

〈論文〉

SI 機關用 電子制御 燃料噴射노즐의 過渡的 現象

김신구* · 김덕줄** · 이충원***

(1987년 9월 30일 접수)

The Transient Phenomena of Fuel Injection Nozzle for Electronic Control SI Engines

Sin Gu Kim, Duck Jool Kim and Choong Won Lee

Key Words : Liquid Atomization(液體 微粒化), Disintegration(分製), Liquid Immersion Method(浸積法), SMD(샤우타 平均粒徑), Characteristics of Atomization(微粒化 特性), Spray Angle(噴霧角)

Abstract

The liquid disintegration and characteristics of atomization through the swirl nozzle is affected by injection pressure and injection time when the liquid is injected intermittently. These transient phenomena are investigated by electronic controlled-fuel injection nozzle. The effect of injection conditions on disintegration of liquid injected through nozzle is observed photographically by using delay circuit. Droplet size of the element of the sample is measured by the liquid immersion sampling technique. SMD of droplets is varied with time and is decreased as the injection pressure increases. As the injection pressure increases, the maximum diameter of droplet and diameter of droplet which has the maximum droplet number decrease. Spray angle is not affected on injection pressure and change of spray angle with time is associated with needle movement.

기 호 설 명

- d : 粒徑 (μm)
- Δd : 粒徑의 變化 (μm)
- d_n : 노즐徑 (mm)
- d_{max} : 最大粒徑 (μm)
- d_{32} : SMD (μm)
- Δn : 粒數의 變化
- P_g : 噴射壓力 (MPa)
- t_f : 상사점에서 정제하는 시간 (ms)

- t_i : 入力信號 (ms)
- t_s : 스트로보스코프의 설정시각 (ms)
- t_t : 全體噴射時間 (ms)
- t_{s1} : 捕集開始時刻 (ms)
- W_f : 噴射流量 (g/stroke)
- θ_s : 噴霧角 (degree)

1. 序 論

燃料噴射노즐은 液體燃料를 微粒化시키고 燃料를 周圍로 分散시킴으로써 燃料에 必要한 混合狀態를 만드는 역할을 한다.

*현대자동차(주) 엔진연구부
 **정희원, 부산대학교 공과대학 기계설계공학과
 ***정희원, 경북대학교 공과대학 기계공학과

지금도 널리 사용되고 있는 壓力旋回噴射노즐은 中空圓錐形態의 噴霧가 얻어져서 空氣와 適當하게 混合시킬 수 있으나 液體流量을 감소시킬경우 構造上 噴射壓을 저하시키게 되어 微粒化特性이 나빠지는 短點을 가지고 있다. 그래서 소량의 液體에 대해서도 實用上 큰 차이가 없는 미립화특성을 얻기 위해서는 분사노즐의 구조와 크기를 변화시킨다든지 또는 電子制御에 의한 광범위한 액량에 대한 효과적인 特性制御를 연구하고 있다. 특히 1950년 Taylor⁽¹⁾등의 선회노즐의 와류실 벽면에 대한 液體의 境界層의 理論解析을 중심으로 出發한 以來, 1953년 Tate⁽²⁾등과 1955년 Radcliffe⁽³⁾은 미립화특성이 유체의 접선방향의 속도와 관계있다고 발표하였고 1976년 大野⁽⁴⁾등은 선회분사노즐에 노치를 넣어 미립화 특성을 연구하였다.

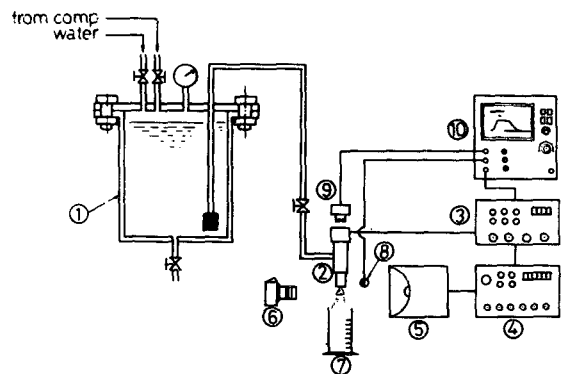
디젤 기관과 같은 고압분사의 경우, 1978년 Hiroyasu⁽⁵⁾, 1982년 Shikuya⁽⁶⁾등은 여러 형태의 노즐에 대한 噴霧特性을 조사하였고 또 1978년 Tanasawa⁽⁷⁾등은 Taylor의 이론해석을 근거로 하여 가솔린 기관의 저압분사에 대한 연구에서 새로 설계 제작한 스크류형의 선회노즐이 Conventional Bosch型 노즐에 비해 분부특성이 우수함을 보였다. 그리고 1980년 Saito⁽⁸⁾등의 분열현상에 대한 연구에서 분사유량의 제어가 가능함을 보여 주고는 있으나, 아직도 많은 문제점을 남기고 있는 실정이다. 더구나 자동차용 가솔린 기관의 경우 始動時에 기화기의 미립화 특성이 나빠지고 또 加速時에는 일시적으로 燃料를 과다하게 공급해야하는 구조상의 결점으로 말미암아 기관에 균일한 混合化의 分配와 빠른 應答性이 요구되는 電子制御燃料噴射노즐의 必要性이 강조되고 있으나 아직 이 분야에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 연료분사제어式에는 분사노즐을 설치하는 위치에 따라 S.P.I(Single Point Injector)와 M.P.I(Multi Point Injector)가 있는데, M.P.I의 문제점이 보완된 S.P.I분사노즐에서 더욱더 양호한 미립화가 실현될 수 있다면 어떤 運轉條件下에서도 稀薄燃料를 기대할 수 있고 연료 경제 및 排氣淨化對策에도 유리하게 되어질 것이다.

이러한 點들을 고려하여, 본 연구에서는 加壓된 액체를 渦流室에 接線方向으로 導入하게 함으로써 旋回運動에 의하여 미립화를 시키도록 스크류형의 선회분사 노즐을 設計製作하였다. 또 이 노즐의 作動制御와 噴射時間은 자체적으로 제작된 電子제어

회로를 利用하였으며 특히 노즐의 작동제어는 제어 회로에 의해 발생된 입력신호가 增幅되어 전자밸브에 電磁力를 發生시켜서 니이들을 움직이게 하였고, 노즐의 분사시간은 제작된 펄스발생회로를 이용하여 조절하도록 하였다. 이와같이 전자회로에 의해 임의로 작동제어 시킬 수 있는 噴射壓力, 噴射時間이 액체의 分裂現象과 微粒化特性에 미치는 영향을 조사함으로써 SI 機關에 搭載되고 있는 電子制御燃料噴射노즐의 過渡的現象을 밝히고자 한다.

2. 實驗裝置 및 方法

Fig.1에 표시된 바와 같이 실험장치는 加壓裝置, 制御에 必要한 電子回路, 分裂現象을 관찰하기 위한 순간촬영장치로 구성되어 있다. 압축기에 의해 加壓된 액체는 압력용기 ①에서 渦流式 노즐 ②로부터 대기중으로 噴出된다. 압력용기 내부의 압력으로 定義되는 분사압력은 0.1MPa에서 0.7MPa까지 調節되어진다. Fig. 2는 實驗에 사용한 노즐의 상세도이다. 전자밸브(solenoid valve)를 내장한 노즐의 오리피스직경은 1mm이고, 腐蝕을 防止하기 위해서 材質은 스테인리스鋼으로 하였다. 또한, 니이들에 사각나사 模樣의 홈을 파서 渦流가 發生되도록 하였으며 渦流가 充分히 선회되도록 渦流室을 두었다. 노즐制御回路 ③에 의해 發生된 入力信号(t_r , 5V)가 DC 100V로 增幅되어 전자밸브에 電磁



① Pressure vessel ② Nozzle ③ Nozzle control circuit ④ Delay circuit ⑤ Stroboscope ⑥ Camera ⑦ Mass-cylinder ⑧ Phototransistor ⑨ Non-contact displacement transducer ⑩ Oscilloscope ⑪ Control circuit of droplets sampling shutter

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

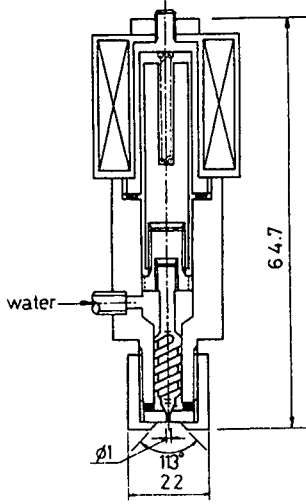


Fig. 2 Details of nozzle

력을 발생시켜 니이들을 위로 당김으로써 분사압력에 의해 액체가 대기중으로 분출된다. 니이들의行程距離는 3mm이다.

한편, 노즐의 噴射時間을 設定해주기 위하여 펄스發生回路를 利用하여 펄스幅을 1 μ s單位로 999,999 μ s까지 임의로 변화시킴으로써 噴射時間을 調節하였다. 이와같이 발생된 펄스[노즐제어회로에 의한 入力信號(t_i)]와 電磁밸브에 의해 作動되는 니이들의 關係를 非接觸 變位計 ⑨와 오실로스코프 ⑩을 利用하여 관찰하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 入力信號(t_i)와 비접촉변위계의 入力(니이들과 변위계 사이의 距離)과 出力(電壓)의 關係를 線形化하였다. 그림에서 入力信號(t_i)를 20ms으로 하였을 경우에 니이들이 上死點에 到達할 때까지 約 13ms이 걸리고 上死點에서 下死點까지는 到達時間이 約 15ms, 全體噴射時間은 約 45ms이다. 이처럼 入力信號나 니이들의 움직임에는 큰 差異가 있으나, Fig. 3과 Fig. 4에 나타나 있는 바와 같이 니이들의 上昇과 下降時間이 入力信號의 펄스幅에 關係없이 항상 一定하다. Fig. 5는 Fig. 4로부터 入力信號(t_i)에 대해 니이들이 上死點에 머무르고 있는 시간(t_f)과 전체분사시간(t_s)의 關係를 정리해서 나타낸 것이다. 본 실험에 사용한 액체는 수도물이었으며 이 액체의 분사량은 간헐분사의 非正常性을 고려해서 每 週期마다의 流量으로 定義하여 各 噴射條件에서 平均 100回 분사시켜 메스실린더 ⑦로 測定한 값을 平均한 噴射流量(W_s , g/stroke)으로 하였다. 또 噴射液體의 分製現象을 觀察하기위한

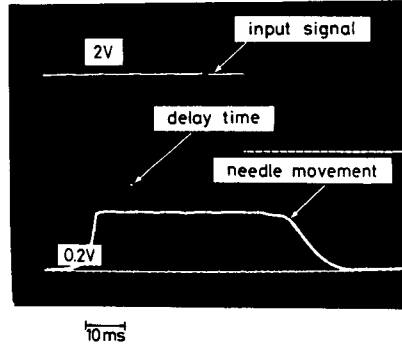


Fig. 3 Photograph of oscilloscope on input signal, delay time and needle movement

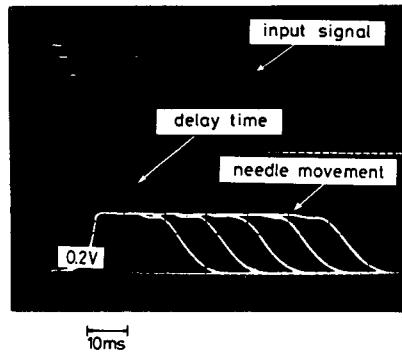


Fig. 4 Photograph of oscilloscope on input signal, delay time and needle movement

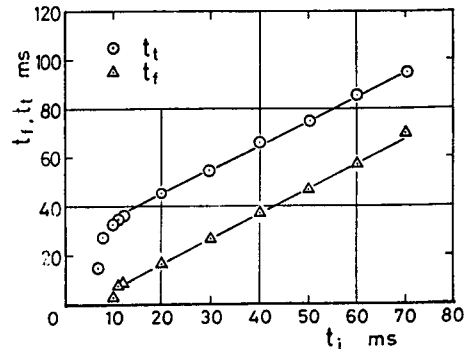


Fig. 5 Relation between input signal and needle movement

사진촬영은 設定된 時刻(t_s)에 스트로보스코프 ⑤가 動作되도록 제작된 지연회로 ④와 사진기 ⑥을 使用하였으며 이때 지연시간 즉 지연회로의 신호에 의해 스트로보스코프가 作動할때까지 걸리는 시간(t_s)는 포토트랜지스터 ⑧와 오실로스코프 ⑩을 使用하여 觀察하였다. 스트로보스코프의 發光時間은 約 15 μ s이었다. 분무각(θ_s)의 측정은 순간촬영한

사진으로부터 노즐의 下斷에서 噴霧에 接線을 그어 入力信號 (t_i) 後 刻 時刻 (t_s)에 대응하는 값으로 定義하였고 또 Fig. 6에 나타난 분무액적포집장치 는 上部슬리트 ④와 下部슬리트 ⑤는 아크릴로 만 들었으며, 그 크기는 층들에 의한 粒徑의 變化와 포집시간을 고려해서 上部슬리트는 $7 \times 34\text{mm}$, 下 部슬리트는 $12 \times 36\text{mm}$ 로 하였다. 上部슬리트를 당 기어 방아쇠 ⑥에 固定시킨 後 전자벨브 ⑦를 作動 시키면 스프링 ⑧의 힘에 의해 設定된 시간(t_{s1} , 捕集開始時刻)에 上部슬리트가 捕集位置를 지나가 도록 되어 있다. 한편 슬리트가 停止하면서 發生하 는 진동으로 인한 포집된 액적의 變化를 防止하기 위하여 댐퍼를 設置하였다. 포집위치의 中心點은 분무액체의 分열현상과 분무각을 고려해서 노즐 下 斷으로부터 半徑方向으로 24mm , 수직하방으로 69mm 로 定하였다. 분무액적의 전체포집시간은 2.4ms 였으며 포집방법은 浸漬法(liquid immersion method)^(9,10)으로 하였고 분무액적의 속도와 직경 을 고려하여 $1,000\text{cst}$ 와 $10,000\text{cst}$ 의 실리콘오일을 各 各 3:1의 체적비로 混合하여 捕集液으로 使用하 였다. 포집된 액적을 投影機로 10倍 擴大하여 $4 \times 5''$ 黑白필름으로 촬영하였다.

3. 實驗 結果 및 考察

3.1 流量特性

Fig. 7과 8은 各 噴射壓力에 따른 噴射流量의 變 화를 入力信號 (t_i)幅에 대하여, Fig. 9는 各 入力 信號 (t_i)幅에 따른 분사유량을 분사압력에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 분사압력과 入力信號의 幅이 增加할수록 분사유량이 증가함을 알 수 있는 데, 이것은 A를 노즐출구의 단면적, ρ 를 유체의 밀도, P_g 를 분사압력으로 표시할 때, 유량 $Q=A(\rho/2)^{-1/2}(P_g)^{1/2}$ 로 되므로 분사압력이 증가할 경우 분사유량이 지수적으로 증가하게 된다는 것이다.

3.2 噴流液體의 分裂過程

액체의 分열현상은 주어진 에너지에 의해 순간적 으로 分열하는 것이 아니라, 일련의 과정을 통하여 分열하여 液滴을 形成한다. 液滴生成의 形態에서는 몇가지 종류가 있으나 본 실험에선 분사초기에 액 체가 液柱의 형태로 噴出된다. 그후부터 噴射終了 時까지의 正常噴射에서는 액체가 液膜의 形態로 噴 出된다. 液柱形態의 分裂에서는 噴流의 速度에 따

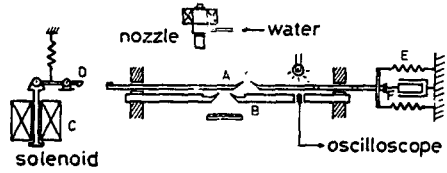


Fig. 6 Droplets sampling shutter

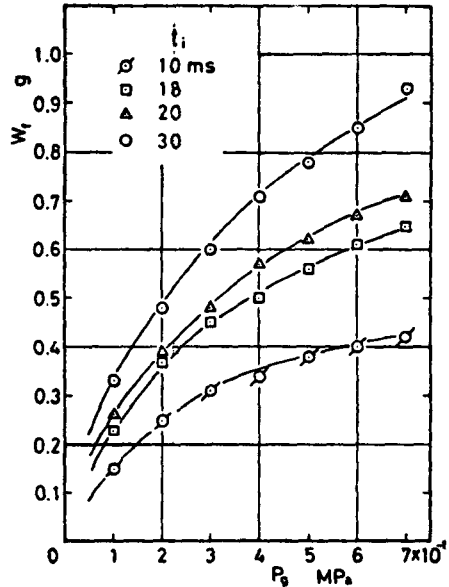


Fig. 7 Relation between flow rate and injection pressure

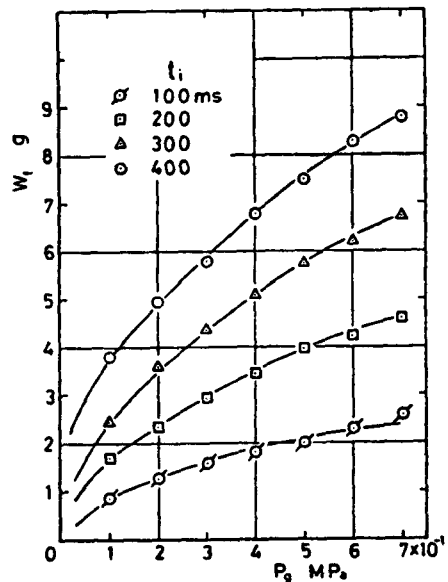


Fig. 8 Relation between flow rate and injection pressure

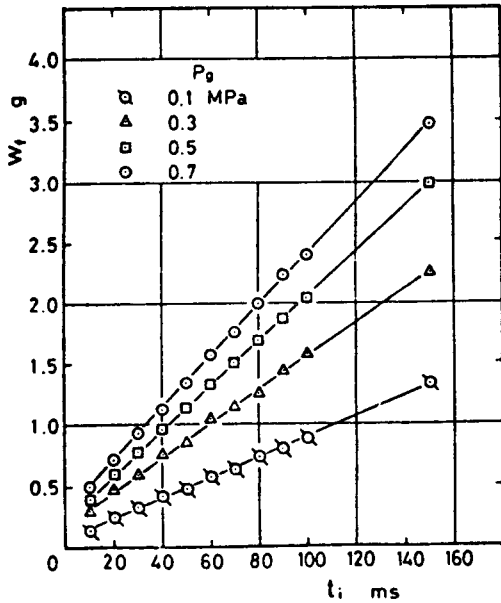


Fig. 9 Relation between flow rate and input signal

라 滴下, 平滑流, 從振動波狀流, 橫振動波狀流 및 噴霧流의 5가지의 區間으로 分類하고 있다. 이 中에서 滴下의 區間에서는 노즐의 出口에서나 액주의 끝에서 액적이 형성되고, 平滑流區間에서는 표면이 깨끗한 액주가 연속적이며 주위공기와의 상대운동이 분출액류에 미치는 영향이 거의 없다⁽¹¹⁾. 또한 液膜의 분열기구는 perforation mode와 aerodynamic wave mode의 두가지 형태로 나타낸다. 이와같은 液柱와 液膜의 분열형태는 간헐분사시에 분사압력과 니이들의 상승과 하강속도에 따라 시간적으로 액체에 주어지는 에너지의 量이 달라지기 때문에 일정하게 維持되지 못한다. Fig. 10은 분사압력 $P_g=0.1\text{MPa}$, 분사유량 $W_f=0.193\text{g/stroke}$ 일 때 순간촬영한 사진으로서 입력신호 (t_i)로부터 約 7ms後에 노즐로부터 액주의 분출이 始作된다. 13ms까지는 액주끝에서 액적이 형성되는 滴下의 區間임을 볼 수 있다. 이것은 滴流室에 고여있던 액체가 내부압력으로 인해 단순히 밖으로 액주의 형태로 밀려나오기 때문이며 시간이 경과함에 따라 액주의 길이가 길어져서 액주의 끝에서 액적이 형성되어 밑으로 떨어진다. 또한 초기의 액주의 표면이 거친 것은 분류의 속도보다도 니이들의 움직임과 니이들과 노즐 출구의 거리에 따른 영향이 크기 때문이라고 판단되어진다. 14ms에서는 主噴流의 액주를 中心으로 環狀形의 액막이 형성됨을 볼 수

있고 시간이 경과함에 따라 미세한 액적으로 분열되고 있다. 이러한 현상은 니이들이 상사점에 도달한 직후($t_s=13\text{ms}$)에 일어나며 분사압력이 낮은 경우에만 잘 관찰된다. 15ms부터는 主噴流인 液柱의 직경이 작아짐을 볼 수 있는데 이는 環狀形液膜의 형성에 따른 영향으로 인하여 분출유량이 一時的으로 감소한 탓으로 판단된다. 18ms부터는 니이들의 상승에 의한 영향이 점차 감소하면서 액체가 니이들의 나사홈에서 半徑方向의 속도를 얻어 분무의 中間이 빈 圓錐形의 액막상태로 분출되는 定常的인 분사가 개시된다. 분출된 액막은 거의 全表面에 不規則한 波가 발생되어 있는데, 노즐의 出口쪽에서는 구멍(perforation)이 생기지 않았다. 또한, 이 때 액막의 분출속도가 적어 표면장력의 영향으로 액막의 끝部分이 합쳐지면서 밑으로 처져 액주와 같이 되어 분열하고 있음을 볼 수 있다. 正常噴射中에 분출되는 액막의 두께가 액주의 직경보다 얇기 때문에 정상분사중에 생성된 액적이 좀 더 미세하다. 따라서, 노즐을 設計할 때에 滴流室의 크기를 可能한 작게하거나 니이들이 상승할 때 노즐 出口와의 간격을 滴流室로 利用함으로써 액주형태의 분출을 줄이고 정상분사가 主를 이루게 한다면 噴霧液滴을 더욱 미세하게 할 수 있을 것이다. $t_s=34\text{ms}$ 부터는 표면이 매끈하고 긴 圓錐模樣的 액막이 분출되고 있다. 이는 분사말기에는 니이들이 하강함에 따라 流路가 좁아지고 유량(유속)이 급속히 감소하여 공기와의 상대운동에 따른 전단력 및 액막의 난류강도가 감소함으로써 일어나는 현상으로 판단된다. 노즐제어회로에 의한 신호를 입력한 後7ms부터 始作한 一次噴射는 $t_s=37\text{ms}$ 에서 終了되고 거의 同時에 二次噴射가 始作된다. Fig. 11은 분사압력이 상승된 $P_g=0.5\text{MPa}$, 분사유량 $W_f=0.505\text{g/stroke}$ 일 때의 순간촬영한 사진이다. 上記한 $P_g=0.1\text{MPa}$ 의 경우에 볼 수 없었던 액주 주위의 분열현상이 나타난다. 입력신호 (t_i)後 10ms, 11ms에서 노즐出口부근의 분출액류는 액주분열형태중의 平滑流區間으로 액주의 표면이 매끄럽고 액주 주위에서의 분열현상이 나타나지 않는다. 정상분사가 시작되는 時刻은 $t_s=14\text{ms}$ 으로 분사압력이 0.1MPa일때의 $t_s=18\text{ms}$ 보다 앞당겨 졌는데 이는 분사압력이 증가함에 따라 滴流室에 채워져있던 액체의 분출속도가 커지기 때문이다. 따라서 분사압력이 증가하면 주위 공기와의 상대속도 및 난류의 강도가 커지므로 분출된 액막이 노즐 出口부

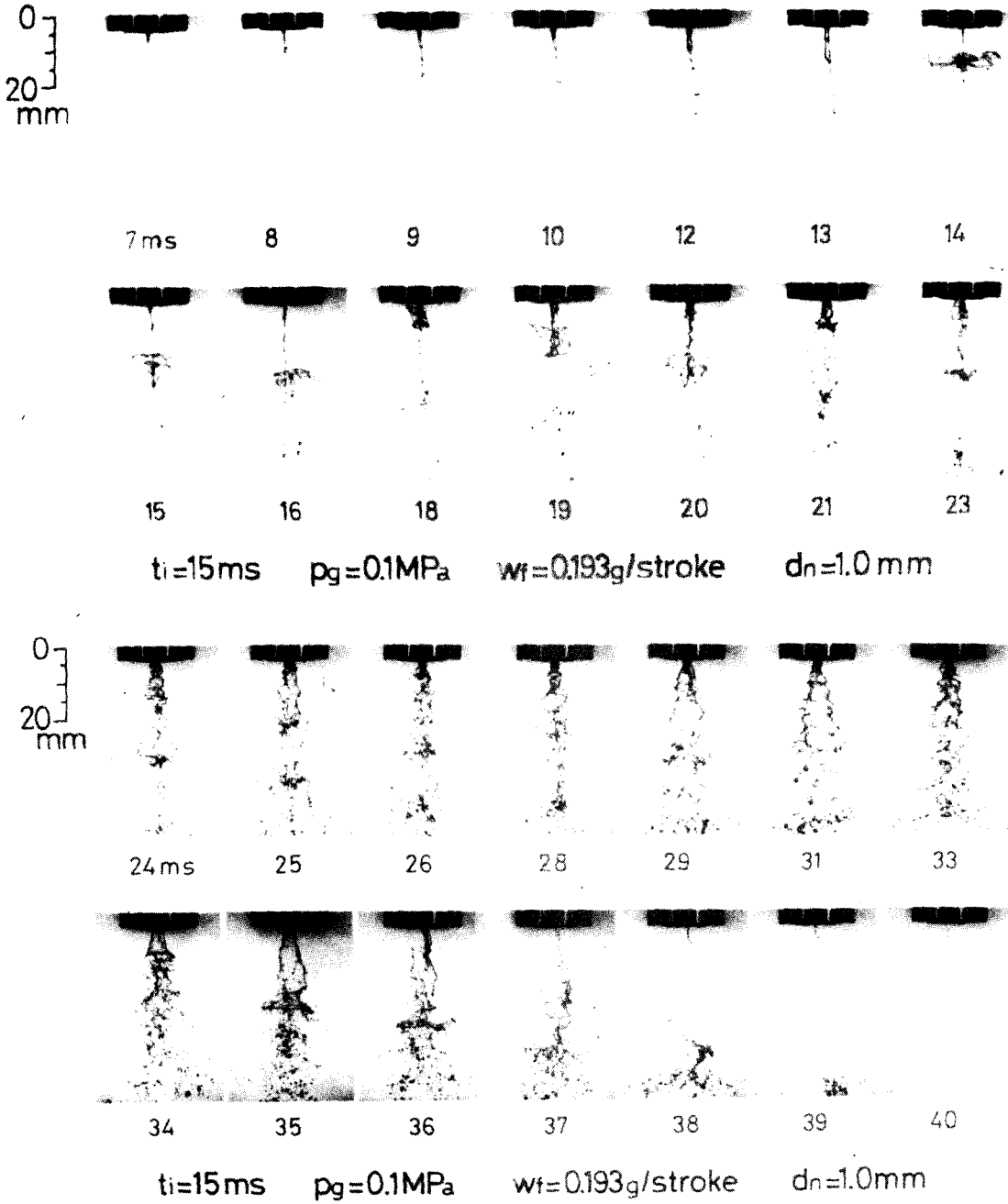
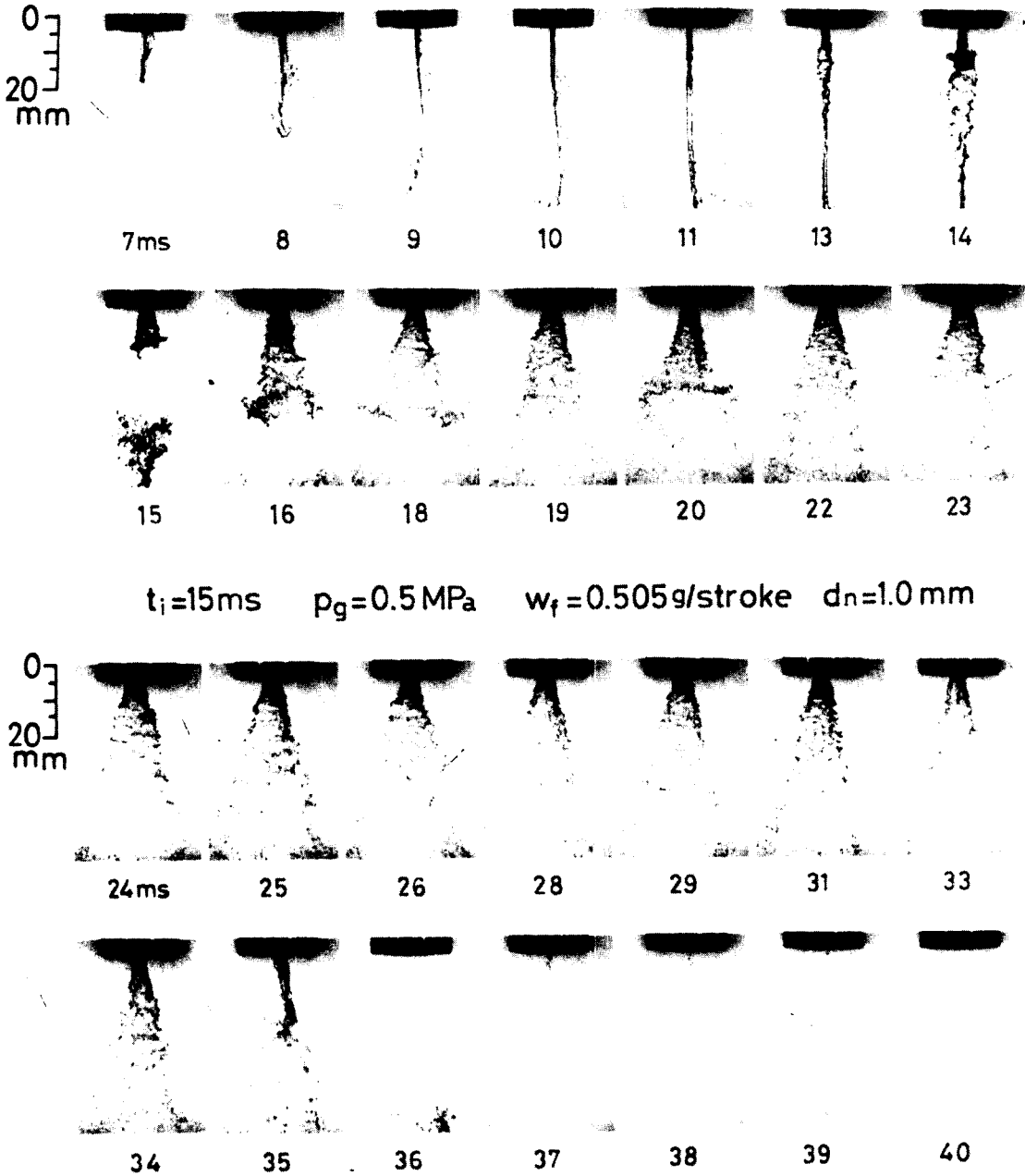


Fig. 10 Photographs of the mode of atomization

근에서 破裂되고, 액막으로부터 분열되는 액적의 크기는 분사압력 $P_g=0.1\text{MPa}$ 에 비하여 미세해진다. 또한 $P_g=0.1\text{MPa}$ 의 경우 $t_s=14\text{ms}$ 에서 관찰되던 環狀形의 液膜이 형성되지 않았다. 이것은 노즐에 들어오는 유체의 압력증가로 인하여 너이들의

상승에 따른 螺線形 流路內의 흐름의 영향이 감소된 탓이라 생각된다.

Fig. 12는 Fig. 10의 14ms에서 관찰되던 環狀形 液膜의 성장과 분열현상에 대한 사진들이다. $t_s=13.1\text{ms}$ 에서는 노즐 출구부에서부터 環狀形液膜이



$t_i=15ms$ $p_g=0.5 MPa$ $w_f=0.505g/stroke$ $d_n=1.0 mm$

$t_i=15ms$ $p_g=0.5 MPa$ $w_f=0.505g/stroke$ $d_n=1.0 mm$

Fig. 11 Photographs of the mode of atomization

갑자기 커져있고 시간이 경과하에 따라 점차 분열되고 있다. 이 액막은 vortex ring으로 완전히 발달되지는 않는데 이것은 분출액체의 표면장력때문인 탓으로 생각된다. 액막은 액막이 운동하는 방향

의 공기흐름보다는 주로 액막 뒷면이 後流에 의해 분열되고 있다. 또한 액체의 표면장력으로 인하여 액막의 가장자리가 다른 부분보다 두꺼워져 밀로 치지고 있으며 $t_s=13.5ms$ 까지는 액막이 형성되기

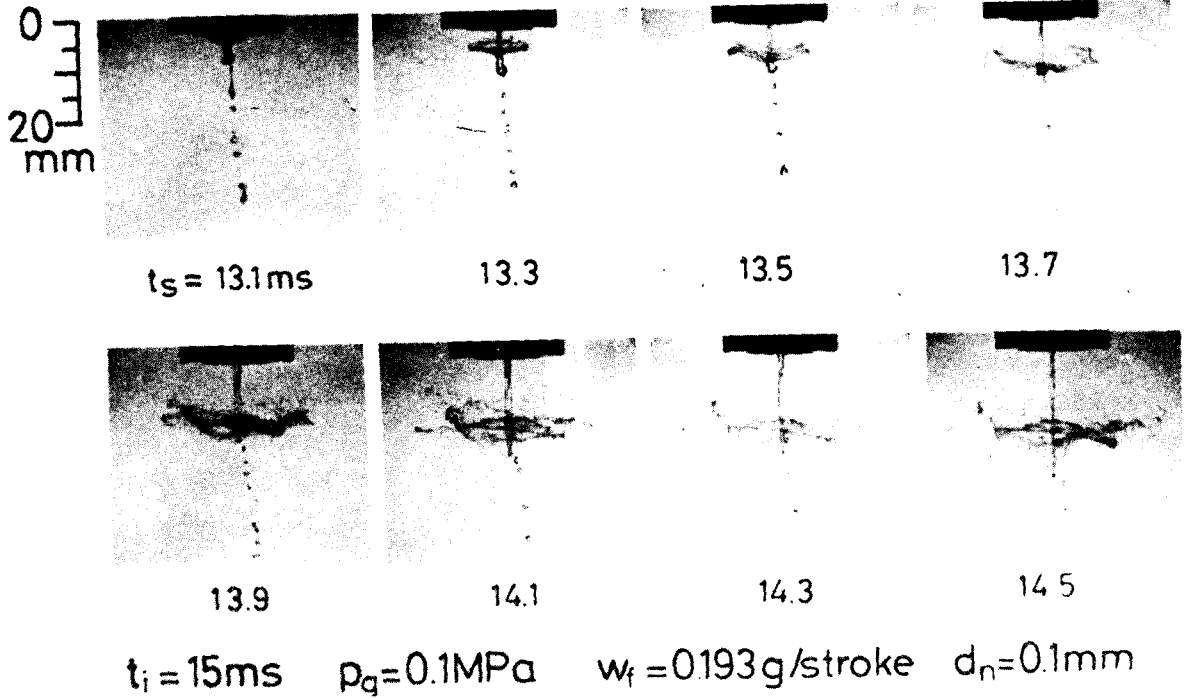


Fig. 12 Growth and disintegration of vortex ring

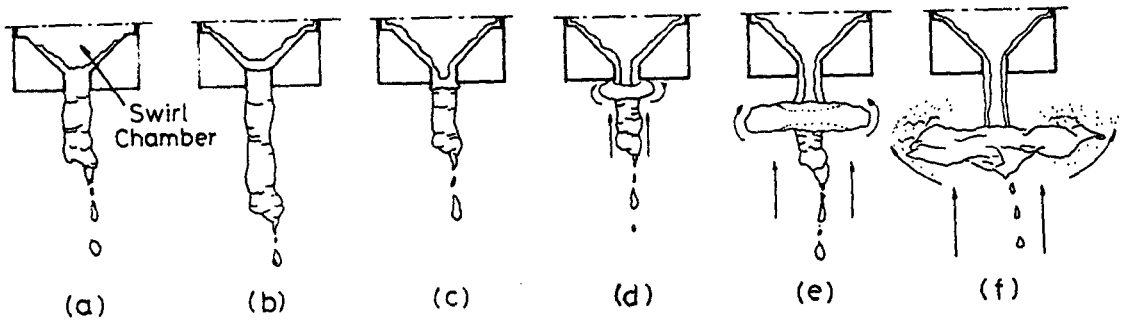


Fig. 13 Evolution of vortex ring

전에 분출된 액주가 액막의 밑부분에 존재해 있다. 그後부터는 액막의 분열이 현저해지고 있으며 액주로부터 생성된 액적이 낙하하는 속도보다는 環狀形液膜과 함께 분출된 액주의 하강속도가 더 크음을 알 수 있다.

Fig. 13의 (a), (b), (c)는 Fig. 12의 환상형 액막의 형성과정을 推定한 것이고 (d), (e), (f)는 Fig. 12를 단순화한 그림이다. (a)는 상사점 부근에서 니이들의 상승속도가 분사압력에 의한 유체의 속도보다 커져 액체가 니이들과 함께 올라감으로써 渦流室에 빈 공간이 생긴 상태이다. 니이들이 상사점에 도달한 후 액체와 분사압력에 의해 다시 밀려 내려와

(b)와 같이 액막을 형성하고 (c)의 형태로 발전하는 것으로 생각된다. 이 액막은 공기의 저항을 받으면서 퍼져 (d)와같은 一種의 vortex ring과 中間이 빈 액주로 되어 시간의 경과에 따라 직경이 커지면서 (e)로, 그리고 (f)와 같이 미세한 액적으로 분열한다. Fig. 14은 분사압력이 0.1, 0.2, 0.3MPa일 때 $t_s=25ms$ 에서 순간 촬영한 사진들이다. 분사압력이 증가하면 액막이 發生된 波가 더욱 不規則해지고 그 波長이 짧아진다. 또, 액막이 노즐출구가에서 破裂되고 있으며 분열된 액적의 크기가 더욱더 미세함을 관찰할 수 있다.

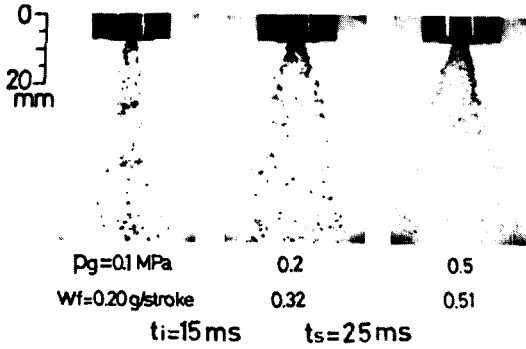


Fig. 14 Effect of injection pressure on the mode of atomization

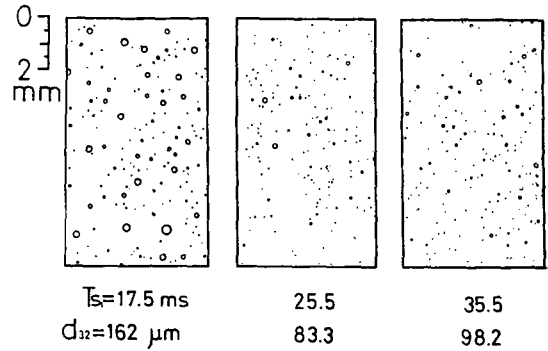


Fig. 16 Photographs of droplets

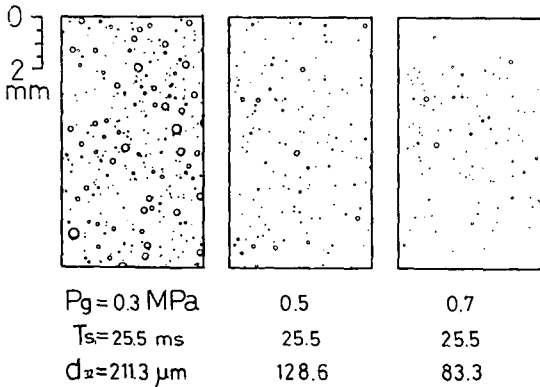


Fig. 15 Photographs of droplets

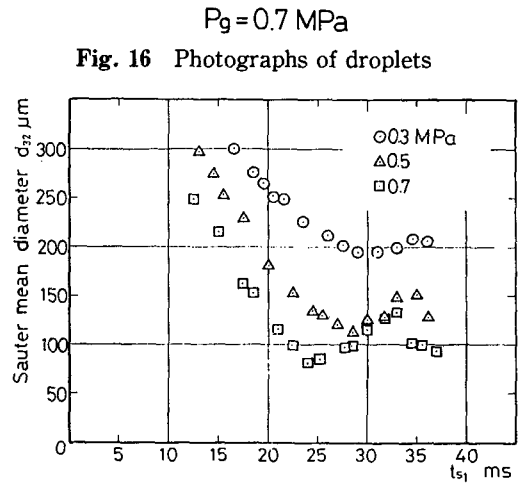


Fig. 17 Sauter mean diameter

3.3 微粒化 特性

間歇噴射時의 액체미립화 특성은 時間에 따른 변화 때문에 하나의 特性值로 나타내기는 어렵지만 미립화특성 표시방법중에서 중요하다고 생각되는 平均粒徑, 粒度分布 및 噴霧角 등으로 本 實驗에 使用한 노즐의 미립화 특성을 나타내고자 한다.

(1) 粒徑 寫眞

Fig. 15는 액적포집장치로 채취한 국소 액적의 사진증에서 $t_{s1}=25.5ms$ 일 때 분사압력이 $P_g=0.3 MPa$, $0.5MPa$, $0.7MPa$ 인 경우의 사진을 나열한 것이다. Fig. 11의 說明에서 及한 바와같이 이 사진에서도 분사압력이 증가할수록 액적이 미세하여 粒徑이 減少하고 있다. Fig. 16는 분사압력 $P_g=0.7MPa$ 일 때 분사初期인 $t_{s1}=17.5ms$, 中期인 $t_s=25.5ms$ 末期인 $t_s=35.5ms$ 에서 포집액적을 촬영한 사진들이다. 初期에는 직경이 큰 액적이 많으나 분사中期에서는 粒徑이 상당히 감소하고 있으며 末期에서는 粒徑이 中期에 비해 若干 커짐을 볼

수 있다. 이것은 니이들의 上昇과 下降에 따른 영향으로 사료된다.

(2) 平均粒徑

噴霧粒群에 대한 量으로는 粒數, 直徑, 表面積 및 體積(또는 重量)의 4가지가 있으나 이 中에서 2가지의 量을 택하여 組合시킴으로써 平均粒徑을 구할 수 있다.

이 中에서 $d_{32}=(\sum \Delta nd^3 / \sum \Delta nd^2)$ 는 SMD (Sauter Mean Diameter)라 하는데, 이 값이 작을수록 단위체적당의 表面積이 증가하여 受熱面에서 有利하고 蒸發時間이 짧아지는 性質이 있어 一般의 噴霧燃料등을 고려할 때 많이 使用되고 있다. 따라서 本 연구에서는 d_{32} (SMD)를 局所 平均粒徑으로 하였다. Fig. 17은 분무압력이 $0.3MPa$, $0.5 MPa$, $0.7MPa$ 일 때 입력신호 (t_i)後 各 時刻에서의 平均粒徑을 나타낸 것이다. 분사초기에는 액체가 액주의 형태로 분출되어 직경이 큰 액적들로 분열되므로 平均粒徑이 크다. 또, 正常噴射初期에는 액류가 充分한 渦流로 되지 못하고 분출하므로 液

膜이 液柱의 직경보다는 얇으나 정상분사중기와 말기에 비해서는 두꺼워서 平均粒徑이 비교적 크다고 할 수 있다. 그러나, 이 後부터는 니어들內의 螺線形의 噴에서 액체가 점차로 充分한 渦流로 되어 분출액막이 얇아지고 생성액적의 입경이 감소하여 입력신호 (t_i)後 約 24~31ms에서는 平均입경이 最小로 된다. 분사압력이 감소할 때 平均粒徑이 最大로 되는 時刻이 늦추어지는 것은 분출속도가 느려져서 포집위치까지의 到達時間이 길어지기 때문으로 판단된다. 분사말기에서 종료시까지의 니들이 더욱 하강하여 액막의 두께가 점차로 얇아지므로 平均 入경이 감소한다. 따라서 平均入경은 시간에 따라 변화하게 된다. 한편, 분사압력을 증가시키면 분출속도가 증가되어 이에따른 剪斷力 과 亂流强度가 커져서 平均粒徑이 감소하게 된다.

(3) 粒度 分布

Fig. 18은 분사압력 $P_g=0.3, 0.5, 0.7$ MPa이고 입력신호 (t_i)後 同一한 時刻에서의 포집액적의 粒度分布曲線이다. 粒徑이 30~60 μm 의 범위에서 粒數가 最大로 되며 분사압력이 낮을수록 큰 粒徑의 群이 增加한다. 最大粒徑을 보면 분사압력이 0.3 MPa일 경우 $d_{max}=360\mu\text{m}$ 이며, $P_g=0.5$ MPa일 때 $d_{max}=310\mu\text{m}$ 이고, $P_g=0.7$ MPa일 때 $d_{max}=250\mu\text{m}$ 이다. 따라서 분사압력이 감소할수록 最大粒徑이 커지게 된다.

Fig. 19는 분사압력이 $P_g=0.7$ MPa일 때 정상분사초기인 $t_{s1}=17.5$ ms, 중기인 $t_{s2}=25.5$ ms, 말기인 $t_{s3}=35.5$ ms에서의 粒度分布를 나타낸 것이다. 入경이 30~60 μm 의 범위에서 粒數가 最大로 되며 正常噴射初에는 中期와 末期에 비해 生成液滴이 커져서 最大入경 및 入경이 다소 큰 액적의 粒數가 증가한다. 즉 最大入경의 경우 $t_{s1}=17.5$ ms에서는 $d_{max}=350\mu\text{m}$, $t_{s2}=25.5$ ms에서는 $d_{max}=250\mu\text{m}$, $t_{s3}=35.5$ ms일 때는 $d_{max}=260\mu\text{m}$ 이다.

(4) 噴霧角의 時間的 變化

飛行液滴群과 주위공기와의 混合이 燃燒狀態를 決定하는 分무연소의 경우 分무각은 중요한 特性중의 하나이다. 分무각은 앞에서 定義한 바와같이 分무의 퍼짐을 定量的으로 표시한 것이다.

Fig. 20은 분사압력 $P_g=0.4$ MPa~ 0.7 MPa일 때 분사기간중의 分무각의 時間적 變化를 나타낸 것이다. 分무각은 니들이 상사점에 도달한 후인 約 17ms까지는 時間의 経過에 따라 增加하며 또 約 30ms까지는 거의 一定한 값을 維持하지만 그 後부

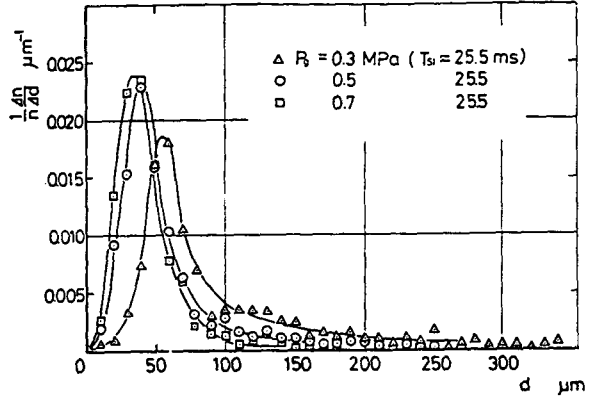


Fig. 18 Droplet size distribution

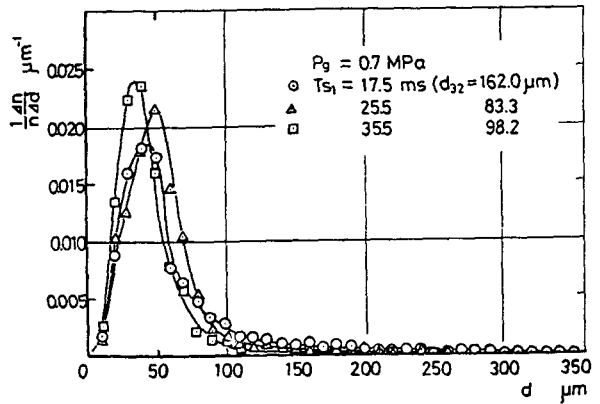


Fig. 19 Droplet size distribution

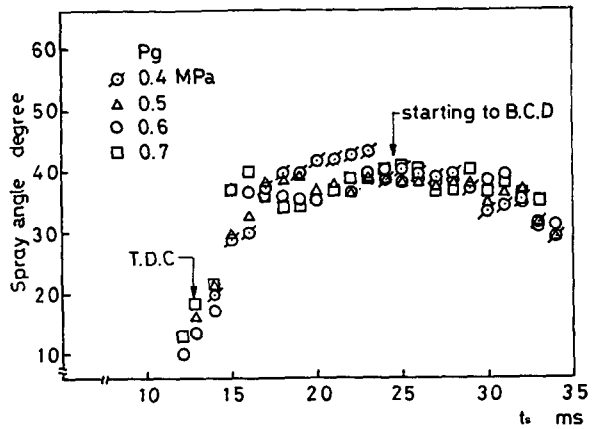


Fig. 20 Variation of spray angle

터는 점차 감소한다. 이것은 Fig. 3과 Fig. 4에서의 니들의 움직임과 비슷한 형태를 이루고 있는데, 여기에서는 분사압력의 영향은 잘 나타나 있지 않다.

4. 結 論

SI 機關用 電子制御 燃料噴射노즐을 設計製作하여 간헐분사시의 분사압력과 분사시간이 액체의 분열현상과 微粒化 特性에 미치는 노즐의 過渡的 現象에 대한 실험적 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 분사중기에서 압력의 변화에 따라 액막에 발생된 파가 더욱 불규칙해지고 그 파장이 짧아져서 최대입경과 모드 입경이 감소하는 과도적 현상을 나타낸다.

(2) 평균粒徑 (d_{32})는 시간이 경과함에 따라 변화하며 분사압력이 증가할수록 감소한다.

(3) 분무각은 분사압력의 영향을 거의 받지 않으며, 분무각의 시간적 변화는 니이들의 움직임과 관계가 있다.

參 考 文 獻

- (1) G.I. Taylor, 1950, "The Boundary Layer in the Converging Nozzle of a Swirl Atomizer", *Mechanics and Applied Mathematics*, Vol. 3, pp. 129~139.
- (2) R.W. Tate and W.R. Marshall, 1953, "Atomization by centrifugal Pressure Nozzles", *Chemical Engineering Progress*, Vol. 49, No. 49, No.5, pp. 226~234.
- (3) A. Radcliffe, 1955, "The Performance of a Type of Swirl Atomizer", *D.I.M.E*, Vol. 169, No. 93, pp. 93~106.
- (4) 中山, 大野 正, 1976, "渦卷式 分割型 噴射弁の噴霧特性について", 第5回 液體の微粒化に関する講演會講演論文集, pp.49~52.
- (5) H. Hiroyasu, Y. Toyota and T. Kodota, 1978, "Transient Characteristics of Drop Size Distribution in Diesel Sprays", *ICLASS-78*, pp.125~131.
- (6) M. Shikuya, K. Takeuchi, J. Senda and K. Yamada, 1982, "Atomization Characteristics in Diesel Fuel Sprays", *The 10th Conference on Liquid Atomization and Sprays Systems in Japan*, pp. 93~98.
- (7) Y. Tanasawa, N. Muto and A. Saito, 1978, "Injection Valve of Swirl Flow type used for Electronic Fuel Injection", *ICLASS-78*, pp.117~124.
- (8) A. Saito, Y. Tanasawa and K. Kawamura, 1980, "Study of Spill Swirl Injection Valve used for Electronic Fuel Injection", *The 8th. Japan Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, pp.61~66.
- (9) T. Kurabayashi, 1978, "On the Coalescence of Droplets Sampled in the Immersion Liquid in Determining Spray Droplet Sizes", *日本燃料協會誌*, 第57卷, 第619號.
- (10) R.W. Tate, 1961, "Immersion Sampling of Spray Droplets", *A.I.Ch.E Journal* Vol. 7, No. 4.
- (11) H. Hiroyasu, M. Shimizu and M. Arai, 1982, "The Breakup of High Speed Jet in a High Pressure Gaseous Atmosphere", *ICLASS-82*, pp.69~74.