

LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발(I)[†]

- LPG 기관의 운전 특성 -

Development of Farm Tractor Using LPG Engine(I)

- Operational Characteristics of the LPG Engine -

조 기 현* 이 승 규** 김 성 태**

정회원 정회원 정회원

K. H. Cho S. K. Lee S. K. Kim

1. 서 론

국내외 트랙터의 경우 디젤기관이 주종을 이루고 있으며, 농용 트랙터에 사용되고 있는 디젤기관의 연구, 개발은 에너지절약 및 CO₂ 저감측면에서 진행되고 있다. 디젤기관의 경우 배출되는 연소생성 배출물은 CO, CO₂, HC, NO_x 및 SO₂ 등의 가스상 물질과 Soot등의 입자상물질(PM)로 구성되어 있으며, 가솔린기관 보다 NO_x와 PM이 많이 배출되므로 이의 저감방안에 관심을 가져야하는 대상이다.

그러나, LPG(Liquified petroleum gas)는 디젤유에 비해, 연료로서 우수한 점이 있기 때문에 가정용, 공업용 등으로 확대, 보급되고 있으며 자동차의 연료로써도 각광을 받고 있다.

농업기계의 경우 LPG보급은 특히, 98년 중반부터 LPG가 농업용 면세유류 품목으로 10,700톤이 배정되어 최근 간접열식 LPG온풍 난방기가 개발 보급되었고, 앞으로 LPG의 수요가 더욱더 늘어날 전망이다.

LPG전용기관의 개발은 고갈되는 석유 연료의 대체 에너지로서의 성격을 가지지만, 농용 트랙터용 LPG기관은 배출가스로 인한 대기오염을 저감시킬 수 있는 청정에너지로서의 특성을 가지고 있다. 따라서 디젤기관을 LPG기관으로 개조하였을 때, EPA(Environmental protection agency)의 도외(off road)엔진의 배기가스 규제치를 만족하여야 함은 당연하며, 또한 기존 디젤 트랙터의 동력 전달계를 가능한 그대로 사용하기 위한 관점에서, 엔진최고속도, 최대토크 및 출력 등의 동력성능이 기존 디젤기관과 동일한 수준으로 유지될 것이 요망된다.

따라서, 본 연구를 통하여 개발하고자 하는 농용 LPG기관의 개발 목표는 성능을 기존 디젤기관과 동일한 성능을 유지하는데 주안점을 두었다. 디젤 3기통 기관을 개조하여, 먼저 가솔린 연료와의 출력특성과 연료소비율, 배기생성물 및 포장실험 등을 수행함으로써, 농용 LPG 기관의 대체 가능성을 타진함과 동시에 대기통 트랙터용 LPG기관의 개발시 보다 효율적인 기관의 개발시에 필요한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

† 본 연구는 '1998년 발명특허(제 173544)획득 결과의 일부임

* 경북도립 경도대학 차량기계학과

** 경상대학교 농과대학 농업기계공학과

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

실험엔진은 1300cc급 디젤엔진으로 주요 제원을 표1에, 연료의 물성치를 표2에 나타내었다. 실험장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 흡입계통, 실험기관, 교류동력계, 연료공급장치, 배기계통, 배기가스 분석장치 등으로 구성되어 있고, 각 부분의 필요한 곳에 온도를 측정할 수 있도록 하였다.

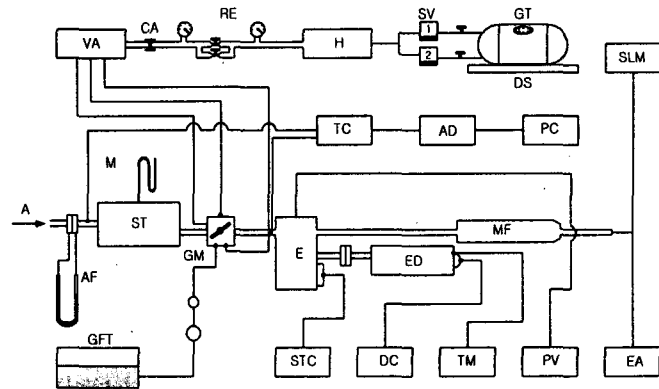


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Specification of the diesel engine Table 2. Physical properties of the experimental fuel

Content	Specifications
Type	TD1300 diesel engine
Rated Output	16.2kW/2,600rpm
Max. Torque	75N.m/1,600rpm
Cylinder number & array	3-cylinders, vertical type
Compression ratio	22 : 1

Item	Specification	
	Gasoline	LPG
Chemical formula	C_8H_{16}	C_4H_{10}
Lower calorific value (kcal/kg)	10,550	10,926
Theoretical AF ratio (kg/kg)	14.7	15.6
Specific gravity (15°C)	0.758	20.68(Air:1)
Mean mole weight (g/mol)	100	58.12
Ignition temperature (°C, 1atm)	251	441
Octane number	91	105

나. 점화장치의 제작

전기점화기관의 점화에너지에 요구되는 고에너지 점화장치를 그림 2처럼 구성 하였으며, 이를 실기관에 적용하여 출력성능 및 연소성능의 최적화를 기하였다. 또한, 배전기는 무점점식으로 트랙터의 연료펌프 구동축 부위에 개조하였으며, 점화플러그는 간극을 1.0mm로 설치하였다.

다. 실린더헤드 개조 및 압축비 수정

그림 3에는 점화플러그를 장착하기 위해서 디젤기관의 실린더헤드를 일부 개조한 후, 점화플러그를 설치하였으며, 한편 디젤기관의 압축비가 LPG기관에 비해 높기 때문에 압축비를 낮추기 위해 일반 구조용 평판을 정밀 연삭 가공후 시임의 두께를 3.5mm로 제작하여 실린더 헤드와 블록사이 에 삽입시켰다. 이때의 압축비는 9.5:1로 조정 할 수 있었다.

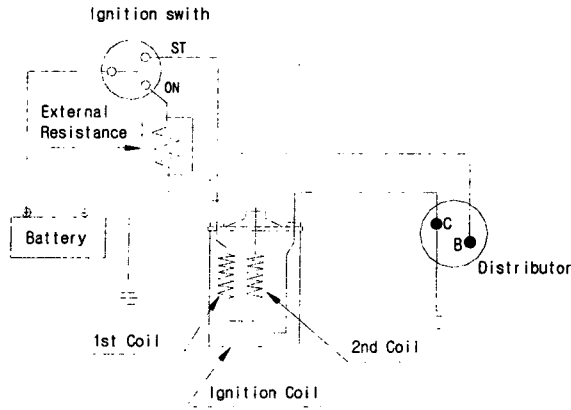


Fig. 2 Circuit diagram of ignition system.

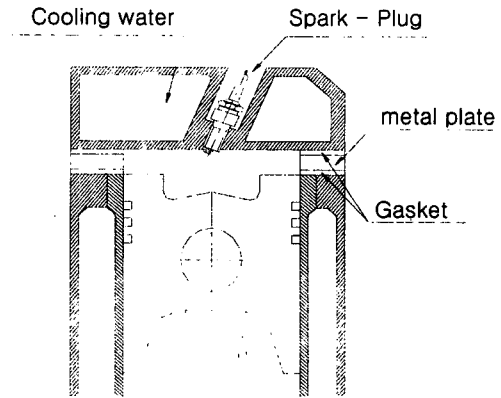


Fig. 3 Diagram of combustion chamber

라. 실험방법

공회전시 기관이 최대 토크를 발생하기 위하여 공기연료의 혼합비, 점화시기, 압축비 등의 최적운전 조건을 각 연료의 특성에 맞게 조정하였다. 기화기내의 공기와 연료의 혼합비는 WOT상태에서, 오리피스 유량계로부터 측정된 공기의 량과 연료소비량계로 측정하여 기준 공연비로 하였다. 또 점화시기는 MBT로 하였다.

3. 결과 및 고찰

디젤기관의 기본성능을 그림4에 나타낸 바와 같이 일반적인 엔진성능 특성곡선과 정상적이며 동일한 경향을 보이고 있어서 LPG의사용 실험에 사용하는 것이 타당한 것으로 판단되었다. 특히, 트랙터용 기관의 특징은 자동차용 기관과는 달리 실린더 블록의 강성과, 기관과 전차축의 지지, 유압펌프구동 및 저속영역에서의 고토크가 요구되므로 트랙터용 디젤기관을 개조하여 LPG기관으로 개발하는 것이 더 효율적이라고 생각되었다.

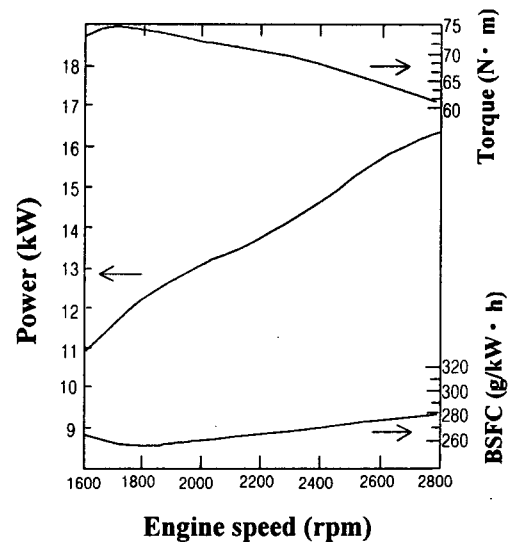


Fig. 4 Full load characteristics curve of the tested engine.

가. 기관출력

그림 5는 동일 기관으로서 LPG 연료와 가솔린 연료를 사용하여 기관회전수 변화에 대해 출력을 나타낸 것이다. 기준 운전 조건은 A/F=14.7, CR=9.5, WOT, MBT이었다. 그림에서 보는 바와 같이 기관 회전속도가 증가함에 따라 LPG 연료 사용시의 출력이 가솔린 연료

보다 출력이 저하함을 보여주고 있으며, 최대토크를 나타내는 기관의 회전속도인 1600rpm에서는 가솔린의 출력이 약 5%증가하였고, 최대출력을 나타내는 기관 회전속도인 2800rpm의 경우에는 가솔린에서의 출력이 약 10%의 증가를 보였으며, 기관의 회전속도가 증가 할수록 연료간 출력차이가 커지는 경향을 보여주고 있다. LPG기관이 출력이 낮은 이유는 연소속도가 느리며, 연료공기혼합기의 단위체적당 발열량이 상대적으로 낮은 등의 LPG연료의 특성으로 판단된다.

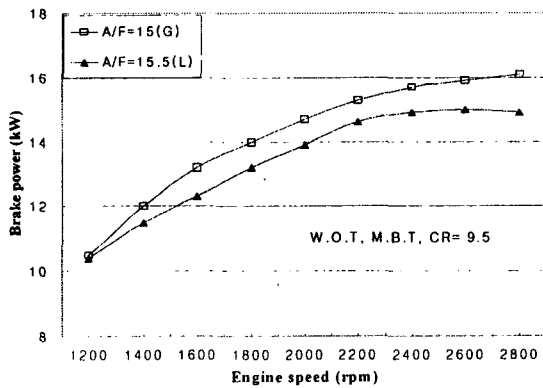


Fig. 5 Brake power as a function of engine speed in LPG fueled engine and gasoline engine.

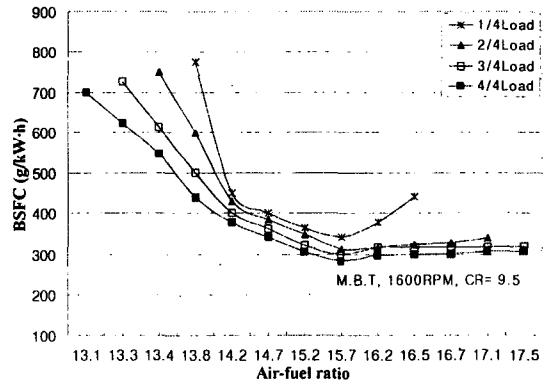


Fig. 6 Brake specific fuel consumption for each load fraction as a function of air-fuel ratio at CR=9.5 in LPG fueled engine.

나. 연료소비율

그림 6은 기관의 기준운전 조건에서 LPG를 연료로 사용하며 기관 회전속도 1600rpm일 때 기관부하율과 공기연료비 변화에 대한 제동 연료소비율의 변화를 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 부하율(load fraction)이 증가함에 따라 연료소비율은 감소하였으며, 4/4부하에서 1/4부하로 부하를 내리면 희박연소한계 LML(Lean misfire limit)는 공기 연료비로서 약 27% 확장되었다. 또한 그림 6에서도 보여 주듯이 부하율이 증가함에 따라서 제동연료소비율이 감소하였으며 최소의 연료소비율 및 희박한계가 발생하는 공기연료비도 점점 희박영역으로 옮겨지게 되므로, 연료소비율과 배기배출물 특성을 개선시킬 있을 것으로 생각된다.

다. HC의 농도

그림 7은 LPG와 가솔린 사용시 공기 연료 당량비 변화에 대한 HC 발생량의 변화를 나타낸 것이다. 공기연료 당량비 Φ 1.0보다 크거나 작은 경우에 즉 희박하거나 농후할 수록 HC 발생량이 증가함을 보여주고 있는데 이는 당량비 이외의 범위에서는 연소온도가 낮게 되어 HC의 발생이 증가하게 되는 것으로 믿어진다.

라. CO의 농도

그림 8은 LPG와 가솔린기관 사용시 공기연료 당량비에 대한 CO발생량의 변화를 나타낸 것이다. 당량비가 농후한 영역에서 LPG의 경우가 가솔린의 경우보다 CO의 발생이 저감되고 있음을 보여주고 있다. 이는 연소속도가 빠르고 연료자체의 탄소성분이 적기 때문인 것으로 판단된다.

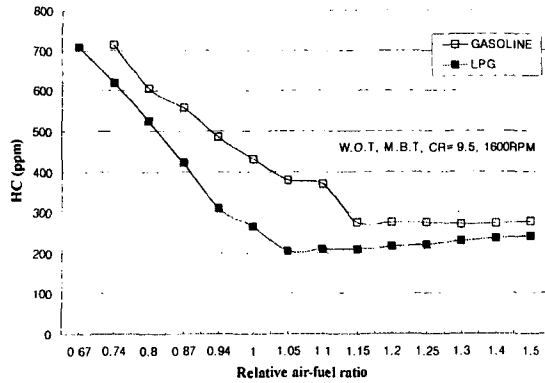


Fig. 7 HC emission as a function of relative air-fuel ratio in LPG fueled engine.

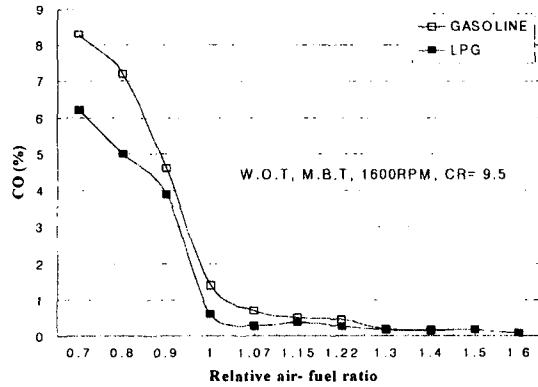


Fig. 8 CO emission as a function of relative air-fuel ratio in LPG fueled engine.

마. NOx의 농도

그림 9는 LPG와 가솔린 사용시 공기 연료 당량비 변화에 따른 NOx의 배출 농도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 LPG의 경우 가솔린의 경우에 비해 질소산화물 배출농도가 공기 연료 당량비 Φ 1.0에서 약 27% 저감되는 것을 볼 수 있는데, 이는 LPG가 연소시의 연소온도가 가솔린보다 낮기 때문인 것으로 판단된다. 한편 질소산화물 배출농도의 최고치는 LPG연료나 가솔린연료 모두가 약간 희박한 영역에서 나타나고 있다.

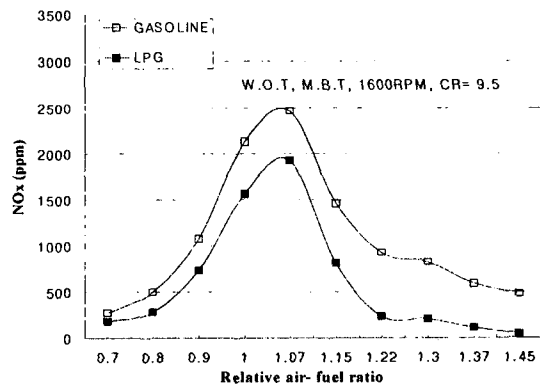


Fig. 9 NOx emission as a function of ratio in LPG fueled engine and gasoline engine.

바. 포장실험

본 실험에는 LPG기관을 탑재한 트랙터를 구성하여, 농용기관으로서 그 이용 가능성과 밀폐된 시설내 사용가능성을 확보하기 위해, 기관출력, 연료소비율, 배기배출물 및 각부 온도 등을 조사하였다. 공시포장은 시설하우스로 천장 최고높이 3m이며 면적이 889m²인 밀폐된 비닐하우스 내에서 휴립복토기 작업을 실시하였으며, 그림 10은 자동차용 LPG(부탄)연료

49ℓ를 탑재한 상태에서의 작업광경을 나타내었다. 실험에 사용한 휴립복토기의 경폭은 230cm이며, 본 실험을 위해 사용된 토양의 성상은 일반 밭의 토양으로 입도분석 결과 사질양토인 것으로 나타났다. 공시포장의 토양 경도 측정을 위해 토양경도계(Cone penetrometer)를 사용하여 측정한 결과 평균값으로 깊이 15cm에서 9.5kg/cm², 토양 함수비는 평균 30.8%인 것으로 나타났다. 한편, 기관의 회전수는 2,600rpm, 주행속도가 2.81km/hr, 경심을 약 15cm가 유지



Fig. 10 Field row soil cover test by LPG tractor.

되도록하여 가능한 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 공시포장 실험의 결과, 기관의 회전 변동은 약 6%로 가솔린과 유사하게 나타났으며, 실 연료소비율은 49ℓ의 LPG 용량으로 약 12.6시간 포장작업이 가능하였다. 그리고, 배기배출물의 경우 가솔린에 비해 작업자의 건강에 악 영향을 미치는 CO는 약38%, HC는 약46% 및 NO_x는 약20%정도 낮았다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터 탑재용 수냉식 4-사이클 3기통 디젤기관을 개조하여, 기관의 회전수, 공연비, 당량비 등을 변화시키면서 출력, 연료소비율, HC, CO, NO_x 배출농도 및 시설내 포장실험을 통해서 두 연료의 성능을 비교 분석하였는바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) LPG기관의 출력은 회전수가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 가솔린에 비해 약10%의 출력저하를 나타냈다. 2) LPG기관의 연료소비율은 부하율의 증가에 따라 감소하였고, 희박영역에서도 낮게 나타났다. 3) 탄화수소, 일산화탄소 및 질소산화물은 LPG사용시에 가솔린 사용시에 비해 모두 낮게 나타내었다. 4) 포장실험의 경우 출력은 가솔린과 유사하게 나타났고, 특히 유해 배기배출물의 저감, 소음 및 진동이 가솔린보다 월등히 낮아 작업자의 건강과 호흡에 유리하였다.

5. 참고문헌

1. 조기현. 1998. 농업용 LPG트랙터 엔진. 발명특허 제173544호.
2. 조기현, 이승규, 김성태, 김영복. 1997. 농업 석유기관의 LPG이용에 관한 연구. 한국농업기계학회지 22(2):p.189-198.
3. Larson, G. H. 1950. LP gas as a fuel for farm power units. Argi. Engng. 31(5): 215-218.
4. Lamouria, L. H. 1953. The place of LP gas as a tractor fuel. Argi. Engng. 31(5): 825-826.