

液体 微粒化의 方法과 特性

Method and Characteristics of Liquid Atomization

李 忠 遠

1. 序 論

液體의 微粒化는 機械産業分野 뿐만 아니라, 농약 살포, 화학 공학의 분무건조, 반응의 촉진,粉體製造, 食品工業 등 폭넓게 利用되며 또한 各分野에서 그 必要性이 강조되고 있다. 특히 機械産業分野에서는 液體燃料의 噴霧燃燒(boiler, gas turbine, 自動車用engine등) 原子炉 炉心の spray cooling, spray drying, spray painting 등 그 利用度는 날로 增加되는 추세에 있다.

液體를 微粒化하는 理由는 各各의 分野나 使用하는 目的에 따라 다르지만, 大別하면 다음과 같다.

- (1) 液體의 單位 體積當 表面積을 增大시키기 위하여
- (2) 直徑이 작은 粒子의 必要性
- (3) 均一한 粒徑의 液滴群을 얻기 위하여

등을 들 수 있다. 예를 들면 液體燃料의 噴霧燃燒의 경우는 表面積을 될 수 있는 한 넓혀 化學反應을 促進시킬 必要가 있으며, 또한 짧은 시간 내에 燃燒를 끝내기 위하여서는 噴霧粒子가 될 수 있는 한 작은 粒徑群이 要求된다. 농약살포의 경우에는 사용장소의 기후조건 특히 風速에 따라 適當한 運動量을 갖는 液滴을 만들어 약품이 植物의 잎에 도달할 수 있도록 하여야 하며, spray painting에서는 粒徑이 작고 均一한 粒子群이 要求된다.

이와 같이 液體의 微粒化에 대한 要求는 産業의 發達, 대기오염, 省energy 등의 問題가 重要視됨에 따라 多樣化되고 있다. 따라서 應用面에서는 atomizer의 性能改善과 設計法, 새로운 微粒化方法, 産業에의 噴霧利用技術, 噴霧計測法 등의 開發이 必要하게 된다.

液體微粒化에서 취급하는 事項은 그 內容에 따라 다음과 같이 分類된다.

- (1) 液體의 微粒化機構: 氣液界面의 不安定性과 分裂機構에 관한 것으로, 液體形狀으로써 液柱, 液膜 및 液滴으로 나눌 수 있다.
- (2) 液體의 微粒化 方法과 特性: energy의 種類와 附加方式에 따라 나누어 진다.
- (3) 合體, 分散, 蒸發 등 噴霧의 運動이나 熱的 舉動
- (4) 噴霧粒徑이나 運動의 計測法과 特性表示
- (5) 液體微粒化의 各種應用

本報에서는 上記의 各項目中, 특히 液體의 微粒化方法과 噴霧特性에 대해서만 말하기로 한다.

2. 微粒化 方法

液體의 微粒化方法은 오래전부터 研究되어 왔으며 各分野의 用途에 따라 적합한 方法을 使用한다. 液體의 微粒化에 있어서 液體에 부가되는 energy의 種類, 크기 및 導入方法 등에 따라 微粒化機構 또는 微粒化 特性이 左右된다.

液體의 微粒化 方法은 一般의 液體에 주어진 energy의 種類에 따라 分類된다. 즉,

- (1) 高壓에 의한 微粒化
- (2) 高速氣流에 의한 微粒化
- (3) 高速回轉에 의한 微粒化
- (4) 振動에 의한 微粒化
- (5) 超音波에 의한 微粒化
- (6) 靜電氣에 의한 微粒化
- (7) 衝突에 의한 微粒化
- (8) 沸騰에 의한 微粒化

등이다. 以下 上記의 微粒化 方法에 대하여 간단히 설명한다.

2.1 高壓에 의한 微粒化

液體에 높은 壓力을 加하여, Nozzle의 작은 구멍으로부터 靜止空氣, 혹은 旋回하는 空氣中에 高速으로 噴出시켜 주위 氣體와 液體의 사이에 생기는 相對速度에 의해서 液體가 分裂을 일으키도록 한 것이다.

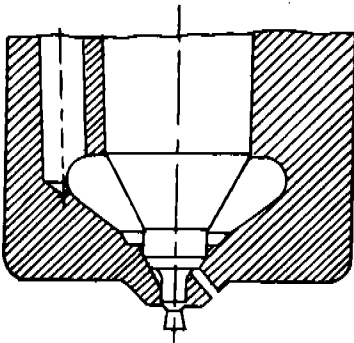


Fig. 1. Pintle nozzle

이 方法은 實用的으로 다른 微粒化 方法보다 오랜 歷史를 가지고 있으며, 燃燒裝置, 噴霧乾燥 各種의 噴霧器 및 內燃機關의 噴射弁¹⁾ 등으로 널리 利用되고 있다. Fig. 1에 diesel engine의 噴射弁으로 現用되고 있는 pintle nozzle을, Fig. 2에 直接 噴射式 gasoline engine에 使用되고 있는 電子噴射式 nozzle(EFI nozzle)²⁾을 表示한다.

2.2 高速氣流에 의한 微粒化

高壓에 의한 微粒化 方法은 靜止된 氣體 內에

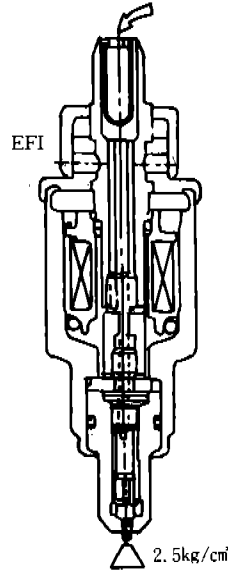


Fig. 2. EFI Nozzle

高速液流을 噴出시키는 반면, 이 方法은 靜止 혹은 層流로 흐르는 液流에 平行 또는 어떠한 角度로 高速氣流을 흐르게 하여 液流을 分裂시키는 方法이다. 氣流을 利用하는 噴射弁에는 氣流의 種類, 또는 導入方式에 따라 空氣式, 蒸氣式, 內部混合形, 外部混合形으로 나눌 수 있다.

이 方法의 應用은 自動車用 氣化器에 있어서 gasoline의 微粒化에서 찾아볼 수 있으며, 高壓에 의한 微粒化 方法의 應用과 같이 連續 燃燒裝置 및 噴霧乾燥 등에서 使用된다. 各種의 實用形 2 流體 噴射弁³⁻⁴⁾이 開發되어 있으며, 그 代表的인 Y jet nozzle⁵⁻⁶⁾을 Fig. 3에 表示한다.

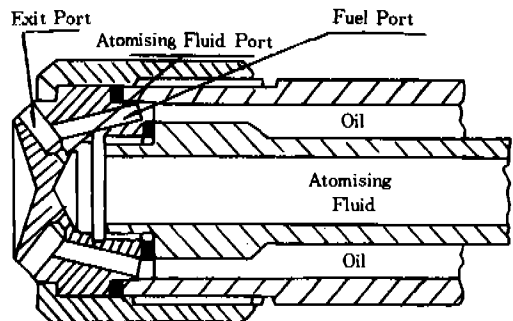


Fig. 3. Y Jet Nozzle

2.3 高速回轉에 의한 微粒化

高速으로 回轉하는 회전체에 液體를 導入시켜 遠心力에 의해 回轉體 周緣으로부터 液體를 飛散시켜 微粒化 하는 것으로, 이 方法을 채용한 rotating disc, rotating cup 등 회전식 atomizer 는 spray drying, 燃燒裝置, 蒸發器, 纖維製造 등에 사용된다. Fig. 4에 rotating cup atomizer⁷⁾의 개략도를, Fig 5에 실제로 spray drying에 사용하고 있는 rotating cup atomizer를 表示한다.

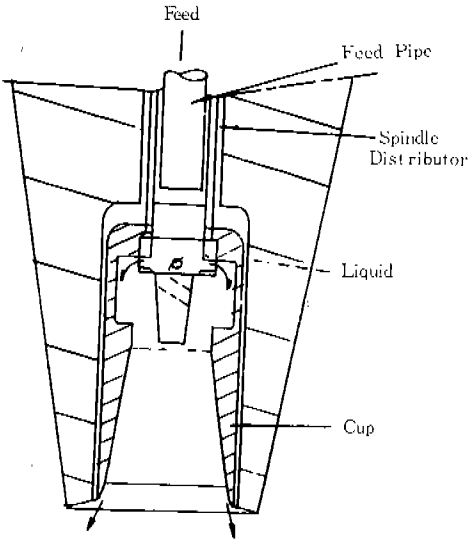


Fig. 4. Rotating Cup Atomizer

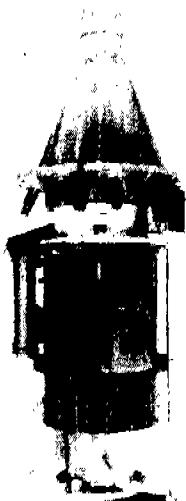


Fig. 5. 實用 Rotating Cup Atomizer

2.4 振動에 의한 微粒化⁸⁾

低速으로 噴出하는 液流에 可聽周波數의 機械的 및 電氣的으로 加振하여 液柱를 分裂시키는 方法이다. 이 方法은 縱振動 또는 橫振動의 周波數 범위에서 均一한 液滴이 生成된다. 이 均一한 液滴生成을 利用하여 單一液滴의 物質傳達, 燃燒 및 液滴 수송과정 등의 기초적 연구에 應用된다. Nozzle의 縱振動에 의한 均一液滴 生成 狀態를 Fig. 6에 表示한다.

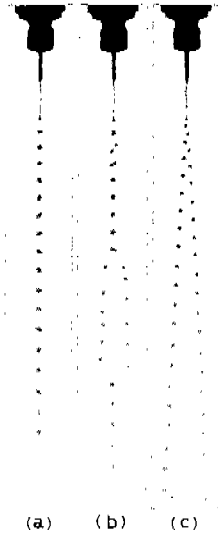


Fig. 6. 振動에 의한 均一液滴 生成狀態

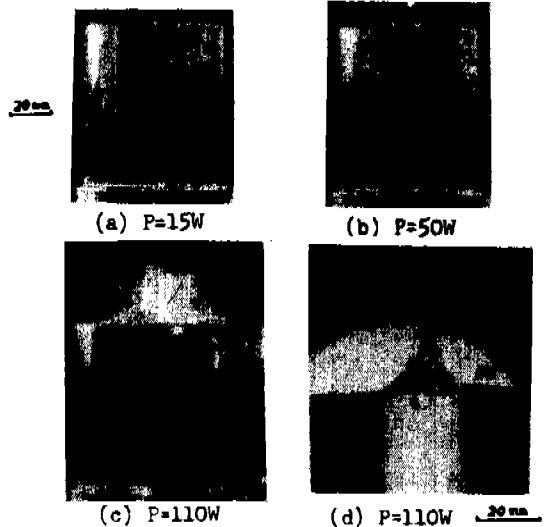


Fig. 7. 超音波에 의한 分裂現象

2.5 超音波에 의한 微粒化^{9,10)}

上記의 振動에 의한 微粒化가 可聽周波數를 利用한 반면 이 方法은 超音波를 利用하여 液體를 分裂시키는 方法이다. 超音波 微粒化 裝置는 燃焼, 空氣調和, 塗裝, 醫療, 農業, 家庭用品 등 널리 利用되고 있으며, 今後 利用範圍가 擴大될 것으로 생각된다. Fig. 7에 超音波에 의한 分裂 現象을 表示한다.

2.6 靜電氣에 의한 微粒化

液體 nozzle에 高電壓을 印加하여 nozzle과 接地間에 電位勾配를 주면 液體는 靜電氣力에 의해 分裂하며, 多樣한 微粒化 模樣을 表示한다. 이러한 靜電微粒化는 주로 靜電塗裝¹¹⁾에 應用되어 왔으며, 적당한 印加電壓을 주면 Fig. 8과 같이 均一液滴群을 生成하기 때문에 최근 振動法과 같이 ink jet printer에도 實用化되고 있다.

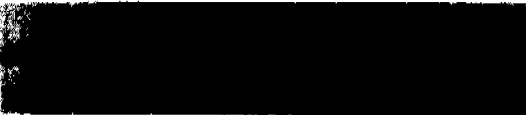


Fig. 8. 靜電微粒化에 의한 均一液滴 生成模樣

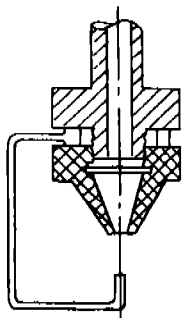


Fig. 9. 衝突噴射弁

2.7 衝突에 의한 微粒化

이 方法은 液體와 液體 또는 液體와 固體를 衝突시켜 分裂시키는 方法이다.

Fig. 1에 衝突噴射弁을, Fig. 10에 液滴衝突에 의한 微粒化現象¹²⁾을 各各 表示한다.



Fig. 10. 單一液滴의 壁面衝突에 의한 微粒化現象

2.8 沸騰에 의한 微粒化

系內에 過熱液體를 두고 系의 壓力을 過熱液의 飽和壓力 以下로 減壓하면 폭발적인 沸騰이 일어난다. 이 現象을 利用하여 液體를 分裂시키는 方法이다. Fig. 11은 單孔 nozzle로부터 約 1 MPa의 噴射壓에서 過熱度를 變化시켜 물을 噴射했을 때의 減壓沸騰 微粒化의 模樣¹³⁾을 表示한다. 水溫이 高溫이 될 수록 液中の 蒸氣泡 發生頻度와 氣泡의 成長速度가 增大하여 液體는 瞬間적으로 分裂해서, 平均粒徑이 50 μm 정도의 良好한 噴霧가 生成된다. 實用面에서는 메타놀을 燃料로 한 自動車用 engine의 cylinder內 燃料噴射¹⁴⁾에 減壓沸騰을 利用해서 engine의 性能向上을 위한 연구가 있다.

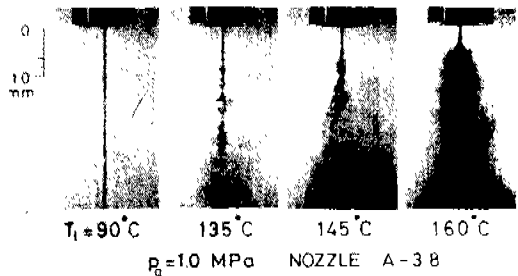


Fig. 11. 減壓沸騰에 의한 過熱液의 微粒化

3. 微粒化 特性의 表示方法

여러가지의 噴霧裝置로부터 微粒化된 噴霧群은 數 μm 로부터 數百 μm 까지 無數히 많은 粒子로 構成된다. 예를 들면 1 cm^3 의 液體가 直徑 10 μm 의 粒子로 分裂했다고 하면 그 個數는 무려 1.91×10^8 個나 된다. 이렇게 많은 粒子群을 어떻게 表現하는가가 微粒化의 問題를 研究하는데 重要한 因子가 된다. 噴霧特性은 다음과 같이 7個 요소로 表示할 수 있다.

- (1) 平均粒徑
- (2) 粒度分布
- (3) 噴霧角
- (4) 分散量
- (5) 貫通度
- (6) 噴射率
- (7) 流量係數

이들의 特性은 噴射弁 固有의 特性인 것과, 周圍의 關係에 의해 決定되는 것이 있지만 噴射弁 開發에 重要한 問題가 된다.

3.1 平均粒徑

廣範圍한 粒徑을 갖는 粒子群을 Fig. 12와 같이 어떠한 均一한 粒徑으로 바꾸는 조작이 平均粒徑을 구하는 것이 된다. 平均値를 생각할 때 粒子群이 갖는 4개의 要素 즉,

- (1) 粒數의 總和
- (2) 直徑의 總和
- (3) 表面積의 總和
- (4) 體積의 總和

를 생각하고 이들 중에서 2個의 要素를 취하면 平均粒徑의 種類는 아래와 같이 6가지가 된다.

- (1) 個數-直徑 平均粒徑 (d_{10})

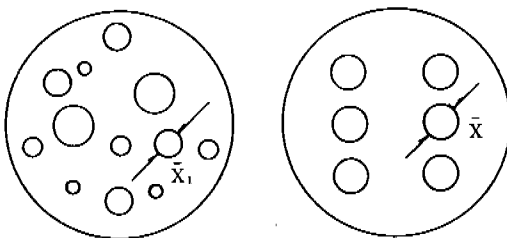


Fig. 12. 粒子群의 平均化

- (2) 個數-表面積 平均粒徑 (d_{20})

- (3) 個數-體積 平均粒徑 (\bar{d}_{30})

- (4) 表面積-直徑 平均粒徑 (\bar{d}_{21})

- (5) 體積-直徑 平均粒徑 (\bar{d}_{31})

- (6) 體積-表面積 平均粒徑 (\bar{d}_{32})

이들중 燃燒裝置에 利用되는 噴射弁의 平均粒徑은 一般的으로 (1)식에 表示되는 \bar{d}_{32} , Sauter 平均粒徑 또는 SMD로 불리우는 體積-表面積 平均粒徑을 使用한다.

$$\bar{d}_{32} = \frac{\sum x_i^3 n_i}{\sum x_i^2 n_i} \dots\dots\dots(1)$$

그 理由는 燃燒現象과 같은 化學反應은 수반하는, 즉 表面積에 比例하는 過程을 생각하는 경우에는 比體積, 즉 單位體積當 表面積의 크기에 逆比例하기 때문이다.

3.2 粒度分布

粒度分布는 nozzle로부터 噴出된 粒子群이 어떠한 分布를 表示하는지를 조사하는 것이다. 噴霧粒徑分布는 一般的으로 어떠한 分布函數로 表示할 수 있다. 얻어진 실험 data를 해석하고, 특히 粒子群의 均一性에 대한 評價를 통하여 噴霧의 性質을 議論한다.

통계적인 思考를 통하여 Table. 1과 같은 分布가 提唱되고 있지만 液體의 微粒化 特性에는 Rosin-Rammler와 Nukiyama-Tanazawa의 分布函數가 주로 채용된다.

3.3 噴霧角

液體의 噴霧燃燒를 생각하는 경우, 噴霧角은 燃燒用的 空氣와의 混合과 燃燒效率의 見地로부터 대단히 重要한 因子의 하나이다. 噴霧角은 噴霧의 퍼짐을 定量的으로 表示하는 것으로 Fig. 13과 같이 噴霧에 그어진 2개의 接線이 이루는 角으로 定義된다. 또 이것은 nozzle의 形狀 및 噴霧의 運動量에 의해 決定되는 量이다.

3.4 分散量

分散量은 噴霧角과 함께 液體燃料의 噴霧燃燒에 있어서 空氣와의 混合을 생각할 때 重要視되

Table 1. 分布函数

Distribution	Form
Normal	$\frac{d(N)}{d(D)} = \frac{1}{S_N \cdot \sqrt{(2\pi)}} \cdot \exp - \left\{ \frac{(D - \bar{D})^2}{2 S_N^2} \right\}$
Log-normal	$\frac{d(N)}{d(D)} = \frac{1}{D \cdot S_\sigma \sqrt{(2\pi)}} \cdot \exp - \left\{ \frac{(\log D - \log D_{GM})^2}{2 S_\sigma^2} \right\}$
Square root normal	$\frac{d(N)}{d(D)} = \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \cdot D \cdot S_\sigma} \cdot \exp - \left\{ \frac{(\sqrt{D} - \sqrt{D_{GM}})^2}{2 S_\sigma^2} \right\}$
Upper limit	$\frac{d(N)}{d(D)} = \frac{1}{D \cdot S_\sigma \sqrt{(2\pi)}} \cdot \exp - \left\{ \frac{\log((D_{max} - D)/D_{GM})^2}{2 \cdot S_\sigma^2} \right\}$
Nukiyama-Tanasawa	$\frac{d(N)}{d(D)} = B \cdot D^2 \cdot e^{-1(C \cdot D^4)}$
Rosin-Rammler	$V_D = 100 - \exp(-C \cdot D^3)$

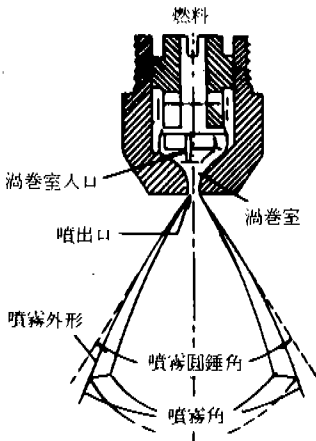


Fig. 13. 噴霧角의 表示法

는 微粒化 特性의 하나이다. 이것은 Fig. 14에 表示하는 方法으로 微粒化된 粒子의 空間的, 時間的인 量을 測定하여 구한다.

3.5 貫通度

一般的으로 重力의 影響을 받지 않는 상태에서 液滴의 到達距離를 意味한다.

3.6 噴射率

Nozzle로부터 噴射되는 噴射量을 말하며, 單位時間當 噴射되는 量으로 表示한다. 이것은 주로 diesel engine등에 利用되는 간헐분사의 경우에 使用된다.

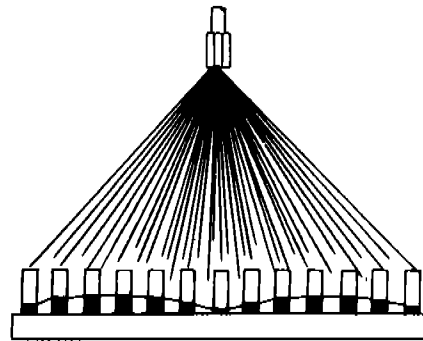


Fig. 14. 分散量의 測定

3.7 流量係數

Nozzle를 흐르는 液體의 Re數, nozzle의 길이와 nozzle 直徑에 따라 變化하는 定數이다.

4. 結 論

液體의 微粒化란 여러가지의 energy를 附加해서 液體를 微粒化하고, 그 表面積을 현저하게 增大시키는 技術이며, 噴霧를 各 分野에 利用하려고 하지만 아직 미개척 部分이 많이 남아 있으며, 體系化 되어 있지 않은 實情이다. 今後 液體의 微粒化에 重點을 두어 研究할 곳은 다음과 같다.

- (1) 새로운 微粒化法의 開發
- (2) 噴霧性狀에 適合한 計測法의 開發
- (3) 微粒化 特性을 精密하게 制御할 수 있는 制御技術의 開發 등이다.

参 考 文 献

- 1) M. Nakayama and T. Ohno; Proc ICLAS '78, 4-4, p. 101 (1978)
- 2) Y. Tanazawa, N. Muto and A. Saito; Ibid. 5-2, p. 117 (1978)
- 3) A. Takehira, T. Kawashima and S. Morita; Ibid. 10-3, p. 251 (1978)
- 4) 永井, 梅原ら; 第8回 液體微粒化講論
- 5) P. J. Mulliger and N. A. Chiger; J. Inst. Fuel; 47-393, p. 251 (1974)
- 6) W. B. Boyce, W. I. Joyce and N. W. COX; Proc. ICLASS '78, 10-4, p. 259 (1978)
- 7) N. Dombrowski and J. H. Boutley; J. Photographic Science, Vol. 10, p. 96 (1962)
- 8) 吉田, 永井; 日機論, 46-401, p. 171 (1980)
- 9) W. E. Yates and N. B. Akesson; ICLASS'78, 8-2, p. 181 (1978)
- 10) 中山, 高橋; 日機論, 46-401, p. 180 (1980)
- 11) J. E. Sickless and T. C. Anetos; IEEE Trans. Ind. Appl. 1A-15, p. 273 (1979)
- 12) 永井, 吉田; 第7回 液體微粒化講論, p. 13, (1979)
- 13) 永井, 李忠遠, 佐藤; 第10回 液體微粒化講論, p. 31 (1982)
- 14) 鶴賀, 項藤, 岩午; 自動車技術, 34-1, p. 4 (1980)