

船底廢油 · 슬러지의 보일러내 燒却을 위한 燃料 前處理裝置의 開發에 관한 研究

— 슬러지 분쇄 유화장치를 중심으로 —

배 증 옥*

A Study on the Development of Pretreatment System to Incinerate Waste Oil with Sludge in Boilers

Jong-uk Bae

Abstract

Various waste oil such as that from the oily water separator, the fuel and lubricating oil purifier and leakages from machinery is gathered into the waste oil reserve tank of recent ships while she is in operation. The ship's engineers burn them out with the waste oil incinerators to empty the reserve tank at sea. But usually it takes many hours to incinerate some hundreds or more liters of the waste oil a day due to the fact that the incinerators have available capacities of only twenty or more liters an hour. In addition, the incomplete mixture of oil, sediment and water in the waste oil results in the possibility of choking of the pipe line system and the atomizers as well as destabilizing or extinguishing the flames. Accordingly, many engineers on board ships do not like to operate the waste oil incinerators. Therefore, the actual validity of these incinerators for anti-pollution of the sea should be examined on the basis of whether the equipments are used in practice or not. If they are, are they being operated appropriately?

The author develops a reformming system of the waste oil with the sludge to incinerate waste oil in the furnaces of auxiliary boilers. He also examines the performance characteristics, and verifies that the system has the ability of incinerating the waste oil with the sludge in the furnaces satisfactorily without emmissing remarkable soot from exhaust gas. Thus he concludes that it could afford to save the fuel oil for the boiler as well as dramatically increase the incinerating capacity.

1. 서 론

선박에서는 기관실 빌지의 유수분리기로부터 분리되는 폐유와 유청정기로부터의 슬러지가 통상 발생되고 있으며 이들의 혼합물을 기관실 폐유라고 부른다. 이를 소각하기 위하여 원양선에서는 독립된 폐유소각기를 의장하고 있는 경우가 많다. 그러나 독립된 소각기를 사용하는 경우에 그 소요

* 해사대학 선박운항학과

공간의 문제상 처리 용량의 제한을 받아 매일 장시간 소각기의 운전시간이 소요되며, 유분과 고형물 및 수분의 혼합 상태가 불량하여 폐유 관계통과 분사장치의 폐색 및 화염의 불안정 등의 장애가 자주 발생한다. 또한 배기온도의 제한 때문에 자주 안전장치가 작동하여 운전이 정지되기 때문에 현장 기관사들이 사용을 기피하고 있는 실정이다. 그러므로 기름에 의한 해양 오염방지에 있어서 폐유소각기의 유효성에 대한 재검토가 필요하며 각 선박의 현장에서 폐유 소각기들이 실제로, 또 적절히 운전되고 있는가 하는 점에 초점을 두어 조사할 것이 요구된다. 뿐만 아니라 별도의 소각기는 상당한 크기의 배기관 설치공간과 설치비용을 필요로 한다.

선저폐유와 같은 조악유(粗惡油)라도 그 유분, 연질슬러지 및 수분을 혼합 균질화시켜서 보일러의 연소실에서 연소시킨다면 보일러의 연료와 거의 동일한 용량의 폐유를 처리할 수 있고, 충분히 균질 혼합시킬 경우, 약간의 보조 연료유를 혼합하여 사용한다면 관계통의 폐색 문제도 해결하면서 양호한 연소를 기대할 수 있을 것이다. 또한 동시에 폐유의 보유 열량에 상당한 에너지의 절감을 기대할 수 있을 것이며, 별도의 폐유소각기 및 그 배기관의 설치도 필요없게 된다.

그러므로 해양오염방지협약²⁾에 의하면 폐유를 소각하기 위한 선상의 장치로서 기름슬러지소각장치(Oil Sludge Incinerators) 외에 기름슬러지처리장치(Oil Sludge Processing Tank)를 승인하고 있다. 후자는 혼합탱크, 기름슬러지에열장치, 여과기 및 유화장치(Homogenization System)으로 구성된다. 지금까지 개발되어 사용되고 있는 외국의 조악연료유 처리장치들로서 상기의 유화장치에 응용될 것으로 생각되는 장치들로는 빅커식 호모지나이저²⁾, 초음파 연료유 개질장치³⁾ 및 노즐믹서와 정밀필터를 조합한것⁴⁾ 등이 있다. 이것들은 본래 저질의 중유를 중대형 디젤기관에 사용하기 위한 연료유 전처리 장치로 개발된 것으로서 기관실의 폐유를 보일러등에 사용하기 위하여 사용한 시험 실적은 지금까지 보고되어 있지 않다. 그러나 이들 장치의 특징을 간단히 설명하면 다음과 같다. 빅커식 호모지나이저는 원통형 타이어의 내면에서 고속 굴림 회전하는 디스크스톡에 의하여 조악 연료유가 강력한 기계적 전단력을 받게되므로 슬러지의 분쇄에 탁월한 능력을 발휘하며 수분의 유화에도 효과적으로 이용할수 있다. 그러나 미세한 필터에 의한 역세기능이 없기 때문에 별도의 필터를 사용하여야 하며 이 필터의 정기적인 역세과정 중의 폐유의 방출은 불가피하게 된다. 초음파 연료유 개질장치는 미세한 금속필터에 폐색한 연질의 슬러지 만을 선별적으로 분쇄시켜서 필터망을 통과하게 하므로 저질중유의 여과 및 슬러지 분쇄장치로서는 효과적으로 기능을 발휘할 수 있다. 그러나 슬러지와 수분이 다량 혼입된 조악유가 공급될 때에는 처리능력이 심히 저하하여 폐색하여 버리는 폐단이 있다. 노즐믹서와 정밀필터를 조합한 것은 노즐믹서에 의하여 일차적으로 연질의 슬러지를 분쇄시켜 균질화한 후 이차적으로는 고속회전하는 다공원통형의 미세필터에 의하여 여과를 행하므로 장시간 필터가 폐색됨이 없이 처리할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 노즐믹서는 기름의 압력 에너지를 운동에너지로 변환시켜서 유체적인 전단력을 일으켜서 슬러지를 분쇄하고 있으므로 강한 분쇄효과를 기대하기에는 한계가 있다. 또한 정밀필터는 필터를 통과하지 못한 슬러지 퇴적물을 정기적으로 배출 시킬 것을 필요로 한다. 따라서 폐유를 처리하는 전처리장치의 차원에서 보면 적합하지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 유분, 연질슬러지 및 수분을 혼합 분쇄 균질화시키면서 동시에 미세한 금속필터에

의한 연속적인 역세여과와 경질고형물의 분리도 할 수 있는 연료유 전처리 장치(슬러지분쇄유화장치)를 고안 제작하고, 선박에 기 설치된 보조보일러를 이용한 소각 시스템을 개발하여 그 성능을 시험하였다. 먼저 본 장치의 처리능력에 관한 특성시험을 행한 후, 선박용 보조보일러를 모델로 한 소각시험을 행하였다.

2. 슬러지분쇄유화장치의 기본원리

이 장치는 연질슬러지, 수분 및 경질고형물 입자를 다량 함유하고 있는 폐유를 강한 전단력에 의한 혼합작용, 미세금속망 섬유와의 기계적 마찰에 의한 분쇄작용 및 유막압력을 이용한 역세여과작용을 이용하여 폐유의 성상을 개질시켜 이것을 효과적으로 연소하게 하는 것을 목적으로 하고 있다.

Fig. 1은 이 장치의 원리를 나타낸다. 기름은 a부로 유입되어 단면 A-A도 상의 b부의 틈새(2mm)를 통과할 때 케이싱과 로터의 상대속도에 의하여 유체적인 전단력을 받으며 일단계의 혼합을 하게 된다. c부 리브부와 케이싱의 틈새는 매우 작으므로(0.1mm) 폐유는 리브가 가공되지 않은 d부의 함몰부로 흘러 들어간다. 단면 B-B도 상의 d부에 유입된 기름은 고속(1750rpm)으로 회전하는 로터 ②의 타원부와 미세금속필터 ③의 사이로 끼어 들게 된다. 이 때 축소되는 쉘기형 틈새 e부(최대 틈새 1mm, 최소 틈새 0.1mm)에 있는 기름에는 정(正)의 유막압력이 발생되고 반대로 확대되는 쉘기형 틈새 f부에 있는 기름에는 부(負)의 유막압력이 발생하게 된다. g부의 틈새는 0.1mm이며 로터 축이 요철 가공되어 있기 때문에 와류손실에 의하여 정유막 압력측으로부터 부유막 압력측으로의 누설이 억제된다. 그 동안 e부는 기름을 금속 필터측에 전단 유동을 하면서 강한 압력으로 압입하는 영역이 되고, g부는 폐색된 슬러지를 강한 와류에 의하여 금속망의 섬유에 닦아서 분쇄하는 영역이 되며, f부는 분쇄되지 않는 경질입자를 흡인하여 금속망을 역세하는 영역이 된다. 이러한 동일한 사이클은 매회전에 2회씩 반복하게 되어 그결과 연속적인 유화 · 균질화 및 여과를 가능케한다. 경질 고형물 입자를 다량 포함한 역세 폐유는 q부로 빠져 나와서 다판식의 침전기를 거치는 동안 그 입자중 일부를 침전시키고 슬러지분쇄유화장치의 입구로 재순환하므로써 계속적인 청정 상태를 유지할 수 있다.

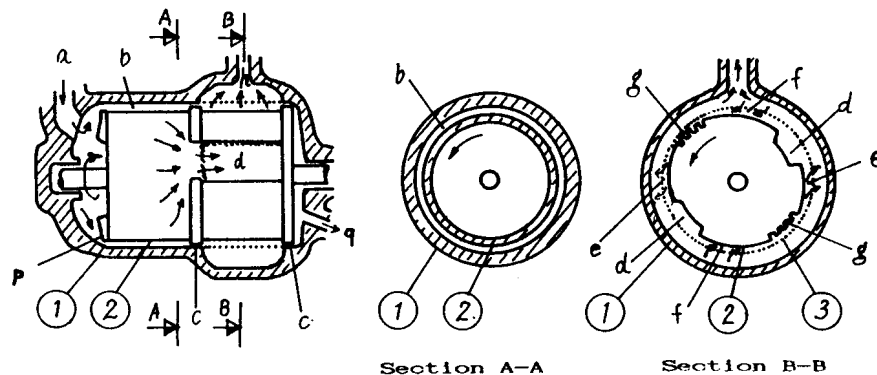


Fig. 1 Schematic drawing of Sludge Crush Emulsifier.

3. 슬러지분쇄유화장치의 특성

1) 특성 시험장치 및 시험방법

Fig. 2에는 본 장치의 특성시험장치의 개략도를 나타내고 있다. 기름탱크 ①은 내부에 가열기를 장착하고 있으므로 기름의 온도에 의하여 시험유의 점도를 적의 조정할 수 있도록 하였다. 기어펌프 ③과 바이패스밸브 ④에 의하여 슬러지 분쇄 유화장치의 입구압력을 조정한다. 슬러지 분쇄 유화장치의 입구 및 출구측에는 압력계를 설치하였고 통유량조절 밸브 ⑩에 의하여 출구압력을 적의 조정한다. 통유량의 측정은 계량용 비커 ⑪에 의하여 스톱워치로써 잰다.

시험에 사용하는 기름은 50°C 180cSt의 중유로서 60°C로 가열하여 100cSt, 70°C로 가열하여 55cSt의 점도의 상태로 각각 시험하였다. 또 입구압력은 0, 0.5, 1.0 및 1.5kg/cm²G로 각각 조정하여 시험하였다. 장치의 출구압력에서 입구압력을 뺀 값을 상승압력으로 정의하여 -0.1~+0.28kg/cm²의 범위에서 적의 조정하였고 각 상승압력으로 운전할 때의 통유량을 측정하였다.

2) 통유량 특성

슬러지분쇄유화장치는 회전날개의 고속회전에 의하여 약간의 원심펌프압력 (0.28kg/cm²정도)을 발생하며 처리통유량이 0일 때에는 출구압력이 입구압력보다 그 압력 만큼 상승하는 상승압력이 발생한다. 그러나 통유량을 점차 증가시키에 따라서 원심펌프의 특성과 역세능력 저하의 효과로 인하여 상승압력은 감소하게 된다.

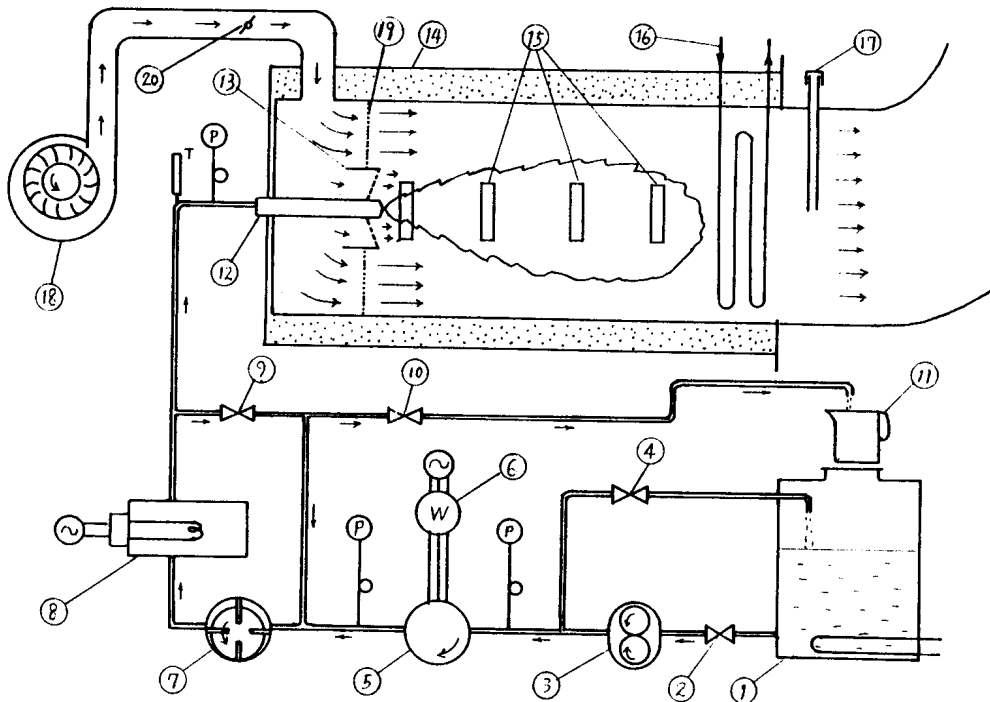


Fig. 2 Schematic diagram of Experimental apparatus.

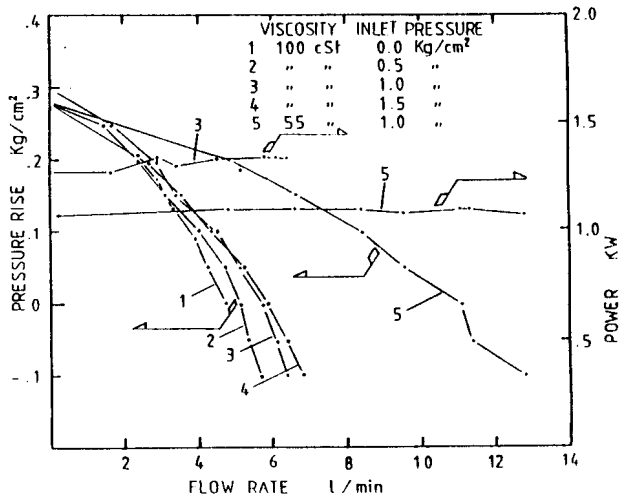


Fig. 3 Performance curves of Sludge Crush Emulsifier.

Fig. 3은 통유량의 변화에 따라 상승압력과 소요동력을 측정된 결과를 나타낸다. 통유량을 일정히 유지하면서 입구압력을 증가시키면 상승압력은 증가한다. 이것은 입구압력의 증가에 따라 미세필터의 배압도 증가하며 따라서 로터의 진공부 쪽으로의 역세하는 압력차가 증가함으로 인한 역세능력 강화에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 이러한 경향은 입구압력이 1kg/cm² 이상으로 되면 상당히 둔화되고 있다. 점도 55 cSt중유의 시험결과는 점도 100cSt의 것에 비교하여 상승압력이 현저하게 증가하였다. 이것은 미세금속망필터를 통과하는 유체의 점성저항의 차이에 기인한다고 생각된다. 소요동력은 동일

점도의 시험결과에 있어서는 통유량의 변화에 대하여 거의 일정하게 나타난다. 이는 펌핑에 사용되는 동력은 소요동력에 비교하여 무시할 만큼 작으며 따라서 소요동력의 대부분은 혼합과 분쇄 및 역세작용에 필요한 에너지로 사용되고 있다는 것을 알 수 있다.

3) 현미경 사진분석

Fig. 4는 Table 1에서 그 각 성분의 성상을 나타낸 원유탱크 선저슬러지 30%, 폐윤활유 30%, 청수 10% 및 C중유 30%의 비율로 혼합된 시료유를, 슬러지 분쇄 유화장치에 의하여 입구압력 1kg/cm²G, 압력상승 0kg/cm²로 되는 운전조건 하에 처리하였을 때, 처리된 기름의 400배 현미경사진을 나타낸다. 검은색의 반점은 고형물의 입자 또는 연질슬러지를, 원형의 입자는 유화된 물방울의 입자를 나타낸다. Fig. 5는 현미경사진에 관찰된 355개의 물방울의 입자를 데이터로 취하여 그 입경분포를

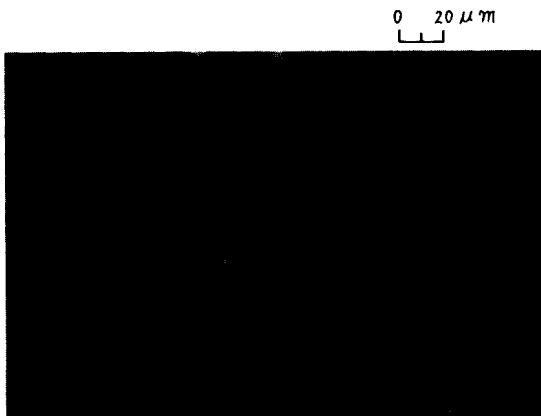


Fig. 4 Microphotograph of reformed oil by means of Sludge Crush Emulsifier.

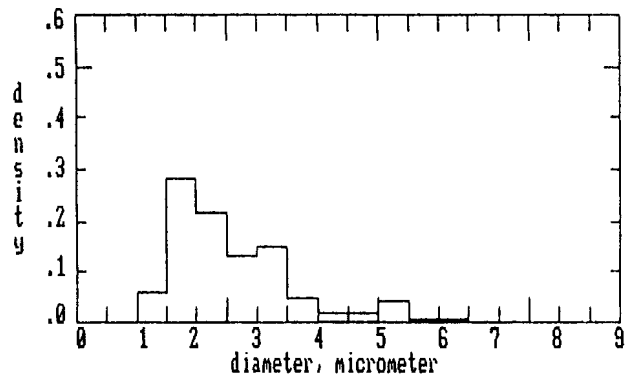


Fig. 5 Probability density distribution of diameter of water droplets in oil.

Table 1 Properties of Compositions of Testing Waste Oil

	Specific Gravity	Viscosity cSt at 50° C	Flash point° C	Fire Point ° C
Bottom Sludge	0.982	320	180	190
Waste Lub. Oil	0.880	44	225	235
Heavy Oil	0.935	90	155	165

나타낸 것이다. 평균입경은 $2.57\mu\text{m}$, 표준편차는 $1.14\mu\text{m}$ 정도로 나타나고 있다. 슬러지의 입자는 장경 $15\mu\text{m}$ 의 것이 최대의 것으로서 출현하지만 대부분은 $10\mu\text{m}$ 이내로 분쇄되어 있다. 이는 400메쉬의 금속망의 체눈의 크기가 $45\mu\text{m}$ 인 점과 30%나 되는 다량의 슬러지를 혼입한 시험유를 처리한 결과임을 감안한다면 양호한 분쇄균질화능력을 나타내고 있는 것이라 할 수 있다.

4. 전처리장치의 시스템 구성

Fig. 6은 선박용 보일러에 폐유를 연소시키는 것을 목적으로하여 슬러지 분쇄 유화장치를 이용한 전처리 시스템을 나타낸다. 세실선으로 표시한 부분은 기존의 보일러 및 분연계통을 나타내고, 굵은 실선으로 표시한 부분은 폐유의 처리계통을 나타내며 점선은 폐유 전처리장치의 전원 및 제어계통을 나타낸다. 폐유탱크 ②의 내부에는 스크류형 교반기를 내장하여 있어서 물과 슬러지의 침전을 방지하며 기어펌프 ③은 순환펌프로서 폐유관내에 물과 슬러지의 침전을 방지한다. 슬러지분

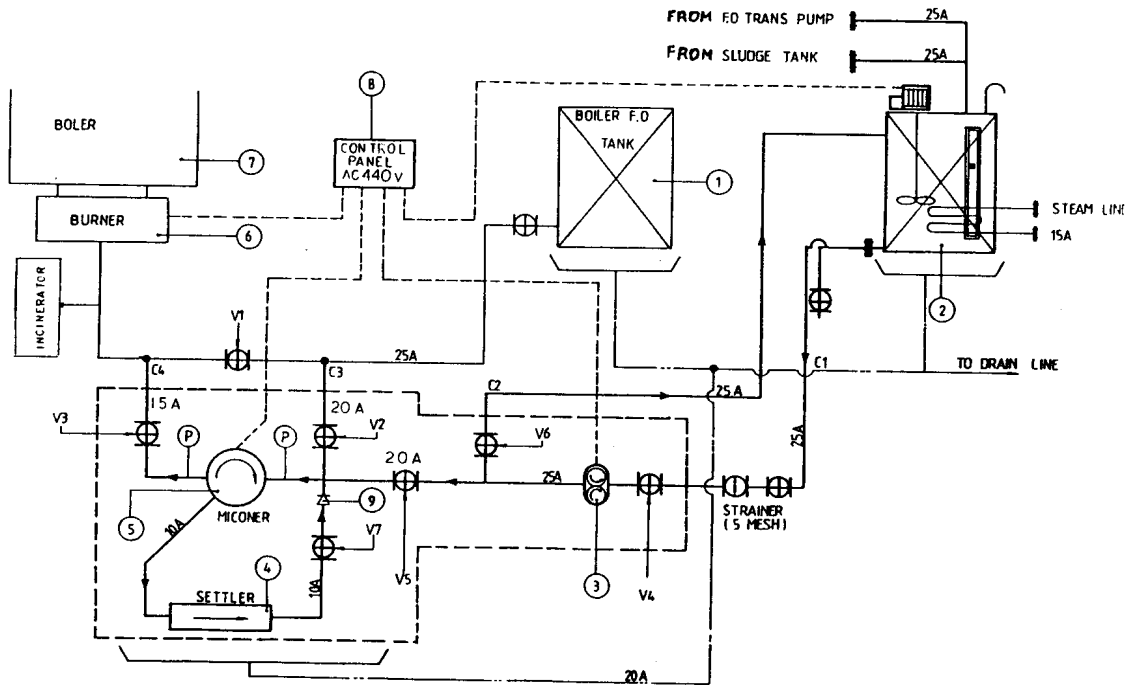


Fig. 6 Recommended pretreatment system for waste oil incineration.

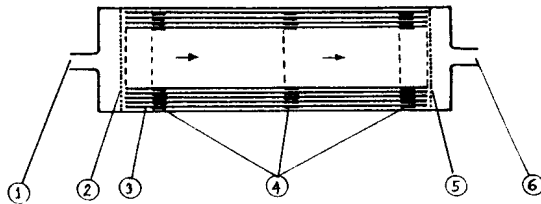


Fig. 7 Schematic drawing of Settler.

- ① Inlet ④ Distance Piece
- ② Gauze Wire ⑤ Gauze Wire
- ③ Multy Layer Plates ⑥ Outlet

쇄유화장치 ⑤는 기존의 보일러 연료유관에 설치되는 바이패스밸브 V1과 병렬로 설치되므로 중유의 성상이 나쁠 때 연료유개질장치로도 사용될 수 있도록 된다. 침전기 ④는 슬러지분쇄유화장치에서 분쇄되기 어려운 경질 고형물을 분리시켜서 청정한 기름만 밸브 V7을 통하여 재순환시키는 기능을 하는 것으로서 Fig. 7에 그 모형을 나타낸다. 기름이 다층판 ③의 사이로 느린 층류상의 유동을

하는 동안 중력에 의하여 침강되는 원리를 이용한다. 폐유탱크의 교반기 모터는 보일러 송풍기와 연동하여 운전되고 기어펌프 및 슬러지분쇄유화장치는 버너노즐의 슬레노이드와 연동하여 운전되도록 제어됨으로써 보일러의 점화 및 소화에 따라서 자동적으로 공급 또는 차단되도록 할 수 있다.

4. 실험

Fig. 2는 앞서 기술한 특성 시험장치에 부가하여 본 폐유 전처리장치를 이용한 소각시험장치의 개략도를 동시에 나타내고 있다. 소각로의 연소실 치수는 W300×H300×L800mm이며 선박용 보조보일러를 모델로 하기 위하여 증발관에 대신하여 주철제의 냉각수관 ⑩을 설치하였으며, 분사용 노즐로는 130 메쉬의 금속필터가 부착된 오리피스경 0.6mm의 압력무화식 노즐 ⑫를 사용하였다. 버너의 공기조절기에는 공기의 선회력에 의한 연료와 공기의 혼합을 배제하고 연료의 성상의 개질에 의한 1차적인 연소 촉진효과만 주로 관찰될 수 있도록 비선회형 디퓨저 ⑬에 의한 1차공기와 50메쉬의 금속망 ⑭에 의한 층류상의 2차공기가 공급되도록 하였다. 공기의 양은 댐퍼 ⑮에 의하여 조절된다. 화염의 안정성과 화염의 상태를 관찰하기 위하여 연소실 측벽에 4개의 30×200mm의 관찰창이 설치되었다. 배기가스의 매연발생 측정을 위하여 냉각수관 출구측 관의 중심부로부터 시료배기가스 채취구 ⑯를 설치하였다. 슬러지분쇄유화장치의 미세필터는 400 메쉬의 스텐레스 금속망을 내장하였다.

사용된 시료폐유 각 성분의 성상 및 혼합비율은 현미경사진 분석시에 사용한 시험유와 같으며 분사조건은 분사압력 16kg/cm²G, 분유온도 95~105°C로 하였으며 연소용 공기량은 매연의 발생이 최소로 되는 상태가 되도록 임의로 조절하였다.

시험 결과 화염의 상태는 만족할 만한 안정상태로 연소되는 것을 확인하였고, 2시간 동안의 소각 시험 전후의 분사율의 비교로써 분사계통의 폐색정도를 검토하여 본 결과 소각 개시전은 11.7 l/h, 시험완료 후는 11.1 l/h로서 근소한 감소를 나타내었으며, 배기가스의 매연농도는 스톱크미터로서 12회 측정하여 평균하여 본 결과 5.0%로 나타났다.

증발관에 의한 연소가스의 급냉으로 인하여 발생할 것으로 예상되는 전열면의 오손 정도를 관찰해 본 결과 전열면의 표면에 얇은 그을음 피막이 감지될 만한 정도였으며 심한 퇴적물은 보이지 않았다.

5. 결 론

선박용 보조보일러의 노내에서 슬러지를 다량 함유한 폐유를 소각하기 위하여 전처리장치와 소각 시스템을 고안 제작하고 성능시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 슬러지를 다량 함유한 폐유도 균질화와 여과를 충분히 시켜주면 상용의 압력무화 방식의 버너로서도 연속적인 분무 연소를 시켜서 소각시킬 수가 있었다.
- 2) 본 연구에서 개발한 폐유의 전처리장치를 이용하여 실선의 보조보일러에서 선박의 폐유를 소각하면 폐유소각기를 설치하지 않고도 보일러의 연료와 거의 같은 용량의 폐유를 처리할 수 있으며, 약간의 보조연료로서 중유를 사용한다 하더라도 폐유의 열량에 상당한 에너지를 절감할 수 있다.

슬러지분쇄유화장치는 장치 미세금속망의 메쉬수를 높이고 역세시의 드레인의 배출이 요하지 않는 저질중유 전처리장치로 개발하면 디젤기관에도 사용할 수 있을 것으로 기대가 되며, 이를 위한 시험 연구는 계속되어야 한다고 생각된다.

참고문헌

- 1) MARPOL 73/78 ANNEX I REG. 17
- 2) 石黒參郎, 技術資料, 低質燃料の前處理機器分析技術, 日本船用機關學會誌 第17卷 第9號, 1982, 9, pp. 111 - 113
- 3) 儀武俊之 等, 技術資料, 超音波燃料油改質裝置 'マリセ-フ' の使用實績, 內燃機關 第22卷, 第2號, 1983, 2, pp. 61 - 69
- 4) 桶口勝彦 等, 技術資料, 低質燃料油の對策と處理裝置の開發, 日本船用機關學會誌 第23卷 第59號, 1988, 5, pp. 45 - 52