

400cc급 EFI 소형엔진의 성능개발

박성영^{1*}

¹공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Performance Development of the 400cc EFI Small Engine

Sung-Young Park^{1*}

¹Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

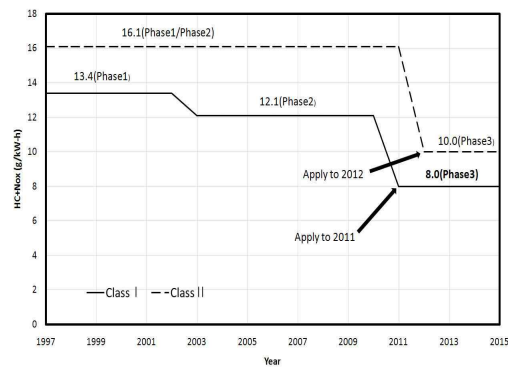
요 약 기화기 방식의 엔진을 EFI 소형 엔진으로 설계 변경하여 제작하였다. 최적의 작동 조건을 선정하기위하여 엔진의 성능개발을 수행하였다. EFI 엔진의 최대 출력 및 최대 토크는 12.56Ps 및 25.4Nm로 기화기 엔진과 동등한 수준이다. EFI 소형엔진의 연료 소모율은 기화기 방식 엔진 대비 평균 17% 향상되었다. KG2-6모드 실험을 통한 HC+NOx는 7.46g/kWh로 측정되어, EPA Phase 3 규제를 만족하였다. THC는 기화기식 엔진 대비 평균 41% 저감되었으나, 열효율의 상승으로 인하여 NOx는 평균 3.5배 증가하였다.

Abstract The EFI small engine has been redesigned and manufactured based on a commercial small engine with a carburettor. Performance development of the EFI small engine has been conducted to optimize the operating conditions. Maximum torque and power were 12.56Ps and 25.4Nm, respectively, that were equivalent with carburettor type engine. Brake specific fuel consumption of the EFI small engine has been improved 17% on average compared with that of base small engine with a carburettor. By conducting KG2-6 mode test, HC+NOx was 7.46g/kWh that satisfied EPA Phase 3 regulation. THC has been reduced 41% on average, but NOx has been increased 3.5 times on average due to the improved thermal efficiency.

Key Words : Small Engine, EFI, Engine Performance, Emission

1. 서론

현재 심각한 대기오염으로 인하여 최근 배기 규제가 기존 자동차 엔진에 국한되지 않고 범용 소형엔진(non-road small engine) 부분에서도 세계적으로 강화되고 있는 실정이다. 2008년 발표된 북미 EPA 배기규제에 따르면 EPA Phase 3 규제(2011년 적용)는 HC+NOx 8.0 g/kWh 로 Phase 2 대비 약 34%(Phase 2 : 12.1g/kWh, Class II 225cc 이상) 강화되었다. 미국을 비롯한 선진국 시장 수요가 증대됨에 따라 배기규제 대응을 위한 기술 개발 노력이 요구되는 실정이다[1].



Class 1 : Non handle held 20cc over ~ 225cc down

Class 2 : Non handle held 255cc over

[그림 1] 범용 소형엔진의 EPA 배기규제

*교신저자: 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

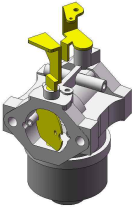
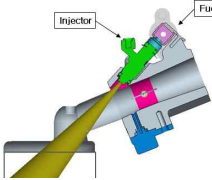
접수일 11년 01월 10일

수정일 : 11년 03월 05일

계재확정일 11년 04월 07일

1980년대 초 이후로 엔진기술이 발전함에 따라 대부분의 연료공급 장치는 기화기 방식을 대신하여 EFI(Electronic Fuel Injection) 방식을 사용하였다. 하지만 소형엔진 또는 특수한 목적으로 이용되는 산업용 엔진에서는 기화기 방식이 여전히 일반적인 구성 요소로 작동하고 있다[2]. 기화기 연료공급 방식의 경우 정밀한 연료공급과 미립화에 한계가 있기 때문에 연비와 배기성능에 악영향을 끼친다. 반면 EFI 방식으로 연료공급이 이루어질 경우, 운전조건에 따른 연료량의 제어가 가능해지고, 미립화가 우수하기 때문에 배기가스 성분 중 미연탄화수소 성분을 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라 열효율의 증대로 인한 연료소비효율도 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 표 1은 기화기 방식과 EFI 방식의 구조와 장단점을 비교하고 있다. 최근 들어 소형엔진도 연비향상과 배기저감을 위하여 기화기 방식에서 벗어나 EFI 방식으로 전환을 하고 있는 실정이다[3-5].

[표 1] 기화기 방식과 EFI 방식 비교

	기화기 방식	EFI 방식
그림		
구조	복잡한 H/W 제어 없음	단순한 H/W 제어 장치 및 로직 필요
효과	연비 및 배기 규제 불만족 열효율 미진	연비 성능 우수 제어로 인한 열효율 우수

기화기 방식에서 EFI 방식으로 전환하기 위해서는 연료계통의 전체적인 설계 변경이 필요하다. 먼저 기화기가 삭제되고 이 자리에 전자식 인젝터와 연료레일이 장착된다. 또한 인젝터에 연료를 공급하기 위하여 연료탱크내부에 연료펌프와 연료레벨게이지를 신규로 장착하여야 한다[6]. 추가적으로 트로틀 밸브가 인젝터의 분무를 방해하지 않도록 재구성하여야 한다. 특히 인젝터는 포트에 분사하는 방식이므로 흡기포트의 개발이 엔진의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 가솔린 엔진효율에 있어, 흡기성능이 좋다면 적은 연료로 높은 효율을 보장할 수 있기 때문이다. 흡기성능을 좌우하는 요소 중 유동특성 및 흡입성능은 유량계수 C(Flow coefficient)로 평가 할 수 있으며, 이 들은 흡기포트, 연소실 등에 의해 제어된다. 특히 흡기 포트의 형상은 실린더 안으로 들어가는 흡입공기량

에 밀접한 관계가 있으며, 형상에 대한 유동특성도 제어되기에 매우 중요한 요소이다[7-8].

본 연구에서 사용된 소형엔진은 기존의 기화기 방식 소형엔진을 EFI 방식 엔진으로 설계 변경하여 제작한 엔진이다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 EFI 방식의 소형엔진을 보여주고 있으며, 표 2는 실험에 사용된 엔진의 제원을 표시하고 있다.



[그림 2] EFI 방식 엔진 시제품

[표 2] 엔진의 기본 제원

Name	Unit	Specification
No. of cylinder		1
Bore×Stroke	mm×mm	89×63
Displacement	cc	391
Maximum rpm	1/round	4000
No. of In/Ex valve	-	1/1
Dry weight	kg	35.0
Dimensions(L×W×H)	mm×mm×mm	462.5×463×466

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

설계 및 제작이 완료된 소형엔진의 객관적인 성능 데이터 확보를 위하여 엔진의 동력성능 개발을 수행하였다. 엔진의 성능 특성을 측정하기 위하여 연비계, 배기분석기, 공기유량계 및 엔진다이내모미터 등을 사용하였다. 엔진을 제어하기 위한 ECU 제어장비로는 INCA장비를 사용하였다. 성능개발에 사용된 동력계는 AVL사의 60kW AC 다이내모미터로 그림 3과 같다.



(a) 엔진다이내모미터



(b) 신호처리 장치



(c) 연비계

[그림 3] 엔진 성능개발 장비

그림 4는 엔진을 다이내모미터에 장착한 사진으로 다이내모미터의 축과 엔진의 크랭크 축이 연결된 것을 볼 수 있다. 엔진과 다이내모미터는 공기에 의해서 충격을 흡수하는 정반위에 설치되었다.



[그림 4] EFI 소형엔진의 다이내모미터 장착사진

2.2 실험 방법

소형엔진의 배기가스 성능개발은 환경부 고시기준인 제 2008-151호 “제작자동차 배출허용기준·소음허용기준의 검사방법 및 절차에 관한 규정”에 근거하여 수행되었다. 표 3은 간략하게 정리된 비도로 장비용 시험모드로 본 연구에 해당되는 개발 모드는 KG2-6 모드이다. KS B ISO 8178-4규정에 의하면 시험사이클 타입 G는 “잔디 및 정원용 장비”로 분류되며, 20kW미만의 시험 사이클을

기술하고 있다. 이 중에서, G2 모드는 휴대용이 아니며, 정격속도로 작동하는 엔진을 지칭한다. 본 연구에서 개발된 소형엔진의 최대출력이 발생하는 엔진 회전수는 4000rpm이었으므로, 최대출력 및 배기가스 성분은 상기 엔진회전수에서 획득되었다. 또한 소형엔진의 최대토크 및 연료소모율은 최대 토크가 발생하는 엔진 회전수에서 측정하였다.

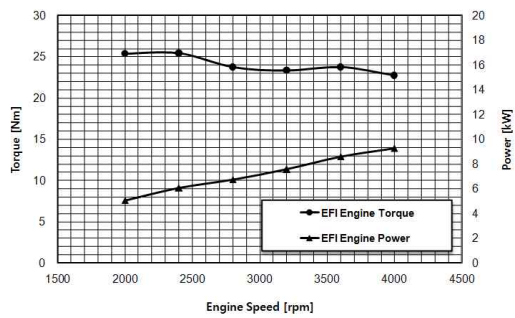
[표 3] 비도로 장비용 엔진의 시험모드

부하율 (%)	최대출력시의 회전수					Intermediate 회전수					공회전	시험 모드 명칭
	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10		
C1	0.15	0.15	0.15	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	0.15	KC1-8
C2	-	-	-	0.06	-	0.02	0.05	0.32	0.3	0.1	0.15	KC2-7
D1	0.3	0.5	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	KD1-3
D2	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	KD2-5
E1	0.08	0.11	-	-	-	-	0.19	0.32	-	-	0.3	KE1-5
E2	0.2	0.5	0.15	0.15	-	-	-	-	-	-	-	KE2-4
F	0.25	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	0.6	KF-3
G1	-	-	-	-	-	0.09	0.2	0.29	0.3	0.07	0.05	KG1-6
G2	0.09	0.2	0.29	0.3	0.07	-	-	-	-	-	0.05	KG2-6
G3	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	KG3-2

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 엔진의 출력 및 토크 성능

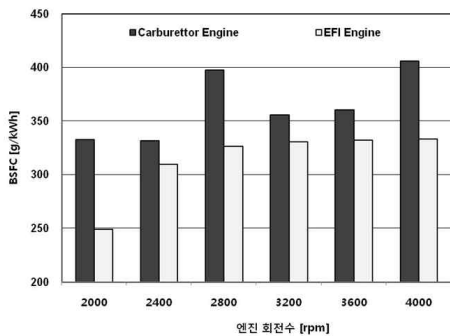
본 연구에 적용된 엔진의 성능실험을 통한 출력과 토크성능은 그림 5와 같다. 엔진 최고회전수인 4000rpm에서 9.2kW(12.56Ps)의 출력을 발생시키고 있으며, 최대토크는 2400rpm에서 25.4Nm의 토크를 생성하였다. 이 최대출력과 최대토크는 기존의 기화기 방식 엔진과 동등한 수준이다.



[그림 5] EFI 방식 엔진의 출력 및 토크선도

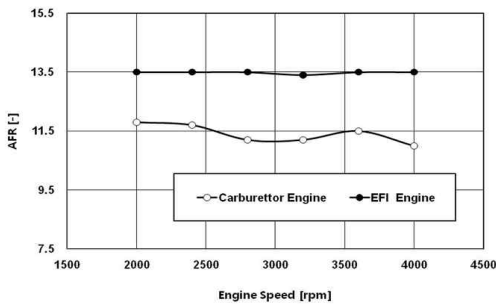
3.2 연료소모율

연료소모율은 1kW의 출력을 1시간동안 생산할 때 소모되는 연료의 질량으로 정의되며 단위는 g/kWh이다. EFI 방식 엔진은 기화기 방식 엔진 대비 열효율 측면에서 상당히 유리하다. 이는 연료의 미립화가 우수하여 연소효율을 향상시키기 때문이다. 이러한 연소효율의 상승은 연소실내의 평균온도를 상승시키고 평균유효압력의 상승을 유발할 것으로 판단된다. 그림 6은 전부하에서 연료소모율을 비교한 그림이다. 전부하의 경우 평균적으로 약 17%의 연료소모율 저감효과가 있다. 특히 2000rpm의 경우에는 약 34%의 연료 저감효과가 있었다. 이 연료저감 효과는 EFI 방식 엔진의 공연비 제어에 의한 효과가 상당부분을 차지하고 있다.



[그림 6] 전부하에서의 연료소모율 비교

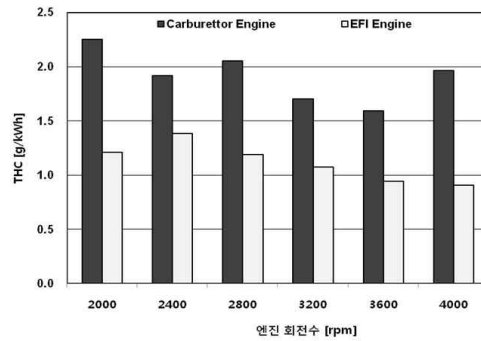
그림 7는 전부하 전개성능에서 기화기 방식 엔진과 EFI 방식 엔진의 공연비를 비교한 결과이다. 기화기 엔진의 경우 기화기에 의해 제어되는 공연비는 약 11.5를 기준으로 ± 0.4 정도의 변동량을 보였다. EFI 엔진의 경우 인젝터를 ECU를 통해 제어하여 13.5의 공연비를 일정하게 유지하였다. 이론적인 공연비는 14.7이지만, 출력이 중시되는 전부하인 점을 감안하여 전부하에서 EFI 엔진의 공연비를 13.5로 결정하였다.



[그림 7] 전부하에서의 공연비 비교

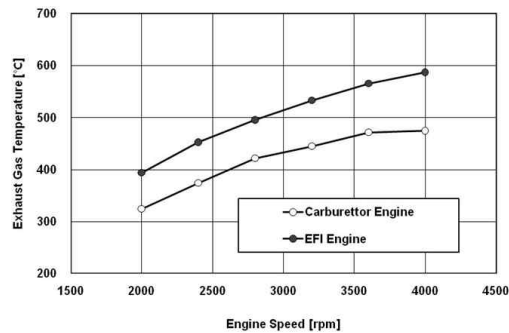
3.3 배기가스 성분

EFI 엔진에서 전부하 운전시 공연비의 증가는 배기 성분 중 HC를 저감하는 효과가 있다. 이는 공연비가 이론 공연비에 가까워질수록 연소 후 배출되는 미연탄화수소 성분이 저감되기 때문이다. 그림 8에서 보이는 바와 같이, 엔진회전수 4000rpm에서 베이스엔진의 THC 배기성분 대비 약 54%가 저감되었으며, 전부하 영역에서 평균 41%의 THC 저감 효과가 나타났다.



[그림 8] THC 배기성분 비교

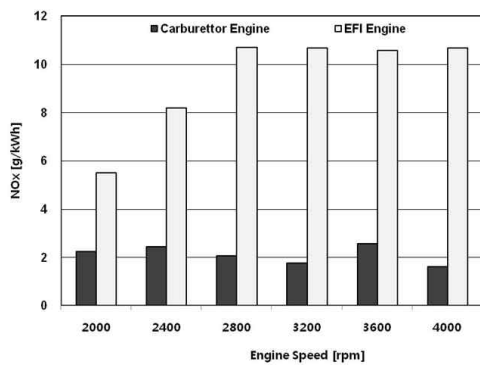
이와 같이 연비가 향상되고 미연탄화수소성분이 감소하는 것은 연소효율이 증대되었기 때문이다. 이러한 연소 효율 증대의 첫 번째 증거는 배출되는 배기가스의 온도 증대로 확인될 수 있다. 그림 9은 두 엔진에서 배출되는 배기가스의 온도를 나타내고 있다. 기화기 엔진 대비, EFI 엔진의 배출가스 온도는 전부하 운전 영역에서 평균 21%정도 높으며, 엔진 회전수에 따라 70 ~ 112°C의 온도 차이를 보이고 있다.



[그림 9] 배기온도 비교

이러한 배기가스 온도의 상승은 엔진 열효율의 상승이라는 장점도 있지만, 배출가스 성분 중 연소온도에 지배

적인 영향을 받는 NOx의 발생량을 증가시킬 가능성이 커지게 된다. 실제로 EFI 엔진의 배출가스 성분 중 NOx 성분의 배출량은 기화기 엔진 대비 평균 약 3.5배 증가하였다. 특히 엔진회전수 4000rpm에서는 약 5.7배의 증가량을 보이고 있다. 이러한 현상은 엔진의 열효율이 증가함에 따라 연소실의 온도가 상승하기 때문이다. 이러한 NOx 성분의 증가를 억제하기 위해서는 연료분무를 농후하게 하는 것이 하나의 방법이 될 수 있으나 이러한 방법은 THC의 증가와 연비의 악화를 초래하므로 근본적인 방안이 요구된다. 일반적으로 자동차의 경우에는 3원촉매 등을 사용하여 배기가스성분의 대부분을 제어하고 있다. 본 실험에서 획득된 데이터를 표 3의 KG2-6모드에 대입하여 계산한 결과 HC+NOx는 7.46g/kWh로, EPA Phase 3 규제를 만족하는 수준이다.



[그림 10] 전부하에서의 NOx 발생량 비교

4. 결론

본 연구에서는 기화기 방식의 엔진을 EFI 소형 엔진으로 설계 변경하여 성능을 개발 하였다. 엔진의 성능 및 배기성분을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EFI 엔진의 최대 출력 및 최대 토크는 12.56Ps 및 25.4N·m로 기화기 엔진과 동등한 수준이다.
2. EFI 소형엔진의 연료 소모율은 기화기 방식 엔진 대비 평균 17% 향상되었다.
3. KG2-6모드 실험을 통한 HC+NOx는 7.46g/kWh로 측정되어, EPA Phase 3 규제를 만족하였다. THC는 기화기식 엔진 대비 평균 41% 저감되었으며 NOx는 평균 3.5배 증가하였다.

참고문헌

- [1] "EPA 규제 대응을 위한 Non-Road 400cc급 소형 엔진의 전자제어 시스템 개발" 중소기업기술개발 지원사업 최종보고서, 2010.
- [2] W.A. Schuster, "Small Engine Technology", Delmar Publishers, 1999.
- [3] T. Tokui and J. Shirahata, "Small Engine Catalyst for US Emission Regulations", SAE 2002-32-1837, 2002.
- [4] J. Bin, L. Manqun, Y. Xicheng and Sun Yaqin, "Emission Control Strategy and Technologies on Chinese-Made Four-stroke Non-Road Small Spark-Ignition Engines", SAE 2005-32-0052, 2005.
- [5] P. Stuecke, C. Egbers and W. Geyer, "A Two-Stroke Chain Saw Engine to Fulfil Current Tier Emission Levels", SAE 2005-32-0101, 2005.
- [6] 이준순, 박성영, "소형엔진용 가솔린 연료펌프의 회전수 측정 조건에 대한 실험적 연구" 한국산화기술학회 논문지, Vol. 11, No. 9, pp.3184-3189, 2010.
- [7] 이주형, 박성영, "소형엔진의 흡기포트의 유동특성" 한국산화기술학회 2009년도 추계학술대회 논문집II 제10권 제2호, pp.520-525, 2009.
- [8] 박윤서, 박성영, "소형엔진 흡기포트의 성능 평가" 한국산화기술학회 2009년도 추계학술대회 논문집II 제10권 제2호, pp.538-541, 2009.

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 부교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발