

PDA 밸브에 의한 연소실내의 연소특성에 관한 연구

김 대 열*, 한 영 출⁺, 조 재 명⁺⁺, 김 양 술⁺⁺⁺, 주 신 혁⁺⁺⁺⁺, 박 병 완⁺⁺⁺⁺

A Study on the Characteristics of combustion in a combustion chamber by port deactivation valve

Dae-Yeol Kim*, Young-Chool Han⁺, Jae-Myoung cho⁺⁺, Yang-Sul Kim⁺⁺⁺, Shin-Hyuk Joo⁺⁺⁺⁺, Pyong-Wan Park⁺⁺⁺⁺

Abstract

An experimental study presents characteristics of combustion in a combustion chamber by port deactivation valve for economy and emissions standards. In order to use combustion properties data, it is necessary to build some data base, which use cylinder pressure sensor, etc. Port deactivation valve has been developed to satisfy requirement of achieving sufficient swirl generation to improve the combustion. A feasibility and necessity of combustion pressure based cylinder spark timing control has been examined. So, this was obtained the Coefficient of Variation(COV) and the mass-burned(MFB). The characteristics of pressure ratio fraction is similar to that of mass-burned fraction. Using the results of the test, the effects of the combustion chamber can be improved combustion stability by port deactivation.

Key Words : COV(변동 계수), Single cylinder engine(단기통 엔진), MBT(Minimum spark advance for best torque; 최적 점화 시기), IMEP(도시평균유효압력), MFB(mass fraction burn, 질량연소분율)

1. 서론

오늘날 지구의 환경오염과 에너지 자원의 고갈에 발맞춰 가솔린 기관에 대하여 유해배출물질 저감⁽¹⁾과 연료소비율의 개선을 동시에 만족시킬 수 있는 연소개선 연구에 대한 관심이 고조되어 왔다. SI 기관에서 유해배기가스 저감 및 연비 향상을 만족시키기 위한 한 방법으로 희박연소가 도입되었다. 그러나 희박 연소는 연소기간이 증가하여

사이클의 변동이 커지고 연소초기에 착화성에 신뢰를 갖지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 방법들이 연구되고 있다.⁽²⁻⁴⁾ 스파크 점화기관에서 연소과정을 연구하는 것 중에서도 가장 문제가 되는 것은 연소실 내에 질량 연소율이나 화염속도에 어느 정도 영향을 미치는지를 파악하는 것에 초점을 맞추고 있다.⁽⁵⁾ 기관에서 실린더 내의 유동을 지배하는 가장 큰 인자는 연소실 형상과 흡입시의 스윙 유동이다.⁽⁶⁾ 적절한 스윙 강화 밸브를 단기통

* 주저자, 국민대 자동차공학전문대학원(yeolkd@Kookmin.ac.kr)

주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

+ 국민대학교 기계·자동차공학부

++ 인천기능대학 자동차학과

+++ 홍익대학교 기계정보공학과

++++ 지엠 대우 오토엔테크놀로지

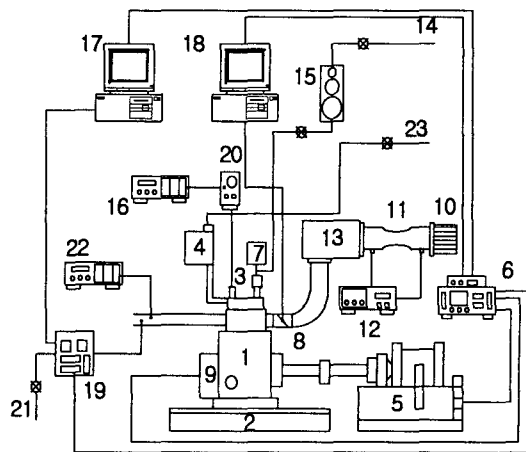
기관에 적용함으로써 흡입공기유동을 강화시켜 부분부하 운전조건에 맞는 가솔린 기관의 연소특성을 비교분석하고자 한다.⁽⁷⁾ 그러므로 점점 강화되어 가는 배기규제의 만족과 연비 향상을 동시에 만족할 수 있는 노력이 수반되어야 한다.

본 연구에서는 DOHC 가솔린 기관을 실제기관에 적용하기 위한 전초 연구로서 SI 단기통기관에서 점화시기 근방의 형상으로 제작된 연소실 내에서 실린더 압력센서와 크랭크축에 설치된 엔코더를 이용하여 각각의 연소실 내의 최고 압력, COV_{imep} , 질량 연소율 등을 파악하였으며, 이결과를 토대로 연소실의 연소의 특성을 알아보았다.

2. 장치 및 방법

2.1 연소시험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 SI엔진. 엔진전기동력계 및 동력계 컨트롤러, 연소분석기, 실린더 압력 센서, Encoder, A/F meter, 배기가스분석기, 각종센서 및 제어시스템으로 구성되어 있다.



- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. Test engine | 7. Injection |
| 2. Test Bed | 8. TPS |
| 3. Pressure Transducer | 9. Rotary Encoder |
| 4. Engine Cooler | 10. Inlet Air Filter |
| 5. Electric Dynamometer | 11. Air Flow meter |
| 6. Dynamometer Controller | 12. Digital Manometer |

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 13. Surge Tank | 19. Emission Analyzer |
| 14. Fuel Supply line | 20. Charge Amp |
| 15. Fuel Consumption meter | 21. Gas Supply Line |
| 16. Combustion Analyzer | 22. A/F Meter |
| 17. Emission Analyzer PC | 23. Water Supply Line |
| 18. Dynamometer control PC | |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

2.2 기관 및 동력계

본 연구에 사용한 엔진의 제원은 배기량 280cc와 압축비 9.3:1을 가지는 단기통 SI 가솔린 엔진이고, 주요 제원은 Table 1과 같다. 엔진으로부터 발생하는 토크와 회전수를 제어하고 계측하기 위한 동력계는 크랭크축에 직렬로 연결되어 있으며 동력계 컨트롤러로 원하는 회전수와 부하를 부여할 수 있다. 본 연구에 사용되어진 동력계는 와전류(eddy current)방식의 동력계로서 기계적 안정도가 높고 고회전수와 과부하에 강하므로 연구용으로 적합하다. 동력계의 제어장치는 정속 운전제어, 정 토크제어, 급가속 운전 제어가 가능하고 과속, 과열시 안전장치가 작동하며, 냉각방식은 수냉식이다. 그리고 부하측정방식은 로드셀 방식으로 되어있다.

Table 1 Specification of the engine

Items		Specifications	
Type		4 Valve Stroke (PFI type)	
Chamber type		pent roof type	
Cooling method		Water cooling	
Number of cylinder		1	
Bore×stroke		68.5mm × 78mm	
Displacement		280 cc	
Compression ratio		9.30 : 1	
Valve timing	Intake	Open	BTDC 8°
		Close	ABDC 44°
	Exhaust	Open	BBDC 44°
		Close	ATDC 8°

2.3 PDA(Port Deactivation)

실린더 내의 유동장을 제어하는 방법으로는 헬리컬 포트(helical port), 슈라우드 밸브(shroud valve), PDA(Port deactivation), 피스톤 형상의 변화, 위상차 밸브 등 여러 가지 방법이 검토 연구되고 있다. 따라서 본 실험에서는 PDA 밸브는 두께 0.6t의 알루미늄 판을 이용하여 제작하였으며, 형상은

Photo. 1과 같다. 이는 유량계수의 손실을 최소화하는 기존의 텀블 강도를 최소화 또는 강화하는 조건하에서 스윙 강도를 최대 강화시키려는데 초점을 맞춘 형상으로 PDA는 스윙류의 생성이 용이한 스윙강화형(swirl type, PDA)을 선정하여 사용하였다. 개구율은 흡입 공기가 유입되는 부분으로서 전체 포트 면적의 몇 %의 면적을 말한다. PDA는 개구율이 거의 50%이다.

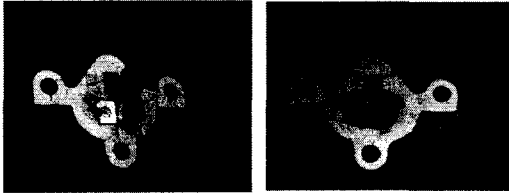


Photo. 1 View of swirl control valve & tumble control valve

3. 결과 및 고찰

3.1 연소압

Fig. 2는 1500rpm, IMEP 3.9bar 일때의 압력선도이다. A, A+PDA, B+PDA, B 연소실 순으로 최대압력값이 나타나고 있다. 이는 점화진각의 증가에 따라서 최고압력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것을 정량적으로 살펴보면 PDA를 장착하지 않는 A, B 연소실 중 A연소실이 B연소실보다 최대압력이 2.263bar 정도, PDA를 장착한 A+PDA, B+PDA 연소실 중 A+PDA가 B+PDA보다 2bar 정도 높은 것으로 나타났다. 따라서 최고압력이 발생하는 크랭크 각도는 진각이 되며, 이는 점화진각이 증가됨에 따라서 난류화염전파에 의한 압력 증가분이 나타나 이러한 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 2개의 연소실에서 IMEP 3.2bar, 엔진회전수 2000rpm 일 때점화시기 변화에 따른 압력 선도를 나타낸 것이다. PDA를 장착한 연소실이 PDA를 장착하지 않는 연소실보다 최대압력이 높은 것으로 나타났다. 이는 회전속도가 증가함으로써 실린더내의 유동 특히 스윙 유동의 강화로써 압축행정 말까지 지속적으로 난류가 생성되어 연소에 도움을 주었기 때문이라고 판단된다. 또한 Fig. 2에서 1500rpm 일때의 최고압력과 대비하여 3.94 - 4.6bar 정도 적은 것으로 나타났다. 이는 점화가 더 진각이 되어 연소실 온도 및 최고압력이 높아져서 열손실이 증가하기 때문이라고 판단된다. Fig. 4는 2개의 연소실에서 IMEP 3.9bar, 엔진회전수 2400rpm

일 때 취득한 압력선도이다. PDA 장착하지 않는 연소실이 PDA 장착한 연소실보다 오히려 PDA 장착한 연소실보다 최대압력이 증가한 것으로 나타났다.

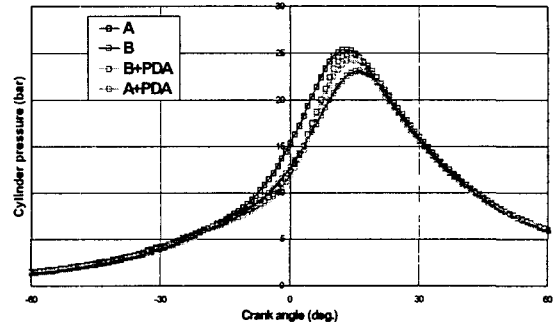


Fig. 2 Combustion pressure according to SA(1500rpm, IMEP 3.9bar)

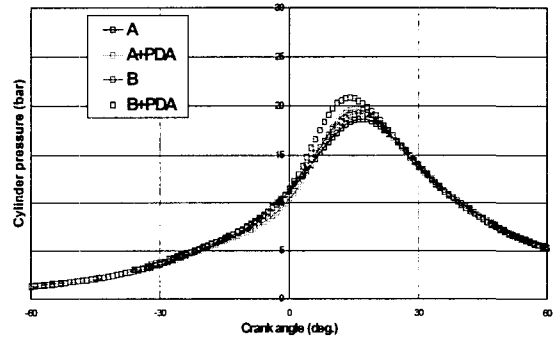


Fig. 3 Combustion pressure according to SA(2000rpm, IMEP 3.2bar)

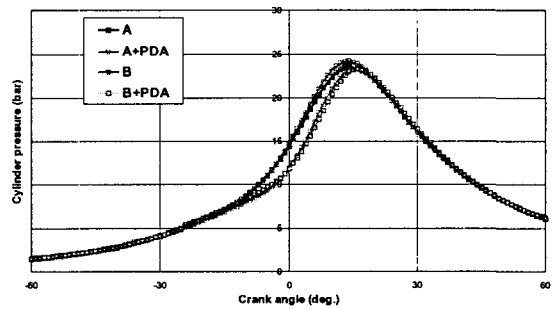


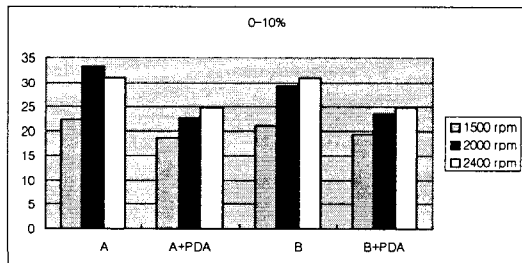
Fig. 4 Combustion pressure according to SA(2400rpm, IMEP 3.9bar)

이는 점화진각이 되어 회전속도의 증가와 더불어 스윙 유동의 강화로 연소속도가 빨라진 반면에, 마찰손실의 증대로 생기는 현상으로 판단된다.

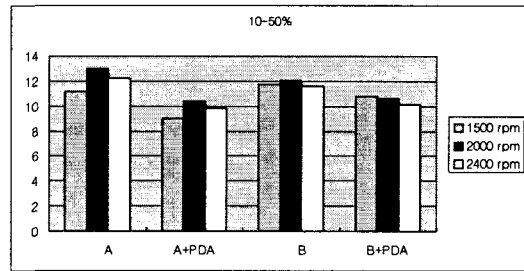
3.2 질량연소율

Fig. 5는 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4.에서 취득한 압력 선도를 이용하여 PDA를 장착한 것과 PDA를 장착하지 않는 연소실에 다른 화염발달기간과 화염전파기간의 연소가 엔진회전수에 따라 변함을 나타 낸 것이다. 초기 화염발달기간의 질량연소율 (a)에서 0 - 10%는 A, B, B+PDA, A+PDA 연소실 순으로 길게 나타났다. PDA를 장착한 연소실이 장착하지 않은 연소실보다 더 짧게 나타났다. 이는 강한 난류 유동을 갖는 PDA를 장착한 경우가 PDA를 장착하지 않는 경우보다 스윙 유동의 강화로 연소에 도움을 준 것으로 판단되며 또한 덜 진각이 되어 연소시간이 짧기 때문에 나타난 것으로 판단된다. 속도가 증가할수록 초기 화염발달기간이 증가한 것으로 나타났다. 이는 점화시기가 속도 증가와 더불어 진각이 되어 화염발달기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. (b),(C),(d)에서 10 - 90%의 주 연소기간은 초기 화염발달기간과 마찬가지로 PDA를 장착한 연소실이 PDA를 장착하지 않는 연소실보다 짧은 것을 나타냈다. 또한 속도의 증가와 더불어 연소실 안의 가스속도가 증가되어 연소기간이 증가함을 보여주고 있다.

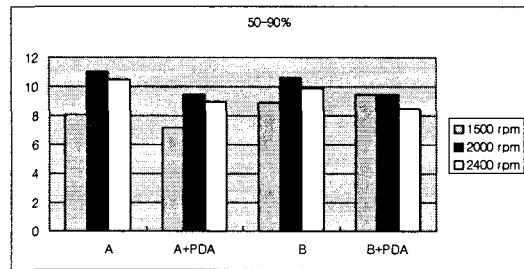
그리고 2000rpm 일 때가 1500rpm, 2400rpm 일 때보다 연소기간이 큰 것으로 나타났다. 이는 연소실 최고압력이 가장 낮아 연소기간이 증대한 것으로 판단된다.



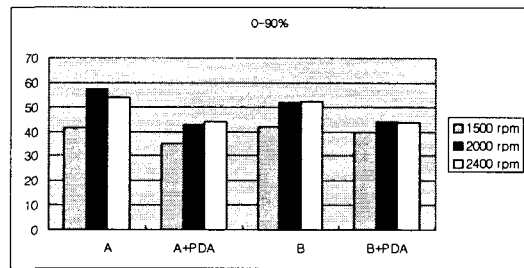
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5 Relative mass burned fraction on the variation of the velocity

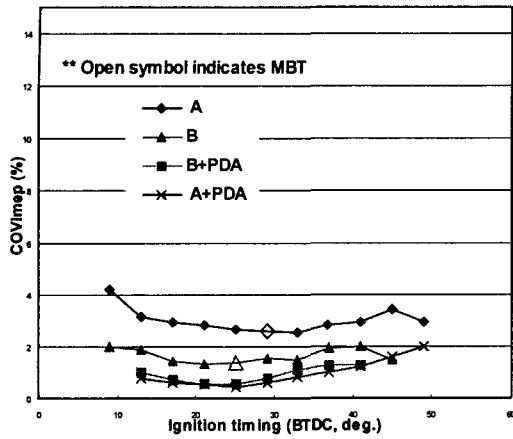


Fig. 6 Ignition timing & COV_{imep} at 1500rpm IMEP 3.9bar

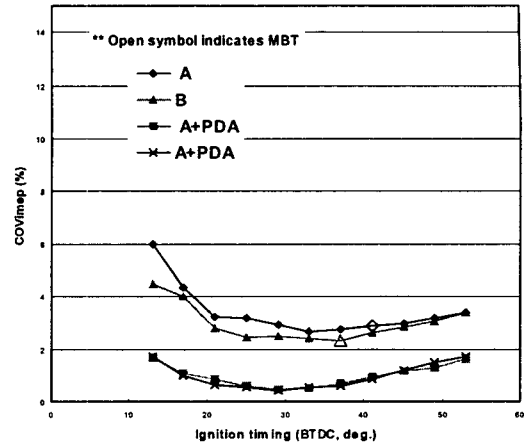


Fig. 8 Ignition timing & COV_{imep} at 2400rpm IMEP 3.9bar

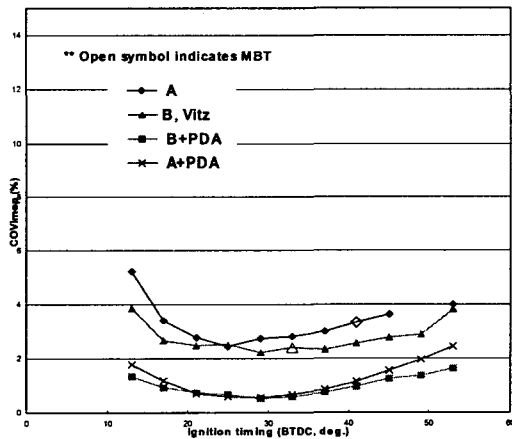


Fig. 7 Ignition timing & COV_{imep} at 2000rpm IMEP 3.2bar

3.3 COV(변동계수)

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8은 연소 안정성을 나타내는 척도 중의 하나인 COV_{imep} 값을 그래프로 나타낸 것으로써 부분 부하 조건인 1500rpm(IMEP 3.9bar), 2000rpm(IMEP 3.2bar), 2400rpm(IMEP 3.9bar)에서 얻은 결과이다.

Fig. 6은 1500rpm, IMEP 3.9bar 일 때의 결과로서 B+PDA, A +PDA 연소실이 A, B 연소실보다 COV_{imep} 값

이 적은 것으로 나타나 PDA 장착이 연소안정성 향상에 효과가 있음을 보여주고 있다. 또한 B+PDA, A+PDA 연소실은 COV_{imep} 값이 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. B+PDA, A+PDA, B, A 연소실 순으로 연소안정성을 나타냈다.

Fig. 7은 엔진회전수 2000rpm, IMEP 3.2bar일 때 점화시기를 변화시켜가며 측정된 COV_{imep} 값을 나타낸다. Fig. 6의 경우와 마찬가지로 PDA를 장착한 연소실이 장착하지 않은 연소실보다 COV_{imep} 값이 낮은 것으로 나타나 연소가 더 안정됨을 알 수 가 있다.

Fig. 8은 엔진회전수 2400rpm, IMEP 3.9bar일 때도 PDA를 장착한 연소실이 장착하지 않은 연소실보다 연소가 안정되어 있음을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 PDA 밸브를 이용하여 단기통기관에 장착 및 미장착을 통하여 기관의 연소 성능에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 회전수 2400rpm에서는 1500rpm 일 때보다 최고압력이 낮으나 2000rpm 일 때보다는 높음을 알 수 있다. 또한 엔진회전수가 증가할수록 점화시기가 진각이 됨을 알 수 가 있다. 이는 기관회전속도 증대와 더불어 점화진각이

- 되며 점화지연이 길어지는 경향을 확인할 수 있다.
- (2) 엔진회전수가 증가할 때 질량연소시간이 증가함을 알 수 있고 PDA 장착한 연소실이 PDA 장착하지 않는 연소실보다 연소기간이 짧아 화염이 빠른 속도로 전파됨을 알 수가 있다. 그리고 A연소실은 2000rpm 일 때가 오히려 연소기간의 증가함을 보여준다. 이는 앞에 설명한 바와 같이 연소실 최대압력이 가장 낮아 연소기간이 증대한 것으로 판단된다.
- (3) 부분 부하 조건인 1500rpm(IMEP 3.9bar), 2000rpm(IMEP 3.2bar), 2400rpm(MEP 3.9bar)에서는 B+PDA, A+PDA 연소실이 B, A연소실보다 COV_{imep} 값이 작다. 이는 PDA가 연소실 형상에 상관없이 연소 안정화에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 2003년도 두뇌한국 21 사업 학술연구비 지원에 의하여 연구된 결과로 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Y. C. Han, D. J. Kim, "A New Edition of Internal Combustion Engine", Munun-dang Press, pp.179~203, 1998.
- (2) Ishii K., Aoki O., Ujiie Y. and Kono M., "Investigation of Ignition by Composite Sparks under High Turbulence Intensity Condition," Twenty forth Symposium (International) On Combustion/The Combustion Institute, pp. 1793-1798, 1992.
- (3) Arcoumanis C. and Bae C-S., "Correlation between Spark Ignition Characteristics and Flame Development in a Constant Volume Combustion Chamber," SAE No. 920413, pp. 556-570, 1992.
- (4) Herweg R., Begleris Ph., Zettlitz A. and Ziegler G. F. W., "Flow Field Effects on Flame Kernel Formation in a Spark ignition Engine," SAE No. 881639, pp. 826-846, 1988.
- (5) David R. Lancaster et al., " Effect of Turbulence on Spark Ignition Engine Combustion, " SAE paper 760160, 1976.
- (6) Todd D. Fansler and Donald T. French " Swirl, Squish and Turbulence in Stratified-Charge Engine : Laser-Velocimetry Measurements and Implication for Combustion" SAE 870371 pp. 1-20, 1987
- (7) Souich Matsushita, Tokuta Inoue, Kiyoshi Nakanishi, Okumura and Kiyoshi Isogai, 1985, "Effets of Helical Port with Swirl Control Valve on the Combustion and Performance of S.I. engine", SAE 850046.
- (8) John B. Heywood, " Internal Combustion Engine Fundamentals", pp. 572~577 McGraw-Hill, 1988.
- (7) Young- Chool Han, Wan-Yong Na, Yong-Suk Oh, Byung-Chul Moon, Bong-Kyu Park, Kyi-Yeol Park, Kyi-Yeol Park, "A Study on NOx and Smoke by Exhaust Gas Measuring Method of Light-Duty Engine", Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No.3, 2001. 6.