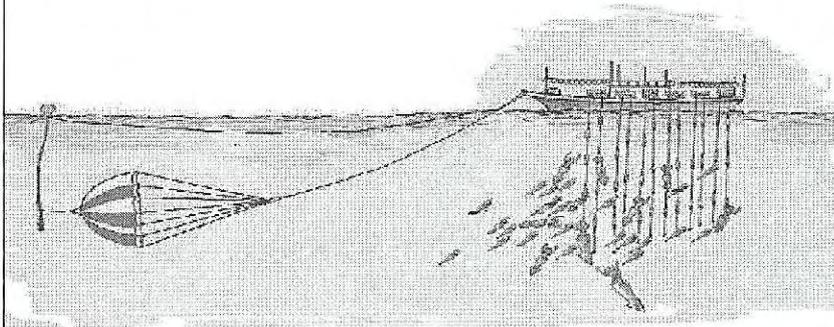
○ 소형선망어업

어업의 종류	근해선망어업
어업의 명칭	소형선망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤 이상 20톤 미만 / 1통
기관마력	평균 298마력/1척당
선원수	그물배 7~10명 내외, 보조선 5~8명 내외
주 조업시기	정어리(6~11월), 멸치(6~11월), 전어 (4~10월), 학공치(2~4월, 9~12월)
조업모식도	

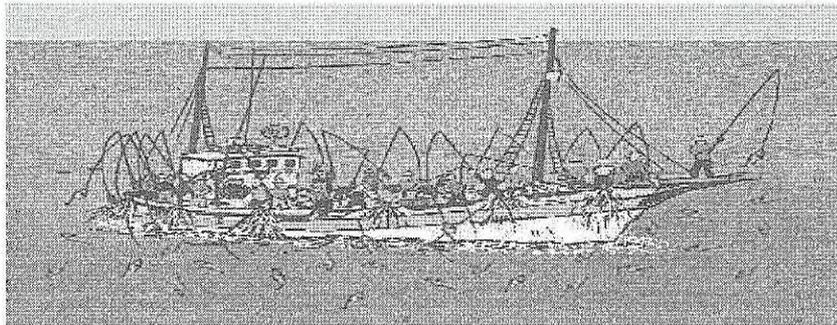
○ 근해채낚기어업

어업의 종류	근해채낚기어업
어업의 명칭	근해채낚기어업(자동조획기를 사용하는 어업을 포함한다.)
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 90톤미만 / 자동조획기 20~25대(100톤급)
기관마력	평균 412마력(1척당)
선원수	20~30톤급 10~15명 내외, 80~120톤급 15~20명 내외, 150~200톤급 20~25명 내외
주 조업시기	2~6월 대마도 주변해역, 7~9월 울릉도~대화퇴 해역, 덕적도~소흑산도해역, 10~12월 동해안

- 조업모식도



근해채낚기(오징어)



근해채낚기(삼치 등)

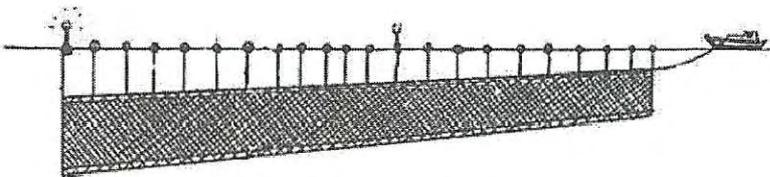
○ 근해외줄낚시어업

어업의 종류	근해채낚기어업
어업의 명칭	근해외줄낚시어업
어선규모 / 사용어구수	톤이상 90톤미만 / 자세 약 12개
기관마력	약 600마력 내외
선원수	약 12명 내외
주 조업시기	12~3월
- 조업모식도	

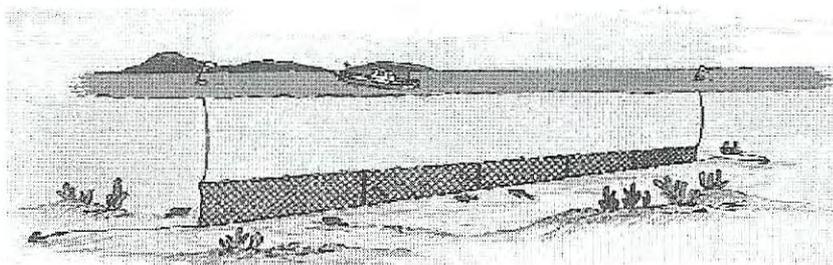
○ 기선권현망어업

어업의 종류	기선선인망어업
어업의 명칭	기선권현망어업
어선규모 / 사용어구수	40톤미만 / 1통
기관마력	회전수가 1,200미만은 220마력이 하, 1,200이상은 350마력이하 (평균 319마력/1척당)
선원수	1통당 5~6척 약 70명내외
주 조업시기	7~1월(8~11월)
- 조업모식도	

○ 근해유자망어업

어업의 종류	근해자망어업
어업의 명칭	근해유자망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 50~500폭
기관마력	332마력(1척당)
선원수	20톤급기준 약7~8명내외
주 조업시기	꽂치(5~7월, 11~1월), 참조기(2~6월)
- 조업모식도	

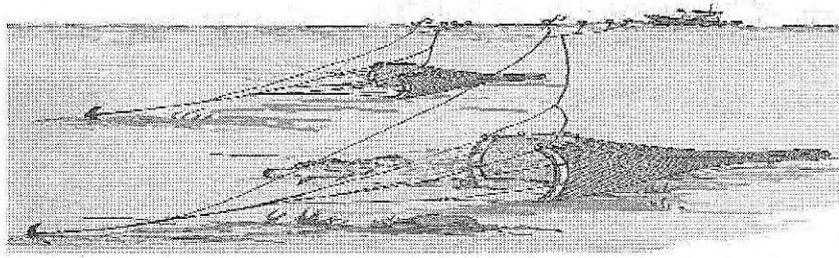
○ 근해고정자망어업

어업의 종류	근해자망어업
어업의 명칭	근해고정자망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 60~100폭
기관마력	평균 332마력(1척당)
선원수	20톤급 9~10명내외
주 조업시기	명태(8~2월)
- 조업모식도	

○ 근해안강망어업

어업의 종류	근해안강망어업 /
어업의 명칭	근해안강망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 90톤미만 / 10~30통(과거 3통)
기관마력	평균 446마력(1척당)
선원수	8~10명내외
주 조업시기	연중(6~3월)

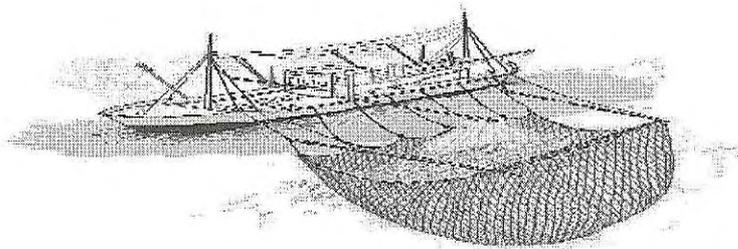
- 조업모식도



○ 근해봉수망어업

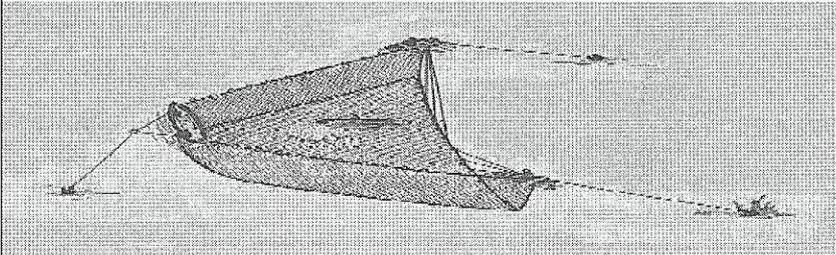
어업의 종류	근해봉수망어업
어업의 명칭	근해봉수망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 1통
기관마력	800~1,200마력 내외(250톤급)
선원수	30~35명 내외
주 조업시기	8~12월

- 조업모식도

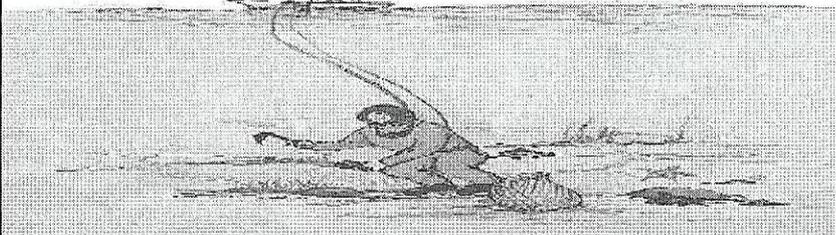


근해 봉수망(퐁치)

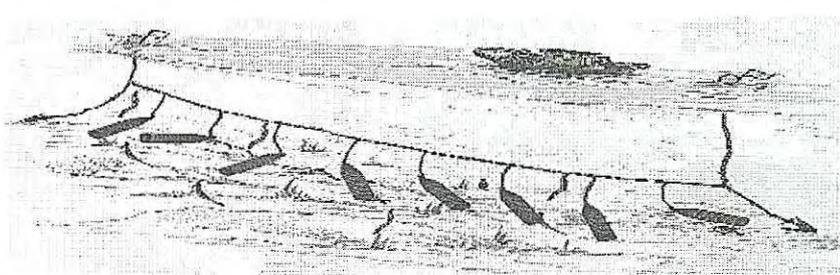
○ 근해자리돔들망어업

어업의 종류	근해봉수망어업
어업의 명칭	근해자리돔들망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 1통
기관마력	
선원수	총 10~15명 내외
주 조업시기	4~7월
- 조업모식도	
	

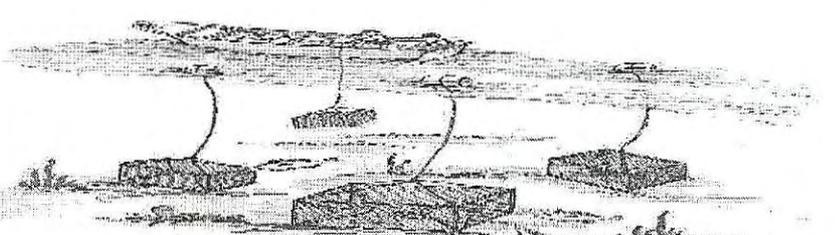
○ 잠수기어업

어업의 종류	잠수기어업
어업의 명칭	잠수기어업
어선규모 / 사용어구수	8톤미만
기관마력	평균 249마력(1척당)
선원수	4~5명 내외
주 조업시기	미역(4~11월), 성게(7~4월), 해삼(11~6월), 전복(11~7월)
- 조업모식도	
	

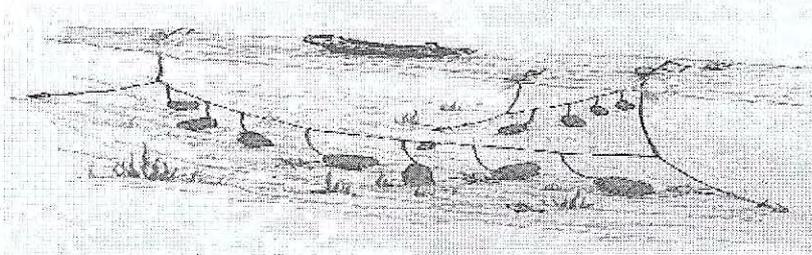
○ 장어통발어업

어업의 종류	근해통발어업
어업의 명칭	장어통발어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 4,000개 내외
기관마력	평균 446마력(1척당)
선원수	7~8명 내외
주 조업시기	3~10월
조업모식도	

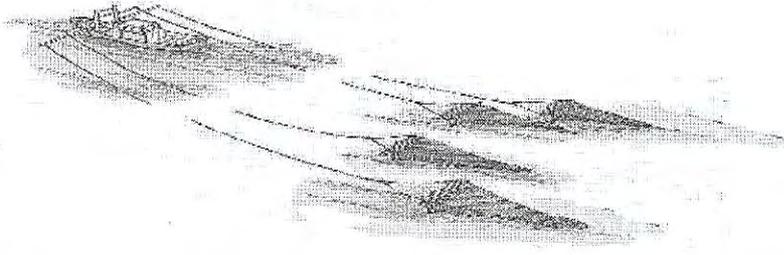
○ 기타통발어업

어업의 종류	근해통발어업
어업의 명칭	기타통발어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 1,000~2,000개
기관마력	평균 446마력(1척당)
선원수	60톤급 약 11명 내외
주 조업시기	연중
조업모식도	

○ 어단지어업

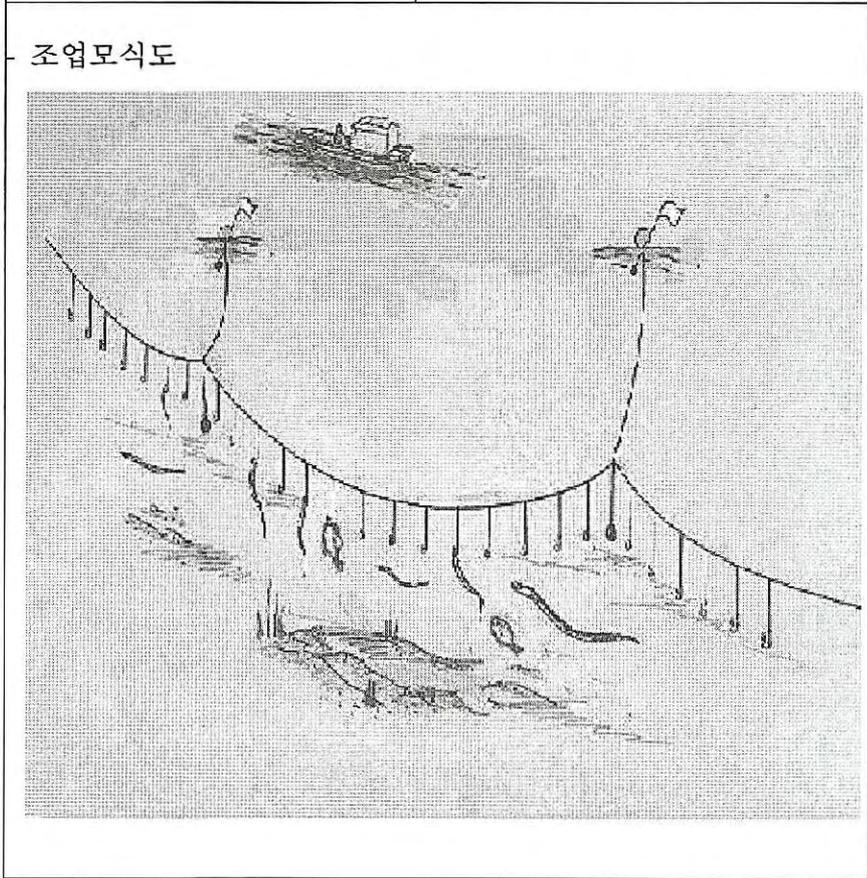
어업의 종류	근해통발어업
어업의 명칭	문어단지어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 3,000~5,000개
기관마력	
선원수	4~5명 내외
주 조업시기	
- 조업모식도	

○ 패류형망어업

어업의 종류	근해형망어업
어업의 명칭	패류형망어업
어선규모 / 사용어구수	20톤미만 / 1~4개
기관마력	45~60마력내외
선원수	10톤급 4~5명 내외
주 조업시기	연중
- 조업모식도	

○ 근해연승어업

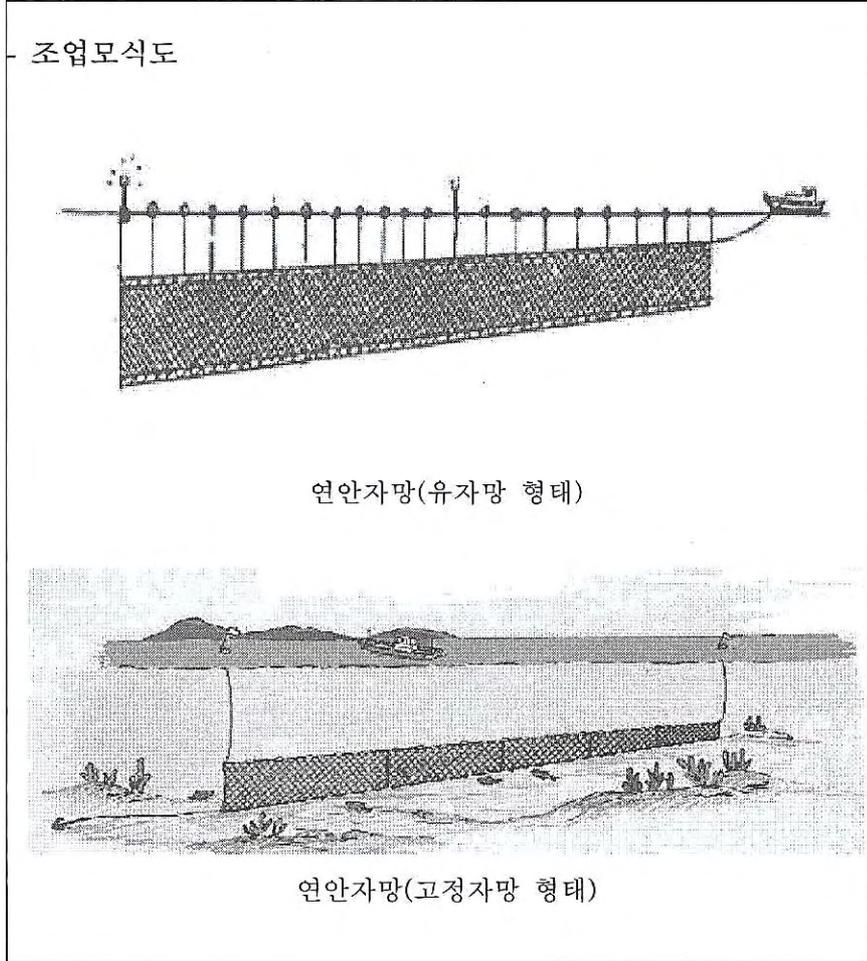
어업의 종류	근해연승어업
어업의 명칭	근해연승어업
어선규모 / 사용어구수	8톤이상 70톤미만 / 명태연승 40~60초록
기관마력	평균 304마력(1척당)
선원수	10~20톤급 약 5~6명 내외
주 조업시기	명태(10~3월)



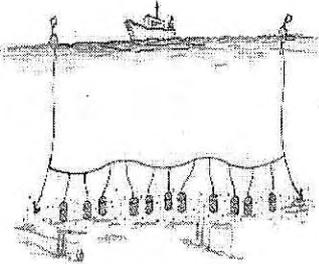
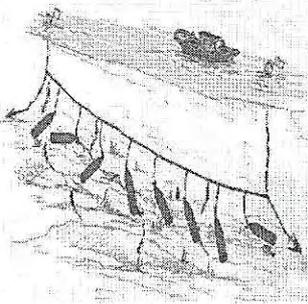
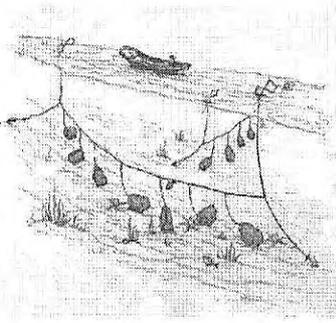
2) 연안어업

○) 연안자망어업

어업의 종류	연안자망어업
어업의 명칭	연안자망어업
어선규모 / 사용어구수	무동력선, 10톤미만의 동력선 / 40폭내외
기관마력	190~380마력 내외
선원수	2~6명 내외
대상어종	꽂치, 청어, 임연수어, 명태, 쥐치



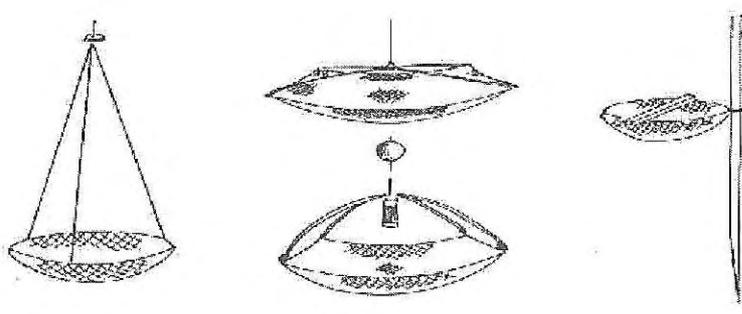
○ 연안통발어업

어업의 종류	연안통발어업
어업의 명칭	연안통발어업
어선규모 / 사용어구수	무동력선, 8톤미만의 동력선 / 500~2,000개
기관마력	230~380마력 내외
선원수	2~6명 내외
주 조업시기	문어(10~6월), 골뱅이(3~11월), 민꽃게(4~11월), 우럭(3~8월)
- 조업모식도	
	
<p>게통발</p>	
	
<p>장어통발</p>	
	
<p>문어단지</p>	

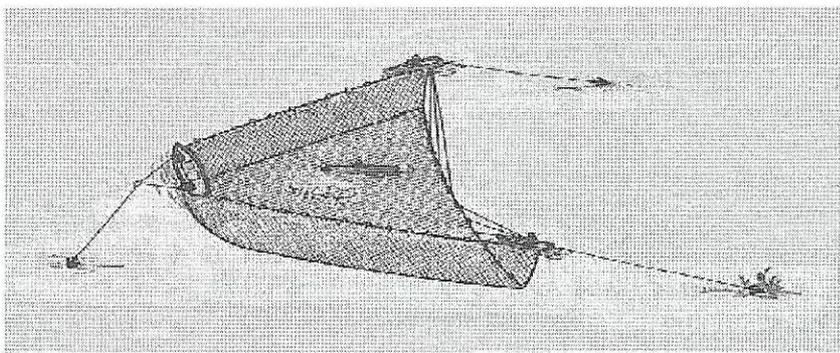
○ 연안들망어업

어업의 종류	연안들망어업
어업의 명칭	연안들망어업
어선규모 / 사용어구수	무동력선, 10톤미만의 동력선 / 1~2통
기관마력	10~150마력 내외
선원수	2~8명 내외
주 조업시기	말귀치(4~6, 9~12월), 멸치(6~12월), 화살꼴뚜기(2~4월), 자리돔(4~7월)

- 조업모식도

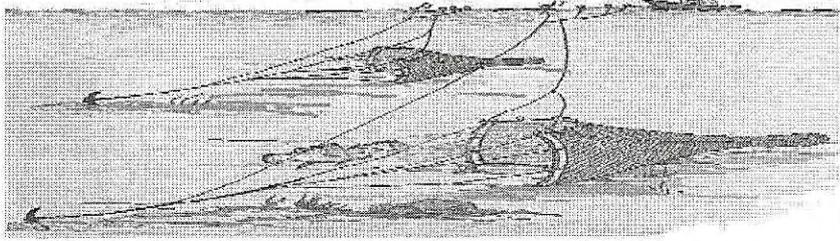


연안들망

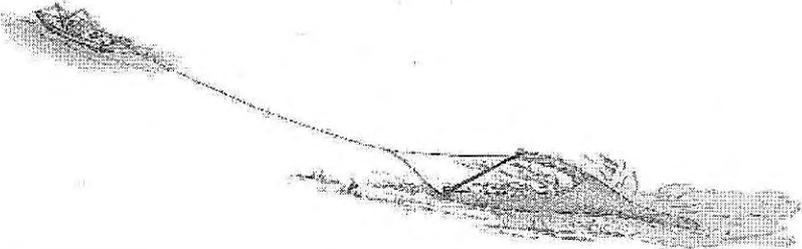


3척들망

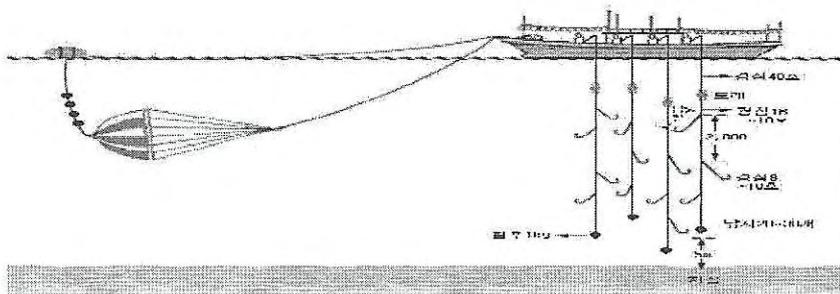
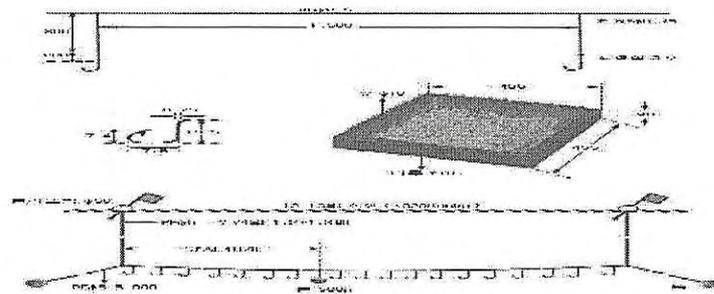
○ 연안개량안강망어업

어업의 종류	연안안강망어업
어업의 명칭	연안개량안강망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤미만의 동력선 / 5~10통
기관마력	185~235마력 내외
선원수	2~3명 내외
주 조업시기	꽃새우(5~10월), 중하(3~6월, 9~11월)
- 조업모식도	

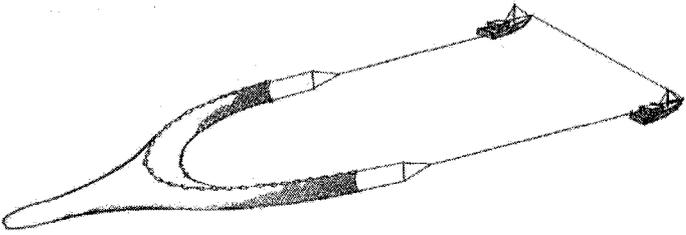
○ 새우방어업

어업의 종류	연안조망어업
어업의 명칭	새우방어업
어선규모 / 사용어구수	8톤미만의 동력선 / 1통
기관마력	20~300마력 내외
선원수	2~3명 내외
주 조업시기	중하(연중), 자주새우(4~10월), 꽃새우(4~11월)
- 조업모식도	

○ 연안복합어업

어업의 종류	연안복합어업
어업의 명칭	연안복합어업
어선규모	무동력선, 10톤미만의 동력선
사용어구수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 외줄낚시 : 1인당 사용낚시수(조) - 1~50조</li> <li>○ 연승 : 3~500광주리</li> <li>○ 패류껍질어업 : 소라껍질 3,000여개를 1조로 하여 10~15조 사용</li> <li>○ 패류미끼망어업 : 미끼주머니 1,000여개 사용</li> </ul>
선원수	1~8명 내외
주 조업시기	3~5월(패류껍질어업), 4~7월(패류미끼망어업), 5~7월, 11월(손꽂치어업)
조업모식도	 <p style="text-align: center;">연안복합어업(갈치 채낚시)</p>  <p style="text-align: center;">연안복합어업(가자미 주낙)</p>

○ 연안쌍끌이선인망어업

어업의 종류	연안선인망어업
어업의 명칭	연안쌍끌이선인망어업
어선규모 / 사용어구수	8톤미만의 동력선 / 1통
기관마력	160~300마력 내외
선원수	5~10명 내외
주 조업시기	멸치(10~12월), 학공치(3~6월, 11월~1월)
조업모식도	

마. 어업종류별 어선용 기관의 종류

현재 조업중인 연근해 어선에서 어구인양시 인망을 필요로 하는 트롤어선 및 저인망 어선 등 일부 업종을 제외하고는 대부분 고속기관을 탑재하고 있으며, 본 장에서는 국내 어선중 근해어선으로 비교적 대형어선에 속하는 600PS 이상의 주기관을 탑재한 대표업종에 대하여 기술을 하였다.

1) 트롤어업(Trawl fishery)

트롤어업은 기선저인망어업이 개량되어 그물의 양 날개에 전개판을 설치하여 인망시 전개판에서 발생하는 양력을 이용하여 그물을 쉽게 전개할 수 있게 하는 어법으로 어선의 규모 등의 기준에 따라 총톤수 60톤이상 140톤미만은 대형트롤어업 총톤수 20톤이상 60톤미만은 동해구 트롤어업으로 구분된다.

어선의 형태는 선미식(Stern Trawl) 트롤어업, 현측식(Side Trawl)

트롤어업이 주류를 이루고 있으며 선령은 평균 20년 이상으로 노후되어 있다. 대부분의 주기관은 일본산 중속기관을 사용하며 마력은 어법상 그물에 전개판을 사용하여 망구의 입구를 크게 하여 끄는 형태로, 어선규모에 비하여 마력수가 크며 500마력에서 1,200마력 상당의 고마력을 사용한다. 또한 해저의 지형 및 고기가 그물에 드는 양의 정도에 따라 기관의 회전수가 다르고 주기관의 사용시간이 비교적 길어 장시간의 과부하 운전을 하는 특징이 있다

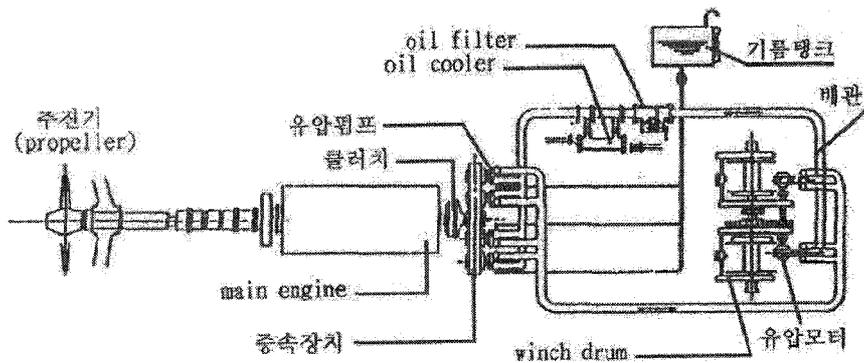


그림 307 트롤 및 저인망 어선의 주기관

어로장비는 주로 저인망과 같이 주기관의 회전력을 어업기계의 동력원으로 이용하는 방식으로, 트롤어선에서 사용되는 갑판기계는 보통 유압으로 구동이 되며, 대개의 경우 유압펌프를 주기관의 회전력을 이용하는 경우가 많다. 이들 갑판기계는 부하 토크가 크기 때문에 그만큼 고용량의 유압펌프와 유압모터가 필요하므로 일반적으로 주기관의 동력으로 유압펌프를 구동하는 PTO(power take off)시스템을 주로 채택하고 있다.

## 2) 채낚기 어업(Anglings fishery)

채낚기 어선은 어선의 규모에 따라 톤급이 10톤미만인 연안복합 어업(연안 채낚기어업)과 구톤수 10톤이상 130톤미만(신통수 8톤이

상 90톤미만)의 근해 채낚기어업(평균어선 규모 60여톤)으로 구분이 되고, 주로 오징어를 대상으로 어획을 하며 우리나라 동해안의 대표적인 업종이다.

오징어의 습성은 하루 동안 수직 운동이 심하여 낮에는 수심이 깊은 곳에 있다가 밤이 되면 수면으로 올라와 소형어류를 포식하며, 이러한 습성을 이용하여 야간에 집어등을 밝혀 수면 가까이 유인하여 어획을 하는 특성을 가지고 있어, 보통의 채낚기 어선은 일몰전에 어장에 도착해서 일몰과 더불어 집어등을 켜고, 그림 308와 같이 물뚫을 투묘하여 선박의 자세를 안정시킨 다음 자동 조획기를 가동하여 조업을 하고, 일출전에 낚시를 수납한 후 물뚫을 양묘한다.

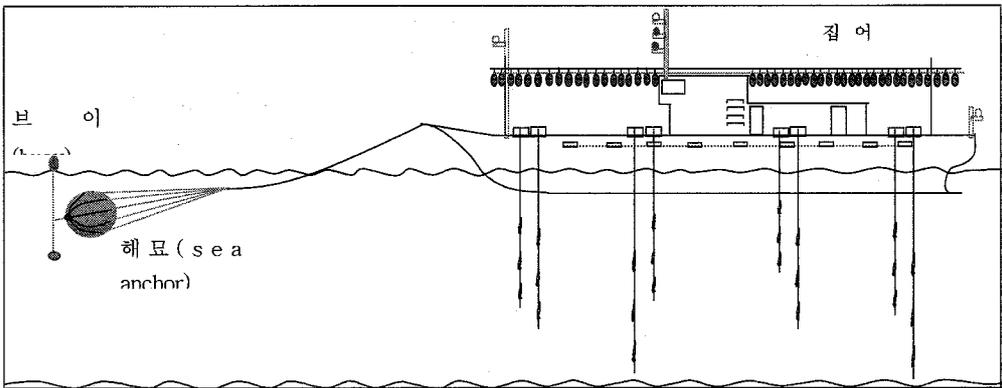


그림 308 오징어 채낚기 어선의 조업도

따라서 채낚기어선의 집어등이 어획에 미치는 영향은 대단히 커서, 근해어선의 대부분은 기관실에 별도의 발전기를 시설하여 집어등 용량을 크게 하고 있거나 소형어선의 경우 기관실의 규모가 협소한 관계로 집어등의 전원을 주기관으로 구동되는 발전기를 이용하고 있으며 주기관은 항해 중에는 추진기관, 조업 중에는 집어등 전원으로 이용하여 장시간 운전을 하는 특성을 가지고 있다.

채낚기어선의 어로구역은 해수의 온도에 따라 이동하는 오징어의 특성에 따라 조업시기와 조업장소가 상이하나 주어기는 보통 6월부터 12월말까지 동해연안은 울릉도 및 독도 주변과 동해원해의 대화

퇴 및 러시아 연해주 수역, 대마도 주변이며 서해연안은 소흑산도, 덕적도, 격렬비열도 주변까지 어장이 원거리화 되어있다.

원거리 조업을 하는 근해 채낚기어선은 어획물을 보관하는 냉동창고 및 설비가 별도로 있어 30일 이상 해상조업을 할 정도로 규모가 큰데 반해 연안 채낚기어선은 기관실 설비 이외에 강력한 집어등을 설치하기 위해 집어등 안정기(집어등 개수의 1/2)와 전기설비를 설치하여 기관실은 타 업종에 비해 협소하며 어로설비의 자동화(자동조상기)로 선장을 제외한 평균 3~4명의 작은 선원을 구성하여 당직 선원이 기관실에서 각종 기기에 대한 점검·정비를 철저히 함에는 한계가 있고 기관실의 이상 유무만을 가끔 확인하는 등 선원이 고정적으로 근무하기는 어려움이 있다.

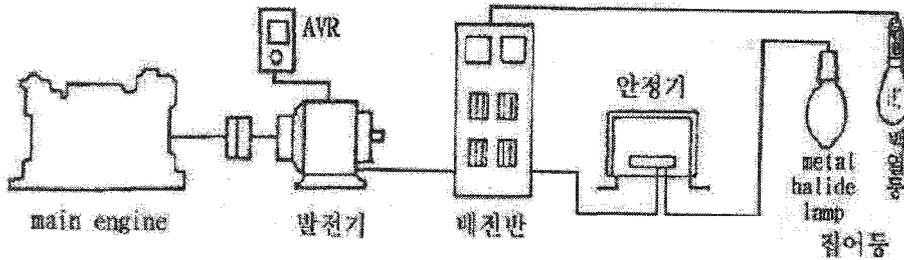


그림 309 채낚기어선의 주기관 구동에 의한 전력공급 배치

연안 채낚기어선에서 주기관은 선박이 추진력을 얻는데 뿐만 아니라 집어등을 켤 때도 사용되므로 출항에서 입항할 때까지 거의 휴식 없이 운전되고 있어, 주기관 각 작동부분에 무리가 따라 손상이 발생할 우려가 높으며 또한 주기관의 동력추출장치를 이용하여 발전기, 펌프, 어로설비 등의 보조기기 동력을 추출함에 따라 주기관의 정격출력을 상회하여 과부하가 발생, 이는 직접 손상을 일으키는 않아도 기관의 피로를 누적시켜 장기적으로 기관을 손상시키는 주요한 원인이 되고 있다.

### 3) 안강망 어업(Stow net fishery)

안강망어업은 날개그물이 없는 자루그물을 한 개의 닻으로 고정 설치한 후, 조류를 이용하여 잡는 어업으로 조류가 아주 빠른 해역에서 커다란 닻과 어구를 취급하고, 닻을 놓고 어구와 함께 어선도 빠른 조류에 대항하여 머물러야 하므로 기본적으로 선체는 복원성이, 주기관은 추진력이 좋아야 한다.

어선규모에 따라 총톤수 8톤이상 90톤미만의 근해 안강망 어업과 총톤수 8톤미만의 연안 안강망 어업으로 구분되며, 조업구역은 군산, 목포, 여수, 인천 등 우리나라 서해에 본거지를 두며 주로 태안반도 주변해역과 흑산도 연안해역 및 동중국해까지 출어하여 조업을 하고 있다.

근해안강망의 경우 주로 총톤수 69톤에서 89톤으로 주기관은 고속 디젤기관이 대부분이며 주기관구동 유압펌프를 이용하여 SIDE ROLLER, CAPSTAN, 양망기등 유압기기를 구성함으로써 어로작업이 부분적으로 기계화 되어 있다.

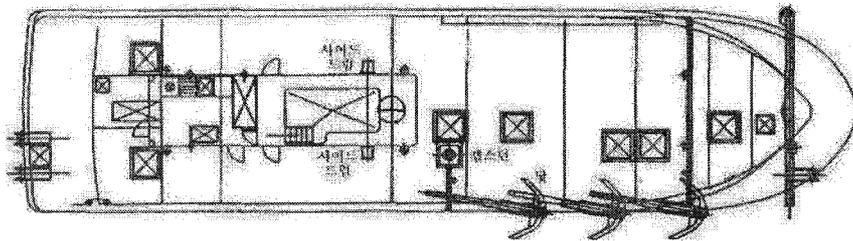


그림 310 안강망 어선의 어업기계 배치도

그림 310는 안강망 어선에 대한 어로기계 및 기타 속구류의 일반배치를 나타낸 것인데, 최근까지 대부분의 안강망 어선에서의 조업은 그림 311에 도시한 웜 기어(worm gear) 감속장치를 채용한 주기 전도식 사이드 드럼과 캡스탄에 전적으로 의존하여 양망시의 경우 부하의 변동이 직접 주기관에 전달되어 주기관의 피로가 매우

크다.

최근들어 일부의 어선에서는 인력절감을 위한 어업기계의 생력화가 이루어져 [그림 6]과 같은 구조의 유압 시스템을 비롯하여 H형 양망기 및 원통형 마찰차를 도입하여 조업시스템을 개선하고 있는 실정이다.

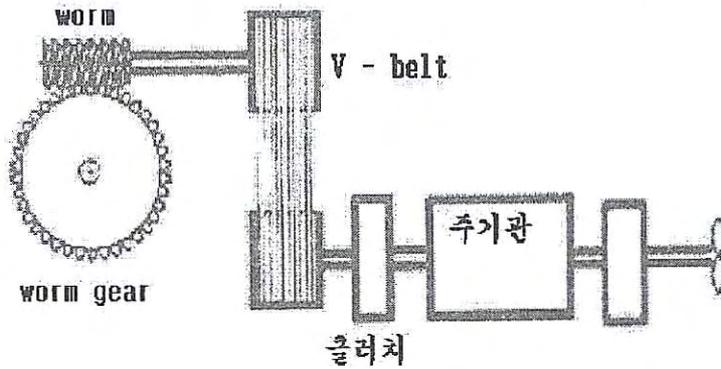


그림 311 웜기어 방식 사이드 드럼

## 2. 어선의 연료소비량 분석

본 연구실험의 연료 경제성을 분석하기 위하여 국내의 근해이상을 항해하는 어선의 어업종류를 기준으로 보편적으로 가장 많이 탑재된 어선용 기관의 종류를 제조사별로 파악하여 주기관의 주요제원을 다음과 같이 조사하였다.

표 73 근해어선의 기관제조자별 연료소비율

중 · 저 속	제조사 (MAKER)	기관형식 (MODEL)	마력 (PS)	회전수 (RPM)	연료 소비율 (g/ps-hr)	일일연료소비량	
						Kg	Liter
중 · 저 속	DAIHATSU	6DSM-22F	1,300	750	165	5,148	6,056
		6DSM-22FS	1,000	900	163.6	3,926	4,619
	NIIGATA	6M28AFTE	1,000	365	145	3,480	4,094
		6MG19CX	600	900	165	2,376	2,795
고 속	두산인프라코어 (대우종합기계)	V180TIH	600	1800	150	2,160	2,541
		V158TI	480	1800	147	1,693	1,992
	CATERPILLAR	3412DITA-MPE	671	1800	157.3	2,533	2,980
		3412D	541	1800	159.6	2,072	2,438
	CUMMINS	KTA19M3	585	1800	152.2	2,137	2,514
		KTA19M2	563	1800	164.8	2,227	2,620
	VOLVO PENTA	TAMD165A	550	1800	152.9	2,018	2,374
		TAMD163A	528	1800	156.6	1,984	2,335
	YANMAR	6LAH-STE	570	1850	164.7	2,253	2,651
		6LA-UTK	500	1820	162.6	1,951	2,296

표 74은 국제해사기구(IMO) 2008년 제58차 해양환경보호위원회 (MEPC) MEPC 58/INF.6 문서로 제출된 “Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships Phase 1 Report” 중 엔진의

제조년도 및 형식에 따른 연료소모량을 나타낸 것이다. 동 연구에서 조사된 표 73의 기관제조사별 연료유 소모량과 비슷한 값을 나타내고 있다.

표 74 Typical best specific fuel oil consumption value[g/kWh]

Engine Year	2 stroke low speed	4 stroke medium /high speed (>5000kW)	4 stroke medium /high speed (1000-5000kW)	4 stroke medium /high speed (<1000kW)
1970-1983	180-200	190-210	200-230	210-250
1984-2000	170-180	180-195	180-200	200-240
2001-present	165-175	175-185	180-200	190-230

선박 추진용 연료유의 양을 추정하기 위해서는 주 추진기관의 연료유 소비량을 알아야 하며 이는 다음과 같이 구할 수 있다

연료유 소비량(kg/day) = 기준 연료 소비율(gr/ps-hr) x 기관 출력(ps) x 24 /1,000

예를들어 1,000ps 의 선박용 디젤 엔진의 경우 경유기준 으로 연료 소비율은 160 gr/ps-hr 정도 임으로 어선의 하루 연료 소비량은 3,840 kg (4,517 리터)이다.

중속이하의 기관은 어법이나 어선의 규모 등의 기준에 따라 총톤수 60톤이상 140톤미만은 대형트롤어선이나 총톤수 20톤이상 60톤미만은 동해구 트롤어선에 탑재가 되며, 어법상 그물에 전개판을 사용하여 망구의 입구를 크게 하여 끄는 형태로, 어선규모에 비하여 마력수가 크며 500마력에서 1,300마력 상당의 고마력 중·저속 디젤엔진을 사용한다. 또한 해저의 지형 및 고기가 그물에 드는 양의 정도에 따라 기관의 회전수가 다르고 주기관의 사용시간이 비교적 길어 장시간의 과부하 운전을 하는 특징이 있다.

중·저속엔진의 경우 평균 일일연료소비량은 3,733 kg (4,391 리터) 연료가 소비되는 것으로 파악 되었다.

고속기관의 경우 고출력을 생성함으로 기관실의 여유공간 확보가 용

이하, 주된 조업장소인 연안해역의 황폐화로 원거리 일일조업이 불가피 하게 됨에 따라 보다 나은 신선도 유지를 통한 어가의 경쟁력 확보와 부품의 구입이 용이하며 중속기관보다 가격이 저렴하여 현재까지 대부분의 어선에 고속기관의 탑재가 보편화 되어있다.

고속엔진의 제조사별로 근해어선에 탑재된 고속엔진의 경우 평균 일일 연료소비량은 2,103 kg (2,474 리터) 연료가 소비되는 것으로 파악 되었다.

가. 국내어선의 선령별 주기관 등록현황

선체의 일반적인 내구연한은 선질, 운항조건 등에 차이가 있겠으나 표 75에서 보는바와 같이 우리나라의 어선은 최대 21년 이상을 사용하고 있는 것으로 파악 되었으며, 어선에 탑재된 기관의 내구연한은 선체의 내구연한보다 그 사용기간이 짧아 신품 기관을 기준으로 일반적인 고속기관의 내구연한이 5 ~ 10년 사이인 것을 감안하면 폐선 할때까지 통상 2 ~ 4회 정도의 완전정비 또는 기관교체를 하여 사용하고 있으며 또한 건조한지 6 ~ 10년 사이의 어선이 32.5%, 27,209척으로 가장 많은 비율을 차지하고 있어 현재까지 최소 1 ~ 2회 정도의 기관정비를 하여 사용을 한 것으로 추정된다.

표 75 동력어선의 선령별 등록현황

(단위 : 척)

어 선	총톤수별	5년 이하	6~10년	11~15년	16~20년	21년 이상	전 체	비율(%)
동 력 어 선	0~1톤	3,973	9,678	7,454	3,539	3,485	28,129	33.6
	1~5톤	11,656	14,750	9,371	4,444	4,640	44,861	53.6
	5~10톤	1,806	2,085	1,794	553	289	6,527	7.8
	10~20톤	221	309	180	147	167	1,024	1.2
	20~50톤	303	227	426	212	211	1,379	1.6
	50~100톤	123	133	201	104	384	945	1.1
	100~200톤	9	13	86	74	154	336	0.4
	200톤이상	10	14	19	158	306	507	0.6
전 체	척 수	18,101	27,209	19,531	9,231	9,636	83,708	100
	비율(%)	21.6	32.5	23.3	11.0	11.5	100	

출처 : 해양수산통계연보 (2007년)

## 나. 국내어선의 선박정비비용

### 1) 노무비

기관정비업체가 통상적으로 현장에 적용하는 선박기관수리공사단가는 한국선박기관수리공업협동조합 단가표와 수산업협동조합중앙회 단가표 및 공장 자체단가에 의하여 적용하고 있는 실정이며, 이중 한국선박기관수리공업협동조합 단가표는 중·저속 기관 기준이고 수산업협동조합중앙회 단가표는 통상적으로 사고기관에 적용하고 있는 실정이다.

선박기관정비는 보통 검사 시 및 사고기관을 중심으로 하기 때문에 소비자와 공제회사에 대하여 타 정비업체와의 차별성을 인식시키는 것이 곤란한 것이 현실이다.

또한 확고한 기술력 및 작업장 정비설비가 부족하기 때문에 기술료로서 적정한 요금을 청구하기도 힘들다. 더욱이 업계내의 가격경쟁으로 인한 덤핑으로 생업적 사업의 원가에 기초하지 못한 저가격도 있는 경우도 있다. 따라서 본 연구에서는 좀 더 정확성을 추구하기 위하여 수산업 협동조합중앙회의 기관공사 단가표를 가지고 정비비용을 산출해 보았다.

현재 각 항·포구별 기관 수리정비업체의 경우 표 76의 수산업협동조합중앙회의 정비단가를 적용하고 있는 실정이며, 수리·정비비용중 노무비는 저속기관의 경우 20,000원/PS, 고속기관의 경우 7,000원/PS를 적용하고 있다.

표 76 기관공사 수리단가

비 목	구 분	PS당 단가		비 고
		중·저속	고 속	
재 료 비	제작업체 소비자 가격			
노 무 비	소 계	20,000원 이내	7,000원 이내	
	Head 및 관련부품 분해 조립(밸브 및 로커암)	4,000원	1,400원	※시운 전 포함
	Piston 및 Ring 관련 부품 분해조립	1,200원	900원	
	Con-Rod 관련 부품 분해조립	1,680원	900원	
	Liner 분해조립	1,120원	500원	
	Body 취외 복구 (Cam Shaft)	6,000원	1,500원	
	Crank Shaft 발출복구	4,200원	1,400원	
	Bed 취외 복구 (오일팬 탈부착 포함)	1,800원	400원	

출처 : 수협중앙회 공제보험 본부(2007. 6월 기준)

## 2) 기관정비

선박용 기관은 육상용 기관에 비해 정비작업의 난이도가 높으며 기관 정비시 작업자의 기량 및 경험, 작업순서 등 많은 요소에 의해 기관의 수명에 많은 영향을 받는다. 따라서 기관의 분해·조립 또는 특정한 부위의 기관수리나 정비작업시 먼저 분해·조립에 필요한 공구와 재료는 미리 준비가 되어야 하고, 기관 수리·정비작업을 할시 는 작업자세, 규정된 공구 및 장비사용, 작업순서, 부품명칭, 분해조립방법 등에 대한 기준이, 기관점검 및 검사 시에는 측정 및 검사방법, 측정기 사용법, 보고서작성 등에 대한 기준이 각 정비 사업장 마다 설정되어 있어야 한다.

원동기 및 동력전달장치에 대하여 기관작업공정에 따른 작업순서를 아래와 같이 조사·분석을 하여 표78과 같이 작업분석표를 작성한 결과 기관작업공정은 12요소 항목, 기관작업요소는 13요소 항목으로 구분이 되었으며, 이 결과에 대하여 대부분 작업이 진행되고 있었으며, 기관작업공정별로 분석한 결과 기관작업요소는 보통 7~

8 요소 항목의 작업요소 내에서 수리·정비 작업이 진행 되었다.

이들 정비 작업요소를 근거로 기관의 형식을 구분하고 1실린더를 기준으로 정비할 수 있는 공사내용을 작성하여 표 77의 재료비를 산출하였다. 기관제조자별 단가가 상이하야 차이가 있을수 있다는 것을 미리 밝혀두며 저속기관은 1000PS, 고속기관은 600PS을 기준으로 설정하였다.

재료비를 산출한 결과 저속기관의 경우 1기통당 최소 약 600만원 정도, 고속기관의 경우 1기통당 최소 약 300만원 정도 파악 되었다. 따라서 노무비 및 필수 운반장비를 포함한 기관정비 비용의 경우 저속기관의 경우 약 5,650만원, 고속기관의 경우 약 2,270만원 정도 발생 되었다

표 77 재료비 산출내역

비 목	기관형식	부품명	재료비		비 고
			수량	금액(원)	
재료비	저속기관 (1000PS 급)	피스톤	1 개	3,000,000	
		피스톤링	6 개	400,000	
		실린더라이너	1 개	2,000,000	
		메인 베어링	2 개	350,000	
		콘로드 베어링	2 개	80,000	
	고속기관 (600PS 급)	피스톤	1 개	850,000	
		피스톤링	6 개	950,000	
		실린더라이너	1 개	400,000	
		메인 베어링	2 개	150,000	
		콘로드 베어링	2 개	60,000	
		흡/배기밸브 가이드	4 개	70,000	
		흡/배기밸브 시트 링	2 개/각	250,000	

표 78 기관정비작업

구분	번호	작업 요소	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	비고
			작업 준비	분해	점검	측정	조립	시동	판정	조정	시험	수정	교환	보충	작업	
공정	번호	작업 공정 명														
	1	기관 분해 조립	○	○	○	○	○	○							○	
	2	실린더 헤드 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	3	피스톤 분해 및 점검	○	○	○	○	○		○						○	
	4	커넥팅 로드 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	5	실린더 블록 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	6	크랭크 축 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	7	메인 베어링 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	8	캠축 및 로커아암 정비	○	○	○	○	○		○						○	
	9	흡·배기 밸브장치 정비	○	○	○	○	○		○	○					○	
	10	윤활 장치 정비	○	○	○	○	○		○	○	○	○			○	
	11	과급기 정비	○	○	○	○	○					○	○		○	
	12	감속 장치 분해 조립	○	○	○	○	○					○	○	○	○	

### 3. 실험선박(투리스 79호)의 손익 분석

혼합유 사용에 대한 경제성은 각 선박의 경우(연료사용량, 사용연료 등)에 따라 차이가 있고, 전처리장치에 따라 가격이 다르고, 각선박의 연료라인 개조에 들어가는 비용이 다르므로 혼합유 사용을 위한 초기비용은 제외하고, 본 연구의 시험선인 투리스 79호에 대하여 경제성을 분석하기로 한다. 또한, 일반 상선과는 달리 어선에서는 고기가 있는 곳과 선박의 위치 등에 따라 기관사용 횟수 및 기간이 일정하지 않음으로 투리스 79호의 기관장 및 선장과의 면담시 자료를 토대로 1년 동안 약 8개월을 조업한다는 가정 하에 경제성을 분석하기로 한다.

표 80 및 81은 투리스 79호에 탑재되어 있는 주기관(AKASAKA AH-38, 2,200HP)의 연료소모율 및 연소계통 부품의 단가를 나타내고 있다. 표 81의 정비 및 교환 주기는 투리스 79호 연소시험 시 기관장과의 면담과 AKASKA AH-38 엔진의 메뉴얼을 토대로 하여 작성된 것이다.

표 79 투리스 79호 주기관 연료소비량

제조사 (MAKER)	기관형식 (MODEL)	마력 (PS)	회전수 (RPM)	연료 소비율 (g/ps-hr)	일일연료소비량	
					Kg	Liter
AKASAKA	AH-38	2,200	310	156	8,237	9,690

표 80 혼합연료유 가격

구분	경유 (고유황)	MF30	MF60	B/A	MF100	MF120	MF150	MF180
유가 (천원)	1,421.2	988.8	905.3	904.5	838.5	820.4	799.5	786.3
대비율 (%)	100	69.6	63.7	63.6	59.0	57.7	56.3	55.3

(2008년 11월 01일, l당)

표 81 투리스 79호 부품 단가

부품명	재료비(단가)	
	수량	금액(원)
흡기밸브	1개	360,000
흡기밸브 시트	1개	120,000
배기밸브	1개	350,000
배기밸브 시트	1개	200,000
연료분사노즐	1개	385,000
피스톤	1 개	5,000,000
피스톤링	1 set	450,000
커넥팅로드 베어링	1set	726,000
실린더 라이너	1 개	5,200,000
메인 베어링	1set	900,000

1년 동안 투리스 79호가 조업하기 위하여 필요한 연료량은 표 79의 하루 연료소비량에 대하여 8개월간의 사용량으로 곱하면, 표 82에서와 같이 2,325.6 kl를 연간 사용한다. 여기에 조업형태에 따라 차이 있겠지만 저부하에서는 경유를 사용하여야 함으로 연간사용 연료 중 40%를 경유를 사용한다고 가정하면 연료비용을 표 82와 같이 구할 수 있다. 2008년 11월 1일 유가를 기준으로 MF 60사용 시는 경유사용 시와 비교하여 연료비가 약 719백만원 MF 100을 사용할 경우 813백만원이 절감되는 것으로 나타났다.

여기에서 표 83에서 조사된 부품가격과 정비 노무비를 제외하며 표 87에서와 같이 사용연료유별 연료비 절감효과를 알 수 있다. MF 30 사용 시에는 약 7억 3천, MF 60 사용 시에는 약 9억 2천, MF 100사용 시에는 약 10억 연료비 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

표 87의 연료비 절감효과는 유가에 변동에 따라 변할 수 있으며, 또한, 2008년 11월 1일의 유가는 2005년 “어선연료비 절감 모델시스템 연구개발”과제 시보다 많이 올라 그대 당시의 MF30 사용 시의 절감 효과와는 차이가 있다.

표 82 투리스 79호의 연료비

1년간 연료 소모량	2,325.6 kl		경유대비 차액 (① - ②,③,④,⑤)
	경유40%	혼합유60%	
경유 ①	3,305,143천원		0원
MF 30 ②	1,322,057천원	1,379,732천원	603,354천원
MF 60 ③	1,322,057천원	1,263,219천원	719,866천원
Bunker A ④	1,322,057천원	1,262,103천원	720,983천원
MF100 ⑤	1,322,057천원	1,170,009천원	813,076천원

표 83 혼합유(MF30)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대비 재료비 차액

부품명	정비 및 교환주기		경유대비 재료비 차액 (천원)
	경유 사용	MF30 사용	
흡기밸브	1회/1년	1회/1년	0
흡기밸브 시트	1회/1년	1회/1년	0
배기밸브	2회/1년	10회/1년	350,000원x8회x12개 = 33,600
배기밸브 시트	2회/1년	10회/1년	200,000원x8회x12개 = 19,200
연료분사노즐	2회/1년	3회/1년	385,000원x1회x6개 = 2,310
피스톤	1회/2년	1회/2년	0
피스톤링	1회/1년	2회/1년	450,000원x1회x6set = 2,700
컨로드 베어링	1회/2년	1회/2년	0
실린더 라이너	1회/2년	1회/1년	5,200,000원x0.5회x6개 = 15,600
메인 베어링	3회/2년	3회/2년	0
합계			73,410

표 84 혼합유(MF60)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대비 재료비 차액

부품명	정비 및 교환 주기		경유대비 재료비 차액 (천원)
	경유 사용	MF60 사용	
흡기밸브	1회/1년	1회/1년	0
흡기밸브 시트	1회/1년	1회/1년	0
배기밸브	2회/1년	12회/1년	350,000원 x 10회 x 12개 = 42,000
배기밸브 시트	2회/1년	12회/1년	200,000원 x 10회 x 12개 = 24,000
연료분사노즐	2회/1년	3회/1년	385,000원 x 1회 x 6개 = 2,310
피스톤	1회/2년	1회/2년	0
피스톤링	1회/1년	2회/1년	450,000원 x 1회 x 6set = 2,700
컨로드 베어링	1회/2년	1회/2년	0
실린더 라이너	1회/2년	1회/1년	5,200,000원 x 0.5회 x 6개 = 15,600
메인 베어링	3회/2년	3회/2년	0
합 계			86,610

표 85 혼합유(MF100)에 따른 투리스 79호 정비교환 주기 및 경유대비 재료비 차액

부품명	정비 및 교환 주기		경유대비 재료비 차액 (천원)
	경유 사용	MF100 사용(추정)	
흡기밸브	1회/1년	1회/1년	0
흡기밸브 시트	1회/1년	1회/1년	0
배기밸브	2회/1년	16회/1년	350,000원 x 14회 x 12개 = 58,800
배기밸브 시트	2회/1년	16회/1년	200,000원 x 14회 x 12개 = 33,600
연료분사노즐	2회/1년	4회/1년	385,000원 x 2회 x 6개 = 4,620
피스톤	1회/2년	1회/2년	0
피스톤링	1회/1년	3회/1년	450,000원 x 2회 x 6set개 = 5,400
컨로드 베어링	1회/2년	1회/2년	0
실린더 라이너	1회/2년	1회/1년	5,200,000원 x 0.5회 x 6개 = 15,600
메인 베어링	3회/2년	3회/2년	0
합 계			118,020

표 86 투리스 79호 경유대비 수리정비 노무비 차액

부품명	수리정비 노무비		
	MF30사용시	MF60사용시	MF100사용시
흡기밸브	4,000원 x 2,200PS x 8회 = 70,400천원	4,000원 x 2,200PS x 10회 = 88,000천원	4,000원 x 2,200PS x 14회 = 123,200천원
흡기밸브 시트			
배기밸브			
배기밸브 시트			
연료분사노즐			
피스톤	1,200원 x 2,200PS x 1회 = 2,640천원	1,200원 x 2,200PS x 1회 = 2,640천원	1,200원 x 2,200PS x 2회 = 5,280천원
피스톤링	;피스톤링 교환 1회	;피스톤링 교환 1회	;피스톤링 교환 2회
케넥팅로드 베어링	0	0	0
실린더 라이너	1,120원 x 2,200PS x 0.5회 = 1,232천원 ;실린더라이너 교환 1/2회	1,120원 x 2,200PS x 0.5회 = 1,232천원 ;실린더라이너 교환 1/2회	1,120원 x 2,200PS x 0.5회 = 1,232천원 ;실린더라이너 교환 1/2회
메인 베어링	0	0	0
합계	74,272천원	91,872천원	129,712천원

출처 : 수협중앙회 공제보험 본부(2007. 6월 기준)

표 87 투리스 79호의 연료비 절감효과

혼합유	절감액 연료비	경유대비	경유대비	경유대비	전체 절감액 (천원) ①-②③
		연료비 절감액 ①(천원)	부품재료비 초과지출 ②(천원)	노무비 초과지출 ③(천원)	
경유	3,305,142	-	-	-	-
MF 30	2,701,778	603,354	73,410	74,272	455,672
MF 60	2,585,276	719,866	86,610	91,872	541,384
MF100	2,492,066	813,076	118,020	129,712	565,344

## 제5절 혼합유 사용을 위한 운전 매뉴얼

### 1. 혼합유 사용에 따른 기관운전

#### 가. 연료유 온도유지

디젤기관의 연료는 점도를 8~27cSt(50°C)로 유지하는 것이 적정한 것으로 알려져 있다. 그러므로 혼합연료를 사용하기 위해서는 경유의 사용 시와는 달리 혼합유의 등급에 따라 적절한 점도를 유지할 할 수 있도록 혼합유를 가열하여야 한다. 그림 312은 디젤기관 및 보일러에서 연료가 연소되기 위한 적절한 점도를 나타내고 있다. 그림 312을 참고하여 현재 국내에서 사용되고 있는 연료의 적정한 연료온도 범위를 확인해보면 표 88과 같다.

그림 312의 그래프에서 각 연료유별 적정 온도를 설정하는 방법은 50°C에서 수직으로 있는 동점도 기준선에서 각 혼합유의 점도를 표시하고 그점을 지나면서 미리 그어져있는 각 연료에 대한 사선들과 평행하게 사선을 긋고, 디젤기관에서 적정 분사점도인 8~27cSt와 만나는 점 즉 디젤분사점도인 8cSt를 지나는 x축과 평행하게 그어 미리 그어진 사선과 만나는 점과 27cSt를 지나는 x축과 평행한 선과 만나는 사선의 두 점 사이의 온도를 유지하면 된다.

예를 들어 MF 15의 경우 그림 312의 점선으로 표시된 것과같이 하여 혼합유의 적정온도를 31 ~ 73°C로 유지유지하면 된다.

표 88 혼합연료의 적정온도 범위

혼합유	연료유 온도 범위(°C) (인화점을 초과하여서는 아니됨)
MF15	31 ~ 73
MF30	50 ~ 96
MF60	71 ~ 118
MF100	84 ~ 132
MF150	93 ~ 143
MF180	96 ~ 146

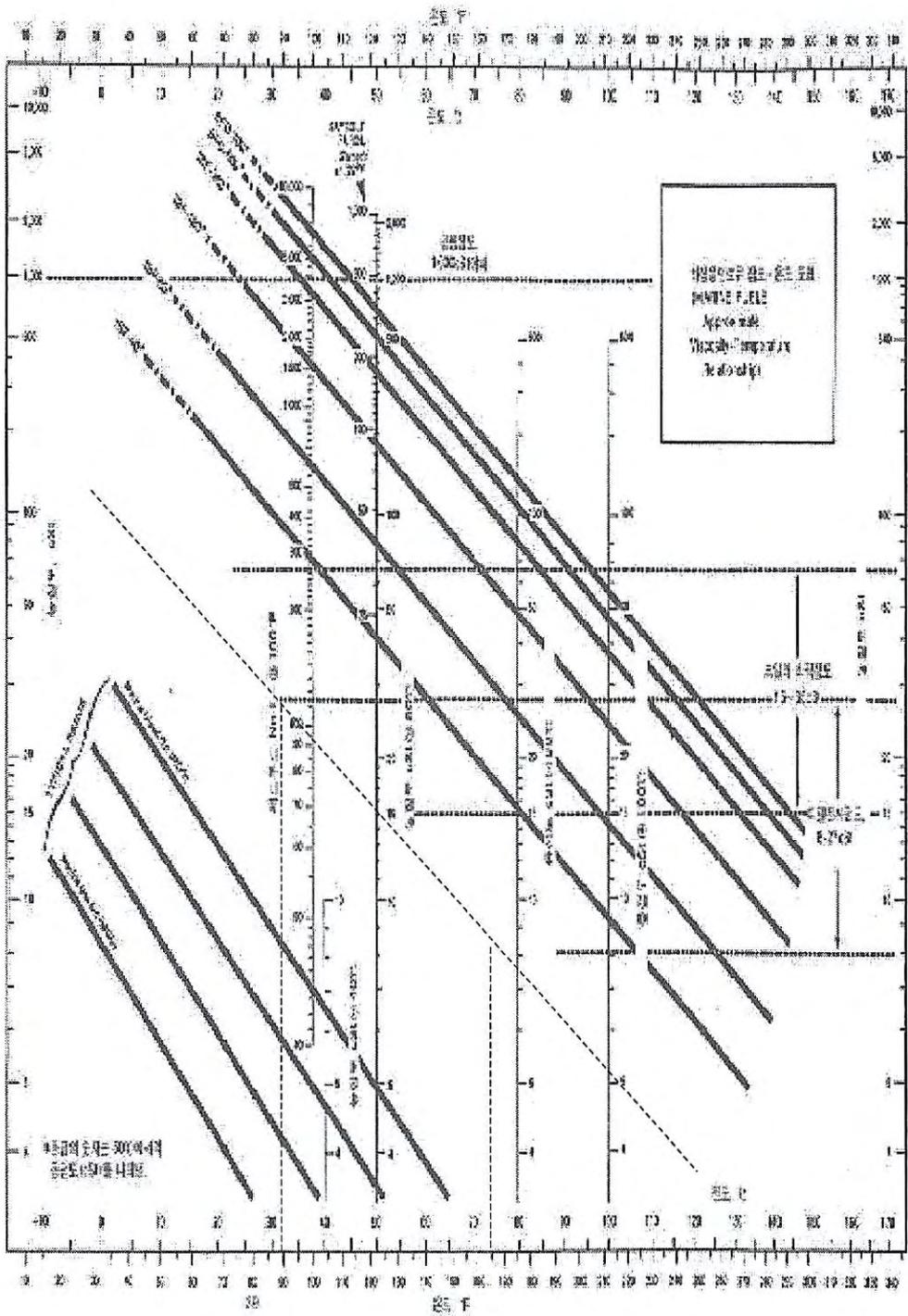


그림 312 증유의 전형적인 온도/점도 그래프

#### 나. 연료유 가열장치

연료유 전처리 장치를 어떠한 것을 사용하는가에 따라 연료의 가열장치가 달라 질 수 있다. 동 연구에서 사용된 Purifier는 장치자체 내에 가열기가 없으므로 연료유의 온도를 유지하기 위하여 연료라인에 전기 또는 증기를 이용한 가열장치를 설치하여야하고 MCH장치의 경우는 장치내에 가열장치가 포함되어 있으므로 따로 설치할 필요는 없다.

그러나, 동절기 또는 수온이 낮은 지역에서 조업을 하는 선박의 경우는 선저에 있는 연료저장탱크의 온도가 낮기 때문에 연료이송에 애로사항이 있으므로 연료저장탱크에 가열장치를 설치하여야하고, 기존의 경유를 이송하기 위한 배관은 점도가 높은 혼합유를 이송하기에는 적합하지 않음으로 배관의 크기를 확대하는 것이 필요하다. 보통 경유배관은 25A ~ 32A 정도로 어선에 많이 설치되어 있으나, 혼합유를 사용할 경우에는 50A ~ 65A정도록 확장하여야하고, MF 180급의 혼합유를 사용할 경우에는 100A까지 크기를 확대할 필요가 있다.

보통 선저의 연료저장 탱크 위에는 어창이 설치되어 있어 선저의 탱크에 가열장치를 설치하여 연료유의 온도를 높일 경우 어창의 온도가 같이 상승하여 상품의 품질을 저하 시킬 우려가 있으므로 선저 탱크의 온도가 어창에 전달되지 않도록 단열시공을 하거나 연료저장 탱크를 전체적으로 가열하지 않고 흡입구 측만을 가열하여 연료를 이송하는 부분가열장치 등을 설치하는 것이 바람직하다.

#### 다. 부하별 사용 연료유

아래 그림 313 ~ 315의 혼합유 연소시험 결과를 보면 혼합유의 배기가스 발생 특성은 1/2 부하 이상에서는 경유의 배기가스 발생 특성과 비슷한 특성을 나타내고 있으나 그 이하에서는 경유보다 발생량이 많은 경향을 보이고 있다. 그러므로 저부하시에는 연료를 경유로 사용하였다가 1/2부하 이상에서는 혼합유를 연료를 변경하는 것이 필요하다. 특히 그림 315의 스모크 발생특성을 보면 저부하에는 혼합유가 완전연소가 일어나지 않는다는 것을 추측할 수 있어, 저부하시에 혼합유를 장기간 계속 사용하는 것은 불완전연소에 의한 연소실 부품의 수명을 단축할 수 있다. 앞에서 언급한 투리스 79호의 경우에도 저부하시에 경유를 사용하지 않고 있기 때문에 배기밸브가 MF60을 사용할 경우에 20일 정도 되면, 그림 275의 경우와 같이 배기밸브에 손상을 초래하거나 불완전 연소로 인하여 윤활유의 오손을 촉진하여 피스톤 라이너 및 링의 마모를 촉진하는 결과를 가져온다.

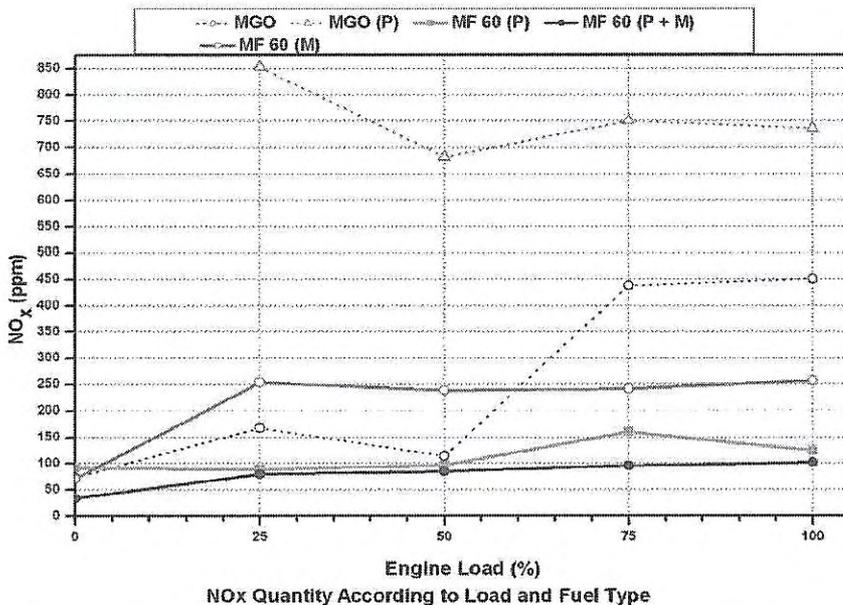


그림 313 NOx emission for main engine using MF60 by P, M & P+M

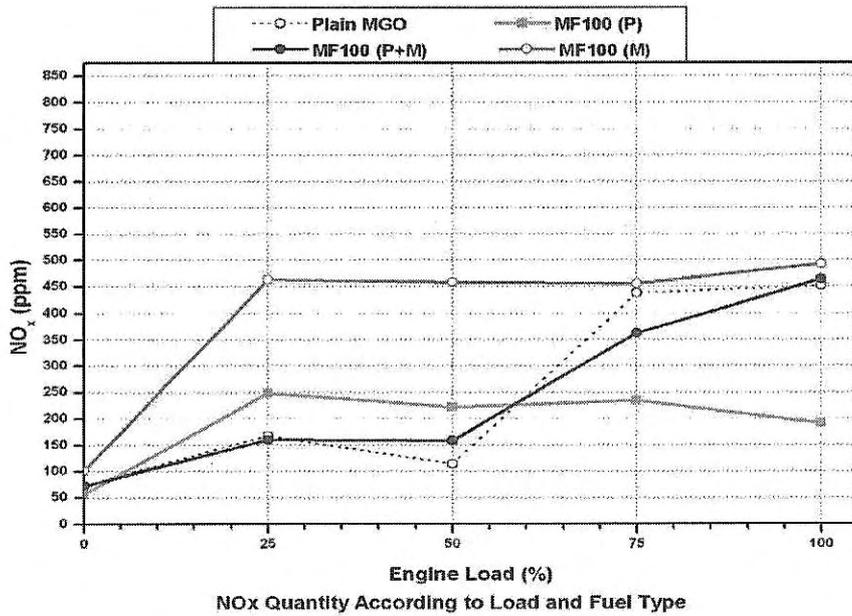


그림 314 NOx emission for main engine using MF100 by P, M & P+M

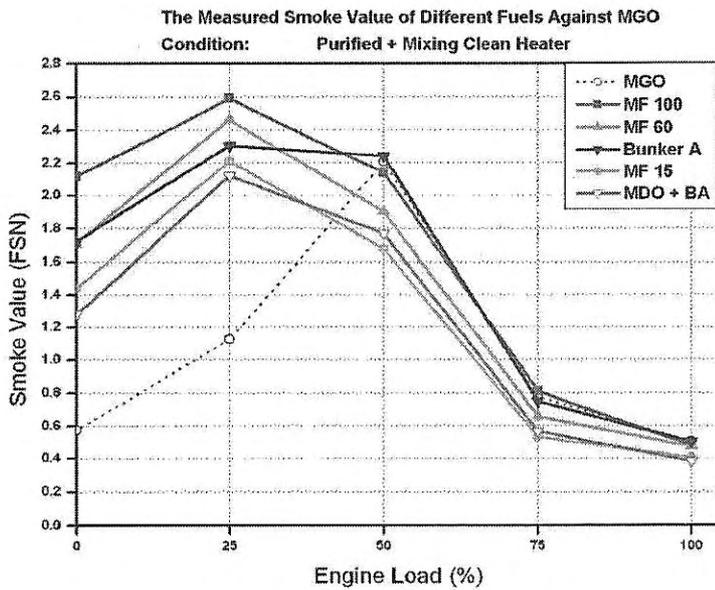


그림 315 FSN for main engine using testing fuel by P+M

## 라. 기관 운전

혼합유를 사용할 경우 전술한 바와 같이 연소압력 및 배기온도의 상승을 가져오고, 혼합유 내에 마모 및 부식을 촉진하는 성분을 많이 포함하고 있기 때문에 운전 시에 기관의 상태를 주의 깊게 관찰하여야 한다.

현재 운항중인 어선들의 상당수가 20년 이상된 노후선박들이 많아 엔진의 성능이 제작당시에 비하여 많이 저하되어 있고, 경유 또는 경유성질에 가까운 혼합유를 사용하도록 엔진의 재질 및 구조가 설계되어 있음으로 이것을 감안하여야 한다. 분명히 경유를 사용할 때 보다는 혼합유를 사용하게 되면 엔진의 상태는 나빠지게 되는 점을 감안하여 엔진 사용 시 부하를 적절히 조절하여 사용하여야 한다.

특히, 저급 혼합유를 사용할 경우 저부하(50%미만)시 불완전연소가 자주 발생하게 되고, 이는 연소실 내부에 카본 등의 배기가스 연소잔유물을 축적하게 하여, 연소실내부 부품의 마모를 촉진하는 원인이 됨으로 저부하시에는 경유 운전하다가 일정부하 이상에서 혼합유로 변경하는 것이 바람직하다.

어선의 경우 포획하는 어종에 따라 일정속도 이상을 유지하여야 하는데 이런경우 보통 엔진의 부하를 4/4이상으로 사용하는 경우가 많아 경유사용 시에도 엔진에 무리를 가하게 되는데 혼합유를 사용할 경우에는 더욱더 큰 영향을 미치게 되므로 엔진의 부하를 줄일 수 있도록 그물의 크기를 조절하는 등의 조치가 필요하다.

## 2. 혼합연료유의 보관

### 가. 혼합 연료유 저장의 문제점

혼합유의 탱크내 저장에 있어서의 문제는 취급에 어려움을 일으키는 슬러지의 형성 및 장기간 저장에 따른 경질유와 잔사유의 층분리에서 일어난다. 슬러지의 증가 원인은 중유가 일반적으로 불친화성이므로 가벼운 경질유를 사용하여 무거운 잔사유와 혼합하기 때문에 발생된다. 이는 연료 내에 떠있는 아스팔트 또는 무거운 고분자 화합물에 다른 희석유를 첨가함으로써 침전될 때 발생되며, 선박용

연료탱크에 침전되어 있거나 연료계통의 통로에서 슬러지가 발견된다. 슬러지 문제를 최소화하기 위해서는 MCH와 같은 연료를 미세화하는 전처리장치가 필요하다. 또한, 제조원이 다른 혼합연료는 가능한 한 별도로 보관하도록 하고, 화학적인 첨가제인 청정제는 선박 연료탱크의 슬러지 생성을 줄이는데 사용될 수 있다.

혼합유가 오랜 기간 저장되어 있을 경우 층분리가 일어나는데 이러한 분리된 혼합유를 그대로 사용하게 될 경우, 잔사유분이 있는 층을 사용할 경우 노즐이 막히거나 연소실의 마모를 촉진하는 원인이 된다.

#### 나. 혼합연료의 보관

전술한 바와 같이 혼합유의 보관중 발생하는 슬러지와 층분리현상을 최소화하기 위해서는 먼저 혼합유의 보관기간을 최소화하여야 한다. 될 수 있는대로 혼합유는 수급한 즉시 사용하는 것을 원칙으로 하고, 오랜기간 보관하게 될 경우는 MCH와 같은 전처리장치를 통하여 혼합유를 순환하여 계속적으로 혼합 시켜주는 것이 필요하다. Purifier와 MCH장치로 계속적으로 연료를 혼합하는 경우 연료내의 슬러지의 미세화와 고형분을 제거하게되어 연소를 좋게하고, 연소실의 마모를 줄일 수 있게 된다.

### 3. 선내간이 연유 혼합장치 설치

전술한 선내 간이 혼합장치는 이번 연구에 포함되지 않는 과제였지만, 혼합유 사용의 가장 큰 문제였던 층분리 현상을 원천봉쇄하여 가장 혼합유의 성상이 좋을 때(미리 몇 번 정도 순환하면 가장 좋은지 시험해 두면 됨)연소시킴으로서 불완전 연소의 원인을 제거하고 재가열하는 등 에너지 손실을 방지하여 이바지 연구에 큰 성과를 거두게 하였다. 다만, 중유의 점도가 온도가 낮아질 때 급상승하여 내부에서 굳어지는 현상이 있으나 이것들은 FO piping system이 그렇게 복잡하지 않기 때문에 외부노출관을 방열재로 싸 보온토록 하되, Fuel의 굳음 현상을 연료유 이송시 준비시간을 두고 MCH system에 포함되어 있는 Heating system을 가동하여 온도를 높인 경유로 중유

저장 탱크내에 역공급하여 Pumping 하는 방법 등을 쓴다면 글썽게 어렵지 않을 것으로 생각되나 정히 염려가 된다면 겨울 한철동안은 굳어지지 않는 혼합유를 사용하다가 나리가 풀리면 저급혼합유로 혼합비를 조절하는 방법을 강구하면 무나히 이문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 혼합유의 정제

연료유의 성상은 연료연소의 잣대가 됨은 물론 연소실 각부의 마모와 부식에 직접적으로 관련됨을 알고 있다. 따라서, 기름속에 섞여있는 금속성분은 물론 모래알(규소성분) 하나까지도 여과시키고자 하는 것이 정제시스템에서는 계속 연구되고 있다. 따라서, 얼마전까지 500mesh까지의 찌거기만 걸러진다 했던것이 초고속기관의 도래에 따라 종이필터에 이르러서는 1000mesh를 넘어서는 여과기술의 진일보를 보이고 있다. 특히 혼합유에는 각종 불순물이 많이 함유되어 있음을 인정할 수 밖에 없어 이의 효과적인 여과를 위한 단계별 여과가 필요하고 여러 번에 걸쳐 찌꺼기를 걸러내는 인내와 수고가 요구된다. 만일, 처음부터 여과를 목적으로 종이 필터류를 사용할 경우 단번에 여과기가 손상되거나 딱 막혀버리는 결과를 초래할 수 밖에 없게 될 것이다.

#### 5. 기타 혼합유 사용상의 유의사항 등

##### 가. 입출항 준비 시의 경유 사용과 혼합유로의 공급절환 수칙이행 및 당직철저

엔진부하가 1/2이상 상승되고 지속적으로 상당 시간동안 동부하가 이어지는 상황에 돌입할 시에 혼합유로의 절환을 이행해야 함은 기히 설명한 바가 있다. 그런데, 이러한 수칙이 조업시에는 잘 이루어지지 않고 있음을 장기운항시험 이후의 현장 조사 시에 확인되었다. 조업 중에는 기관장까지 동원되어 갑판에서 작업을 하고 있음은 물론 기관실 당직은 없이 혼합유(당시는 MF30)로 엔진 스톱과 기동을 다한다는 것이다. 불완전 연소로 인해 연소실의 카본이 다

른 때보다 훨씬 많아졌음은 물론 실린더 라이너의 마모량과 실린더 헤드의 부식정도가 평균치 이상이었다. 연소실은 냉각수의 온도의 고저 및 온도변화에 따라 황부식과 바나듐 부식으로 구분되며 특히 고온부식이 보다 심하다 저급연료유는 점도가 상대적으로 높기 때문에 온도를 더 높여서 사용하면 되는데 이것은 연소실 내부에도 영향을 미쳐 MGO(경유) 사용 시보다 높은 온도를 유지하게 된다. 다시 말해 MGO 사용 시보다 연소실 온도가 높은 상황이기 때문에 온도변화에 신경을 써야한다.

사용매뉴얼은 시스템과 사용혼합유 종류 및 사용 환경에 따라 상이하다. 따라서, 본선에 혼합 정제 시스템을 설치할 때에는 전문가에게 동 시스템의 적정여부를 판정받고, 또한, 동시스템 특성에 맞는 매뉴얼을 받아야 한다. 그리고, 그 매뉴얼은 혼합유를 사용하는 한 꼭 지켜져야 한다. 이는 혼합유를 사용함으로써 얻어지는 연료비 절감효과에 대한 최소한의 요구조건이기 때문이다.

#### 나. 보다 철저한 운전절차 이행

이 부분은 특별히 혼합유를 사용해서라기 보다 일반적으로 엔진을 취급하는 사람이 지켜야 하는 기본적인 수칙으로서 시동전 엔진의 워밍, 부하조절, 위험회전수에 빠른 회피, 엔진 각부위의 온도, 압력, 음향 등의 이상유무가 그런 것들이다. 또 엔진에 어떤 이상현상이 나타나건 그 상황을 일목요연하게 기록하여 추후 전문가를 통하여 그 원인을 파악 해결토록 하는 등의 대처방안이 요구된다.

## 제6절 선박에서 배출되는 배기가스의 국제동향 및 대응방안

### 1. 국제해사기구(IMO)의 배기가스규제 동향 분석

#### 가. IMO MEPC의 연구배경 및 동향

세계해사기구(IMO)에서는 1997년 09월 26일 영국런던 IMO 본부에서 열린 MEPC37차 회의에서 선박으로부터 기인하는 오존층 파괴물질, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 휘발성유기화합물(VOCs), 선내소각기의 배출가스 및 연료유의 품질을 규제 대상으로 하는 MARPOL 부속서 6 [선박으로부터 대기 오염 방지를 위한 규칙]을 제정·채택하였다. 그리고 그 부속서 6의 발효조건으로 15개국 수락 및 수락 국가의 상선 선박량이 전세계 상선 선박량의 50% 이상, 그리고 발효일은 발효 요건이 충족된 날로부터 1년후로 정하였고, 2004년 05월 18일 사모아가 15번째로 비준함으로써 해당 조건을 만족하게 됨에 따라 1년 후인 2005년 05월 19일 MARPOL 부속서 6 [선박으로부터의 대기오염 방지를 위한 규칙]이 발효되었다. 하지만, MARPOL 부속서 6이 채택될 당시 NOx 배출기준이 1993년 정도의 기술 자료를 바탕으로 선정 되어 해양오염방지 외교회의(MP Conference)에서는 동 부속서가 발효된 이후 5년 간격으로 NOx 배출 규제 기준의 강화를 위한 재검토 작업을 요청한 것과 관련하여 MARPOL 부속서 6과 NOx Technical Code의 개정작업을 MEPC 53차(2005.07) 회의에서 착수하여 MEPC 57차(2008.03) 까지 3년간에 걸쳐 논의를 하였으며, 2008년 10월에 MEPC 58차 회의에서 최종적으로 채택을 하였다. 본 연구에서는 그동안의 MEPC 회의에서 논의된 결과를 각 유해배기가스 중심으로 최근 3년간 IMO에서 논의되고 있는 대기오염물질 배출 규제 강화 동향에 대해 살펴보고자 한다. 표 89 은 최근 3년간 MEPC(해양환경보호 위원회) 회의 개최기간을 나타내고 있으며, 표 90는 최근 3년간 BLG(산적액체 및 가스 전문위원회) 회의 및 중간 Meeting의 기간을 나타내고 있다.

표 89 MEPC(해양환경보호 위원회) 회의

번호	회의명	회의 개최일
1	MEPC 53차 회의(at London)	2005. 07. 18 ~ 2005. 07. 22
2	MEPC 54차 회의(at London)	2006. 03. 20 ~ 2006. 03. 24
3	MEPC 55차 회의(at London)	2006. 10. 09 ~ 2006. 10. 13
4	MEPC 56차 회의(at London)	2007. 07. 09 ~ 2007. 07. 13
5	MEPC 57차 회의(at London)	2008. 03. 31 ~ 2008. 04. 04
6	MEPC 57차 회의(at London)	2008. 10. 06 ~ 2008. 10. 10

표 90 BLG(산적액체 및 가스 전문위원회) 회의 및 중간 회의

번호	회의명	회의 개최일
1	BLG 10차 회의	2006. 04. 03 ~ 2006. 04. 07
2	BLG 11차 회의	2007. 04. 16 ~ 2007. 04. 20
3	BLG 12차 회의	2008. 02. 03 ~ 2008. 02. 08
4	중간회의(at Oslo)	2008. 06. 23 ~ 2008. 06. 27

나. NO<sub>x</sub>의 영향 및 IMO의 배출규제 동향

1) NO<sub>x</sub>의 영향

공기 중에 있는 질소산화물 중 가장 주요한 형태는 NO 와 NO<sub>2</sub>이며, 이 둘을 합쳐서 NO<sub>x</sub>로 표현한다. 질소산화물은 물과 반응하여 질산(HNO<sub>3</sub>)을 만드는데 이는 산성비의 주요원인이 된다. 또한 질산은 극지방 성층권에서 구름의 입자가 되기도 하며, 물과 질산이 섞인 것으로 NAT(Nitric Acid Trihydrate)라고 불리며 극지방의 오존층을 파괴하는 하나의 원인으로 알려져 있다. 일산화질소와 이

산화질소는 대류권에 있는 오존의 형성과 파괴에 있어서 중요한 역할을 한다. 이산화질소는 인체에 유해하며 고농도 아래에서는 폐기종(肺氣腫)·기관지염 등 호흡기 질환의 원인이 된다.

## 2) IMO NO<sub>x</sub> 배출 규제 동향

2005년 7월 개최된 MEPC53차에서 NO<sub>x</sub> 배출의 미래 제한치 권고 및 감소를 위한 관련기술을 검토하고 현존 엔진의 NO<sub>x</sub> 배출 제한치 고려 및 NO<sub>x</sub> Technical Code의 개정에 필요한 사항에 대한 검토에 착수하였으며, 2006년 3월 MEPC54차에서 NO<sub>x</sub> Technical Code개정에 대한 2007년 완료를 목표로 BLG에서 수행할 개정작업 위임사항을 승인하였다.

2006년 4월 개최된 BLG10차(산적액체 및 가스 전문위원회)에서 NO<sub>x</sub> 규정을 새로운 엔진에만 적용하는 것보다 현존엔진을 개선하는 것이 NO<sub>x</sub> 배출을 줄이는 효과가 빠르다는 의견에 동의하고 작업반에서 현존엔진에 대하여도 검토할 것과 이용 가능한 최신 기술, 환경적인 필요성과 비용분석에 따른 과학적인 기준을 근거로 하여야 함을 주지하고 대기오염 작업반에서의 검토를 지시하였다. 작업반에서는 2010년을 Tier II(2단계) 기준을 그리고 후속으로 2014년 혹은 2015년 까지 새로이 강화된 규정을 도입하는 단계적인 적용기준을 지지하였다. NO<sub>x</sub> Technical Code 개정 관련 사항으로 “가변피치 프로펠러 장치”를 속력에 관계없이 가변피치 프로펠러가 연결된 모든 추진기관에 E2 시험주기를 적용하기로 하였다. 또한 NO<sub>x</sub> Technical Code 5.9.6.2.항의 “최대토크의 ±2%이내”를 D1, D2와 C1, C2 시험주기를 일치시키기 위하여 각 출력에서 명시된 토크는 엔진의 정격속도에서 최대 정격 토크의 2%이내에 들어야 한다는 해석에 대하여 승인하고 우리나라가 제출한 NO<sub>x</sub> 기술 코드 관련 통일해석 개정의견(BLG 10/14/17)은 회원국의 지지를 받아 NO<sub>x</sub> Technical Code 5.9.9항 중 “분석기 검교정이 재점검 되어야 한다”는 것에 대하여 “분석기의 제로 및 스펠 응답이 재점검 되어야 한다”로, 또한 “0.02 초기 체크 눈금”을 “0.02 초기 스펠 가스 농도 눈금”으로 개정하고 승인하였으며, 2006년 10월 개최된 MEPC55차에서는 BLG10차에서 승인되었던 NO<sub>x</sub> Technical Code의

통일해석에 관하여 결정하였다.

2007년 04월의 BLG11차에서는 선박용 엔진의 설계기술 발달과 SCR(선택적 촉매환원장치) 및 EGR의 개발로 선박에서 배출되는 NOx 배출량을 단계적으로 강화하는 3단계 원칙인 Tier I(현재), Tier II, Tier III에 입각하여 Tier II의 적용을 2011년 1월 1일 실시 및 현 규제치보다 2~3g/kwh 저감키로 동의하였다. 하지만 Tier III의 적용일은 2016년이 적절할 것으로 동의되었으나 제한값에 대한 합의가 이루어 지지않아 아래 표 91과 같이 3가지 Option으로 정리하고 MEPC 56차에 제출키로 동의하였다.

표 91 Tier III의 적용을 위한 3가지 Option

구분	Option A	Option B	Option C
제한 값 (Tier I 대비)	80% 저감	83~85% 저감	40~50% 저감

이외에 현존엔진(2000년 이전제작)에 대해서는 대형 2행정 엔진에 국한하기로 동의하고 NOx 저감을 위한 개조가 불가능한 엔진 모델 등 현실적으로 엔진 내부개조가 불가능한 엔진범위를 규명하기 위한 연구의 필요성에 동의하여 향후 계속적으로 논의키로 하였다.

2007년 7월 개최된 MEPC56차에서는 사무총장의 MARPOL 부속서 제6장 및 NOx Tech. Code에 대한 검토를 위하여 비공식 범 국가/산업 및 과학적 전문가 그룹의 설립(MEPC 56/4/15, 사무총장)에 대하여 승인하였으며, 연구내용을 BLG12차와 MEPC57차에 보고토록 결정하였다. FOEI(Friends of the Earth International)가 제안한 현존 엔진의 NOx 배출저감을 위한 요구(MEPC 56/4/7)에 대하여 최신 기술을 고려하여 기준서를 확립해야 한다는 것에 동의하였고, 스웨덴은 현존선(2000년 이전 건조선박)의 NOx배출 제한에 대한 심도 있는 검토를 주장하고 현존 엔진에 대한 처리장치를 설치

한 후 NOx 배출이 현저하게 감소되었음을 발표하였다. 반면, 인도는 현존선에 대한 NOx 배출제한의 소급적용에 앞서 현재 NOx 제한치를 통한 감소량이 재평가 되어야 함을 주장하였다. MARPOL 부속서 6장과 NOx Tech. Code의 수정에 대한 BLG11차의 결과와 관련하여, 사무국에서 BLG11차에서 논의된 내용을 발표하였으며, 특별한 이견 없이 통과되었음. 2008년 3월 개최된 MEPC57차에서는 신조선을 위한 질소산화물(NOx) 배출 제한이 표 92와 같이 결정되었으며, MEPC58차(2008년 10월 개최)에서 채택되었으며, 그림 316는 Tier I, II, III에 대한 NOx 제한 값을 그래프로 나타내고 있다.

현존 디젤엔진에 대한 질소산화물 기준의 소급 적용 범위와 기술적인 이행방법에 대하여 상당수 국가들의 반대에도 불구하고 MEPC 57/4/33(독일 및 일본제출)로 제시된 현존엔진의 소급적용 범위에 대하여 대다수 국가가 지지함에 따라 1990년부터 1999년 사이에 건조된 선박에 탑재된 “출력 5000KW 및 실린더 용적 90리터” 이상의 엔진에 적용하기로 결정함.

표 92 NOx 배출규제 Tier I ~ Tier III

RPM	Tier I (현행)	Tier II (‘11.1.1이후)	Tier III (‘16.1.1이후)
n이 130이하	17.0g/kWh	14.36g/kWh	3.4g/kWh
n이 130이상 2000미만	$45.0 \times n^{-0.23}$ g/kWh	$44.0 \times n^{-0.23}$ g/kWh	$9 \times n^{-0.2}$ g/kWh
n이 2000이상	9.8g/kWh	7.66g/kWh	2.0g/kWh

※ Tier II : 현행 대비 약 20% 저감, Tier III : 현행 대비 약 80% 저감

표 93 Tier I 대비 Tier II의 NOx 규제치

세부내용		현행(Tier I)	제2단계 규제 (IMO Tier II)	비고
배출량 제한치	130rpm 이하	17.0 g/kWh	14.4 g/kWh	15.5% 저감
	130~200 rpm 미만	$45.0n^{(-0.2)}$ g/kWh	$44.0n^{(-0.23)}$ g/kWh	19.7%(729rpm) 20.3%(900rpm)
	200 rpm 이상	9.8 g/kWh	7.7 g/kWh	21.8% 저감
발효일자		2005년 5월 19일	2011년 1월 1일	
적용기준		선박 keel Laying 기준	선박 Keel Laying 기준	
적용기술		In Engine Controls	In Engine Controls	

표 94 Tier I 대비 Tier III의 NOx 규제치

세부내용		현행(Tier I)	제3단계 규제 (IMO Tier III)	비고
배출량 제한치	130rpm 이하	17.0 g/kWh	3.4 g/kWh	80% 저감 IMO Tier I 대비
	130~200 rpm 미만	$45.0n^{(-0.2)}$ g/kWh	$9.0n^{(-0.2)}$ g/kWh	
	200 rpm 이상	9.8 g/kWh	2.0 g/kWh	
발효일자		2005년 5월 19일	2016년 1월 1일	
적용기준		선박 keel Laying 기준	선박 Keel Laying 기준	
적용기술		In Engine Controls	SCR or 기타	엔진 Room 설계변경
적용지역		Global	Emission Controls Areas	

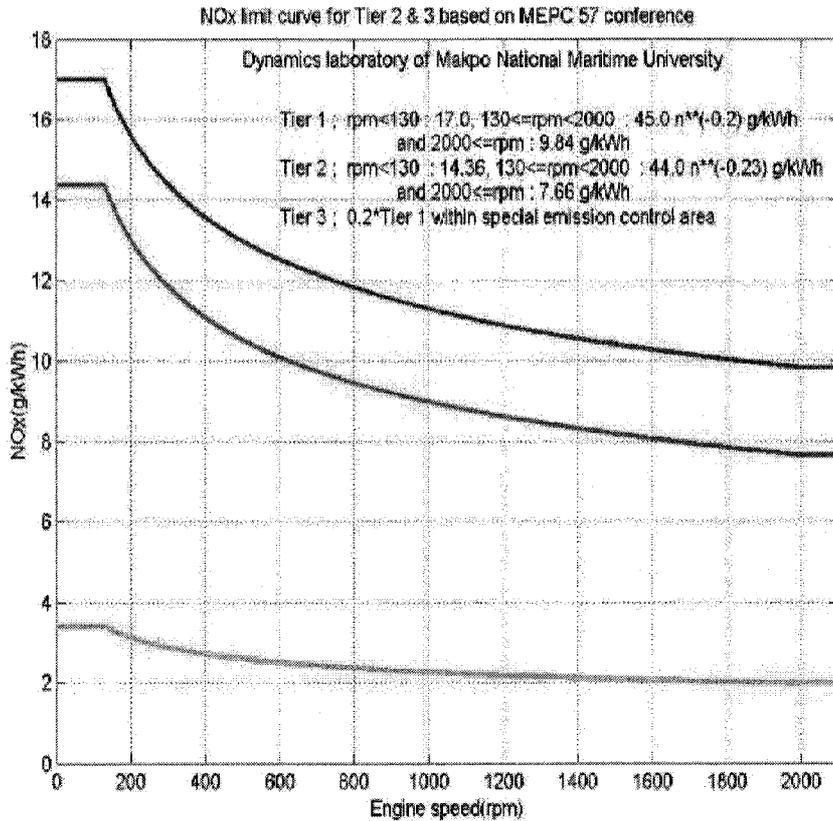


그림 316 IMO Tier 2 & 3에서 NOx 제한값

다. CO<sub>2</sub> 영향 및 규제동향

1) CO<sub>2</sub>의 영향

지구 온난화를 일으키는 온실가스로 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>(메탄), N<sub>2</sub>O(아산화질소), HFCS(수소불화탄소), PFCS(과불화탄소), SF<sub>6</sub>(육불화황)이 있으며, 이중 CO<sub>2</sub>는 온난화 지수가 가장 낮지만 산업발전에 따른 화석연료의 사용량 증가로 인해 인위적으로 발생하는 이산화탄소의 양이 증가됨에 따라 현재 온실효과 기여도가 가장 높은 물질로 지목되고 있다. 온실 가스는 지구에 들어오는 단파장의 태양 복사 에너지를 통과시키는 반면 지구로부터 방출되는 장파장의 복사에너지

는 흡수함으로서 지표면의 온도를 높이는 역할을 한다.

## 2) IMO CO<sub>2</sub> 배출규제 동향

MEPC53차에서 “선박 CO<sub>2</sub> 배출 인덱싱에 대한 자발적 임시지침서”가 MEPC53차 회람문서로 승인, 채택 되었으나, 교토의정서 부속서 I(국가)의 논리를 주장하는 중국, 인도 및 미국의 검토의견에 따라 자발적이고 임시적인 지침서로 결정되었고 중국과 미국은 임시지침서의 승인 동의에 입장을 유보하였다. MEPC54차에서 시장 기반 Emission Trading의 실행가능성, GHG(Green House Gases) 배출 기준선과 CO<sub>2</sub> 배출 인덱싱 잠정 지침서의 실제 적용에 대한 MEPC 회람문서 개발 등이 작업반에서 논의되었으며, 화석 연료의 연소로 인해 발생하는 GHG 배출에 의한 기후 변화가 이미 많은 국가에서 문제시 되고 있기 때문에 위원회가 선박으로부터 GHG 배출감소 및 제한을 완수하기에 필요한 필수 메커니즘을 개발하고 식별하는 추가 작업을 수행 할 것을 촉구하였다.

MEPC55차에서는 국제해사기구(IMO), 국제민간항공기구(ICAO) 및 기후변화협약(UNFCCC)간의 구체적인 기술협력 추진에 동의하고 “선박 CO<sub>2</sub> 배출 인덱싱 잠정지침서”에 따라 우리나라, 노르웨이, 인도, 일본 등이 제출한 이산화탄소 배출량 조사 자료를 검토, MEPC58차까지 세계 각국에 이산화탄소 배출량 조사 자료를 제출해 줄 것을 요청하였다.

MEPC56차에서 여러 국가에서 문서를 제출하였으나 일본, 노르웨이, 미국 등은 적극적인 GHG저감에 노력하자는 의견이지만 인도, 중국 등의 개발도상국들은 기술적인 면에서 실행이 불가능하며, 기술 도입의 능력이 없음으로 불공평하다는 의견을 제시하였다.

MEPC57차에서 온실가스(GHG) 배출 제한 관련 논의사항은 통신 작업반을 구성하여 신조 선박에 대한 CO<sub>2</sub> 설계지수 및 CO<sub>2</sub> 배출 기준(Baseline) 개발과 관련한 검토사항 및 Idea를 취합하기로 하였음. GHG를 줄이기 위한 방법으로 Short-term measures와 Long-term measures에 대해 재검토 하였으며, 2008. 05. 29-30 일본 동경에서 온실가스 저감 국제 워크샵 개최하였으며, 2008년 6월 노르웨이 오슬로에서 중간 작업반 회의를 거치고 MEPC 58차에서 최

중 결정하기로 하였다. Short-term measures에 초점을 맞추어서 GHG관련 중간통신작업반(BLG12)의 추천사항에 대하여 재검토 하였으며, 장기적인 접근방법은 표 161에서, 그리고 단기적인 접근방법은 표 96에서 나타내고 있다.

표 95 Long-term measures

번호	Long-term measures (장기적인 접근 방법)
1	선박설계상 기술적인 부분 (최적 선형, 프로펠러 및 엔진 등)
2	대체 연료의 사용
3	신조 선박에 대한 강제적인 CO2 설계지수
4	CO2 지수의 국제적인 증명 체계
5	통일된 CO2 지수의 사용과 위반시 벌칙 부과
6	배출가스 거래 제도

표 96 Short-term measures

번호	Short-term measures (단기적인 접근 방법)
1	연료 소모량의 개선
2	* 효율적인 선체설계 및 관리 * 신조선박의 예상되는 CO2 지수를 위한 시험모드의 사용
3	육상전력의 사용
4	풍력의 사용
5	CO2 지수의 자발적 / 강제적 지수의 제출
6	선박에서 사용되는 냉매의 누설의 엄격 금지
7	선속의 감소
8	선박의 효과적인 운항통제, 선단관리, 화물취급과 에너지의 개선
9	선박으로부터 배출되는 GHG의 평가에 있어서 Soot와 NO의 고려
10	선박용 연료에 특별세 부과 및 신용구입을 위한 기금의 조성
11	경제분야와 정부사이 자발적인 위원회 설립

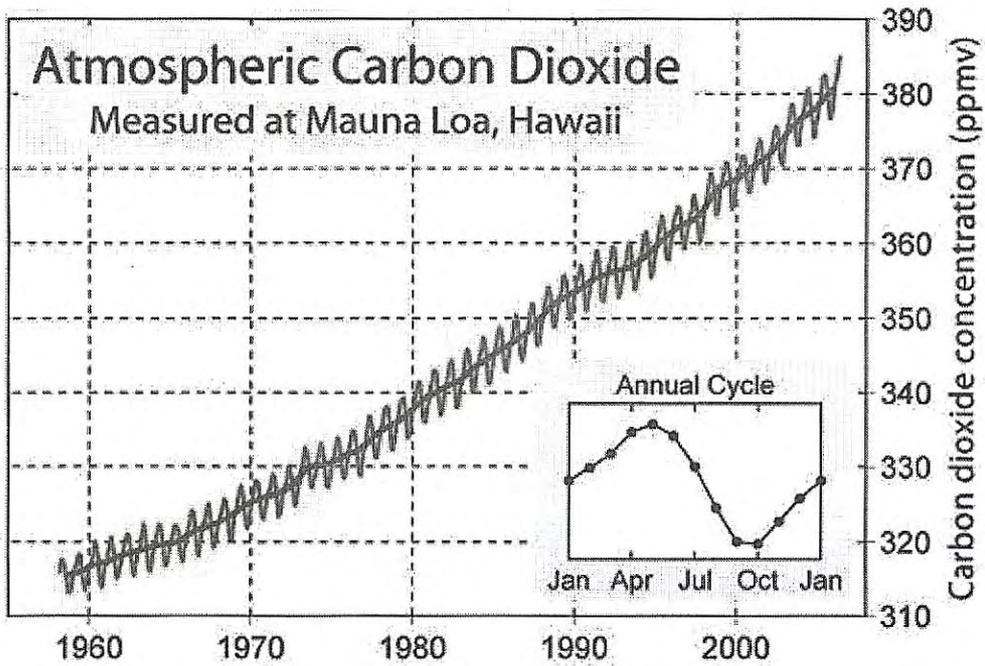


그림 317 대기중 년도별 CO2 농도

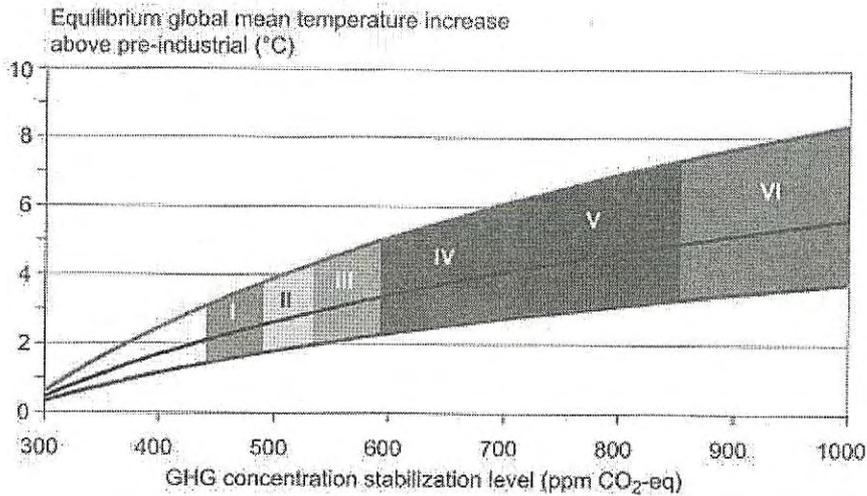


그림 318 대기중 CO2 농도에 따른 지구의 평균온도

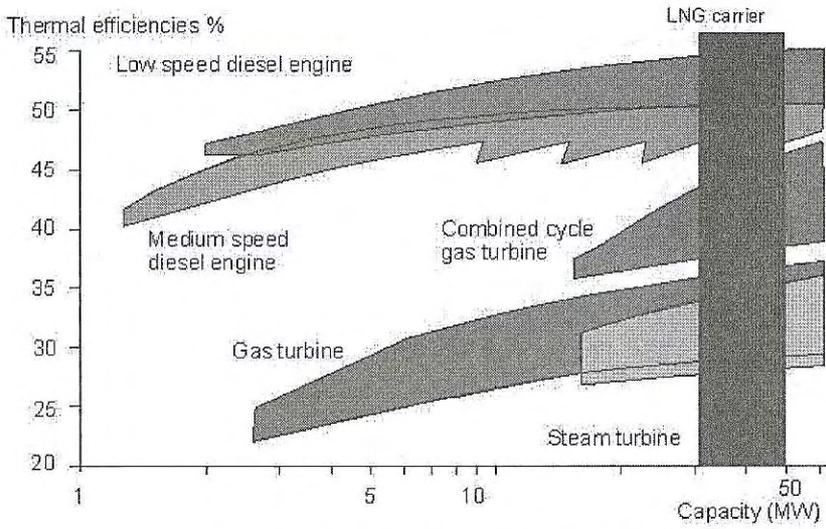


그림 319 선박용 원동기별 열효율

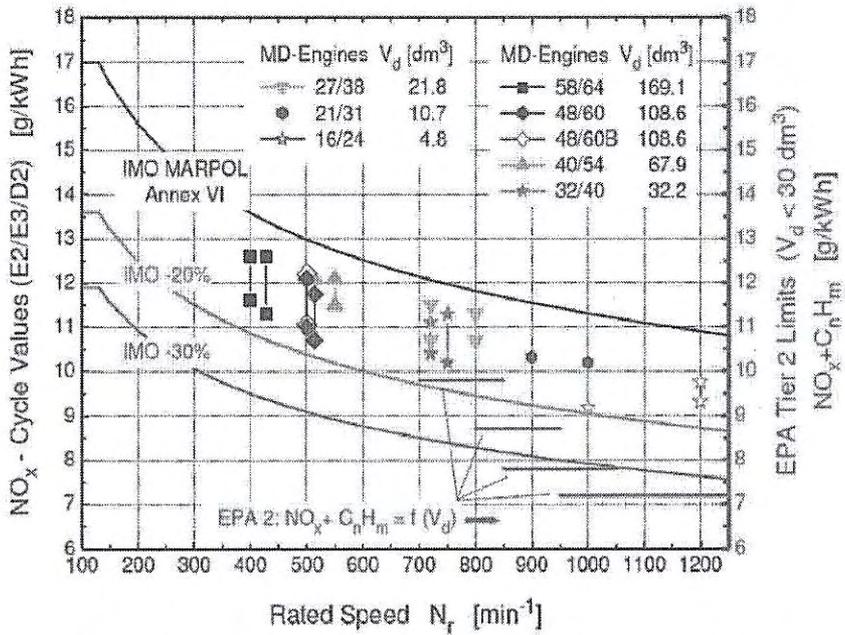


그림 320 MAN diesel 4 stroke engines NOx 배출량 수준

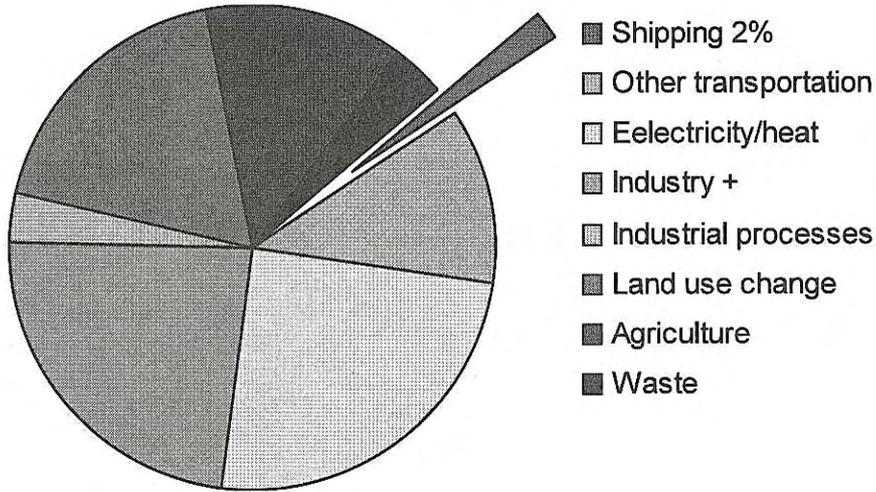


그림 321 2000년도 분야에 따른 CO2 emission 분포도  
(Source : World resource institute)

## 라. SO<sub>x</sub>의 영향 및 규제동향

### 1) SO<sub>x</sub>의 영향

SO<sub>x</sub>는 황(S)과 산소와의 화합물을 총칭하는 것으로 이산화황, 삼산화황, 황산과 황산구리 등이 이에 속한다. 주요한 대기오염물질로써 점막을 자극시키고 산성비 및 식물의 엽록소 파괴를 유발하는 유해 배기가스로 그 피해가 크다. 화석 연료의 연소과정에서 발생하는데 황성분이 적게 함유된 연료인 저유황연료를 사용하는 등의 방법이 있는데 현재 우리나라 중질유의 황 함유량은 최대 4.0% 이하로 규정하여 생산하고 있다. SECA(황배출통제해역)은 1.5%로 제한하고 있으며, 그 외 지역에 적용되는 MARPOL 기준은 4.5% 이다.

### 2) IMO SO<sub>x</sub>의 규제동향

MEPC53차에서 “선상 배기가스 SO<sub>x</sub> 세정장치에 대한 지침서” 채택 및 배기가스 세정장치로부터 배출되는 세정수에 대한 배출범위 개발과 관련하여 위원회의 미래역할에 대한 검토 및 제한에 대하여는 더 많은 기술적인 제안이 필요하다고 판단 MEPC53차에서 우선 채택하고 차후 개정작업시 검토하기로 하고, MEPC54차에서

위원회는 스웨덴이 제출한 “현존하는 탱커에서 불활성가스의 스크러버(Inert gas scrubber)에서의 폐수”에 대한 문서(MEPC 54/4/6)와 MEPC Res.130(53)으로 채택된 “선상 배기가스 SO<sub>x</sub> 세정장치에 대한 지침서(Guidelines for exhaust Gas-SO<sub>x</sub> Cleaning System)와의 관계를 고려하였다. “선상 배기가스 SO<sub>x</sub> 세정장치(EGCS-SO<sub>x</sub>)에 대한 지침서”에는 장비로부터의 폐수는 생태계에 악영향을 주지 않는다는 문서화된 내용이 있는 경우에만 배출 가능함을 상기하였다.

MEPC55차에서 네덜란드가 제출한 “2005년 연료유의 황 모니터링”에 관한 문서에서 거의 90%가 1.5~4.0% 범위에 있고, 0.3%가 4.5%를 초과하였으며, 2003년부터 2005년 까지의 평균은 2.7%로 보고 하였다. 또한 위원회는 2006년 이후 황 모니터링은 IMO사무국에서 실시하는 것을 원칙으로 하였고, 위원회는 황산화물 세정시스템 배출수의 배출기준에 대한 검토중이나 기술적 고려사항이 복잡하고 시간제약 때문에 통신작업반을 구성하여 MEPC56차에 보고하였다.

BLG11차에서는 SO<sub>x</sub> 배출규제를 위해 선박용 엔진에 사용되는 잔사유(중유)를 대체하여 증류유(경유) 사용과 관련하여 회원들간의 다양한 의견이 제시되었고, 유럽 및 미국에서는 증류유의 사용을 강제토록 부속서 6의 개정을 주장하였으나 산업체 연합에서는 선박용 연료유의 증류유 교체로 인하여 초래될 수 있는 추가 CO<sub>2</sub> 배출 및 천문학적인 추가시설 비용을 지적하며 반대하였다. 연료유의 SO<sub>x</sub> 함유량 저감, 잔사유(중유) 및 증류유(경유)의 사용과 관련하여 참가국간의 의견이 다양하여 현재까지 논의된 사항을 포 97와 같이 정리하였다.

표 97 MEPC 56차에 제출한 SOx 규제에 대한 의견

Option	SOx 규제 내용
Option B	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 세계기준은 변화가 없거나 낮은 수준으로 유지</li> <li>· SECA(황배출규제해역) 규정 : 1.0% [2010] , 0.5% [2015]</li> </ul>
Option B1	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해안으로부터 [X] mile 떨어진 해역에 적용</li> <li>· SOx [ 0.4g/kW-hr ] 배출 또는 황 함유량 [ 0.1%]를 초과하지 않은 증류유 사용 (동 조건을 만족하기 위해 저황함유 증류유 또는 배기가스 세정장치를 사용할 수 있음)</li> </ul>
Option B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 세계기준 저감 : 2012년 최대 3.0%, 2016년 최대 1.5% (배기가스세정장치와 같은 대체방법 허용)</li> <li>· SECA 및 항내에서 증류유 사용 : 2011년 최대 1.0%, 2015년 최대 0.5% (배기가스세정장치와 같은 대체방법 허용)</li> </ul>
Option C	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모든 선박에 대하여 증류연료유만 사용함</li> <li>· 세계기준 : 1.0% [2012] , 0.5% [2015]</li> </ul>
Option C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 세계기준 Option C와 동일 (배기가스세정장치와 같은 대체방법을 허용)</li> </ul>

※ [ ] 내 연도 및 제한값은 추후 변경 가능

MEPC56차에서 SOx 세정시스템으로부터 배출되는 세정수 관련 작업반을 개설하기로 하고, 일본에서는 특별해역(SECA)을 분리하여 적용하자는 제안을 하였고 인도, 영국, 이탈리아 등이 통신작업반 결과에 대하여 관심을 표명하였음. MEPC57차에서 SOx 배출 제한관련하여 표 98과 같이 결정하였으며, MEPC58차에서 표 99과 같이 연료내 황 함유량에 대한 제한치가 채택되었음, 또한, 표 100에서는 미국내 선박용 연료유의 황 배출규제치와 인센티브를 나타내고 있음.

표 98 MEPC 57차에서 결정된 SOx 규제에 대한 의견

구분	SOx 규제 적용 년도 및 배출 제한 기준		
	모든 해역 (Global Limit)	현행	2012.1.1 이후
4.5% 이하		3.5% 이하	0.5% 이하 * 2018년 재검토후 실행 불가시 2025년부터 동 기준 적용
황배출규제 해역 (SECA)	현행	2010.3.1. 이후	2015.1.1 이후
	1.5% 이하	1.0% 이하	0.1% 이하

표 99 IMO 및 EU내 선박용 연료유의 황 배출규제

해역	황함유량 (% m/m)(max.)	언제부터	비고
비고	4.50	'05년 5월 19일부터	HFO 사용가능
	3.50	'12년 1월 1일부터	
	0.50	'20년 1월 1일부터 ( '25년 1월 1일부터)	
	1.50	'05년 5월 19일부터	HFO 사용가능
	1.00	'10년 3월 1일부터	
	0.10	'15년 1월 1일부터	
	1.50	'07년 11월 22일부터	HFO 사용가능
	1.00	'10년 3월 1일부터	
	0.10	'15년 1월 1일부터	
1. SECAs - SOx Emission Control Areas(황산화물 방출통제구역) 2. North Sea & English Channel - IMO MEPC(55nd session, 18~22 July '05)adopted			

표 100 미국내 선박용 연료유의 황 배출규제치와 인센티브

해역	디젤기관과 기타	황함유량 (% m/m)(max)	언제부터	비고
California	발전기 & 디젤-전기엔진	0.5(MDO) or 1.5(MGO)	'07.1.1부터 (현재적용중단)	적용중단발표 (May. 7, '08)
California	발전기 & 디젤-전기엔진	0.1(MDO or MGO)	'12.1.1부터	검토 중
California	Main Engine & Auxiliary Boiler	1.5(MDO)or 0.5(MGO)	'09.7.1부터	검토 중
California	Main Engine & Auxiliary Boiler	0.1(MDO or MGO)	'12.1.1부터	검토 중
LA &LB	주기 & 발전기	0.2(MGO)	'08.7.1부터 '09.6.30까지	인센티브
USA	All diesel engines	1.00	'10.3.1부터	검토 중 (SECA or ECA)
비고	1. MGO - ISO 8217 DMX or DMA, MDO-ISO 8217 DMB 2. 적용 선박(U.S. - flagged and foreign-flagged vessels) 3. 공청회 (July 24, 2008, CARB, Sacramento, California)			

마. PM(입자상 물질)의 영향 및 규제 동향

1) PM(Particulate Matter)의 영향과 방지 대책

입자상 물질은 불완전 연소, 부분적으로 타지 않은 운활유, 연료와 운활유의 재, 황산염과 물 등으로부터 생기는 무기화합물과 유기화합물의 복잡한 혼합물이다. 전 입자성 물질의 반 이상이 눈으로 볼 수 있는 연기인 검댕(무기 탄소 입자)이다. 검댕입자(타지 않은 탄소 성분)는 그들 자신은 독성이 없지만 이들은 액상 탄화수소 생성 원인이 될 수 있고 그들 중 일부는 발암성 물질이 될 수 있다고 믿고 있다. 그림 322과 같이 2020년에는 배기가스중 PM이 육상 운송수단보다 해상운송에서 더 많이 발생 될 것으로 예상되며 그 대책으로 On-Shore Power Supply(육전공급)가 IMO에서 논의 되고 있다.

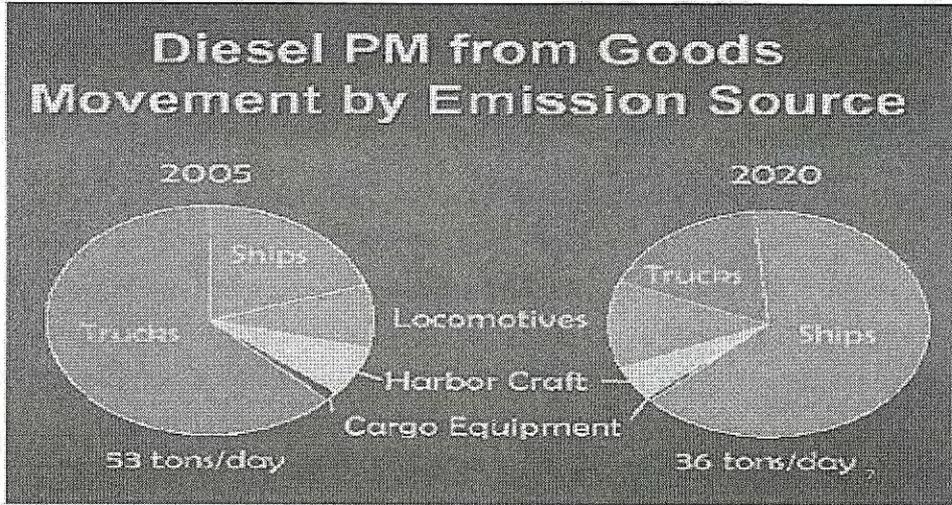


그림 322 교통수단에 따른 PM 발생량의 추이

## 2) IMO의 PM 규제 동향

MEPC53에서 PM(입자상 물질)의 배출 규제검토, 선박용 엔진으로 부터의 PM 배출 기준 검토 연구, 선박으로부터 PM 배출 감소를 위한 권고사항 등을 검토하였으며, MEPC54에서 독일과 스웨덴에서 제출한 육상전원공급관련 표준화 작업을 요청한데 대해 위원회는 그 정당성을 고려하였다. 이는 관련 산업계에 상당한 이점이 있으나 결정을 하기 전 추가 연구가 필요하다는데 동의하고 사무국에서 관련 국제기구 및 정부간 기구등과 협의하여 차후 위원회에 보고할 것을 지시하였다.

BLG10차에서 PM에 대해 많은 관심을 보이고, 미세먼지의 형성은 사용되는 연료유의 질과 관련되며 더욱 깨끗한 연료유의 사용과 배기가스 세정은 미세입자를 줄일 수 있음에 동감하고, 선박에서 발생하는 미세먼지와 관련된 조사 및 모델링 연구물 등을 중간작업반 회의에 제출하는 것에 동의하였으며, MEPC55차에서 육전 공급시설의 표준화와 관련하여 스웨덴은 MARPOL ANNEX VI에 강제규정으로 삽입하자는 제안을 하였다.

BLG11차에서 연료유의 SOx 및 PM관련 논의사항으로 OPTION B

에 PM 규정을 포함하였으며, MEPC56차 에서는 MEPC55차에서 논의된 육전 공급시설 표준화관련 MARPOL ANNEX VI에 강제규정을 삽입하자는 스웨덴 제안등과 관련하여 다수 회원국들이 시기상조라고 반대하여 논의되지 않았다. IAPH(국제항만협회)와 ICS(국제해운회의소)의 요구에 의해서 ISO가 작업반을 만들어 관련단체들과 회의를 2006년 가을에 개최하였으며, ISO/TC08에 위원회를 두어 육전공급의 표준화에 대해 계속하여 진행예정이나, 아직까지 선박으로부터 PM 규제는 시행되고 있지 않은 상태이다.

## 바. 휘발성 유기화합물(VOCs)의 영향 및 규제

### 1) 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds)

휘발성 유기화합물은 대기 중에서 악취나 오존을 발생시키는 탄화수소화합물을 일컫는 말로, 피부접촉이나 호흡기 흡입을 통해 신경계에 장애를 일으키는 발암물질이다. 이들 휘발성 유기화합물은 대개의 경우 저농도 에서도 악취를 유발하며, 화합물 자체로서도 환경 및 인체에 직접적으로 유해하거나 대기중에서 광화학반응에 참여하여 광화학 산화물 등 2차 오염물질을 생성하기도 한다.

### 2) 휘발성 유기화합물 규제 동향

MEPC53차에서 화물로부터 배출되는 휘발성 유기화합물의 규제 가능성, 정당화 및 필요성에 대한 검토를 실시하여, MEPC54차에서 항만 및 터미널에서의 VOCs에 대한 관련 규칙의 IMO통지를 요청하였다.

BLG10차에서는 VOC 관리계획서의 도입을 통한 VOC의 배출 저감에 대하여 검토하였으며, 추가적인 검토가 필요함에 동의하였다. BLG11차 위원회는 노르웨이가 제안한(BLG11/5/11) VOC관리 계획서를 탱커선에 비치/관리토록 개정한 MARPOL 73/78 부속서6 규칙 15개정안에 동의하였으며, VOC 관리 계획서 지침서 초안을 검토하였음.

## 사. 그 밖에 유해배기가스 및 Emission Trading

### 1) 그 밖에 유해배기가스

상기 유해배기가스 이외에도 선박에서 사용되는 오존층 파괴물질이 포함된 설비의 새로운 설치 및 오존층 파괴 물질의 배출을 금지하고 있다. 다만, 염화불화탄화수소(HCFCs)의 경우에는 2020년 1월 1일 까지만 설치가 허용되고, 오존층 파괴물질이 포함된 설비들에서 누설되지 않도록 하고 Log-book에 기재하자는 제안 등 다양하게 논의가 되고 있다.

### 2) Emission Trading(유해배출물 거래제도)

육상에서는 미국 및 EU에서 이미 실시하고 있는 유해배출물의 거래제는 유해배출물을 사고 팔기 위한 상호간 경제적인 도구이며 영국이 문서(MEPC 55/INF.7)를 제출하였고 현재까지 논의 중에 있다.

IMO MEPC에서는 MARPOL 부속서 6 및 NOx Technical Code 개정과 관련하여 MEPC53차~57차 동안 3년간의 논의를 거쳐 MEPC57차에서 결정된 사항들을 2008년 10월에 개최한 MEPC 58차 회의에서 채택하였다. 이에 따라 국내 엔진 제조업체, 선사 및 조선소에서도 이에 대한 대책마련 및 강구에 노력해야 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다. IMO A 이사국으로서 위상을 높이고, 아국의 산업을 보호하기 위해서는 국토해양부 중심으로 각 의제별로 전문가 그룹을 구성하여 체계적인 대응 능력을 키워야 할 것으로 사료된다. 향후 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 규제는 더욱 강화될 것으로 예상된다. 정부는 산업을 보호 육성하기 위해서 친환경에너지 개발에 적극 투자하고 국내 엔진 제조사들은 Tier II 및 Tier III NOx 기준을 만족하도록 최선을 다해야 할 것이며, 정유사 및 항만 관련분야들은 각각 새로운 SOx규정 및 육전 공급관련 표준화 작업에 대한 검토를 서둘러야 할 것이다. 또한 Emission Trading에 대한 정부 및 산,학,연의 공동 연구가 필요하다.

## 2. 혼합유의 사용에 따른 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Smoke 발생량과 국제기준 부합여부 분석

### 가. 혼합유의 사용에 따른 NO<sub>x</sub> 발생량과 국제기준 부합여부 분석

현재의 NO<sub>x</sub> 규제값은 Tier I(~ 2010. 12. 31) 단계이며, 경유 대비 혼합유 사용시 NO<sub>x</sub> 발생량이 ppm 상으로 더 적게 발생함으로 당장에는 국제기준에 부합하리라 예상되나, 표 101에서 보여준 바와 같이 Tier II(2011. 01. 10 ~ 2015. 12. 31)에는 현행대비 20% 저감, 그리고 Tier III(2016. 01. 01 이후)에서는 현행대비 80% 저감으로 갈수록 규제가 엄격해지므로 그에 따른 대책이 필요하다고 사료된다.

표 101 NO<sub>x</sub> 배출규제 Tier I ~ Tier III

RPM	Tier I (현행)	Tier II (‘11.1.1이후)	Tier III (‘16.1.1이후)
n이 130이하	17.0g/kWh	14.36g/kWh	3.4g/kWh
n이 130이상 2000미만	45.0 × n(-0.23) g/kWh	44.0 × n(-0.23) g/kWh	9 × n(-0.2) g/kWh
n이 2000이상	9.8g/kWh	7.66g/kWh	2.0g/kWh

※ Tier II : 현행 대비 약 20% 저감, Tier III : 현행 대비 약 80% 저감

### 나. 혼합유의 사용에 따른 SO<sub>x</sub> 발생량과 국제기준 부합여부 분석

현재의 일반 해역의 황 규제치는 2011년 12월 31일까지 4.5%이며, cSt 380의 황 함유량의 평균치가 약 2.7%이므로 cSt 380보다 양질인 혼합유의 황 관련 국제 규제치는 명확하게 부합함을 알 수 있다. 또한, 2012년 01월 01일부터 2019년 12월 31일까지 황 규제치가 3.5% 이므로 문제가 없을 듯하나, 2020년 01월 01일 이후에는 0.5%로 규제할 예정이므로 그에 따른 대책이 필요하다.

표 102 MEPC 57차에서 결정된 SOx 규제에 대한 의견

구분	SOx 규제 적용 년도 및 배출 제한 기준		
	현행	2012.1.1 이후	2020.1.1 이후
모든 해역 (Global Limit)	4.5% 이하	3.5% 이하	0.5% 이하 * 2018년 재검토후 실행 불가시 2025년부터 동 기준 적용
	현행	2010.3.1. 이후	2015.1.1 이후
황배출규제 해역 (SECA)	1.5% 이하	1.0% 이하	0.1% 이하

다. 혼합유의 사용에 따른 Smoke 발생량과 국제기준 부합여부 분석

PM(Particulate matter, 입자상물질) 규제는 아직까지 국제적으로 규제를 하고 있지 않지만, 경유대비 FM100 이상(MF150, MF180 등)의 혼합유 사용시 예는 50% 부하이하 구간에서 Soot 발생량이 상대적으로 너무 많아지기 때문에 엔진보호상 사용이 어렵다고 사료된다.

### 3. 대응방안 검토

날로 엄격해지는 Emission(NOx, SOx, PM 등) 규제를 만족하기 위해서는 양질의 연료를 사용하는 것도 대응책이 될 수 있지만 Emission 저감장치를 개발하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. NOx 저감 기술로는 EGR(Exhaust Gas Recirculation), Emulsion system 그리고 그림 323 및 324에서 나타내고 있는바와 같이 SCR(Selective Catalytic Reduction) 및 Water injection 장치 등이 있다. PM 저감장치는 EGCS(Exhaust Gas Cleaning System) 등이 개발되고 있으며, SOx 저감장치는 그림 325 및 326에서 나타내고 있는바와 같이 'Bubble-bath' Scrubber 및 SOx Scrubber 장치 등이 개발되고 있다. 특히, 황 저감을 위해서는 황 함유량이 적은 연료를 사용해야 하기 때문에 정제 설비의 증설이 필요한 입장이다.

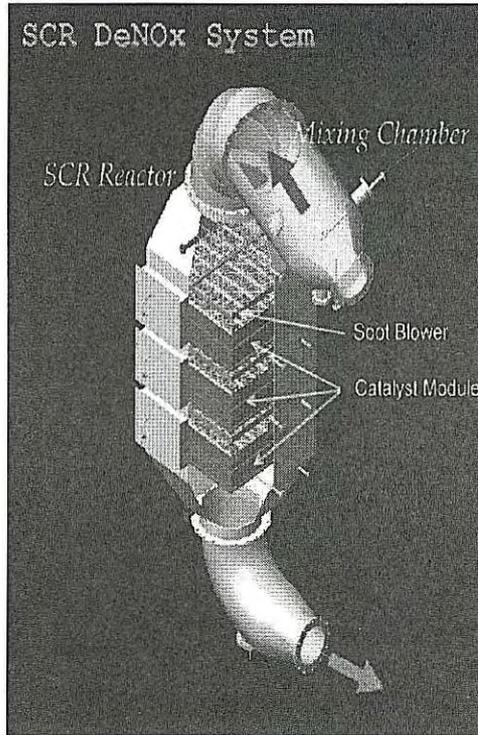


그림 323 NOx 를 줄이기 위한 선택적환원촉매 장치

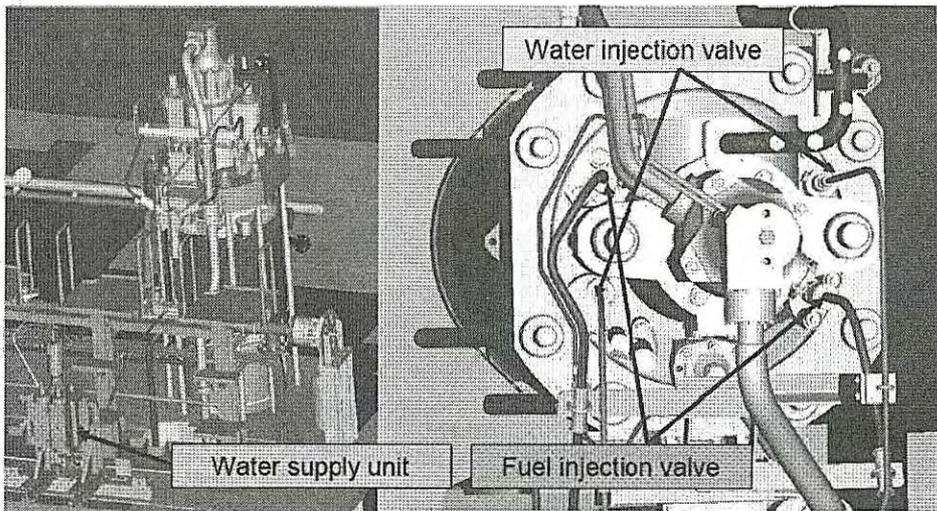


그림 324 직접 물분사시스템



그림 325 SO<sub>x</sub> 을 줄이기 위한  
'Bubble-bath' Scrubber

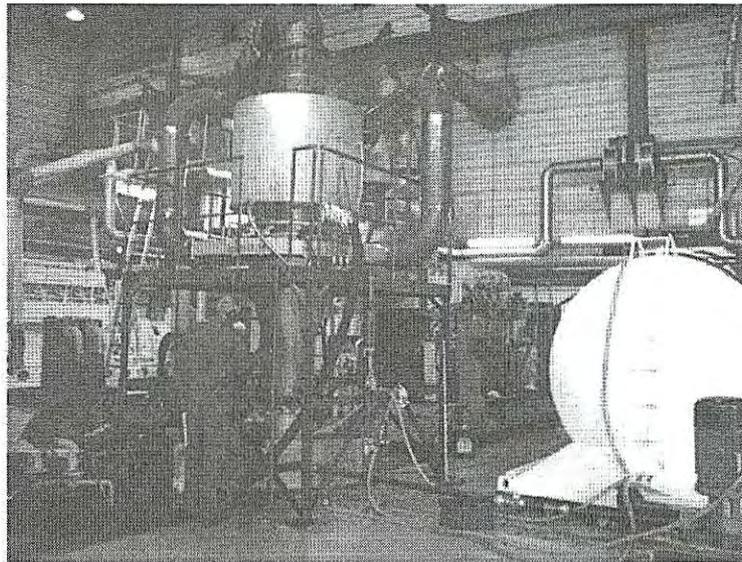


그림 326 SO<sub>x</sub> Scrubber

여 백

## 제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

여 백

## 제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1. 연구개발 목표달성도

- 혼합유 사용한계치 검증부분에 대하여 MF180까지의 혼합유를 실선에서 시험하고 혼합유의 안정도와 경제성 및 부식문제 등을 고려할 때 어선에 있어서는 MF100까지는 사용가능한 것으로 한계치를 정하고 그 근거를 실험적으로 결정하였다.
- 상기 시험에 있어서는 3척의 실선(무궁화 24호, 제702오룡호, 투리스 79호)를 대상으로 시험연료(MDO, MF15, Bunker A, MF30, MF60, MF100, MF150, MF180) 8종류로 연소시험을 실시하여 연소시 엔진의 상태 및 배기가스의 상태를 계측하였고, 또한 투리스 79호에서 약 4개월간의 장기운항시험을 통하여 MF60급 혼합유를 사용시 실제 엔진에서 일어나는 부식 및 마모의 정도를 확인하였으며, 4종의 강제(기계구조용 강(SMC 강), SS400강, SS400강을 용접한 강 그리고 공구강)를 약 9개월 동안 6종(MGO, MF15, MF60, MF100, MF150, MF180)의 시험유에 침적시켜 발생하는 부식의 특성에 대하여 검토하였는데 당초 목표였던 MF100급의 혼합유를 사용하는 것이 가능할 것으로 추론되나, MF100급의 혼합유를 사용하기 위해서는 앞에서 언급된 표준시스템을 설치하여 운전메뉴얼에 따라 정확하게 운전하는 것이 연료분사노즐 및 연소실 부품의 고장을 최소화할 수 있을 것으로 분석하였다.
- 어선에 사용되는 엔진에 대하여 규모별로 전처리 장치를 표준화 하는 것을 검토 하였으나, 본 연구에 투입된 3척의 시험선에서 시험한 결과 엔진의 출력대별로 특별한 전처리장치를 표준화하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 사료되어 전체 선박에서 혼합연료를 사용하기 위해서 필요한 시스템의 표준화에 대하여 연구하였다. 단, 아직도 시험해 보지 못한 연료분사밸브를 연료유가 냉각시키고 되돌아가는 형식의 초고속 엔진에 대하여는 동 엔진의 안전을 고려하여 검증

- 될 때까지는 혼합유 사용이 불가한 것으로 잠정 추론하였다.
- 혼합유 사용에 있어서 큰 문제점으로 분석되었던 경유와 중유의 혼합비의 변화와 혼합 이후의 혼합구성분자의 불안정 및 층분리현상 등으로 연구자체의 의미가 불분명하게 되는 부정적 시각이 있었으나 선내의 간이 혼합장치 개발과 함께 문제점이 해소되고 사용한계치 또한 목표했던 MF100까지를 무난히 사용할 수 있을 것으로 분석되었으며, 앞으로 동 부분의 연구와 실험결과를 통하여 사용한계치를 보다 경제적으로 갱신할 수 있을 것으로 긍정 평가되었다.
  - 현재 국제해사기구 IMO에서 진행되고 있는 선박으로부터 배출되는 배기가스 규제 동향에 대하여 IMO의 해양환경보호위원회인 MEPC 56차, 57차 및 58차 회의에 참여하여 국제동향을 파악하여 본 보고서에 포함하였고, 배기가스의 저감을 위하여 각국에서 개발하고 있는 저감기술들과 기술자료를 수집·분석하여 향후 배기가스 규제에 대한 대응방안 마련을 위한 기술자료를 수록하였다.

## 2. 관련분야의 기여도

유가 상승이 있기전 선박에서 기관을 담당하고 있는 관계자들은 선박용 연료로 경유, Bunker A, Bunker C 제품을 혼합하여 사용하는 것을 금기시하여 왔으며, 선박용 연료정제장치 또한 장기간 사용해왔던 Purifier 이외의 장치 사용을 꺼려하였던 것이 사실이었다. 그러나 본 연구기간동안 어선기관관련 종사자들과 여러 번의 회의 및 세미나 등을 통하여 경유에 비하여 비교적 값이 싼 혼합유의 사용가능성에 대한 인식과 우리나라에서 개발된 연료전처리 장치의 효용성 등에 대한 관련업계의 고정관념적인 사고를 변화시킬 수 있는 계기를 마련하였다. 이러한 결과로 본 연구에서 사용된 M.C.H 장치 외에도 다른 형식의 선박용 연료전처리 장치들이 많이 개발되고 있으며, 유가 상승에 따른 새로운 산업분야로 확장받고 있다.

본장 제4절 경제성 분석에서와 같이 기존의 경유를 사용하던 선박이 동 연구에서 확인된 MF 60급 또는 MF100급의 혼합유를 사용하게 되면 연간 적당 약 5억원의 연료비 절감효과가 있을 것으로 사료된다. 이는 11월 현재 유가가 배럴당 50달러 선 이하로 내려가 있는 상태이기 때문에 연료비

저감효과가 많이 반감된 면이 있다. 그러나 다시 올 7~8월과 같은 유가의 고공행진이 이어질 경우 연료비 절감효과는 더더욱 커질 것으로 예상된다.

최근의 국제유가의 급상승으로 각 분야에서는 신재생에너지 또는 대체에너지의 개발에 많은 노력을 쏟고 있다. 특히 태양광 및 풍력을 이용한 집전장치개발 분야에 국가연구사업과 기업들이 많이 투자를 하고 있지만, 이러한 대체에너지가 선박용으로 개발되기까지는 많은 시간과 비용이 소요될 것으로 예상되는바, 대체에너지의 실용화를 위한 과도기적인 단계에서 기존 어선에 동력장치의 교환없이 저가의 연료를 사용할 수 있도록 한다는 측면에서 본 연구가 수산업계에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

여 백

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

여 백

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 1. 추가 연구의 필요성

혼합유 사용에 있어서 가장 문제가 되는 연소실 내부의 마모 및 배기밸브의 점식을 개선하기 위한 재료적인 연구와 연료유 내부에 포함되어 있는 바나듐, Al, Si 등과 같은 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 여과장치에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 유한한 화석연료는 언젠가는 고갈될 수 밖에 없고 이러한 이유로 올해와 같은 유가의 급상승현상은 가까운 미래에 다시 나타날 수 있을 것이다. 선진국등에서는 이미 여객선등에 태양에너지를 이용하여 7note 정도의 속력을 낼 수있는 선박들을 개발하여 실용화 하고 있다. 동 연구는 대체에너지로 바뀌어 가는 과도기적인 상황에서 에너지의 효율적인 이용을 위하여 활용될 것이며 화석연료가 대체에너지로 바뀔 수 있도록 선박용 에너지에 대한 추가적인 연구로 필요할 것으로 사료된다.

### 2. 연구결과의 활용

현재 수산업 경기 침체 등으로 재정적으로 여유가 없어 혼합유 사용 시스템을 설치하고자 하여도 여력이 없는 영세 어민, 선주 및 선사들을 위하여 국가에서 동연구에서 검증된 전처리 시스템을 설치하는데 도움을 줄 수 있도록 연구의 결과를 정부에 건의하여 수산업계에 도움이 될 수 있도록 추진할 계획이다.

본 연구에서 사용된 전처리 시스템은 어선에서 뿐만 아니라 일반선에서도 이용이 가능하며, 또한 부하의 변동이 적은 장기운항 선박의 경우는 더욱더 활용가치가 있을 것으로 사료된다. 또한, 국내외 육상에 서설치된 자가발전 시설이나 기타 디젤기관을 이용하는 곳에 연료비 절감을 위한 전처리 장치가 설치의 기술자료로 활용될 수 있도록 노력할 것이다.

여 백

## 제 6 장      참고문헌

여 백

## 제 6 장      참고문헌

- [1] 해양수산부, 어선연료비 절감 모델시스템 연구개발 연구보고서, 2005년 2월
- [2] 남정길, 선박의 대기오염 방지를 위한 IMO의 최근 규제 및 연구 동향. 2007년
- [3] 전효중, 최재성, 내연기관장의
- [4] 오인호, 노기덕 외, 선박보조기계
- [5] 유여료의 이론과 실제
- [6] 이종열, 유류공학
- [7] 선박안전기술공단, 디젤기관의 질소산화물(NOx) 교재, 2006년
- [8] 한국선급, MARPOL 73/78
- [9] 한국해양수산연수원, 선박 연료유 유종변경과 슬러지 발생 최소화 및 재사용과 배기가스 규제에 관한 기술세미나
- [10] NIIGATA, Instruction Manual (6M26AFTE)
- [11] MAN B&W, Instruction Manual(L23/30)
- [12] 백철호, 2007년 IMO 용역 보고서
- [13] 두현욱, 선박으로부터의 배출되는 대기오염물질 배출규제 강화를 위한 IMO 최근동향. 2007
- [14] 두산백과사전 EnCyber & EnCyber.com
- [15] 국토해양부, 제57차 해양환경보호위원회 회의결과 보고
- [16] 케미칼탱커의 설계 및 검사 선박안전기술공단;
- [17] KS M ISO 8216-1 : 2001
- [18] KS M ISO 8217-2001
- [19] Jiskoot Auto control, Technical paper TB 099-0104-1, TB006-0512-2, TB010-0607-2