

전부하 상태에서 소형 엔진의 성능 및 배기특성

박상규* · 김병국** · 오진우** · 최영하** · 김동선*** · 윤석주†

Performance and Emissions Characteristics of Small Engine at WOT Condition

S. K. Park, B. G. Kim, J. W. Oh, Y. H. Choi, D. S. Kim and S. J. Yoon

Key Words: Small engine(소형엔진), Eddy current dynamometer(동력계), Carburetor(기화기), WOT(전부하), Excess air ratio(공기과잉율)

Abstract

This paper presents the performance and emissions characteristics of a small spark-ignited gasoline engine. The engine used in this paper is a single cylinder, diaphragm carburetor, two-stroke, air-cooled 26cc SI engine for brush cutter. For the performance of the engine, RPM, torque, and fuel consumption were measured and HC, CO, and NOx measured for the emissions according to the change of the dynamometer load at wide open throttle (WOT) position. The results showed that the excess air ratio decreased and torque increased with increasing loads, the torque and brake specific fuel consumption were the optimum driving condition at the 7000 rpm, HC and CO emissions increased with increasing loads and with an decrease in excess air ratio over 7000 rpm.

1. 서 론

예취기, 체인톱, 양수기, 살포기, 잔디깎기, 모형항공기, 미니스쿠터 등 전 세계적으로 소형엔진을 장착한 제품군들의 시장이 날로 증가하고 있다. 소형 엔진은 정격 출력 19 kW(25.5HP) 이하의 엔진을 말하며 4행정이나 2행정으로 작동하는 엔진을 모두 포함한다.

그 중에서도 2행정 기관은 단순한 구조를 지니고 있고 가격 면에서 유리하기 때문에 소형 원동기용 엔진으로 주로 사용되고 있다.

특히 Class IV(20~50cc, handheld)급 소형엔진은 그 활용분야 및 수요시장이 광범위하게 확대되어 가고 있

다. 하지만 국내에서의 소형 2행정엔진에 대한 기술수준은 기존 농업/원예용 제품에 머물러 있으며 이에 관련한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 최근 배기 규제가 기존 자동차 엔진에 국한되지 않고 노외(non-road)용 엔진 부분에서도 세계적으로 강화되는 시점에서 선진국 시장 수요의 증대와 배기규제 대응을 위한 소형 2행정엔진의 기술개발 노력이 요구되는 시점이다.⁽¹⁻³⁾

소형엔진의 성능개선과 배기규제에 대응하기 위한 연구로는 기계적인 구조변경에 의한 방법과 연료개선에 의한 방법으로 구분할 수 있는데 소기포트 개선에 의한 소기효율 증대⁽⁴⁾, 연료분사 방식^(5,6), 기화기에서 공연비 최적화⁽⁷⁻⁹⁾ 등이 전자에 속하며, 연료개선에 의한 방법으로 LPG, CNG 등 저공해 연료 적용을 통한 연료 공급계 개선에 의한 방법이 있다.⁽¹⁰⁻¹²⁾

이상과 같이 소형 2행정의 출력성능과 배기성능을 개선시키는 방향으로 많은 연구가 이루어 지고 있다. 하지만 이런 연구들 대부분이 배기량이 비교적 큰 엔진에 집중되고 있으며 캘리포니아 대기자원국(CARD : California

(2008년 6월 16일 접수 ~ 2008년 6월 24일 심사완료)

*회원, 우석대학교 기계자동차공학과

**전북대학교 대학원

***한성공업주식회사

†책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과, 자동차산기술연구소

E-mail : mecysj@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2324 FAX : (063)270-2315

Air Resource Board)에서 분류한 Class IV급의 엔진에 대한 체계적 연구는 이루어지지 못하고 있으며 국내의 소형 2행정 엔진 기술은 배기규제가 강화되기 전의 수준에 머물러 있다. 따라서 본 연구에서는 상용 가솔린 2행정 소형엔진의 출력성과 배기성을 파악하여 배기규제에 대응하기 위한 기술개발에 필요한 기초인자를 도출하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

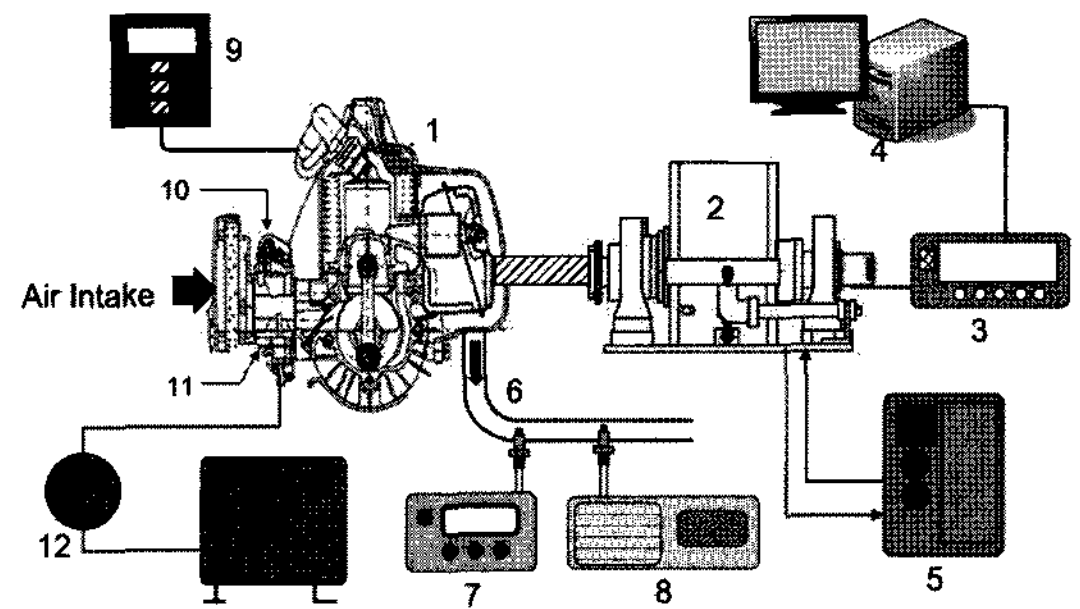
소형 엔진의 성능 및 배기특성을 파악하기 위하여 상용 예취기용 26cc 가솔린 엔진을 동력계에 연결하였으며 배기구에 배기가스 측정기와 공기과잉을 측정 센서를 부착하였다. 시험용 엔진의 성능 측정을 위해 예취기의 원심 클러치와 여러 개의 강선으로 이루어진 와이어에 자체 제작한 클러치 하우징을 부착하여 동력계를 구동하였다.

본 연구에 사용한 실험 엔진의 사양 및 제원을 Table 1에 정리하였다. 연료는 엔진오일을 2%로 혼합한 가솔린을 사용하였다.

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타냈다. 연료소비량은 자체 제작한 유량계를 이용하여 10cc 소비시간을 측정하여 환산하였다.

배기가스의 계측을 위해 배기가스분석기(Testo 350 M/XL)를 배기구에 설치하고 O₂, HC, CO, NO_x 를 측정하였으며, 실린더 내에 공급된 연료와 공기 혼합기의 공기과잉율은 배기구에 설치된 λ미터(Etas LA4)를 사용하여 측정하였다. 엔진에서 발생하는 토크와 회전수는 와전류 방식 동력계에서 부하를 제어하며 측정하였다.

엔진의 워밍업을 위하여 엔진 시동 후 스로틀 개도



- 1. Test Engine
- 2. Dynamometer
- 3. Controller
- 4. Computer
- 5. Water Cooler
- 6. Exhaust Manifold
- 7. Lambda Sensor
- 8. Exhaust Gas Analyzer
- 9. Pulse Taco-meter
- 10. Lambda Adjustor
- 11. Diaphragm Carburetor
- 12. Fuel Flow meter
- 13. Fuel Tank

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

25%, 무부하 조건에서 30분 구동한 후, 전부하(WOT : Wide open throttle) 조건에서 실험을 수행하였으며 부하 변동 시 약 5분간의 엔진 안정화 시간을 두어 실험데이터의 재현성을 높였다.

부하의 조절은 최대 부하의 1% 단위로 조절이 가능하도록 되어 있는, 동력계 컨트롤 박스를 이용하여 엔진 클러치와 클러치 하우징에서 미끄럼이 시작되는 상태까지 부하를 증가시키면서 실험을 수행하였다. 미끄럼의 발생 여부는 엔진회전수와 동력계 회전수를 동시에 측정, 비교함으로써 확인하였다. 엔진회전수는 엔진 점화 펄스에 의해 측정되는 펄스 타코미터(DT-2237)를 사용하여 측정하였다.

동력계로부터 엔진회전수와 구동토크를 측정하였으며 출력은 측정된 엔진 회전수와 토크 값으로부터 계산하였으며, 제동연료소비율은 계산된 출력과 연료소비량으로부터 환산하였다.

부하 변동에 따른 공기과잉율을 측정하였으며, 배기 성능을 파악하기 위해 HC, CO, NO_x를 분석하였는데 엔진 특성 상 과다 배출되는 CO는 분석기의 40배 희석 모듈을 사용하고 CO, HC, NO_x, O₂, CO₂ 농도를 측정하였으며 소기손실에 의한 미연 혼합물의 배출량에 따른 배출물 특성 변화의 영향을 배제하기 위하여 배출물의 산소 농도를 13% 기준으로 환산하여 나타내었다.

본 연구에서 사용한 엔진은 레귤레이터와 스로틀이 일체로 된 기화기에 의해 연료와 공기 혼합기가 만들어 지는데, 기화기 내부의 배럴 회전에 의해 스로틀개도를 조절하고 배럴 내 중심에 위치한 연료흡입배출관의 니들밸브 위치를 조정나사로 조절함으로써 연료와 공기

Table 1 Test engine Specifications

Item	Specifications
Engine type	2 stroke air cooled
Number of cylinder	1
Displacement volume	26cc
Bore × Stroke	33 × 30
Max. power	1.4PS
Engine start-up	recoil type
Ignition type	Magnet electric
Clutch type	Centrifugal clutch

혼합비 변화를 줄 수 있다.

본 연구에서는 상용 엔진의 성능을 파악하기 위해 이 공연비 조정나사의 위치를 일정하게 유지하고 WOT 조건에서 부하 변화에 따른 엔진 성능과 배기특성을 파악하였다.

실험결과의 신뢰도 향상을 위하여 부하 변동시마다 3회씩 데이터를 취득한 후 이를 평균하였다.

3. 실험결과

3.1 성능특성

예취기 엔진은 칼날을 회전시키기 위한 동력 전달 방식으로 엔진 회전력에 의한 원심력으로 클러치가 클러치 하우징 내벽에 접촉되어 발생하는 마찰력을 이용하기 때문에 동력계에서 부하가 작용함으로써 클러치의 마찰력 감소로 미끄럼이 발생하게 된다. 따라서 부하 증가에 따른 미끄럼 발생 특성을 파악하고자 엔진 회전수와 동력계 회전수를 측정하고 비교하여 Fig. 2에 도시하였다.

부하 증가에 따른 엔진 타코미터에서 측정된 속도와 다이내모미터에서 측정된 속도를 확인한 결과 11% 부하에서 미끄럼이 발생하는 것으로 나타났다.

동력계 부하증가에 따른 엔진 회전수 변화를 나타낸 결과로 본 실험에 사용된 엔진의 최대 회전수는 무부하 상태에서 약 10,600RPM을 나타냈으며, 부하 12%에서 엔진 회전수가 4000RPM으로 감소하여 클러치 미끄럼이 발생하였다. 엔진 회전수는 부하 8%까지는 비교적 완만하게 감소하지만 그 이후부터 급격하게 감소함을

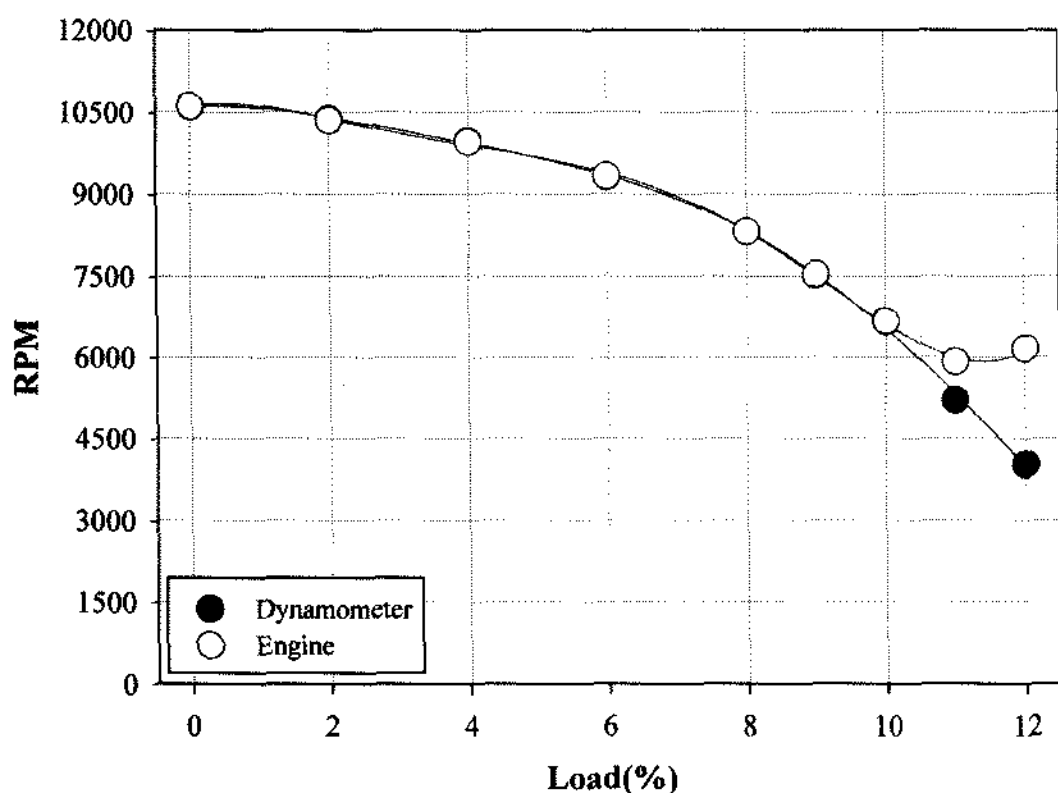


Fig. 2 Comparison of dynamometer speed and engine speed

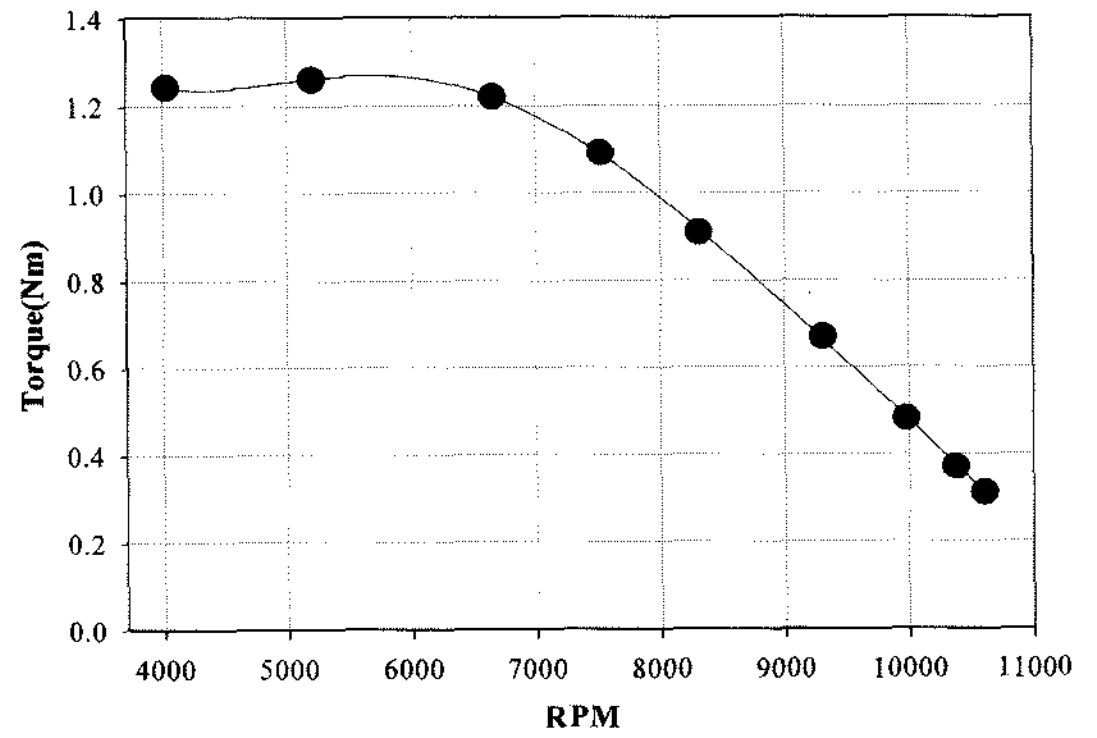


Fig. 3 Effect of engine speed on engine torque

알 수 있었다.

Figure 3은 엔진 회전수 변화에 따른 엔진토크 변화를 나타낸 결과이다. 토크는 부하 11%에 해당하는 엔진 회전수 5200 rpm에서 최대 1.26 N·m이며 6500 rpm까지는 거의 동일한 토크를 유지하다가 회전수 증가에 따라 급격히 감소하여 최대 회전수인 10,600 rpm에서 0.3N·m의 토크를 가짐을 알 수 있었다. 회전수 4000 rpm에서 토크는 약간 감소하였는데 이는 클러치의 미끄럼이 발생하기 때문으로 판단된다.

Figure 4는 엔진 회전수 변화에 따른 엔진 출력의 변화를 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 엔진의 최대 출력은 7000rpm 부근에서 860W로 나타났는데 이는 9~10% 부하에 해당하는 영역이다.

4000 rpm에서 520W의 출력을 보이며, 최대 회전수 10,600 rpm에서는 350W로 나타났으며, 7000 rpm까지는 부하 증가에 따라 엔진의 출력은 증가하며 최대 출력 이후에는 출력이 부하증가에 따라 회전수 감소의 영향으로 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 앞에서 논의된 바와 같이 엔진 회전수가 9% 이후의 부하에서 감소

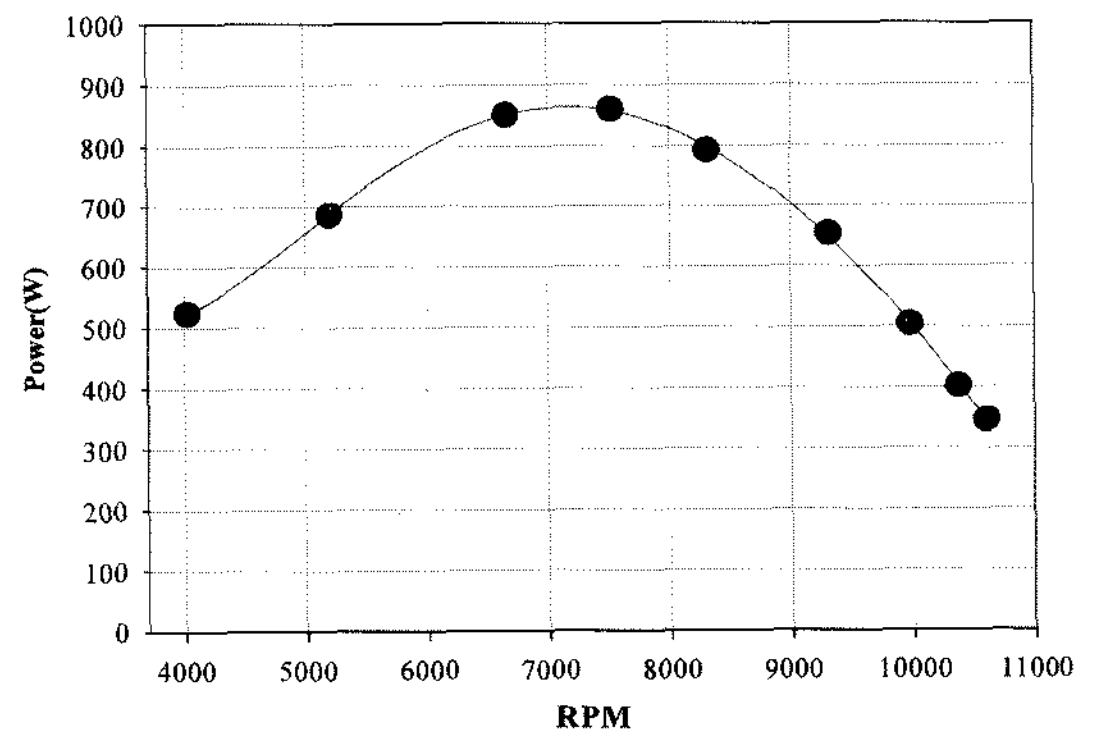


Fig. 4 Effect of engine speed on power

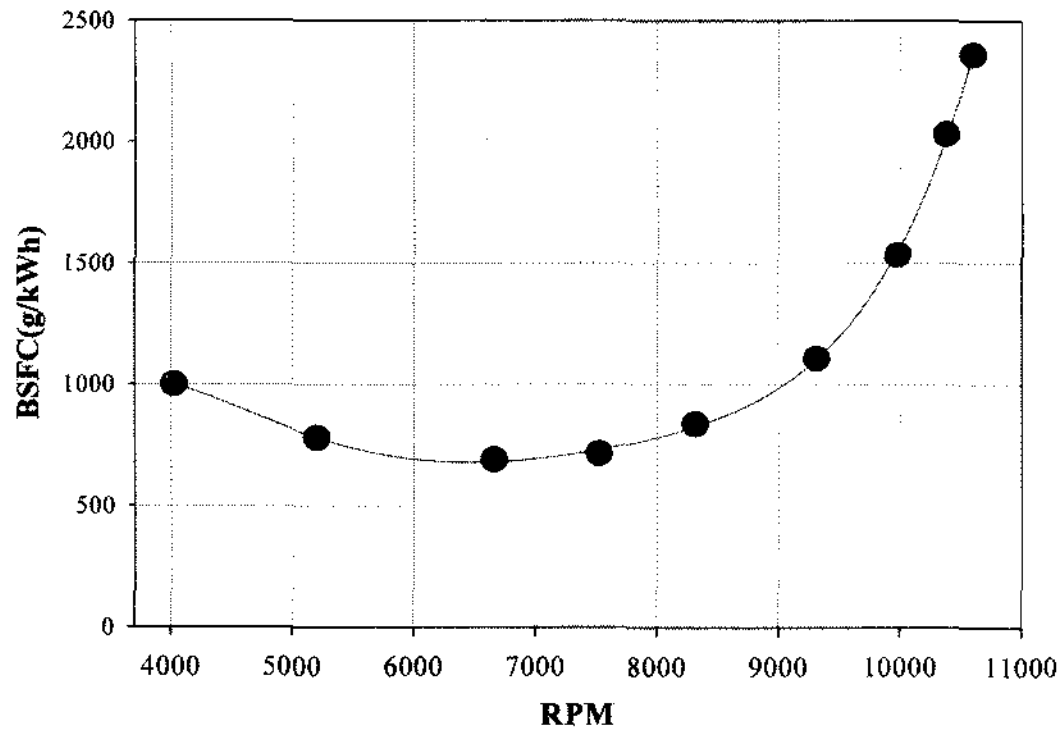


Fig. 5 Effect of engine speed on BSFC

폭이 커지고, 토크가 10% 이후의 부하에서 증가폭이 둔화되기 때문으로 판단된다.

Figure 5는 엔진 회전수 변화에 따른 제동연료소비율 (BSFC : Brake Specific Fuel Consumption)의 변화를 나타낸 그래프이다. 6700 rpm에서 680 g/kW·h으로 최소 연료소비율이었으며 4000 rpm에서 1000 g/kW·h, 10,600 rpm에서 2400 g/kW·h임을 알 수 있었다. 최소 연료소비율은 최대 출력이 발생하는 회전수인 7000 rpm보다 작은 회전수 영역에서 발생하는데 이것은 부하증가에 대해 연료소비량이 감소하기 때문에 최대 출력 발생 회전수보다 저속 영역에서 발생하기 때문이다.

3.2 배기특성

엔진의 배기 특성은 대부분 공기과잉율에 의해 지배되고 특히 2행정 기관의 경우 소기 손실의 영향과 공기과잉율 영향이 복합적으로 나타나는 것으로 보고가 되고 있다.⁽¹³⁾ 따라서 본 연구에서는 공기과잉율이 2행정 소형 엔진의 배기 발생에 미치는 영향을 파악하였다.

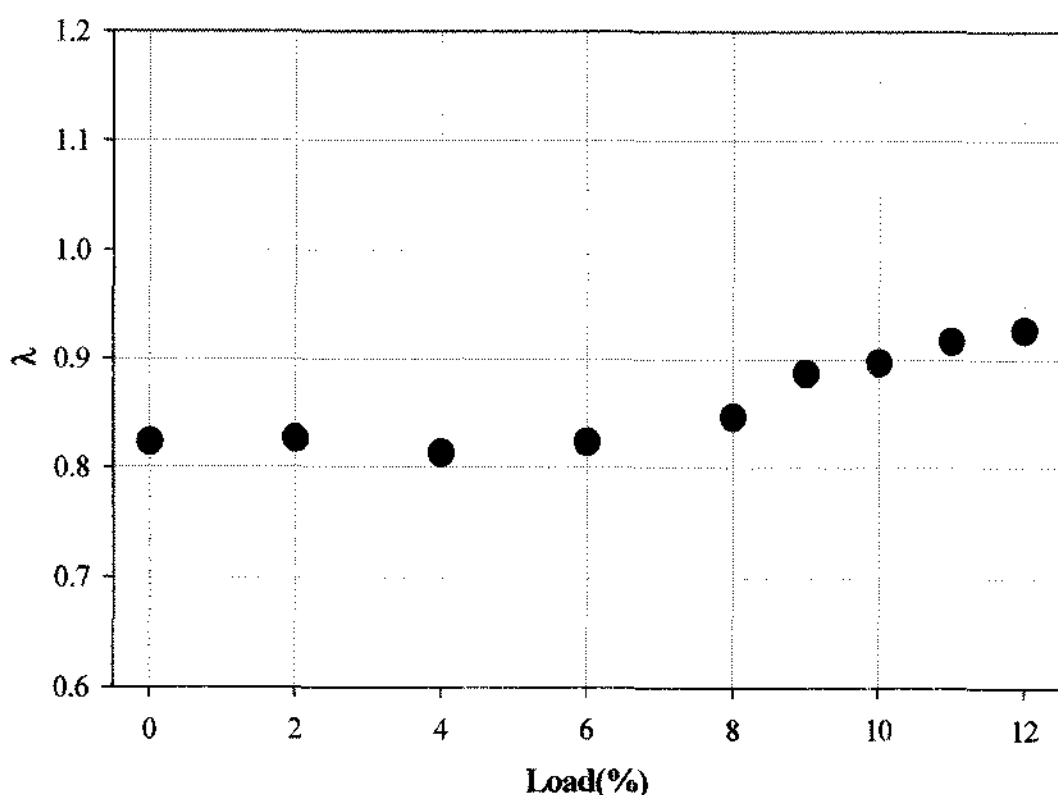


Fig. 6 Excess air ratio with load

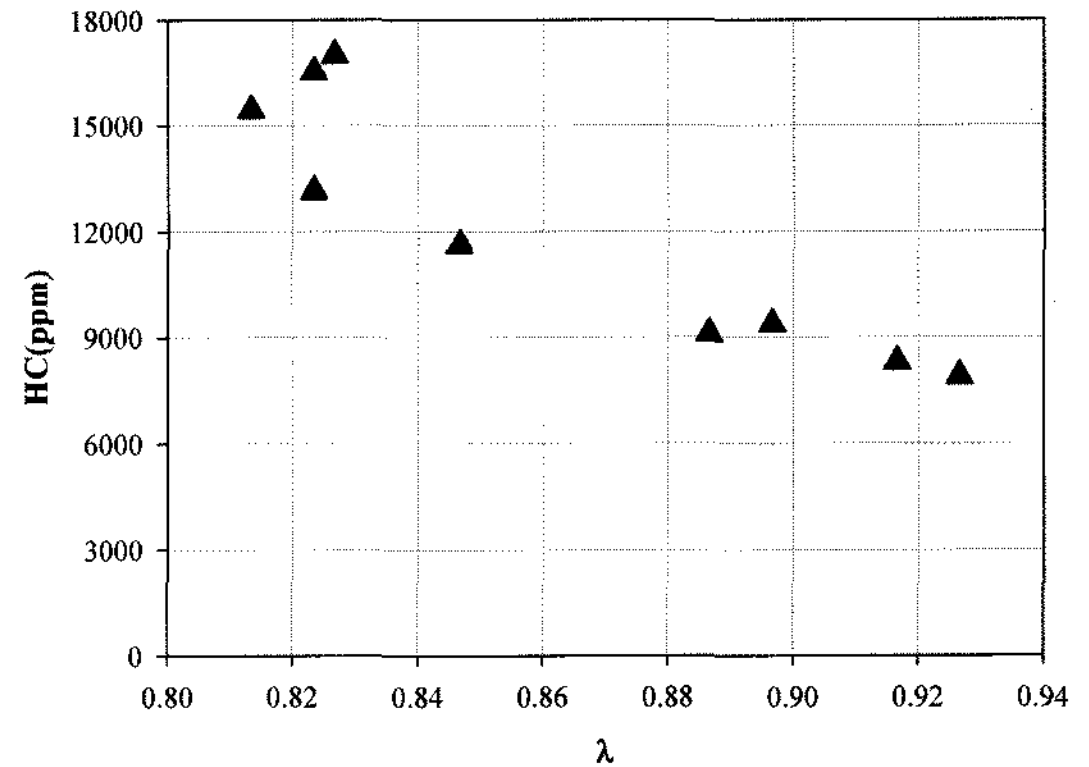


Fig. 7 HC emissions with excess air ratio

Figure 6은 WOT 조건에서 부하에 따른 공기과잉율의 변화를 나타낸 것으로 상용 예취기 엔진은 출고 시 카뷰레터의 공연비 조정나사가 고정되기 때문에 본 연구에서는 부하변동 시에 엔진 배기구에서 측정된 공기과잉율을 도시하였다. 무부하에서 공기과잉율은 0.82이며 6% 부하까지는 거의 일정하다가 이후 최대 부하12%에서 0.92까지 증가하였다. 전 운전 영역에서 이론 공연비 이하로서 과농한 상태에서 연소가 이루어짐을 알 수 있으며 이런 이유로 예취기용 2행정 소형엔진의 배기 성능이 불량함을 알 수 있다. 최소 공기과잉율은 0.81로 4% 부하에서 나타남을 알 수 있었다.

전영역에서 측정된 공기과잉율이 각 배기가스 성분에 미치는 영향에 대한 규명은 2행정 소형엔진의 연소개선을 위한 혼합기의 조성을 이해하고 카뷰레터의 구동조건을 확립하는데 매우 유익하다.

Figure 7은 공기과잉율 변화에 따른 HC 배출특성을 나타낸 것이다. 공기과잉율이 작은 영역에서 HC의 배출농도가 높게 나타났으며, 공기과잉률이 상대적으로 희박한 영역으로 갈수록 HC 배출농도가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 저부하 고회전 영역에서는 공기과잉율이 4% 부하에 비해 크게 나타났지만 배출농도가 컸으며 회전수 증가에 대해 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 HC 배출농도의 증가는 공기과잉율 감소의 영향보다 회전수 증가 즉 부하가 감소에 의한 것으로 판단된다.

Figure 8은 공기과잉율 변화에 따른 CO 배출을 나타낸 것으로 HC의 경향과 유사하게 나타나고 있다. 공기과잉율이 작은 영역에서 CO 배출농도가 높으며 공기과잉율이 상대적으로 희박한 영역으로 갈수록 CO 배출농도가 작아짐을 알 수 있었다. 이것은 예취기 운전은 Fig.

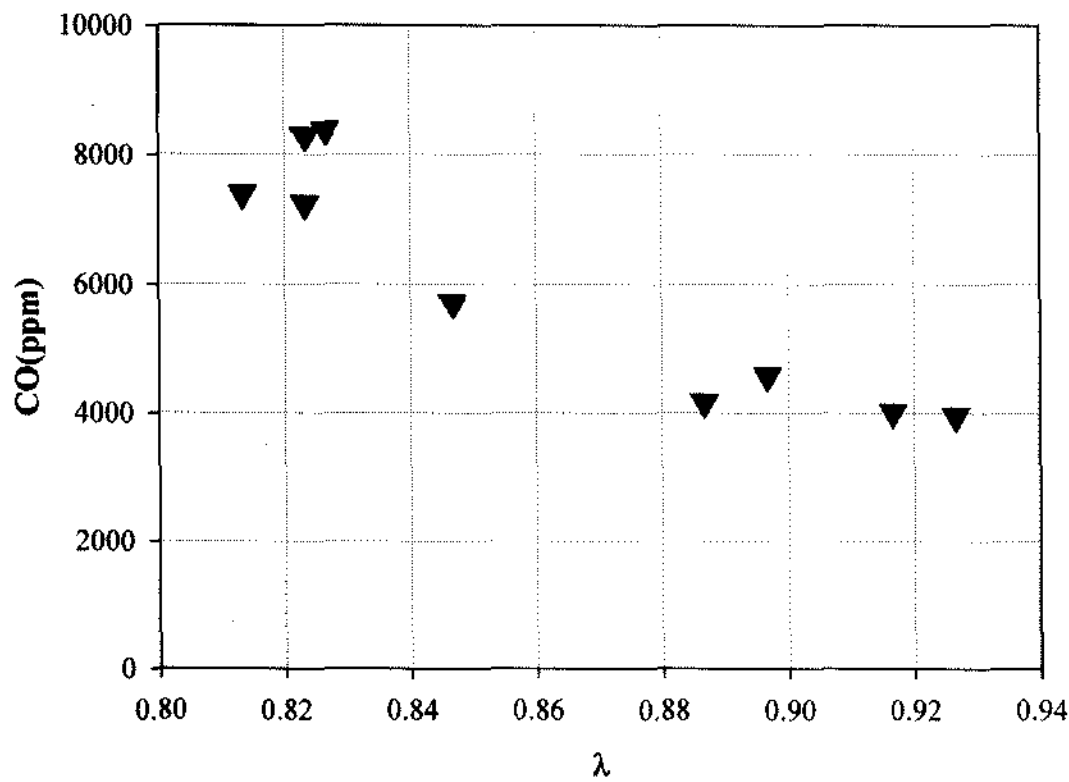


Fig. 8 CO emissions with excess air ratio

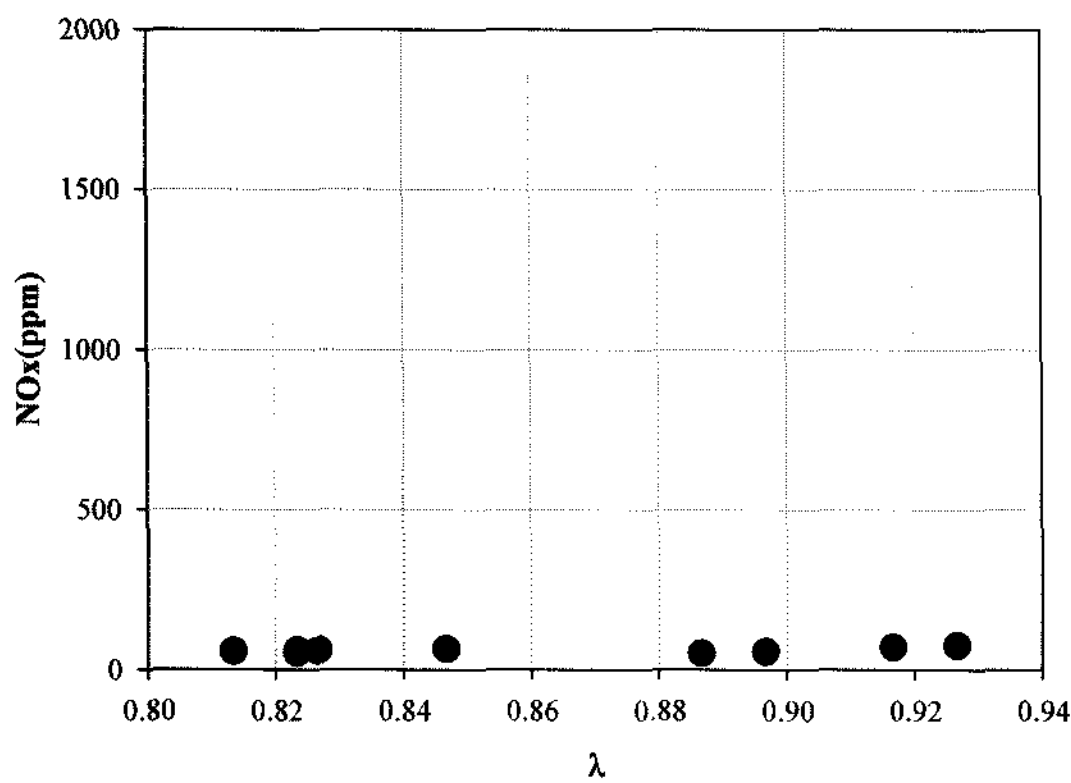


Fig. 9 NOx emissions with excess air ratio

4, 5에서 분석된 바와 같이 7000 rpm 영역에서 원활한 작업성능이 요구되기 때문에 카뷰레터의 공연비 조절이 이 조건에 맞춰있음을 예측할 수 있다. 하지만 공연비를 작업조건에 맞춰 조절하면 HC와 CO의 배출성능을 개선할 수 있으리라 판단된다.

Figure 9는 공기과잉율에 따른 NOx농도의 변화를 도시한 것이다. NOx는 HC와 CO에 비해 극히 희박함을 알 수 있으며 전 운전영역에서 공기과잉율 변화에 관계없이 일정하게 나타났다.

4. 결 론

클러치 구동 2행정 소형엔진의 WOT 조건에서 부하 변화에 따른 엔진성능 및 배기특성에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 엔진 회전수는 동력계의 부하 증가에 따라서 감소하고, 부하 8%까지는 완만하게 감소하다가, 그 이후부

터는 급격하게 감소하였다.

2) 부하 증가에 따라 엔진 토크는 미끄럼이 일어나지 않는 영역에서 증가하였으며 엔진 출력은 9~10% 부하인 7000 rpm 근처에서 최대인 860W까지 증가하지만 그 이후에는 회전수 감소의 영향으로 감소하였다.

3) 제동연료소비율은 최대 출력이 발생하는 회전수보다 작은 6700 rpm 영역에서 최소이고 부하가 증가함에 따라 완만하게 증가하는 현상을 보였다.

4) HC와 CO 농도는 공기과잉율이 희박한 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며 7000 rpm 이하의 고부하 영역에서는 거의 일정하였다. 고회전 영역에서는 회전수 증가에 따라 희박해짐에도 불구하고 농도가 증가하는 것으로 나타났다. NOx는 전 운전 영역에서 공기과잉율 변화와는 상관없이 희박하게 나타남을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) T. Tokui and J. Shirahata, "Small Engine Catalyst for US Emission Regulations", SAE 2002-32-1837, 2002.
- (2) 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.
- (3) P. Stuecke, C. Egbers and W. Geyer, "A Two-Stroke Chain Saw Engine to Fulfil Current Tier Emission Levels", SAE 2005-32-0101, 2005.
- (4) B. Kobayashi, T. Sawada, R. Zama, N. Ogura and S. Wada, "Investigation of Port Design for Small Air-Head Stratified Scavenging Two-Stroke Cycle Engine", SAE 2005-32-0012, 2005.
- (5) M. Yoshida, T. Suzuki, Y. Oguri, W. Bin, Z. Dasen, S. Shuying and L. Xinghu, "Study on Electronic control of Air -Fuel Ratio and Ignition Timing for Small Gasoline Engine", SAE 2001-01-1861, 2001.
- (6) J. Bin, Lin Manqun, Y. Xicheng and J. Yabing, "An Experimental Survey on the Emissions Characteristics

- of Non-Road Small S.I. Engines in China”, SAE 2003-32-0036, 2003.
- (7) D. A. Aris and T. A. Sheld, “CFD Characterization of Fuel Flow in Small Metering Orifices Used In Carburetors”, SAE 2006-32-0010, 2006.
- (8) D. A. Arias and T. A. Shedd, “Numerical and Experimental Study of Fuel and Air Flow in Carburetors for Small Engines”, SAE 204-32-0053, 2004.
- (9) M. Sivakumar and V. Balasubramanian, “Flow Field Analysis of a Carburettor Using CFD”, SAE 2005-26-058, 2005.
- (10) L. Li, Z. Wang, B. Deng, Y. Han and H. Wang, “Combustion and Emissions Characteristics of a Small Spark-Ignited LPG Engine”, SAE 2002-01-1738, 2002.
- (11) L. Li, Z. Wang, H. Wang, B. Deng and Z. Xiao, “A Study of LPG Lean Burn for a Small SI Engine”, SAE 2002-01-2844, 2002.
- (12) M. Maehara, T. Fukushima, H. Kishimoto, S. Arai, M. Araki, S. Shiga, H. Nakamura and T. Obokata, “Application of Scavenging-Port Injection to a Two-Stroke Boat Engine Fueled with CNG”, SAE 2005-32-0083, 2005.
- (13) A. K. Sarangi, A. Ramesh and P. S. Mehta, “Performance Evaluation of a Mini I.C. Engine”, SAE 2006-32-0056, 2006.