

# 吸入밸브 形狀이 吸入流動에 미치는 影響 (I)

— 모델에 의한 軸方向速度分布 —

The Effects of the Intake Valve Type on the Intake Flow (I)

— The Axial Velocity Distribution by the Model —

하 대 진\*, 박 경 석\*\*  
D. J. Ha, K. S. Park

## ABSTRACT

This paper deals with the experimental study of the turbulent flow fields by the hot-wire anemometer and the density fields by the Schlieren photography.

In this study, the air mixed with CO<sub>2</sub> was used to visualize and to study this process and experimental parameters used were valve lift and valve shape.

The results obtained are as follows:

- 1) The axial velocity of mixture flow passing a valve is changed greatly by valve seat angle and valve lift.

Especially, it is changed more when the valve seat angles is 30° and 45° than when these are 60° and 90°.

- 2) Experimental results by hot wire anemometer and Schlieren apparatus are very close together. The most satisfactory results are shown when the valve seat angle is 45°.

## 1. 緒 論

一般的으로 豫混合氣를 導入해서 點火하고 燃燒시키는 電氣點火機關에 있어서 실린더內 가스의 平均流動과 亂流의 強度는 電氣點火 機關의 主 燃燒過程인 火炎傳波에 큰 影響을 주고 있다.<sup>1)</sup>

우선 電氣點火機關의 吸入系는 단순히 混合氣의 通路로의 役割 뿐만 아니라 燃料의 混合, 導入, 氣化의 促進, 均等分配 등의 負擔을 갖고 있으며 吸氣系內 波動의 動的 效果의 影響을 피하거나, 逆으로 이를 活用하는 研究를 要하고 있다.

또한 吸入過程에서 吸氣 밸브를 열어서 새로운 混合氣를 導入할 때는 流動抵抗을 적게 하여 體積 效率을 높이는 것이 절대적이고, 그 舉動은 混合氣의 非定常流動과도 密接한 關係가 있어 吸氣系內 流動의 動的 舉動을 包含한 各種 因子를 考慮하여 最適設計를 要하고 있다.

또한, 燃燒改善을 위하여 吸入渦流(swirl)을 發生시키는 경우가 많고, 이와 같은 때에는 작은 流動損失이 생기는 한에서 강한 渦流를 發生시킬 必要가 있는데 이는 吸入口의 形狀, 置數에 의해서 크게 影響을 받으므로 그 最適化를 기하지 않으면 안된다. 그러나 그것은 經驗에 依存하는 경우가 많으며, 와류 生

\* 정회원, 삼성전자연구소

\*\* 정회원, 경희대학교 기계공학과

成의 機構가 아직 明確하지 않기 때문에, 아직 最適化의 手法이 確立되어 있지 않은 實情이다.

한편, 最近에 活潑히 研究되고 實用化 되어 있는, 機關의 燃料經濟性を 考慮하며, 窒素酸化物의 低減을 目的으로 하는 排氣再循環法 (EGR, Exhaust Gas Recirculation)을 實試 하면 酸素濃度가 낮게 되므로 稀薄燃燒狀態가 되어, 燃燒速度가 약간 低下되는 傾向이 있다. 따라서, 이것은 機關出力 低下의 한 要因이 되므로 亂流를 強化하여 急速燃燒시키는 것이 要求된다.

이러한 觀點에서 流體流動系의 改善, 즉 吸, 排氣밸브의 길이, 形狀 등을 包含한 길이의 最適化, 吸·排氣系의 流動抵抗의 低減, 消音器, 過給機 등 機關附着機器의 性能改善, 이들과 機關의 매칭의 最適化, 吸·排氣 脈動波動의 影響을 考慮한 길이의 設定 등이 必要하다.<sup>2)</sup>

이에 대한 自動車用 內燃機關의 吸·排氣系 및 실린더內 流動現狀에 관한 從來의 研究는 主로 熱線風速計나 L. D. V에 의한 實驗的 研究<sup>3~7)</sup>와 컴퓨터를 이용한 數學的 시뮬레이션에 관한 理論研究<sup>8~13)</sup> 등이 있다.

이 중, 實驗研究에 있어서 熱線風速計나 L. D. V를 使用하는 경우 높은 相對亂流強度( $U'/U > 0.2$ ), 流動의 不均一性, 큰 壓力, 溫度 등을 熱線測定置에 適用하는데 있어서 補正에 어려움이 있으며, 특히 流動場內 한 點에서만이 測定이 可能한 것이 이들의 短點이다. 따라서 流動場의 全般的인 모양을 알기 위해서는 전체 실린더內에 測定群을 設定하고, 이 設定된 각각의 點에 熱線技術을 適用하여야 한다. 단지 한점의 測定은 燃燒室을 設計하는데 適用할 수 있을 정도로 一般化할 수는 없다.

이러한 이유에 있어서 全 실린더內 流體流動現象을 可視化하여 解析하는 方法의 研究<sup>14~16)</sup> 등이 시도되고 있다.

따라서, 本 研究에서는 吸氣系에 대하여 準正常流動으로 單純化한 모델에 있어서 吸入過程 중의 吸入밸브를 지나서 실린더로 流入되는 亂流流動場의 構造가 밸브揚程 밸브形狀에 따라 어떻게 變化하는가를 實驗的으로 觀察하여 亂流流動場의 크기와 混合氣 濃度變動과의

相關을 구할 目的으로, 우선 速度場의 測定과 流動의 可視化를 슈리렌 (Schlieren) 攝影寫眞으로 流動全體構造를 이해하는데 도움을 얻고, 밸브를 包含한 吸氣系의 改善點을 찾고자 하였다.

## 2. 實驗裝置 및 方法

### 2.1 實驗裝置

Fig.1은 本 實驗에 使用한 全 實驗裝置의 概要圖이다.

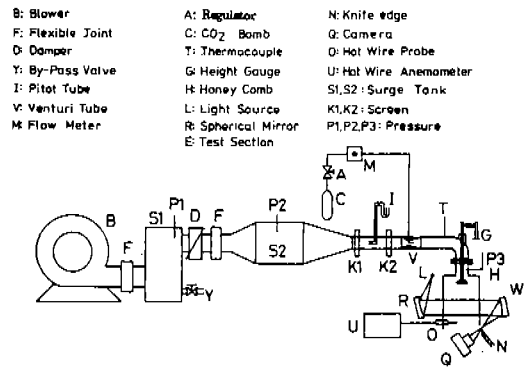


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

本 實驗裝置는 크게 送風機에 의해 導入되는 空氣導入部, 吸入된 空氣量을 調節하고 脈動現狀을 除去하며 縮流作用을 하는 서지탱크 (Surge Tank)부, 트레서 (Tracer)를 導入하고 計量하는 트레서 導入部, 空氣와 트레서를 混合시키는 供試可視模型氣化器部 그리고 試驗部로 나눌 수 있다.

#### 2.1.1 空氣導入部

空氣를 導入하는 送風機는 三相起動 誘導電動機로 驅動되는 遠心形 送風機로, 電動機出力은 3.7 kw, 5PS이다.

送風機에서 나온 空氣는, 送風機의 振動을 吸收시키기 위하여 設置된 플렉시블 조인트 (Flexible Joint) (F)를 거쳐 서지탱크 S1으로 들어간다. 서지탱크 S1의 上部에서 서지탱크 S2로 들어가는 空氣量을 調節하기 위하여 調節板(D)을 設置하였으며, 送風機에서 噴出되는 空氣量이 過多할 경우를 對備하여 下

부에 바이패스밸브(By-Pass Valve) (Y)를  
設置하였다. P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>는 서지탱크內的 靜壓을 測  
定하기 위한 水柱마노미터(manometer)이다.

2.1.2 供試可視模型氣化器

Fig. 2는 本 實驗에서 使用한 供試可視模型  
氣化器의 詳細圖이다. 本 供試氣化器는 自動  
車用 가솔린機關에 使用되는 實用氣化器를 모  
델로 透明 아크릴 丸棒을 使用하여 田材友彦  
等<sup>25)</sup>의 實驗結果에서 報告된 最良의 置數를  
擇하여 製作하였으며, 噴出口는 直徑 3.3mm  
의 구멍을 뚫고, 外徑 3.3mm, 內徑 2.3mm  
스텐레스 파이프를 設置하였다.

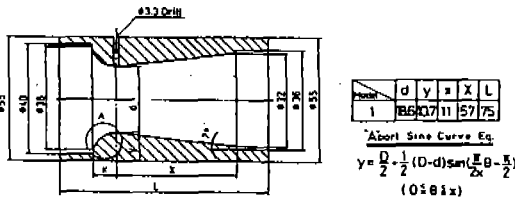


Fig. 2 Testing Venturi

2.1.3 試驗部와 모델밸브

Fig. 3은 試驗部의 詳細圖이다. 送風機에서  
나온 空氣는 서지탱크 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>를 거쳐 벤츄리

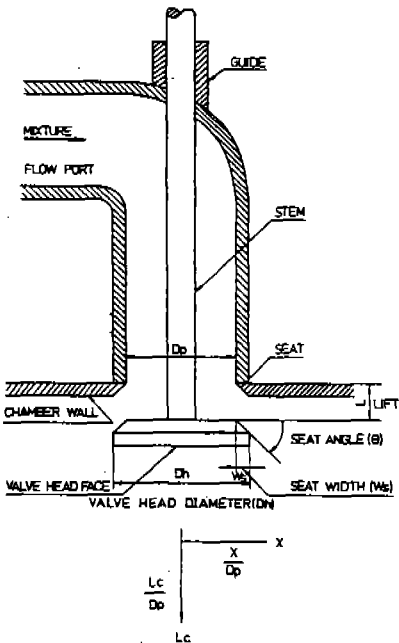


Fig. 3 Schematic Diagram of Test Section

部에서 가스 펌프로부터 流量計를 거처나온 트  
래서와 混合되어 試驗部로 들어가게 된다. 벤  
츄리를 지난 混合氣는 流動方向을 垂直下方向  
으로 바꾸어 出口前方 70mm 近處에 設置된  
정류장치를 지나 試驗部로 流入하게 된다.

밸브揚程은 높이게이지(Height Gauge)에의  
하여 調節하였으며, 밸브 및 실린더 內벽은 밸브  
형상에 따라 變化시킬 수 있도록 交換이 可能  
하게 만들었다.

또한 Fig. 4는 모델밸브를 표시하였다. 透明  
아크릴 丸棒을 使用하여 製作하였으며, 밸브  
헤드면의 形狀에 따라 실린더內 流動現象이  
어떻게 變化하는지를 살펴보기 위하여 밸브헤  
드면의 形狀 세가지를 選定하였다. 밸브헤드  
면이 평평한 것을 P(Plat)-Type, 볼록한 것  
을 V(Convex)-Type, 그리고 오목한 것을  
C(Concave)-Type이라 命名하였으며, 또한 밸  
브시이트 角의 變化에 따르는 流動現象을 觀  
察하기 위하여 밸브시이트 角을 30°, 45°, 60°  
90°로 變化시켰다.

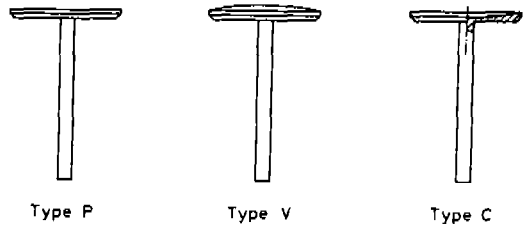


Fig. 4 Valve Type

예로, 오목한 밸브헤드면에 밸브시이트角이  
30°이면, C-30 Type 밸브라 稱하였다.

2.2 實驗 方法

2.2.1 吸入空氣量

本 實驗에는 管內 平均流速을 測定하기 위  
하여 縮流裝置를 지난 후 200mm 위치에 規  
格品인 피토관(Pitot tube)를 裝置하여, 그 全  
壓力과 靜壓力의 差를 水柱 마노메타로 測定  
하고, 溫度에 대한 補正을 하여 吸入空氣의 流  
速 및 流量을 測定하였다.

2.2.2 트레서 噴出流量

트레서 噴出流量은 空氣用 플로우트 流量

計를 使用하였으며, 本 實驗에 使用한 燃料 代用 트레서가 CO<sub>2</sub> 이기 때문에 重量比에 의 해 나타내는 換算表(O<sub>2</sub> 泵의 流量計)를 使用하여 補正하였으며 空氣와 트레서인 CO<sub>2</sub>의 混合比가 15:1이 되도록 하였다.

2.2.3 管內 溫度測定 및 壓力測定

管內 溫度測定은 열전대(thermocouple), 직경 0.5 mm의 C-C(Cromel-Constantan) 線을 使用하였다. 管內 壓力測定은 流動場內의 靜壓을 測定할 目的으로 實驗裝置의 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> 位置에 小孔을 만들어 耐壓비닐 튜브로 水柱 마노미터와 연결하여 壓力 變位差를 測定 하였다.

2.2.4 試驗部內의 軸方向 速度의 測定

試驗部內의 軸方向速度測定은 한 軸方向으 로 最大移送距離 210 mm인 三軸移送裝置에 熱線風速計의 프로브를 裝着하여, 試驗部內 각 部分을 10mm 間隔으로 하여 三軸으로 移 動시키면서 測定하였다.

速度測定에는 携帶型 熱線風速計(測定範圍 0-40m/s SOGO DENSI製)와 피도관을 使用 하였다.

2.2.5 슈리렌 寫眞撮影

流動을 可能視하는 光學的인 方法에는 直 接撮影法, 그림자 撮影法, 슈리렌 撮影法, 마 하젠더(Machzehnder) 干涉法 등이 있는데, 벨브를 지나 形成되는 流動場에는 急激한 密 度勾配( $\partial \rho / \partial y$ )가 依存하기 때문에 密度勾 配에 의한 光線의 屈折을 利用한 슈리렌 寫 眞撮影이 流動場의 定性的인 流動特性을 究 明하는데 適合하다.

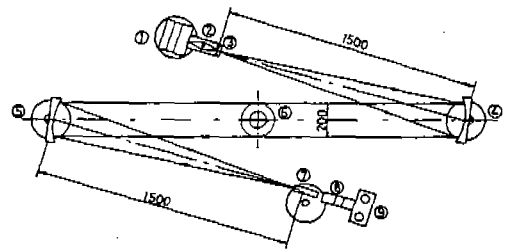
本 實驗에서는 벨브헤드면 形狀의 變化, 벨 브시트角의 變化, 양성의 變化에 따르는 流動 現象을 拘束面이 있는 경우와 없는 경우에 대 해 슈리렌 寫眞撮影하여 定性的으로 調査하 였다.

Fig.5는 本 實驗에 使用된 슈리렌 寫眞撮影 裝置의 概要圖이다. 光原 ①은 1 kw의 할로겐 램프이며, 빛의 밝기는 變壓器에 의해 電壓調 整을 하여 調節하였다. 點光原을 얻기 위하여 콘덴스렌즈(Condense lens)②를 設置하고 光 原側 오목거울④(焦點距離 1.500 mm, 有效直

徑 200 mm)의 焦點距離에 슬릿(Slit) ③을 놓았다. 그러면 光原側 오목거울 ④에서 나온 平行光線은 試驗部 ⑥을 지나 상대편 오목거 울 ⑤에 到達한다.

이때 被寫體의 密度勾配에 의해 平行光線은 屈折하여 오목거울 ⑤에 集光된다. 또, 焦點 距離에 나이프 에이지(Knife edge) ⑦을 設置 하여 屈折된 빛의 일부를 遮斷함으로써 카메 라 ⑨의 필름면에 슈리렌 象이 冺히게 된다. 슈리렌用 카메라를 使用하면 바로 焦點 뒤에서 필름에 象을 冺히게 하여 撮影할 수 있 으나, 一般 카메라를 利用한 경우에는 거울에 의 하여 反射된 상이 필름앞에 冺히도록 이를 較 正하여야 한다.

本 實驗에서는 210mm 줌렌즈(Zoom lens) ⑧을 使用하였다.



- 1. Light Source
- 2. Condense Lens
- 3. Slit
- 4. Concave Mirror 1
- 5. Concave Mirror 2
- 6. Test Section
- 7. Knife Edge
- 8. Zoom Lens
- 9. Camera

Fig.5 Layout of the Schlieren Apparatus

나이프 에이지로 象을 가릴 때 상을 가리는 정도는 상의 對比(Contrast)나 感度(Sensitivity)와 關係가 있다. 상을 많이 가릴 경우 對比는 좋아지지만 어두어져 感度が 떨어지 고, 상을 조금 가릴 경우 밝게 나타나고 感度 가 좋아지지만 對比가 나빠져 구분이 잘 안되 므로 實驗 狀況에 따라 調節해야 한다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 拘束面이 없는 경우의 吸氣管 出口에 서의 軸方向 速度分布

Fig.6은 벨브를 裝着하지 않았을 경우 軸

方向速度의 半徑方向分布를 熱線風速計로 測定하여 그래프로 나타낸 것이다. 半徑方向과 軸方向의 距離는 吸氣管의 直徑에 對하여 無次元化( $L_c/D_p$ )하였다. 各各의 軸距離에 對하여, 中心部의 速度( $U_c$ )에 對한 半徑方向距離의 變化에 따르는 速度의 偏差( $(U-U_c)/U_c$ )를 그래프 상에 나타내고 線으로 연결하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 出口前方 5mm 까지 내려와 있는 밸브 스템의 影響으로 軸中心部에서의 速度는 吸氣管 直徑에 對한 軸方向距離  $L_c/D_p$ 가 1.094인 點을 基準으로 하여  $L_c/D_p$ 가 증가함에 따라 작아지다가 다시 팽라지는 것을 觀察할 수 있으며, 各各의 測定線을 따르는 最大速度의 位置는  $L_c/D_p$ 가 증가함에 따라 漸次的으로 中心線으로 移動되고 있음을 알 수 있고, 아울러 噴出流動의 影響域이 넓어짐을 알 수 있다.

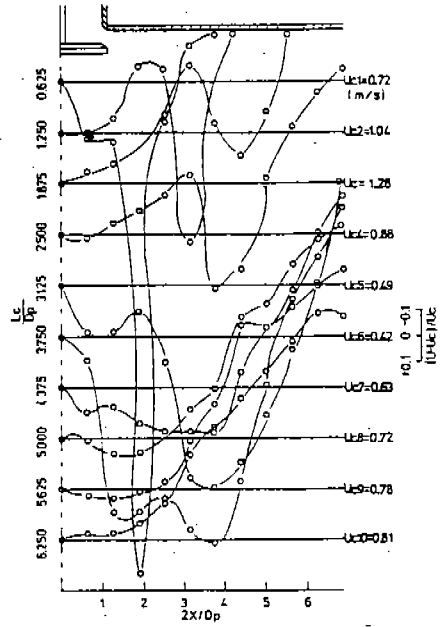


Fig. 7 Radial Distributions of Axial Velocity for P-30 Type Valve ( $L/D_p=0.15$ )

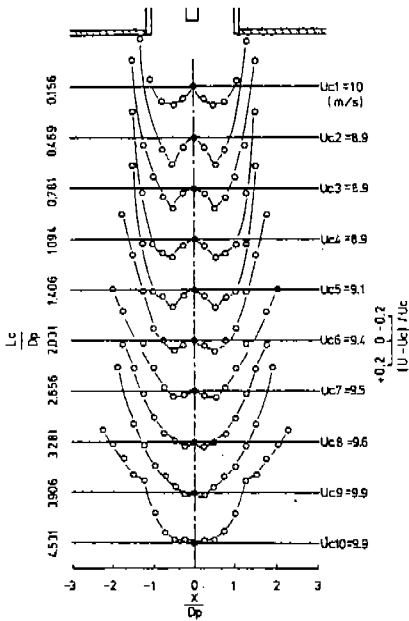


Fig. 6 Radial Distributions of Axial Velocity for Non-Valve Head

이는 밸브 出口에서 충분히 떨어진 點에서는 밸브헤드의 影響이 적어지는 流動이 이루어지고 있는 것으로 思料된다.

### 3.2 軸方向速度의 半徑方向分布

Fig. 7~Fig. 10은 吸氣管 直徑에 對한 밸브

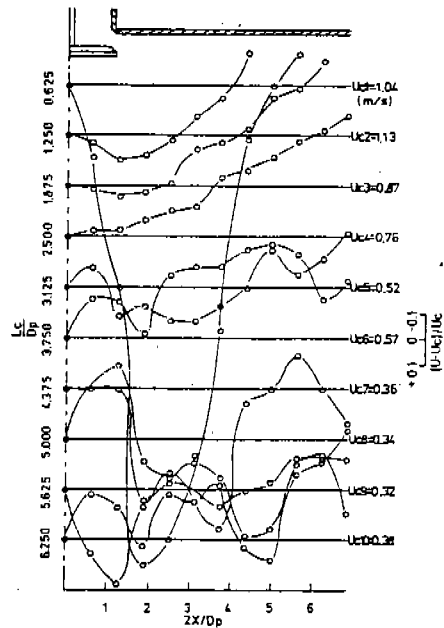


Fig. 8 Radial Distributions of Axial Velocity for P-45 Type Valve ( $L/D_p=0.15$ )

揚程( $L/D_p=0.15$ )을 일정히 하였을 때 P-30 type, P-60 type, P-90 type 밸브 통과 후의 軸方向速度의 半徑方向速度 分布를 表示한 것

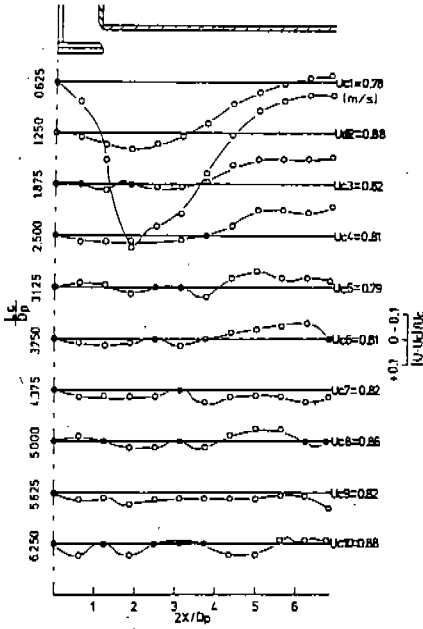


Fig. 9 Radial Distributions of Axial Velocity for P-60 Type Valve ( $L/D_p=0.15$ )

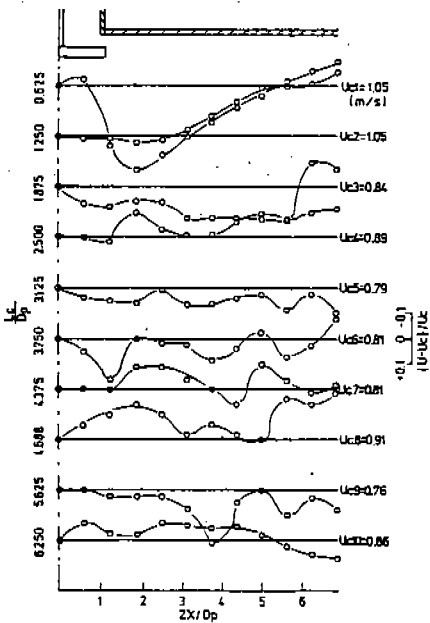


Fig. 10 Radial Distributions of Axial Velocity for P-90 Type Valve ( $L/D_p=0.15$ )

이다. 그림에서 밸브시트角의 影響으로 吸氣管出口와 밸브에 의해서 形成되는 出口 아래

方向에서는 대단히 빠른 速度가 나타나, 中心部에서는 그 影響이 적음을 알 수 있으며, P-60, P90 type 은 半徑方向 全구간에 걸쳐 그 變動이 적으며 軸方向의 絶對速度도 작음을 알 수 있다. 또한,  $L_c/D_p$ 가 增加할수록, 즉 밸브出口에서 멀어질수록 速度變動의 정도가 減少하며, 밸브시트角이 작은 P-30 type 인 경우  $L_c/D_p$ 가 5.00인 지점부터 軸中心方向으로 最大速度點이 급격히 移動하고 있음을 알 수 있다.

### 3.3 Valve lift에 의한 影響

Fig. 11~Fig. 14은 吸氣管 直徑에 대한 軸方向距離  $L_c/D_p$ 가 0.625인 곳에서 P-30 type 밸브, P-45 type 밸브, P-60 type 밸브, P-90 type 밸브 각각에 대하여 밸브양정  $L/D_p$ 를 0.05, 0.10, 0.15, 0.20으로 變化시켰을 때 軸方向速度分布를 나타낸 것이다.

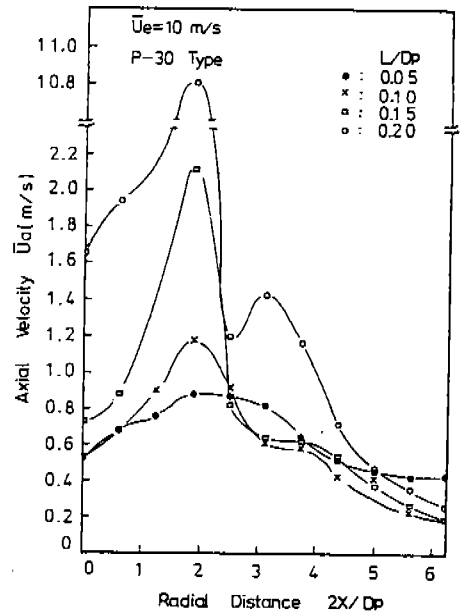


Fig. 11 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Lift ( $L_c/D_p=0.625$ )

그림에서 양정이 增加할수록, 대체로 放出되는 速度의 크기는 增加하며, 最高値를 나타내는 位置는 半徑方向의 中心方向으로 移動

하고 있으며, P-30 type과 P-45 type에서는 양정에 따르는 速度變化 및 軸方向 絕對速度의 크기가 크고, P-60 type과 P-90 type에서는 작음을 알 수 있다.

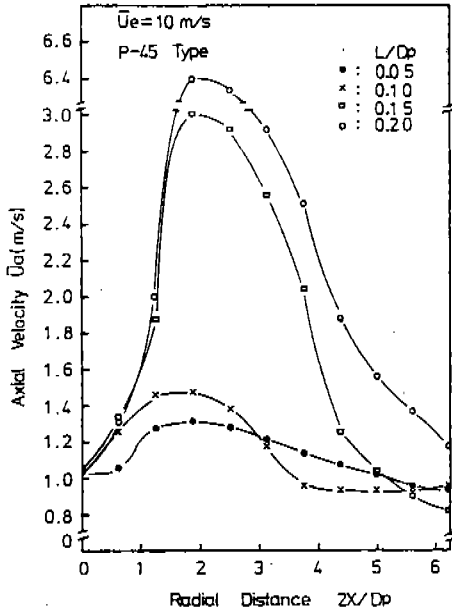


Fig. 12 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Lift ( $L_c/D_p=0.625$ )

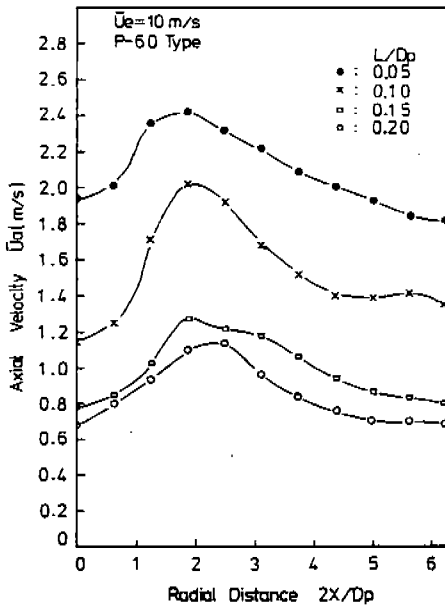


Fig. 13 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Lift ( $L_c/D_p=0.625$ )

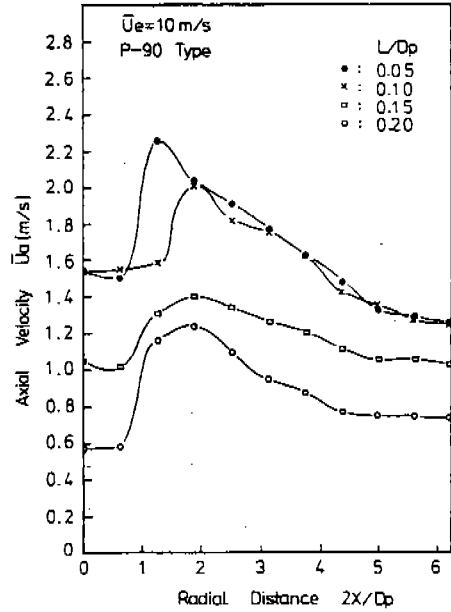


Fig. 14 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Lift ( $L_c/D_p=0.625$ )

### 3.4 시트각에 의한 影響

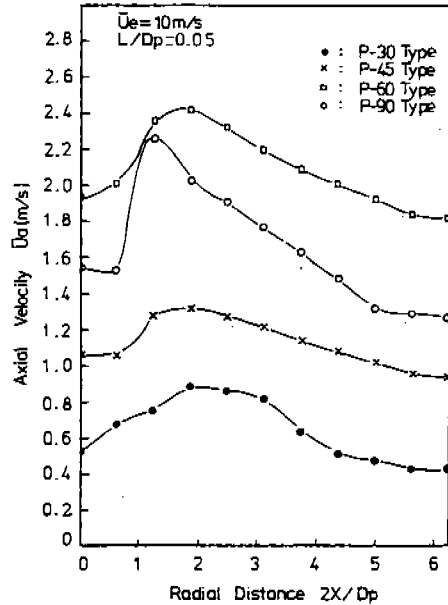


Fig. 15 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Valve Types ( $L_c/D_p=0.625$ )

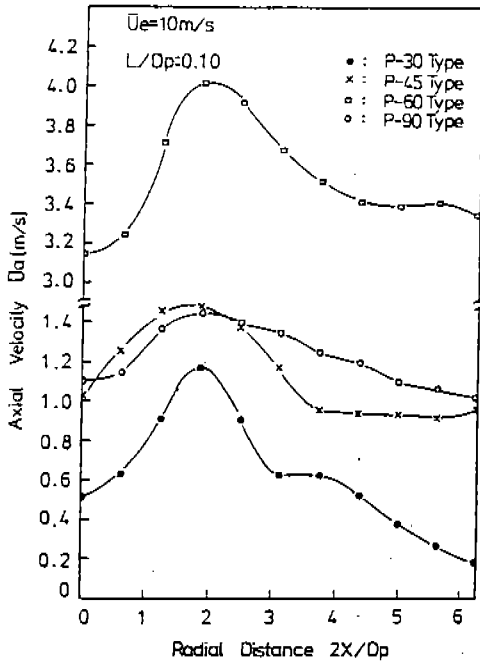


Fig. 16 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Valve Types ( $L_c/D_p = 0.625$ )

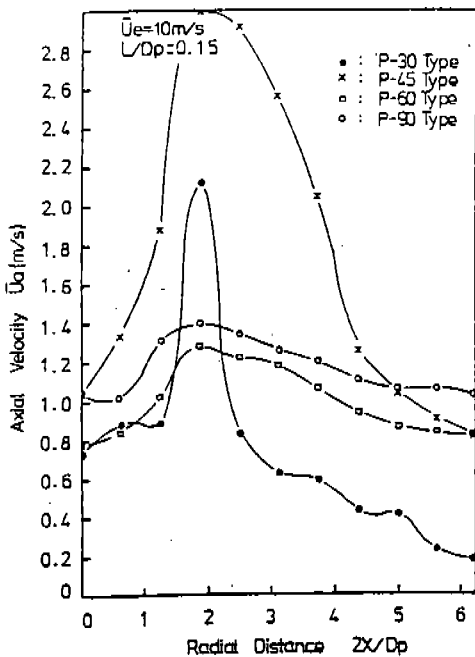


Fig. 17 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Valve Types ( $L_c/D_p = 0.625$ )

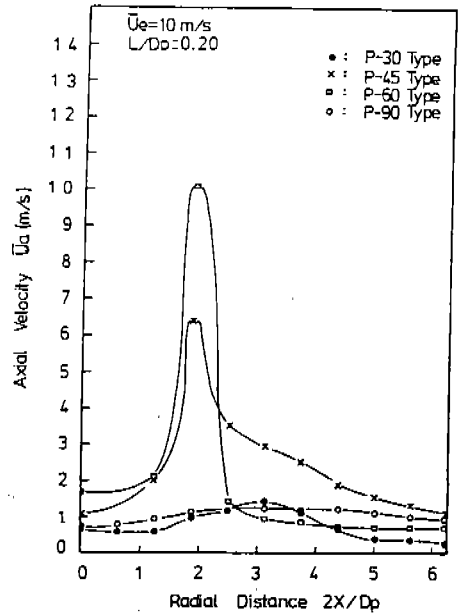


Fig. 18 Radial Distributions of Axial Velocity for Different Valve Types ( $L_c/D_p = 0.625$ )

Fig. 15~Fig. 18는 흡기관 직徑에 대한 軸方向距離  $L_c/D_p = 0.625$ 인 곳에서 흡기관 양정에 대한 밸브揚程  $L/D_p$ 를 固定시키고 밸브 形狀을 變化시켰을 때, 軸方向速度의 半徑方向分布를 表示한 것이다.  $L/D_p = 0.05$ 일 때는 P-30 type, P-45 type, P-90 type, P-60 type 순으로 半徑方向分布의 軸方向速度가 커지며,  $L/D_p = 0.10$ 일 때는 P-30 type, P-45 type, P-90 type, P-60 type 순으로, 흡기관 직徑에 대한 밸브양정  $L/D_p = 0.15$ 일 때는 P-30 type, P-45 type,  $L/D_p = 0.20$ 일 때는 P-30 type, P-90 type, P-60 type, P-45 type 순으로 갈수록 軸方向速度가 커지는 것을 알 수 있다.

### 3.5 吸入口 出口에서의 混合氣 流動可視化

Fig. 19~Fig. 20은 拘束面이 存在하지 않는 경우에 밸브를 지나는 流動現象에 대하여 슈리렌 寫眞으로 可視化하고 그 중 代表性인 것을 表示한 것이다.



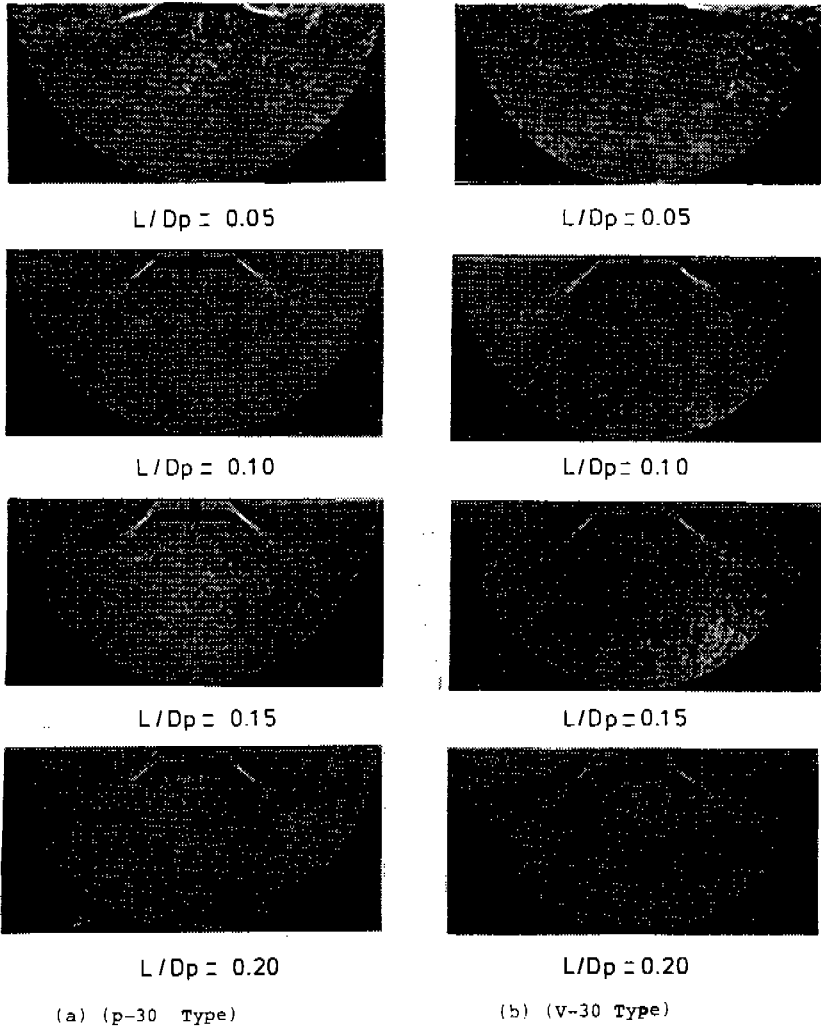


Fig.19 Photo of Schlieren

Fig.19(a)는 P-30 type 밸브를 裝着한 경우에 밸브양정을 0.05, 0.10, 0.15, 0.20으로 變化시켰을 때의 슈리렌 寫眞으로, 밸브양정  $L/D_p$ 가 增加할수록 噴出되어 퍼지는 角이 줄어들음을 알 수 있다. 즉, 슈리렌 寫眞으로부터 알 수 있는 바와 같이, 單位時間當 最大의 流量이 지나가는 제트(Jet)類는 밸브와 포트 사이에 形成되며, 밸브시트角과 거의 同一한 角으로 噴出되고 있는 것을 觀察할 수 있으며, 밸브 後面의 流動方向과 나란한 흰 色線이 停滯하고 있는 것으로 보아 流動이 밸브 後面의 放出角에 의하여 影響을 받으며 放出係數에

어서 큰 影響을 끼침을 알 수 있다. Fig. 19 (b)와 Fig.20(a)은 V-30 type 밸브와 C-30 type 밸브에 대한 寫眞으로, 噴出口에서의 傾向은 P-30 type 밸브와 거의 一致하는 傾向을 나타내며, 밸브헤드면에 形成되는 亂流流動場에서도 비슷한 樣相을 보인다.

Fig. 20(b)는 吸氣管 直徑에 대한 밸브양정  $L/D_p=0.15$ 로 固定시켰을 때, 밸브형상을 變化시켜 얻은 슈리렌 寫眞이다. C-30 type 과 C-45 type 밸브에서는 밸브시트角과 거의 一致하는 噴射角을 가지나, C-60 type 밸브에서는  $10^\circ$ 정도, C-90 type 밸브에서는 거의 水

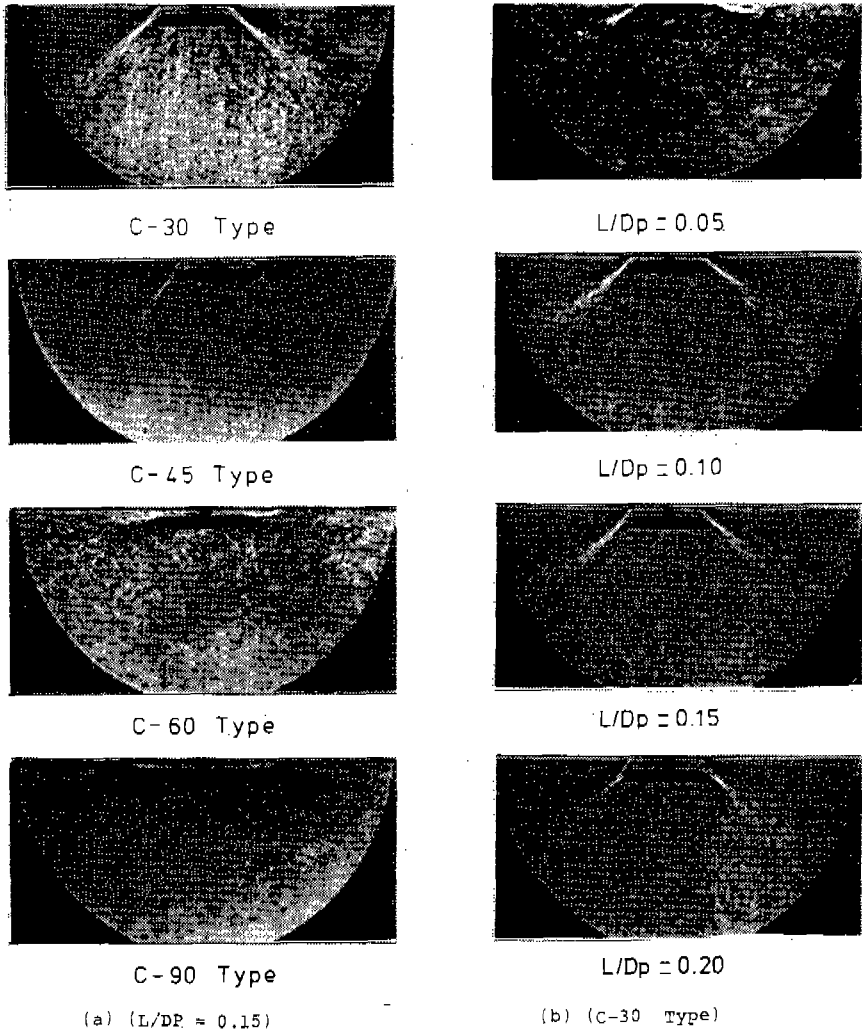


Fig.20 Photo of Schlieren

주로 갈리는 噴射角을 가지는 것을 보아, C-60 type 밸브, C-90 type 밸브에서는 流動抵抗이 C-30 type이나 C-45 type 밸브에 서보다 상당히 큼을 알 수 있다.

이상의 각 슈리렌 寫眞觀察을 통하여 밸브를 통과한 混合氣의 亂流形狀이 軸方向의 速度變動 크기와 같은 傾向으로 밸브시트角 30°, 45°인 경우가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 45°인 경우는 30°인 경우에 비하여 밸브 후면에서 中央部分으로 氣流의 渦가 생겨감을 觀察할 수 있다. 이는 混合氣 形成 改善에 도움이 될 것으로 思料된다.

#### 4. 結 論

本 研究는 單純化한 電氣點火機關의 吸氣 모델에 있어서, 吸入過程의 吸氣밸브를 지나는 亂流流動場의 구조가 밸브양정, 밸브형상에 따라 어떻게 變하는가를 實驗的으로 규명하고자 한 것으로, 追跡粒자를 CO<sub>2</sub>를 사용하여 슈리렌 寫眞과 熱線風速計에 의한 軸方向 速度 分布測定을 行하였다.

本 實驗에서 밸브를 지나는 混合氣流動의 軸方向速度는 밸브시트角과 양정에 따라 많은 變化를 나타내며, 밸브시트角이 30°, 45°인 경

우에는 全 밸브양정 變化區間에 대해서 60°, 90°일 때보다 軸方向 速度變化가 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

또한 밸브出口의 슈리렌 寫眞에 의하여, 混合氣의 噴出形狀을 觀察한 결과, 軸方向速度變動의 크기 傾向과 같은 傾向으로 밸브시트 각 30°, 45°인 경우가 軸方向에 대한 亂流流動이 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

밸브시트 각 45°인 경우는 다른 경우에 비하여 中央部에 渦의 형성이 현저히 생겨감을 보였다.

### 參 考 文 獻

1. Damkohler, Gerhard, "The Effect of Turbulent on the Flame Velocities in Gas Mixtures", NACA TM 1112, 1947.
2. 嶋本 讓, 吸·排氣內非定常流れ, pp. 77~84, 內燃機關, 23~295, 1984.
3. C. Arcoumanis, A.F. Bicen, and J.H. Whitelaw, "Effect of Inlet parameter on The Flow Characteristics in a Four-Stroke Model Engine", SAE Tech. 820750, 1982.
4. Naoki Okanishi, Itaru Fukutani, and Eiichi Watanabe, "Jet Air Suction Port (JASP) Improves Fuel Consumption of 4-Stroke Cycle Gasoline Engines at Idle" SAE Trans. 820155, 1982.
5. T.M. Liou and D.A. Santavicca, "Cycle Resolved Turbulence Measurement in a Ported Engine With and Without Swirl", SAE Trans. 830419, 1983.
- 6) Peter O. Witze, Jry K. Martin and Claus Borgnakke. "Fluid Motion during Flame Propagation in a Spark Ignition Engine", SAE Tech. 840337, 1983.
7. A.D. Gosman, Y.Y. Tsui and C. Vafidis, "Flow in a Model Engine with a Shrouded Valve-A Combined Experimental and Computational Study", SAE Tech. 850498, 1985.
8. Paul Huber and James R. Brown, "Computations of Instantaneous Air Flow and Volumetric Efficiency", SAE Trans. Vol. 73, 1965.
9. David R. Lancaster and Roger B. Krieger, Spencer C. sorenson and William L. Hull, "Effects of Turbulence on Spark-Ignition Engine Combustion", SAE Trans. 760160, 1976.
10. Daniel L. Bajema and George W. Gatecliff, "Prediction and Measurement of Fluid Flow In Single Cylinder Engine Carburetors", SAE Tech. 780285, 1978.
11. J.I. Ramos, J.A.C. Humphrey and W.A. Silignano, "Numerical Prediction of Axisymmetric Laminar and Turbulent Flow in Motored, Reciprocating Internal Combustion Engine", SAE Trans. 790356, 1979.
12. Steve Meismer, S.C. Sorenson, "Computer Simulation of Intake and Exhaust Manifold Flow Heat Transfer.
13. G.C. Davis, C. Borgnakke, "The Effect of In-Cylinder Flow Processes (Swirl, Squish and Turbulence Intensity) on Engine Efficiency-Model Predictions", SAE Trans. 820045, 1982.
14. P.S. Tice, "Intake Flow in Manifolds and Cylinders", SAE Trans. Part I. Vol.16, 1921.
15. A. Ekchian and D.P. Hoult, "Flow Visualization Study of the Intake Process of an Internal Combustion Engine", SAE 790095, 1979.
16. M. Namazian, S. Hansen, E. Lyford-Pike, J. Heywood and J. Rife, "Schlieren Visualization of the Flow and Density Fields in the Cylinder of a Spark-Ignition Engine", SAE 800044, 1980.