

燃料와 熱供給施設

金 鍾 爽

〈環境廳 大氣管理課長·技術士〉

(2) 液體燃料(Petroleum products)

가. 液體燃料製品

天然으로 산출되는 乳液狀의 可燃性液體 (鑛油)를 원유(Crude oil)이라 하며 이 원유를 工業적으로 처리하여 얻을 수 있는 가연성 석유 제품을 液體燃料라고 할 수 있다.

원유로부터 석유제품은 연기위해선 특별한 工程이 필요한데 가장 흔한 공정은 常壓蒸溜라고 할 수 있다. 常壓蒸溜란 壓力이 약 1.5 atm 정도인 증류탑에서 원유를 가열 증류시키는 것으로 이 때 원유내 탄화수소의 성분별 비점에 따라 가스 溜分 및 殘渣分으로 區分된다.

따라서 액체연료를 크게 보면 원유 유분(Distillates) 잔사분(Residuals)로 구분한다.

정유회사에서는 지역사정 및 수요자의 기호에 맞는 각종 제품을 공급하여야 하기 때문에 액체연료에는 몇가지 종류가 있게 되며 이들의 품질관리를 위해서 石油製品의 工程規格을 산정하고 이에 따라 정유사는 품질관리를 실시하게 된다.

우리 나라 精油工場에서 현재 生産 판매되고 있는 액체연료(석유제품)는 輕質油, 中質油 및 重質油로 區分된다. 輕質油는 가스린유, 中質油는 Disel 류, 重質油는 B.Coil 류로 細分되며 더욱 구체적인 제품명과 규격은 아래 <표-7> 석유제품의 종류와 규격*를 참고할 수 있다.

액체연료의 분류(종류)는 각국마다 다르다. 美國에선 精油工場의 연료제품을 1~6 까지의 일련번호로 분류하고 있다. 이중 1, 2에 해당

하는 제품은 蒸溜分(Distilate)이며 5, 6은 잔사분(Residual 또는 Bottom from refinery process)이며 4번은 1, 2에 준할 수 있고 또 다른 것과 혼합 사용이 가능한 것을 뜻한다. 석유제품 조성중에는 약간의 회분(ash)과 유황(S)이 포함되 있는데 가스나 溜分に 해당하는 제품보다는 잔사유쪽에 해당하는 제품에는 상대적으로 많은 양이 함유된다. 연료제품중 가스나 휘발유등의 輕質油는 차량의 연료등에 비교적 많은 양이 사용되며 각종 잔사유(중질유 분해 잔사유 포함)등은 고정 연소시설에서 사용된다. 이외에 잔혹 특수시설이나 工場에선 T·S (Tar sludge, bottom oil)등의 특수 잔사유를 사용한다. 이들 특수 잔사유를 사용할 때는 S와 ash의 함유량에 대하여 특히 유의해야 한다.

우리 나라에서 生産되고 있는 석유제품 전체에 대한 規格과 品質특성을 연료측면에 살펴보아야 할 것이나 여기서는 연료시설에서 가장 많이 사용되고 있는 연료인 중유(重油)에 관하여 살펴 보고자 한다.

우리 나라의 重油生産量은 전체 석유 제품생산량의 50% 이상을 점하고 있다.

① 重油(Heavy oil)

석유계 연료제품은 앞서 설명한 것과 같이 많은 종류가 있으나 이중 현재 연소시설에서 가장 많이 사용되는 重油에 대하여 좀 더 구체적으로 살펴 보고자 한다.

실제로 한국규격협회에선 重油란 디젤기관용,

〈표-7〉 석유제품의 종류*

〈분 類〉	〈油 種〉	〈製 品 名〉	〈KS규 격〉
氣 體	石油가스	天然가스	
		液化메탄가스 (LNG) 液化石油가스 (LPG)	M 2150
輕 質 油	가솔린	自動車用揮發油	M 2612
		航空機用 "	M 2217
		工業用揮發油	M 2611
	나프타	(石油化學用·都市가스用·비료用)	
	제트燃料油	(航空터어빈燃料油)	M 2214
	燈 油	(燈火, 주방용, 석유발동기용, 용제 및 세척용)	M 2613
中 質 油	輕 油	(다이젤機關연료, 點火機關연료, 低流動點內燃機關연료)	M 2610
		冷凍機油	M 2128
	輕質潤滑油	機械油	M 2126
		터어빈油	M 2120
		石油系航空作動油	M 2218
		內燃機關用 潤滑油 (선박내연기관용潤滑油)	M 2121 (M 2121 에 통합)
		로우프油 ※	
		스핀들油(정방기용) ※	
		다이나모油(전동기·발전기용) ※	
		프로세스油 ※	
에어필타油	M 2615		
베어링潤滑油	M 2114		
工 作 油 (潤滑유일종)		切削油劑(금속가공용)	M 2173
		防鏽潤滑油(輕·重)	M 2211
		防鏽油(기화성, 지문제거형, 용제희석형)	M 2209, 2210, 2212
		熱處理油(油劑)	M 2170
		熱媒體油 ※	
絶 録 油 流動파라핀		(축전지, 케이블, 변압기용)	C 2301
		(약품, 화장품, 식품공업용)	M 2160
重 質 油	重 油	{ A重油(輕質重油) B重油(重 油) C重油(벙커 C油) }	M 2614
		重質潤滑油	기어油(공업용, 자동차용)
航空엔진油(피스톤발동기용)	M 2216		
실린더油(증기기관용) 컴프레서油(壓縮機油) ※			

註: 위에서 ※표는 KS규격은 없으나 工業振興廳의 事前檢査基準이 있음.

* 〈표-7〉은 석유제품의 규격과 품질 참고 (대한석유협회편)

보일러용 및 各種爐에 적합하게 사용할 수 있는 연소시설용 연료라고 정의하고 이를 鑛油라고도 칭하고 있으나 제조상으로 구분하여 보면, 나프타溜分까지의 輕質油를 제거한 溜充油와 蒸發殘渣油 및 그 혼합물을 重油라 총칭할 수 있다. 美國, 英國에선 KS의 重油에 해당하는 제품을 디젤연료유 또는 버너 연료유로 규정하여 이를 溜分燃料油(Distillate fuels)와 함께 연료유(Fuel oils)라고 총칭하고 있다. 重油는 蒸發殘渣油 또는 증발잔사유를 輕油 또는 減壓溜出油에 혼합한 것이며 화학적인 정제과정을 더이상 거치지 않으므로 品質面에서 低級石油化學製品이라고 할 수 있다. 따라서 原油精製時 필요한 석유제품을 뽑아낸 후 나머지 잔사분만을 重油라고 할 수 없다. 이때의 잔사유는 다시 가공하여 윤활유, 아스팔트 및 석유코크스등을 얻어낼 수도 없다. 따라서 重油는 연소시설에 사용할 특별한 목적을 가지고 만들어진 것으로 소비자의 요구에 따라 粘度 殘油炭素分, 黃分 流動點등을 調節하여 製品化되어 있다.

重油의 高發熱量은 10,000~11,000Kcal/kg 정도로 석탄에 비하여 연소에 필요한 공기량도 적어 과잉 공기에 의한 熱損失이 적고 석탄을 넣고 빼는데 따르는 爐의 냉각도 없다.

② 重油의 규격

연료용 重油는 연소시설에 사용할 때 최적연소 상태에 이를 수 있도록 그 組成과 特性이 조절될 필요가 있다. 이를 위해서 粘度, 引火點 流動點 炭分, 黃分, 슬러지, 안전성, 發熱量 및 燃燒性 등에 관한 K·S 규격을 설정하였다.

대부분 重油를 연소하는 연소시설에서는 연소전에 重油를 분무하여 안개상태의 미세한 油滴을 만든 후 연소시키도록 되어 있으므로 점점도 重油일수록 연소가 용이하다. 엔진, 버너, 爐 등의 대개의 연소시설은 그 구조와 기능에 맞는 점도가 있으므로 해당 점도를 갖는 중유를 선택 사용하여야 한다. 또 중유의 운반을 파이프 등으로 수송할 때에 저점도의 중유는 예열없이 바로 수송할 수 있다. A重油는 예열할 필요가 없을 정도로 점도가 낮고 B중유와 특히

C중유는 예열하여 사용하여야 할 정도의 점도를 갖게 된다.

중유는 연소후에 재가 거의 없는 것이 특징이다. 중유에는 최대 0.1% 정도의 회분이 존재하고 이는 有機金屬化合物과 원유의 水泥內金屬이 증발잔사유에 계속 남게 된 것으로 Fe, Si, Al, Ca, Mg, Na, Ni, V 등과 같은 無機物 등으로 되어 있다.

이들 金屬은 연소후 산화물이 되어 디젤엔진의 경우는 시린더마모, 가열용기계에선 고온부에서 爐壁과 過熱管등에 부착 용융하여 열시설의 熱效率을 저하시키는 원인을 유발시키며 또한 바나듐은 나트륨과 함께 500~700℃에서 V_2O_5 를 형성하여 현저한 腐蝕障礙를 초래한다. 또한 바나듐은 중유 탈황시 촉매 독이 되므로 최근에 매우 관심을 끌고 있는 금속성분이 되었다.

重油內 黃分은 시설부식원인과 공해원인으로서 매우 중요하다. 따라서 최근에는 중유중 황분이 적은 低黃油를 많이 사용하게 되었다.

低黃油는 重油를 직접 또는 간접 탈황하므로 얻을 수 있다. 현재 重油제품의 黃分은 直溜殘渣油와 脫黃重油 및 輕油를 혼합하여 조절하고 있다.

黃分에 의한 腐蝕問題는 煙道가스 온도를 조절하므로써 억제할 수 있다.

연소시 황분은 주로 아황산가스가 되나 그중 일부는 무수황산(SO_3)가 되어 연도가스 온도가 노점이하가 되면 이때 응축한 수분과 결합하여 황산으로 되어 금속부식을 현저하게 한다. 연도가스의 노점은 연도가스내에 SO_2 농도가 높을수록 높아지기 때문에 높은 온도의 배가스라도 H_2SO_4 의 생성이 쉬워진다. 또 연도가스내 SO_3 의 생성은 노내 온도, 바나듐 및 산화철 등의 존재에 좌우되게 된다. 일반적으로 연도가스내에 H_2SO_4 생성을 방지하기 위해서 배가스 온도를 항상 그 가스의 노점이상으로 유지시키던가 또는 연소시 중유에 암모니아를 사전 첨가하여 방지하고 있다.

重油內에는 아스팔텐분과 樹脂分이 포함되어

어 등유 또는 輕油와 달리 安定性和 混和性이 문제가 있다. 重油는 저장중 함유된 수분과 아스팔텐 및 수지분이 서로 섞여 슬러지 상태로 침전하기도 하고, 저온에서 왁스물질을 함유하여 침전되기도 한다. 이렇게 형성된 침전물은 使用時 장애요인이 된다. 특히 디젤연료유로 사용될 때는 불완전연소의 요인이 되고 시린더에서의 炭化堆積物을 증가시키며 噴射器의 연료출구를 막기도 하므로 이를 重油內에서 원심분리를 통하여 제거하고 있다.

또 때에 따라서는 安全性向上參加劑를 혼합 사용하기도 한다.

중유의 고발열량은 보통 10,000~11,000 Kcal/kg이며 중유비중이 증가하면 C/H 비도 커지므로 발열량이 큰 수소가 줄어들어 중량당 발열량은 감소하게 된다. 그러나 단위용 적당 환산은 비중이 커질수록 발열량이 커진다. 이외에도 重油規格에는 燃焼性이 있으며 이는 重油에 있어서 가장 중요한 성질이다. 重油組성에 따라핀계 탄화수소가 많아져야 연소성이 양호해진다.

디젤엔진에 있어서는 연소속도라는 점에서 나프탄계 탄화수소가 좋다는 점은 고려하여야 한다. 따라서 重油燃焼의 양호여부는 엔진, 버너 또는 爐의 구조와 연소기술에 크게 좌우된다는 사실도 감안하여야 한다. 앞서도 언급한 바와

같이 최근의 연소시설은 부대장치를 가지고 流量, 壓力, 溫度등을 최적상태로 조절할 수 있기 때문에 최근에는 重油의 연소성이 과거와 같이 절대적인 요인이 되지는 않는 경우도 많다.

아래 <표-8>은 重油 K·S 규격이다.

(2) 液體燃料 燃焼工學

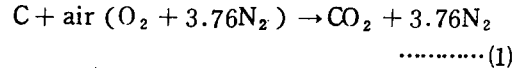
연소공학에선 燃料燃焼에 필요한 燃焼空氣量 燃焼發生하는 燃焼產物量 및 燃焼施設 運轉稼動에 필요한 過剩空氣量등을 量論的 側面에서 産定하는 과정이라고 말할 수 있겠다.

우리가 使用하는 液體燃料의 主成分은 탄소, 수소 및 미량의 유황등이 함유되고 있다. 연료 등 이들의 조성을 알게되면 이로부터 化學量論式을 使用하여 연소계산을 실시할 수 있다.

액체연료의 조성이 탄소 C%, 수소 H%, 유황 S%가 함유되어 있는 연료 1kg을 연소시킬 때 필요 증기량과 연소산물의 량도 각 조성별 물질연소에 필요한 공기량 및 이 때 생성되는 연소산물을 각각 구하여 이를 합하면 해당 연소계산을 완성할 수 있다.

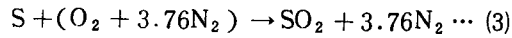
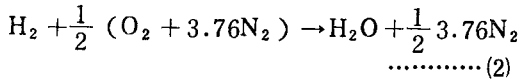
○ 필요 공기량 산출

탄소 1kg을 연소하는데 필요한 공기량과 이 때 생성되는 연소산물량에 관한 量論式은 아래와 같다.



<표-8> 重油의 KS (M-2614)

종류	성상		인화점 (°C)	동점도 (50°C, cst)	유동점 (°C)	찌꺼탄소 (%)	수분 (무배%)	회분 (%)	황분 (%)
	1호	중성							
A중유	1호	중성	60이상	20이하	5이하	4이하	0.3이하	0.05이하	0.5이하
	2호	중성	60이상	20이하	5이하	4이하	0.3이하	0.05이하	2.0이하
B중유		중성	65이상	50이하	10이하	8이하	0.4이하	0.05이하	3.0이하
C중유	1호	중성	70이상	50~150	-	-	0.5이하	0.1이하	1.5이하
	2호	중성	70이상	50~150	-	-	0.5이하	0.1이하	3.5이하
	3호	중성	70이상	150~400	-	-	0.6이하	0.1이하	1.5이하
	4호	중성	70이상	400이하	-	-	1.0이하	-	3.5이하



위의 (1), (2), (3)式에서, 탄소, 수소, 유황 1 kg을 연소시킬 때 필요한 공기량 이 때 생산되는 연소산물은 각각 아래와 같이 정리되게 된다.
필요 공기량

$$\text{탄소} : \frac{4.76}{12 \text{ kg}} \times 22.4 \text{ m}^3 = 8.89 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\text{수소} : \frac{2.38 \text{ mole}}{2 \text{ kg}} \times 22.4 \text{ m}^3 = (26.7 \text{ m}^3 / \text{kg})$$

$$\text{아황산가스} : \frac{4.76}{32 \text{ kg}} \times 22.4 \text{ m}^3 = 3.5 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

위의 결과로 부터 각 성분별 조성인 C kg, H kg 및 S kg의 탄소, 수소, 질소를 함유하는 연료 1 kg을 연소할 때 필요한 필요 공기량은 아래식 4로 줄 수 있다.

$$\text{필요공기량}(\text{m}^3 / \text{kg}) = 8.89 \text{ C} + 26.7 \text{ H} + 3.3 \text{ S}$$

..... (4)

한편 연소산물의 량은 (1), (2), (3)량 論式에서의 우편의 결과를 정리하여 아래와 같이 정리할 수 있다.

〈표-9〉 중유 연소 자료

분		석		
조 성		중 량 %		
탄	소 (C)		88.3	
수	소 (H)		9.5	
유	황 (S)		1.6	
수	분		0.05	
회	분		0.10	
고 발 열 량				
10,119Kcal / ℓ				
10,000Kcal / ℓ				
연소공기량 (건조)				
이론연소공기량 10.8				
10 %과잉공기때 11.89				
20 % " 12.98				
100 % " 21.64				
중유 1 kg 연소시 생성되는 연소산물량				
(공기중 상대습도 40 % 온도 18 °C)				
조 성	이론연소공기때		20 %과잉공기때	
CO ₂	1.7 m ³	3.24 kg	1.7 m ³	3.24 kg
H ₂ O	1.18 m ³	0.92 kg	1.18 m ³	0.93
SO ₂	0.01 m ³	0.03	0.01 m ³	0.03
N ₂	8.55 m ³	10.3	10.3 m ³	12.38
O ₂	-	-	0.45 m ³	0.64
계	11.45 m ³	14.49	13.6 m ³	17.22

$$\text{탄소연소산물} : \frac{22.4}{12} (1 + 3.76) = 8.89 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\text{수소연소산물} : \frac{22.4}{2} (1 + 1.88) = 32.3 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\text{유황연소산물} : \frac{22.4}{32} (1 + 3.76) = 3.3 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

따라서 조성이 탄소 Ckg, 수소 Hkg, 유황 Skg인 연료 1kg을 연소할 때 발생하는 습연소산물의 양은 아래 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{연소산물량}(\text{m}^3/\text{kg}) &= 8.89C + 32.3H + 3.3S \\ &= 8.89C + (26.7 + 5.6) \\ &\quad H + 3.3S \\ &= 8.89C + 26.7H + 3.3S \\ &\quad + 5.6H \\ &= A_0 + 5.6H \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

(단 A₀ 는 이론연소공기량)

실제 연소에서는 이론공기량만 공급하면 란유행성등이 많은 량의 공기를 공급한다. 이 때 과잉 공기몰을 m, 이론공기량을 A₀라 하면 과잉 공기율은 아래식 6과 같다.

$$m = \frac{A}{A_0} \dots\dots\dots (6)$$

따라서 연소시 과잉공기가 공급되면,

$$A = mA_0 \text{ 가 되며}$$

습배기가스량 G은 식 (5)에 과잉공기율을 감안한 아래식 (7)과 같이 된다.

$$G = mA_0 + 5.6H \dots\dots\dots (7)$$

아래표는 重油 1kg을 연소할 때 필요한 공기량과 연소산물을 위와 같은 방법으로 정리한 것이다.

실제로 연소관리를 하기 위해선 과잉 공기비 m이 중요한 역할을 하게 되므로 m을 가동하고 있는 연소시설의 배가스로 부터 쉽게 얻을 수 있어야 한다. 이를 위해서 배가스분석기 ORSAT를 사용하여 배가스 중의 CO₂, CO, O₂를 각각 측정하여 m를 아래 공식 (8) 또는 (9)를 사용하여 쉽게 구할 수 있다.

$$m = \frac{21}{21 - (O_2)} \dots\dots (8)$$

또는,

$$m = \frac{(N_2)}{(N_2) - 3.76(O_2)} \dots\dots\dots (9)$$

연소시 m의 값을 가장 적당하게 함으로서 불완전연소 및 연소가스의 현열에 의한 열손실을 방지할 수 있다. 아래 <표-10>은 실제 연소시 m 및 CO₂의 표준치 이다.

<표-10> m과 연소효율의 예

연소장치	미분탄버너	重油버너	가스버너
m	1.2-1.4	1.2 -1.4	1.1 -1.3
η	0.9-0.98	0.95-0.98	0.95-0.98

<다음호에 계속>

☆ 믿는 마음 지킨 약속
다져지는 신뢰사회 ☆