

# 乳化重質燃料의 문제점과 그 対策

—新技術開發研究所 提供—

## I. 머리말

乳化燃料을 이용하여 重質燃料의 燃燒性을 개선하려는 시도는 오래전부터 있어 왔다. 특히 煤煙 등의 低減에는 많은 효과가 있음으로써 최근에 이르러 그 실용화가 각국에서 활발해지고 있다.

주지하는 바와 같이, 우리 나라의 石油연료의 사용형태는 73년도의 第1次 石油쇼크前의 重油중심시대에서 점차 西歐와 같은 中間溜分중심의 패턴으로 변화하였다. 美國이나 유럽에 비하여 월등하게 重質油의 분해설비가 부족한 우리 나라에서는 앞으로 에너지를 효율적으로 이용하자면 高粘度的 重質연료를 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

이러한 重質의 연료를 排煙처리설비가 완비된 中·大型 燃燒機器에서 사용하여 이 때에 문제가 되는 煤塵의 증가에 의한 電氣集塵器의 過負荷를 해결하는 수단으로서 水素첨가에 의한 乳化기술을 이용하는 것이 효과적이라고 생각한다. 뿐만 아니라, 이 乳化기술은 디젤 엔진의 煤塵 및 NOX 低減에 유효한데, 앞으로는 아스팔트 등의 연소에도 이 乳化技術의 응용이 바람직하다고 믿는다.

## II. 우리 나라에서의 燃料油 동향

燃料油의 동향을 알려면 먼저 原油의 동향을 살

펴야 할 것이다. 原油의 輸入패턴을 보면 API 比重別의 구성비의 변화를 나타내고 있는데, 특히 최근 동향으로서 輕質原油(API 34°이상) 및 重質原油(API 30°이하)의 증가세와 한편에서는 이 중간을 차지하는 中質原油(API 30°~34°)의 감소 경향이 눈에 띈다. 그러므로 API비중의 平均値는 크게 변화하지 않고 있음을 알 수 있다. 이것은 原油에서의 직접 各溜分에서 얻는 수율도 변화가 적다는 것을 뜻한다.

한편 燃料油의 유종별 구성비는 대략 B, C重油중심시대에서 西歐型의 溜出油 중심형으로 변화해가고 있고, 특히 자동차용 연료인 揮發油와 輕油의 合計値는 漸增勢에 있다. 또한 溜出油연료인 A重油도 증가의 경향이나 殘油가 주성분인 B, C重油는 점진적으로 완만하나마 低下勢에 있다.

이러한 燃料油의 구성비의 변화를 前記한 原油의 동향과 견주어 생각해 볼 때, 重油의 소비율의 감소로 重油의 高粘度化가 일어나고 있다고 보겠다. 즉 輕油나 A重油 등의 소비율의 증대로 인하여 B, C重油의 粘度를 調製하기 위한 中間溜分이 부족하고, 한편에서는 減壓殘油 등의 혼합율이 증가하여 C重油의 高粘度化가 일어나고 있다고 볼 수 있다.

石油會社로서는 이러한 변화에 대응하기 위해 각종 분해시설 등을 가동시키겠지만, 아마도 앞으로는 中間溜分의 급격한 수요증대를 충족시키기는 어려울 것이다. 이를 감안한 국내 精油會社들이

벌써부터 분해시설 등을 서둘러 증설중에 있기 때문에 사실은 過剩投資라는 評도 있다. 여하튼 이러한 분해시설들은 水素를 필요로 하기 때문에 결국은 水素源으로서 輕質溜分을 소비하게 되는데, 전체적으로 보면 重油를 輕質油로 稀釋하는 셈이 되어 이것을 에너지로 환산하여 생각하면 10% 내외의 로스에 상당한다는 외국의 예를 볼 때, 燃料費의 상승을 가져오므로 결코 得策이라고는 할 수 없다. 따라서 精油工場內에서 별로 분해하지 않는 燃料, 즉 重質燃料을 工業用 燃料로 사용하는 것이 전체로서는 에너지적으로 高 효율이라 할 수 있다.

### Ⅲ. 重質燃料의 문제점

중래의 動粘度(50℃)가 150cSt(레드우드 600秒)인 重油 대신에 700cSt(레드우드 3,000秒) 또는 1,000cSt(레드우드 4,000秒)인 重質의 重油를 사용하게 되면 과연 어떤 문제가 일어날까 한번 생각해 보자.

燃料을 霧化하여 연소시키려면 動粘度를 15~25cSt(60~100秒) 정도로 낮추어야 하고, <그림-1>에 보인 것과 같이, 중래의 것에서는 100℃ 전후의 加熱溫度였으나 3,000秒(@ 50℃)의 것에서는 125℃로, 또한 4,000秒(@ 50℃)에서는 135℃로 가열하여야만 한다. 그리고 重質化함에 따라서 비중도 높아지는데, 이것은 殘留炭素分의 증가로 직결되어 결국은 煤塵의 증가가 될 염려가 있다.

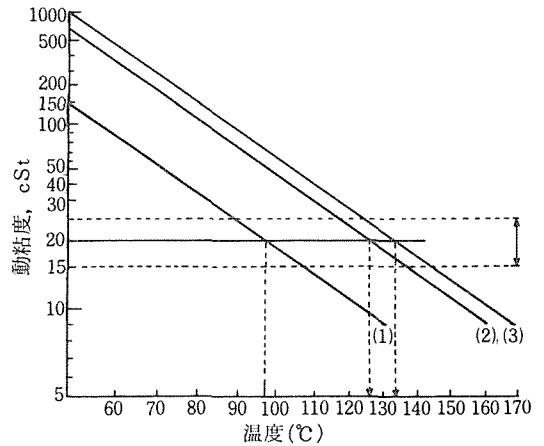
또한 重質重油는 金屬바나듐 및 硫黃함유량이 높기 때문에 高温腐蝕과 低温腐蝕이 문제가 된다. 그러나 이것들은 後記하는 바와 같이, 乳化燃料과 低剩餘空氣燃燒를 연결시킴으로써 어느 정도 해결할 수 있다.

### Ⅳ. 重質燃料의 性狀과 乳化특성

原油를 증류하여 제조한 重質燃料은 乳化劑를 첨가하지 않아도 그 自体内에 우수한 乳化性能을 나타내는 성분을 함유하고 있는데, 이 점을 중심으로 설명하기로 한다.

原油의 輕質分을 제거한 殘油는 輕質의 n-파라핀系 溶劑를 가하면 沈降하는 아스팔텐分, 그리고

<그림-1> 從來 重油(1) 및 重質重油(2, 3)의 粘度 / 溫度圖



용해성분중에도 산소 등을 함유하는 極性이 강한 레진分 등이 함유되어 있음은 잘 알려진 사실이며, 重質의 原油일수록 이러한 성분의 함유량이 높다.

例컨대, 高比重·高硫黃의 中東系 原油 및 中南美 原油는 아스팔텐과 레진分이 많고, 低硫黃의 東南亞, 아프리카原油의 경우에는 적은 경향이다. 구체적으로 原油名을 열거하면 아랍 헤비原油, 이란 헤비原油, 카프지原油, 베네수엘라原油 등의 重質原油는 아스팔텐分이 많다.

이들의 巨大分子인 아스팔텐分은 레진分을 媒介하여 매트릭스를 형성하면서 油中에 코로이드狀으로 분산하고 있는 것으로 생각되며, 水滴이 혼입하면 界面에서 이 밸런스가 깨져서 오일과 물의 界面에서 析出하여 얇은 막을 형성한다는 것이 밝혀지고 있다. 이 막에 의해 水滴은 보호되고, 또 습-되지 않고 안정된 油中水滴型(W/O型)의 에멀션이 되어 장시간 靜置해 두면 침강하여 슬러지狀이 되지만, 攪拌力을 지속하면 쉽게 均質的인 W/O型 에멀션상태로 유지할 수 있다. 이와 같이 안정된 에멀션을 유효하게 이용하려는 것이 바로 序頭에서 말한 本稿의 목적이다.

### Ⅴ. 乳化燃料에 의한 煤塵의 低減

水滴이 연소할 때, 보통 다음과 같은 과정으로 진행된다. 즉, 버너 끝에서 微粒化된 직경 30~

150 $\mu$  정도의 液滴은 燃燒器 속에서 주위로부터 가열되어 氣化하는데, 일정량 이상의 氣化가 진행되면 着火하고, 液滴 내부에서는 중심부를 軸으로 하여 對流을 일으키면서 더욱 氣化가 진행되어 연소가 된다. 따라서 연소가 원활하고 안전하게 진행되기 위해서는 氣化과정이 원활하고 완전하게 진행함과 동시에 各 粒子徑은 작을수록 산소와의 접촉이 충분히 이루어져서 바람직하다 하겠다.

그러나 重質의 연료에서는 아스팔텐 등의 高分子를 많이 함유하고 있기 때문에 氣化과정이 완전하게는 진행되지 않고 揮發分이 빠진 炭素質分이 남는다. 이것이 고온에 놓였다가 다시 산소와 반응하는 과정(燃燒)을 밟는데, 液滴의 氣化연소과정의 연소속도는 일반적으로 1,000 $^{\circ}$ C에서 1 mm<sup>2</sup>/sec 정도인데 대하여 고체의 炭素質의 연소속도는 그의 1/10 이하의 속도로서 매우 느다.

따라서 이 물질이 완전하게는 연소하지 않으므로 炉外에 나올 때가 많다. 이것이 바로 세노스피로 불리우는 炭素質의 입자이다. 殘留炭素分이 많은 연료일수록 煤塵濃度가 높아지는 이유이기도 하다.

물론 煤塵中에는 이것 말고도 氣化된 炭化水素가 연소과정에서 氣相에 있어서 脫水素反應 등을 일으켜 폴리벤제노이드基 또는 芳香族 레디컬을 통하여 重縮合 반응하여 생성하는 거대한 芳香族 네트워크로 이루어지는 수우트와 元來부터 연소하지 않는 灰分 등의 3成分이 함유되어 있다.

重質燃料의 경우, 煤塵의 주성분은 세노스피이고, 灯·輕油 등에서는 수우트가 주성분이라 할 수 있다.

다음에 水滴을 분산시킨 乳化重質重油의 연소를 고찰해 보기로 한다. 3,000秒 또는 4,000秒(@ 50 $^{\circ}$ C)의 重質重油의 경우, 前記한 바와 같이 微粒化를 위해 125~135 $^{\circ}$ C로 가열하여 粘度를 낮추어 사용할 필요가 있었다. 따라서 乳化狀態를 유지하기 위해서는 그 온도에서의 물의 飽和 증기압력 이상의 압력하에 霧化直前까지 유지하여야 하기 때문에 로우터리식 버어너 등은 不適하며, 壓力噴霧式 또는 고압의 2 流体噴霧式 버어너가 적합하다.

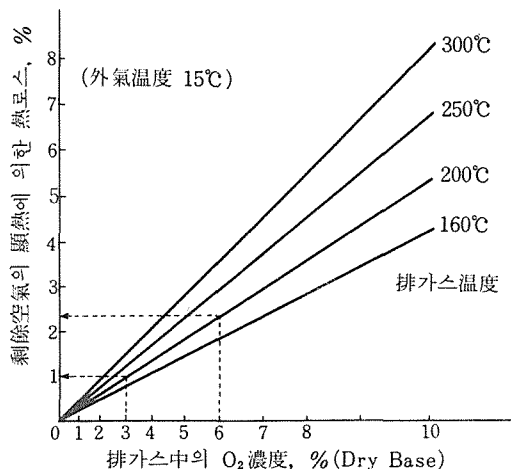
버어너에서 霧化(1차 微粒化)된 乳化연료의 液滴은 대기압력하에서 내부의 高溫水滴이 스팀이

되어 그 팽창력으로 마이크로 폭발을 일으켜서 2차 微粒化가 일어나는 것으로 생각된다. 그래서 液滴은 더욱 가늘은 입자가 되어 연소에 적합한 형태가 되므로 원활한 연소가 진행된다. 동시에 작은 液滴徑으로 인해 연소의 中間에서 생성하는 세노스피도 작고 燃燒時間이 짧기 때문에 炉內에서 완전히 연소하는 비율이 커져서 煤塵濃度가 低減한다. 또한 이밖에도 1,000 $^{\circ}$ C 이상의 고온하에서는 수증기와 炭素質의 성분이 반응하여 水性가스反應( $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ )도 진행되어 더욱 煤塵의 低減을 촉진한다.

## VI. 乳化연료 熱效率 및 기타문제의 해결

乳化연료를 이용했을 때의 열효율에 대해서는 混合水分의 蒸發潛熱 및 顯熱의 분량만큼 로스가 되어 열효율은 약간 저하하는 것이 보통이다. 그러나 종래의 연소가 空氣과잉상태에서 이루어지고 있을 때에는 다소 향상하는 경우도 있다. 예컨대, 重油연소에서 排가스溫度 200 $^{\circ}$ C서 산소농도 6%로 운전하던 보일러의 버어너에 수분 10%의 乳化 연료를 사용하기로 하고, 煤塵濃度가 低減하였으므로 산소농도를 3%(排가스溫度는 똑같이 200 $^{\circ}$ C)로 운전하게 되었다고 가정하자. 그러면 잉여공기에 의한 顯熱로스는 <그림-2>에서 알 수 있는 바와 같이, 2.4%에서 1.0%가 되어 1.4% 유리하게 된다.

<그림-2> 排가스中の O<sub>2</sub>濃도와 顯熱에 의한 熱로스의 관계



이것과는 반대로 10% 添加수분에 의한 潛熱, 顯熱로스가 0.7%이고, 이것을 공제한 0.7%의 열효율의 향상이 기대될 뿐만 아니라, 燃料節約率面에서는 0.7%를 보일러의 열효율(약 90%)로 제한數値의 절약이 되는 셈이다.

이 밖에도 爐의 형상에 따라서는 잉여공기의 감소와 더불어 연소가스의 爐內 체류시간의 증가에 의하여 熱傳達量의 증가와 水添加에 따른 爐壁(水管)의 汚損감소 등으로 熱傳達率이 향상할 때와 未燃燒카아본의 연소에 의한 열효율의 향상 등이 상승효과를 일으켜 前記한 計算值 이상의 열효율의 향상이 달성되는 경우도 있다고 한다.

다음으로 NOx에 대해서도 2차 微粒化에 의한 연소시간의 단축과 물의 蒸發潛熱 및 顯熱에 의한 火炎溫度의 저하에 의하여, 또는 低剩餘공기연소에 의하여 그 생성량을 억제하는 효과도 기대될 때가 있다. 水添加率이 10% 이하 정도의 소량일 때에는 煤塵濃度의 저하는 기대되지만, 연소개선으로 NOx 농도는 변화하지 않고 오히려 약간 증가할 때도 있다.

또한 바나듐에 의한 고온부식과 硫黃분에 의한 저온부식의 대책에 대해서도 前記한 低剩餘공기연소로 低減을 꾀할 수가 있다. 즉, 低剩餘공기연소, 특히 O<sub>2</sub>농도를 0.8% 이하에서 연소시키면 低融點의 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 대신에 腐蝕성이 적은 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·V<sub>2</sub>O<sub>4</sub>가 많이 생성하여 機器에의 燃料灰의 附着量이 경감된다. 또 低溫腐蝕에 대해서도 똑같이 低剩餘공기연소함으로써 SO<sub>3</sub>의 발생을 억제하여 그에 의한 부식을 경감하는 것이 가능하다.

## Ⅶ. 乳化重質油의 취급

50℃에서의 動粘度가 700~1,000cSt(3,000~4,000秒)의 重油를 乳化하려면 操作性的 點에서 100℃ 부근의 온도로 攪拌하여야 하고, 이 때에 물의 沸騰 또는 캐비테이션을 방지하기 위해서는

2 kg/cm<sup>2</sup>(G) 정도의 加壓下에서 乳化를 進行시켜야만 한다.

乳化裝置의 형식으로는 여러 방식이 있으나, 라인中에서 혼합할 수 있는 노즐式의 것이 그 목적에 적합한 것으로 생각된다.

日本の M石油會社가 채용하고 있는 방식을 보면, 2 단식으로 되어 있는데 1 단째의 노즐에서 粗에멀션을 만들어 後段에서 완전 乳化를 하는 방식이며, 消費電力이 적은 특징을 갖고 있다. 또한 高壓水를 사용할 때에는 특정의 노즐設計를 함으로써 1 단으로도 가능하다. 제조된 乳化연료는 噴燃 펌프(加壓펌프)를 거쳐 다시 히이터를 통과하여 流量制御弁으로 流量의 제어를 받아 버너에서 분사된다.

霧化時에 주의할 점은 버너의 先端部까지 반드시 그 온도에서의 물의 飽和蒸氣 보다는 1~2 kg/cm<sup>2</sup> 이상 높은 압력하에서 流送시키는 일이다. 만일 도중에서 압력이 저하하면 물이 沸騰하여 원활한 霧化가 불가능하게 된다.

乳化劑에 대해서는 前記한 것과 같이, 無添加라도 아스팔텐分 및 레진分에 의한 界面活性작용으로 충분히 안정된 油中水滴型 에멀션이 형성되므로 사용하지 않아도 된다.

重質燃料中에 함유되는 바나듐에 의한 高溫腐蝕에 대해서는 低剩餘空氣燃燒로 低減되지만, 필요에 따라서는 마그네슘, 칼슘화합물 등에 의한 腐蝕防止劑를 사용하는 방법도 있다.

또한 乳化를 할 때, 油中의 内部摩擦이 증가하기 때문에 粘度가 다소 높아지지만(水添加率 25 vol%에서 2 배) 既述한 바와 같이, 마이크로폭발에 의한 2차 微粒化가 기대되기 때문에 乳化 연료의 加熱溫度는 無添加의 경우와 동일하여도 된다.

燃料流量의 제어에 대해서는 물의 添加量만큼 增量하여 流送시킬 필요가 있으므로 相應하는 制御弁을 고려해 두어야 한다. \*

企業人は 좋은 製品, 소비자는 바른 消費