

경유의 저온특성에 따른 농용 디젤엔진의 저온시동성

Starting of Farming Diesel Engines According to Characteristics of Light Oil at Low Temperature

신승엽 김학주 이용복 김병갑 윤진하 김기택 양대준
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
S. Y. Shin H. J. Kim Y. B. Lee B. G. Kim J. H. Yun K. T. Kim D. J. Yang

ABSTRACT

This study was carried out to get basic data of troubles in starting and supply of farm diesel engines in cold winter.

The results of the study are summarized as follows:

1. As the result of farm survey, the proportions of farms which had starting problems or troubles in fuel supply in cold winter for the last 5 years were 38% for the farms with power-tillers and 32% for the farms with tractors. Most of the farms which had starting problems or troubles in fuel supply in cold winter used light oil for summer, spring or fall rather than for winter.
2. As the result of fuel supply test, fuel supply was stopped at -6°C and -18°C for summer light oil and winter light oil, respectively.
3. The lowest temperatures of winter light oil for starting engine were -7.5°C for power-tiller, -12.5°C for tractor of 38PS, and -17.5°C for tractor of 45PS, which were $5\sim 7.5^{\circ}\text{C}$ lower than that of summer light oil.
4. The performance of engine starting and the trouble of fuel supply system at lower temperature were significantly improved by using winter light oil rather than summer light oil.

Keywords : Agricultural machinery, Diesel engine, Light oil, Starting at low temperature.

1. 서 론

국내에서 생산되는 경유는 계절별로 저온특성을 다르게 제조하여 하절기용(6~8월), 변동기용(4~5

월, 9~10월), 동절기용(11~3월)으로 나누어 공급되고 있는데, 동절기용 경유에는 저온에서 엔진의 작동성을 좋게 하기 위하여 유동성첨가제를 넣어 공급하고 있다. 그러나 대부분의 농가에서 겨울철

This article was submitted for publication in September 2002, reviewed and approved for publication by editorial board of KSAM in November 2002. The authors are S. Y. Shin, Y. B. Lee, B. G. Kim, J. H. Yun, K. T. Kim at National Agricultural Mechanization Research Institute, H. J. Kim at National Horticultural Research Institute, and D. J. Yang at SK Corporation Institute of Technology. The corresponding author is S. Y. Shin, Researcher, Div. of Fundamental Engineering and Technology, National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Suh-dun-dong, Kwonsun-ku, Suwon, 441-100, Korea. E-mail: <shin6850@rda.go.kr>.

에 농업기계를 가동할 때 동절기용 경유를 사용하지 않고 여름철 또는 가을철에 쓰다 남은 경유를 그대로 사용함으로써 시동이 안되거나 연료계통 고장발생의 원인이 되고 있는 것으로 나타났다.

디젤엔진의 연료로 사용되는 경유에는 대부분 파라핀 계열의 왁스성분이 일정량 함유되어 있다. 겨울철에 낮은 온도가 지속되면 이 왁스성분이 응고되어 연료의 유동성이 크게 떨어지고 이로 인하여 엔진의 시동장애 및 출력저하를 일으키게 된다. 경유의 저온특성은 온도가 낮아지면 왁스성분이 나타나기 시작하는 운점(Cloud Point), 액체로부터 추출된 왁스성분에 의하여 경유가 굳어지기 시작하는 유동점(Pour Point), 생성된 왁스성분이 결정물을 형성하여 여과기의 기능에 장애를 주기 시작하는 온도인 저온필터막힘온도(Cold Filter Plugging Point) 등으로 설명된다.

Coley(1966) 등은 저온에서 유동성향상제의 첨가 유무에 관계없이 경유의 CFPP는 엔진의 작동온도와 밀접한 상관관계를 나타낸다고 보고하였다. Zielinski(1984) 등은 유동성 향상제는 저온에서 경유에 함유된 왁스와 반응함으로써 왁스입자를 적게 만들어 연료의 흐름을 좋게 하고 엔진의 작동성을 좋게 한다고 보고하였다.

본 연구는 하절기 및 동절기용 경유에 대한 저온유동성 시험을 통하여 기온에 따라 사용연료가 연료계통에 미치는 영향을 분석하고, 저온시동 시험을 통하여 경운기와 트랙터의 시동 가능한 최저온도를 찾아 겨울철 농기계의 시동성 향상 및 연료계통 고장예방을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 겨울철 연료계통 고장수리 실태

겨울철 농기계 이용시 시동불량 및 연료계통 고장수리 실태를 조사하기 위하여 '99년 4월부터 9월까지 제주도를 제외한 8개도 24개 시군에서 경운기 또는 트랙터를 이용하는 농가를 대상으로 경운기 71대, 트랙터 72대를 조사하였다.

본 조사에서는 '94년부터 '98년까지 5년간 발생한 고장을 조사하였으며, 주요 조사내용은 겨울철 시동불량 및 연료계통 고장경험 여부, 사용경유의 종류, 수리내용 및 방법 등이며, 조사표에 의한 현지면접조사를 실시하였다.

나. 저온 유동성 및 시동 시험

(1) 공시연료

공시연료는 하절기용 경유와 동절기용 경유를 대상으로 하였으며, 시험시기에 맞추어 대상연료를 구입하기가 어려웠기 때문에 SK대덕기술원의 협조를 얻어 실제 계절별로 시중에 공급되는 경유의 저온특성과 동일하게 조제하였다. 각각의 연료 특성은 표 1에서 보는 바와 같다.

(2) 시험장치 구성

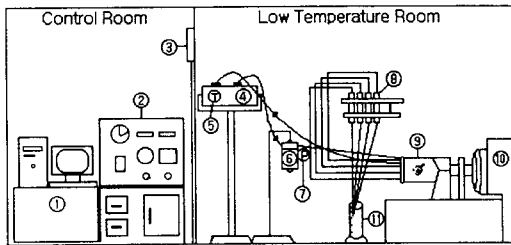
저온유동성시험과 저온시동성 시험은 실내온도를 70℃ ~ -30℃까지 임의로 조절할 수 있도록 냉각 및 가온설비가 갖추어져 있는 고저온실험실에서 실시하였다.

Table 1 Properties of the light oil

Group	Specific gravity	CFPP (°C)	Cetane number	Pour point (°C)
Summer light oil	0.8398	2	52.3	- 5
Winter light oil	0.8403	-18	53.6	-20

(가) 저온유동성시험

하절기 및 동절기용 경유의 저온유동성을 평가하기 위해 디젤엔진(1톤 트럭)의 연료공급시스템을 이용하여 연료필터의 막힘온도 및 유량을 측정하였다. 시험은 SK대덕기술원에서 실시하였으며, 그림 1에서 보는 바와 같이 시험장치는 연료탱크, 연료필터, 연료분사펌프 및 분사노즐로 구성하였다. 계측장비로는 연료필터 후단의 vacuum 압력을 측정하는 압력센서와 저온실 및 연료탱크의 온도 계측을 위하여 열전대를 설치하였으며, 데이터는 컴퓨터를 통하여 실시간으로 수집이 가능하도록 하였다. 엔진회전수는 0~4,000 rpm까지 자유로이 조절할 수 있으며, 노즐에서 분사된 연료는 수집하여 유량측정이 가능하도록 하였다.

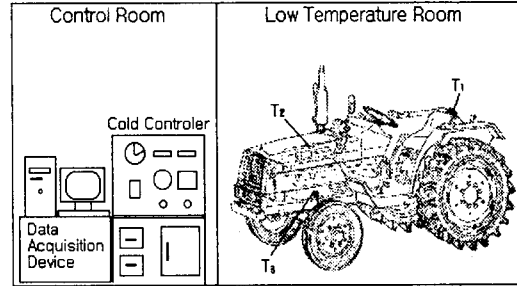


- ① Data acquisition device
- ② Cold controller
- ③ Pressure gauge
- ④ Fuel tank
- ⑤ Temperature sensor
- ⑥ Fuel filter
- ⑦ Pressure sensor
- ⑧ Nozzle
- ⑨ Fuel injection pump
- ⑩ Driving motor
- ⑪ Measuring cylinder

Fig. 1 Schematic diagram of diesel fuel-supplying system for a test of liquidity at low temperature.

(나) 저온시동성시험

경유의 종류별로 저온에서 시동가능한 온도를 알아보기 위하여 그림 2에서 보는 바와 같이 경운기 또는 트랙터를 고저온실험실 안에 직접 설치하여 저온시동시험을 실시하였다. 시험은 농업기계화연구소 고저온실험실에서 수행하였으며, 열전대를 설치하여 저온실, 엔진오일, 연료, 냉각수 등의 온도계측이 가능하도록 구성하였다.



T₁, T₂, T₃ : Sensors for measuring temperature of fuel, cooling water and engine oil

Fig. 2 Schematic diagram for starting test at low temperature for farm tractor.

공시기종은 경운기는 10 PS, 트랙터는 38 PS, 45 PS 각 1대를 공시기종으로 하였으며 그 제원은 표 2에서 보는 바와 같다.

(3) 시험방법

(가) 저온유동성시험

저온유동성시험은 경유의 종류별로 저온에서 연료중의 wax 또는 이물질 등에 의하여 연료필터가 막혀 연료공급이 중단되는 온도를 측정하였다.

실제 연료필터가 막혀 연료공급이 중단될 경우에는 엔진은 정지하게 되나 본 시험장치는 외부 힘에 의하여 가동시키기 때문에 연료공급 여부를 정확하게 알 수는 없다. 따라서 시험에서는 연료공급이 중단될 경우 계수적으로 측정이 가능한 연료필터 후단압력을 회전수 변화에 따라 측정하여 필터 막힘여부를 판정하는 기준자료로 활용하였다.

엔진회전수는 농업기계화연구소에서 수행한 트랙터의 저온시동시험시 외기온도 0~-20℃에서 초기폭발 엔진회전수가 200~800 rpm 정도인 점을 고려하여 본 시험에서는 처음 15분간은 매 3분마다 회전수를 200 rpm씩 증가시키면서 연료필터 후단의 압력변화에 의하여 연료흐름 여부를 확인하고 15분 이후에는 2,000 rpm으로 고정된 후 30분까지 운전하였다.

(나) 저온시동시험

경운기와 트랙터를 이용한 저온시동시험은

Table 2 Specifications of the tested machines

Item	Output (PS)	Type of combustion chamber	Type of fuel filter
Power tiller	10	Pre-combustion chamber	Element type
Farm tractor	38	Pre-combustion chamber	Cartridge type
	45	Swirl chamber	Element type

OECD 시험규정에 따라 시동키를 사용하여 시동을 건 후 30초 이내에 회전속도가 정상적으로 안정되면 시동이 된 것으로 하였다. 시동시험은 저온실험실, 연료, 냉각수, 엔진오일 등이 시험하고자 하는 온도에 도달한 후에 실시하였고, 시동이 안될 경우 5분 동안 최대 3회를 시도하였다. 시험 온도는 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 단위로 조절해가며 실시하였으며 엔진이 시동될 수 있는 최저 온도를 찾을 때까지 시험을 반복하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 겨울철 연료계통 고장수리실태

겨울철에 경운기 또는 트랙터를 이용하는 농가 가운데 시동이 안되거나 연료계통 고장을 경험한 농가는 경운기 38%, 트랙터 32%로 높게 나타났다. 이때 농가에서 사용한 경유를 보면 저온에 적

합한 동절기용 경유 대신 하절기 또는 변동기용 경유를 이용하고 있는 것으로 나타났다(표 3). 또한 고장발생지역을 보면 경운기는 전국적으로 분포되어 있지만 경운기에 비해 상대적으로 시동성이 좋은 트랙터는 경기, 강원지역에 집중되어 겨울철 기온과 관련이 깊은 것으로 판단되었다.

겨울철에 시동이 안되거나 연료계통 고장발생시 응급처치 또는 수리방법을 보면 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 (표 4).

겨울철에 발생하는 트랙터의 연료분사펌프의 고장발생의 주요 원인은 연료분사펌프 내에 유입되어 있던 경유에 함유된 왁스성분이나 수분이 기온이 강하하면 굳거나 얼게 되는데 이때 무리한 시동을 하게 되면 연료분사펌프내 1차공급펌프와

Table 3 Trouble occurrence of fuel-supplying system depending on the fuel type

(unit : farmhousehold)

Item	Users in winter	Fuel line troubles	Fuel type		
			For summer, spring & fall	For winter	Total
Power tiller	71 (100)	27 (38)	25 (92.6)	2 (7.4)	27 (100)
Farm tractor	72 (100)	24 (32)	22 (91.7)	2 (8.3)	23 (100)

Table 4 Treatments against the troubles in fuel-supplying system

(unit : %)

Item	Heat fuel by hot water	Replace fuel and clean filter	Repair and replace fuel injection pump	Others	Total
Power tiller	74.1	25.9	-	-	100
Farm tractor	4.3	73.9	13.0	8.8	100

스프라인식으로 연결되어 있는 플런저헤드 및 압력조절밸브의 스프링이 파손되기 때문인 것으로 나타났다.

수리장소는 표 5에서 보는 바와 같이 대부분 자가수리를 하고 있으며, 업소수리는 경운기 11.1%, 트랙터 26.1%로 나타났다. 트랙터의 연료분사펌프와 같이 전문적인 수리를 요하는 부품을 제외하고는 운전자가 충분히 자가수리를 할 수 있지만 원인을 알지 못하여 수리업소에 수리를 의뢰하고 있는 것으로 나타났다.

Table 5 Location of repairs

(unit : %)

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

나. 저온 유동성 및 시동시험

(1) 저온 유동성 시험

먼저 연료공급 여부의 판단을 위하여 연료필터 차압에 대해 진공도시험을 실시한 결과 엔진회전 속도 800~2,000 rpm에서 정상적으로 연료가 공급되다가 갑자기 인위적으로 연료공급을 차단할 경우 필터후단의 진공압은 급격히 상승되고 시간의 경과에 따라 일정한 수준에서 정체됨을 알 수 있었다. 또한 연료공급을 재개할 경우 진공압은 최초의 상태로 빠른 시간내에 환원되었고, 진공압은

800 rpm에서 최대 -500 mmHg, 2,000 rpm에서 -550 mmHg 까지 도달하였다(그림 3).

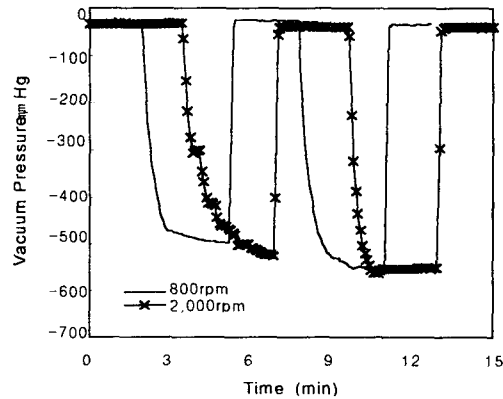


Fig. 3 Change in vacuum pressure of the fuel filter according to fuel supply.

또한 연료필터 후단의 압력에 따른 연료의 공급 상태를 관측한 결과 진공압 -400 mmHg 이상에서는 연료공급이 거의 이루어지지 않아 본 시험에서는 연료흐름의 Fail/Pass 기준을 -400 mmHg로 하였다.

저온유동성 시험은 하절기 경유의 경우 -3℃와 6℃에서, 동절기 경유는 -15℃와 -18℃에서 실시하였다. 하절기 경유는 -3℃에서 연료필터 후단의 압력이 -10~-40 mmHg로 큰 변화가 없었는데 이는 필터진공압력이 -400 mmHg 정도에서 연료공급이 어렵다는 점을 감안한다면 엔진이 정상적으로 작동하리란 것을 짐작할 수 있다(그림 4). 그러나 -6℃에서는 연료필터의 차압은 시험시작 후

16분 정도까지 -60~-100 mmHg 정도를 유지하다 16분 경과후 불과 2분사이에 -500 mmHg까지 급격하게 올라갔다(그림 5).

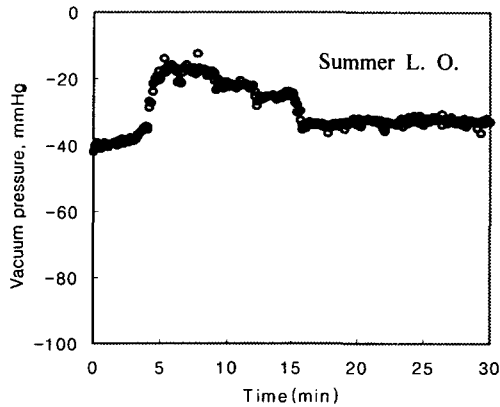


Fig. 4 Change in vacuum pressure during fuel injection(2,320ml/30min) behind the fuel filter at -3℃.

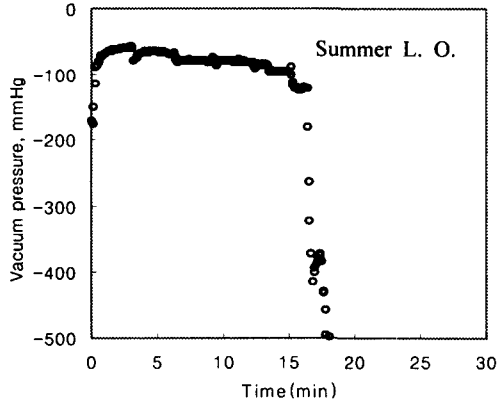


Fig. 5 Change in vacuum pressure during fuel injection (910ml / 18min) behind the fuel filter at -6℃.

따라서 하절기 경유로는 -6℃ 이하에서는 엔진의 정상적인 작동이 어렵다고 판단되었다.

동절기용 경유는 -15℃에서 연료필터 후단의 압력이 -20 ~ -70 mmHg로 정상적으로 연료공급이 가능하지만(그림 6), -18℃에서는 시험시작 후 15분이 경과하면서 연료필터 후단의 진공압력이 급

격하게 상승하는 것으로 나타나 연료의 공급이 어렵게 되는 것을 알 수 있다(그림 7).

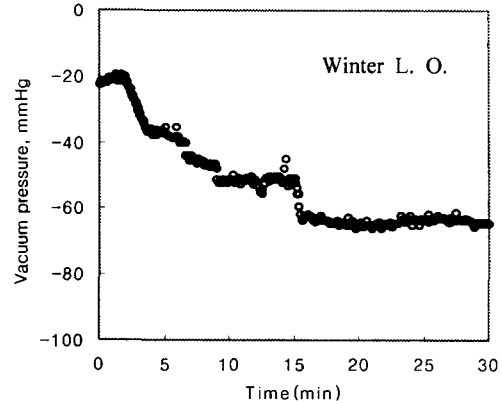


Fig. 6 Change in vacuum pressure during fuel injection(2,330ml/30min) behind the fuel filter at -15℃.

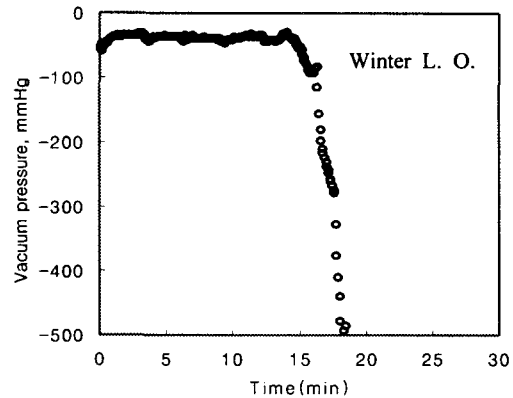


Fig. 7 Change in vacuum pressure during fuel injection (1,010ml / 18min) behind the fuel filter at -18℃.

이 시험 결과 동절기용 경유는 하절기용 경유에 비하여 외기온도가 12℃ 정도 낮은 -15℃에서 온도에서도 정상적인 연료공급이 가능한 것으로 나타났다.

(2) 저온시동성 시험

경유의 종류별로 경운기와 트랙터의 시동 가능

Table 6 The lowest atmospheric temperatures for engine starting of power tiller and farm tractor according to fuel type

(unit : °C)

Item		Temperature of major elements				Lowest engine starting temperature	
		Ambient air	Fuel	Engine oil	Coolant		
Power tiller (10 PS)	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	
Farm tractor	38 PS	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
	45 PS	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

한 최저온도를 찾고자 저온시동성 시험을 수행하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 동절기용 경유를 이용했을 경우 최저시동온도는 경운기는 -7.5°C로 나타났으며, 트랙터는 38 PS의 경우 -12.5°C, 45 PS는 -17.5°C로 나타났다. 이는 동절기용 경유가 하절기용 경유에 비해 경운기 및 트랙터 38 PS는 5°C, 트랙터 45 PS는 7.5°C 정도 낮은 온도에서 시동이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 트랙터의 경우 45 PS이 38 PS에 비해 하절기용은 2.5°C, 동절기용은 5°C 정도 낮은 온도에서 시동이 가능함을 보여주고 있는데 이는 연소실 형상의 차이에 의한 것으로 판단된다.

또한 연료상태를 보면, 하절기용 경유는 -15°C에서 연료필터 및 연료통 내의 경유가 유백색의 반고체상태로 결빙되어 유동성을 완전히 상실하였으나 동절기용 경유는 처음 상태와 거의 변화없이 유동성을 유지하고 있었다. 그러나 -20°C에서는 동절기용이라 할지라도 연료통 내의 경유는 색깔과 유동성에서 초기와 비슷하게 유지하고 있었지만 연료필터 안에 있는 경유가 2/3정도 결빙되어 연료의 흐름을 저해하여 시동이 안되는 것으로 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 겨울철에 경운기, 트랙터의 시동성 향상 및 연료계통 고장예방을 위하여

농가에서는 반드시 저온에 적합한 동절기용 경유를 사용하여야 하며, 농기계 및 연료를 노지에 보관하지 말고 보관창고 등 실내에 보관해야 할 것으로 생각된다. 또한 생산회사에서는 엔진의 연료시스템을 저온에서 사용하기에 유리하도록 개선해 나가야 할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

겨울철 농업용 디젤엔진의 시동성 향상 및 연료계통 고장예방을 위한 기초자료를 얻고자 경유의 저온특성에 따른 경운기와 트랙터의 저온유동성 및 시동 시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 농가조사결과 겨울철에 경운기 또는 트랙터를 이용하는 농가 중 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) 저온유동성 시험결과 하절기용 경유는 -6°C, 동절기용 경유는 -18°C에서 연료의 공급이 중단되어 계절별로 공급되는 연료간의 유동성의 차이가 큰 것으로 나타났다.

3) 최저 시동온도는 동절기용 경유를 이용했을 경우 경유기는 -7.5°C , 트랙터(38 PS)는 -12.5°C , 트랙터(45 PS)는 -17.5°C 로 나타나, 하절기용 경유에 비해 $5\sim 7.5^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 온도에서도 시동이 가능하였다.

4) 결과적으로 겨울철에는 농가에서 저온에 적합한 동절기용 경유를 사용한다면 시동성 향상 및 연료계통의 고장예방에 크게 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 정창주, 류관희, 김경욱. 1992. 농업동력학. 문운당. pp. 123-132.
2. SK(주) 대덕기술원 석유연구소. - 보일러등유 기술지원매뉴얼.
3. OECD사무국. 1998. OECD 농임업용 트랙터 표준시험코드 1. pp. 52-54.
4. Coley, T. L. F. Rutishauser and H. M. Ashton. 1966. New Laboratory Test for Predicting Low-Temperature Operability of Diesel Fuels. Journal of the Institute of Petroleum. Vol. 52, No. 510.
5. Zielinski, J. F. Rossi and A. Stevens. 1984. Wax and Flow in Diesel Fuels. SAE Paper No. 861517.
6. Owen, K. and T. Coley. 1990. Automotive Fuels Handbook. Society of Automotive Engineers. pp. 353-403.