

경유의 저온특성 및 디젤농업기계의 저온시동성에 관한 연구

Characteristics of light oil and its effects on diesel engine starting in low temperature season

신승엽* 김학주* 오인식* 이용복* 김병갑* 김기택* 양대준**
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
S.Y.Shin H.J.Kim I.S.Oh Y.B.Lee B.G.Kim K.T.Kim D.J.Yang

1. 서론

경운기, 트랙터 등 디젤기관의 연료로 사용되는 경유에는 휘발유 등과는 달리 파라핀계 열의 왁스성분이 함유되어 있어 온도가 낮아지게 되면 유동성이 크게 떨어지게 된다. 따라서 현재 생산공급되고 있는 경유는 계절별 저온성능이 다른 하절기(6~8월), 변동기(4~5월, 9~10월), 동절기용경유(11~3월)로 구분하여 소비자가 계절에 맞는 경유를 사용하도록 하고 있다. 이처럼 계절별로 공급되는 경유의 특성이 다른 것은 유류생산비와 밀접한 관련이 있는데, 왁스성분이 거의 없는 고품질 경유를 생산하기 위해서는 비용이 많이 소요되기 때문에 왁스성분이 다소 많더라도 유동성첨가제를 넣어 저온작동성을 좋게 하는 것이 생산비용 측면에서 유리하기 때문이다. 이와같이 동절기용 경유에는 유동성을 좋게 하는 첨가제가 추가되었기 때문에 왁스입자가 저온에서 쉽게 응고되지 않을 뿐만 아니라 입자의 크기도 하절기용의 1/10정도로 작아 경유가 연료필터를 쉽게 통과할수 있어 저온에서의 시동성이 좋아지는 것이다.

그러나 대부분의 농가에서는 경유에 대한 지식부족으로 겨울철에 경운기 또는 트랙터를 이용할 때 저온에 부적합한 하절기 또는 변동기 경유를 사용하거나 유류보관을 소홀히 하는 등 취급부주의로 인하여 연료계통의 고장원인이 되고 있다. 자동차의 경우 필요할때마다 주유소에서 직접 주유를 하게되지만 농업기계는 연료를 구입하여 농가에 저장하면서 이용하고 있는 경우가 많기 때문에 이러한 현상이 많이 발생되고 있으며 이로인하여 수리비 부담은 물론 이용상 불편을 초래하고 있다.

본 연구는 농업기계 이용실태 조사결과 나타난 경운기, 트랙터 등 디젤농업기계의 겨울철 시동성저하 및 연료계통 고장원인구명을 위한 기초자료를 얻고자 경유의 저온 유동성 및 시동성에 대한 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 겨울철 경운기, 트랙터의 시동성 저하 및 연료계통 고장실태조사

겨울철 경운기 및 트랙터의 시동불량 및 연료계통 고장실태에 관하여 제주도를 제외한 8개도 24개시군에서 187농가를 대상으로 조사하였다. 주요 조사내용은 겨울철 시동불량 및 연료계통 고장경험 여부, 이용경유의 종류, 고장발생시 수리방법 등에 관하여 조사표에 의한 현지면접조사를 실시하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

** SK주식회사 대덕기술원 석유제품그룹

나. 연료장치 및 저온시동시험

(1) 공시연료의 선발

공시연료는 저온특성과 관련이 깊은 유동점(PP)과 저온필터막힘온도(CFPP)를 기준으로 선발하였다. 이러한 근거로 PP는 실제 차량과의 저온작동성을 비교한 결과에서 저온작동성을 판단하는 인자로는 비적절하나(Fig. 1), 오랫동안 연료의 저온성상을 판단하는 근거로서 사용되어 온 항목이며, CFPP는 자동차와의 실제 저온작동시험에서 우수한 상관관계를 나타냈기 때문이다(Fig. 2). 또한 CFPP 및 유동점은 정유회사에서 계절별 생산되는 경유가운데 가장 높은 온도를 기준하였는데 이는 농가에서 겨울철에 경운기, 트랙터 등을 사용시 연료계통에 고장을 일으킬수 있는 가능성이 가장 높다고 판단했기 때문이다. 공시연료는 선발기준에 맞는 제품을 구입하기가 어려웠기 때문에 SK대덕기술원에서 시험을 거쳐 조제하였다(표 1).

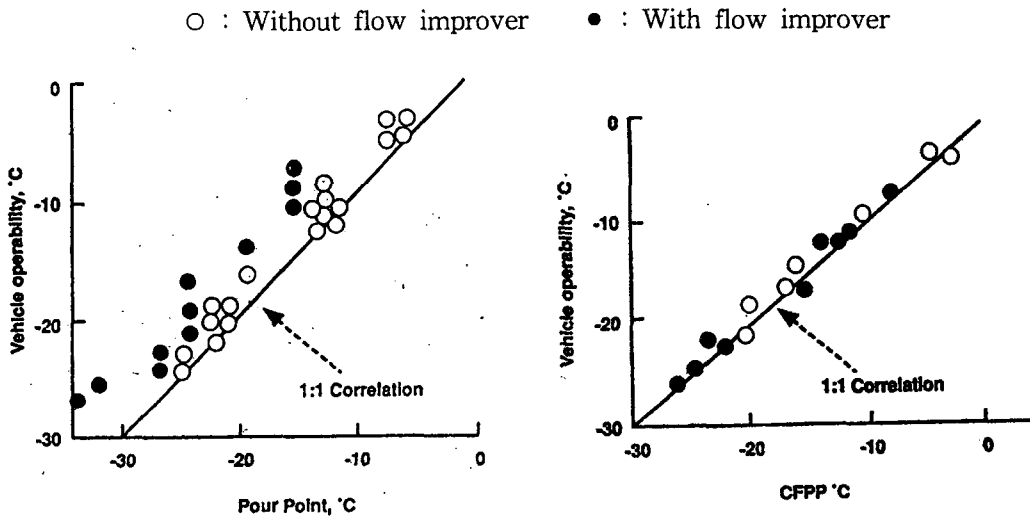


Fig 1 Correlation of pour point with diesel vehicle-temperature operability

Fig. 2 Correlation of CFPP with diesel vehicle-temperature operability

Table 1. Properties of the light oils

Group	Specific gravity	CFPP(°C)	Cetane number	Pour Point(°C)
summer lights oil	0.8398	2	52.3	-5
Winter lights oil	0.8403	-18	53.6	-20

※ CFPP : Cold Filter Plugging Point

(2) 연료장치시험(Rig test)

경유의 종류별 저온유동성의 차이를 알아보기 위하여 실제 차량과 동일한 부품으로 구성되어 있는 소형트럭의 연료공급 시스템을 이용하여 시험을 실시하였다. 연료장치는 다양한 대기온도를 모사할 수 있는 Cold room에 설치하였다. 주요 구성요소는 연료탱크 3기와 연료필터, Injection Pump 및 분사노즐로 구성하였다.

계측장비는 연료필터 후단의 Vacuum 압력을 측정하는 압력센서와 Cold room 및 연료 탱크의 온도를 측정하는 센서가 있으며, 각 센서는 Computer를 통하여 실시간으로 Data Acquisition이 가능하도록 하였다. 또한 엔진회전수는 0~4,000rpm까지 자유로이 조절할수 있으며, 노즐에서 분사된 연료는 포집하여 유량 측정이 가능하도록 하였다.

먼저 연료공급 여부의 판단을 위하여 연료필터차압에 대해 진공도시험을 실시하였다. 저온에서 연료중의 Wax 또는 이물질 등에 의하여 연료필터가 막혀 연료공급이 중단될 경우 실제 자동차는 불착화로 엔진이 정지하게 되나 본 설비는 외부 힘에 의하여 가동시키기 때문에 실제 차량에서의 엔진정지를 정확하게 모사할 수는 없다. 따라서 연료공급이 중단될 경우 가장 빠르고 계수적으로 측정이 가능한 연료필터 후단압력을 회전수변화에 따라 측정하여 필터막힘여부를 판정하는 기준자료로 활용하였다.

엔진회전수 800~2000rpm에서 정상적으로 연료가 공급되다가 갑자기 인위적으로 연료공급을 차단할 경우 필터후단의 진공압은 급격히 증가하며 시간의 증가에 따라 일정한 수준에서 정체됨을 알 수 있었다. 또한 연료공급을 재개할 경우 진공압은 최초의 상태로 빠른 시간내에 환원되었고, 진공압은 800 rpm에서는 최대 -500mmHg, 2000rpm에서 -550mmHg 까지 도달하였다(Fig. 3). 또한 연료필터 후단의 압력에 따른 연료의 공급상태를 관측한 결과 진공압 -400mmHg이상에서는 연료 공급이 거의 이루어지지 않아 본 시험에서는 연료흐름의 Fail/Pass기준을 최대진공압(-550mmHg)의 73%인 -400mmHg로 하였다.

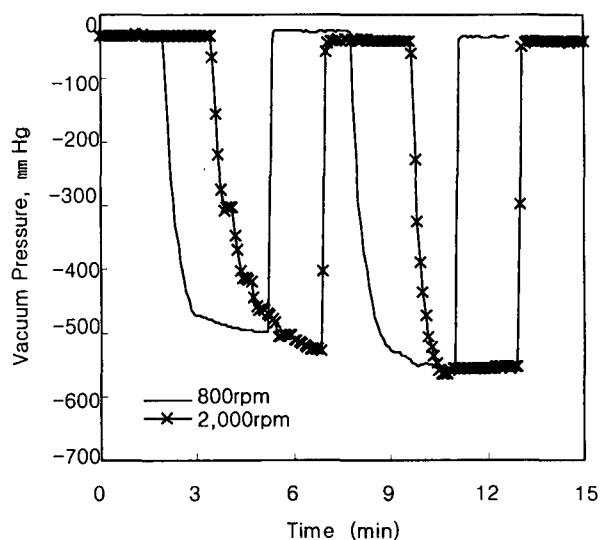


Fig. 3 Vacuum pressures of the fuel filter

rpm은 농업기계화연구소에서 수행한 트랙터(28ps)의 저온시동시험시 외기온도 0~-20℃에서 초기폭발 엔진회전수가 200~800rpm정도인 점을 고려하여 본 시험에서는 처음 15분간은 매 3분마다 회전수를 200rpm씩 증가시키면서 연료필터 후단의 압력변화에 의하여 연료 흐름 여부를 확인하고 15분이후에는 2000rpm으로 고정한 후 30분까지 운전하였다.

(3) 저온시동시험

경운기, 트랙터의 시동가능한 최저온도를 찾기위하여 농업기계화연구소에서 저온시동시험을 실시하였다. 고저온실험실은 다양한 대기온도를 모사할수 있도록 -30℃까지 온도조절이 가능하고, 온도계측을 위하여 고저온실험실, 연료, 엔진오일, 냉각수 등에 센서를 설치하여 계측하였다. 공시기종은 표 2에서 보는 바와 같이 전기시동장치가 부착된 경운기(10ps) 1대, 트랙터 38ps, 45ps 각 1대로 하였다.

시험방법은 OECD표준규정에 준하여 수행하였는데, 시동은 크랭크를 회전시킨 후 30초 이내에 조속기로 조절되는 기관회전수로 운전되면 시동이 된 것으로 간주하였고, 5분 동안 축전지를 충전하지 않고 3회의 시도를 하였으며, 시험온도의 간격은 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 로 실시하였다. 또한 기관이 시동에 성공하지 못한 경우 적어도 15분 동안 기관을 시동하여 운전시킨 후 보다 높은 온도에서 이 시험 절차를 반복하였으며, 기관이 시동에 성공하면 보다 낮은 온도에서 시험을 실시하여 기관이 시동될 수 있는 최저 온도를 찾을 때까지 이러한 과정을 반복하였다.

Table 2. Specifications of the tested machines

Item	Manufacture	Out put (ps)	Type of combustion	Type of fuel filter
Power tiller	D	10	Prechamber type	Element type
Tractor	D	45	Swirl chamber type	Element type
	L	38	Prechamber type	Cartridge type

3. 결과 및 고찰

가. 겨울철 경운기, 트랙터의 시동성 저하 및 연료계통 고장수리실태

겨울철에 경운기 또는 트랙터를 이용하는 농가중 시동이 안되거나 연료계통 고장을 경험한 농가는 경운기 38%, 트랙터 32%로 높게 나타났다. 그런데 이들 농가들의 이용 경유를 보면 대부분 영농철에 사용하고 남은 경유를 저장하여 두었다가 겨울철에 이용하는 관례로 하절기 또는 변동기 경유를 이용하고 있는 것으로 나타났다(표 3).

기종별 고장발생지역을 보면 경운기의 경우 전국적으로 분포되어 있지만 상대적으로 경운기에 비해 시동성이 좋은 트랙터는 경기, 강원지역에 집중되어 있는 것을 알수 있다. 이는 우리나라의 겨울날씨와 관련이 깊은 것으로 판단된다.

Table 3. Statistics of fuel supplying system problems

(unit : farm)

Item	No. user in winter	No. fuel line problems	Fuel type		
			Summer, spring & fall	winter	Sum
Power tiller	71 (100)	27 (38)	25 (92.6)	2 (7.4)	27 (100)
Tractor	72 (100)	24 (32)	22 (95.7)	1 (4.3)	23 (100)

겨울철에 시동이 안되거나 연료계통 고장을 경험한 농가의 수리방법을 보면 농기계의 구조와 관련하여 경운기의 경우 뜨거운 물을 이용하여 응고된 왁스성분을 녹힌 후 시동을 거는 농가가 74.1%로 대부분을 차지하고 트랙터는 연료 또는 연료필터를 교환하거나 청소한다는 농가가 73.9%로 가장 높게 나타났다. 그러나 트랙터의 연료분사펌프는 고장율은 적지만 고장발생시 수십에서 수백만원까지 수리비가 소요되어 농민부담을 가중시키고 있는 것으로 나타났다.

겨울철 트랙터의 연료분사펌프의 고장도 마찬가지로 경유에 함유된 왁스성분이나 수분이 연료분사펌프 내에 유입되어 기온이 강하하면 얼거나 굳게 되는데 이때 무리한 시동을 하게 되면 고장이 발생하는 것이다. 즉 연료분사펌프내 1차공급펌프와 스프라인식으로 연결되어 있는 플란저헤드부분 및 압력조절밸브의 스프링이 파손되는 것으로 나타났다.

Table 4. Treatments when problems occurred in fuel line (unit : %)

Item	Heating fuel by hot water	Replace fuel and filter cleaning	Repaire and replace fuel injection pump	Others	Sum
Power tiller	74.1	25.9	-	-	100
Tractor	4.3	73.9	13.0	8.8	100

연료계통 고장발생시 수리는 대부분 자가수리를 하고 있는 것으로 나타났고, 업소 수리는 경운기 11.1%, 트랙터 26.1%로 나타났다. 그러나 트랙터의 연료분사펌프와 같은 전문적인 수리를 제외하고는 운전자가 충분히 자가수리를 할 수 있지만 원인을 알지못하여 출장수리를 요청하고 있는 것으로 나타났다.

Table 5. Location of the repairs (unit : %)

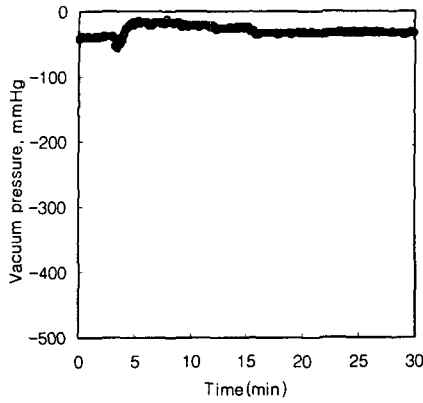
Item	Farm	Repair shop	Total
Power tiller	88.9	11.1	100
Tractor	73.9	26.1	100

나. 연료장치 시험

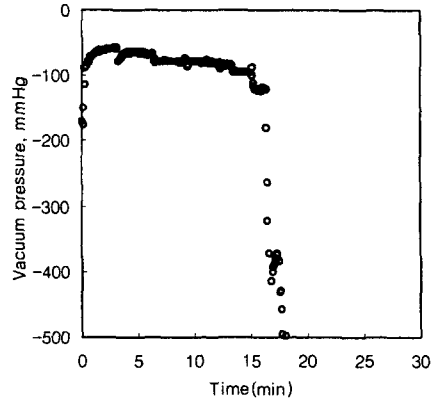
Rig test시험은 하절기 경유의 경우 외기온도 -3℃와 -6℃에서, 동절기 경유는 -15℃와 -18℃에서 실시하였다. 하절기 경유는 -3℃에서 연료필터 후단의 압력이 -10 ~ -60mmHg로 큰 변화가 없었는데 이는 예비시험결과 필터진공압력이 -400mmHg로 올라가면 연료공급이 어렵다는 점을 감안한다면 기관이 정상적으로 작동하리란 것을 짐작할 수 있다(Fig. 4). 그러나 -6℃에서는 연료필터의 차압은 시험시작 후 16분 정도까지 -60 ~ -100mmHg정도를 유지하다 16분 경과후 불과 2분사이에 -500mmHg까지 급격하게 올라갔다(Fig. 5). 이러한 결과로 하절기 경유는 -6℃이하에서는 정상적인 기관의 작동이 어렵다는 것을 알수 있으나 실제 엔진이 부착되어 있을 경우 연료펌프에서 return되는 연료에 의해 연료탱크내 온도가 상승하고 또한 엔진열의 영향으로 -6℃이상에서도 정상적인 작동이 이루어질 수도 있다고 판단된다.

동절기용경유는 -15℃에서 연료필터 후단의 압력이 -20 ~ -60mmHg로 정상적으로 연료공급이 가능하지만(Fig. 6), -18℃에서는 시험시작 후 15분이 경과하면서 연료필터 후단의 진공압력이 급격하게 상승하여 연료의 공급이 어렵다는 것을 알수 있다(Fig. 7). 연료장치에 대한 시험결과 하절기 및 동절기용경유의 연료공급온도 차이는 12℃정도로 유동성의 차이를 확연하게 보여주고 있다.

<Summer light oil>

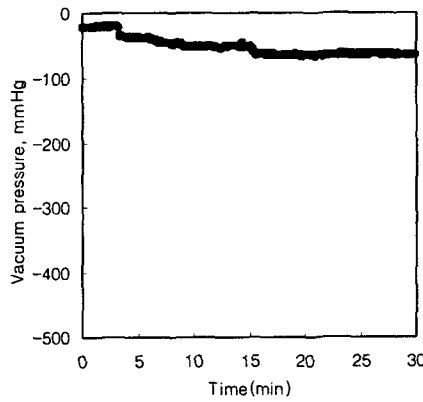


· Amount of fuel injection : 2,320 ml/30min
Fig. 4 Vacuum pressure right after the fuel filter when temperature was -3°C

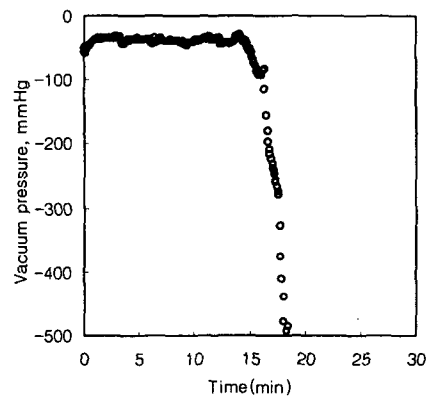


· Amount of fuel injection : 910 ml/18min
Fig. 5 Vacuum pressure right after the fuel filter when temperature was -6°C

<Winter light oil>



· Amount of fuel injection : 2,330 ml/30min
Fig. 6 Vacuum pressure right after the fuel filter when temperature was -15°C



· Amount of fuel injection : 1,010 ml/18min
Fig. 7 Vacuum pressure right after the fuel filter when temperature was -18°C

다. 저온시동성 시험

본 시험은 엔진을 부착한 상태에서 경유의 종류별로 경운기와 트랙터의 최저시동온도를 찾고자 수행하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 동절기용경유를 이용했을 경우 최저시동온도는 경운기는 -7.5°C 로 나타났으며, 트랙터는 38ps의 경우 -12.5°C , 45ps은 -17.5°C 로 나타났다. 이는 동절기용경유가 하절기용 경유에 비해 경운기 및 트랙터 38ps은 5°C , 트랙터 45ps은 7.5°C 정도 낮은 온도에서 시동이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 트랙터의 경우 45ps은 38ps에 비해 하절기용은 2.5°C , 동절기용은 5°C 정도의 최저시동온도 차이를 보여주고 있는데 이는 연소실의 형상에 의한 차이로 보여진다.

결론적으로 겨울철 경운기, 트랙터의 시동성향상 및 연료계통 고장예방을 위해서는 농가에 서는 저온에 적합한 동절기용경유를 사용하여야 함은 물론 농기계 및 연료보관시 노지에 방 치하기 보다는 가능한 보관창고 등을 이용해야 할것으로 생각된다. 또한 생산회사에서는 기관의 연료시스템을 저온에서 사용하기에 유리하도록 개선해 나가야 할 것으로 판단된다.

Table 6. The lowest engine starting temperature of the two light oil and temperature of major elements in the machines (unit : °C)

Item		Temperature of major elements in the machines				Minimum engine starting temperature
		Ambient air	Fuel	Engine oil	Coolant	
Power-Tiller (10ps)	Summer light oil	-2.4~-2.8	-2.5	-2.2	-2.7	-2.5
	Winter light oil	-7.2~-8.2	-7.6	-7.4	-7.7	-7.5
Tractor (38ps)	Summer light oil	-7.3~-8.2	-7.4	-7.3	-7.6	-7.5
	Winter light oil	-12.0~-13.3	-12.7	-12.3	-12.8	-12.5
Tractor (45ps)	Summer light oil	-9.7~10.5	-9.8	-9.5	-10.2	-10.0
	Winter light oil	-17.0~-18.3	-17.4	-17.1	-18.1	-17.5

4. 결론

겨울철 경운기, 트랙터의 시동성저하 및 연료계통 고장원인 구명을 위한 기초자료를 얻고자 경유의 종류별 저온유동성 및 저온시동시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 농가조사결과 겨울철에 경운기 또는 트랙터를 이용하는 농가중 시동이 안되거나 연료계통 고장을 경험한 농가는 경운기 38%, 트랙터 32%로 높게 나타났으며, 이들 농가는 대부분 겨울철에 부적합한 하절기 또는 변동기 경유를 이용하고 있는 것으로 나타났다
2. 연료장치 시험결과 하절기용경유는 -6°C, 동절기용경유는 -18°C에서 연료의 공급이 곤란하여 유동성의 차이를 확연하게 알수 있었다.
3. 경운기와 트랙터의 최저시동온도는 동절기용경유를 이용했을 경우 경운기는 -7.5°C, 트랙터는 38ps -12.5°C, 45ps -17.5°C로 나타나, 하절기용경유에 비해 5~7.5°C정도 낮은 온도에서도 시동이 가능하였다.
4. 시험결과 겨울철에는 저온에 적합한 동절기용경유를 사용한다면 시동성향상 및 연료계통의 고장예방에 크게 효과를 거둘수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. - . 올바른 농업기계이용과 정비기술. p17~36
2. 정창주, 유관희, 김경욱. 1992. 농업동력학. 문운당. pp. 123-132.
3. SK(주) 대덕기술원 석유연구소. -. 보일러등유 기술지원매뉴얼.
4. OECD사무국. 1998. OECD 농임업용 트랙터 표준시험코드 1. p52-54
5. Keith Owen/Trevor Coley. 1990. Automotive Fuels Handbook. Society of Automotive Engineers. pp. 353-403