

# 디젤기관의 흡기 맥동류가 체적효율에 미치는 영향 The Effects of Intake Pulsating Flow on Volumetric Efficiency in a Diesel Engine

강희영 · 고대권 · 안수길

H. Y. Kang, D. K. Koh and S. K. Ahn

**Key Words** : Intake Pulsating Flow(흡기 맥동류), Volumetric Efficiency(체적효율), Pressure Wave(압력파), Method of Characteristics(특성곡선법), Effective Length of Pipe(관 유효길이), Entropy Discontinuity(엔트로피 불연속성), Pipe Junction(관 접속부), Resonance(공진).

**Abstract** : Empirical experiments have been undertaken to investigate the effects of Intake Pulsating Flow on volumetric efficiency in a diesel engine. Waves occurs in the manifolds of engine owing to the periodic nature of the induction and exhaust processes caused by piston motion. During induction process, as waves travel both directions, they are reflected and interacted each other and pressure waves are transmitted through it. Hence, the flow become more complex and unsteady flow. These pressure waves act upon intake pulsating flow and affects on volumetric efficiency. In this paper the effects of change in length of induction pipes and wide range of engine speed on volumetric efficiency was examined and evaluated. It was found that volumetric efficiency was affected by intake pulsating flow with engine speed and the pipe length. The results obtained were considered by adopting a theory of wave action.

## 1. 서 론

디젤기관에서 흡기시스템과 배기시스템 설계가 체적효율에 아주 밀접한 영향을 미치고 결과적으로 기관성능과 배출오염물에 직접적인 영향을 준다. 체적효율 향상에 따른 기관성능을 개선시키기 위한 설계 분야를 분류하면 크게 두 가지로 나타낼 수 있다. 그 하나는 특성곡선법에 의한 비선형 파동(non-linear wave action) 계산방법이 있고 또 다른 하나는 고유진동수를 이용한 흡·배기관 유동 해석을 들 수 있다. 매니폴드 내 가스의 동적 성능(gas dynamic performance)을 평가할 수 있는 방법들이 Worth<sup>1)</sup>에 의해 제안되었고 Yoshitomi<sup>2)</sup>와 Winterbone 등<sup>3)</sup>에 의해서 사용되었다. 비정상 유동을 발생시키기 위하여 펄스 발생기를 사용하였고 공진(tuning)주파수를 이용하여 매니폴드를 설계하였다. 기관 흡기 매니폴드에서

파동(wave action) 계산의 정확성에 관한 연구가 Winterbone 등<sup>3)</sup>에 의하여 수행되었으며, 이 연구에서는 특성방법에 기초한 끝 효과(end effect)가 고려된 비선형 파동 계산 방법을 이용하여 기관속도 전 구간에 걸쳐 매니폴드 안에서 일어나는 자세한 압력변동과 질량유동에 대한 정확한 예측이 가능함을 보여주고 있다.

중·저속도 기관에서 체적효율을 향상시키기 위한 가변유도시스템(VIS)이 Isao Matsumoto 등<sup>4)</sup>에 의하여 개발되어졌다. 이들이 저속구간의 체적효율을 개선시키기 위해서는 (i) 하사점후 흡기밸브를 일찍 닫는 것과 (ii) 길고 좁은 러너(runner)를 사용하여 흡기 유입시스템을 저속에서 튜닝을 하는 것이다. 전자는 낮은 기관속도에서는 약간의 개선이 있었지만 최고 출력에서는 손실이 매우 큰 반면에, 후자는 큰 개선이 있었지만 최고출력에는 악영향을 미쳤다.

관내의 가스유동에 대한 특성방정식(characteristic equations)은 공간 속에서 파를 따라서 전파되는 음속과 입자의 속도 즉, 파의 속도 정보를 간직하고 있다<sup>5)</sup>. 이를 이용한 Benson 등<sup>6)</sup>에 의하여 개발된 1차원 비정상 유동 모델의 해석에

접수일 : 2004년 11월 20일  
강희영(책임저자) : 부경대학교 대학원 제어기계공학과  
E-mail : cosmopolitankhy@hotmail.com Tel : 051-620-6936  
고대권, 안수길 : 부경대학교 기계공학부

특성곡선법(method of characteristics)을 사용하는 이유는 계산 과정이 다차원 모델에 비교했을 때 비교적 간단하면서도 계산에 필요한 시간이 짧으며 그 결과는 우수하고 특히 엔트로피 불연속이 존재하는 경계조건에서의 해석이 명확하기 때문이다.

흡기계통에서 피스톤운동에 의한 파의 생성과 그에 따른 파동의 결과로 매니폴드안의 가스의 압력, 밀도, 그리고 온도가 변하는 경우 음속이 변하게 되고 이에 따른 파의 전파속도가 변하고 파 간섭으로 파형 왜곡이 심할 경우 이때의 파는 비선형파로 분류되며 이 파 현상(wave phenomena)은 흡·배기과정과 소음 및 오염물 방출을 좌우하는 중요한 요소이다. 이전의 많은 문헌에는 흡기관 안에서의 가스의 거동을 관성효과(inertia effect 또는 ram effect)로 설명하였는데 배기시스템의 영향을 포함한 해석에는 파동이론(theory of wave action)이 추가되어야 한다.

체적효율은 실린더 안으로 유입되는 혼합기, 또는 공기의 질량 유량에 비례하며 기관출력은 체적효율에 비례한다. 체적효율의 최대값은 관의 길이, 흡·배기관의 형상, 그리고 기관속도 등의 여러 가지 조합에 의하여 이루어진다<sup>7)</sup>. 따라서 본 연구에서는 흡기관 길이와 기관 속도가 변할 때 흡기 맥동류(intake pulsating flow)가 체적효율에 미치는 영향을 파동이론을 적용하여 실험적으로 알아내고자 한다.

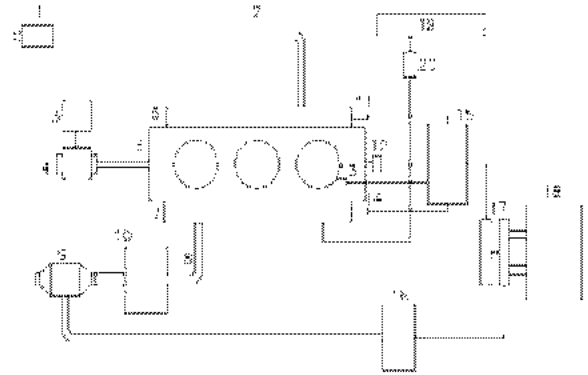
## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

Fig. 1은 본 실험의 실험 장치도이다. 실험에 사용된 기관은 A사의 트랙터용 3기통 직분식 디젤기관으로 그 규격은 Table 1과 같다. 동력계는 와전류식 동력계(absorption capacity 132kW)를 사용하였다.

Fig. 1의 8은 실험에 사용된 흡기관이다. 흡기관은 흡기 매니폴드에 직결되고 흡기관 끝에 서지탱크 그리고 충류유량계를 연결하였다. 관은 직경 57mm, 길이가 70, 500, 1000mm인 스테인리스강 직렬 관을 사용하였다. 흡기 매니폴드 용적은 1025cc이다. 배기시스템은 기관블록에 용적 약 750cc인 배기 매니폴드를 직결하였으며 표준 머플러 대신 길게 제작된 4105mm 관의 끝에 직경 250mm, 길이 730mm의 머플러를 연결하였다. 흡·배기압력을 측정하기 위하여 피에조 저항식 저압 압력변환기(Kistler, Switzerland)를 1번 실린더에 가장 가까운 흡기 매니폴드와 배기 매니폴드에 장착하였다. 충류

유량계 입·출구에서 발생하는 차압을 이용하여 체적효율을 구하였다. 데이터 획득 장치는 National Instrument사의 PXI(PCI (Peripheral Component Interconnect) Extensions for Instrumentation, U.S.A.)를 사용하였으며 PXI 샤시(XI-1000B)에 제어기(NI 8174)와 DAQ 보드(NI 6025E) 그리고 I/O 연결단자를 연결하여 시스템을 구성하였다. 얻어진 데이터는 LabVIEW VI를 이용하여 계산을 수행하였다.



- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. Muffler  | 2. Exhaust gas pipe         |
| 3. Dynamometer controller                           | 4. Dynamometer              |
| 5. Exhaust gas manifold                             | 6. Diesel engine            |
| 7. Intake manifold                                  | 8. Intake pipe              |
| 9. Laminar flow meter                               | 10. Surge tank              |
| 11. Exhaust gas pipe                                | 12. Rotary encoder          |
| 13. Cylinder P.T.                                   | 14. Intake manifold P.T.    |
| 15. Amplifier                                       |                             |
| 16. Diff. press. transmitter for Laminar flow meter |                             |
| 17. Terminal board                                  | 18. DAQ(PXI) system         |
| 19. Fuel oil tank                                   | 20. Flow meter for fuel oil |

Fig. 1 Schematic diagram of test engine

### 2.2 실험 방법

Table 1에 실험기관의 규격을 나타내었다.

Table 1 Specification of test engine

Description	Specification
Type	4 stroke D. I.
Swept volume(cm <sup>3</sup> )	2591
Bore x Stroke	100 x 110
Charging method	Naturally-aspirated
Number of cylinder	3
Power	35kW (at 2,600rpm)
Compression ratio	17.6
Valve timing	EVO133deg/EVC375deg IVO345deg/IVC576deg

실험은 관 길이 70, 500, 1000mm 3개의 흡기관을 교대로 바꿔가면서 기관 회전속도 1000rpm에서부터 2500rpm까지의 운전영역에서 매 300rpm 간격으로 무 부하 상태에서 실시하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 기관 회전속도와 흡기관 길이에 따른 체적효율의 변화

Fig. 2는 기관 회전속도와 흡기관 길이에 따른 체적효율의 변화를 나타내고 있다. 1000~1300rpm 구간에서는 체적효율이 눈에 띄게 차이가 나지는 않는다. 그러나 회전속도가 커지면서 차이가 나기 시작하고 관 길이 500mm는 1900rpm에서 가장 높은 효율(85.42%)을 갖고 기관 회전속도가 증가하면서 약간 감소하다가 2200rpm에서부터는 급격히 감소하기 시작하였다. 흡기관 길이 70mm는 1000rpm에서 제일 낮고 1300rpm에서 체적효율이 약 3% 정도 증가하다 1300~1600rpm 구간에서는 약 1.5% 정도 떨어졌다. 1600rpm 이상에서는 기관 회전속도가 증가하면서 체적효율이 계속 증가하는 것으로 나타났다. 흡기관 길이 1000mm는 1600rpm을 기준으로 기관 회전속도가 증가하면서 체적효율이 급격히 감소하여 2500rpm에서 69%로 제일 낮았다.

이와 같이 체적효율 즉, 질량 유동률이 기관 회전 속도에 비례하여 증가하지 않는 이유는 관내의 질량 유동률이 관의 길이, 기관 회전속도, 밸브의 개폐로 인한 밸브 목 부근에서의 개구면적 변화 즉, 유로의 면적변화에 의한 경계(boundary)에서 파의 부분적인 반사, 밸브 열림 시간, 밸브의 겹침으로 인한 가스의 역류(back-flow)에 의한 영향, 또한 피스톤 상하운동에 따른 속도의 변화로 질량과 탄성을 가진 공기 입자의 운동량 변화가 압력 진동을 일으켜 압력과 온도의 변화를 수반하고 그 결과 입자 속도와 음속이 달라진다. (관내의 국소 음속은  $a = \sqrt{\gamma RT}$ 로 표시할 수 있다.) 그 결과 도달시간 지연으로 인한 파속과 위상이 변하게 되고 이에 더하여 파의 중첩과, 간섭의 결과로 진폭과 파형이 변형된 합성파인 맥동류가 형성된다. 이 맥동류가 흡기 유입시스템에 작용하게 되면서 질량 유동률에 영향을 미치고 결과적으로 체적효율에 중대한 영향을 미친다.

기관 회전속도 전체 영역에서 볼 때 이 실험기관의 체적효율 특성은 1300~1900rpm 사이 구간이 체

적효율에 변동이 있는 것으로 나타나있다. 한편 기관 회전속도 1900rpm 부근에서부터 500mm와 1000mm 흡기관은 감소하기 시작하는 반면 70mm 관은 완만하지만 계속 증가한다. 따라서 70mm와 500mm 관을 비교 할 때 500mm 관의 경우 2200rpm 부근에서 급격히 감소하는 것으로 보아 관의 유효길이는 70mm에서 500mm 사이에 있는 것으로 생각된다.

기관 회전속도 1300rpm에서 1900rpm 구간의 처진 부분이 체적효율의 개선이 필요한 부분으로 즉, 튜닝이 요구되는 구간이다. 1900rpm에서 2500rpm 구간에서의 급격한 효율 저하 부분도 성능 개선을 필요로 하는 곳이다.

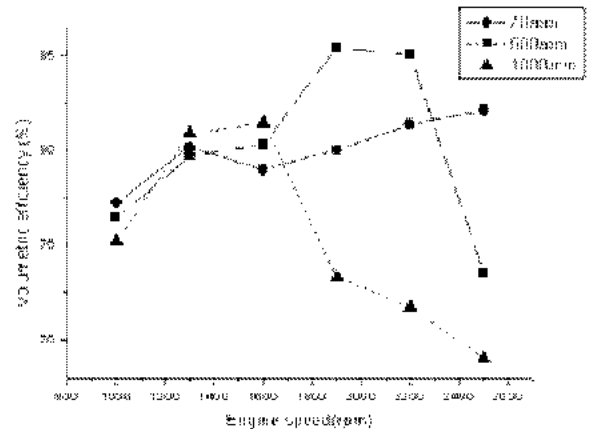


Fig. 2 Variation of measured volumetric efficiency with engine speeds and pipe length

#### 3.2 기관 회전속도 변화에 따른 흡기 맥동압력의 비교

Fig. 3은 흡기관 길이 70mm일 때 각 1300, 1900, 2500rpm에서의 흡기압력 파형을 비교한 그림이다. 회전속도가 올라가면서 IVC 576도 부근에서의 압력이 높아진 것을 볼 수 있다. 이것은 회전속도가 높아질수록 흡기 밸브가 열리면서 피스톤 하강으로 인한 흡기의 유입 관성력이 커져 대기압 이하로 내려간 다음 흡기 밸브가 닫히기 직전에 개구면적(frustum) 감소로 인하여 운동 에너지가 압력에너지로 변환된 것으로 생각된다.

흡기밸브가 닫힐 때 압력파가 형성된다. 압력파의 세기는 2500 > 1900 > 1300rpm 순서이고 체적효율은 2500 > 1300 > 1900rpm 순서이다. 흡기밸브 열림 직후 흡기행정 전반의 파형의 찌그러짐(distortion)은 배기시스템으로부터의 간섭이 큰 것으로 생각된다. 1300에서 1900rpm 구간은 체적효율

이 낮아졌다가 높아지는 반전구간이다. 1900rpm의 경우 1300rpm 보다 압력 강하(depression) 기울기가 가파르나, 위상은 거의 일치한다. 흡기 밸브 닫힘 무효각(기하학적 밸브 개구와 유체역학적 밸브 개구의 차이, 유체역학적 개구는 유효 밸브 열림 기간을 말한다. 열림 무효각은 약 20도)은 약 30도 전후로 보인다<sup>8)</sup>. Sergio M Hanriot등<sup>8)</sup>은 그의 연구에서 저속 회전영역에서는 맥동효과나 관성력의 영향이 없다고 하였으나 파에 고주파 성분이 많이 섞여 있고 파의 왜곡도 심하다. 이러한 원인은 본 실험에 사용된 흡·배기 매니폴드가 기관블록에 직결되어 있어 인접 실린더의 간섭이 큰데서 오는 것으로 생각된다.

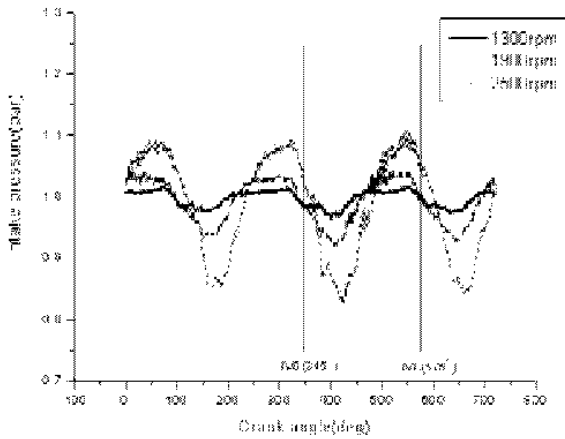


Fig. 3 Comparison of intake pressure with speed change at pipe length 70mm

Fig. 4는 흡기관 길이 500mm에서의 비교이다. 기관 회전속도는 위상, 흡기 관성력 그리고 진폭에 영향을 준다. 2500rpm의 IVC 576도 부근의 압력 레벨은 1.22bar로 가장 높으나 파의 피크가 IVC 576도를 넘어서었다. 1900, 1300rpm은 파의 피크가 IVC 576도 보다 앞서 있다.

체적효율은 1900 > 1300 > 2500rpm 순서이다. 이유는 1900rpm의 경우 상승하는 파의 피크 값이 밸브 닫힘 시기와 일치한다. 위상 지연은 2500 > 1900 > 1300rpm 순서이다. 진폭의 크기는 2500 > 1900 > 1300rpm 순서이지만 2500rpm의 경우 체적효율이 낮은 이유는 대부분의 흡기행정 기간동안 부압이 과도하게 걸려서 질량 유동률이 낮음을 의미한다. 체적효율에 대한 흡기 밸브 닫힘 전 상승하는 압력파의 위상과 진폭의 영향은 위상과 진폭이 같을 경우에는 진폭보다 위상의 영향이 더 큰 것으

로 보인다.

Fig. 5는 흡기관 길이 1000mm일 때의 각 기관속도별 흡기 매니폴드의 압력 파형과 인접 실린더의 흡기밸브 개폐상태를 보여주고 있다. 3개 실린더 모두 흡기밸브 열림 기간 중 비슷한 과정을 겪는 것으로 보인다. IVC 576도를 기준으로 2500, 1900rpm은 위상이 너무 늦고 1300rpm은 약간 빠르다. 2500rpm의 경우 파의 찌그러짐이 가장 심하다. 1900rpm의 경우 진폭은 가장 크지만 위상이 30도 정도 어긋남을 보여준다. 체적효율은 1300 > 1900 > 2500rpm 순서이다.

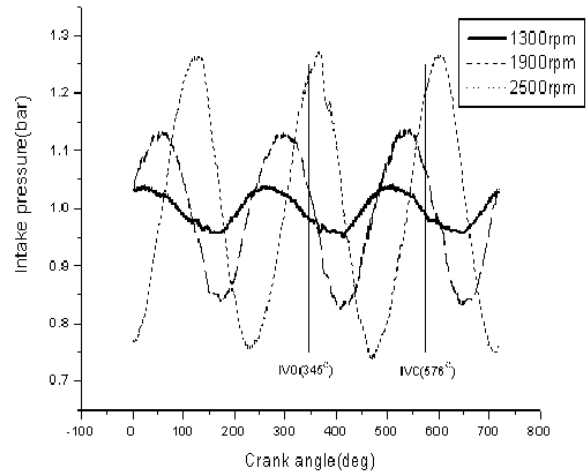


Fig. 4 Comparison of intake pressure with speed change at length 500mm

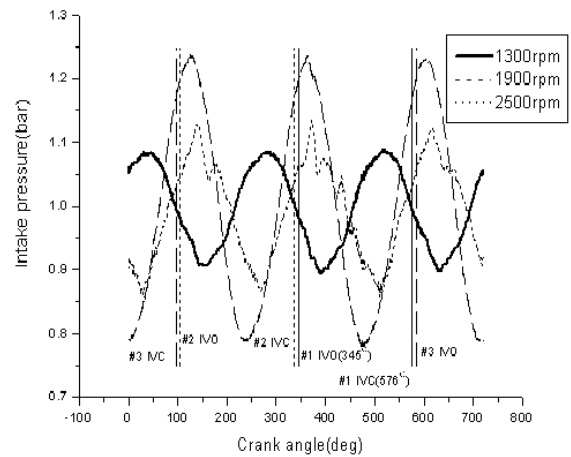


Fig. 5 Comparison of intake pressure with speed change at pipe length 1000mm

### 3.3 흡기관 길이 변화에 따른 흡기 맥동압력의 비교

Fig. 6은 기관속도 1300rpm일때 흡기관 길이에

다른 흡기 압력변동을 비교한 그림이다. 흡·배기 모두 3개의 큰 파를 갖고 있고 위상(phase)도 거의 일치하고 있다. 그러나 압력파는 IVC 576도를 기준으로 약30도 전에 하강하고 있다. 파의 진폭의 크기는 1000, 500 그리고 70mm의 순서이다. 파의 모양은 비교적 사인곡선의 파형을 유지하고 있지만 70mm 관의 경우 피크가 함몰되어 보이는 것은 파동에 의한 영향이 있음을 보여준다. 체적효율은 1000 > 500 > 70mm 순서이다.

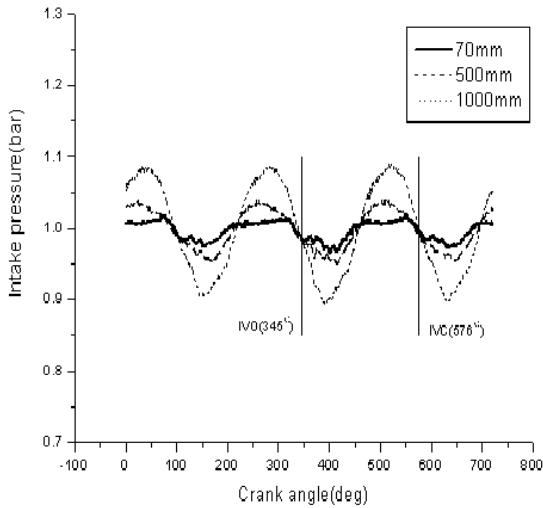


Fig. 6 Comparison of intake pressure variations with each pipe length at 1300rpm

Fig. 7은 기관 회전속도 1900rpm에서 흡기관 길이에 따른 흡기압력을 보여준다. 흡기밸브가 닫히기 직전의 흡기 맥동류를 나타내는 그림이다. 체적효율은 500 > 70 > 1000rpm 순서이다. 전 모델을 통하여 1900rpm 관 길이 500mm 일 때 체적 효율이 가장 좋았다. 흡기밸브가 닫히기 직전에 상승하는 압력파의 피크가 위치하고 있다. 이렇듯 위상이 체적 효율에 중대하게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 1000mm의 경우 파의 피크의 위상이 늦음을 볼 수 있다. 또한 70mm의 경우 찌그러짐이 보인다. 흡기 밸브 열림각(IVO)은 345도이고 닫힘각(IVC)은 576도이다.

Fig. 8은 기관 회전속도 2200rpm에서 흡기관 길이에 따른 흡기 압력 파형을 비교한 것이다. 회전 속도 증가에 따른 관성의 증가로 인하여 흡기 압력이 눈에 띄게 증가했음을 알 수 있다. 펄스의 최고치는 약 1.25bar 정도 된다. IVC 576도 부근의 흡기 밸브가 닫히기 직전의 파의 거동은 500mm의 경우 계속 상승하고 있고, 70mm는 이미 도달해있으며

1000mm의 경우는 아직 도달하지 못했다. Fig. 7과 비교할 때 500mm의 경우 위상이 약 30도 정도 차이나는 것을 알 수 있다. 체적효율은 500 > 70 > 1000mm 순서이다.

한쪽 끝이 막힌 관의 고유진동수는 관 길이의 4 배로 알려져 있다<sup>8)</sup>. 따라서 관의 길이 변화에 따라 고유진동수가 달라지고 맥동 압력파가 관을 통과하는 시간은 관 길이가 짧을수록 빠르다. 즉 길이에 따라 위상이 달라진다. 또한 흡기관 고유진동수와 피스톤운동에 의한 맥동 압력파가 동조될 때 공진이 일어나고 진폭이 커진다. 공진의 결과는 유리한 공진(favorable resonance)과 해로운 공진(destructive resonance)으로 나뉘어 진다. 즉 최대 진폭과 위상이 흡기 밸브가 닫히기 직전에 오는 파의 공진이 체적효율을 좋게 하는 것으로써 유리한 공진에 해당한다.

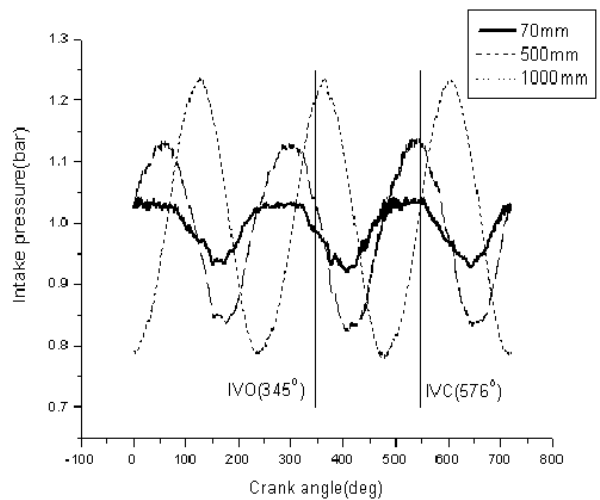


Fig. 7 Comparison of intake pressure variations with each pipe length at 1900rpm

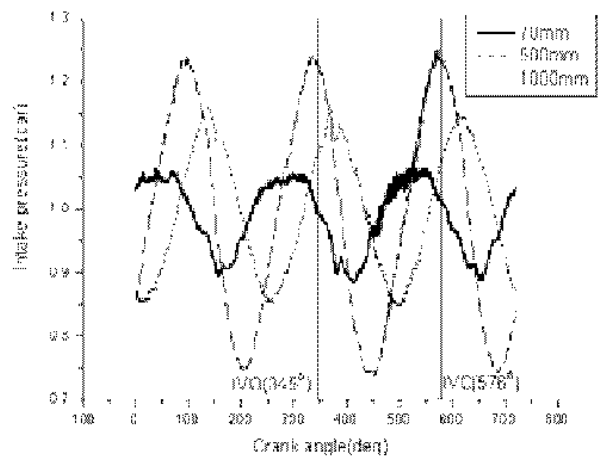


Fig. 8 Comparison of intake pressure variations with each pipe length at 2200rpm

3.4 배기 맥동압력에 따른 흡기 맥동압력의 비교

Fig. 9는 본 실험의 저 회전영역인 1000rpm, 흡기관 길이 500mm의 흡·배기 매니폴드의 압력 거동을 보여준다. IVO 345도와 배기밸브 닫힘각(EVC) 375도 사이가 밸브 겹침(valve overlap)구간이다. 이때의 배기압력은 흡기압력보다 높은 것으로 보아서 배기행정 말기의 배기가스가 실린더를 통하여 흡기관으로 역류되는 것을 알 수 있다.

뜨거운 가스와 차가운 가스 사이에 경계가 존재하거나 또는 가스의 조성이 변하는 배기관 속에서 엔트로피 불연속성이 일어나고 이때 파는 일부는 반사되고 일부만 전달된다<sup>5)</sup>. 그 결과 파 전달속도의 지연은 압력의 맥동을 일으키게 되고 압력파의 파형은 변형된다. Fig. 9에서의 배기압력 파형상의 피크부의 압력 요동은 엔트로피 불연속성에 의한 반사파의 영향으로 인한 파 현상으로 생각되며, 또한 인접 실린더의 잔류파가 흡기에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 따라서 흡기행정 후반부의 흡기맥동류 피크부의 함몰이 체적효율 저하와 관계가 있는 것으로 생각된다.

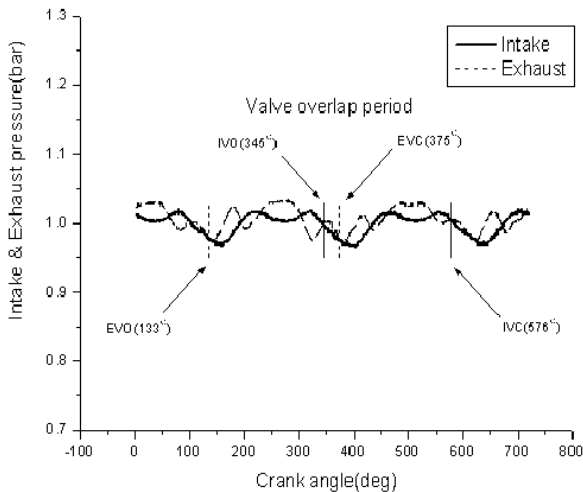


Fig. 9 Intake and exhaust manifold pressure variation at 1000rpm with pipe length 500mm

Fig. 10은 1900rpm 흡기관 길이 500mm에서 흡·배기 매니폴드의 압력 파형을 보여준다. 이 회전속도 영역에서 흡기압력 피크는 배기압력 피크보다 진폭이 크다. 즉, 피스톤 속도가 증가하면서 가스의 운동량이 증가함을 나타낸다. 흡기의 파형은 일정한 반면, 배기 압력곡선에는 엔트로피 불연속성에 기인한 반사파에 의한 압력 맥동으로 추정되는 피크 부

분의 함몰이 뚜렷이 나타나있다. 배기 압력 파형에 2번째 골이 보이는데 배기 행정 말기의 부압은 실린더로부터 배기 매니폴드로의 배기흐름이 원활함을 의미한다. 배기 매니폴드가 기관블록에 직접 연결되어 있는 관계로 그에 따른 간섭이 더 큰 것을 알 수 있다<sup>9)</sup>.

Fig. 11은 기관 회전속도가 증가하면서 상대적으로 가스의 운동량 증가로 인하여 흡기 압력이 약 1.27bar 까지 올라간다. 그러나 IVC 부근의 압력과 피크의 위상이 밸브 닫힘 시기보다 늦고 흡기행정의 대부분이 부압이 걸려있어 체적효율이 낮은 것으로 생각된다.

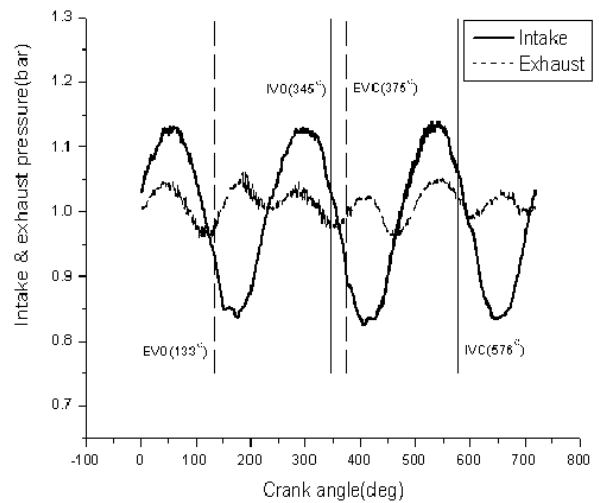


Fig. 10 Intake and exhaust manifold pressure variation at 1900rpm with pipe length 500mm

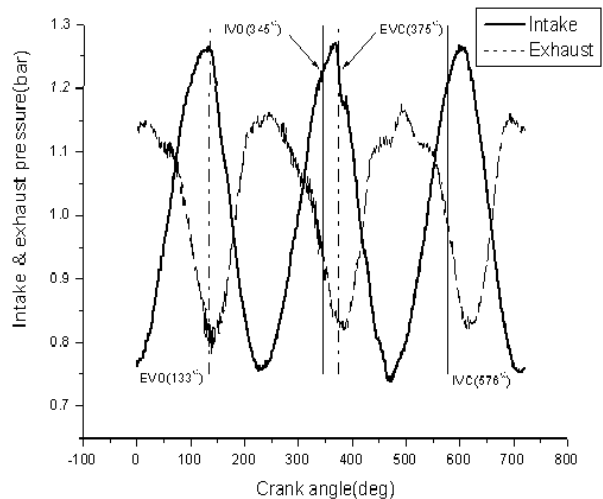


Fig. 11 Intake and exhaust manifold pressure variation at 2500rpm with pipe length 500mm

#### 4. 결 론

기관 회전속도와 흡기관 길이 변화가 체적효율에 미치는 영향과 그 때의 흡기 맥동류의 거동에 관한 실험 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 체적효율은 기관 회전속도와 흡기관 길이 변화에 대하여 영향을 받았다.
2. 흡기 맥동류의 압력파의 위상과 진폭은 체적효율에 영향을 주었다. 그러나 흡기 맥동류의 압력파의 진폭이 크더라도, 피크의 위상이 흡기밸브가 닫힌 다음에 오는 경우에는 체적효율은 감소하였다.
3. 최대 체적효율은 기관 회전속도 1900rpm, 흡기관 길이 500mm 조건 일 때였다.
4. 흡기 매니폴드의 흡기 맥동류는 배기시스템의 간섭을 많이 받는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. D. R. Worth, 1988, "Investigation of inlet manifold tuning of an automotive spark-ignition engine, MSc Thesis, UMIST, Manchester, UK.
2. M. Yoshitomi, 1989, "Investigation of wave action inside intake manifold of a reciprocating internal combustion engine", MSc Thesis, UMIST, Manchester, UK.
3. D.E. Winterbone and M. Yoshitomi, 1990, "The accuracy of calculating wave action in engine intake manifolds", SAE paper 900677.
4. I. Matsumoto and A. Ohata, 1986, "Variable Induction System to Improve Volumetric Efficiency at Low and /or Medium Engine Speeds" SAE paper 860100.
5. D. E. Winterbone and R. J. Pearson, 2000, "The Theory of Engine Manifold Design, Wave Action Methods for IC Engine." Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmunds, UK. pp. 42
6. R. S. Benson, J. H. Horlock, F.R.S. and D. E. Winterbone, 1982, "The thermodynamics of Gas Dynamics of Internal-Combustion Engines, Vol. I, Clarendon press, Oxford, pp. 73-81
7. D. E. Winterbone and R. J. Pearson, 1999, "Design Techniques for Engine Manifolds, Wave Action Methods for IC Engines", Professional engineering publishing Limited, London and Bury St. Edmunds, pp.3. pp.274.
8. Sergio M. Hanriot, Marcello A. Faraco de Medeiros, Jose Ricardo Sodre and Ramon M. Valle. 2000, "An Experimental and Numerical Study from Pulsating Flow in Intake Manifold", SAE BRASIL paper, 2000-01-3162.
9. 長尾不二夫 著, 임명환, 김현구 공역, 1984, "內燃機關-上卷", 大光書林, 서울, pp. 94-100.