

熱線流速計에 의한 디젤機關 燃燒室內의 空氣流動 測定

禹大盛* · 高大權 · 安秀吉

*釜山水產大學院 · 釜山水產大學
(1987년 2월 28일 접수)

Measurement of Air Motion in a Diesel Engine Combustion Chamber using Hot Wire Anemometer

Dae-Sung Woo

Graduate School of National Fisheries University of Pusan

Dae-Kwon Ko, Soo-Kil AHN

National Fisheries University of Pusan

(Received Feb. 28, 1987)

In order to examine the flow motion in a combustion chamber of a motored diesel engine, the variation of instantaneous air velocity at a fixed point in combustion chamber was measured by the constant temperature hot wire anemometer, varying engine speed, shroud shape and shroud position.

The results are summerized as follows:

1. The variation of air velocity in a combustion chamber is closely related with the valve timing and piston velocity.
2. The air velocity in the cylinder at suction stroke is being increased and maximized at 60°ABDC in compression stroke and then decreased at the e.v.o. in expansion stroke.
3. The mean velocity using shroud valve was less than no shroud valve. However the turbulent intensity using shroud valve was larger than no shroud valve.
4. The turbulent intensity with 90°shroud valve was larger than that of 120° shroud valve, and 90° shroud valve at 180°shroud position had the largest turbulent intensity.

1. 序 論

內燃機關 燃燒室內의 空氣流動은 燃燒에 크게 影響을 미친다. 따라서, 機關의 效率을 높이고 排氣 가스中の 汚染物質을 低減시키기 위해서는 적당한 空氣流動을 付與하는 것이 重要하다. 특히 小形高速 디젤機關은 좁은 燃燒室內에서 극히 짧은 時間內에 燃燒를 完結해야 하기 때문에 空氣流動에 의한 可燃混合氣의 形成이 重要하다.

이와같은 空氣流動은 吸入系의 吸入口 및 吸入 밸브에 의한 와류(swirl), 피스톤 形像 및 燃燒室의 形像에 의한 squish 등에 의해 形成되나 이들 流動의 亂流強度는 內燃機關의 燃燒에 크게 影響을 준다고

알려지고 있다. 그러므로 燃燒室內 空氣流動을 把握하는 것은 內燃機關의 燃燒研究와 燃燒室의 設計 및 開發에 매우 重要하다. 現在 內燃機關內的 流速 測定에는 LDV法 (Laser doppler velocity), 放電法, hot wire法 등이 있다.^{1,2)}

LDV法은 燃燒中の 가스流速도 測定할 수 있으나 價格이 비쌌 뿐 아니라 光學系의 設置가 까다로우며, 放電法은 溫度와 壓力의 影響을 받지 않으나 亂流特性을 測定할 수 없다. 그러나 hot wire는 驅動運轉中の 燃燒室內 空氣流動을 比較的 쉽게 測定할 수 있으므로 많이 使用된다.

특히 定溫度型 hot wire는 周波數 特性이 좋고 亂流의 特性도 測定할 수 있다.

따라서 本 論文에서는 國產 4 cycle 豫燃燒室式 小形 漁船用 디젤機關의 驅動運轉中 燃燒室內 流動 特性을 調査하기 위하여 燃燒室內 어느 한 位置에 定溫度型 hot wire 를 設置하고 吸入 밸브에 附着한 shroud 形像과 吸入口에 대한 shroud 位置를 變化시켰을 때 機關의 回轉數에 따른 燃燒室內의 瞬間流速을 測定하여 平均流速과 亂流強度를 調査하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

1. 實驗裝置

Fig.1은 本 實驗에 使用한 實驗裝置圖를 나타낸다.

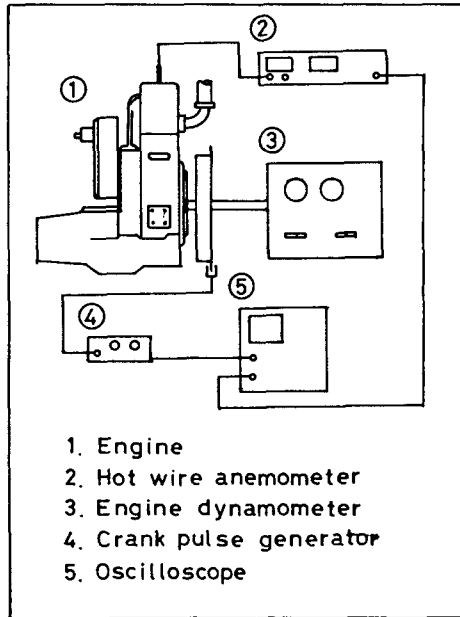


Fig.1. Schematic diagram of experimental apparatus

實驗에 使用된 機關 ①은 國產 4 cycle 豫燃燒室式 小形 漁船用 디젤機關(JAM 10, $\phi 96 \times 105$ mm)으로 動力計 ③에 附着된 直流電動機를 利用하여 驅動運轉(motoring)을 하였다.

hot wire sensor 는 cylinder head 에 固定시키고 熱線流速計 ② (KANOMAX TYPE IAM-60/28-1111) 로 連結되어 燃燒室內의 流速의 變化를 電壓으로 變換하여 crank 角度에 따른 瞬間流速變化를 oscilloscope ⑤에 나타내었다.

이때 crank 角度는 flywheel 에 連結된 自作의

crank pulse generator ④를 통해 나타나도록 하였다.

燃燒室의 hot wire sensor 附着은 $\phi 4.5$ mm hot wire sensor 支持管을 cylinder head 의 rocker arm 支持볼트로부터 燃燒室까지 $\phi 4.6$ mm 의 구경을 가공하여 깎어넣고 rocker arm 支持볼트속에 copper ring 을 넣어 작은 볼트로 固定했다.

또한 피스톤이 TDC 에 있을때에 hot wire 의 損傷을 막기 위하여 top clearance 1.3 mm 인 燃燒室을 3 장의 copper packing 에 의해 top clearance 를 3.4 mm 로 調整하고 cylinder head 下端部로부터 1.5 mm 位置에 hot wire 를 設置했다.

Fig.2는 本 實驗에 使用한 hot wire sensor 를 나타낸다.

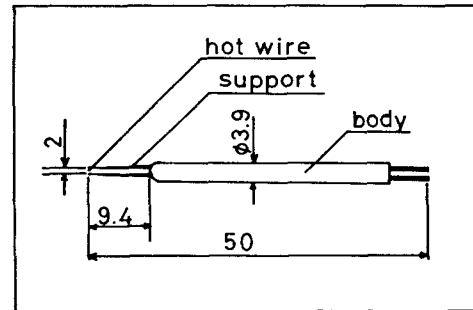


Fig.2. Hot wire sensor

hot wire sensor 는 I 形 probe(Model 0251-T5)로써 $\phi 5 \mu\text{m}$ tungsten wire(抵抗 5.5Ω)를 spot welding한 製品이었지만 實驗中 떨어져 끝部分에 구리로 coating 되어 있는 $\phi 5 \mu\text{m}$ tungsten wire(抵抗 3.7Ω)를 購入, 修理하여 實驗에 使用했다.

Fig.3은 本 實驗에 使用한 吸入 밸브의 形像을 나타낸 것으로 높이 10 mm, 폭 1.5 mm 의 shroud 形像을 吸入밸브 半徑 18 mm 位置에 90° 및 120° 의 크기로 하여 argon 熔接으로 附着하였다.

2. Pitot tube 에 의한 流速의 檢定

Fig.4는 流速과 hot wire 의 電壓과의 關係를 檢定하기 위한 實驗裝置圖를 나타낸다.

流速의 檢定은 管의 中心에 hot wire 를 흐름에 대하여 垂直으로 固定시키고 pitot tube 도 管 中心에 水平으로 固定하여 fan 에 의해 流速을 變化시킬 때 定溫度型 熱線流速計의 出力電壓과 pitot tube 에 의해 測定한 空氣流速과의 關係를 調査하였다.^{3,4)}

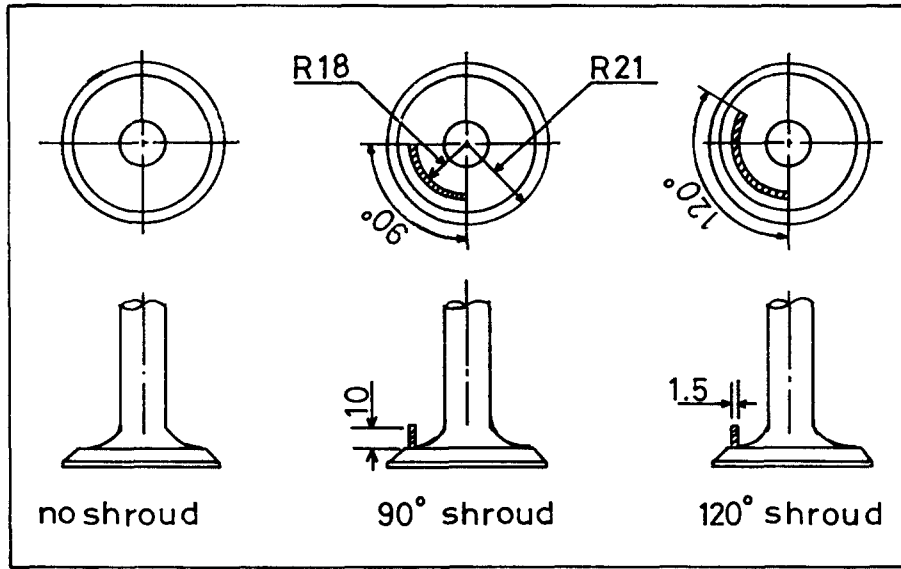


Fig. 3. Intake valves

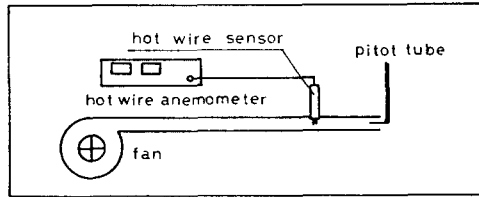


Fig. 4. Schematic diagram of calibration apparatus

Fig. 5는 이와같은 방법으로 pitot tube에 의해測定한流速(x軸)과熱線流速計의出力電壓(y軸)과의關係를 나타낸다.

熱線에 대한熱平衡條件을考慮해보면 다음과 같다.⁵⁾

$$\frac{V^2}{R_W} = \pi dlh(T_W - T_g) = \pi l \lambda (T_W - T_g) N_s$$

여기서 V^2/R_W 는熱線으로供給된energy이고,

$\pi dlh(T_W - T_g)$ 는熱線으로부터가스의傳達熱量이며,

- d : 熱線의 直徑, T_W : 熱線溫度,
- h : 熱傳達率, T_g : 가스의溫度,
- l : 熱線의 길이, V : 熱線의 供給電壓,
- $N_s = hd/\lambda$: Nussel number, λ : 가스의 熱傳導率,
- R_W : 熱線의 電氣抵抗이다.

위式으로부터熱線의供給電壓과風速과의關係는 A, B 를定數, R 을熱線設定抵抗에 의해定한定

數, U 를風速이라하면 다음과 같이表示할 수 있다.⁶⁾

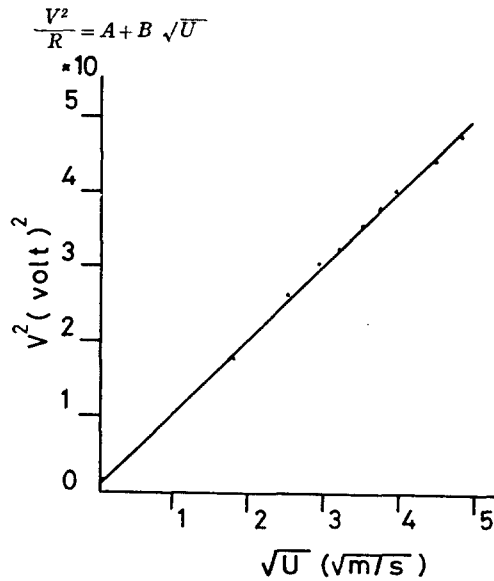


Fig. 5. Calibration curve

3. 實驗方法

Table 1. Test condition

rpm	300.	500.	700
hot wire position	horizontal . vertical		
shroud position	0°.	90°.	180°
radius angle of shroud	no(0°).	90°.	120°

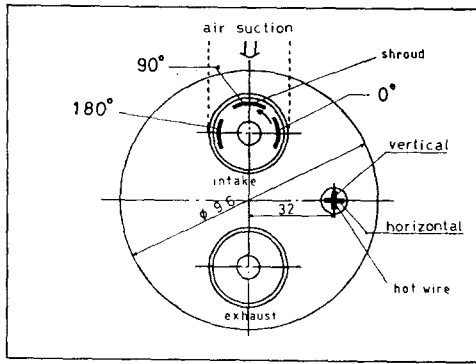


Fig. 6. Location of hot wire and shroud position

Table 1은 各各의 實驗條件을 Fig. 6은 hot wire 固定位置와 吸入口에 대한 shroud의 位置關係를 나타낸다.

實驗方法是 cylinder 中心에서 32 mm, cylinder head 下端面에서 1.5 mm 떨어진 한 點의 瞬間流速變動을 上記의 實驗條件에서 hot wire sensor로 感知하여 oscilloscope에 나타내었다.

oscilloscope time은 20 ms, 50 ms로 하고 single sweep에 의한 瞬間流速變動의 波形과 crank 角度를 B 사티로 多數 撮影하여 平均流速과 亂流強度를 計算하였으며 平均流速과 亂流強度를 다음과 같이 定義하였다. 7)

ensemble 平均流速; $\bar{U}(m/s)$

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^N U_i}{N} \quad (N: \text{測定 cycle 數})$$

亂流強度(turbulent intensity); $u'(m/s)$

$$u' = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i(t)^2} \quad (u_i(t): \text{平均流速에 대한 變動成分})$$

3. 實驗結果 및 考察

1. hot wire 位置變化와 rpm 變化에 따른 流速의 變化

本 實驗에 使用한 I形 hot wire는 流動方向에 垂直으로 設置하는 것이 原則이나 燃燒室內의 流動은 매우 복잡하여 流動方向을 확실히 알 수 없으므로 流動方向에 따른 hot wire 位置를 決定하고자 hot wire의 設置位置를 變更하여 同一 實驗條件下에서

流速의 變化를 調査하고, 回轉數에 따른 平均流速을 調査 하였다.

Fig. 7, 8, 9는 shroud를 附着하지 않았을 境遇 回轉數 300, 500, 700 rpm 일때의 hot wire 位置에 따른 3 cycle의 瞬間流速變化를 나타낸다.

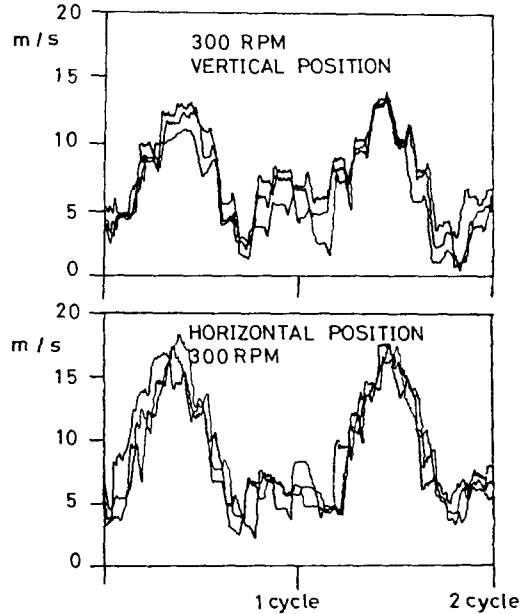


Fig. 7. Comparison of instantaneous velocity for hot wire position at 300rpm

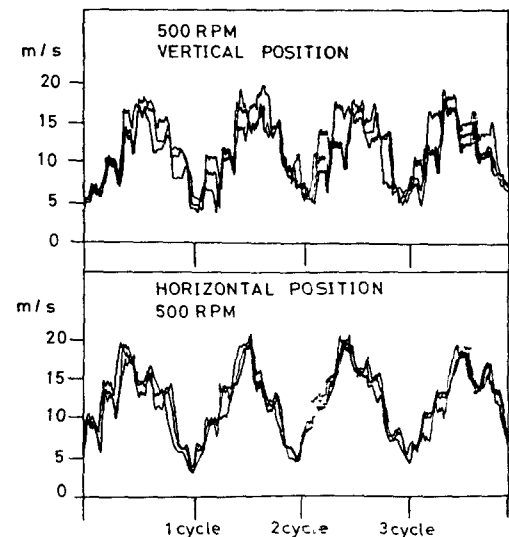


Fig. 8. Comparison of instantaneous velocity for hot wire position at 500rpm

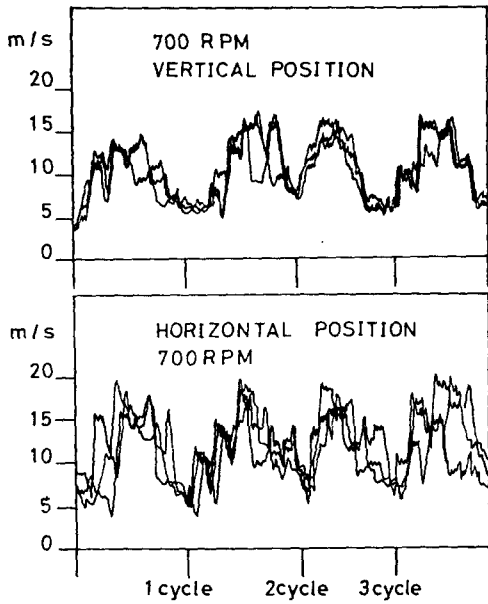


Fig. 9. Comparison of instantaneous velocity for hot wire position at 700rpm

Fig. 7에서 回轉數가 300 rpm 일때 hot wire 의 位置가 垂直方向인 境遇 最低速度가 2~3 m/sec 이고 最高速度가 11~14 m/sec 인 반면에 水平方向의 境遇는 最低速度가 4~5 m/sec 이고 最高速度가 16~17 m/sec 이었으며, 全體의으로 水平方向이 높은 速度分布를 나타내었다. 또한 最高速度의 比率는 垂直方向이 水平方向의 70~80% 정도에 不過하다.

Fig. 8, 9 도 Fig. 7 과 비슷한 傾向을 나타내므로 流動은 cylinder 의 圓周方向의 速度成分이 큰것으로 보아 hot wire 를 水平方向으로 設置하도록 하였다.

500 rpm 의 境遇에 各 cycle 마다 水平方向 流動成分의 再現性이 제일 良好함을 보여주고 있다.

Fig. 10, 11 은 回轉數 變化에 따른 15 cycle 의 ensemble 平均 流速變化를 나타낸다.

Fig. 10, 11 에 의하면 全體의인 流速의 變化傾向은 밸브 timing 과 piston 速度 등에 密接한 關係가 있는 것으로 보이며 吸入行程時 回轉數에 따른 流速의 變化는 700 rpm 의 境遇가 가장 높으며, 燃燒에 크게 影響을 미치는 壓縮行程時 回轉速度가 낮은

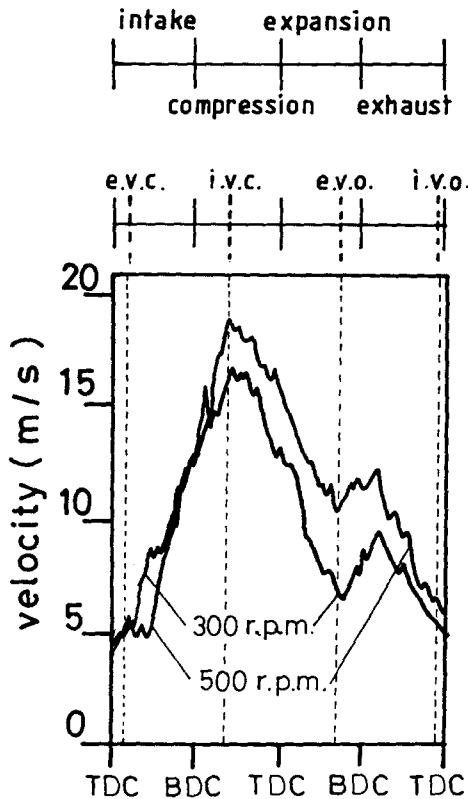


Fig. 10. Comparison of mean velocity at 300 rpm and 500 rpm.

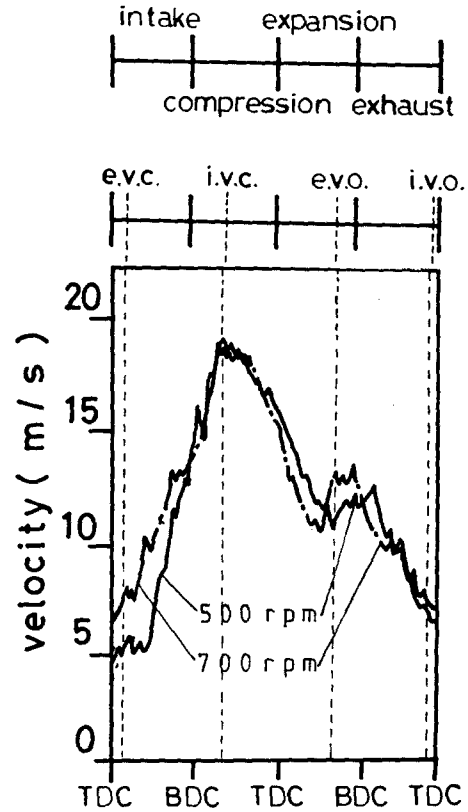


Fig. 11. Comparison of mean velocity at 500rpm and 700 rpm

300과 500 rpm 의 境遇에서는 500 rpm 의 境遇일때 2 m/sec 정도 크게 나타나며 回轉速度가 높은 500과 700 rpm 의 境遇에서는 700 rpm 의 境遇일때 약간 높게 나타났다.

膨脹, 排氣行程時 300 rpm 과 500 rpm 의 境遇에서는 500 rpm 의 流速이 큰것으로 나타났으나 500 rpm 과 700 rpm 의 境遇에서는 流速의 크기가 回轉數에 따라 不均一하게 變하므로 複雜한 流動變化가 있는 것으로 推測된다.

한편 어느 回轉數에서나 한 cycle 의 流速變化에서 미세한 點을 考察해 보면, 吸入行程 始作 TDC 에서의 速度가 한 cycle 中 가장 낮고, piston 이 아래로 움직이기 始作한 後 60° ATDC에서 排氣 valve 가 닫혔을때 (e. v. c=exhaust valve closing) 약간의 流速增加가 있음을 볼 수 있다. 이는 排氣 valve 의 닫힘에 의해 瞬間的인 吸入 壓力의 增加 때문인 것으로 생각된다.

또한 吸入行程中 流速은 增加한다. 이는 吸入 valve 揚程의 增加에 따른 吸入流量의 增加에 의해 intake manifold pulsations 과 jet flow 의 方向變化 때문이라 생각된다.

壓縮行程 BDC 이후의 流速도 계속 增加하여 60° ABDC에서 吸氣 valve 가 닫혔을때 (i. v. c=intake valve closing) 最大速度를 갖는다. 이때의 流速增加는 piston 에 부딪쳐 돌아오거나 cylinder 벽을 따라 돌아오는 recirculation of intake jet flow 增加때문인 것으로 생각된다.

그리고 吸氣 valve 가 닫힌 後 燃燒室內의 流速은 piston 速度의 影響과 viscous dissipation 및 流動方向의 變化 등에 의해 점점 減少하여 排氣 valve 가 열릴때 (e. v. o=exhaust valve opening) 流速은 增加하는데, 이때 流速의 增加는 valve 열림에 따른 燃燒室內의 壓力變化에 의해 排氣 valve 를 통해 가스가 排出되기 때문이라 생각된다.

2. no shroud 밸브와 shroud 밸브에 의한 流速의 比較

Fig. 12, 13, 14는 吸入 밸브에 附着한 shroud 의 效果를 調査하기 위하여 回轉數 500 rpm 일때 no shroud 밸브와 shroud 位置가 180°인 境遇에서 90° shroud 밸브, 120° shroud 밸브를 使用하여 한 cycle 의 瞬間速度와 15 cycle 의 平均速度와 亂流強度를 吸入, 壓縮, 膨脹, 排氣行程에 대해 나타낸다.

平均流速의 變化를 보면 no shroud 밸브의 使用時

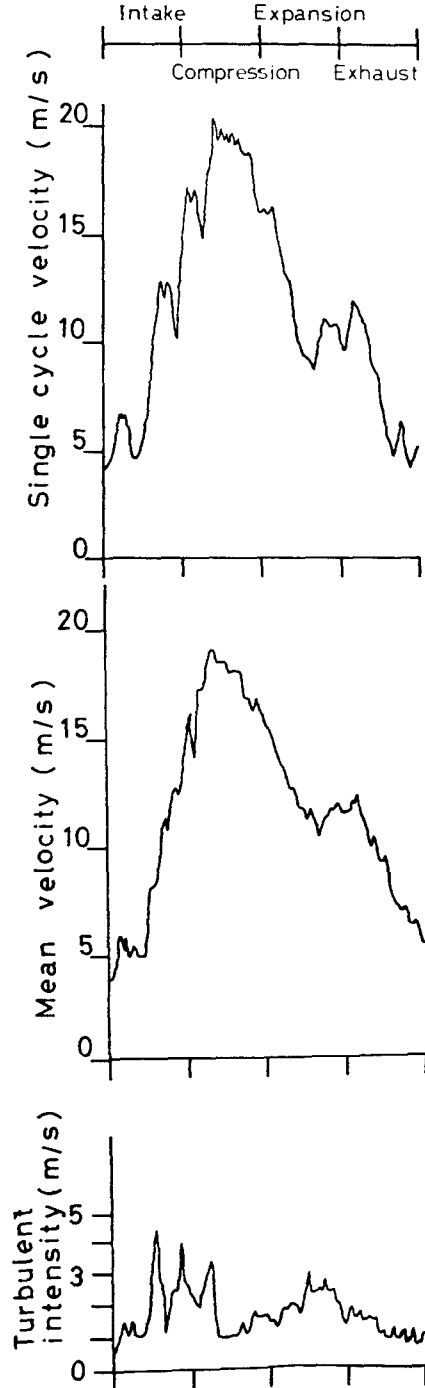


Fig. 12. No shroud valve at 500rpm

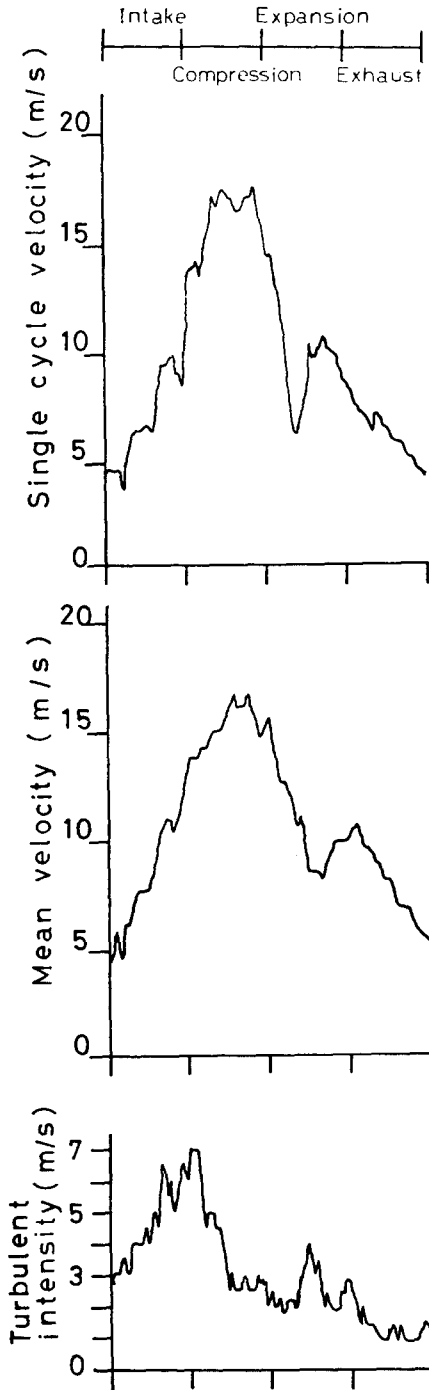


Fig.13. 90° shroud valve at 500rpm

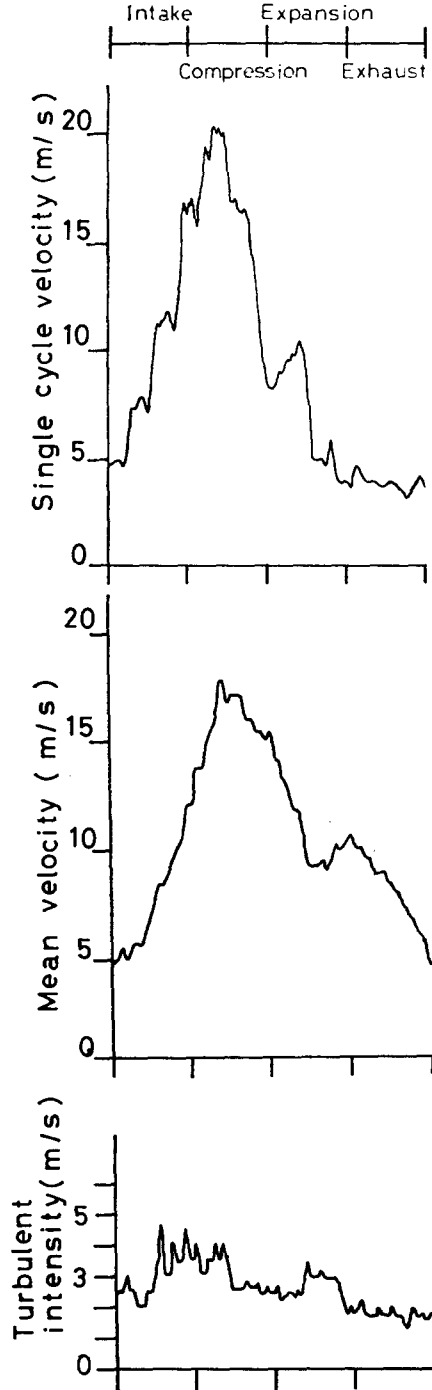


Fig.14. 120° shroud valve at 500rpm

가 90°, 120° shroud valve 使用時보다 cycle 全般에 걸쳐 높게 나타났다. 이는 吸入時 shroud 벽의 摩擦抵抗에 의해 流速이 減少된 것으로 생각된다.

한편 亂流強度는 어느것이나 最大流速에 이르기까지 가장 큰 값을 가지며 相異한 形態를 보이고 있고 膨脹, 排氣行程에서는 類似한 形態를 갖고 있다.

또한 亂流強度가 가장 큰 곳은 流速이 最大일때보다는 piston 速度가 最大일때 (Fig. 12, Fig. 14)와 吸入行程 終了時 (Fig. 13) 나타났으며, 90° shroud valve 使用時가 no shroud valve 使用時보다 거의 倍에 가까운 亂流強度를 보이고 있고 120° shroud valve 使用時가 中間이었다.

Fig. 12, 13, 14에 의하면 shroud 에 의해 平均速度는 낮아졌지만 亂流는 많이 發生된 것을 알 수 있으며 平均流速이 減少하는 期間, 즉 壓縮行程 中間에서 排氣 valve 가 열리기까지는 亂流強度의 變化가 적은 것을 알 수 있다.

이는 flat piston 의 壓縮效果에 따른 새로운 亂流가 生成되지 않았기 때문이라 생각된다.

3. shroud 形像의 位置變化에 따른 流速 變化

Fig. 15, 16은 吸入 valve 에 附着한 shroud 形像의 位置變化에 따른 流速變化를 調査하기 위하여 回轉數

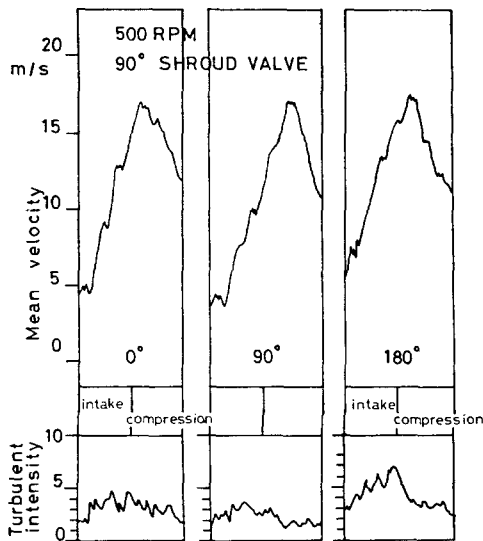


Fig. 15. Comparison of mean velocity and turbulent intensity for 90° shroud valve position

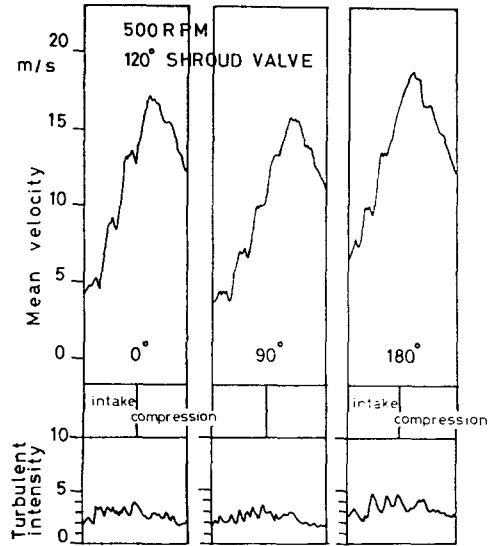


Fig. 16. Comparison of mean velocity and turbulent intensity for 120° shroud valve position

500 rpm 에서 90° 및 120°의 shroud 를 各各 吸入口에 대해 0°, 90°, 180°의 位置로 變化시켰을때 15 cycle 의 平均速度와 亂流強度를 燃燒에 크지 影響을 미치는 吸入, 壓縮行程에 대해 나타낸다.

Fig. 15에 의하면 平均速度의 最大速度는 全體의 均一하나 特히 shroud의 位置가 180°일때 流入速度가 가장 높게 나타났으며, Fig. 16에서도 같은 傾向이 나타났다. 또한 亂流強度는 全體의 均一으로 보아 90° shroud의 使用時가 120° shroud의 使用時보다 높게 나타났으며 shroud의 位置에 따른 亂流強度는 두 境遇 모두 180°位置일때 제일 強하게 나타났다.

특히 90° shroud의 180° 位置에서 亂流強度가 가장 강하게 나타났다.

따라서 90° shroud의 180° 位置에서 亂流強度가 제일 큰것으로 보아 燃燒에 가장 좋은 流動을 付與하는 吸入 밸브가 될 것이다.

4. 結 論

熱線流速計를 利用하여 디젤機關 燃燒室內의 한 點에서 流速을 測定한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 燃燒室內의 流動은 cylinder 의 圓周方向의 速度 成分이 크며, 流速變化는 밸브 timing 과 피스톤 速度 등에 密接한 關係가 있다.
2. 流速은 吸入時부터 增加하여 壓縮行程中 吸入

밸브가 닫히는 60° ABDC 에서 最大值를 갖고 이후 피스톤의 速度가 減少함에 따라 流速도 減少하여 膨脹行程中 排氣 밸브가 열리는 120° ATDC 에서 다시 增加하였다.

3. 平均流速은 shroud 밸브 使用時가 no shroud 밸브 使用時보다 낮지만 shroud 밸브 使用時 吸入行程에서 亂流強度가 가장 크게 나타났다.

4. 90° shroud 밸브 使用時가 120° shroud 밸브 使用時보다 亂流強度는 더 크고, 90° shroud 의 180° 位置에서 亂流強度가 제일 크게 나타났다.

文 獻

1. Liou, T.M., et al.(1985) : Cycle Resolved LDV Measurements in a Motored I.C. Engine, Trans. ASME., Vol.107, 232-240.
2. Witze, P.O.(1977) : Measurements of the Spatial Distribution and Engine Speed Dependence of Turbulent Air Motion in an I.C.Engine, SAE paper, No.770220.
3. 浜本嘉輔 外 2名(1980) : 가스溫度變化에對する熱線流速計의出力補正, 日本船用機關學會誌, 第15卷2號, 8-13.
4. 浜本嘉輔 外2名(1981) : 熱線流速計による內燃機關シリンダ內空氣流速의測定について, 日本船用機關學會誌, 第16卷5號, 57-63.
5. Hinze, J.O.(1975) : Turbulence, McGraw-Hill, 86-95.
6. Hassan, H., Dent, J.C.(1970) : The Measurement of Air Velocity in a Motored Internal Combustion Engine Using a Hot Wire Anemometer, Proc. Inst. Mech., Vol.185, 583-591.
7. 脇坂知行外2名(1982) : 內燃機關의燃燒室內における亂流特性, 日本機械學會論文集, 48卷430號, 1198-1205.