大韓機械學會論文集 第11卷 第5號, pp. 725~730, 1987.

<論 文>

2사이클 기관 흡기 포오트의 가스 유동 특성에 관한 연구

이 창 식*

(1987년 3월 17일 접수)

A Study on the Characteristics of Gas Flow in Inlet Port of 2 Cycle Engine

Chang Sik Lee

Key Words: Gas Flow in Engine (기관의 가스 유동), Inlet-Air Flow(흡기 유동), 2 Cycle Engine(2사이클 기관), Flow Measurement(유동 측정)

Abstract

An experimental study of the air flow through inlet pipe of reciprocating two-cycle engine was investigated under motored condition. Measurements of the two components of velocity, velocity fluctuation, and the other behavior of inlet flow have been obtained by laser Doppler anemometer system. The research engine comprised the cylinder head of a two-cycle engine which mounted on optical spacer with measuring window and glass inlet entry for laser anemometer measurement.

A dual beam laser Doppler anemometer was used with conventional forward scattered method and comprised argon-ion laser, frequency shifter with Bragg cell module, and the signal processor. Measurements of mean leocity fluctuation of inlet flow for different engine speeds, measuring positions, and the changes in cylinder volume are investigated.

The results presented show that the changes in engine speed is shown to be strongly influenced on the mean velocity of inlet air. The effect of measuring position and cylinder volume on the inlet velocity was also investigated for the inlet port entry and is shown to be small compared to the engine speed.

1. 서 론

내연 기관의 실린더 내의 가스 유동은 흡입으로부터 배기에 이르기까지의 전 과정에 가장 큰 영향을 미치는 인자가 되고 있다. 이러한 관점에서 기관의 가스 유동은 기관의 연소 및 성능 향상을 위한 연구의 일환으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 연소 유동장의 계측은 실린더 내의 연소 유동장의 변동 특성을 파악함에 있어서 매우 중요한 것의 하나가 되고 있다. 그러므로 연소실로 흡입되는 공기 유동은 연료의 분무, 가스의 선회도, 연료 공기의 혼합, 연소 등에 중요한 인자로서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 연소실 내의 가스 유동에 관한 연구는 1964년 레이저 도플러 유속계가 개발된 이래 모델 기관을 비롯하여 각종 기관에 대한 가스 유동 측정에 관한 연구가 진행되어 왔다[1-7]. 그러나 연소 유동장에 미치는 기관의 연소실 흡입구의 유

* 정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

동 특성에 관한 연구는 그다지 많지 않은 실정이다[8,9]. 특히 2사이클 기관의 경우에는 흡입 포오트 부근의 유속이 사이클 내의 연소 변동 및 가스 유속 변동에 영향을 미치는 더욱 중요한 인자로 작용하게 되므로 흡입 포오트의 가스 유동 특성을 밝히는 것은 연소 및 가스 교환 과정의 연구에 더욱 밀접한 관계를 갖는 연구의 하나가 된다.

따라서 본 연구에서는 2사이클 기관의 흡입 포오트 부근의 가스 유동을 레이저 도플러 유속계를 이용하여 측정하고 가스의 평균 속도, 속도 변동, 유속 벡터 등을 기관의 회전 속도, 실린더 헤드의 모양 및 실린더로의 흡입 속도 측정점의 위치 변화에 대하여 비교 검토하고, 유동 특성을 고찰하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 기관 및 실험 장치

Fig. 1은 실험 장치를 나타낸 것이고, Fig. 2는 레이저 도플러 유속계의 광학계를 도시한 것이다. 레이

Fig. 1 Experimental apparatus

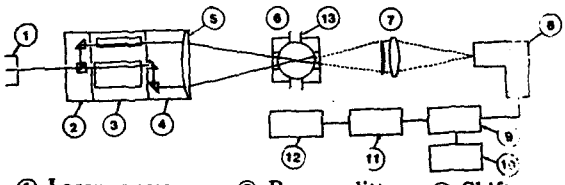

Fig. 2 Schematic diagram of laser Doppler anemometer system

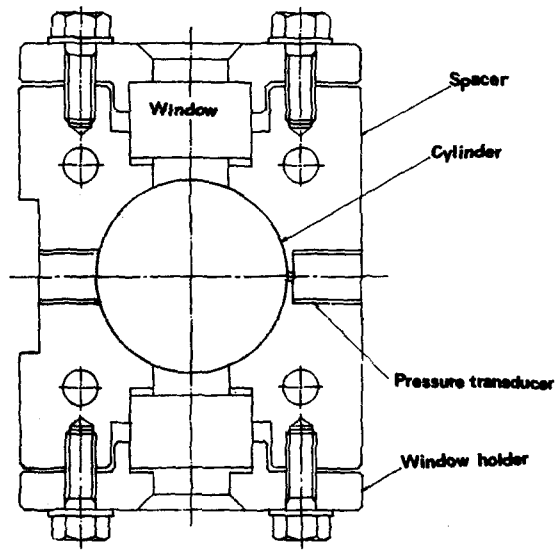

Fig. 3 Optical spacer

Table 1 Specification of test engine

Type of engine	2 cycle, crankcase compression type
Valve	Psiton and reed valve type
Bore/Stroke	50/50mm
Compression ratio	6.59
Number of cylinder	1
Exhaust timing	EV. Open : 82.97°BBTC, Closed : 81.75°ABTC
Scavenging timing	SV. Open : 57.35°BBTC, Closed : 59.99°ABTC
Scavenge type	Schnürle type

Table 2 Laser Doppler anemometer system

Laser wave length	488 and 514.5nm
Laser source	5W
Beam diameter	2.42mm (Focusing lens)
Focal length	310mm
Total angle of intersection	7.38
Intersection volume length	1.24
Number of fringe	21
Type of frequency shifter	Bragg cell type

저 도플러 유속계에서 사용하는 광원은 레이저 파장 514.5nm, 출력 5W이며, 레이저 빔은 빔 스플리터에서 2개의 평행 광선으로 분리되고 브래그 셀을 거쳐

집광 렌즈에서 주어진 실험 기관으로 집광되도록 하였다. 산란 입자는 백색 충전 보강제 분말을 사용하였으며, 산란광은 수광측 광학계를 통하여 신호 처리 장치를 거쳐 VT-100 컴퓨터에서 통계 처리하였다.

실험용 기관은 2사이클 기관을 수정한 모델 기관으로서 실린더와 연소실 및 흡입구를 가시화하여 레이저광이 투과되도록 하였다. 가시화는 Fig. 3과 같은 실린더 헤드와 블록 사이에 투명 유리로 만든 측정창을 설치한 스페이서와 연소실 흡입구에 투명 유리관을 넣어 수정된 기관을 사용하였다. 한편 실린더 헤드는 블록형과 평탄형의 두가지로 하였으며 평탄형의 경우에는 레이저 투과와 가시화를 위하여 투명 유리로 제작하였다.

실험에 사용한 기관은 2사이클 기관이며, 기관의 주요 제원은 Table 1과 같다. 가시화를 위한 스페이서는 두께 23mm이며, 양측에 크기 15mm×20mm인 측정용 창을 설치하였다. 한편 기관의 구동 장치는 전동기와 벨트 전동으로 구성하였으며 회전 속도는 전동기의 가변 회전 장치를 이용하였다.

Table 2는 실험에 사용한 레이저 도플러 유속계의 주요 제원을 나타낸 것이다.

2.2 실험 방법

기관 실린더 내로의 흡입되는 가스 유속은 기관의 회전 속도를 4종으로 변화시켰을 경우와 흡기관 내의 속도, 속도 변동, 난류 강도, 속도 벡터 등을 구하였으며, 기관 실린더 헤드는 블록형과 평탄형의 2가지로 하였다. 산란 입자는 백색 보강제 분말을 사용하였으며, 이것은 SiO_2(59.48%)와 MgO(30.23%)을 주성분으로 하는 분말로서 평균 입경은 2.31μm이다.

수광 방식은 비임의 진행 방향으로 광을 수광하는 전방 산란 2차원 동시 측정 방식을 택하였으며 집광 렌즈의 초점 거리는 310mm, 비임 간격은 40mm이고, 흡입관 외경은 23.0mm, 내경은 20mm, 굴절율은 1.52이다. 한편 기관의 회전 속도는 1831rpm, 2197rpm 2653rpm 및 2929rpm의 4종으로 변화시켰으며, 측정 위치는 흡입구로부터 44mm의 지점으로 하였다.

산란 입자의 공급은 흡기에 의한 자연 흡입 또는 필요에 따라 가진 장치도 사용하였다. 또한 산란 입자 내의 습분을 제거하기 위하여 공급하기 전에 충분히 건조시켜서 공급 도중 입자들의 응집 현상과 입자들의 불균일성을 제거하였다.

유속 측정은 흡기관의 각 측정점에서의 평균 속도, RMS, 난류 속도 등을 구하였으며, 주류 및 반지름 방향의 속도를 측정하여 실린더의 흡기관 내의 유동 벡터도를 구하였다. 또한 유동 특성은 측정점의 위치, 연소실 헤드의 형상에 따른 영향에 대하여도 검토하였다. 유속 측정은 앙상블 평균을 취하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관 회전 속도의 영향

Fig. 4(a)는 기관의 회전 속도를 1831rpm으로 구동 운전하였을 때의 축방향의 평균 속도를 도시한 것이고, Fig. 4(b)는 반지름 방향의 속도 분포를 도시한 것이

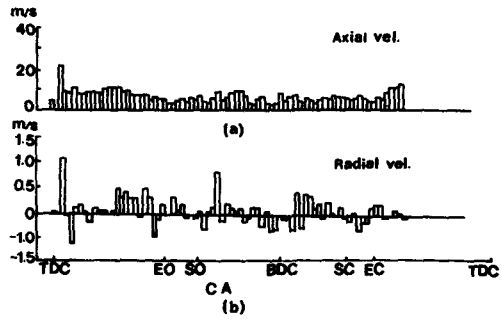

Fig. 4 Axial and radial velocity profile

다. 여기서 CA는 크랭크 각을 표시한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 축(주류) 방향의 속도 분포는 0~280°의 구간에서 대체로 상당한 변동을 보이면서 유동하는 현상을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이것은 흡기중의 공기가 사이클 과정중의 흡기 관성의 영향을 크게 받아서 흡기구 및 배기구가 완전히 닫힌 상태에 이르렀을 경우에도 상당한 흡기관 내의 유동이 존재함을 의미한다. 그림에서 EO, EC는 배기구의 열림과 닫힘 시기를 표시하고, SO, SC는 소기구의 열림과 닫힘 시기를 표시한다. 또한 TDC, BDC는 각각 상사점과 하사점을 나타낸 것이다.

본 실험의 경우 크랭크각 284°로부터 0°에 이르는 각도 사이에는 정체되어 있는 상태로 나타났다. 한편 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 반지름 방향의 속도는 상당한 변동을 수반하고 있음을 알 수 있으며, 이것은 주류 속도의 변화에 크게 영향을 미치는 요인의 하나가 되고 있음을 알 수 있다. 이러한 반지름 방향의 흐름은 흡입구의 형상과 유동에도 영향을 받겠지만 흡입구의 유입 성능과 크게 관계가 있는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 축방향 및 반지름 방향에 대한 평균 속도의 변화를 회전 속도에 대하여 비교한 것이다. 그림에서 ●은 회전 속도 2653rpm의 경우이고, ○은 1831rpm

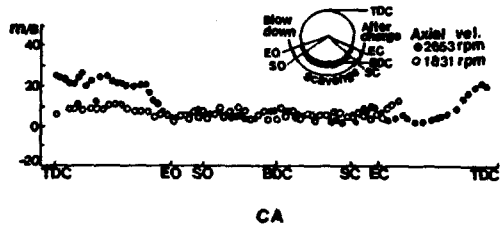

Fig. 5 Effect of engine speed on the inlet velocity

의 경우에 대한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 공기의 흡입 속도는 배기구 및 소기구가 열리는 시기 EO, SO로부터 닫히는 시기 EC, SC까지의 구간에서는 큰 차이가 없었으나 회전 속도 2653rpm의 경우가 1831rpm의 경우에 비하여 흡입 속도가 현저하게 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 고속일수록 피스톤 평균 속도가 증가하므로 리이드 밸브를 통하여 유입되는 가스 속도의 증가와 더불어 관성의 영향도 크게 받기 때문인 것으로 생각된다. 그림에서 보는 바와 같이 SC로부터 EC까지는 후급기(after charge)의 기능을 갖는 구간으로서 이 기간의 영향은 고속일수록 크게 나타나고 있다. 기관 흡입구 부근의 주류의 평균 유속은 기관의 회전 속도가 증가할수록 속도 변동의 폭은 증가하는 것으로 나타났으며, 맥동 효률에 대한 영향도 받는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 6은 앞에서 비교한 2653rpm의 경우와 1831rpm의 경우에 대하여 반지름 방향의 평균 속도를 비교한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 기관의 회전

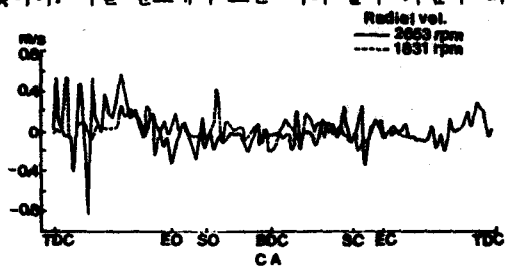

Fig. 6 Radial velocity porfile of inlet air

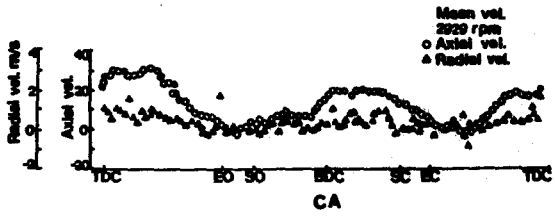

Fig. 7 Velocity profile of inlet port at 2929rpm, motored

속도의 증가는 주류 방향의 속도를 증가시켜서 반지름 방향의 속도 변동은 작아졌다.

Fig. 7은 회전 속도가 2929rpm의 경우에 대한 평균 속도를 도시한 것이다. 이선도에서 보는 바와 같이 기관 실린더 내로 흡입되는 흡기의 평균 속도는 회전 속도 2653rpm과 1831rpm의 경우와 비교할 때 뚜렷한 맥동 현상을 확인할 수 있었다. 이것은 기관의 회전 속도가 고속이 될수록 기관 흡입구로 유입되는 가스의 속도가 증가하고 고속에 따른 관성 작용이 부가되기 때문인 것으로 생각된다.

한편 반지름 방향의 속도는 저속의 경우보다 많은 변동이 수반되지는 않았다. 이것은 고속일수록 상대적으로 주류의 속도가 빨라져서 반지름 방향의 속도는 저하하기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

한편 Fig. 8은 흡입구 부근 축방향 및 반지름 방향의 변동 성분의 실효치를 구하여 비교한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 반지름 방향 및 축방향의 변

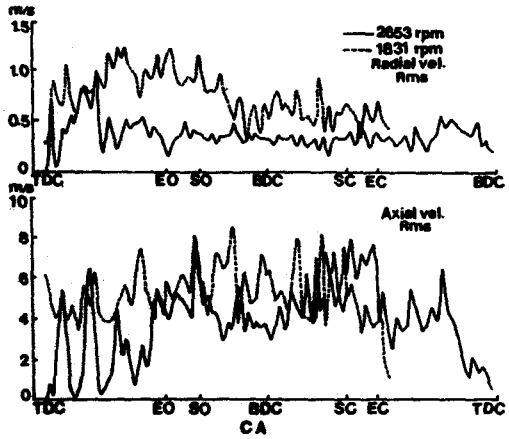

Fig. 8 Rms velocity fluctuation at two engine speed, motored

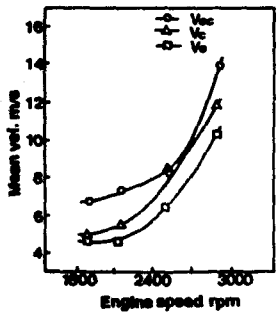

Fig. 9 Effect of engine speed on the mean inlet velocity

등 성분의 실효치는 회전 속도가 증가함에 따라 주류 방향의 속도는 증가하고 반지름 방향의 속도가 감쇠되기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 9는 소기구가 열리는 크랭크 각도로부터 소기구가 닫힐 때까지의 기간 동안 가스의 평균 속도 V_{ss}와 소기구 열림각 부근의 평균 속도 V_s, 소기구 닫힘각 부근의 평균속도 V_e를 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 1831rpm으로부터 2193rpm 부에서는 큰 차이가 나타나지 않았으나 2653rpm 이상에서는 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 기관의 속도 증가가 피스톤 속도를 증가시켜서 가스의 유속도 저속의 경우보다 크게 증가함에 따라 관성 효과도 부가되어 속도는 증가하는 것으로 볼 수 있다.

2차원 측정에 의한 축방향 및 반지름 방향의 속도로부터 구한 흡입구 부근의 속도 벡터를 그린 것이 Fig. 10이다. 이들 두 선도를 비교하여 보면 회전 속도가 1831rpm의 경우에는 속도의 변화가 그다지 두드러지지는 않았으나 2653rpm의 경우와 2929rpm의 경우에는 1831rpm의 경우에 비하여 상당한 변동이 수반되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 고속에서 반지름 방향의 속도가 주류 속도에 비하여 작으므로 속도 벡터는 그림과 같은 형태로 되는 것으로 볼 수 있다.

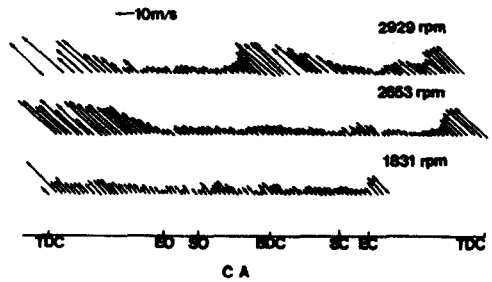

Fig. 10 Velocity vector diagram

3.2 측정 위치에 따른 영향

Fig. 11은 기관의 회전 속도가 2929prm의 경우 기관 흡입구 부근의 유속을 서로 다른 측정점에 대하여 비교한 것이다. 여기서 측정점 A는 흡입구부터 4cm인 지점의 중심부의 속도이고, 측정점 B는 관벽으로부터 8mm 떨어진 지점으로서 기관 흡입구로부터의 거리는 동일한 위치이다. 이 선도에서도 보는 바와 같이 평균 속도의 분포는 중심부보다 관벽쪽이 낮은 것으로 나타났으며, 이러한 현상은 일반적인 판로 흐름에서 지적되고 있는 것과 동일한 현상이다.

Fig. 12는 회전 속도가 2197rpm의 경우 주류 방향에 대한 속도 변동의 실효치의 변화를 측정점에 대하여 비교한 것이다. 이 선도에서 알 수 있는 바와 같이 측정점 A와 B사이의 속도 변동을 구한 결과 큰 차이는 보이지 않았으나 대체로 B의 경우가 A의 경우보다 초기의 변동이 큰 것으로 나타나고 있으나 그 이후에는 그다지 현저한 차이는 일어나지 않았다.

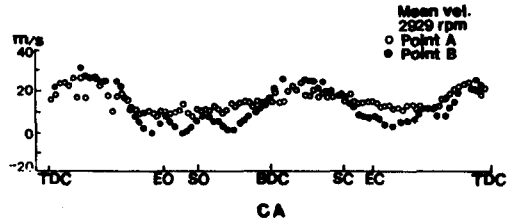

Fig. 11 Effect of measuring point on the mean velocity of inlet air

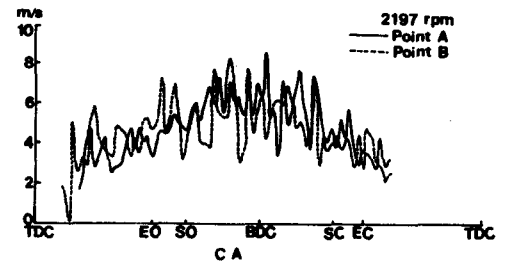

Fig. 12 Effect of measuring point on the Rms velocity fluctuation of inlet air

3.3 실린더 헤드 형상의 영향

Fig. 13은 실린더 헤드 형상 변화의 영향을 비교하기 위하여 실린더 헤드의 형상을 볼록형과 평탄형으로 제작하여 회전 속도 2929rpm으로 운전하였을 경우의 흡기의 평균 속도를 구한 것이다. 그림에서 볼록형은 실린더 체적 160.91cc일 때이고, 평탄형은 130.66cc인 경우에 대한 평균 속도를 도시한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 기관의 소기구가 열리는 시기(57.35°BBTC)로부터 닫히는 시기(59.99°ABTC)에 이르는 기간에서는 대체로 볼록형의 경우가 그 평균 속도

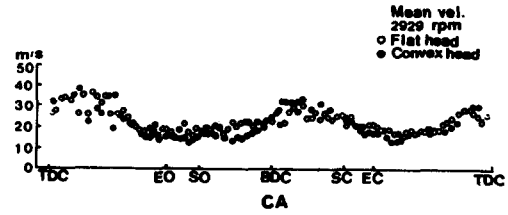

Fig. 13 Effect of cylinder volume on the mean velocity of air

가 높게 나타났으나 그 밖의 영역에서는 두드러진 차이는 나타나지 않았다. 이러한 경향은 평탄형의 경우가 압축비가 높으므로 압력차에 의한 흡입 공기량이 볼록형의 경우보다 크게 작용하므로 이들 양자의 차는 크지 않은 것으로 생각된다.

4. 결 론

기관의 실린더로 흡입되는 가스의 유속을 구하기 위하여 2사이클 기관 흡입구 부근의 공기 속도를 레이저 도플러 유속계를 사용하여 측정한 본 연구의 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 기관 실린더 내로 흡입되는 흡기관 내의 가스흐름을 전방 산란 방식의 레이저 도플러 유속계에 의하여 2차원 동시 측정하여 연소실 내의 가스 유동 및 왕복동 기관 실린더 내의 가스 유동 측정 방법을 확립하였다.

(2) 기관 실린더 내로 유입되는 가스 흐름에 대한 축방향 및 반지름 방향의 평균 속도의 변화를 레이저 도플러 유속계를 이용하여 측정한 결과 반지름 방향의 속도 변화가 주류 방향의 속도 변화에 비하여 변화의 기복이 큰 것으로 나타났다.

(3) 실린더 내로 흡입되는 공기의 평균 속도는 기관의 회전 속도가 증가함에 따라 증가하며, 축방향 및 반지름 방향의 속도로부터 흐름의 속도 벡터를 구한 결과 흡입 가스의 맥동 현상은 회전 속도가 증가할수록 현저한 것으로 나타났다.

(4) 실린더 내로 흡입되는 가스의 유속 변동 성분의 실효치는 기관의 회전 속도가 증가함에 따라 작아지며 반지름 방향의 변동 성분의 실효치가 회전 속도의 영향을 더욱 크게 받는다.

(5) 실린더 내로 흡입되는 가스의 속도 변화를 흡입구 부근의 측정점 위치에 대하여 구한 결과 동일한 회전 속도에 대하여는 현저한 차이는 나타나지 않았다.

후 기

본 연구는 "한국 과학 재단"의 연구 지원에 따른"압축 착화 기관의 연소 변동 특성에 관한 연구"의 일환으로 이루어진 것으로서 연구를 지원하여 주신 동 재단의 관계 제위에 대하여 심심한 사의를 표합니다. 또한 본 연구를 수행할 수 있도록 실험기관을 제공하여 주시고 토론하여 주신 R. Matsumoto 교수에 대하여 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

(1) A.F. Bicen, C. Vafidis and J.H. Whitelaw, 1985, "Steady and Unsteady Air Flow through the Intake Valve of a Reciprocating Engine", Trans. of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 107, p. 413.

(2) C. Arcounmains, A.F. Bicen and J.H. whitelaw, 1982, "Measurements in a Motored Four-Stroke Reciprocating Model Engine", Trans. of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 104, p. 235.

(3) P.O. Witze, J.K. Martin and C. Borgnake, 1984, "Conditionally-Sampled Velocity and Turbulance Measurements in a Spark Ignition Engine", Combustion Science and Technology, Vol. 36, pp. 301~317.

(4) A.P. Morse and J.H. Whitelaw, 1981, "Measurements of the In-cylinder Flow of a Motored Four-Stroke Reciprocating Engine", Proc. R. Soc. Lon. A 377, pp. 309~329.

(5) C. Vafidis and J.H. Whitelaw, 1986, "Intake Valve and In-cylinder Flow Development in a Reciprocating Model Engine", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 200, No. C2, pp. 143~152.

(6) P.O. Witze, 1980, "A Critical Comparison of Hot-Wire Anemometry and Laser Doppler Velocimetry for I.C. Engine Applications", SAE Paper-800132.

(7) J.B. Cole and M.D. Swords, 1978, "Optical Studies of Turbulence in an Internal Combustion Engine", Seventeenth Symposium on Combustion(International), pp. 1295~1303.

(8) G. Wigley and M.G. Hawkins, 1978, "Three Dimensional Velocity Measurements by Laser Anemometry in a Diesel Engine Cylinder Under Steady State Inlet Flow Conditions", SAE Paper 780060.

(9) C. Arcoumanis, A.F. Bicen and J.H. Whitelaw, 1983, "Squish and Swirl-Squish Interaction in Motored Model Engines", Trans. of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 105, p. 105.