

LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발(III)⁺ - LPG 트랙터의 내구성 및 경제성 분석 -

Development of Farm Tractor Using LPG Engine(III) - Durability of a LPG Tractor and its Economic Feasibility Analysis -

조기현* 이승규** 김성태**
정회원 정회원 정회원
K. H. Cho S. K. Lee S. T. Kim

1. 서론

LPG기관의 개발위한 System선정은 기관의 연소 방식은 가스상의 연료를 사용한다는 것 이외에는 연소 방식이나 연료공급 방식이 가솔린기관과 동일하다. 이와 같은 이유로 기존의 가솔린기관을 이용한 LPG기관 개발은 국내에서도 어느 정도 연구·개발이 이루어지고 있으나, 압축착화 방식을 이용한 디젤기관으로부터 LPG기관으로 전환은 기관 성능과 관련된 많은 기관 부품의 설계·변경이 필요하다.

LPG기관의 경우에는 디젤기관과는 달리 가솔린기관과 동일한 연소 방식을 이용함에 따라 Air-LPG연료 혼합기의 특성 및 디젤기관에 비하여 상대적으로 낮은 압축비, 또한 Throttle valve를 지나며 발생하는 교축 손실(Throttle loss) 등으로 인하여 디젤기관 대비 약 5~8%의 기관손실이 발생하는 것으로 추측된다.

LPG기관의 개발에 있어서 Base 디젤기관과 동일한 출력을 유지하고, 기관성능 경쟁력을 확보하기 위해서는 기관의 흡·배기 System, 피스톤 연소실 및 Valve overlap 등 기관 성능과 밀접하게 관련된 부품의 최적화 설계가 선행되어야 한다. 개발한 LPG기관을 트랙터에 탑재한 후 PTO 성능시험, 각종 부속작업기를 장착한 포장성능시험 및 200시간의 내구성 시험을 통해 LPG기관의 출력 특성, 연료의 경제성, 배기배출물의 분석을 통한 농업시설 내에서의 이용 가능성 등을 분석하여 노외 차량에 적합한 LPG기관의 실용화 가능성을 타진하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

가. 내구성 시험

기관의 성능향상 또는 개발을 위하여 부품이 설계 변경되거나 추가되었을 때 기관성능을 보증하며, 각종 성능시험에서 구한 여러 가지의 조정내용에 대한 타당성을 입증하기 위하여 내구성 시험이 필요하다.

+ 본 연구 결과는 특허(제 173544호) 결과이며 & 2001년 동계학술대회에서 발표되었음.

* 경북도립 경도대학 차량기계학과

** 경상대학교 농업기계공학과

기관에 발생하는 고장은 이상운전에 의한 열부하와 윤활유 관리의 부적정에 기인하는 경우가 많다. 열부하의 과대로 인한 고장부위는 연소실 주변, 특히 실린더헤드의 흡배기밸브의 브리지 현상, 피스톤 헤드부, 점화플러그, 밸브 및 밸브시트 등이고, 윤활유에 의한 고장부위는 피스톤, 피스톤 링 및 실린더와 베어링 등이다.

공시기관의 내구성시험을 위해 국내 D농업기계회사의 PTO동력계를 사용하여, LPG트랙터용 기관(이하 LPG기관)과 디젤트랙터용 기관(이하 트랙터기관)을 각각 와전류식 전기동력계와 연결하고 연속 200시간 가동 후 기관의 중요부품에 대한 내구성시험을 실시하였다.

시험을 위해 기관성능에 밀접하게 영향을 미치는 부품인 점화플러그, 흡·배기밸브, 피스톤, 실린더헤드 및 연접봉메탈 등을 신제품으로 교체하였다. 조립 전에 각 트랙터의 운전조건은 최적상태로 조정하였다. 그리고 실린더헤드볼트, 연접봉메탈, 흡·배기밸브 등의 각부 조정 역시 규정값으로 하였다. 디젤기관 및 LPG기관을 200시간 연속가동 후 분해하여, 연접봉 메탈부의 피로파괴 관찰과 마모량을 측정하였다. 또 점화플러그, 피스톤, 실린더헤드, 흡·배기밸브, 연접봉 메탈 등에 퇴적된 카본 부착량을 측정하였으며, 실린더헤드의 부식 정도를 검사하였다.

나. 경제성분석

1999년도의 우리나라의 전체 농경지는 약 192만 ha이며 그 중 트랙터가 담당하고 있는 작업면적은 약 75만 ha이다. 또 우리나라의 트랙터 공급대수는 1999년 일년간에 22,000여대이었으며, 앞으로도 상당 기간 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그런데 현재 우리나라에서 생산되고 있는 트랙터는 모두 디젤기관을 탑재한 것들로 경제성 이외에 배기에 의한 공해도 문제로 제기되고 있다. 따라서 본 연구의 결과를 이용하여 디젤기관을 LPG기관으로 대체시킬 경우 얻어지는 경제적, 환경적 이익은 막대할 것으로 예상된다. 디젤트랙터와 LPG트랙터에 대한 포장에서의 경운작업 성능시험 결과로 구한 두 트랙터에서의 연료소비량과 작업능률 등의 시험자료와 여러 통계자료로부터 디젤트랙터와 LPG트랙터의 경제적 효과를 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 내구성

디젤트랙터와 LPG트랙터의 피스톤링 부위와 피스톤헤드부의 탄소 퇴적상태는 각각 사진 1에 나타낸 바와 같다. 피스톤의 탄소 퇴적량을 측정한 결과, 디젤트랙터의 경우 약 8.9 gr, LPG트랙터의 경우 약 1gr 미만으로, 점화플러그에서의 경우와 마찬가지로 디젤트랙터보다 LPG트랙터의 경우가 카본 퇴적량이 월등히 낮게 나타났다.

디젤트랙터와 LPG트랙터의 실린더헤드의 카본 퇴적상태를 나타낸 것은 사진 2와 같다. 디젤트랙터는 밸브와 연소실 주위에 부분적으로 카본이 많이 퇴적되어 그 퇴적량은 약 13 gr이었으나, LPG트랙터의 경우에는 약 2 gr으로 작았으며 표면상태도 매우 깨끗하고 양호한 것으로 나타났다.

디젤트랙터와 LPG트랙터의 흡·배기밸브에 카본이 퇴적된 상태를 나타낸 것은 사진 3과 같다.

디젤트랙터의 흡·배기밸브의 카본 퇴적량은 약 5 gr이었는데 비하여, LPG트랙터의 경우에는 카본 형성이 거의 나타나지 않았다. 또 밸브시트에 퇴적된 카본량도 디젤트랙터가 LPG트랙터보다 월등히 높았다. 또한, 윤활유의 오염상태와 주요부의 마모정도가 디젤기관보다 LPG기관이 우수하였다.

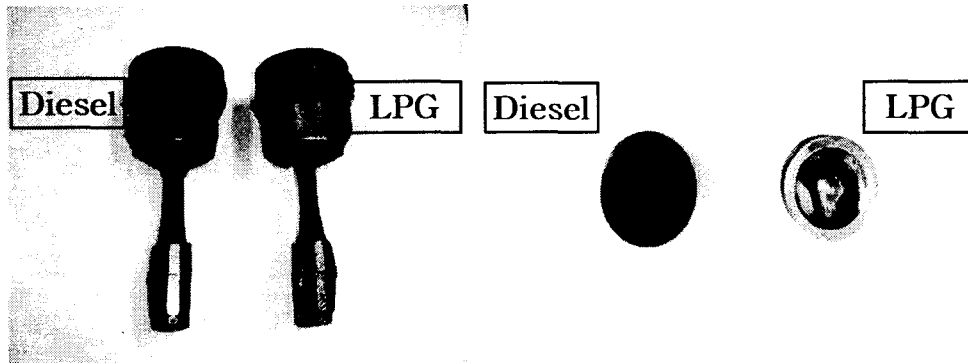
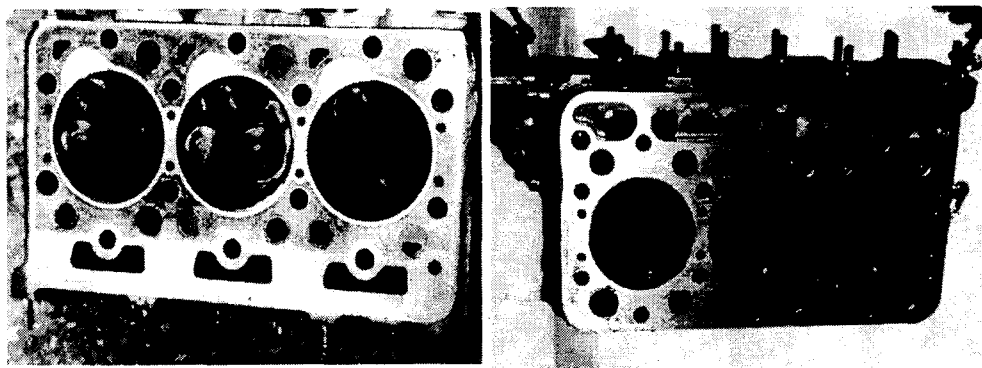


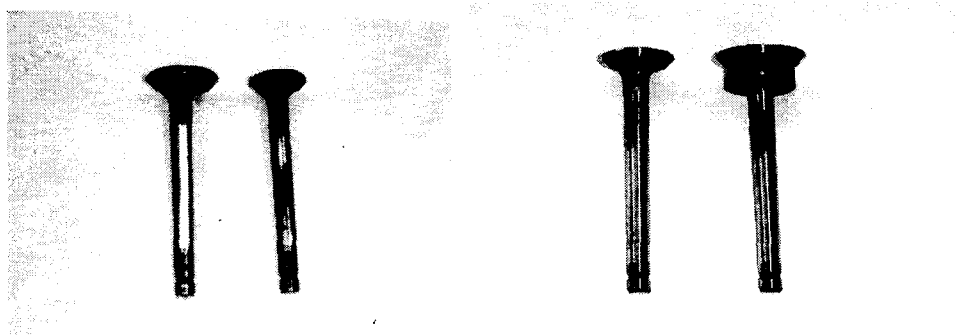
Photo 1. Carbon deposit on the surface of piston face and piston head after 200 hrs run of the diesel tractor and the LPG tractor.



(a) Diesel

(b) LPG

Photo 2. Carbon deposit on the surface of cylinder head after 200 hrs run of the diesel tractor and the LPG tractor.



(a) Diesel

(b) LPG

Photo 3. Carbon deposit on the surface of intake and exhaust valves after 200 hrs run of the diesel tractor and the LPG tractor.

나. 경제성

디젤트랙터와 LPG트랙터의 경제적 효과를 비교 분석하였다. 그 결과는 표 1, 그림 1 및 2에 각각 나타낸 바와 같다.

LPG트랙터는 디젤트랙터에 비하여 연료소비량은 0.26 l/h가 더 높았으나, 2000년 5월 현재 공급 중인 면세유의 가격을 기준으로 하면 디젤유는 375 원/l, LPG는 212 원/l 이므로, 연간 348시간 사용을 기준으로 할 때 LPG트랙터의 연료비 절감효과는 약 40% 정도가 가능하였다. 여기에 LPG기관의 제작비는 디젤기관에 비하여 생산원가를 약 13% 절감시킬 수 있으며, 수리비는 50%까지 줄일 수 있을 것으로 추정된다. 따라서 기존의 디젤트랙터를 LPG트랙터로 대체할 경우 엔진오일이나 윤활유비 등에서의 부수적인 절감효과를 제외하고도 연료비와 수리비만을 계상한 변동비를 43% 정도 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Cost analysis of the diesel tractor and the LPG tractor

Item	Diesel	LPG	Note	
Cost for manufacturing the engines	₩1,870,000	₩1,620,000	Costs for new engines	
Fuel price (tax free)	375₩/ l	212₩/ l	Price of may, 2000	
Fuel consumption	5.54 l /hr	5.80 l /hr	For avg. power output of 16.2 kW	
Operating	Annual fuel consumption	5.54 l × 348hr = 1928 l	5.80 l × 348hr = 2018 l	Based on annual use of 348hr
	Annual cost for fuel	1928 l × 375₩/ l = ₩723,000	2018 l × 212₩/ l = ₩427,810	
	Annual repair cost	₩200,000	₩100,000	
	Total	₩923,000	₩527,810	

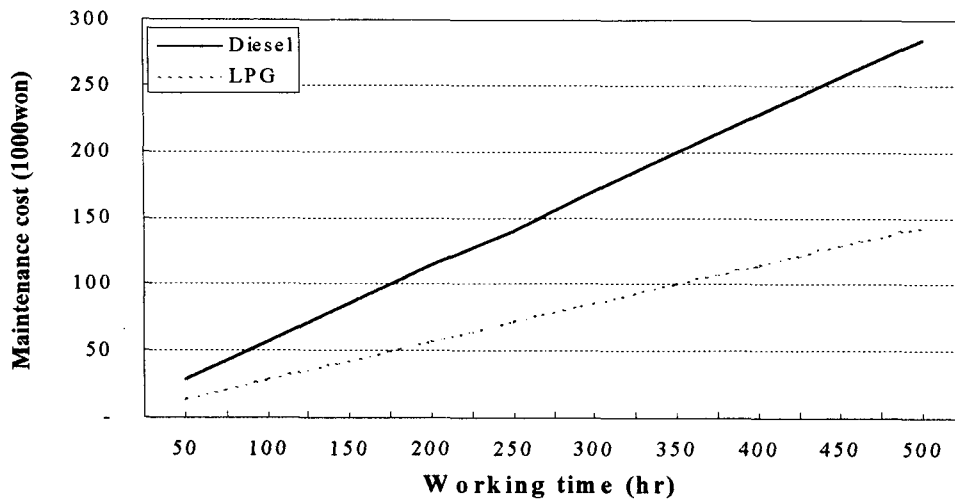


Fig. 1 Maintenance cost of the diesel tractor and the LPG tractor as a function of working time.

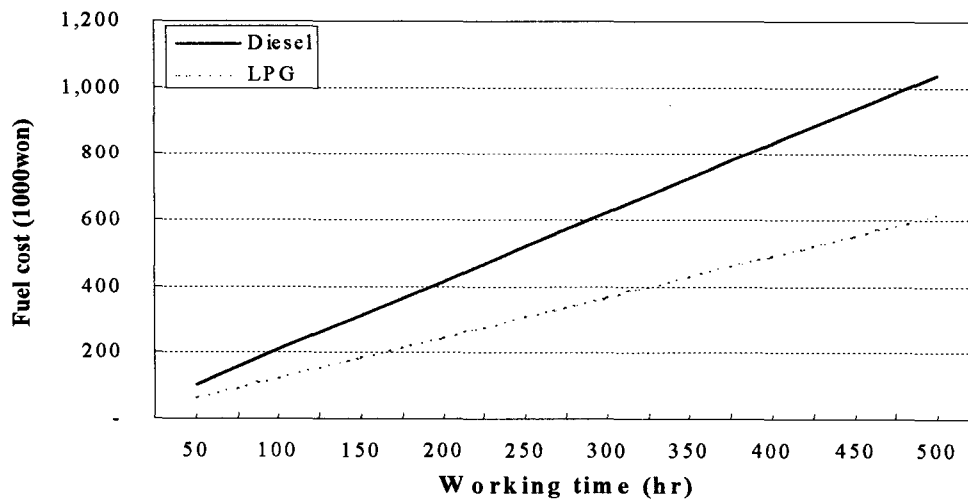


Fig. 2 Fuel cost of the diesel tractor and the LPG tractor as a function of working time.

4. 결 론

포장시험을 통하여 트랙터 부속작업기의 적응성을 검증하고 기관성능을 확인하였으며, 200시간 연속가동 후 기관을 분해하여 주요부품을 검사하였다. 이와 같이 LPG트랙터와 디젤트랙터의 내구성과 경제성을 비교 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 200시간 연속가동 후 LPG트랙터 기관내부의 카본 퇴적량 및 윤활유오염과 주요부마모는 디젤 트랙터에 비하여 매우 적었으나, 소음기의 산화정도는 LPG트랙터의 경우가 더 심하게 나타났다.
2. 연간 사용시간을 348시간 기준으로 할 때, LPG트랙터는 동일출력의 디젤트랙터에 비하여 연간 40% 정도의 유류비를 절감할 수 있다. 200시간 연속운전한 내구성 시험 결과, LPG트랙터는 디젤 트랙터에 비하여 카본 퇴적이 적고 기관 각부의 온도도 큰 문제점이 없었으나, 배기온도가 높았기 때문에 실린더 헤드, 배기다기관 및 소음기의 재질을 변경할 필요가 있었다. LPG기관은 디젤 기관에 비하여 내구성이 우수하여 수리비를 50% 정도 절감할 수 있고, 현재 수준에서 유류비를 40% 정도 절감할 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 참고 문헌

1. 구본한. 1995. 디젤엔진 오일의 국제 성능규격 추세와 올바른 선택요령. KSTLE. 11호.
2. 조기현, 이승규, 김성태, 김영복. 1997. 농용 석유기관의 LPG이용에 관한 연구. 한국농업기계학회지 22(2):189-198.
3. 조기현. 1998. 농업용 LPG트랙터 엔진. 발명특허 제 173544호.
4. 조기현, 이승규, 김성태. 2000. LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발(I). 한국농업기계학회 동계 학술대회논문집5(1):16-21.
5. 조기현, 이승규, 김성태. 2001. LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발(II). 한국농업기계학회 동계 학술대회논문집5(1):83-89.
6. 홍대회. 1987. 기관 실린더블럭 및 피스톤의 열적거동에 관한 해석. 고려대학교. 석사학위논문.
7. Baxter, M. C, G. W. Leck. and P. Z. Mizelle. 1968. Total emissions control possible with LPG vehicle. SAE Paper 680529:1-6.
8. Blalock, W. S. and R. N. Little. 1967. Carburetion and other factors which affect propane fueled engines. SAE Paper 670058:52-62.
9. Hendren, f. 1983. Propane power for light duty vehicles an overview. SAE Paper 830383:32-56
10. Larson, G. H. 1950. LP Gas as a fuel for farm power units. Agri. Engng. 31(5):215-218.
11. Lamouria, L. H. 1953. The place of LP Gas as a tractor fuel. Agri. Engng. 34(12):825-826.
12. Stephanson, B. T. and J. Strait. 1965. Influence of gasoline and propane fuels on spark-ignition engine wear rates during low-temperature operation. Trans. of ASAE 8(3):441-442, 444.