점화플러그 위치에 따른 SI 단기통 엔진의 배출가스특성에 관한 연구

김 대 열†· 한 영 출*· 백 두 성**

A Study on Emission Characteristics according to Spark Plug Location in a Single SI Engine

Dae-Yeol Kim†, Young-Chool Han*, Doo-sung Baik**

Key Words: Single Cylinder Engine(단기통 엔진), Emission(배출가스), PDA(Port deactivation : 스월강화밸브), Combustion (연소), Spark Plug Location(점화플러그위치)

Abstract

In this study, the variation of spark plug location in the combustion chamber was investigated for the sake of emission characteristics from SI engine by using PDA valve. The swirl is ong of the important parameters that effects emission characteristics. PDA valve has been used to satisfy the requirements of sufficient swirl generation to improve combustion and emission reduction to effect on flow profile on a combustion chamber. Especially, the variation of spark plug location have an important effect to analyze exhaust gas and the early flame propagative process. Therefore, this test is forced that injection timing, spark timing and intake air motion govern the stable combustion. From the results, it showed that the variable spark plug location and PDA valve can be reduced exhaust gas.

1. 서 론

자동차 배기가스가 환경오염에 큰 영향을 미치고 있다. 이를 해결하기 위해 전 세계적으로 차량으로부터 유해물질의 배출을 억제하기위한 규제가 강화되어 가고 있는 추세이다. 따라서 저배출차량(ULEV)규제보다 한층 강화된 초 저 배출차량(SULEV) 및 완전 무공해 차량(ZEV) 등의 배출가스 규제 기준이나 지구 온난화의 주요한 원인으로 간주되는 CO_2 배출을 저감하기 위한 기업평균연비(CAFE)규제를 만족시킬 수 있는 청정 연소의 저공해 엔진 기술 개발이 적실히 필요한 실정이며, 엔진의 배기가스 저감 기술은 해결해야 할 가장 중요한 과제로 부각되고 있다.

이에 따라 각 자동차 제조업체는 배기가스 규제와 연비규제를 동시에 만족시키기 위해 많은 연구를 해오고 있다. 가솔린 엔진의 연소실 내에 일어나는 연소현상에 영향을 미치는 주요한 인자로는 연소실 형상, 점화플러그 위치 및 난류유동 등이 있다. 이중에서 연소실 형상이나 점화플러그 위치의 변경이 연소성능의 개선효과는 있지만, 엔진의 기하학적인 측면에서 제약을 많이 받으므로 용이하게 변경시키지 못하는 단점이 있다.[1-3] 이러한 문제를 해결하기위한 많은 방법들이 연구되고 있다. 이들의 연구결과에서 보면 혼합기의 난류강도에 따라 큰 영향을 주는 연소속도는 급속 연소를 위하여 난류강도를 높여 화염전파속도를 증가시킴으로써 연소기간을 단축하는

† 회원, 국민대학교 자동차공학전문대학원
E-mail : yeolkd@Kookmin.ac.kr
TEL : (02)910- 5033 FAX : (02)910-4718
* 회원, 국민대학교 기계·자동차공학부
** 회원, 국민대학교 자동차 공학전문대학원

방법을 사용하고 있다.[4-5] 스파크플러그가 하나인 통상의 기관인 경우의 삽입위치는 유동방향에 따라 통상의 기관인 경우의 삽입 위치는 유동방향에 따라 결정이 되는 것이 연소의 안정화를 할 수 있는 것으로 알려져 있다.[6-7] Mattavi[8]는 연소개선시킬 수 있는 설계인자로서 점화플러그 위치, 흡입유동속도, 스월, 스퀴시의 4가지의 인자를 제시하고 있다. 이 중에서 연소실 형상과 점화플러그의 위치는 화염 면적과 화염 전파 거리에 영향을 미치므로 이를 적절히 설계하면 연소개선이 가능하다고 하였다. 또한 흡기포트 일단에 스월조절밸브를 설치하여 강한 흡기 스월 유동을 이용하여 연소실내 연료분포를 성층화하는 방법도 많이 사용되고 있다. Souich Matsushita 와 Kiyoshi Nakanishi[9] 등은 SCV 부착과 포트형상을 비교분석하였다. 포트 형성 변경과 SCV를 둘 다 적용함으로써 스월이 연소실 내의 난류강도에 도움을 준 것을 증명하였다.

본 논문에서는 실험용 가솔린 연소실 형상을 실제 차량에 적용하기위한 전초 연구로서 SI 단기통기관에서 흡입포트에 PDA Valve를 장착하여 스월(swirl) 및 텀블(tumble) 등의 유동을 생성시켜 실린더 내의 유동장 강화에 주안을 두었으며, 점화플러그의 삽입 위치의 변경으로 사이클 변동을 최소하여 부분부하 운전조건에 맞는 가솔린 기관의 배출가스특성을 알아보았다.

2. 실험장치 및 엔진

2.1 엔진 및 동력계

본 연구에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타나 있다.

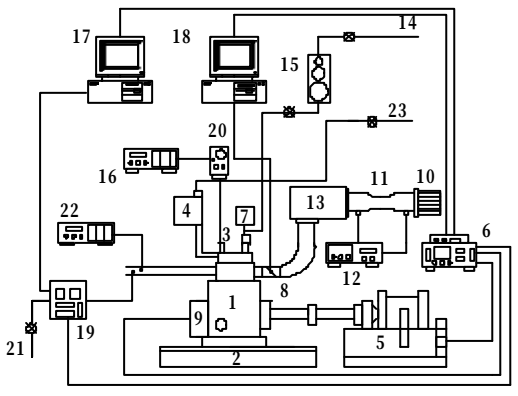

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

Table 1 Specification of the engine

Items			Specifications
Type			4Valve Stroke (PFI type)
Chamber			Pent roof type
Cooling method			Water cooling
Number of cylinder			1
Bore×stroke			68.5mm×78mm
Displacement			287cc
Compression ratio			9.30: 1
Valve timing	Intake	Open	BTDC 8°
		Close	ATDC 44°
	Exhaust	Open	BBDC 44°
		Close	ATDC 8°

실험장치는 SI엔진. 엔진전기동력계 및 동력계 컨트롤러, 연소분석기, 실린더 압력 센서, Encoder , A/F meter, 배기가스분석기, 각종센서 및 제어시스템으로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용한 엔진의 제원은 배기량 287cc와 압축비 9.3:1을 가지는 SI 단기통 가솔린 엔진이고, 주요제원은 Table 1과 같다. 엔진으로부터 발생되는 토크와 회전수를 제어하고 계측하기 위한 동력계는 크랭크축에 직결로 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 운전 제어, 정 토크 제어, 급가속 운전 제어가 가능하고 과속, 과열시 안전장치가 작동되며, 냉각방식은 수냉식이다. 그리고 부하측정방식으로는 로드셀 방식을 사용한다.

2.2 연소실

Fig. 2는 실험에 사용한 엔진의 연소실 형상[10]의 개략도이다. 연소실은 펜트 루프형으로서 점화플러그는 중앙에 위치하고 있으며 전극으로부터 연소실 밑단까지의 화염전파거리는 7.4mm로 설정하였다. 또한 그림에 명시된 바와 같이 바깥 라운드 부분을 직각에 가깝게 하여 제작하였다.

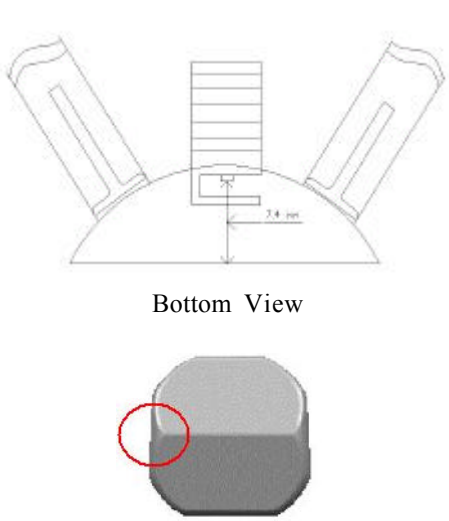

Fig. 2 Schematic of combustion chamber

2.3 스월조절밸브(Port Deactivation Valve)

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 밸브[11]는 두께 0.6t의 알루미늄 판을 이용하여 제작하였으며, 형상은 Fig. 3과 같다. 정상유동 실험을 통하여 스월비 및 텀블비를 측정한 후, 이를 실험의 변수로 사용하였으며, 정상유동의 실험결과를 Table 2에 나타내고 있다.

실험결과에 따라 유량계수의 손실을 최소한으로 하는 조건하에서 스월 강도를 최대로 강화시키려는데 초점을 맞춘 형상으로 PDA밸브는 스월류의 생성이 용이한 스월강화형(swirl control valve)을 선정하여 사용하였다. 또한 텀블강화형 밸브는 유동강화효과는 없는 것으로 판단된다. 개구율은 흡입 공기가 유입되는 부분으로서 전체 포트 면적의 몇 %의 면적을 말한다. 본 연구에 사용된 PDA 밸브는 개구율이 거의 50%이다.

Table 2 Results of tumble & swirl ratio on Port Flow Rig test

PDA Valve	Tumble ratio	Swirl ratio
Swirl control valve	0.944	1.688
Tumble control valve	0.600	0.012

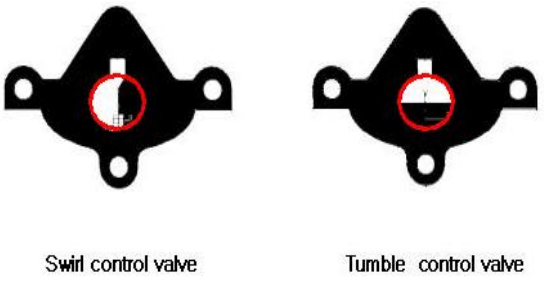

Fig. 3 Schematics of PDA valve(swirl control valve and Tumble control valve)

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4-15는 PDA를 장착한 연소실에서 점화플러그의 위치변동, 즉, Fig. 2에 명시된 기존의 화염전파거리가 7.4mm 와 그 점화플러그 위치에서 연소실 내부로 더 삽입시킨 0.2mm down(7.2mm) 및 1.5mm down(5.9mm)하여 각각의 부분부하 조건에서 공연비를 14.6:1로 유지하면서 점화시기를 4°씩 변화시켜가며 측정한 배기가스의 결과를 보여준다.

Fig. 4는 엔진회전수 1500rpm, IMEP 3.9bar 일 때 점화시기의 변화에 따른 HC농도를 측정한 결과이다. 각각의 점화플러그 위치에서 점화시기의 변화에도 거의 HC의 배출량이 변화가 없음을 보여주고 있다. 이는 이론 공연비 14.6:1로 유지하는데서 생기는 결과로 판단된다.

Fig. 5는 엔진회전수 2000rpm, IMEP 3.2bar의 조건에서 점화시기 변화에 따른 HC의 변화를 보여준다. Fig. 4의 경우와 마찬가지로 점화시기의 변화에는 거의 일정함을 보여주고 있다. 하지만 1500rpm 일 때보다 0.971 - 1.101(g/kwh) 감소의

결과를 나타냈다. 이는 스월 유동강화가 속도증가로 인해 크게 작용한 것으로 볼 수 있다.

Fig. 6은 회전수 2400rpm, IMEP 3.2bar의 조건에서 점화시기를 변화시켜가며 HC의 농도를 측정한 결과이다. 또한 기존의 점화플러그위치 7.4mm일 때가 점화진각 BTDC 33°까지는 7.2mm, 5.9mm 일 때보다 적게 배출되다가 BTDC 33° 이후부터는 HC의 배출량은 거의 비슷한 값을 나타냈다. 이는 점화플러그에 의한 화염전파거리의 단축으로 MBT까지 연소최대압력의 증가로 인해 연소의 활성화로 생긴 현상으로 판단된다. 1500rpm 일 때보다 1.458-1.631(g/kwh)정도, 2000rpm일 때보다 0.261-0.635(g/kwh)정도 감소됨을 나타냈다.

Fig. 7은 1500rpm, IMEP 3.9bar 일 때의 점화진각에 따른 NOx 변화량을 측정한 결과이다. 각각의 점화플러그 위치에서 측정한 결과는 점화가 진각이 될수록 NOx의 농도가 증가함을 나타났다

이는 실린더 최고압력이 높아질수록 연소가스온도의 상승으로 인한 경우로 볼 수 있다. 점화플러그 위치가 7.2mm, 5.9mm 일 때가 7.4mm 일 때보다 NOx 배출양이 적었다. 이는 연소기간의 길이가 7.4mm 보다 짧아 연소온도가 낮아져서 NOx의 생성율이 더 낮은 것으로 판단된다.

Fig. 8은 회전수 2000rpm, IMEP 3.2bar로 하였을 때 1500rpm, IMEP 3.9bar 일 때의 실험결과처럼 점화진각이 될 수록 NOx의 배출량이 증가됨을 알 수가 있다. 하지만 1500rpm 일 때보다 NOx의 배출량이 22.21-27.44(g/kwh)정도 감소하였다. 이는 연소최고압력이 1500rpm 일 때보다 낮아져서 연소가스 온도가 높지 않은 관계로 NOx의 생성율이 적었다. Fig. 9는 엔진회전수 2400rpm, IMEP 3.9bar에서 NOx의 배출량을 측정한 결과이다.

Fig. 7, Fig. 8과 마찬가지로 점화가 진각이 될수록 NOx의 농도가 증가됨을 나타내고 있고, 7.2mm, 5.9mm 위치일 때가 점화시기 BTDC 29°

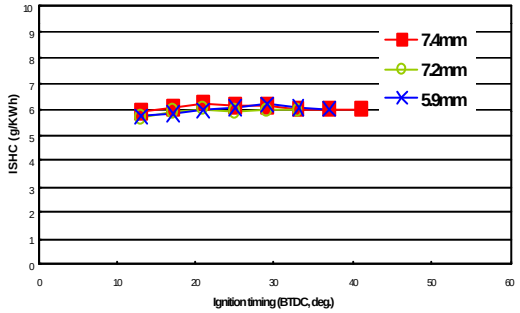

Fig. 4 Ignition timing & Indicated Specific HC at 1500rpm IMEP 3.9bar

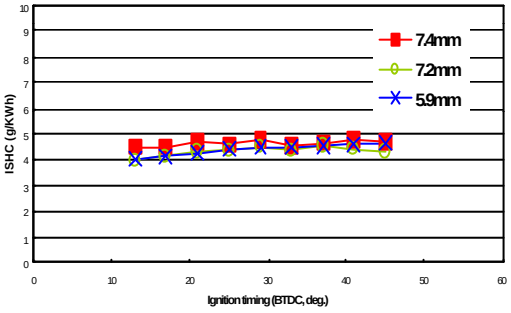

Fig. 6 Ignition timing & Indicated Specific HC at 2400rpm IMEP 3.9bar

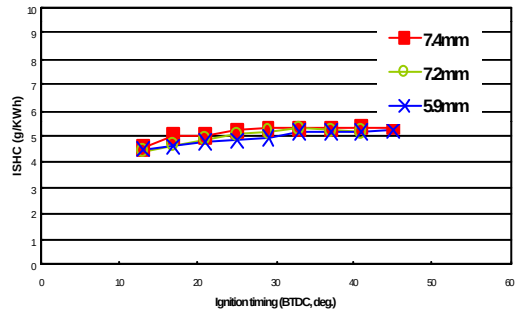

Fig. 5 Ignition timing & Indicated Specific HC at 2000rpm IMEP 3.2bar

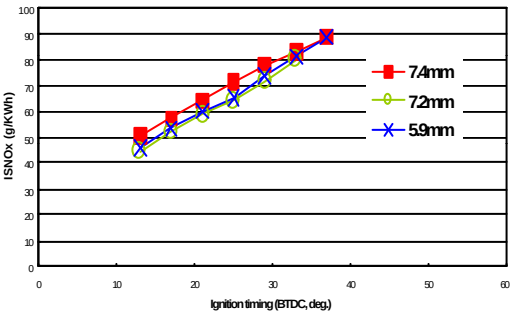

Fig. 7 Ignition timing & Indicated Specific NOx at 1500rpm IMEP 3.9bar

까지는 3개가 거의 유사하게 NOx의 배출량을 보이다가 BTDC 29°이후부터는 7.4mm 일 때가 7.2mm , 5.9mm 일 때보다 적게 배출되었다. 이는 연소최고압력이 7.2mm , 5.9mm 일 때보다 낮아 BTDC 29° 이후부터 누적된 연소실내의 연소가스온도가 낮아져서 생기는 결과로 판단된다. Fig. 10은 1500rpm, IMEP 3.9bar의 조건에서 점화플러그의 위치변동에 따라 각각의 CO의 변화량을 분석한 것이다. 5.9mm 위치일 때는 48.702 (g/kwh), 7.2mm 위치일 때는 49.322(g/kwh), 7.4 mm 위치일 때는 49.386(g/kwh)의 CO의 배출량의 결과로 보아 거의 비슷하게 배출된 것을 알 수 있다. 이는 이론 공연비(14.6:1)의 조건에서 실험한 결과로 판단된다.

Fig. 11은 2000rpm, IMEP 3.2bar 일 때 CO의 농도를 분석한 경우인데 1500 rpm 일 때보다 CO의 배출량이 4.208 - 5.399(g/kwh)정도 감소하였다. 이는 회전수가 증가할수록 공기의 유량이 많이 흡입되어 연소가 안정화로 판단된다.

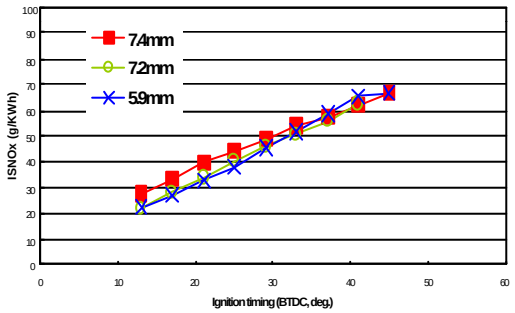

Fig. 8 Ignition timing & Indicated Specific NOx at 2000rpm IMEP 3.2bar

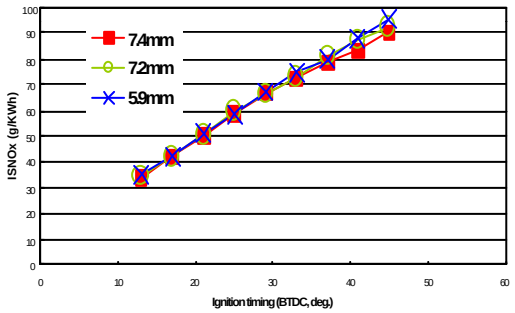

Fig. 9 Ignition timing & Indicated Specific NOx at 2400rpm IMEP 3.9bar

Fig. 12는 엔진회전수 2400rpm, IMEP 3.9bar 일 때 점화시기의 변화에 따른 CO의 배출량의 결과이다. 2000rpm 일 때보다 4.671 - 6.792(g/kwh)정도 CO의 배출량이 증가하였다. 이는 속도의 증대에 따른 연소실 매의 연료 및 공기, 잔류가스의 혼합이 균일하지 못해 불완전한 연소로 인하여생긴 결과로 생각된다.

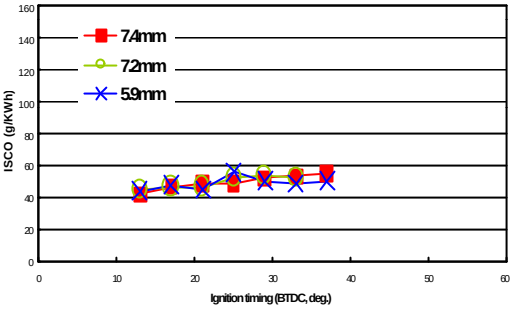

Fig. 10 Ignition timing & Indicated Specific CO at 1500rpm IMEP 3.9bar

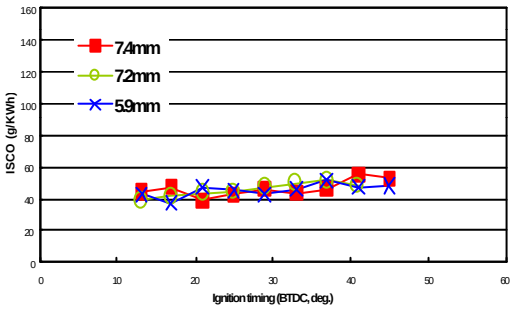

Fig. 11 Ignition timing & Indicated Specific CO at 2000rpm IMEP 3.2bar

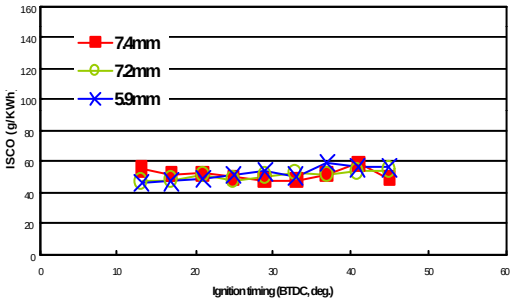

Fig. 12 Ignition timing & Indicated Specific CO at 2400rpm IMEP 3.9bar

4. 결 론

본 연구는 흡기포트 앞에 PDA 밸브를 장착하여 점화플러그의 위치 이동을 통해서 엔진의 연소특성 및 배기가스 특성을 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 점화플러그 위치 변경 시험을 한 결과, 회전수가 증가할수록 HC의 배출량이 감소한다. 이는 회전수가 증가할수록 연소실의 벽 온도가 높아지므로 연소실 벽면의 소염층 두께가 얇아지고 배출가스 중의 탄화수소 농도가 작아진다.

(2) NOx의 배출량은 점화진각이 될 수록 최고연소압력이 올라가서 증가됨을 알 수 있고 연소온도에 크게 영향을 받고 있다는 것을 확인할 수 있다.

(3) 점화플러그 위치 변경 실험을 한 결과, CO의 배출량은 공연비 또는 당량비에 의해 결정되므로 본 연구에서는 연료량을 제어하여 이론 공연비(14.6:1)의 조건에서 실험한 관계로 CO의 배출량이 적게 배출되었다.

후 기

이 논문은 두뇌한국 21사업 학술 연구비 지원에 의하여 연구된 결과로 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

(1) Richard, C. et al., 1993. "Combustion Chamber Effects on Burn Rates in a High Swirl Spark Ignition Engine", SAE Paper 830335, pp.1.1130∼1.1138.

(2) Stephen G. Poulos et al., "The Effect on chamber Geometry on Spark Ignition Engine Combustion", SAE Paper 830334, pp.1.1106 ∼1.1129.

(3) Y. J. Chung, G. S. Cho and W. B. Kim., 1994, "A Study on Turbulence Flow Characteristics at the Spark Plug Location in S. I. Engine.

(4) NGV 94, International Gas Union, 1994.

(5) G. J. Waldron, R. G. Allen, "Natural Gas of Vehicles(NGV)", SAE 912558, 1991.

(6) Pichinger, S and Heywood, J. B., 1988, "A Study of Flame Development and Engine Performance with Breakdown Ignition Systems in a Visualization Engine," SAE Paper 880518.

(7) Pichinger, S and Heywood, J. B., 1990, "A Model for Flame Kernel Development in a Spark Ignition Engine," Twenty-Third Symposium(Inter-national) on Combustion, pp. 1033∼1040.

(8) James N. Mattavi, 1980, "The attributes of Fast Burning Rates in engine", SAE parper, No. 800921. pp. 726∼746.

(9) M. Souich, I. Tokuta, T. O. Kiyoshi, I. Kiyoshi , 1985, "Effects of Helical Port with Swirl Control Valve on the Combustion and Performance of S. I .Engine", SAE Paper, No. 850046, pp. 856∼ 868.

(10) D. Y. Kim, Y. C. Han, S. Y. Jook, P. W. Park, 2004, "A Study on Combustion and characteristics of Exhaust Gas Properties for combustion chamber," Tranactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp.66∼73.

(11) D. Y. Kim, Y. C. Han, D. S. Baik, M. S. Kim, P. W. Park, S. H. Jook, M. S. Chon, 2003, "A Study on Characteristics of Emission Performance by PDA Valve in Single Spark Ignition Engine", Proceedings of the KSAE FALL pp.101-107.