

LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발 (Ⅱ)⁺

- LPG 트랙터의 수정 개발 및 성능평가 -

Development of Farm Tractor Using LPG Engine(Ⅱ)

- Modification of LPG Tractor and its Performance Evaluation -

조기현*
정회원

이승규**
정회원

김성태**
정회원

K. H. Cho

S. K. Lee

S. T. Kim

1. 서론

최근 세계는 석유자원 고갈에 따르는 에너지 문제와 대기오염등 심각한 환경문제에 직면하고 있으며, 이러한 위기상황은 세계적인 공감대를 형성하여 선진제국은 물론 국내에서도 자동차에 대해서 이미 매우 엄격한 법적 제한을 요구하고 있다. 그래서 저공해 또는 무공해 대체에너지 차량에 대한 연구와 보급은 대외적으로도 중요한 문제가 되었으며, 특히 UR 타결이후 이에 대한 파급효과가 커서 GR에 적극적으로 대체해야 한다는 당위론이 강하게 제시되고 있는 실정이다.

환경부의 21C 차량배출가스 관리 정책중 환경친화적 교통수요 유도를 위해 LPG차량의 경우 중소형 디젤차의 연료 대체용으로 확대보급하며, 이 경우 8인 이하 중소형 승용차, 2톤 이하의 화물차등 출력문제가 적은 디젤차를 보다 오염이 적은 LPG차량으로 전환한다고 했다.

현재 뒤떨어져 있는 LPG차량의 기술개발과 연료의 청정화를 추진하며 LPG차량의 단계별 저공해화를 위한 LPG차량 배출허용기준의 강화와 기술개발 지원을 병행하는 추세이며, 부탄 위주의 LPG연료를 오염물질이 적게 나오는 프로판 위주로 전환한다고 밝히고 있다.

먼저 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 개발에 있어서 원형 디젤기관과 동일한 출력을 유지하고, 기관성능 경쟁력을 확보하기 위해서는 기관의 흡·배기 계통, 피스톤의 연소실 형상 및 밸브개폐시기 등 기관 성능과 밀접하게 관련된 부품의 최적화 설계가 선행되어야 한다.

* 본 연구 결과는 특허(제 173544호)결과 이며 & 2000년 동계학술대회에서 발표되었음.

* 경북도립 경도대학 차량기계학과

** 경상대학교 농업공학부 농업기계공학과

따라서, 본 연구를 통하여 개발하고자 하는 농용 LPG기관의 개발목표성능을 기존 원형 디젤트랙터와 동등 이상의 성능을 유지하는데 주안점을 두었고, 디젤트랙터를 개조하여, PTO 출력특성과 연료소비율, 기관의 주요부온도 및 배기생성물 등을 수행함으로써, 농용 LPG트랙터의 대체 가능성을 타진함과 동시에 장래의 고효율 저공해성 LPG트랙터의 개발 보급시 보다 효율적인 기관의 개발에 필요한 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

LPG 기관을 탑재한 트랙터를 LPG 트랙터라 하고 원래의 디젤기관을 탑재한 것을 디젤트랙터로 하여 두 기종의 성능을 비교하였다. 시험에 사용된 두 트랙터는 국내 D사의 4륜구동형 디젤트랙터이었으며, 그 제원은 표 1에서와 같다. LPG기관은 압축비가 9.8, 공연비가 약 15.5인 기관으로, 무부하 최대 회전수는 2800 rpm이며, 최대출력은 15.4 kW/2600rpm으로, 그 출력을 확인후 사용하였다. PTO성능시험을 위해서 국내의 농업기계 전문제조회사인 D사의 품질보증부의 PTO동력계를 사용하였던 바, 사진 1에 PTO동력계의 주요 측정 장치를 나타내었다. 시험에 사용한 LPG와 경유 두 연료는 시판되는 자동차용을 사용하였으며, 디젤트랙터에 사용된 경유는 비중 0.847인 KS-2 디젤연료유이다. 개략적인 물성은 표 2와 같다.

Table 1 Specifications of the tractor used for the tractor powering test of the LPG engine

MODEL		4 Wheel Drive Type (L2203-4WD)							
Engine	Type	4 Stroke water cooled, in-line type, diesel							
	Number of cylinder	3							
	Displacement volume	1,299 cc							
	Rated horse power	16.2 kW							
	Maximum speed	2,800 rpm							
	Rated speed	2,600 rpm							
	Combustion chamber	spherical swirl chamber							
	Compression ratio	21							
	Injection pump	Bosch type							
	Injection nozzle	DN12SD							
	Injection pressure	13.1 MPa							
	Injection time	BTDC 25°							
Travel speed (km/h)	Type	Low speed gear setting				High speed gear setting			
	Selection	1	2	3	4	1	2	3	4
	Forward	1.51	1.94	2.81	4.14	6.01	7.81	11.12	15.91
	Reverse	2.41	9.40	-	-	-	-	-	-
PTO	Type	Standard							
	Gear selection	1		2		3		4	
	Speed (E/G 2,600 rpm)	578		752		1,077		1,605	

나. 연소실 형상 및 압축비 변경

그림 1에는 피스톤 헤드부의 바울 형상을 수정, 설계하였다. 바울의 형상은 Open-dish형으로 압축비와 응력을 최소화하기 위하여 압축비, 행정체적, 연소실체적, 피스톤 바울체적 및 헤드간극을 계산한 후, 제작하여, 압축비를 9.5:1에서 9.8:1로 상승시켰으며, 피스톤의 열적부하를 고려하여 AI 합금

(AC9A-T7)을 재질을 사용하여 개선형 LPG엔진용 피스톤을 제작하였다.

Table 2 Properties of the fuels used for the tractor test

Item	Diesel	LPG
Molecular formular	$C_{16}H_{34}$	C_4H_{10}
Specific gravity	0.847	2.0068/air(1)
Lower calorific value (kcal/kg)	10,300	10,810
Stoichiometric F/A (mass criterion)	15.01	15.5
Fuel index	Cetane index 47.4	Octane value 97.6

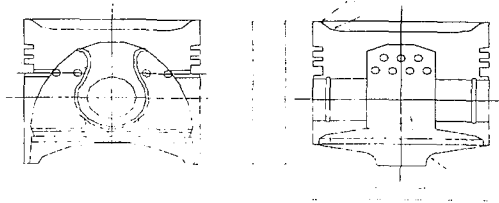


Fig.1 Schematic diagram of piston.

다. 시험방법

PTO동력측정을 위하여 그림2에는 LPG트랙터와 디젤트랙터는 충분한 시간동안 난기운전하여 윤활유온도가 약 68°C 이상의 정상상태에 도달했을 때, 기관의 무부하 최대회전속도 2800±50 rpm에 조속기를 고정한후, 부하는 전부하를 걸어 PTO회전속도 600 rpm에서 500 rpm구간까지 20 rpm씩 6단계, 즉, 농작업시 사용하는 작업 회전속도 구간에서 중점적으로 비교 분석하였다.

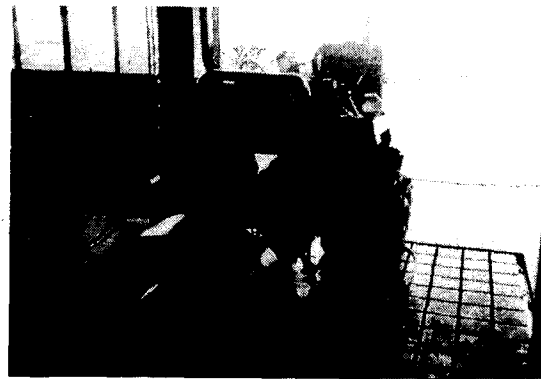


Fig. 2 Dynamometer used to test PTO performance of the tractor powered by the LPG engine.

기관 각 부위의 온도측정은, 엔진오일온도센서는 오일팬의 중심부 규정유면 부위에 부착하였으며, 냉각수온도센서는 수온조절기의 몸체 토출관 50 mm지점에 부착하였고, 배기가스온도센서는 다기관 50 mm지점에, 또한 배기가스 중의 오염물질을 측정하기 위해 독일의 rbr Computertechnik GmbH사에서 제작한 rbr-ecom JN 측정기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 출력

그림 3은 PTO회전속도의 변화에 따른 PTO출력의 변화를 연료별로 나타낸 것으로, 회전속도변화에 따른 PTO출력은 두 기종 모두 580 rpm까지는 점증하다가 다시 감소하는 경향을 나타냈다. LPG트랙터의 PTO출력은 디젤트랙터의 그것보다 다소 높은 결과를 보이고 있다. 디젤트랙터의 최대 PTO출력은 580 rpm부근에서 측정되었는데, 이는 제작사에서 밝힌 성능과 일치하는 것이었다. 이 580 rpm을 기준으로 비교하여 보면, 디젤트랙터의 경우에는 15.5 kW의 출력을 보였으며 LPG트랙터의 경우에는 이보다 16.1 kW 높은 출력을 나타내었다.

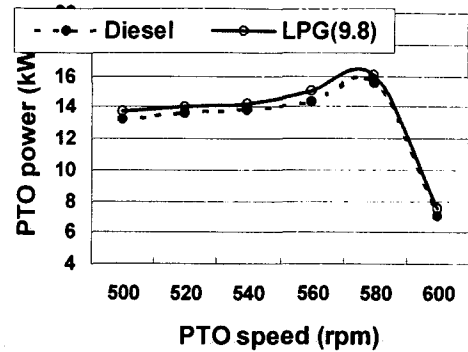


Fig. 3 PTO power output at various PTO speed of the tractor fueled LPG and diesel oil.

(2) 토크

그림 4는 PTO의 회전속도의 변화에 따른 PTO토크의 변화를 연료별로 나타낸 것으로 그 경향은 PTO출력에서의 경향과 유사하였다. 회전속도변화에 따른 PTO토크의 변화는 LPG트랙터가 디젤트랙터에서보다 다소 높게 나타났다. 최대 PTO토크는 580 rpm부근에서 측정되었는데, 이 결과도 제작사에서 밝힌 제품 성능규격의 내용과 일치하였다. 이 580 rpm부근을 기준으로 비교하여 보면, 디젤트랙터의 경우에는 265 N-m의 토크를 보였으며, LPG트랙터의 경우에는 이보다 10 N-m 높은 토크를 나타내었다.

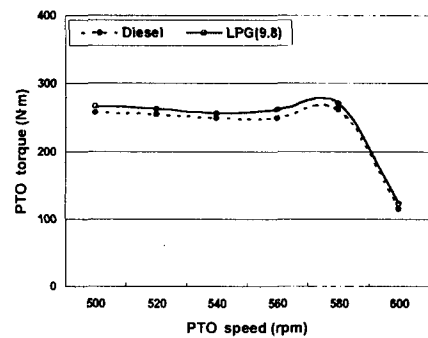


Fig. 4 PTO torque at various PTO speed of the tractor fueled LPG and diesel oil.

(3) 연료소비율

그림 5는 PTO회전속도의 변화에 따른 연료소비율을 연료별로 나타낸 것이다. 연료소비율은 LPG트랙터나 디젤트랙터 모두 회전속도에서 일정한 값을 보이다가 580 rpm부근에서 약간 상승하였다. PTO회전속도 580 rpm부근에서의 연료소비율은 LPG트랙터가 디젤트랙터의 262 g/kWh에 비해 약간 높게 나타났다. PTO의 회전속도 전반에 걸쳐 디젤트랙터에서의 연료 소비율이 LPG트랙터에 비해 3% 정도 낮은 값을 보였다.

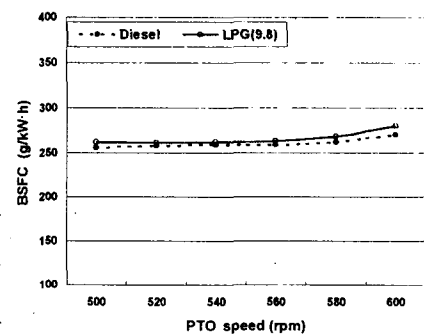


Fig. 5 BSFC of the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed of the tractor.

(4) 엔진 오일 온도

그림 6은 PTO회전속도의 변화에 따른 엔진오일의 온도를 연료별로 나타낸 것으로, 회전속도변화에 따라 엔진오일의 온도는 점잠하다가 580 rpm에서 급감하는 경향을 나타냈다. 또 PTO회전속도 전반에 걸쳐 디젤트랙터의 엔진오일온도가 LPG트랙터의 그것에 비해 낮은 값을 나타내었다. PTO회전속도 580 rpm에서 디젤트랙터의 엔진오일온도 82°C에 비해 LPG트랙터의 경우는 1°C정도 더 높은 83°C를 나타내었다.

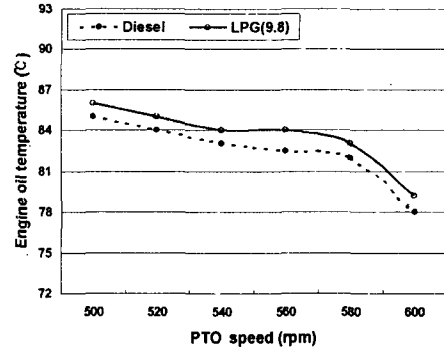


Fig. 6 Engine oil temperature of the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed of the tractor.

그림 6에서 보는 바와 같이 디젤트랙터 및 LPG트랙터 모두 PTO회전속도가 낮을수록 엔진오일 온도가 높아지는 경향을 보였다. 이 현상은 회전속도의 감소에 따른 부하의 증가 및 냉각효과의 저하에 의하여 기체의 온도가 높아 저서 온도가 상승하므로 그에 비례하여 엔진오일 온도도 증가하는 것이라 판단된다.

(5) 냉각수 온도

그림 7은 PTO회전속도의 변화에 따른 냉각수온도를 연료별로 나타낸 것이다. 디젤트랙터와 LPG트랙터 모두 PTO회전속도가 감소함에 따라 냉각수온도가 높아지는 경향을 보였는데, 이 현상은 엔진오일온도의 경우와 같은 현상이라고 생각된다. 시험한 PTO회전속도 전 영역에 걸쳐 LPG트랙터의 냉각수온도가 디젤트랙터의 경우보다 높게 나타났다. PTO회전속도 580 rpm의 경우 디젤트랙터 쪽의 냉각수온도가 73.7°C로 나타난데 비해, LPG트랙터는 1°C정도 더 높은 74.5°C로 나타났다. 이는 LPG트랙터의 방열량 디젤트랙터보다 낮기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 LPG트랙터는 냉각장치 개선을 위해 라디에이터의 방열 핀(fin) 수를 약 10% 증가시킬 필요가 있다고 판단된다.

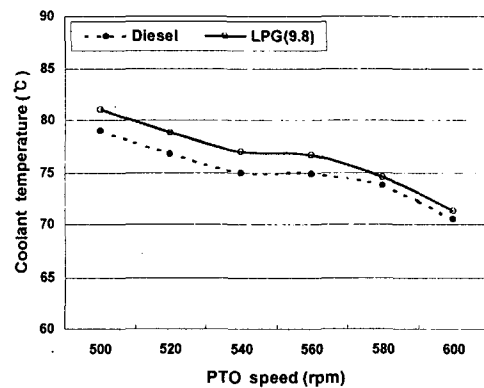


Fig. 7 Coolant temperature of the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed of the tractor.

(6) 배기가스 온도

그림 8은 PTO회전속도의 변화에 따른 배기가스온도를 연료별로 나타낸 것이다. 디젤트랙터와 LPG트랙터 모두 PTO회전속도가 500 rpm에서 580 rpm까지 증가되는 동안 배기가스온도가 완만하게 증가하였고, 580 rpm을 초과하면 서 부터 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. PTO회전속 도 580 rpm에서 배기가스온도는 LPG트랙터의 경우 553℃ 를 나타내었고, 디젤트랙터의 경우에는 그 보다 58℃ 낮 은 495℃를 나타내었다. 이것은 LPG의 발열량이 디젤의 발열량 보다 크고 연소실내부의 온도가 높기 때문인 것으로 사료된다.

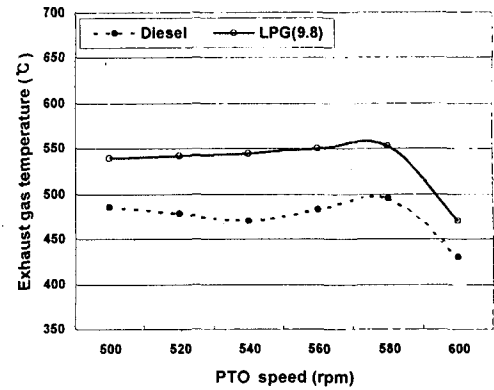


Fig. 8 Exhaust gas temperature of the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed of the tractor.

(7) 매연의 농도

그림 9는 PTO회전속도의 변화에 따른 매연농도를 연료별로 나타낸 것이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 LPG트랙터의 경우 극히 낮은 값으로 일정한 데 비해 디젤트랙터의 경우 500~600 rpm 의 모든 PTO회전속도 영역에서 매연배출농도가 LPG트랙터의 경우보다 월등히 높은 범위에서 점 감되는 경향을 보였다. 이 경향은 앞장에서 기술한 16.2 kW 기관시험의 경우에서와 비슷한 결과였 다. 디젤트랙터에서 매연은 500 rpm부근의 저속영역에서 가장 높았으며, 600 rpm 이상의 고속영역에 서는 낮은 배출농도를 보였다. 이때 디젤트랙터의 매연배출 농도는 평균 30.4%이었으나, LPG트 랙터는 전구간에서의 매연배출농도가 약 1%이하로 매우 낮은 배출농도를 보였다.

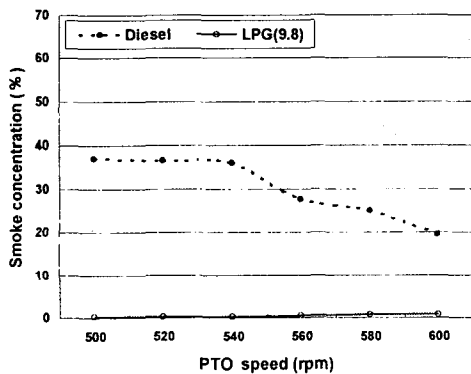


Fig. 9 Smoke concentration of the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed.

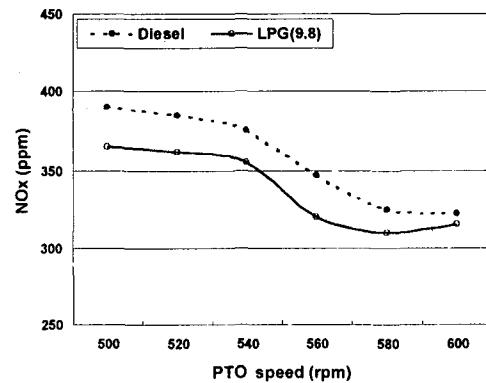


Fig. 10 NOx emission from the engine fueled LPG and diesel oil at various PTO speed of the tractor.

(8) NO_x의 농도

그림 10은 PTO회전수의 변화에 따른 NO_x발생농도를 연료별로 나타낸 것이다. PTO회전수가 증가함에 따라 NO_x발생농도는 감소하였으며 각 회전수에서 디젤트랙터와 LPG트랙터의 NO_x배출농도는 비슷하게 나타났다. 디젤트랙터는 500 rpm의 저속영역에서 NO_x배출농도가 가장 높았으며, 600 rpm의 고속영역에서는 LPG트랙터보다 더 높은 배출농도를 보였다. 이 때 디젤트랙터의 경우에 NO_x배출농도는 평균 325 ppm을 나타내었고, LPG 트랙터에서는 평균 310 ppm으로 약 15 ppm 낮은 NO_x배출농도를 보였다.

4. 요약 및 결론

LPG트랙터와 디젤트랙터를 이용하여 PTO성능시험을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 최대 PTO출력은 두 기종 모두 PTO회전수 580 rpm부근에서 나타났으며, 이 때 디젤트랙터의 PTO출력은 15.5 kW, LPG트랙터는 16.1 kW로 높게 나타났다. 2) 연료소비율은 PTO회전수 전반에 걸쳐 LPG트랙터가 디젤트랙터 보다 높게 나타났다. PTO회전수 580 rpm에서 연료소비율은 디젤트랙터의 경우 262 g/kWh이었으며 LPG트랙터가 약간 높은 값을 보였다. 3) 엔진오일, 냉각수 및 배기가스의 온도는 LPG트랙터의 경우가 디젤트랙터의 경우보다 약간 높게 나타났다. PTO회전수 580 rpm에서 LPG트랙터의 엔진오일은 1℃, 냉각수는 1℃, 배기가스는 58℃ 만큼 디젤트랙터의 경우보다 높았다. 4) 매연과 NO_x 등의 배기배출물 농도는 모든 회전수영역에서 LPG트랙터가 낮게 나타났다. 두 기종 모두 PTO회전수 500 rpm 부근에서 최고의 배출농도를 보였는 바, LPG트랙터는 디젤트랙터보다 매연이 98% 낮았고, NO_x는 약 15 ppm 낮게 나타났다.

5. 참고문헌

1. 강건용, 김창기, 이상석, 이진욱. 2000. 저공해 대형엔진용 대체연료로서 LPG적용성에 대한 연구. 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집 :p.421-426.
2. 조기현, 이승규, 김성태. 2000. LPG를 이용한 농용 트랙터의 개발(Ⅰ) -LPG 기관의 운전특성- 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 :p.16-21.
3. Larson, G. H. 1950. LP Gas as a fuel for farm power units. Agri. Engng.31(5):215-218.
4. Lamouria, L. H. 1953. The place of LP gas as a tractor fuel. Agri. Engng.34(12):825-826.