

# 경유의 윤활성

## Lubricity of Diesel



조인호 / SK 주식회사  
In Ho Cho / SK Corporation

### 1. 서론

최근 CRDI 엔진이 개발되면서 경유자동차의 성능은 대폭적으로 향상되었다. 그러나 이러한 고성능 엔진은 고성능 연료를 필요로 하고 있으며, 그 중 대표적인 것이 연료의 윤활성이다. 그러나 윤활성은 엔진만의 문제가 아니며 환경규제와도 연관되어 있다.

윤활성은 간단히 정의하자면, 움직이는 표면들이 닿을 때 마모되지 않도록 해주는 연료의 품질이다. 대부분의 연료분사장치에서 특히 고압 로터리펌프에서, 주요 부품들의 과도한 마모 방지를 위하여 연료가 윤활제로 사용된다. 그러나 탈황공정에서 연료의 천연 윤활물질들이 파괴되는 경향이 있다.

윤활성에 의한 적절한 보호가 없다면 특히 연료펌프에서 과도한 마모가 신속히 일어나게 되고, 유해 배출가스의 증가 및 엔진 또는 차량의 작동상의 문제로 확대되게 된다. 마모는 온도나 하중이 증가하면 함께 증가하는 경향이 있다.

이제까지 유럽이나 미국 등지에서 경유의 윤활성을 측정법을 개발하기 위하여 많은 노력을 하였지만, 윤활성 관리를 위하여 세계적으로 인정되거나

법제화된 표준이나 실험방법이 아직 존재하지 않고 있다. 현재는 정유사나 연료공급사의 선의 또는 자발적인 협약에 의존하고 있다. 예외적으로 한국, 캐나다, 호주 등 몇 개의 나라에서 윤활성 규격이 의무화 되어 있으며, California Air Resources Board(CARB) 에서도 의무화를 추진중에 있다.

여러 나라에서 법제화는 지속적으로 강화되는 환경규제를 만족할 수 있는 엔진기술을 위해 필요한 '무황' 연료에 치중되어 있다. 그러나 디젤엔진 뿐만 아니라 미래의 직접분사 휘발유엔진에서도 연료의 압력 증가와 엔진의 온도 증가에 따라 연료 윤활성의 중요성은 급속히 증가할 것이다.

본 고에서는 현재까지의 연료윤활성 형성과정과 미래의 문제점에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2. 문제의 인지

1980년대 초에 항공분야에서는 연료의 윤활성문제가 이미 널리 알려져 있었으며, 한참 뒤인 1990년대에 와서 자동차 분야에서도 이 문제가 나타났다. 고온 운전하는 터빈엔진의 연료용 기어펌프에서 윤

활성 부족으로 인한 고장이 발생하였으며, 비행기 피스톤엔진에서도 윤활성 문제가 발생하였다. 이로 인하여 Shell 사의 영국 Thornton Research Center 에서 Gear Pump Rig 와 유명한 TAFLE Rig가 개발되었다. 항공기의 연료펌프 파손은 일반적으로 높은 마찰에 기인하는 반면, 경유 연료펌프는 접촉면이 미끄러지면서 긁히는 현상에 의하여 발생한다. 이러한 차이 때문에 별도의 시험장치가 필요하게 된다.

경유의 윤활성이 관심을 끌기 시작한 것은 1990년 대 초에 스웨덴에서 환경개선을 위하여 Swedish Class 1 & 2 연료를 도입하면서 부터이다.

정유공장에서 경유 황분 제거를 위하여 사용되는 수첨처리공정은 특히 동절기용 경유제품에서, 윤활성측면에서 부작용을 가져왔다. 연료의 윤활성을 제공하는 것으로 알려진 극성물질을 같이 제거해 버리기 때문이다. 심도 수첨처리된 경유는 심할 경우 한 탱크의 연료만 사용하여도, 연료펌프의 과도한 마모로 인한 끔찍한 사고를 유발하기 시작하였다. 비슷한 시기에 미국 California에서도 황함량을 500ppm 이하로 낮추었을 때 유사한 문제가 일어났다. <그림 1>은 윤활성 부족으로 인한 손상의 예를 보여주고 있다.



<그림 1> Injection Pump Failure<sup>9)</sup>

유럽의 CEC(Coordinating European Council) 가 윤활성 시험법 개발을 위한 실무팀을 만들었을

때, 미국 SAE에서도 윤활성 연구를 위한 실무팀을 발족시켰다. 양 그룹은 윤활성에 대한 전세계적인 규격이나 실험법을 개발하기 위하여, 인력과 Round Robin Test 자료를 교환하였다. HFRR 방법이 미국, 캐나다 등 태평양 연안국과 일부 유럽에서 점차 받아들여지고는 있지만 전세계적으로 공인되지는 못한 상태이다.

1997년 미국 EMA(Engine Manufacturers Association) 는 자기들의 고급경유 권장안에 윤활성을 추가하였으며, 자동차 제작사 연합 (AAM, ACEA, JAMA)은 WWFC(World-Wide Fuel Charter) 의 Category 4 규격에 윤활성을 포함시켰다. 전 세계의 디젤엔진 제조사나 FIE(Fuel Injection Equipment) 제조사들은 경유 윤활성의 필요성에 대하여 동의하고 있지만, 연료 공급자를 포함한 전세계적 규격은 합의되지 못하고 있다.

### 3. 시험 방법의 발전

항공연료 분야에서의 선행지식을 바탕으로 하여 연료의 윤활성 시험장치들이 아래와 같이 다양하게 선보여졌다.

- SLBOCLE (Scuffing Load Ball On Cylinder Lubricity Evaluator)
- BOTD (Ball On Two Disks)
- BOTS (Ball On Three Seats)
- TAFLE (Thornton Aviation Fuel Lubricity Evaluator)
- HFRR (High Frequency Reciprocating Rig)

SAE Paper 942016 에 독일 Harburg Refinery 에서 제조된 Swedish Class 1 & 2 연료에 대한 연구결과가 있다. 높은 수첨처리 비용으로 인하여 Class 2 연료는 Class 1 연료보다 약하게 처리되어 도사용으로 제공되었다. Shell사는 두 연료와 차량

에 따른 운할성능 현장시험을 실시하였으나 마모 발생 메커니즘에 대한 많은 정보를 얻지는 못하였다.

그 당시에 부식방지제가 운할특성을 복원하는 특성이 있는 것으로 나타났지만 연료의 조성에 따라 운할특성은 큰 차이를 보였다. Shell사의 초기 시험에서 어떤 연료에서는 마모가 워낙 심하여 10마일 주행 후 연료펌프가 완전히 고장 나버리기도 하였다.

SAE와 CRC (Coordinating Research Council)의 도움으로 1992년 ISO 그룹이 결성되었고 운할성 문제를 더 정확히 이해하고 국제적인 시험법을 개발하는 일에 착수하였다. 이를 도우기 위하여 CRC는 1993년 Workshop을 개최하였다.

적절한 시험법을 선택하기 위하여 ISO(International Organization for Standardization) 그룹은 Round Robin Test를 실시하였고, SLBOCLE과 HFRR이 좋은 결과를 보였다.

로터리펌프는 저유황경유에 의해 마모문제를 일으킬 수 있는 유력한 부품으로 보이지만, 문제는 이러한 펌프에만 국한되지 않았고, 모든 연료에 대해 언제나 로터리펌프가 문제를 일으키는 것도 아니라는 것이었다.

수많은 시험 후에 CEC 그룹은 HFRR 시험법을 채택하였다. 그렇지만, 초기의 시험에서는 현장과의 일치성과 시험 정밀도 측면에서 좋지 않았다. Imperial College와 Paramins 및 Shell Chemicals 간의 협력을 통하여 시험온도인 60°C에서 습도 조절이 정밀도 향상에 가장 중요한 요소임이 발견되었다. 시험 연료의 보관중의 산화에 의한 고분자화도 문제였지만 지금은 해결 되었다.

1997년에 많은 Round Robin Test를 거쳐 CEC의 F-06 시험법이 'A' 등급을 받아 EU의 EN 590 규격에 포함되었다. HFRR 시험장치는 영국의 PCS Ltd에서 제작되어 전세계 산업체에서 가장 널리 쓰

이는 운할성 측정 장치가 되었으며, 휘발유 운할성 측정이 가능한 HFRR 시험장치도 개발되었다. CEC 그룹은 시험의 정확성 점검과 기술향상을 위하여 아직도 활동하고 있다.

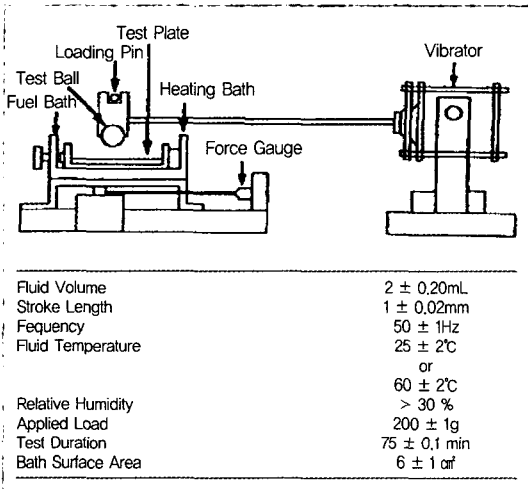
현장과 완벽하게 일치하는 시험법은 없지만, HFRR은 Failing Safe의 장점을 가지고 있다. 즉 이 시험에서 Pass한 연료는 현장에서 문제를 일으키지 않는다는 것이다. 연료펌프 자체를 사용한 시험이 더 좋은 결과를 주기는 하겠지만 수백시간이 걸리기 때문에 현실성이 없게 된다.

이제까지의 결과에 의하면 황함량 500ppm 수준의 경유는 운할성 문제를 일으키지 않으며, 황함량 50ppm 이하가 되면 모든 경유는 적절한 첨가제 투입이 필요하게 된다.

현재에도 Imperial College와 PCS Ltd에서 개발한 HFRR과 SRI(Southwest Research Institute)에서 개발한 SLBOCLE에 대한 평가는 계속되고 있다.

북미 경유시장은 유럽시장과는 매우 다른데, 소형 디젤엔진이 얼마 없을 뿐만 아니라 연료제품의 유통 방법도 다르다. 결과적으로, HFRR과 SLBOCLE 모두 ASTM Method에 존재하지만(D6079, D6078) 연료규격인 D975에는 어느 것도 명시되지 않았다. 2006년부터 초저유황경유(<15ppm Sulfur)가 도입되지만 의무규격이 아직도 만들어지지 못하여 문제가 되고 있다. 시험법에 대한 합의가 빨리 이루어져 정유사의 블렌딩 공정에 미리 반영될 수 있어야 한다. <그림 2>는 HFRR 시험장치 개요 및 시험조건이다. 연료가 차있는 용기내에서 Test Ball을 Test Plate에 고진동으로 문질러서 Test Ball에 생긴 흔적의 직경으로 운할성을 표시하게 된다. SLBOCLE 시험법의 개요도 ASTM에 잘 나타나 있다.

경유 운할성을 관할하는 ASTM D-02 E2 소위원회에 최근 HFRR 시험법을 채택하라는 보고서가 제



〈그림 2〉 HFRR 시험장치 및 시험 조건<sup>3)</sup>

출되었다. 이것으로 연료 생산자는 적절한 첨가제 주입을 결정을 위한 시험을 진행할 수 있게 되었지만, 소량의 첨가제에 대한 시험 정확성 향상을 위하여 추가 연구가 수행되어야 한다.

최근의 CARB Fuels Workshop에서 BOSCH사는 460 $\mu$ m를 만족한다면 HFRR이 품질관리를 위한 적절한 방법이 될 수 있다고 발표하였다. 또한 연료에 의해 운할되는 고압분사장치는 운할성에 매우 민감할 뿐만 아니라 이물질에도 민감하여 유리수분이나 침전물이 존재하지 않아야 한다고 지적하였다. CARB는 HFRR 시험법을 채택할 것을 제안하였다.

★Note

유럽에서 사용되는 HFRR과 미국에서 사용되는 HFRR에는 근본적인 차이가 존재하는데, 유럽에서는 시험 정밀도 향상을 위하여 humidifying Unit을 사용하고 있으며, 결국은 이 방법이 전세계적으로 채용될 것으로 예상된다. 공통된 방법을 원하는 사람들에게는 좋은 소식이지만, 현재로는, 근본적으로 동일한 HFRR test에 대하여 아래와 같이 여러가지의 시험법이 존재하고 있다.

- ISO 12156-1&2
- JPI-58-50-98 (Japan)
- ASTM D6079 (U.S.)
- CFC F 06-A-98 (Europe)

근본적인 문제는 시험법 개발자마다 지속적인 점검과 개선을 위하여 다른 규범들을 채택한다는 것이며, 이것이 장기적으로는 같은 방법 간에도 차이를 만들어 내게 된다.

CARB는 California 지역에서 팔리는 경유의 운할성 표준을 만들기 위하여 노력하고 있지만 EPA(Environmental Protection Agency)는 미온적인 태도를 취해왔다. EPA는 그것이 유해배출가스에 영향이 있을 때만 관여할 것이며, 아직은 확신을 가지지 못하고 있지만 결국에는 관여하게 될 것으로 예상된다.

2003년 5월, 미국 하원의원 John Dingell은 경유 품질향상을 위한 법률 제정을 제안하였다. 자동차 제작사들은 미국에 소형 디젤엔진을 도입하여 CAFE(Corporate Average Fuel Economy)를 향상시키기 위해서는 고품질 경유가 필요하다고 말하고 있다. 황함량 10ppm 외에도 방향족화합물 15% 이하, 세탄가 55 이상 및 운할성 400 $\mu$ m(by HFRR) 이하의 경유가 2010년 까지 도입되어야 한다는 것이다. 법안이 위원회에 상정되었음에도 법제화 되지 못할 것으로 예상되나, 이것은 미국에서도 운할성에 대한 관심이 높다는 것을 보여주는 것이다.

일본은 유럽과 닮은 점이 많은데, 미국과 같은 운할성문제가 처음 보고된 것은 유황함량이 5,000ppm에서 2,000ppm으로 낮아졌을 때이다. 문제를 평가하기 위하여 ISO-HFRR 법이 사용되었다. 오늘날에는 5,000ppm이하의 유황함량 연료에 대하여 HFRR 법이 사용되고 있다.

유럽이나 미국에서와 마찬가지로 정유사와 자동차사 간의 합의를 바탕으로 일본의 석유회사는 첨가제를 활용하여 제품규격을 맞추어 가고 있다. 이런 합의는 유황함량 10ppm 이하에서도 유지될 것이다. 공식적인 법규정으로 운할성 규격을 강제화할 계획

은 없으나, 보다 신뢰성 있는 측정 방법이 개발되면 강제화를 고려할 것으로 보인다. 일본의 경유승용차 시장은 매우 작으므로, 윤활성 문제의 보고는 Wear Scar Diameter가 520 $\mu$ m를 넘어가는 불법 제품이 사용된 대형차 위주로 되어 왔다.

일본 내에서 재생에너지 사용의 압력이 높아짐에 따라 이 연료들의 윤활성에 대한 관심이 높아질 것이다. 지금까지 일본에서의 경험에 의하면, Biodiesel은 기존 저유황경유에 비하여 좋은 윤활성을 가지는 것으로 나타나고 있다.

**★Note**

2003년 11월 California Air Resource Board(CARB)는 윤활성 규격을 포함하는 California Diesel Fuel Regulations 개정을 허락하였다. 윤활성은 HFRR 방법으로 Wear Scar Diameter가 520 $\mu$ m를 넘지 않도록 규격이 개정 되었다. 이 규격은 아래와 같이 적용될 것이다.

- 2004년 8월 1일 이후 제작되거나 수입된 설비로부터 공급된 경유
- 위 날짜로부터 45일 이후 가동된 터미널에서 공급된 경유
- 위 날짜로부터 90일 이후 가동된 공급망을 통하여 공급된 경유

그러나 California Division of Measurement Standards(DMS)가 ASTM 적용으로 HFRR 520 $\mu$ m를 의무화 한다면 CARB는 이러한 일을 할 필요가 없을 것이다. CARB는 경유가 적절한 윤활성을 제공하여 과도한 마모를 방지하므로써 엔진의 수명단축이나 유해배출가스 증가가 일어나지 않도록하는 것이 필요하다고 판단하였으므로 윤활성 규격을 승인한 것이다. CARB는 황함량 15ppm을 만족하기 위하여 심하게 수소화처리 되므로써, 천연적인 윤활성능이 악화될 것으로 예상하고 있다. 또한, 몇 년 안에 더욱 많이 사용될 진보된 고압 연료분사 계통이 과거에 비하여 훨씬 향상된 윤활성능을 요구하고 있다.

그 승인된 규격은 아직 California Office of Administrative Law(OAL)에 상정되지 않았으며, OAL의 승인이 나와 법제정이 완료되는 것이다.

**4. 첨가제와 마모 원리 - 윤활성 평가 시험**

경유의 윤활성을 측정하기 위하여 많은 실험실용 시험법들이 개발되어져 왔으며, 이 시험법들은 윤활성 측정의 정확성을 검증하기 위하여 경유분사펌프 시험들과 비교 되어졌다. 모의 시험의 이점은 실제 펌프 시험이 수백시간이 필요한 것에 반하여 수 시간 내에 완료된다는 것이다. 그러나 윤활성 부족으로 인한 실제 펌프의 마모는 다양한 원리에 기인하지만, 모의시험은 그 중 한두가지 밖에 반영하지 못한다. 이런 한계성에도 불구하고, 첨가제를 넣지 않은 연료에 대한 비교시험에서, 몇몇 모의 시험은 펌프시험과 좋은 상관성을 나타내 주었다. 그러나 첨가제처리한 연료들에 대한 시험결과, 첨가제들 간의 효과 비교에 상당히 부정확한 것으로 나타났다.

경유 윤활성은 금속표면에 부착되어 마모를 저감시키는 막을 만드는 극소량의 Surface-Active Molecules에 좌우된다. 농기계를 포함하는 중소형 경유엔진에 사용되는 Rotary or Distributer Type 펌프는 동작부의 윤활을 연료의 윤활성에 의존하므로, 이 부품들은 경유의 윤활성에 매우 민감할 수밖에 없다. 이에 비하여 보통 대형엔진에 쓰이는 In-Line 펌프는 엔진오일에 의하여 윤활된다. Common Rail System과 같이 유해배출가스 저감을 위하여 사용되는 새로운 연료분사계는 동작압력이 매우높음에 따라 연료의 우수한 윤활성능을 요구하게 된다.

고려해야 할 마찰학적인 두가지 요소가 있는데, 금속 표면의 극성성분과 연료의 점도이다.

수소처리탈황 정제 공정에서 수소는 방향족과 극성물질을 제거한다. 따라서 극성물질의 부재로 금속 동작부의 접촉이 증가하게 된다. 띠구조를 가지는 극성물질이 없으면 연료의 점도가 더욱 중요해

진다. 경계면 점도가 중요한데, Kerosene 쪽으로 접근할수록 이것은 감소한다. 두 금속표면이 접촉하여 긁힘이 일어나는 것을 방지하는 표면막이 필수적이다.

Denso and Delphi 경유 펌프에도 일어날 수 있지만, Stanadyne and Bosch Rotary Pump가 이러한 문제에 더욱 민감할 것으로 보인다. HFRR 시험은 이러한 유형의 펌프에 있어서의 긁힘작용을 반영하도록 설계되었다. 그러나 윤활성이 부족한 경유는 모든 종류의 연료계통에 영향을 끼치게 된다.

1990년대 초기에 Paramins사는 부식방지제 계통의 윤활성 향상제를 처음으로 만들었지만 주입율이 높아야 했다(Swedish Class I Fuel 기준 1,000ppm). 현재는 종류에 따라 다르지만 100ppm 정도의 주입율로 가능한데, 과도하게 주입하면 부작용이 생기는 것으로 알려져 있다.

첨가제의 사용으로 대부분의 마모문제는 없어진 것으로 보이지만, Comman Rail System과 같은 고압분사를 채택하는 신기술에서 연료 윤활성의 중요성이 다시 강조되고 있다. 연료의 무황화는 이를 더욱 악화시킬 것이므로, 윤활성 규격을 조정하고 첨가제 주입율을 높이거나 새로운 화학물질을 개발하여야 할 것이다.

아래는 사용되고 있거나 고려되고있는 첨가제 물질이다

- Unsaturated Fatty Acids
- Partial Glycerids
- Mono-Acids
- Non-Acid Synthetic Esters
- Polar Acids
- Esters
- Amides

## 5. 대체연료의 윤활성

대체연료에 따라서는 윤활성향상제를 필요로 하지 않는 것도 있는데, 예를 들어 유채유계 Biodiesel은 우수한 윤활성을 내재하고 있다. 에탄올 경유의 윤활성에 대해서는 아직 잘 모르고 있으나, 현재까지의 경험으로는 윤활성이 문제가 될 것으로 예상된다. 최근 일본에서 두가지 종류(Unsaturates Fatty Acids and Partial Glycerids)의 윤활성향상제를 사용하여 GTL(Gas to Liquids) 연료와 초저유황경유(ULS)의 윤활성을 비교하는 HFRR 시험이 실시되었다. GTL과 ULS의 배합시의 윤활성도 시험되었다.

모든 GTL 연료는 ULS와 비교하여 훨씬 높은 윤활성향상제를 필요로 하였는데, 어떤 경우는 2배 정도의 주입율이 필요하였다. Di-methyl Ether(DME)도 경유엔진의 연료로 제안되어 있는데, DME도 천연윤활성분을 가지고 있지 않으므로 이의 윤활성 향상을 위한 연구가 진행되고 있다.

## 6. 윤활성 관련 중요사항 요약

### 가. 더 좋은 윤활성을 요구하는 요소들

- 강화된 유해 배출가스 규제를 맞추기 위하여 연료 분사 시스템의 압력이 훨씬 높아지고 틈이 좁아짐
- 장치들의 내구성 요구치가 높아짐
- 윤활성능을 제공하는 천연물질(황성분과 극성물질)의 제거
- 천연 윤활물질이 없는 대체연료 등장 가능성
- 일반적으로 적용 가능한 윤활성 시험 방법의 부재

### 나. 밝혀진 사실들

- 대부분의 고압 경유분사 장치는 연료에 의해 윤활

되고 있음.

- 대부분의 저유황 경유는 첨가제 없이는 적절한 수준의 윤활성을 제공하지 못함.
- 동작온도가 높고 연료분사 압력이 높은 오늘날의 저유해가스배출 경유차량은 연료에 기인한 윤활성 문제를 일으킬 가능성이 있으며, 무황화는 이 마모 문제를 악화시킬 것임.
- ASTM SLBOCLE 과 HFRR은 두가지 유망한 윤활성 시험법이며, HFRR이 더 선호되고 있음.
- SLBOCLE과 HFRR 시험은 서로 상관관계가 적음. 즉 SLBOCLE 3,100grams 기준을 만족한 연료가, EN590 기준인 HFRR WSD 460 $\mu$ m를 초과하는 결과를 보일 수 있음.
- 윤활성향상제의 과도한주입은 부작용(마모 고장)을 일으킬 수 있음.
- 2003년 7월 분사펌프 실험장치를 사용하는 새로운 ASTM 경유윤활성시험법 연구가 시작 되었음.
- 현재로는 ASTM은 경유의 윤활성 하한치로 SLBOCLE 3,100grams를 제시하고 있으나, 특히 황함량 15ppm 경유에 대하여 더 강한 규제가 필요한지 2006년에 결정할 예정임.

**다. 밝혀지지 않은 것들**

- 마모문제를 일으키는 인자들과 원리
- 윤활성향상제의 완전한 작동 원리
- 윤활성능에 대한 충분한 지식 부족 및 대체에너지/재생가능에너지의 필요성
- 사용 가능성 있는 대체에너지들의 윤활성능과 이들에 대한 현재의 첨가제들의 사용가능 여부

**라. 염려되는 사항들**

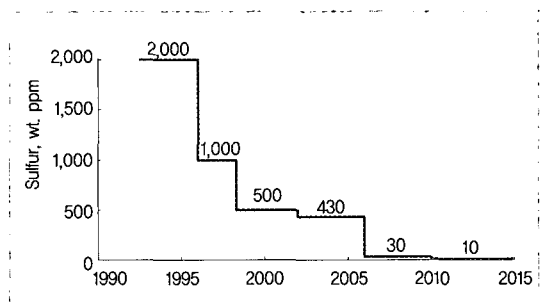
- 세계 각지에서 다른 방법으로 윤활성능을 시험하

고 있음.

- NIH(Not Invented Here) 요인과 정치적 요인들이 전세계적으로 동일한 윤활성시험법을 사용하는 것을 방해하고 있음.
- 전세계가 윤활성능을 강제하지는 않음으로 인하여, 과도한 마모에 의한 유해배출가스 증가가 발생하고 있음. 예로써 CEN의 EN 590이 윤활성 규격을 명시하였지만 EU의 Fuels Directives는 아직 이를 채택하고 있지 않음.
- 점차적으로 높은 압력을 사용해가고 있는 직분사 휘발유엔진은 윤활성 문제에 직면할 수 있음.
- 새로운 재료기술과 엔진설계기술은 미래의 윤활성 문제를 해결할 것인가?
- 연료정제기술은 탈황과정에서 천연윤활성분인 극성물질의 제거를 피하여 윤활성문제를 완화시킬 수 있을 것인가?
- 윤활성능 평가에 있어서 모의시험과 실제현상과의 상관관계가 개선될 수 있을 것인가?

**7. 국내 연료 현황**

경유 연료규격중 윤활성과 가장 관련성이 높은 황분을 위주로 국내 경유연료의 변천 과정을 <그림 3>으로 나타낼 수 있다. 2005년 까지는 430ppm 이

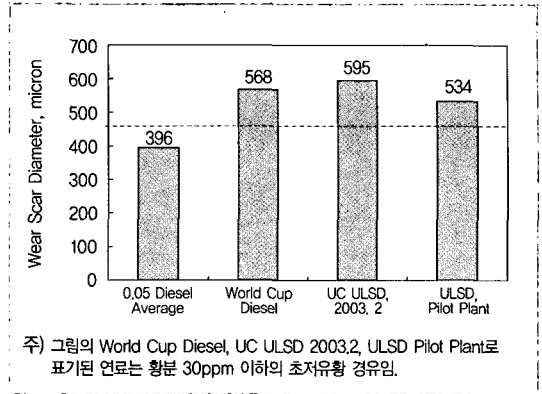


<그림 3> 국내 경유연료의 황분 규격 변천 과정

규격이지만 2006년 부터는 30ppm이 상한선이 되며, 2010년 정도에 무황연료 수준으로 인정되고 있는 10ppm이 규격화 될 것으로 예상된다. 그러나 2005년 현재에도 수도권 지역은, 심각한 대기질 개선을 위하여, 30ppm 이하의 경유가 공급되고 있다. 따라서 국내시판 경유의 규격에 2005년부터 윤활성이 포함되었으며(HFRR 460 $\mu$ m), 정유사에서는 이를 만족하는 제품을 출시하고 있다.

앞에서 30ppm 이하의 초저유황경유 제조를 위한 수첨처리 과정에서 천연윤활성분이 제거됨으로 인하여 윤활성이 나빠진다는 것을 설명한 바 있으며, 이를 확인하기 위한 실험으로 <그림 4>와 같은 결과를 얻었다.

30ppm 이상의 황분이 남아있는 경유는 제조과정에서 윤활성을 제공하는 천연 극성물질이 어느정도 살아남아 최종제품의 윤활성이 문제가 없지만, 초저유황 경유에서는 가혹한 수첨처리로 인하여 윤활성



(그림 4) 황분 제거에 따른 경유 윤활성 변화 (첨가제 주입 이전)

능이 규격을 만족하지 못할 정도로 나빠진다는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 월드컵 기간중 공급된 경유나 현재 공급되고 있는 초저유황 경유는 적절한 첨가제 처리로, 현재 및 가까운 미래에 국내에서 운행될 수 있는 모든 경유차량을 만족하는 충분한 윤활 성능을 확보하고 있다.

(조인호 : tinos@skcorp.com)

참고문헌

1. "Diesel Fuel Lubricity Requirements for Light Duty Fuel Injection Equipment", CARB Fuels Workshop, BOSCH GmbH, February 2003, Sacramento, CA
2. Manuch Nikanjam, et al., "Iso Diesel Fuel Lubricity Round Robin Program," SAE Paper No. 952372, 1995.
3. "Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig(HFRR)", ASTM 6079.
4. "Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator(SLBOCLE)", ASTM 6078.
5. Francis Palmer and Joe Colucci, "Diesel Fuel Lubricity," IFQC Special Report, September, 2003.
6. Keith Owen and Trevor Coley, "Automotive Fuels Reference Book," Second Edition, 1995.