

# 重油의 燃燒效率

孫 永 陸\*

■ 目 次 ■

- 1. 序 論
- 2. 重油의 性狀
- 3. 액체 연료의 미립화
- 4. 平均有效粒徑의 측정방법

- 5. 燃料의 燃燒
- 6. 結 論
- 參 考 文 獻

## 1. 序 論

發電燃料로는 現在 各國에서 研究開發 中에 있는 COM (coal-oil mixture), CWH (coal water mixture) 등이 있으나 연료의 安定, 저장, 연소 및 경제성 등의 여러 가지 문제점 등에 대하여 解答이 얻어진후에 實用化가 이루어질 일이며, 석탄은 oil shock 이후 다시 活用으로 기울어 FBC와 chain grating stoker 등의 연소기술과 더불어 석탄 자원의 低質化와 관련한 低質炭의 연소기술의 개발에 많은 힘을 쏟고 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 B.C oil을 발전연료로 사용하는 것이 많은 부분을 차지하여 유류 소비 실적으로 보면  $32 \times 10^6 \text{kl/y}$  중에서 34%에 달하는  $11 \times 10^6 \text{kl/y}$ 가 발전용이다.

발전 효율은 증기 발생용 水質 보일러의 構造 및 材質 등 여러가지가 있겠으나 그중 燃料의 燃燒效率가 가장 중요하여 이것과 相關한 性狀 및 燃燒現象에 대하여 기술하고 또한 국내에서는 이를 성능시험에 대한 制度的 장치 및 技法이 확립되어 있지 않아 성능 基準의 判定이 곤란한 실정이므로 측정 방법도 간단히 부연한다.

## 2. 重油의 性狀

重油는 產地에서 부터 점점 重質化되어가는 경향과 더불어 특히 국내사용 重油는 부분 B.C oil로서 정유 과정에서 常壓 증류탑 低油와 減壓 증류탑 저유가 대

부분으로 분해됨으로 얻어지는 중질분도 여기에 포함시키는데 아스팔트 이전의 검은색의 끈끈한 액체이다. 이렇게 다루기 힘든 燃料을 보다 節約하면서 잘 연소시키고자 하는데 우리의 노력이 요구되는 것이다.

액체연료가 버너의 手段을 통하여 燃燒爐內에서 좋은 燃燒效率를 올리자면 여러가지의 重要한 因子가 作用하지 않는 연료 粒子가 잘타서 充分한 熱量을 供給하기 위해서는 粒子가 微細하고 均一하게 分布되어야 한다. 즉 噴霧分散度가 좋아야 한다는 結論에 이르게 되며 이러한 條件을 充足시키기 위해서라면 연료에 요구되는 性狀은 낮은 점도, 밀도, 표면장력 및 높은 발열량이 되겠다. 점도는 貯油 탱크로부터 pumping 하는데는 약 800cst 이하가 되도록 豫熱해야 하며 버너에서 霧化(atomization) 시키는 데는 50csc 이하가 요구된다. 이를 도표에서 보면 각각 27°C와 75°C 이상이 되는데 (그림 1 參照)

결국 최하로 요구되는 점도가 B.C oil로는 이정도인데 일반적으로 粘度가 낮아지면 질 수록 霧化性能은 좋아진다.

B. Coil의 발열량은 9,850~10,820kcal/kg인데 이중 불순물의 양과 불포화 화합물의 양이 증가하면 발열량이 감소한다. 이외의 B.C oil의 성질로는 유황분 및 회분의 함량, 유등점, 잔류탄소, 수분, 인화점 등이 있으나 특별한 경우가 아니면 대강 K.S 규격이내에 들어 가기 때문에 생략하기로 하고 유황분과 회분에 대한 障害만 간단히 기술하고 넘어간다. 유황분은 3~4% 함유되어 있는데 SO<sub>2</sub>가 되어 低溫部에 응축하면

\* 動力資源研究所 燃料燃燒研究室長

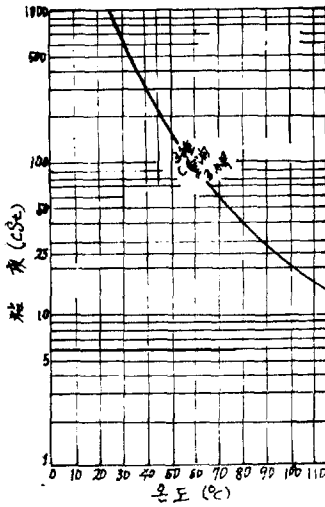


그림 1. B.C oil의 점도와 온도

강산화성에 기인한 腐蝕과 대기중에 배출 되었을 시는 空害를 유발한다. 회분은 不燃性 Si, Ni, Mg, Fe, Co 등의 金屬酸化物로서 버너 노즐의 plugging 등의 作動不良과 erosion 현상을 유발하고 가열면에 쌓여서 傳熱速度를 저하시키며 v와 Na는 고온부식의 원인으로 된다. 이들 장해 물질은 원유의 重質化 경향과 더불어 더욱 증가하리라 기대되기 때문에 耐蝕性 재질의 선택, 운전 조건의 再點檢, 잦은 청소 등으로 사용자가 지혜롭게 대처 해나가야 되리라 본다.

### 3. 액체 연료의 미립화

액체 연료의 미립화는 一定 용적의 연료가 차지하는 표면적을 가능한한 증가시켜 단위 표면적 당의 열전도율 및 기화율을 높여 액체 연료의 연소율을 향상시키는데 있다. 일반적인 방법으로 두가지가 설명 되는데 연료에 壓力을 가하여 구멍이 매우 작은 노즐을 통해 빠른 속도로 분사 되도록하는 壓力式 또는 加壓式이 있

고 연료에 가하는 壓力은 비교적 작으나 일정 두께의 연료유막을 형성시킨다음 고속의 공기와 접하도록 하는 공기 또는 증기분사식이 있다. 이 두가지 방법 모두 연료와 공기와의 相對速度를 크게 하므로서 두 流體 사이의 마찰저항에 의한 연료의 微粒化를 이루는 것이다. 이들의 미립화효율은 연료의 점도, 밀도, 표면장력과 주위의 공기의 속도에 영향을 받으며 사용하는 atomizer의 크기 및 형태에 따라서도 크게 영향을 받는다. 이때 우리는 미립화의 측정에서 SMD (sauter's mean diameter)를 사용하게 되는데 분무연료 液滴들에 의하여 차지하는 체적을 그표면적으로 나눈값을 의미하며 다음과 같은 수식으로 表示한다.

$$SMD = \frac{\sum nd^3}{\sum nd^2}$$

여기서 n은 분무연료 액적의 수이고 d는 분무연료 액적의 직경이다. 어떤 경우에는 MMD (mass mean diameter)를 취하는데 이것은 SMD와 다음과 같은 관계가 있다.  $MMD = 1.2(SMD)$

### 4. 平均有効粒徑의 측정방법

그러면 平均有効粒徑을 측정해야 하는데, 연소기기의 성능을 평가할 수 있는 중요한 尺度가 되는 것으로 常溫에서 고체상태로 존재하는 paraffin wax 같은 물질을 고온으로 가열하여 버너에서 噴射시키고 동시에 상온으로 冷却되면서 捕集된 입자들을 현미경으로 관찰하는 것과 일반연료를 사용한 분무액적을 액체질소에 포집하여 현미경으로 관찰을 하는 噴霧冷却法이 있는데 wax인 경우는 냉각응결때 체적이 커진다는 것과 액체 질소를 사용하는 경우는 액적들이 서로 응집되는 현상을 일으키는 短點을 갖고 있다. 다음으로는 고속순간 촬영법이 있는데 말그대로 0.1~1μsec의 극히 짧은 광원을 이용하여 噴霧燃料領域의 한부분을 촬영 확대 해석하는데 액적의 크기, 流動速度 및 그 방향을 동시 측정가능하다. (그림 2 參照)

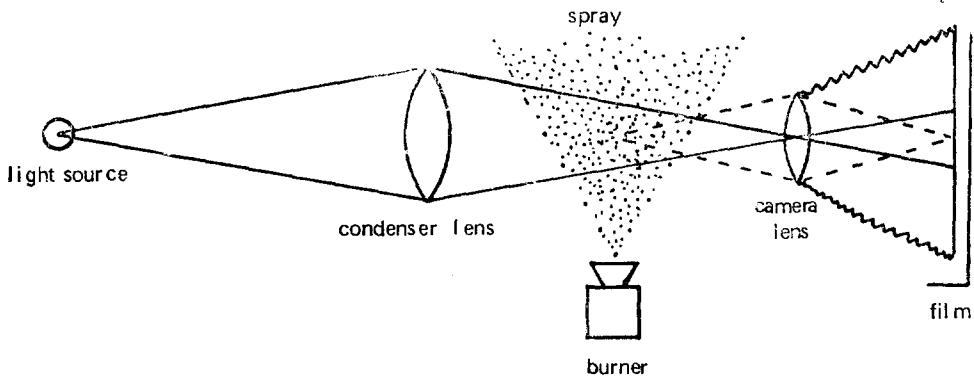


그림 2. 고속순간촬영법 구조도

이는 측정위치의 정확한 초점 확대촬영, 요구되는 작은 카메라의 深度등 실지로 여러번에 걸친 실험을 통해 숙달이 되어야 한다. 요즘은 필름에 나타난 액적을 해석할 수 있는 미국의 Parker-Haniff회사가 개발한 TV 분석기를 이용할 수 있는데 국내에는 아직 導入한 곳이 없다. 또한 고체의 얇은 薄板에 MgO 슬라이드를 만들거나 유리판에 silicone oil을 얇게 발라 필름을 형성하고 분무연료 액적을 순간적으로 포집, 현미경으로 확대 해석하는 衝突式 捕集法이다. 이방법도 여러번에 걸친 실험을 통해 경험적으로 확립되어야 하는데 액적이 2이상 겹쳐지는 現象을 피해야 하기 때문이다. 마지막으로 광학적 측정법이 있는데 전술한 缺點들을 모두 排除하면서 정확한 측정이 가능함과 동시에 측식에서 燃料液滴의 直徑을 측정하여 단시간에 많은 data를 구할 수 있다. 주로 單色光이나 레이저광을 사용하게되며 前方散亂光 強度比率法, 光量감쇄법, 간섭무늬법 및 廻折散亂光 측정법등이 여기에 속한다.

前方散亂光 強度比率法은 분무연료 액적에 의하여 산란된 散亂光의 強度가 광학 system의 중심 軸으로부터의 角度에 따라서 변화하는 현상을 이용한 것으로서 측정 system의 중심축에 대한 임의의 두角의 위치에서 측정된 산란광의 강도를 비교하여 분무연료의 크기를 결정하는 것이며 광량 감쇄법은 분무연료 액적에 의하여 흡수 또는 산란된 光量을 측정하여 액적의 입도를 결정하는 方法으로 실제 측정을 할 경우에는 일반적으로 광원이 갖고 있는 광량과 液滴群을 통과하여 나오는 光量과의 차를 측정하게 된다. 이방법은 액적에 의해서 발생하는 複合散亂의 영향을 크게 받지 않으며 측정에 요구되는 光學裝置가 비교적 간단하다는 長點이 있다. 여기서 사용되는 光源은 분무연료 액적이 투명할 경우에는 白色光을 이용할 수 있으나 일반적으로 서로 다른 파장을 갖는 2개 이상의 광원을 이용하여 分光學的 方法으로써 측정하고 있다. 간섭무늬법은 레이저 流速計(laser velocimeter)를 이용하는 方法으로서 단색성(monochromatic)응집성(coherent) 및 직진성(collimation)의 특성을 갖는 레이저

beam을 이용하는데 分離된 2개의 beam을 유속을 측정코자 하는점에 交叉하여 明暗이 뚜렷한 간섭 무늬를 형성시키고 측정 유체중의 매우작은 입자(0.1~5 $\mu$ m)가 이간섭 무늬를 통과할때 발생하는 散亂光을 감지하므로써 流速을 측정하는 것이 기본원리이다. 이때 유체중 입자의 유동은 流體의 流動에 충분히 민감하여 粒子의 유동은 바로 流體의 流動과 같다고 假定한다. 이때 유동입자에 의하여 산란되는 레이저 산란광의 전기적 信號는 입자의 크기에 따라서 변화한다는 사실로부터 입자의 크기를 측정하게 된다. 끝으로 廻折散亂光測定法은 입자크기를 측정하는 가장 신뢰성 있는 方法으로 Dobbins<sup>(2)</sup> 등에 의하여 처음시도 되었으며 여기서 그들은 上限分布함수(ULDF: upper limit distribution function)를 導入하여 噴霧燃料液滴의 平均有效粒徑(SMD)을 측정해석 하였다. 그들의 연구결과 분무연료 액적의 평균유효 입경에 따르는 회절 산란광의 強度變化曲線은 분무액적중에 존재 확률이 가장큰 액적이나 입자의 크기에 전혀 영향을 받지 않는다는 사실을 밝혀내고 따라서 분무액적의 평균유효 입경은 수광렌즈의 초점면상에서 중심축으로부터 이동거리 r와 그에 따르는 산란광의 強度에 의하여 결정할 수 있다는 結論을 내렸다. 실제로 광학 system의 중심축 상에서의 산란광의 강도가 1/10로 減少되는 점까지의 이동거리를 측정함으로써 가능하다. 그림 3은 측정 장치를 표시하고있다. 여기서 렌즈(I)와 렌즈(II)에 의하여 레이저 beam의 직경이 증가되도록하고 있는데 이것은 레이저 beam의 擴散에 의한 測定誤差를 감소시키기 위한 것이다. 또한 그림의  $\theta$ 는 입자에 의한 산란각도를 표시한다. 측정입자의 크기를  $d_{32}$ 라하면 다음식으로 부터  $d_{32}$ 를 결정할 수 있다.

$$\frac{\pi d_{32} \theta}{\lambda} = 2.647, \lambda \text{는 레이저 beam의 파}$$

$$\theta = \frac{r}{f_L} ; f_L \text{은 수광렌즈의 초점거리 } r \text{ 장}$$

지 이동거리가 되며

$$\text{따라서 } d_{32} = \frac{2.647 \times \lambda \cdot f_L}{\pi \cdot r} (\mu\text{m}) \text{로되면 된다}$$

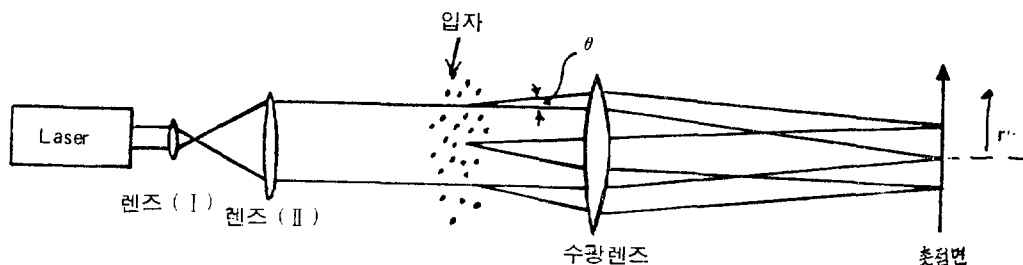


그림 3. 회절산란광 측정법의 구조도

### 5. 燃料의 燃燒

분무연료의 연소는 액체상태의 噴霧液滴과 燃燒用 공기가 亂流혼합되어 熱과 物質移動 및 化學反應이 동시에 일어나는 매우 복잡한 現象을 이루고 있다. 이외에도 연소실내부의 構造에 의하여 발생하는 不規則 가스 流動現象이 그 難解度를 加重시키는데 單一燃料液滴의 연소, 주입공기의 영향 연료액적의 크기 및 分布의 영향과 버너노즐의 영향이 모두 여기에 영향을 주는 因子가 된다. 분무초기에 액적의 流速 및 방향은 연소에 커다란 영향을 주게되며 이것은 바로 火炎의 安定性 形態 및 燃燒強度에 변화를 주고있다. 실제 발전용 보일러에서는 연소용 공기에 旋回운동을 주고 있는데 이것은 연소화연의 안정성 및 연소 強度를 높일 수 있다는 면에서 매우 有效하며 이외에도 화연의 形態(폭과 길이)를 조절하여 熱傳達효과를 좋게할 수 있다. 다음으로서는 액적의 加熱, 氣化 그리고 點火 및 火炎傳播의 과정을 거치게 되는데 이들분무 연료에서 가장 중요한 것은 분무액적의 크기 및 그 분포상태이며 이외 주위 연소가스의 溫度 및 流動狀態 연소실내의 壓力 및 온도 와 구조에 많은 영향을 받는다. 실제로 액적이 상당히 작을때(10 $\mu$ m이하)는 기체연료의 연소화연에 近似하게되어 연소효율도 비교적 높으며 액적의 크기가 증가하면 액적이 충분히 氣化하는데 소요되는 시간이 길어지므로 연소시간도 따라서 길어진다.

### 6. 結 論

噴霧연료의 연소효율을 향상시키기 위한 조건은 여러가지 있겠으나 실험적 연구를 통하여 일반적으로 알려진 바에 의하면 분무액적의 平均有效粒徑을 감소시키는 것이며 이외에도 분무액적과 연소용 공기와의 상호혼합을 증가시키기 위한 방법으로 공기 주입방법의

提高역시 요구된다. 전자의 평균유효 입경에 대한 감소노력은 보일러에 알맞는 버너를 선정할때 보일러의 形態나 使用目的에 따라서, turn down ratio, 연소기름량 爐內분위기, 노압, 연소용 공기의 예열, 사용하는 연료, 버너의 설치수, 제어방식등 여러가지 조건을 고려한 후에 이루어지는데 이러한 과정을 밟아서 選定될 버너가 구조적으로 우수한 設計가 되어 있어서 보일러에 裝着하기 전에 cold 상태에서 이미 좋은 性能을 가지고 있어야 한다.

국내의 버너 제작 현황은 4개사의 로터리 오일버너가 主宗이며 스팀젯트 버너도 생산되고 있으나 전타입 등은 모두 輸入에 依存하고 있다. 그런데 이들의 성능이 얼마만한 것인지에 대해서는 測定技法이나 性能檢定方法이 확립되어 있지않아 기술이 落後되어 있는 실정이다. 이에 한국동력자원연구소 에너지 분소에서 고효율 버너 및 보일러 개발에 착수한 것은 多幸한 일이며 아울러 본고가 보일러의 운전요원에 一考가 된다면 필자는 기쁜일이 되겠다.

### 參 考 文 獻

- [1] 버너의 무화도 향상에 관한 연구 ; 한국 동력자원연구소 에너지분소 연구보고서.
- [2] Dobbins R. Crocco, L. & Glassman Z. ; Measurement of mean partide sizes of sprays from diffractively scattered light, AIAA J. vol. 1, 1882. 1963.
- [3] Yule, A. Chigier N.A., Atakan, S. & Ungut A. ; Particle size & velacity measurement by laser anemometry, AIAA, Pager 77~214 15th aerospace sciemes meeting. 1977.
- [4] KS B 6313 오일버너 성능시험방법.
- [5] TIS B 8407 油バーナ 性能試驗方法.