

신연료(GTL, DME, Biomass)에 관한 일본의 연구동향

Research Trends of New-Fuels (GTL, DME & Biomass) in Japan



이 성 옥 / 일본 국토교통성 교통안전환경연구소 연구관
Seang Wock Lee / Japan National Traffic Safety and Environment Lab.

첫머리

최신의 엔진기술과 배기 후처리 기술만으로는 앞으로 더욱 엄격해질 일본의 신장기 규제치(2005년)를 만족시키기에 한계를 느끼기 시작함으로써 배출가스 저감에 보다 효과적인 대응책이라고 할 수 있는 연료설계가 주목을 받고 있다. 그 대표적인 예로서 천연가스, 석탄 및 바이오 물질을 이용해 제조가 가능한 GTL(Gas to Liquid), DME(Dimethyl Eter) 및 바이오 연료는 석유의 대체연료 뿐만 아니라 유황 및 방향족 성분이 매우 낮은 저공해 연료로도 일본내에서 연구가 활발히 이루어지고 있다. 차량개발과 함께 이들 차량의 보급확대와 인플러 구축을 위한 위원회 등을 발족시켜 종합적인 정비에 착수하였으며 이에 이들 연료의 제조, 연구개발 현황 및 엔진연료로 사용했을 경우의 문제점과 그 해결방법에 관해 소개하고자 한다.

1. GTL 연구개발 현황

1.1 GTL의 특징

GTL의 대표적인 물성치를 <표 1>에 정리하였다.

일본에서 주로 쓰이고 있는 GTL은 성상이 서로 다른 2종류(Shell사, Mossgas사)로 일반적으로 경유보다 밀도가 다소 낮고, 유황 및 방향족이 극미량이며 세탄지수는 비교적 높다는 것이 특징이라고 할 수 있다.

1.2 GTL의 제조현황

GTL의 제조방법인 Fisher Tropsch법은 CO의 수소화 반응에 의해 합성하는 방법으로 1923년 독일에서 최초로 발명하였다. 제 2차 세계대전을 전후로 독일과 남아프리카에서 석탄을 원료로 한 GTL이 상업화로 사용되었으며 그 후, 제조과정이 개량되어 간접액화는 이미 상업화 생산이 진행중이며 직접액화의 경우 현재 연구단계에 있다.

일본의 경우, GTL 제조에 관한 연구는 석유공단에서 6년간 (1998~2003년) 메탄을 이용해 등경유를 제조하는 GTL기술에 관련한 촉매조사, 연구, 제조과정의 검토가 진행되어 왔다.

GTL 제조에 있어서 핵심기술은 촉매 기술이라 할 수 있는데 GTL제조 회사중 하나인 (주)코스모 석유에서는 루테튬촉매를 이용해 제조하고 있다. 2001년부터는 천연가스를 생산하고 있는 북해도에 파일릿 플랜트를 건설하여 장래 상업화 공장을 위해 필요한

자료수집을 하고 있다.

최근에는 경유와 혼합한 연료의 보급과 동경도의 디젤자동차 배출가스 규제강화에 맞추어 수도권에서의 판매를 계획하고 있다.

〈표 1〉 GTL 및 경유의 연료물성 비교

	GTL1 (Shell)	GTL2 (Mossgas)	경유
화학식	CnH2.13n	CnH2.15n	CnH1.87n
밀도 g/cm ³	0.7737	0.7838	0.83
저발열량 J/kg	46876	44040	43200
비등점 K	513-568	>473	453-643
착화온도 K	>493	497	523
세탄지수	99	89.5	57.8
황성분 ppm m	<3	<1	340
동점도 mm ² /s	3.162	4.285	3.76
유동점 K	273	271	243-278

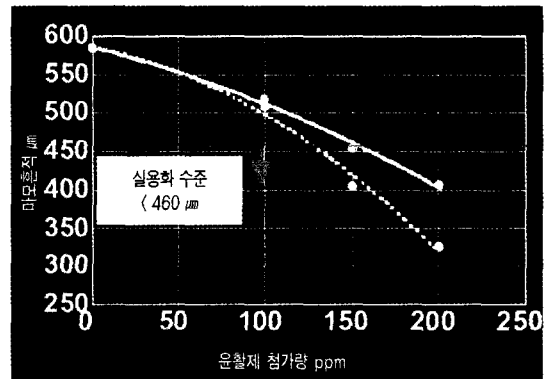
1.3 GTL의 문제점과 대책

방향족과 유황성분이 매우 적어 큰폭의 PM저감이 가능하면서 기존 디젤과 동등의 성능을 얻을 수 있고, 엔진개조가 필요없으며 배기후처리 장치에 있어서도 파독의 우려가 경유에 비해 적다는 이점이 있다.

이와는 반대로 유황분과 극성물질이 없는 관계로 윤활성이 떨어져 분사계 및 펌프내 습동부의 마모가 우려된다. 즉 윤활성 향상을 위해 윤활제를 연료에 첨가할 필요가 있으며 GTL의 윤활성 평가시험으로부터 지방산 및 에스텔류의 윤활제를 150-200 ppm첨가하면 실용화에 있어 큰 문제가 없다는 실험결과가 보고되었다.

마모시험법의 하나인 HFRR (High-Frequency Reciprocating Rig)을 이용해 반복마찰로 인해 생기

는 흔적의 크기로 평가를 한 결과를 〈그림1〉에 나타내었다.



〈그림 1〉 GTL2의 윤활성평가 시험결과

GTL을 연료로 하는 인젝터 및 펌프내에 쓰여지는 고무등은 충분한 밀폐효과가 얻어지는지 주의할 필요가 있다. 고무재료의 경우, Swelling(고무가 액체를 흡수하여 팽창하는 성질)현상에 의해 밀폐성이 결정되어지며 이는 연료중의 방향족 성분에 의해 크게 좌우된다. 따라서 방향족 성분이 적은 GTL의 경우 고무재료의 밀폐성에 대한 시험을 할 필요가 있다.

또한 〈표 1〉에 나타낸 바와 같이 GTL의 유동점은 경유에 비해 다소 높아 겨울의 낮은 기온에서 유동성이 악화될 가능성이 높다. 기존 경유는 유동성의 확보를 위해 지역에 따라 5종류의 규격을 정했으며 각각의 유동점은 특1호: 278 K이하, 1호: 270.5 K이하, 2호: 265.5 K이하, 3호: 253 K이하, 특3호: 243 K이하로 정함으로서 북해도와 같은 한랭지역에서는 유동점이 낮은 경유를 사용하고 있다.

따라서 GTL역시 각 지역에 적합한 낮은 유동점의 GTL을 준비할 필요가 있다. 그 예로서 유동점이 낮은 GTL등유를 GTL2:GTL등유=2:1로 혼합함으로써 일본규격 2호경유와 동등한 유동성을 확보할 수 있다.

2. DME연구개발 현황

2.2 DME의 제조현황

표준상태에서는 기체상태로 존재한다. 따라서 운반, 저장 등의 취급은 LPG와 유사한 방식으로 할 수 있다. DME를 엔진에 적용할 경우, 5기압 전후로 가압을 하여 액화상태로 연소실내 직접분사하는 방식과 흡기관에 DME를 공급하여 예혼합 압축착화 방식을 고려할 수 있다. 연소의 특징으로는 분자내에 산소원소가 함유되어 있어 무연연소가 가능하며 동시에 양호한 착화성능을 들 수 있다.

2.2 DME의 제조현황

일본의 미쯔비시화학과 JFE그룹이 DME제조에서 선두적인 역할을 하고 있으며 특히 JFE에서는 1997년부터 5년계획으로 1일 생산상 5t의 실증생산시험과 함께 95%의 전환효율을 달성하였다. 또한 2002~2006년의 4년간 계획으로 1일 100t이상의 생산이 가능한 공장을 설립하여 실용화를 목표로 하고 있다. 또한 미쯔비시화학과 JFE그룹은 호주에서, 미쯔이물산은 인도네시아에서 각각 생산을 준비하고 있으며 각 회사의 제조량을 합산해 보면 2006년에는 연간 약 170-320만t의 공급이 가능하리라 예상되어 진다.

2.3 연구동향

자원에너지청에서는 DME의 제조에서 이용까지의 가능성과 문제점들을 검토하기 위해 2002년도에 연구개발 위원회를 발족하고 제조, 유통, 보안의 종합적인 정비에 착수하였다. 또한 국제 DME포럼 및 일본 DME포럼도 이들과 연계하여 연료의 표준화와 보급 확대에 관해 진행하고 있다.

이용기술에 관한 연구개발도 활발히 진행되고 있으며 주요 프로젝트로는 다음과 같다.

- 가나가와현(神奈川縣)
 - 기계식펌프 DME트럭(JFE사),
 - 커먼레일식 DME트럭(이스즈)
 - DME자동차 보급 모델사업(2003-)
- NEDO
 - ACE프로젝트중 하이브리드 DME 자동차 개발 (히노, 1997-2003)
- 국토교통성
 - DME자동차평가사업 (이스즈, 닛산디젤, 1998-2001)
 - 차세대 저공해자동차(닛산디젤, 2002-2004)
- 자원에너지청 및 LPG 진흥센터: DME연료의 실용화 기반정비사업(2001-)
- 석유공단: 발전용 엔진, 소형자동차, 연료전지, 보일러, 중대형 자동차



〈그림 2〉 개발된 각종 DME차량

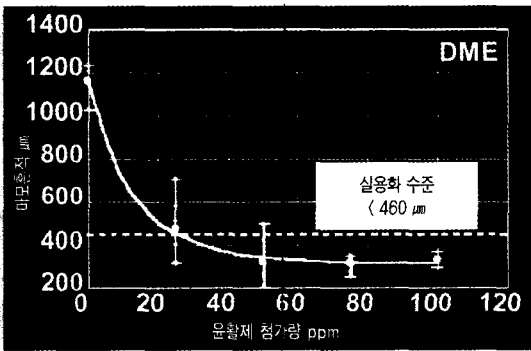
2006년 실용화를 목표로 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 동시에 연료의 물성 및 분무 및 연소에 관한 기초연구의 중요성이 인식되는 등 각각의 프로젝트로부터 흥미있는 연구결과들이 얻어지고 있다.

2.4 DME의 문제점과 대책

LPG와 마찬가지로 운반성이 비교적 양호하며 세탄가가 높고 무연연소가 가능하다는 이점이 있는 반

면 경우에 비해 윤활성, 점도가 낮아 연료공급장치와 마모 등의 문제가 생길 수 있다. 따라서 엔진연료로서 사용할 경우 GTL과 마찬가지로 윤활성의 개선이 필요하며 또한 고무재료를 사용할 경우 DME에 적합한 재료를 사용하여야만 한다.

마모시험법인 HFRR의 시험결과를 <그림 3>에 나타내었다. 윤활제를 첨가하지 않을 경우 1,200 μ m의 마모흔적이 생겼으나 30 ppm의 첨가로도 실용화가 가능함을 알 수 있다. 그 이상 윤활제를 첨가하여도 마모에는 큰 효과가 나타나지 않았으며 측정치의 변동범위로부터 50 ppm전후가 적정량이라고 할 수 있다.



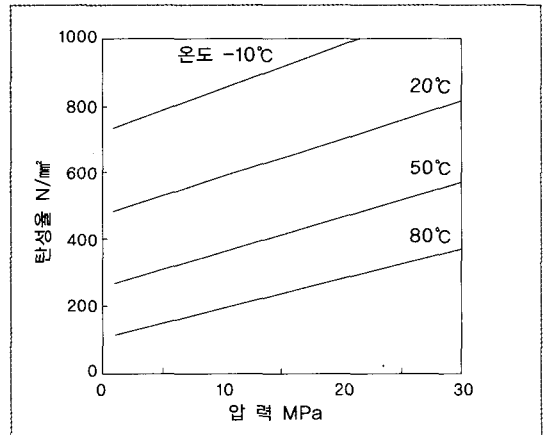
<그림 3> DME의 윤활성평가 시험결과

DME역시 고무재료의 Swelling현상으로 인해 밀폐 시험이 필요하며 시험결과를 <표 2>에 정리하였다. IIR, FFKM, NBR 등이 비교적 DME에 적합한 것으로 나타났다.

<그림 4>는 DME온도와 압력에 대한 체적탄성율의 관계를 나타내고 있다. 체적탄성율은 연료분사특성에 큰 영향을 주며 특히 기계식 펌프로 가압시, 연료의 체적이 줄어들어 고부하 및 고속운전 영역에서 출력저하를 일으킬 우려가 있다. 이를 억제하기 위해 연료의 온도를 낮추는 것이 가장 효과적이며 따라서 연료공급계에 있어서 냉각장치가 필요하다.

<표 2> 고무재료의 DME에 대한 적합성 시험

재 질	침투시험	가스침투시험
NBR	○ ~ X	○ ~ X
HNBR	○ ~ X	○ ~ X
CR	○ ~ △	△ ~ X
IIR	○	○
NBR/PVC	X	○
FKM	X	○
NR	△ ~ X	△ ~ X
VMQ	△	△ ~ X
FFKM	○	○



<그림 4> DME의 체적탄성률 변화

3. 바이오 연료

3.1 바이오 연료의 특징

바이오 연료(생물자원)를 연소시킬 때 발행하는 CO₂는 원료인 식물이 대기로부터 흡수한 CO₂이므로 생태 사이클적인 관점에서 대기중의 CO₂를 증가시키지 않는다고 할 수 있다. 즉 온실효과가스 배출량에

가산되지 않으며 현행의 석유계 연료에 혼합하여 사용할 경우, 혼합비율 만큼의 온실효과가스 배출량을 저감하는 효과가 가능하다는 이야기가 된다. 바이오 연료는 교토시(京都)와 시가현(滋賀県) 등에서 폐식용유를 이용한 차량시험이 진행되고 있으며 또한 이에 관한 연구회가 설립되어 제조에서 이용시스템까지 폭넓은 연구가 이루어지고 있다.

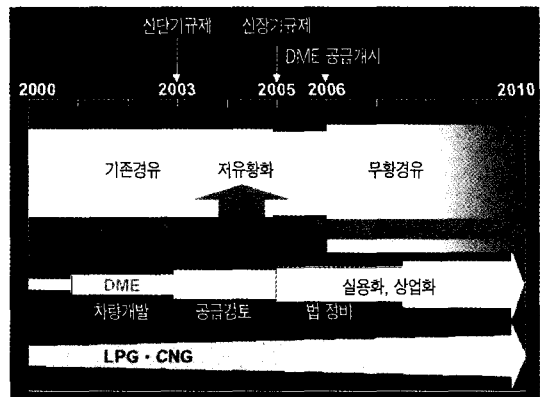
환경성의 [온난화대책 기술검토회]에서는 온실효과가스의 저감목표를 달성하기 위해 자동차용 가솔린에 바이오 연료로서 알코올을 10% 혼합한다는 방침을 세웠다. 가솔린의 품질기준을 결정하는 경제산업성에서는 일부 시장에 나와 있는 고농도 알코올 혼합 연료에 관해 안전 및 환경적인 관점에서 규제를 강화하는 한편 저농도 에탄올(5%이하) 혼합 가솔린에 관해서는 환경성과 마찬가지로 온실효과 가스배출량 저감의 관점에서 판매기준을 1년 이내에 명확히 할 것을 검토하고 있다.

NEDO(신에너지 개발기구)에서는 [바이오 연료에너지의 고효율 전환기술개발]이라고 하는 프로젝트 중 [바이오 에탄올 등의 자동차용 연료에의 적용기술개발]의 연구개발을 발족하였으며 조만간 바이오 연료가 시장에 판매될 가능성이 높아지고 있다. 경유의 경우, 알코올이 아닌 에스테르화된 FAME(지방산 메틸 에스테르)의 저농도 첨가가 검토되고 있으나 아직까지는 조사단계에 머물러 있다.

마무리

DME, GTL 및 바이오 연료를 중심으로 자동차용 신연료의 연구개발 현황 및 실용화에 있어서의 문제

점과 그 해결책을 살펴보았다. 성상이 기존의 연료와 달라 주로 연료공급계의 개조가 불가피하는 등 개발상의 여러 난관있으나 이들을 착실히 해결해 나가는 것이 중요하리라 생각된다. 보급에 있어서 GTL은 경유에 혼합사용한 후 점차 단독으로 사용해 나감으로서 확대할 예정에 있고 DME의 경우 개발이 완료된 엔진 및 차량의 신뢰성, 청정성이 확인되면 공급확대를 위해 인플러 검토, 법 정비가 진행될 전망이다.



〈그림 5〉 신 연료의 발전전망

관련 홈페이지

- <http://www.co-opev.co.jp/0310103evgoto.pdf>
- 석유공단: http://www.jnoc.go.jp/c_lng.html
- 석유자원개발: <http://www.japex.co.jp/>
- 일본 DME포럼: <http://www.dmeforum.jp/>
- 국제 DME포럼: <http://www.aboutdme.org/>
- 아시아에 있어서 신연료 및 윤활유의 현황과 장래: 2003 자동차학회 춘계대회 GIA 포럼

(이성욱 편집위원 : leesw@ntsel.jp)