

# 에멀존 (Emulsion) 燃料의 燃燒

辛 圭 緣

〈雙龍中央研究所 情報處理室〉

## 1. 序 論

에멀존燃料의 研究와 開發은 第2次大戰前부터 行하여졌다. 當時에는 火炎放射器나 燒夷彈燃料 등의 兵器를 對象으로 하는 것이었으나, 戰後에는 바뀌어서 安全, 低公害, 특히 省에너지時代의 要求에 따라서 에멀존燃料의 進歩는 끊임 없이 계속되어졌다.<sup>1)~6)</sup>

그러나 에멀존燃料가 排出가스의 NO<sub>x</sub>나 煙量을 감소시키고, 燃燒效率을 높이는 效果가 있다는 것은 定性的으로는 알고 있지만 化學動力學的 또는 燃燒學的으로는 아직 不明한 點이 많다.

使用方法을 간편하게 해주지 않으면 에멀존燃料의 特徵을 나타내지 않고 에멀존化에 따르는 코스트의 上昇, 非뉴우톤 流體이기 때문에 流量 制御나 噴霧의 어려움이 있다.

現在 問題點 등이 빨리 解決되어야만 하는 有望한 燃料인 것은 認識되어졌지만 지금까지 별로 에멀존燃料의 應用이 擔보상태인 것은 이러한 理由이다.

1976年 美國에너지研究開發局(ERDA)은 에멀존燃料를 重點研究課題의 하나로 잡고 西歐에 있어서도 最近 2~3年 동안 研究, 開發이 活潑하게 되어 왔다.<sup>7)~10)</sup>

한편 日本에서는 燃料시스템의 安全性向上이라는 當初의 目的으로부터 發展해서 最近 7~8年에 걸친 研究·開發의 업적으로서 水準이 상당히 向上되어 있다.

1, 5次에너지(加工燃料)로 불리우는 에멀존燃

料가 化石燃料의 一分野로서 妥當한 位置를 차지할 날은 그리 멀지 않다.

本稿에서는 實驗을 中心으로해서 최근의 文獻으로부터 발췌한 에멀존燃料의 特徵과 問題點을 記述하고자 한다.

## 2. 에멀존燃料의 構造와 噴霧性

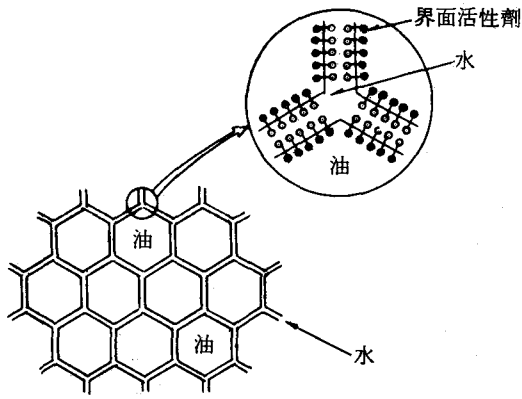
서로 섞이지 않은 物質의 代表로서 때때로 인용되는 油(Oil)과 물을 混合할 수 있는 唯一한 方法이 乳化(Emulsion)이다.

단순히 에멀존이라 하지만 그 構造는 多種多樣하며, 油과 물의 混合比는 特殊한 方法을 利用하면 油含有量이 99.4 vol%인 高濃度겔(gel)狀 그대로 無限하게 安定한 에멀존으로 할 수가 있다.

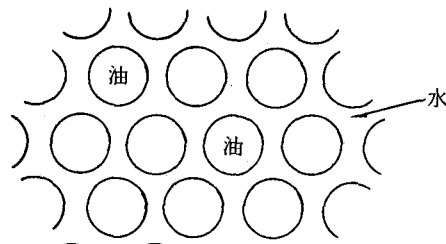
그러나 물의 存在에 의해서 低公害化하고 省에너지를 얻을 수 있는 것을 前提라고 하지만, 燃料濃度 60~90 vol%가 燃料로서 評價되는 範圍이기에 60% 以下の 燃料濃도에 있어서는 물의 蒸發潛熱에 의한 損失이 현저하며 燃燒效率의 低下를 일으킨다.

이미 주위에서 알고 있는 바와 같이 油과 물의 乳化構造에는 連續相과 分散相이 물과 油일 어느 쪽에 속하느냐에 따라 水中油滴形(O/W)와 油中水滴形(W/O)의 2種으로 크게 나누어 진다. (<그림-1> 參照).

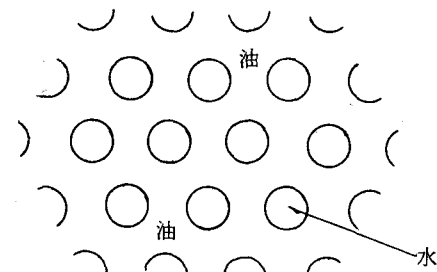
또한 安定性的의 問題·界面活性劑의 親水性, 疎水性의 밸런스(HLB)·使用溫度·使用目的·燃料의 種類 등에 의해서 O/W나 W/O를 만드는



(a) O/W型 (濃厚)



(b) O/W型 (希薄)



(c) W/O型

〈그림-1〉 에멀존 燃料의 構造

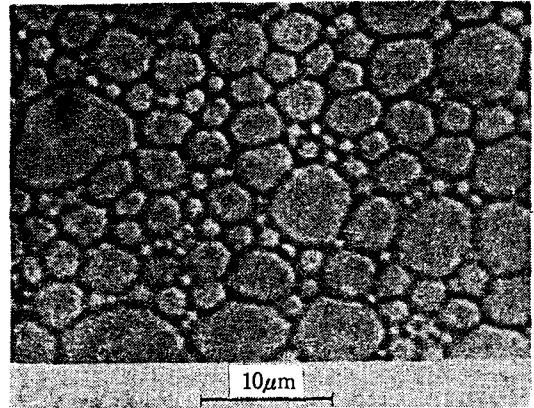
것이 普通이다.

O/W形 에멀존燃料의 構造는 〈그림-1〉에 표시한 바와 같이 燃料濃度 74 vol%를 分岐點으로 하여 그것보다 진한 경우에는 (a)에 근접하고 74 vol% 以下에서는 (b)가 된다. 前者의 分散相은 濃度가 높아짐에 따라 tetrakaidecahedron (14面體)<sup>1)</sup>과 球狀은 안되지만 dodecahedron(12面體)으로 되며, 油滴의 부라운運動은 전혀 정지한 狀態에 있는데, 제리狀의 徑모양으로서 겔 (gel)化燃料라고 말한다 (〈사진-1〉參照).

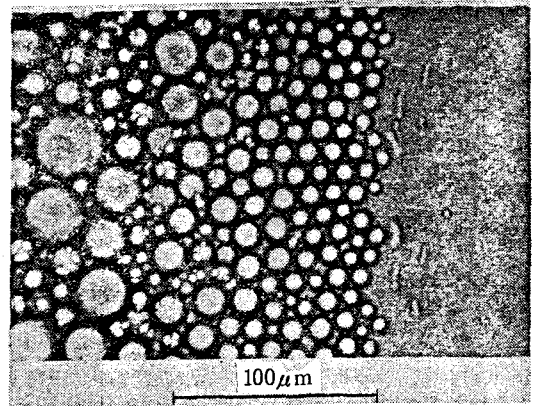
이 燃料를 噴霧하며는 管壁, 벨브狹隘部, 노즐 出口 등에서 강한 전단력을 받아 一部는 排液

(drainage)이라고 불리우는 에멀존 破壞가 일어난다.

따라서 噴霧式버너에 있어서 嚴密히 말하면 에멀존, 原材燃料내지 물로부터 되는 混合物을 燃燒시키는 것이 된다.



(JP-4 99.90 vol%, 水 0.66 vol%, 界面活性劑 0.34 vol%)



(輕油 86.73 vol%, 水 13.01 vol%, 界面活性劑 0.26 vol%)

〈사진-1〉 O/W 에멀존 燃料의 顯微鏡寫眞

(b)와 같이 물의 濃度가 比較的 높은 것은 噴霧시킬 때까지의 排液이 아주 적으므로 거의 에멀존散滴의 狀態로 燃燒室에서 燃燒한다고 생각한다. 단, 粒子相의 크기와 分布는 에멀존의 貯藏安定性에 密接한 關係가 있으며, 非뉴우톤 粘性을 變化시켜 펌프移送性, 噴霧性, 더 나아가서는 燃燒性에 影響을 미치므로 嚴重한 品質管理가 必要하고 거기에는 에멀존 製造技術이 要石이 된다.

(c)와 같은 W/O形 構造는 低公害化를 目的으로 하는 重油, 原油에 煤존에 주로 採用되어지고 있다.

重油에 包含되어 있는 아스팔텐은 이 에멀존을 만드는 有力한 界面活性劑이기 때문에 合成 界面活性劑를 특별히 使用하지 않아도 에멀존製造法의 進歩 덕택에 安定性이 높은 에멀존이 될 수가 있다. 원래 原·重油는 粘度가 높으므로 에멀존의 安定性이 높고, 이 type의 燃料은 tank로부터 噴霧할 때까지 排液에 대해서는 염려할 必要가 없다. 또 粘度가 에멀존化에 의해서 大幅으로 변하지 않으므로 버어너構造를 改良할 必要가 없다.

原·重油와 石炭粉으로부터 되는 slurry 燃料은 이른바 固體粒子分散系로서 粒子徑이 10~200  $\mu\text{m}$ 程度의 粗大分散系에 屬한다.

COM(Coal Oil Mixture)이라 불리워지는 이 燃料은 말할 것도 없이 確定埋藏量이 많은 石炭의 有効利用 때문에 脚光을 받고 있지만 그 idea는 戰前부터 있었던 것이다.

戰後는 물로 slurry化한 石炭粉, 金屬微粉을 加한 液體水素나 제트燃料의 研究가 行하여졌다. 이들은 각각 Pipe移送의 實現과 推進燃料의 性能向上을 목표로 하고 있다.

COM의 構造는 <그림-1>(c)의 分散相인 물을 微粉炭으로 置換한 것과 相當하고 分散媒인 原·重油에 대해서 40~50 wt%의 比率로 混合한다. 이 燃料에 對한 規格으로서는 3個月 以上 保存했을 때 微粉炭이 沈降·分離(Setting, Separation)를 하지 않는 것이 要請되고 있다.

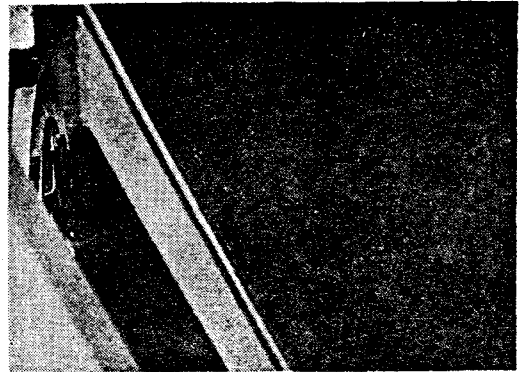
Shell石油 Group은 石炭粉表面層에 있는 微量物質이 分散劑가 되는 것을 알아내서 無添加方式에서 安定한 COM을 만들 수가 있다고 發表하고 있지만 石炭의 種類에 의해서 不安定한 Slurry밖에 되지 않는 위험이 있고 이러한 非水分散系 Slurry製造에 適合한 分散劑를 開發할 必要가 있다.

물론 石炭의 有効利用, 省에너지 내지 低公害의 一石三鳥를 노려서 물을 가하면은 分散劑를 添加하지 않아도 충분히 安定性을 갖는 Slurry를 만들 수 있는 可能性이 있다.

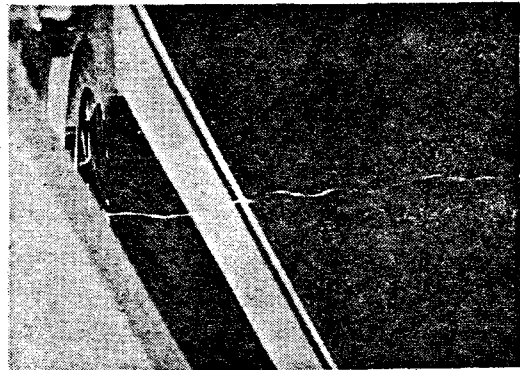
<사진-2>는 市販 보일러用 버어너에서 에멀

존화한 JP-4와 액체제로신의 噴霧狀況을 比較한 사진이다.

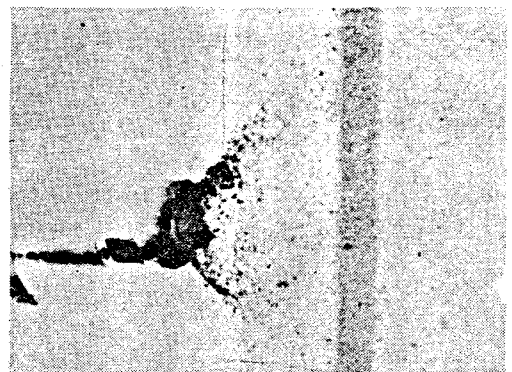
渦流器가 없는 버어너에서는 散滴이 전부 확산됨에도 불구하고 燃燒效率이 나쁘다. 특히 炭



(a) 게로신



(b) (JP-4 95%, 水 3.3%, 界面活性劑 1.7%)



(c) (JP-4 93.3%, 水 1.2%, 界面活性劑 0.5%)

<사진-2> 噴霧試驗의 一例 (a), (b) 集中暖房用 오일버어너, (c) 渦流器부착한 오일버어너

化水素 排出이 증가하는 위험이 있다. 따라서(사진-2)(c)에 표시한 바와 같이 渦流器가 부착된 버어너 利用을 에멀존燃料에는 권하고 있다.

COM은 전단응력에 敏感하므로 노즐에 도달하기전에 分離하면은 조그만 粒子集塊를 만들어 噴霧口를 채운다. 그것을 방지하는데에는 一般的으로 石炭粒度를 미세하게 하여 使用하는 것이 요망되지만 製造코스트의 上昇이나 분가루 爆發의 危險이 높고 見掛粘度가 크게 되고 噴霧한 途端에서 石炭과 오일이 分離하기 쉬워서 燃燒변덕, 過剩空氣의 增大 등의 難點이 생기기 때문에 200 mesh가 標準으로 되어 있다.

### 3. 에멀존 燃料滴의 燃燒

燃燒器에 噴霧되어진 에멀존燃料滴은 一部는 排液한 물과 原材燃料에 分離되어 있고 滴間相互作用도 複雜하고 典型的인 不均一 燃燒의 樣相이며 또 그 燃燒機構도 完全하게 解明되어 있지 않다.

그러나 獨立에멀존燃料滴의 燃燒과 慣用燃料滴의 燃燒 差異에 대해서는 몇 개의 報告가 있다. 1), 7), 8), 9)

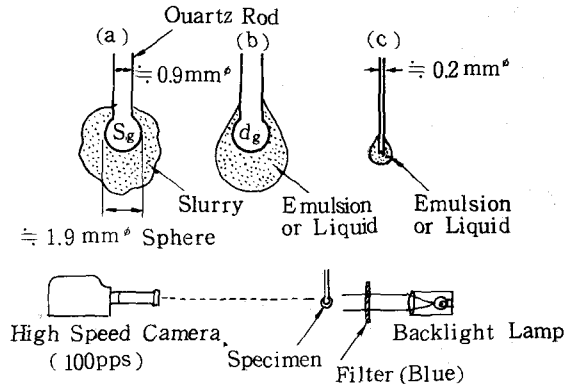
常識的으로 생각해서 燃燒에 대해서 不活性物質, 燃料의 稀釋劑인 물을 混合한 에멀존燃料의 燃燒速度低下는 免하기가 어렵다. 혹시 그렇게 되면 보일러나 엔진의 구조를 크게 바꾸지 않으면 炭化水素나 一酸化炭素의 排出量이 增加하므로 이 燃料의 採用에는 누구도 겁낼 것이다.

그러나 實際에 있어서는 그러한 염려는 전혀 없다.

<그림-2>에 표시한 바와 같이 古典의 方法으로 실리카 細棒에 붙인 에멀존燃料滴의 燃燒狀況을 사진으로 찍고 燃燒速度를 구해 보았다 (<사진-3>參照).

滴의 燃燒速度는 單純한 立場에서 보면 表面으로부터 燃料의 蒸發速度이기 때문에 滴의 表面積에 比例해야 한다.

거기에서 着火後의 經過時間을 橫軸으로 잡고 縱軸에 滴代表徑의 2乘( $d^2$ )을 잡아서 플롯트하면은 溫度와 霧圍氣에 있어서의 物質擴散과 熱傳達이 準定常狀態에 이룬 후에는 거의 直線



<그림-2> 에멀존燃料滴의 燃燒實驗裝置

상에 없었지만 이것은 溜出油燃料에 共通한 性質이다.

이 方法에 따라서 整理한 데이터, 즉 重油, 輕油, 게로신, 게로신과 가솔린의 混合物로 간주되는 젯트연료 JP-4 내지 n-옥탄의 順으로 燃料 $d^2-t$  曲線을 <그림-3>에 표시했다.

着火直後 에멀존燃料는 表面層이 火炎의 熱에 의해서 排液이 생겨 0.1~0.3mm 두께가 될 때까지 準定常燃燒에는 도달하지 않는다.

에멀존燃料 第I期에 있어서는 滴은 아주 작지만 膨脹이 일어나므로 見掛는 거의 一定하다.

慣用液體燃料滴 燃燒의 경우와 비교해서 第I期이 오래 걸리는 이유는 에멀존燃料滴 特質의 하나로서 排液과 蒸發 2개의 過程을 거친 후에 火炎面에 燃料이 供給되어지는 것이 지연되는 큰 理由이다.

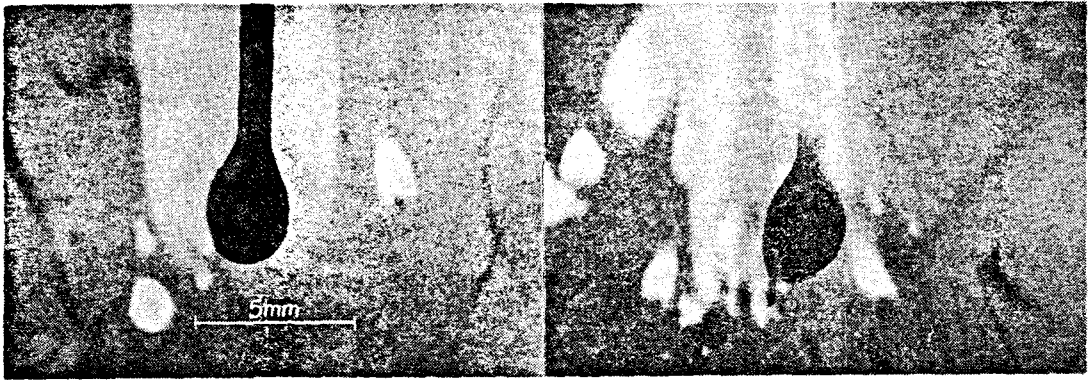
排液을 發熱過程이라 하고 蒸發熱과 비교하면은 전혀 問題가 되지 않는 量이지만 第I期の 蒸發速度를 律速하고 있다.

第II期는  $d^2$ 則이 成立하는 準定常燃燒領域이다. 燃燒速度定數(k)는 次式에 의해서 定義되어져 이 값에 의해서 慣用溜出油燃料滴에 대해서는 燃燒壽命을 推定할 수 있다.

$$d_0^2 - d^2 = kt$$

여기에서  $d_0$ : 第II期에 있어서의 滴의 初期徑  $d$ : 時刻 t에 있어서의 燃燒滴徑  $t$ : 第II期 開始로부터의 經過時間이다.

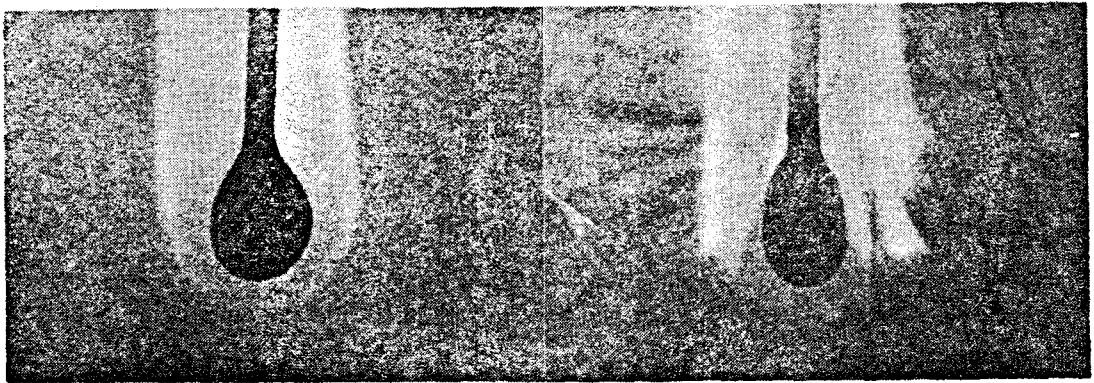
에멀존燃料의 k는 확실히 原材燃料의 k보다



點火後 0.4sec

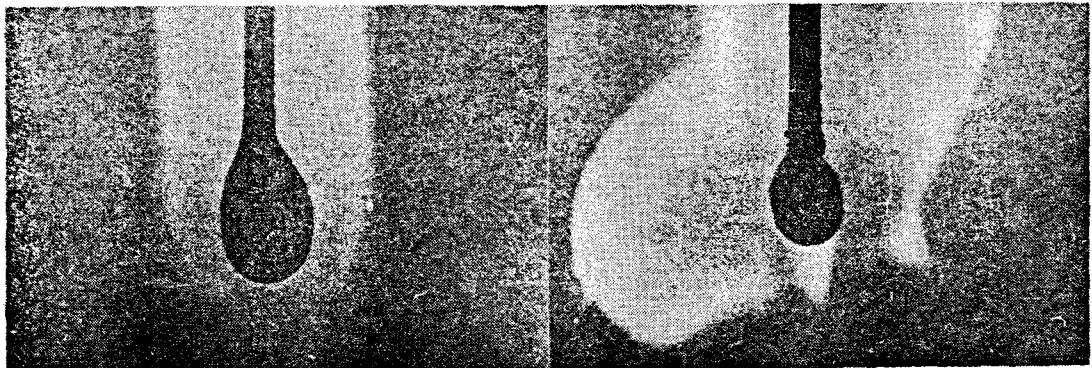
點火後 0.7sec

(a) C重油 90 vol%, 水 6.7%, 界面活性劑 3.3%



點火後 0.6sec

(b) 輕油 90 vol%, 水 6.7%, 界面活性劑 3.3%

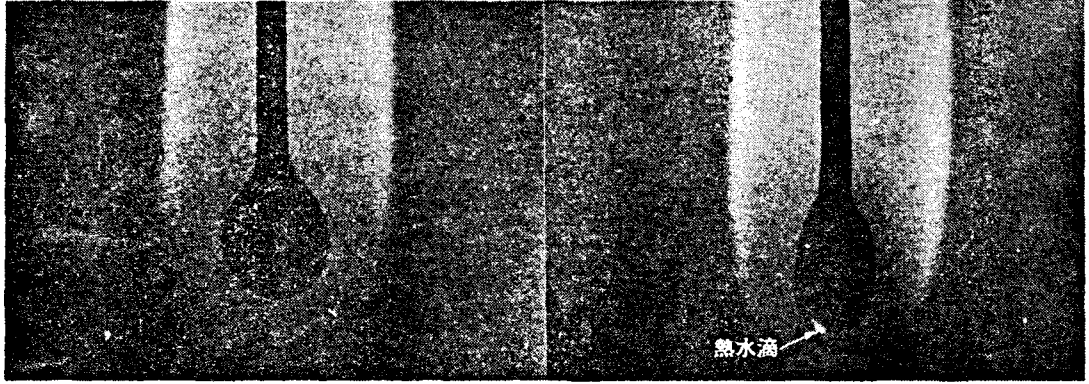


點火後 0.7sec

點火後 5.8sec

(c) 燈油 97 vol%, 水 2%, 界面活性劑 1%

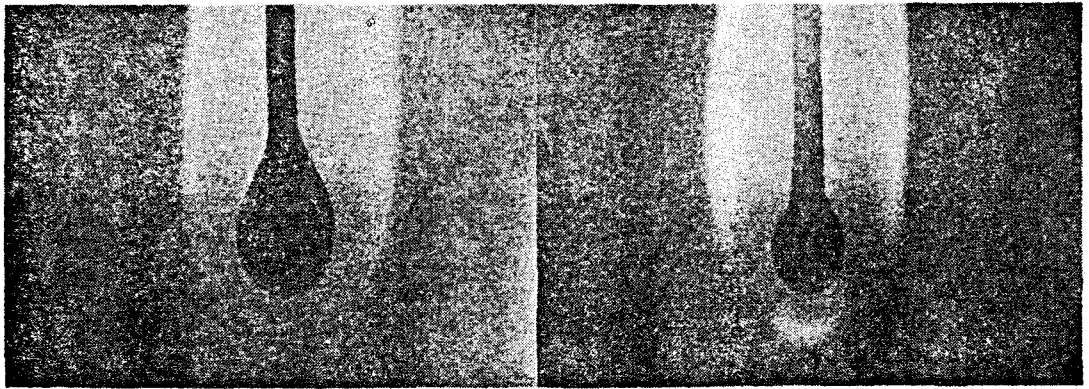
〈사진-3〉 O/W 에멀 존炭化水素 燃料滴의 燃燒寫眞(1)



點火後 0.6sec

點火後 3.2sec

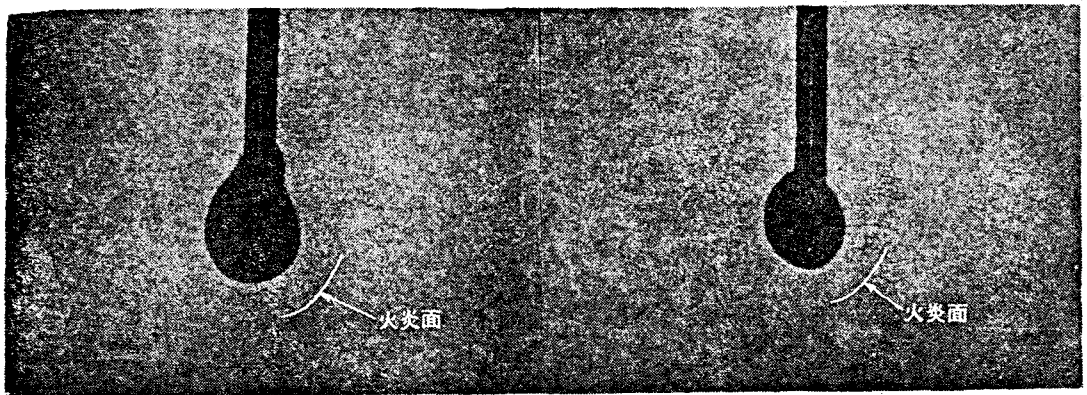
(d) JP-4 99 vol %, 水 0.67 %, 界面活性劑 0.33 vol %



點火後 0.6sec

點火後 5.2sec

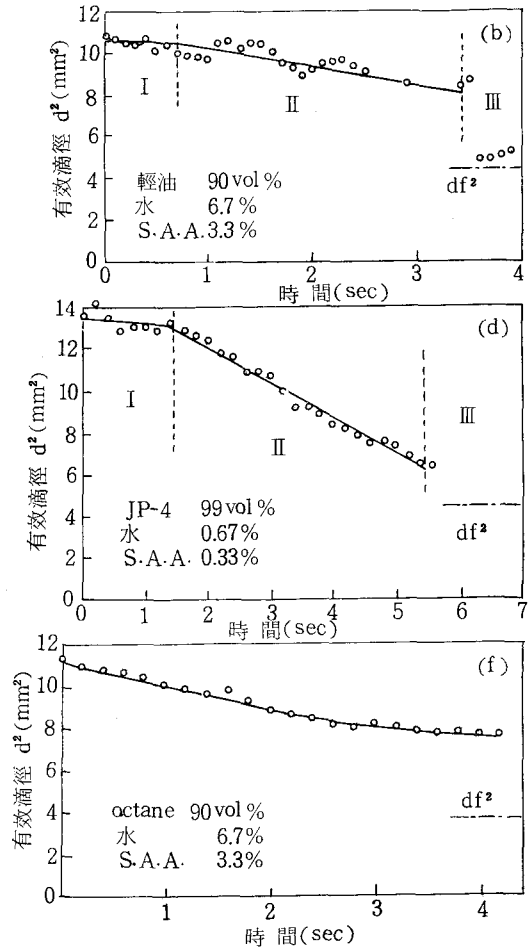
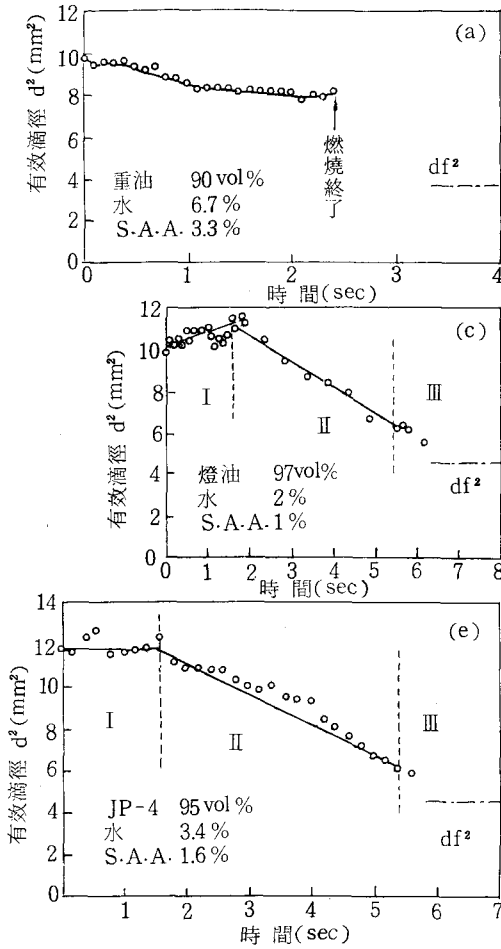
(e) JP-4 95 vol %, 水 3.4 %, 界面活性劑 1.6 %



點火後 0.8sec

點火後 2.5sec

(f) octane 90 vol %, 水 6.7 %, 界面活性劑 3.3 %



〈그림-3〉 O/W에멀존炭化水素 燃料滴의  $d^2-t$  曲線

작아서 이대로 推移해 보던은 燃燒壽命이 길게 되는 것은 당연하다.

그러나 에멀존燃料에는 第II期 後半부터 燃燒最終段階인 第III期에 이르기까지 마이크로爆發 (Microexplosion) 내지는 分裂 (Disruption) 이라고 불리는 이벤트가 나타난다.

이것은 點火되면서부터 排液에 의해서 增加된 遊離水가 마침내 沸點을 넘어서 마치 끊고 있는 오일이다 물을 떨어뜨렸을 때와 같이 熱水와 水蒸氣가 噴出하는 現象이다.

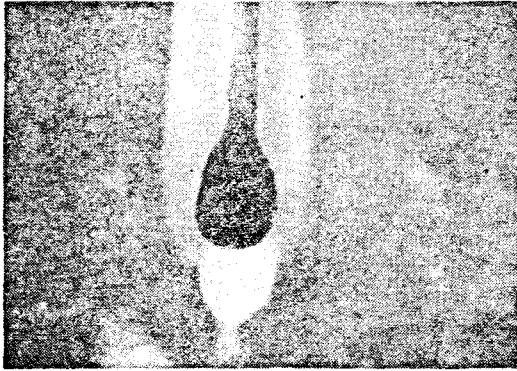
過熱狀態인 물과 수증기는 오일의 表面長力에 이겨서 噴出될 때 微小滴의 燃料를 同伴하든지 날아가든지 해서 微粒化混合을 促進한다.

그 結果 第I期과 第II期에서 燃燒狀態의 對應이 늦어지는 것과 燃燒速度定數가 적기 때문에 일어나는 質量燃燒速度의 遲滯는 第III期에 있는 噴出現象으로 回復될 뿐 아니라 燃燒壽命은 原材燃料보다도 단축되는 경우도 있다.

그러나 이 現象은 沸點이 125.6°C 물의 沸點에 가까운 n-octane 에서는 볼 수 없다 (사진-3(f)).

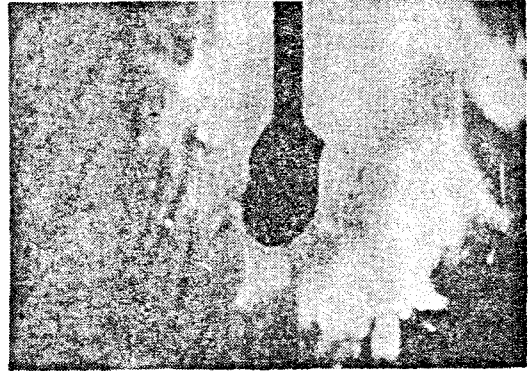
〈사진-4〉에 軸油 또는 C重油 微粒炭에 물을 첨가, 界面活性劑에 의해서 에멀존시킨 燃料滴의 燃燒사진을 표시했다.

COM 燃燒의 特徵은 製造法과 組成이 適切할 때는 母滴表面으로부터 均等히 灼熱된 微粒이



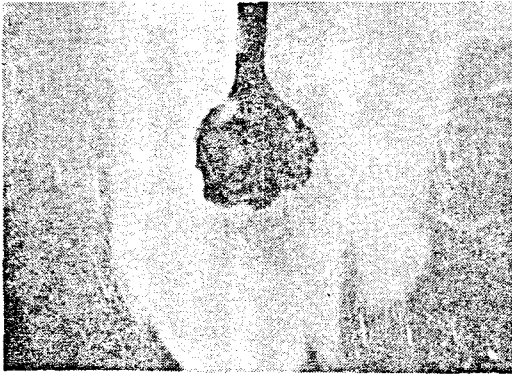
點火後 0.6 sec

(重油 95% 에멀존, 微粉炭 NATAL > 200 mesh)



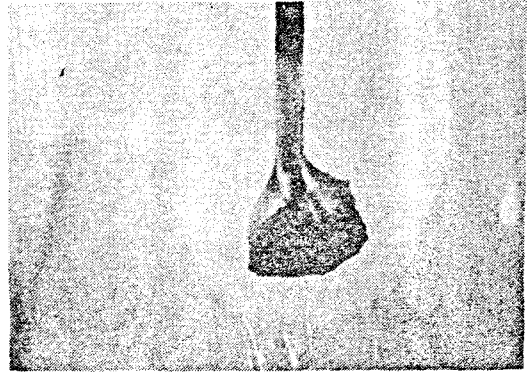
點火後 0.4 sec

(重油 95% 에멀존, 微粉炭 夕張 < 150 mesh)



點火後 0.5 sec

(輕油 90% 에멀존, 微粉炭 NATAL > 200 mesh)



點火後 0.2 sec

(輕油 90% 에멀존, 微粉炭 夕張 < 150 mesh)

〈사진-4〉 O/W 輕油, 내지 C 重油 에멀존과 微粉炭과  
의 slurry 燃料滴의 燃燒 (에멀존燃料과 微  
粉炭의 重量混合比 1 : 1)

放出되어 粗密集團을 만들어 局部的으로 酸素  
不足으로 일어나는 不完全燃燒가 없고 石炭의  
燃燒效率을 현저하게 增大시키는 點이다.

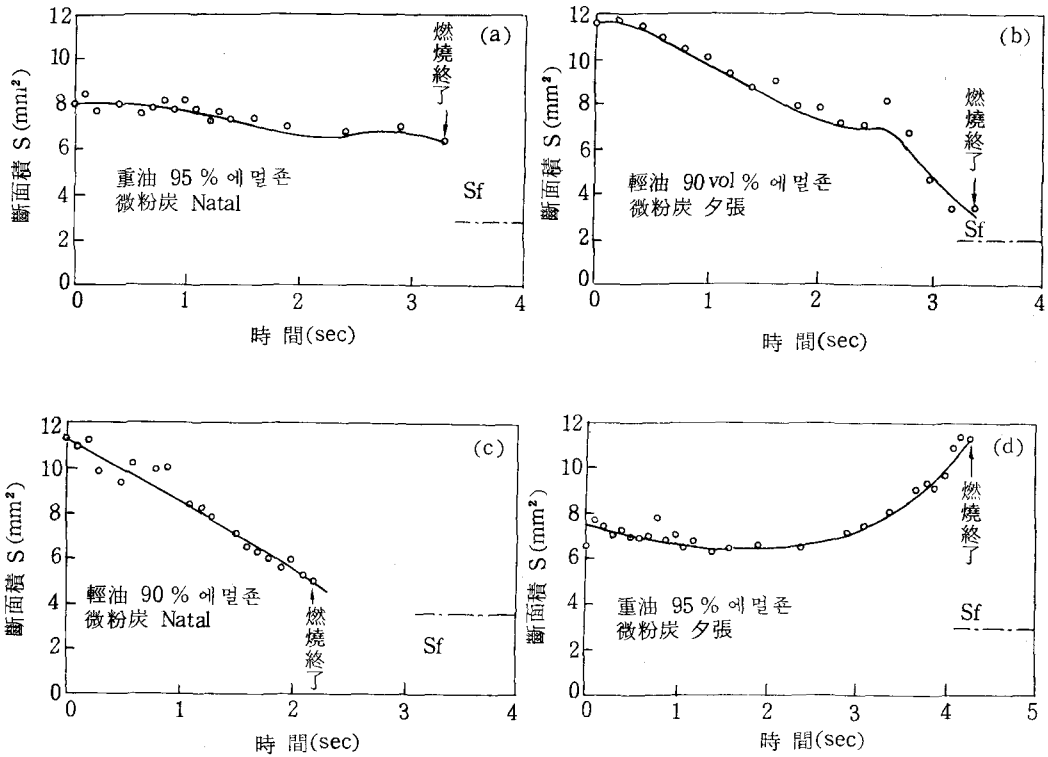
또 에멀존燃料 燃燒末期에 일어나는 마이크로  
爆發 또는 分裂은 당연히 重油系 COM 에 있어  
서도 일어나는데 원래 燃料의 粘度가 높아서 격  
하게 일어나기도 한다.

輕油系 COM 燃燒運動은 50 wt% 정도의 多

量의 微粉炭이 混合되어져도 O/W 또는 W/O  
輕油에멀존滴의 燃燒運動과 本質的으로 변하지  
않는다.

그러나 重油系 COM 경우의 量은 若干 減少  
해서 多孔性炭素 찌꺼기가 生成하고, 燃燒途中에  
Cracking에 의한 低級炭化水素의 部分燃燒가  
있기 때문에  $d^2$ 則은 정확히 들어 맞지 않는다  
(〈그림-4〉參照).





〈그림-4〉 Slurry 燃料滴의 s-t 曲線 (에멀존 燃料 : 微粉炭 = 1 : 1)

#### 4. 에멀존燃料을 使用한 燃燒器의 排氣가 스

低公害燃料로서의 에멀존燃料의 評價는 정해져 있다고 말할 수는 없지만 NO<sub>x</sub> 煙 내지 炭化水素排氣量에 대한 低減效果는 물과 燃料의 比가 同條件인 경우 水噴射法보다 훨씬 우월하다.

NO<sub>x</sub> 는 一連의 Zeldovich 素 反應機構에 의해서 燃燒溫度上昇과 더불어 發生量이 增加하는 Thermal NO, 火炎帶 前面으로부터 後流方向의 아주 적은 領域에서 HCN, CN 등의 시안이나 CH, O, N 등의 래디칼이 橋渡해서 突發적으로 量이 增加하는 Prompt NO, 또 燃料속에 本來 微量 包含되고 있는 有機窒素化合物이 Cracking 한 後 空氣中の 酸素와의 反應에서 되는 Fuel

NO인 세개의 生成過程 루트가 있다.

에멀존燃料中の 물은 單純히 생각하면은 물의 蒸發과 加熱에 有效엔탈피가 빠앗겨 燃燒溫度를 低下시켜 Thermal NO의 抑制에 관련된다라고 說明할 수 있지만 그것만으로는 충분하지 않다. 에멀존滴으로부터 噴出하는 熱水와 過熱水蒸氣가 觸媒效果 또는 直接反應에 관련해서 NO發生의 原因이 되는 火炎面直後에 濃度가 急增加하는 시안류나 활성래디칼의 生成을 억제한다. 즉 Prompt NO의 減少에 寄與하고 있다는 假說도 있다.<sup>10)</sup>

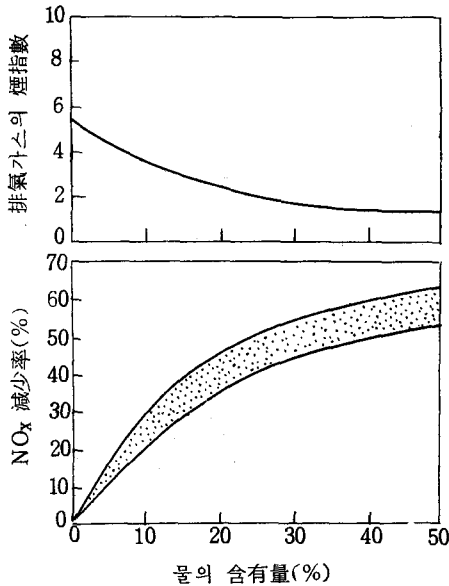
水噴射法은 條件에 의해 다르겠지만 火炎面上流의 燃料가스 또는 豫混合氣流中에 均一한 噴射를 하는 것이 어려워서 Thermal NO에 대해서는 물론이고 Prompt의 抑制에도 效果가 적다.

C重油를 태우는 燃燒器에서는 NO가 水噴射에 의해서 增加한다는 報告도 있다.<sup>11)</sup>

Fuel NO 抑制에 있어서의 에멀존화의 影響은 또한 확실치 않다. 단, 水相에 암모니아나 低級아민류를 混合해서 NO를 還元하려는 시험이 있는데 若干의 效果는 期待되어진다.

<그림-5>는 三菱디젤·트럭(排氣量 2,659 ml)에 에멀존輕油를 使用했을 때 NOx와 煙의 發生量에 대해서 水分混合率을 파라미터로서 표시한 것이다.

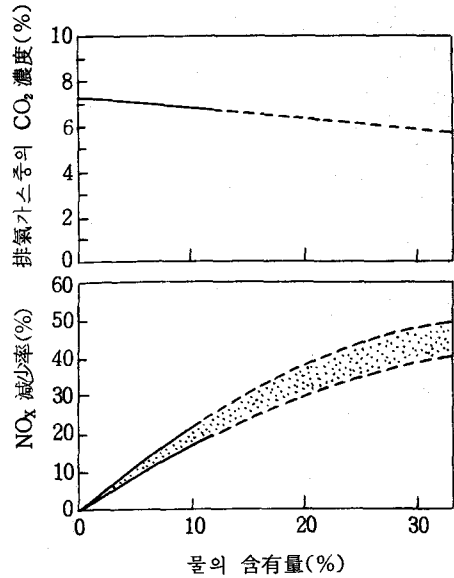
이 경우 원래 目標인 NOx 排出量의 30% 減少를 達成하기 위해서는 20 vol%의 물을 混合하지 않으면 안되지만 엔진側에서 改善을 시켜 燃燒效率이 最高되는 물 10 vol%일 때의 에멀존輕油組成이 좋다.



<그림-5> O/W 에멀존輕油를 使用한 에멀존의 排氣가스特性

<그림-6>은 集中暖房보일러(前田鐵工색손날 보일러, 燃料消費量 140ℓ/h)에서 에멀존燈油를 燃燒시켜 NOx 減少率과 炭酸가스濃度を 測定한 結果이다.

炭酸가스濃도로부터 구한 熱效率은 예로 水分 2.4%, 界面活性劑 0.3%, 燈油 97.3%의 組成에 있어서 83.9% 燈油만을 태울 때의 熱效率 84.0% 測定精度內에서 一致한다.



<그림-6> O/W 에멀존燈油를 使用한 보일러의 排氣가스特性(過剩空氣率一定)

輕油, 重油에멀존과 COM에 있어서 注目할 일은 排氣가스의 煙濃도가 原材燃料를 태운 경우와 比較해서  $\frac{1}{2}$  以下로 抑制되는 일이다. 그것은 물이  $C+H_2O \rightleftharpoons CO+H_2$ ,  $C_mH_n+mH_2O \rightleftharpoons mCO+(m+n/2)H_2$ 와 같은 水性가스反應을 右側으로 進行시키는 것을 意味하고 있다.

輕·重油를 使用하는 固定燃燒裝置, 디젤·엔진을 搭載하고 있는 버스나 트럭에 의해서 생기는 煙에 의한 公害는 가까운 시일내에 規制가 엄해될 것이 豫想되어 이런 면에서 에멀존燃料의 燃燒가스特性이 얻을 수 있는 역할은 크다.

## 5. 結 論

以上 에멀존燃料의 噴霧性, 單獨滴의 燃燒性 내지 排氣가스特性에 대하여 概觀했다. 그러나 에멀존物性, 界面化學的 性質에 깊숙히 들어가서의 近代的手法에 의한 燃燒研究는 아직 처음 단계이므로 이 燃料의 燃燒特徵을 完全하게 記述하고 있다고는 말할 수 없다. 거기에는 레오로지학에 의한 管内流動과 噴霧性的 解明, 에멀존滴이 燃燒中 內部에서 일어나는 相轉移, 미셀에

있어서 물의 可溶化率의 增加 또는 減少, 曇點을 通過할 때의 에멀존運動 등 界面化學的 問題의 理解를 바탕으로 해서 에멀존燃料의 熱分析, 火炎構造, 素過程, 生成가스와 溫度의 分布, 滴問의 相互作用 등 今後의 研究課題에 취급하지 않으면 안된다.

그러나 에멀존燃料滴이 燃燒末期에 熱水와 過熱水蒸氣를 噴出해서 母滴이 微小滴을 放散 또는 微小滴에 分裂해서 空氣와의 混合을 改善, 燃燒時間을 短縮하고 엔진에 있어서 燃燒效率을 높이고 디젤·엔진과 固定燃燒裝置 어느 것에 있어서도 煙濃度의 減少에 貢獻하는 것, 그래서 적어도 20~30%의 NOx 低減에 寄與하는 것이 確實하다.

COM은 에너지政策中에서 重要한 役割을 하리라 期待되고 있다. 탱크의 貯藏, 파이프移送, 노즐로부터 噴出했을 때 沈降이나 分離를 일으키지 않는 높은 安定度를 가질 수가 있다면 COM의 固定燃燒器에의 應用은 煙의 排出量이 적어서 石炭의 燃燒法으로서는 魅力的인 方法이다.

이런 種類의 燃料欠點은 케첩에 의해서 노즐이 닫혀질 때 粒子群의 空間分布가 편중해서 燃燒끄으름이 생기기 쉽다는 것이다.

今後 微粉體의 粒度, 水의 混合率, 分散劑·에멀존의 調製法 등에 대해서 精力的인 研究가 內·外에서 行하여질 것이라고 豫想된다. COM의 燃燒性能은 이러한 研究의 進涉狀況에 의해 개혁되어서 올바르게 진보될 것이다.

〈資料: 熱管理와 公害 Vol. 29(12)  
pp. 14~23 (1977) (日本)〉

## 參 考 文 獻

- 1) 岩間彬ほか: 東大宇宙航研報告 7, 2 (B), 580~603 (1971)
- 2) 同 上 : 東大宇宙航研報告 8, 2 (B), 419~425 (1972)
- 3) 同 上 : 東大宇宙航研報告 9, 2 (C), 582~586 (1973)
- 4) 同 上 : 燃料協會誌 51, 2, 79~95 (1972)
- 5) K. J. Lissant: Proceedings of Aircraft Fluids Fire Hazard Symposium, 1966, pp. 165~176
- 6) A. Iwama et al: U.S. Patent 3, 850, 586 1974
- 7) 乳化コロイド燃料特別講演會要旨: 1977年 9月, 燃料協會
- 8) M. T. Jacques: Combustion and Flame 29, 77~85 (1977)
- 9) M. T. Jacques et al: 16th symposium on Combustion, pp. The Combustion Institute (1977)
- 10) C. P. Fenimore: Combustion and Flame 26, 249~256 (1976)
- 11) K. J. Lissant: "Emulsions and Emulsion Technology Vol. 6 Part 1, pp. 1~69 1974 Marcel Dekker Inc., N. Y.

