

## 석유대체 자동차용 연료에 관한 일본의 연구 동향

이 대 업 박사 · 일본기계기술연구소 연소공학연구실

1970년대의 석유위기 이후에 일본의 일차에너지 공급구성을 보면, 석유에 대한 의존비율(1996년 현재 55.2%)이 점차 감소하고 있고, 석탄(16.4%), 수력, 지열 그리고 신에너지원등에 대한 의존비율도 감소하고 있다. 반면 천연가스(11.4%)와 원자력(12.3%)은 지속적인 증가경향을 나타내고 있다. 석유의 매장량과 채굴가능 년수는 지역에 따라 많은 편차가 있으나 현재 약44년 정도로 추정하고 있다. 그러나 40년간 문제가 없다는 의미가 아니라, 후반에는 지역적으로 공급 불균형 및 가격 상승의 현상이 발생할 것으로 예측되고 있다. 석유계의 자동차용 연료로써는 가솔린, 경유 및 LPG가 있다. 석유에 대한 의존성으로 인해 석유계 연료를 사용하는 엔진의 고효율화 연구는 당연한 것이나, 현재 국제시장에 공급 여력이 있는 LPG의 유효이용이 주목받고 있다. 석유의 소비를 가능한 한 절약하고, 석유위기와 같은 사태를 다시 맞지 않기 위해 여러 가지의 대체에너지의 연구개발이 진행된다.

자동차용 연료로 사용되기 위해서는 안전성, 공급체계, 공급량의 확보, 운반성, 저가격, 엔진에의 적용성, 이용 차량가격등의 조건이 충분히 만족되어야 한다. 개별 연료의 특성 및 연구동향을 살펴보기 전에 배기가스 및 연비 규제동향에 대하여 알아

본다.

(1) 가솔린차 : 2000년 10월부터 승용차를 시작으로 하여 대폭적으로 규제가 강화된다. 이 규제와 현행의 1998년 규제에 대하여 규제치 레벨을 비교하면 표1과 같다. 즉, 약 70%의 삭감이 요구되고 있다. 2005년 경에는 이로부터 50%정도(현행 1998년 규제에 대하여는 1/6레벨)의 삭감이 검토되고 있다.

(2) 디젤차 : 2002년 10월부터 승용차를 시작으로 규제가 강화된다. 현행의 장기규제와 규제치 레벨을 비교한 결과를 역시 표1에 나타내었다.

이로부터 NOx와 PM은 약30%, CO와 HC는 약 70%의 삭감이 요구되고 있음을 볼 수 있다. 2007년경에는 게다가 이로부터 50%정도의 규제가 검토되고 있다.

(3) 연비규제 : 교토회의의 의정서에 따라 1995년을 기준으로 한 연비개선 목표치가 제시되었다. 예를 들어, 가솔린승용차는 2010년까지 평균 약 23%의 연비개선, 디젤승용차는 2005년도까지 평균 약 15%의 연비개선이 요구되고 있다. 관성중량 1500kg 급의 가솔린승용차에서는 10.15모드에서 13.0km/L의 연비가 요구되는 등 아주 엄격한 조건이 요구되고 있다.

〈표 1〉 가솔린 승용차와 디젤차의 배기 규제

		2000년 규제	1998년 규제
가솔린차 (10.15모드 (g/km))	CO	0.67	2.10
	HC	0.08	0.25
	NOx	0.08	0.25
디젤차 (g/km)	CO	0.63	2.10
	HC	0.12	0.40
	NOx	0.28	0.40
	PM	0.052	0.08

## 크린 에너지 자동차

석유대체 연료 자동차라고 하면, 천연가스 자동차, 메탄올 자동차, 수소 자동차를 들 수 있다. 여기에 전기자동차를 더하여 '저공해차'로 분류하기도 한다. 그러나 최근에는 이러한 협의의 카테고리를 벗어나, 크린에너지 자동차라고 하는 현실적인 개념이 정착되고 있다. 이런 크린에너지 자동차에는 앞의 저공해 자동차에 하이브리드 자동차, 디젤 대체 LPG자동차를 더한 것이다. 장래 DME(디메틸 에테르) 자동차 및 바이오매스 자동차등도 궤도에 오르면 여기에 첨가될 수 있을 것이다.

표2에 각종 크린에너지 자동차의 특징을 표시하였다. 연료의 특성에 따라 항속거리, 연료 공급체계, 차량의 가격, 연료의 가격등의 여러 가지 문제를 갖고 있으나, 사용자나 특정한 지역에 사용목적에 맞출 경우에는 보급이 충분히 가능한 여지가 있고, 또한 자동차용 에너지의 다양화 측면에서도 매우 중요하다.

## 액화석유가스(LPG)

일본의 LPG 소비량은 연간 약 2000만톤에 달하고, 전체소비 에너지의 약 5%를 점하고 있다. LPG 자동차는 택시를 중심으로 약 30만대가 주행되고 있고, 충전소도 1900개소에 이른다. LPG 총공급량의 약 9%인 180만톤이 자동차용 연료로 소비되고 있다. 최근에는 소형트럭도 각 자동차 메이

커가 제작하고 있고, 1998년 말에는 약 1만대에 달하고 있다. 일본 LP가스협회가 저공해성의 확인시험을 행한 결과, 몇 년간 사용한 차량에서도 배출가스 규제치의 1/10~1/5의 양호한 결과를 보여주고 있다.

LPG엔진의 장래 연구개발에 대해서는 우선 실린더내 직접분사 불꽃점화기관을 생각할 수 있다. 이 방식은 GDI에서와 같은 여러 가지 장점을 갖고 있다. 세탄가 향상제를 첨가하여 경유와 같은 디젤연료로 사용하고자 하는 연구도 본 연구실과 이와타니산업의 참여하에 진행되고 있고 프로토타입 차량이 제작되어 실증실험을 진행하고 있다. 일본에서는 액상으로 2기압이상, 가스상태에서 1기압 이상으로 분사하는 경우 고압가스의 규제를 적용하고 있다. 그러나, 자동차용의 경우에는 적용대상에서 제외하는 것으로 관련법의 정리가 진행되고 있다. 이것은 CNG또는 DME 등의 직접분사에도 적용된다.

## 천연가스

천연가스는 1996년 현재 채굴가능 년수가 약 63년이기 때문에 석유에 비하여 약 19년 정도를 더 채굴할 수 있다. 또한 장래의 매장량이 현재보다 약 3배 정도로 예측되고 있다. 일본열도 주변의 해구에 현재 일본국내 천연가스 소비량의 100년분에 해당하는 메탄하이드라이드가 존재하고 있기 때문에 매장량의 측면에서는 석유보다 유리하다. 자동차용 연료로 사용하는 경우에는 천연가스를 기체상태 그대로 가압(200kg·f/cm<sup>2</sup>)하여 가스용기에 충전한 압축천연가스(CNG)의 형태로 사용하고 있다. 그러나 CNG자동차는 1회 충전시 주행거리가 약 200km로 짧고, 연료탱크의 중량등이 문제점으로 남아있다.

CNG엔진의 연구개발 상황을 보면 연소방식에 따라 공급하는 연료종의 관점에서 보면, 천연가스만을 연료로 하는 전소방식과 다른 연료와 조합하여 사용하는 방식이 있다. 이 가운데 가솔린등과 천

〈표 2〉 각종 크린에너지 자동차의 특징 비교

		전기자동차(EV)	압축천연가스 자동차(CNGV)	메탄올자동차(MV)	하이브리드 자동차(HV)	디젤대체LPG차(D-LPGV)
배출 가스	CO <sub>2</sub>	0.5	0.8	1.1	0.5~0.8	1.1
	NOx	0.1	0.2	0.5	0.1~0.8	0.2
	PM	0	0	0	0~0.3	0
항속거리		0.2	0.3	0.5	1.1~1.8	1
차량가격		2~5	1.2~2	1.5~2	1.2~3	+ 20만엔
주행비용		1~2	1~2	0.9	0.8~0.9	1
기술과제		항속거리	연료공급	연료공급	경량화	연료공급
1996년도 말의 보급대수		2500	1200	300	200	7600
2010년의 목표 보급대수		20만대	100만대	22만대	180만대	22만대
지구온난화에 관한 심의회합동회의 (1997. 9) 시점의 계산						
적용장소		경·소형	4톤트럭등	2톤트럭·버스	소형·버스	2톤트럭 등
		단거리	단중거리	중거리	장거리	중장거리

주) 배출가스, 항속거리, 차량가격은 기존의 동형 디젤차를 1.0으로 한 경우에 대한 비교. 연료정제시의 발생가스도 포함. 주행비용은 동일거리주행시의 연료가격의 비교(년간 10만대 양산을 가정, 디젤차를 1.0으로 한 경우의 비교)

연가스를 교체하여 사용할 수 있는 bi-fuel방식과 점화에 경유를 사용하는 dual-fuel방식이 있다. 천연가스는 옥탄가가 높아서 자착화가 곤란하기 때문에 점화 장치가 필요한 불꽃점화 방식, glow plug 방식 및 dual-fuel방식등이 있다. 이가운데 불꽃점화 예혼합전소방식의 개발이 가장 많이 진행되어 왔고, light duty를 중심으로 한 승용차 및 트럭용의 엔진이 이미 실용화되어 있다. 가솔린엔진과 비교하여 10~20%의 출력저하가 있기 때문에 고압축비화, 과급, 흡기포트 및 밸브계의 개선등이 연구되고 있다. 트럭등의 디젤차를 대체하는 천연가스 자동차를 보급하기 위해서는 열효율의 개선이 중요한 과제가 되고 있다. 이를 위해 불꽃점화 또는 글로우플러그 직접분사 전소방식, 직접분사 dual-fuel방식등의 디젤사이클의 연소방식에 의한 열효율향상이 연구되고 있다. 이경우에 고압분사를 위한 가압으로 인해 구동손실이 발생하기 때문에 LNG를 가압하여 주변열에 의해 기화를 시키면서

고압가스를 얻는 방식등이 연구되고 있다. 혼다자동차가 개발 시판하고 있는 CNG차는 10만마일 내구 테스트후에도 캘리포니아 ULEV 규제치의 1/10 정도의 배기가스특성을 보여주고 있다. CNG 트럭의 경우를 보면, 1994년 디젤트럭의 규제치와 비교를 해보면 PM 및 SO<sub>x</sub>가 거의 100%, NO<sub>x</sub>가 약80%, CO가 약 90%, HC가 약 50% 저감됨을 알 수 있다. 열효율을 향상시키기 위해 직접분사를 수행할 경우에는 혼합기의 불균일화에 의해 예혼합 방식에 비하여 NO<sub>x</sub> 배출량이 증가하기 때문에 2단 분사에 의해 NO<sub>x</sub> 배출량을 저감시키려는 연구도 시도되고 있다. CO<sub>2</sub> 배출량은 가솔린차에 비해 약 20% 이상 저감되고 있다.

천연가스는 매장량이 많고, 산출지가 넓은점 등 가장 유력한 석유대체 연료의 하나이다. Light duty차량에서는 ULEV를 초과하여 전지자동차에 필적하는 저공해성의 잠재력을 갖고 있다. Heavy duty차량에서는 연비, 항속거리등의 과제가 남아

있다. 경유를 대체하는 연료로써 저렴한 합성연료가 제조되지 않는한 천연가스는 가장 유망한 연료의 하나이다. CNG 충전소는 일본 전국토의 약 5% 범위에 한정되어 있기 때문에, 광범위한 천연가스의 이용을 위해서는 LNG차의 개발을 시작으로 하여 불꽃점화 예혼합전소방식의 엔진과 LNG 연료용기를 결합한 대형 LNG트럭의 실용화 연구가 진행되고 있다.

천연가스 자동차계의 규제완화가 진행되고 있는 가운데, 특히, 가솔린, 경유에 대한 천연가스 연료의 가격등의 경제적 요인이 금후의 천연가스자동차 보급에 큰 요인이 될 것이다.

### 디메틸에테르(DME)

디메틸에테르는  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ 로 표현되는 가장 분자구조가 간단한 에테르이다. 이 물질은 메탄올의 탈수반응 또는 메탄올 합성시 나오는 부산물로서 세계에서 연간 10만톤 정도 생산되고 있고, 이 가운데 10%정도가 일본에서 생산되고 있다. 연료로써 DME는 원래 합성가솔린 제조시의 중간물질로서 간주되었지만, 원유가격의 하락에 따라 관심을 잃게 되었다. 이후, 메탄올 불꽃점화기관의 시동보조, 메탄올 압축점화 기관의 착화촉진등의 목적으

로 연구가 되어왔다. 최근에는 천연가스 또는 석탄으로부터 직접 DME를 제조하는 공정이 개발되어 경유에 필적하는 가격대로 제조가 가능하게 됨으로서 압축점화기관의 연료로 사용하여 청정연소가 가능함에 따라 많은 관심을 모으고 있다. ULEV의 규제를 만족시킬 수 있는 잠재력을 갖고 있기 때문에, 차세대연료로서 주목을 받고 있다. 그러나 종래의 연료와는 물성이 다르기 때문에 여러 가지 장단점을 갖고 있다. 즉, 증기압이 530kPa로 낮고, 자착화온도는 235도, 빙점은 -24.8도이다. 저장용기는 LPG와 같은 형태로 할 수 있고, 자착화 온도가 낮기 때문에 압축점화 기관의 연료로써는 최적이다. 또한 수트를 배출하지 않는 운전이 가능하기 때문에, NOx 배출저감만을 고려한 엔진 개발이 가능하게 된다. 또한, 연료의 연소실내 직접분사 방식에 의해 착화지연 시간을 단축시킬 수 있어 4행정뿐만 아니라 2행정 기관에도 적용가능성이 있다. 그러나 연료공급 계통의 온도제어가 필요하게 되고, 운환성 부족과 낮은 점도, 그리고 낮은 체적탄성율등으로 인해 연료공급 계통의 설계시에 문제가 된다.

〈이대엽편집위원:Lee@mgflame.mel.go..jp〉