

고토크 스타터에 의한 마이크로 하이브리드 엔진의 시동특성 개선 효과 The Effects of High Torque Starters on the Starting Characteristics of a Micro-hybrid Engine

김 성 수
S. S. Kim

(접수일 : 2009년 5월 18일, 수정일 : 2010년 1월 3일, 채택확정 : 2010년 1월 14일)

Key Words : SI Engine(전기점화기관), High Torque Starter(고토크 스타터), Starting Characteristics(시동특성), Exhaust Emissions(배출가스), Micro-hybrid(마이크로 하이브리드)

Abstract : It is requested to shorten the starting duration for idle stop function equipped cars without harmful effects on the environment. Higher cranking speeds can be achieved with high torque starter. The object of this study is to develop the high torque starter and evaluate its effect on the exhaust emissions. The test was conducted on a 1.5 L, 4-cylinder, 16 valve, multipoint-port-fuel-injection gasoline engine. Engine out emissions such as HC, CO, CO₂, and the excess air ratios, lambda were measured using MEXA-554JK. The result showed that a high torque starter, HTS-II shortened the starting duration and reduced engine out emissions of HC, CO and improved starting performance with larger excess air ratio than that of the original starter, Org. S and a high torque starter, HTS-I.

1. 서 론

최근 도심에서의 교통체증은 출·퇴근 시간뿐만 아니라 거의 모든 시간에 걸쳐 발생하고 있다. 이러한 상황에서 운전자는 시동 후 차량을 운전하여 엔진이 충분히 워밍업이 되지 않은 상태에서 교통체증에 의해 자주 가다 서다를 반복해야하는 경우가 발생한다. 최근 관심이 집중되고 있는 마이크로 하이브리드 차량에는 차량운전 중 신호대기 시 엔진작동을 자동으로 정지시키는 공회전 자동정지(ASG, Automatic Stop and Go) 장치가 장착되어있다. 이 장치의 공회전 자동정지는 차량의 도심주행 시 연료 절감과 CO₂ 배출감소로 대기환경 개선에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 그러나 엔진이 충분히 워밍업이 되지 않은 상태에서 이들 차량의 공회전 자동정지 기능이 작동될 경우 아이들링 상태로 있을 때 보다 더 많은 오염물질이 배출될 우려가 있으며, 공회전 정지 후 원활한 출발을 위해서는 짧은 시간의 재시동성이 요구되어 진다. 이와 관련하여 시동 시의

유해 배출가스 관련 연구에서는 차량의 냉시동 혹은 저온 상태에서의 재시동 시 실화(Misfire)와 기관 부품의 냉각에 의하여 HC의 배출이 급격하게 증가함은 잘 알려져 있다^{1~3)}. 또한, 초기 시동 시의 HC의 배출은 흡기포트와 연소실 벽면 온도의 영향으로 인해 공기와 연료의 불완전 혼합 및 불완전 연소 등이 발생할 수 있다^{4,5)}. 특히, 전기점화 기관의 시동 및 재시동 시 기관에서 발생하는 HC의 배출 특성은 냉각수 온도 및 흡기 밸브 닫힘 시기에 큰 영향을 받으며, 냉각수온도와 연료분사스킵이 시동 및 재시동 시 가솔린 기관의 HC 배출에 미치는 영향에 대한 연구가 발표된 바 있다^{6,7)}. 본 연구에서는 시동기간을 줄이기 위하여 고토크 스타터를 제작하였으며 높은 크랭킹 회전속도가 시동 시 배출되는 유해배출가스에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 자동차용 4기통 1.5리터 DOHC 전기점화 기관의 주요사양은 Table 1에 표시하였다.

김성수(교신저자) : 신라대학교 자동차기계공학과
E-mail : sskim@silla.ac.kr, Tel : 051-999-5712

MEXA-554JK(Horiba Korea Ltd.)를 이용하여 배출가스 HC, CO, CO₂와 Lambda를 측정하였고 그 제원은 Table 2에 나타내었다. 시동 시 엔진의 유해배출가스는 삼원촉매의 전방 10cm 지점에 설치한 가스채집 밸브를 통하여 채집하였다. 또한 MEXA-554JK의 배출가스 분석지연시간이 10초인 관계로 시동 후 10초부터 분석된 배출가스의 농도를 자료로 활용하였다. 실험데이터 측정을 위하여 엔코더(Koyo Co., 360 ppr)를 배기밸브 측의 캠축에 설치하여 크랭크 각도 2° 마다 1개의 펄스가 생성되도록 하였다. 모든 실험은 4번 실린더의 흡입 상사점을 기준점으로 하여 수행하였다. 실린더 내의 압력은 4번 실린더에서 압전형 압력센서(Kistler, 6052 & 6517A)로 측정하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이며, 시동 및 재시동 특성을 분석하기 위하여 기관 자체로 운전이 되도록 동력계와의 연결 축을 분리하였고, 각 실험조건에서의 기관의 점화시기, 연료분사시기 및 공연비는 임의로 조정하지 않았다. 냉각수 온도는 냉각수 온도조절장치를 이용하여 80℃로 조절하였다.

본 실험을 위하여 기존 스타터의 계자 고정자와 회전 전기자를 개선하여 입력전압에 따라 엔진의 시동 시 회전 전기자가 큰 회전력으로 짧은 가동시간에 초기 크랭킹 속도를 증가시킬 수 있는 고토크 스타터를 제작하였다.⁸⁾ 고토크 스타터를 40V의 입력전압으로 작동하는 경우를 HTS-I로, 48V의 입력전압으로 작동하는 경우를 HTS-II로 명명하였다. Fig. 2는 엔진의 시동시간을 줄이기 위한 고토크 스타터의 회전자를 나타내고 있다. 고토크 스타터인 HTS-I과 HTS-II와 기존 스타터인 Org. S로 기동하여 측정한 엔진의 시동속도를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 HTS-II가 다른 경우보다 시동시간이 가장 짧고 시동기간 동안 엔진회전속도도 가장 높음을 알 수 있다. 또한 시동기간 (엔진회전 속도 500 rpm 도달시간)과 시동 동안의 엔진회전속도를 Table 3에 나타내었다. HTS-II는 시동기간이 530 ms로서 기존 스타터의 570 ms보다 약 40 ms, 7% 정도가 개선되었으며, 평균 크랭킹 속도도 기존 스타터 보다 약 100 rpm, 50% 정도 향상되었음을 알 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 기존 스타터, Org. S 및 고토크 스타터, HTS-II의 엔진의 시동 특성을 보여주고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시동특성

엔진 크랭킹 속도는 엔진의 냉시동 특성에 큰 영향을 준다. 특히, 엔진의 크랭킹 속도가 매우 느린 경우에는 연소실 내의 혼합가스로부터 차가운 실린더 벽으로의 열손실이 발생하고, 또한 연소실 내의 혼합가스가 피스톤과 피스톤 링을 통해 크랭크 실 쪽으로의 Leakage가 발생하여 시동에 좋지 못한 영향을 준다. 전기점화 엔진의 경우에는 점화 시 스파크 플러그 갭 사이에 존재하는 혼합가스의 공연비와 스파크 플러그 갭을 통과하는 혼합가스의 평균 속도와 난류속도에 따라 점화특성이 달라진다. 연소실 내의 유동특성은 흡기포트의 형태와 연소실의 형태에 크게 영향을 받게 되는데, 흡기 스윙 유동, 텀블 유동 및 스퀴시 유동 등을 형성하여 연소실 내에 난류를 증가시켜 연소성능을 향상시키기도 한다. 특히 압축 상사점에서 연소실 내 유동의 난류성분은 피스톤 속도에 거의 선형적으로 비례한다고 알려져 있다.

이와 같은 전기점화 엔진의 연소특성을 참고로 하여 크랭킹 속도가 서로 다른 고토크 스타터, HTS-I, HTS-II와 기존의 스타터, Org. S가 시동특성에 미치는 영향을 분석해 보았다. Fig. 6은 고토크 스타터와 기존 스타터로 재시동할 경우 배출되는 미연탄화수소의 농도를 나타낸다. 시동 후 10~30초 동안 HTS-II의 경우가 다른 두 종류의 스타터에 비해 약 30~40%정도의 미연탄화수소의 배출농도가 저감됨을 알 수 있다. 이는 초기 크랭킹 속도의 증가로 인해 시동기간 동안 피스톤 속도의 상승과 흡입유동의 속도 증가로 연소에 좋은 유동을 형성함으로써 시동 후의 연소 특성이 향상된 것이다. 시동 후 경과시간에 따른 일산화탄소, 이산화탄소의 배출농도와 공기과잉률, λ값을 측정하여 Fig. 7~Fig. 9에 나타내었다. Fig. 7에 나타낸 일산화탄소 배출 농도를 보면 시동 후 10~30초 구간에서 HTS-II가 다른 두 경우 보다 덜 농후한 혼합비로 연소가 이루어져 일산화탄소의 배출농도가 가장 낮음을 알 수 있다. Fig. 8은 엔진의 연소상태를 알 수 있는 이산화탄소의 배출농도를 나타내고 있으며, 시동 후 10~30초 구간에서 HTS-II의 경우가 다른 두 경우 보다 연소가 잘 이루어져 높은 농도의 이산화탄소를 배출하고 있음을 보여주고 있다. 이상의 유해배출가스 특성을 종합해 보면 고토크 스타터 II는 다른 두 종류의 스타터보다 유해배출가스를 적게 배출함을 알 수 있다.

이를 확인하기 위하여 시동 시의 공기과잉률을 Fig. 9에 나타내었다. 시동 후 10~30초 구간에서 HTS-II의 경우가 다른 경우보다 이론공연비에 가까운 약 40% 정도 높은 공기과잉률을 나타내고 있다. 이는 초기 시동 시 이론 공연비에 가까운 덜 농후한 조건에서 연소가 일어나 연소성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이로써 HTS-II는 Org. S와 HTS-I에 비하여 시동시간을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 시동 후 10~30초 동안 유해 배출가스를 저감시키는 특성이 나타남을 알 수 있었다.

Table 1 Engine specification

Engine type	IL 4 DOHC
Bore x Stroke (mm x mm)	76.5 x 81.5
Compression ratio	9.5
Displacement volume (cc)	1,498
Max. power (kW/rpm)	74 /6,000
Max. torque (Nm/rpm)	137 /3,000
Starter power (kW)	0.8

Table 2 MEXA-554JK specification

Components	Measure range
CO	0.00~10.00 %vol
HC	0.00~10,000 ppm
CO ₂	0.00~20.00 %vol
Excess air ratio (λ)	0.50~2.50

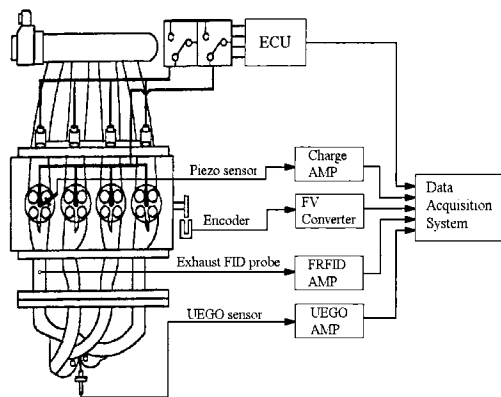


Fig. 1 Experimental setup

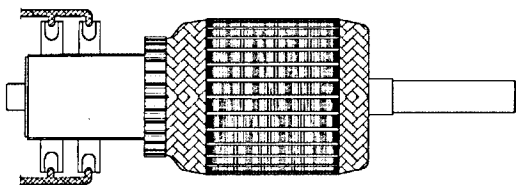


Fig. 2 Armature of the high torque starter

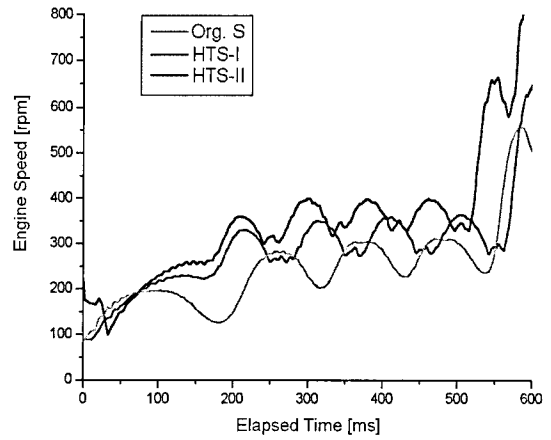


Fig. 3 Engine speed at starting

Table 3 Cranking speed and duration

Starter type	Org. S	HTS-I	HTS-II
Cranking speed (rpm)	200~300	250~350	300~400
Cranking time (ms)	570	580	530

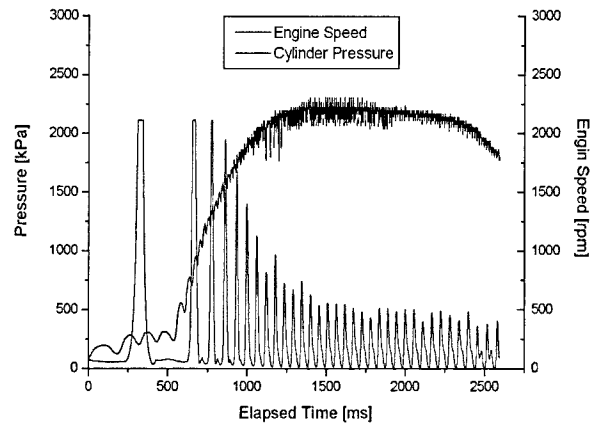


Fig. 4 Engine speed and cylinder pressure by an original starter, Org. S

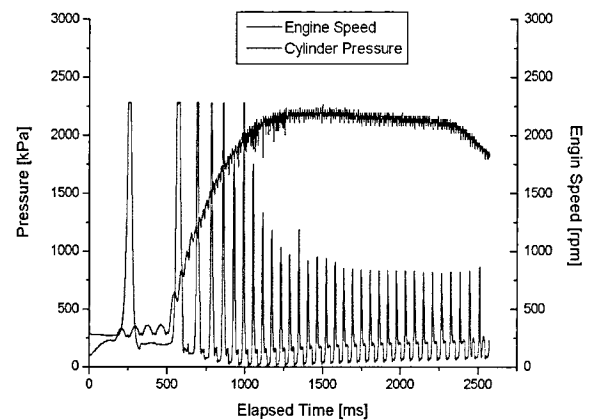


Fig. 5 Engine speed and cylinder pressure by a high torque starter, HTS-II

4. 결 론

기존 스타터보다 크랭킹 속도가 높은 고토크 스타터를 제작하여 마이크로 하이브리드용 전기점화 기관에 장착하여 시동특성을 분석한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1) 고토크 스타터, HTS-II는 기존스타터에 비하여 크랭킹 속도는 50% 정도 향상되었고 시동기간은 약 7% 정도 짧아졌다.

2) 고토크 스타터, HTS-II는 시동 후 10~30 초 구간에서 기존 스타터, Org. S보다 연소성능이 향상되어 미연탄화수소, 일산화탄소의 배출농도가 30~40% 정도 감소되었다.

참고 문헌

1. Luan, Y. and Henein, N. A., 1998, "Contribution of Cold and Hot Start Transients in Engine-Out Emissions", SAE Paper 982645.
2. Isherwood, K. D., Linna, J. R. and Loftus, P. J., 1998, "Using On-board Fuel Reforming by Partial Oxidation to Improve SI Engine Cold-Start Performance and Emissions", SAE Paper 980939.
3. Drake, M. C. et al., 1996, Sinkevitch, R. M., Quader, A. A., Olson, K. L. and Chapaton, T. J., "Effect of Fuel/Air Ratio Variations on Catalyst Performance and Hydrocarbon Emissions During Cold-Start and Warm-Up", SAE Paper 962075.
4. Roberts, C. E. and Stanglmaier, R. H., 1999, "Investigation of Intake Timing Effects on the Cold Start Behavior of a Spark Ignition Engine", SAE Paper 1999-01-3622.
5. Choi, B. C., 2001, Technologies for Emission Aftertreatment, Baro Publisher, pp. 379~382.
6. Kim, S. S., 2004, "A Study on Engine-Out HC Emissions during SI Engine Starting", Transactions of the KSAE, Vol. 11, No. 2, pp. 22~30.
7. Kim, S. S., 2006, "The Effects of Fuel Injection Skip on the Reduction of Harmful Exhaust Gas during an SI Engine Starting", KSPSE, Vol. 10, No. 1, pp. 5~11.
8. Kim, S. S., 2005, "High Torque Starter for Automobiles", Korean Patent, Register No. 10-0497750.

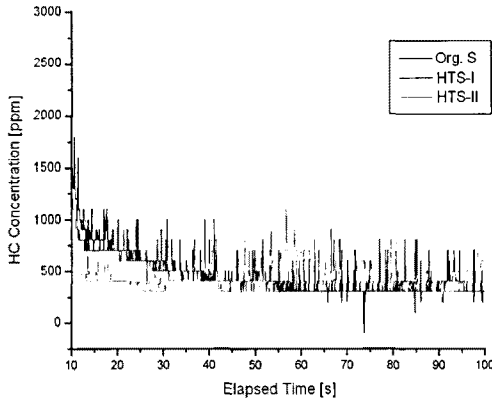


Fig. 6 HC emissions at starting

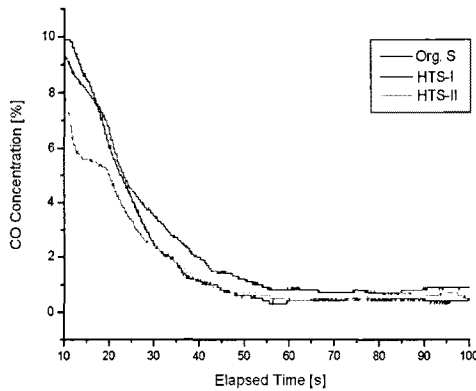


Fig. 7 CO emissions at starting

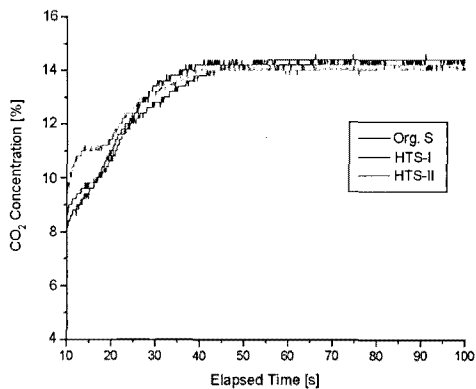


Fig. 8 CO₂ emissions at starting

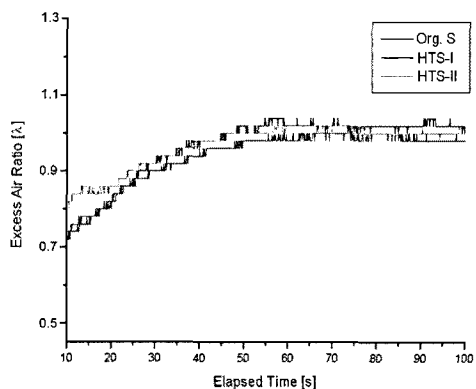


Fig. 9 Excess air ratios at starting