

가스엔진 기술 개발 및 차량 보급 동향

Trends of R&D for Gas Engine and Vehicle Promotion

정 동 수

D. S. Jeong

1. 서론

최근 교통 차량의 증가로 인한 도심지 공기 오염 및 지구온난화의 환경보호라는 심각한 문제를 완화시키고 석유자원 의존도 탈피와 에너지 절약에도 크게 이바지 할 수 있다는 장점이 크게 부각됨에 따라 청정연료차량이 전 세계적으로 널리 보급되고 있다.

청정연료차량으로는 LPG, CNG/LNG, HEV/EV (하이브리드/전기자동차), Fuel Cell 자동차 외에 Methanol과 DME 자동차 등이 해당되지만은 당분간은 LPG, CNG차량이 주류를 이루다가 서서히 HEV/EV, Fuel Cell 자동차로 대체될 것으로 믿고 있다.

현재 전 세계적으로 널리 보급되고 있는 청정에너지 차량으로는 LPG와 CNG차량으로써 전 세계적으로 LPG차량은 약 500만대, 그리고 CNG차량은 약 120만대가 운행되고 있다. LPG와 CNG 엔진은 가스연료로서 서로 다른 연료의 특성차이는 있겠지만 기술적으로 서로 유사한 점이 많다. 따라서 공통적으로 보급 초기에는 「1세대 기술」인 간단한 mixer타입이 활용되다가 「2세대 기술」인 슬레노이드 밸브 장착을 통해 피드백 제어로 효율을 증가시키는 등의 개발을 통해 현재는 진보된 「3세대 기술」로서 연료를 흡기포트에 전자제어로 분사하는 방식이 개발되어 승용차 및 대형엔진으로 보급되고 있다. 또한 아직 실용화는 되지 않았지만 연소실 내 연료를 직접 분사하는 「4세대 기술」의 연구개발이 한창 진행되고 있다.

우리나라와 규모나 에너지 수급 입장 등에서 유사한 점이 많으면서 선진국인 영국과 일본을 모델 케이스로 하여, LPG와 CNG차량을 중심으로 청정연료차량 보급정책과 기술개발 현황을 조사 분석하여 소개함으로써 향후 국내 청정연료차량 기술 개발과 보급정책에 지침을 제시하고자 한다.

2. 가스엔진 기술개발 동향

LPG차는 택시 등 승용차를 중심으로 보급되기 시작하여 초기에는 제1세대의 open loop 믹서 방식에 의한 LPG엔진이 주류를 이루었으며 LPG 연료탱크도 교환식이었다가 고정식으로 바뀌었다. 점차 배기가스 규제가 강화되어, LPG차도 3원 촉매를 사용한 closed loop제어 믹서 방식과 전자제어 feed back제어 mixer 방식에 의한 제2세대 기술로 발전하였다. 그러다가 가솔린엔진이 전자제어 가압연료분사로 보급이 확대됨에 따라 LPG엔진도 전자제어 가압연료분사에 의한 제3세대 기술로 발전하였다. 제3세대 기술에는 기상 SPI, MPI 그리고 액상MPI로 실용화 단계까지 발전하였으며, 현재는 연소실내 직접 연료를 분사하는 제4세대 기술에 도전하고 있다.

CNG 가스엔진의 경우도 LPG의 경우와 마찬가지로 제1세대기술에서 출발하여 최근까지 주로 제2세대기술의 전자제어 믹서방식이 주류를 이루었다가 가솔린의 연료분사방식이 보편화된 이후 CNG차도 기체연료분사의 제3세대 기술로 보급이 확대되고 있고, 역시 직분식의 제4세대 기술에 도전하고 있으나 LPG에 비해 기술적인 어려움이 많다.

CNG엔진의 경우,이론 공연비 조건하에 3원촉매를 사용하는 방식과 촉매가 없는 희박연소 방식으로 구분할 수 있는데, 둘 다 장단점을 갖고 있지만 연비 면에서는 희박연소 방식이 유리하나 배기가스저감 효과 면에서는 촉매를 사용하는 것이 더 효과적이다. 또한 희박연소 방식이면서 산화촉매를 사용하는 방식도 개발되고 있다.

1997년도부터 2003년도까지 7년간에 걸쳐 통상 산업부의 보조를 받아 신 에너지·산업기술 종합개발기구(NEDO)에서 Advanced Clean Energy (ACE) Vehicle Project를 수행하고 있으며, 연비를 대폭 향상시키는 hybrid 자동차와 청정 에너지 자동차 개발을 목표로 하고 있다.

ACE 프로젝트를 미국의 PNGV 프로젝트와 비교하여 보면 PNGV 프로젝트는 비교적 용이하게

접수일 : 2001년 2월 5일

정동수 : 한국기계연구원 엔진환경그룹

개발할 수 있는 현실적인 것으로 기술개발 목표가 설정되어 있는데 비하여 ACE 프로젝트는 기술적으로 곤란하지만 보다 고효율이 가능한 선진적인 기술을 포함시켜 개발하고 있다. 예를 들면 hybrid/전기자동차의 경우, PNGV 프로젝트에서의 hybrid 구조는 병렬식이고 에너지 저장장치에는 nickel 수소 혹은 리튬 이온전지, 그리고 보조 동력원에는 합성 연료를 사용하는 직분식 diesel 엔진이 선정되었는데 비해, ACE 프로젝트에서는 직렬·병렬식 hybrid 구조, flywheel 밧데리나 ultracapacitor, 메탄올 개질 연료전지, CNG 자기 착화식 세라믹스 엔진이나 DME 엔진 등 여러 시스템을 개발하고 있다.

ACE 프로젝트의 처음에는 청정에너지 자동차 대상으로 hybrid/전기자동차, 천연가스(CNG/LNG) 자동차와 메탄올 자동차만을 한정하였다가 나중에 LPG자동차도 포함시키고 있다.

이 사업의구체적인 개발목표는 다음과 같다.

- 최종 연도에는 prototype 자동차를 제작.
- 연료는 석유 대체 연료를 사용.
- 주행에너지 소비율 및 CO₂ 배출율은 기존차의 1/2 이하로 함.
- 배출가스의 저감목표는 환경청이 정하는 기술 지침서의 초저배출가스 규격을 만족.

최근 일본에서 이 사업의 일환으로 중형트럭을 대상으로 6100cc 린번 터보 LPG 엔진, 직접분사식 LPG와 CNG 엔진 등을 활발히 개발하고 있다.

2.1 Lean Burn 방식의 LPG 엔진 개발

일본의 경우,1992년에서 1997년까지 6개년 계획으로 통산성의 보조에 의해 (재)LP가스진흥센터와 닛산디젤공업이 공동으로 4톤을 적재하는 트럭의 'lean burn 방식 LPG 중형 상용차'의 개발이 진행되었다. LP가스 시제품 차량을 2대 제작하여 배기 배출 공해가스 성분을 비교한 결과 디젤차량과 NO_x가 63%, HC가 80%, CO와 smoke는 거의 100% 정도까지 저감시킬 수 있어 디젤차에 비해 큰 폭으로 청정화를 실현하고 있다. 개발 당시는 고압가스 보안법에 따라 연료의 가압분사가 허용되지 않아, 기화상태에서 2기압 이내의 기체 가압 분사까지 가능하였는데 이 때문에 각 기통에 multi-point injection이 어려워 single point를 채택하였다. 따라서 연료압력 저 가압 injection system을 새로이 개발해서 사용하였다. lean burn 엔진으로 저연비 성능을 추구하고 lean burn화로 인해 발생하는 출력저하는 intercooler 부착 turbo charger를 사용하여 출력 보정을 하고 있다. 내구성은 현재

동급 디젤 차량과 거의 같은 수준이다. 또 LPG 차량으로는 처음으로 배기 브레이크를 채택하여 운전자로부터 우수하다는 평을 받고 있다.

Table 1은 개발대상 엔진의 주요 제원이다.

Table 1 Specifications of prototype engine

항 목	LPG 엔진	디젤 엔진
배기량(L)	6.925	6.925
실린더 수	직렬 6	직렬 6
내경× 행정(mm)	108× 126	108× 126
압축비	9	18
최고출력(kw/rpm)	143/2800	143/3000
최대토크(Nm/rpm)	568/1600	500/1600
연료공급장치	일점 분사	In-line 분사
점화장치	전자 배전	×
과급장치	T/C	×
연료공급방식	흡기관 분사	연소실 직분
연소실 형상	bath tub 형	Re-ent트로이달
사용연료	LPG	경유

Fig. 1은 린번방식 LPG시스템의 구조도이고, 동일 디젤차량과 성능을 비교한 결과는 다음과 같다.

- 연 비 : 디젤보다 조금 나쁨
- 시동성 : 디젤보다 조금 나쁨
- 발진성 : 디젤보다 조금 나쁨
- 아이들 안정성 : 디젤과 동급 수준
- 발진가속성 : 디젤과 동급 수준
- 중간가속성 : 디젤보다 조금 우수

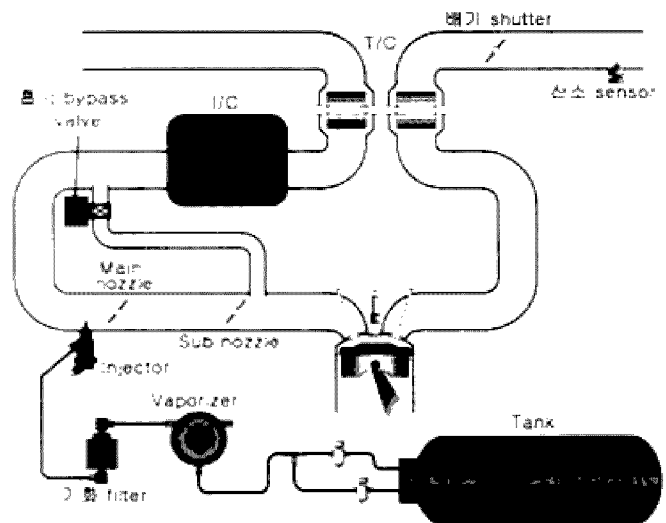


Fig. 1 Schematic diagram of lean burn LPG engine

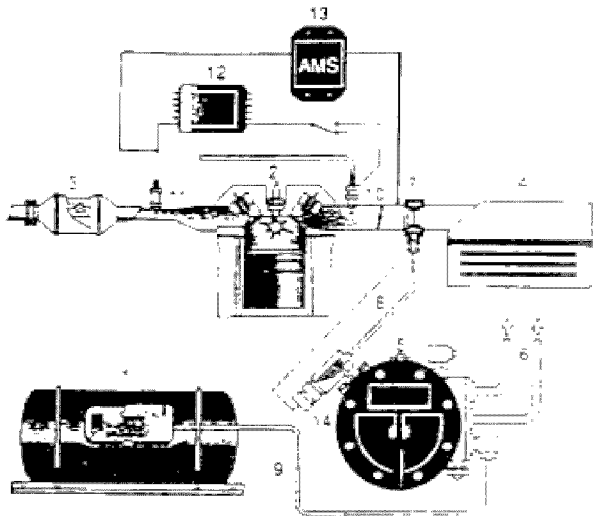
- 등관성 : 디젤보다 상당히 우수
- 진 동 : 디젤보다 상당히 우수
- 차내소음 : 디젤보다 상당히 우수
- 배기가스냄새 : 디젤보다 상당히 우수
- 매 연 : 디젤보다 매우 우수

2.2 다점 액상 분사 (Multi Point Liquid Injection)
LPG 엔진

현재 개발되어 상용화되어 있는 전자제어 다점 기상 분사 시스템과는 달리 Fig. 2에서와 같이 흡기포트에 액체 상태 연료를 분사하는 이 장치는 네델란드의 Vialle, 이태리Tartarini, 프랑스Roxer에서 개발하였고, 최근에는 일본의 Aisan에서도 개발을 하였다.

현재 유럽의 일부 국가에서는 소형승용차 뿐만 아니라 대형버스에 적용하여 운행이 되고 있지만 연료펌프, 인젝터, 연료탱크 등 연료라인상의 일부 부품에 대한 내구성에 대해 신뢰하지 못하는 분위기가 남아 있다.

영국, 일본, 한국 등에서는 시제품 차량으로 운행은 하고 있으나 실용화는 아직 되고 있지 않으나 조만간 몇 가지의 문제점만 해결될 경우 널리 보급될 첨단 기술로 인정되고 있다.



1: Tank, 2: Combustion chamber, 3: Catalyst, 4: Air cleaner, 5: Vaporiser, 6: Coolant, 7: Gas-air mixer, 8: Low pressure hose, 9: High pressure hose, 10: Gasoline injector, 11: Oxygen sensor, 12: Gasoline ECU (Electronic Control Unit), 13: Autogas Management System, 14: Stepper motor.

Fig. 2 Vialle AMS microprocessor controlled LPG system

2.3 LPG 직분엔진 개발

본 사업의 개요는 디젤 자동차가 주류인 중형 사용차의 분야에서 LP 가스를 연료로 하여 고효율화로 에너지를 절약과 온실효과 가스 배출의 억제하고, 저공해화로 환경개선을 달성하는 고효율 LP 가스 엔진을 개발해서 차량 총 중량 8ton급, 최대 적재량 4ton급의 중형상용차를 제작·평가하고, 최종적으로 중형 사용차에 실용화까지 전개하는 것을 목적으로 하여 중형 상용차에 탑재할 LP 가스 액상 직접 연소실내 분사식 엔진을 개발 하고자 하는 것이다.

일본 (재)LPG가스진흥센터 내에 기술개발 위원회를 설치해서 이 심의를 기초로 하여 산학연이 협력하여 기술개발을 수행하고 있다. 1999년도에 시작하여 2002년까지 4년간의 예정으로 해서 희박, 성층연소등으로 고효율화와 저공해화를 달성하는 LP가스 엔진을 개발해서 이 엔진을 탑재한 중형 상용차를 개발하고자 한다. 따라서 희박연소, 성층연소를 실현하기 위해서는 LP가스의 분무과정이거나 연소과정에 불명확한 점이 많으므로, 요소연소나 simulation에 해석을 병행 실시하여 엔진 개발을 지원하고 있다.

또한 각종 요소기술 개발, 엔진기초연구개발, 엔진실용화 연구 등으로 차량 개발을 지원하고자 LP 가스 분무의 발달과정, 혼합기의 형성과정 등 연소 과정에 관한 연구를 수행하고 있다.

열효율 목표값은 Table 2와 같고, 배출가스 목표는 Table 3과 같다.

Table 2 Target of fuel efficiency

차종	고효율 LPG가스 엔진 차	디젤연료 차
13 mode 평균열효율	30~32%	30~35%

Table 3 Target of emission reduction

	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	CO (g/kWh)
고효율 LPG가스 목표치	1.4	0.2	0.01
규제치 :			
-가솔린/LPG (2001년도)	1.4	0.58	16.0
-디젤 (2004년도)	3.38	0.87	2.22

개발 대상 엔진의 개요는 Table 4와 같으며, 연구 개발내용은 다음과 같다.

- 기술 동향 조사, 시장조사
- 실린더내 직분방식 관련 기초요소기술 개발
- 분무, 연소과정의 simulation 해석
- 대기통 엔진에 대한 기초연구, 개발연구
- 자동차 설계 및 제작, 주행시험 및 평가

Table 4 Specifications of prototype engine

엔진	총배기량	4.6 리터
	실린더 배치	직렬 4기통
	보어×행정	108×126mm
	과급장치	T/C, I/C
최대 적재량		4톤
차량 총중량		8톤

2.4 CNG 제3세대기술의 개발

일반적으로 dual fuel 시스템은 전소 시스템의 이전단계 기술로 충전시설이 불충분한 경우에 이용되어 오고 있었는데, 최근 몇 년 동안 Canada에서 CNG전소 mode에 비해 배기공해 저감 효과가 적은 단점에 대한 개선책으로 Table 3과 같이 인젝터 한 개를 이용하여 가스와 디젤유가 동시에 분사되는 첨단기술이 소개되고 있다.

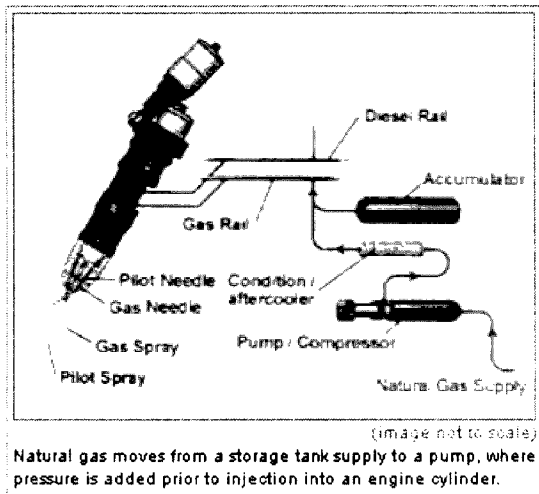


Fig. 3 New dual fuel injection system

또한 독일 벤츠사에서 승합차용으로 일반적인 다점 연속연료분사 방식의 전자제어 「제3세대 기술」에서 Fig. 4와 같이 가스레일을 사용한 고압분사방식을 성공적으로 실용화하여 제3세대 기술」로서는 가장 진보된 기술로 평가되고 있다.

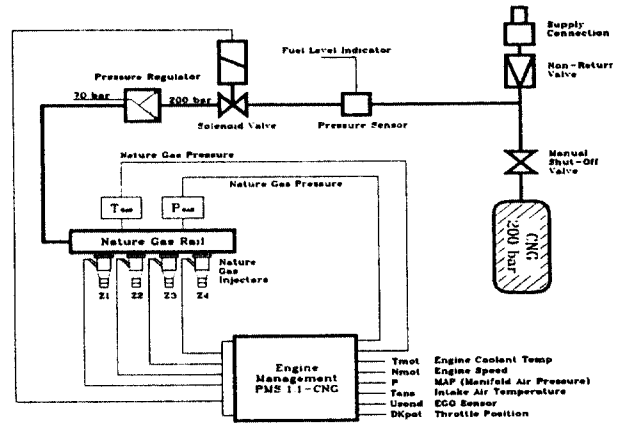


Fig. 4 Block diagram of CNG Sequential MPI

2.5 CNG 직분엔진 개발

아직 실용화 단계는 아니지만 「제4세대 기술」로 연료를 연소실에 직접 분사하는 방식으로 미국의 SWRI에서는 기관차용 엔진에 적용하고 있으며, 최근 일본의 Nissan디젤에서도 Fig. 5와 같이 단기통엔진을 완성하여 성능보완을 위해 연구를 계속하고 있다.

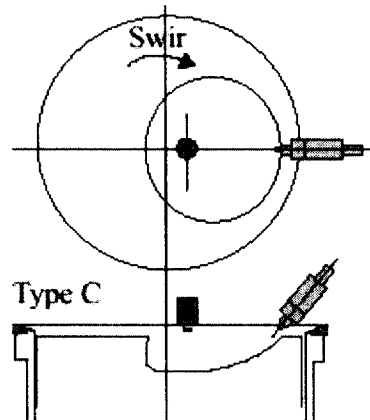


Fig. 5 CNG direct injection system

3. 저공해 가스엔진차량 보급 동향

전세계 약 120만대의 천연가스 차량 중 최근까지는 대부분 승용차이거나 중소형 차량이었는데 앞으로는 버스용이 점차 증가되고 있는 추세이며, 한국은 2002년 축구월드컵 대비, 5천대의 천연가스 버스 운행과 2007년까지 2만대 보급정책을 추진하고 있으므로 버스의 보급대수 면에서는 천연가스 강국 대열에 진입하게 되지만, 선진국기술은 이미 「3세대기술」을 실용화하고 있고 지속적으로 발전해 나가고 있는데 비해 현재 국내 적용기술은

아직 「2세대 기술」수준이고, 관련 부품을 거의 전량 도입에 의존하고 있으며 현재 기술개발이 중단된 상태이다.

한국의 LPG차량은 현재 약100만대를 육박하는 세계 2위 권의 LPG차량 강국이나, 역시 선진국기술은 이미 「3세대기술」을 실용화하고 있는데 비해 현재 국내 적용시스템의 기술수준은 「2세대기술」로 출력, 연비, 저온 시동성과 배기가스 저감 등의 성능 면에서 취약하다는 문제가 제기되고 있다.

대부분의 나라에서 지금보다도 더 깨끗한 연료의 사용을 유발하기 위해서는 획기적인 동기가 필요한데, 정부로부터의 세금혜택이나 다른 재정적인 동기가 대체연료 자동차 시장의 증가를 위한 가장 효과적인 수단이라고 할 수 있다. 대체연료 사용을 유발시키기 위한 단기적인 방법은 소비자는 물론 정유회사, 가스연료 공급자 또는 도매업자에게 믿음을 주지 못한다. 좋은 기반시설이 대체연료 차량을 위한 기회를 창출하는데 중요하다는 것을 과거를 통해서 알 수 있으므로 정부는 중립적으로 지원하고 연료회사와의 협력으로 시장경제 원리에 근거로 한 장기적인 정부의 지원 정책이 필수적이라고 할 수 있다.

3.1 영국의 저공해차량 보급 동향

전통을 고수하면서 변화에 인색한 영국의 경우, Rio와 Kyoto 정상회담에 채택된 CO₂ 감축 목표를 달성하기 위한 것을 주목적으로 하여 1993년에 정부내 환경교통지방부(Department of the Environment, Transport and the Regions ; DETR)에 의해 비영리 독립기관인 에너지절약 재단(Energy Saving Trust ; EST)가 설립되었다. 이 재단에서는 교통수단에 의해 CO₂의 배출이 점점 심각하게 증가하고 있음을 인식하여 1995/6년에 교통담당부서를 신설하였다.

이 재단에서는 CO₂배출과 도심지 대기오염에 영향을 미치는 NO_x나 입자상물질(PM) 같은 다른 공해성분과의 연관관계를 고려해서 이 양쪽의 영향을 완화시키기 위한 정책을 수립했다. 이 목적으로 이 재단에서 수립한 프로그램을 Powershift 라고 이름을 지었으며, 이 프로그램은 주로 정부에서 자금을 지원 받고 또한 Vauxhall, Peugeot, Toyota, Ford, Volkswagen 등의 자동차 회사와 Transco, BG plc, British Gas, Shell, Calor 그리고 Powergen과 같은 에너지 회사들로부터 후원금을 지원받아 운영되고 있다.

Powershift는 연료가격 면에서 가솔린이나 디젤

연료 가격의 50%수준 미만인 천연가스와 LPG연료를 이용하여 현재 실용화가 가능한 청정대체연료차량으로 자동차 시장관도를 변화시키고자 하고 있다. 이 프로그램은 현재 영국 내에서 실용화가 증가하고 재래식 연료보다 환경적으로 유리한 점이 이미 입증된 대체연료에 초점을 맞추었으며 승용차, 밴, 트럭 그리고 버스를 포함하며 다음의 형태로 구성되는 차량에 한한다.

- Electricity / Hybrid
- LPG (Liquefied Petroleum Gas)
- Natural Gas (CNG or LNG)

그리고 실용화는 되지 않고 있지만 demonstration project용으로 운행하는 연료전지(fuel cell) 자동차에도 지원으로 하고 있으며, 지원가능 대상 차량에 대한 기술적인 안전과 배기가스 기준을 정해놓고 있다.

1996년부터 청정연료차량에 대한 정부의 지원이 시작된 이후 처음 3년간은 겨우 3,000대 정도 밖에 지원을 신청하지 않았으나 2000년의 경우 지원금 신청을 위한 문의자가 약 1년 전에 비해 약 20배 정도 증가하고 있으며 2000년의 정부지원 차량대수만도 이미 약 3,000대 정도로 2000년 10월 현재까지 모두 6,000대 정도이나 현재 지원신청이 급증하여 2000년 연말경에는 총 정부 지원 차량이 10,000대가 될 것으로 전망하고 있다. 이러한 추세로 인해 영국 정부의 지원 예산도 작년 대비 3배로 증액되었으며, 또 기존 추진중인 Powershift Programme과 병행하여 2000년부터 'Cleaner Vehicle Programme'이라는 새 정책을 시행하고 있는데, Powershift Programme이 1년 미만의 비교적 새차를 대상으로 청정연료를 사용하도록 유도하는 반면에 Cleaner Vehicle Programme은 도심지를 운행하고 있는 비교적 오래된 디젤버스와 택시가 도심지 대기오염의 주범임을 감안하여 이들 차종을 대상으로 청정연료시스템으로 개조하거나 디젤 필터(DPF)트랩을 부착하든지 해서 도심지 운행 중고 대중교통을 대상으로 하여 문자 그대로 Cleaner Vehicle로 개조하는 것을 목적으로 하고 있다.

2000년 10월 현재 영국 전역에 걸쳐 약 2천대의 천연가스 차량과 2만대의 LPG 차량이 운행되고 있는데 이러한 차이는 충전시설의 보급량에 크게 기인되었다고 한다. 영국 내 LPG 충전시설은 약 540여 개소에 설치되어 있고 최근 들어 매일 1개소 꼴로 신설되고 있어 2000년말까지는 약 600여

개소로 불어날 것으로 예상되고 있다.

4. 결 론

3.2 일본의 저공해차량 보급 동향

일본은 우리나라와 마찬가지로 100% 가스 수입국으로서, 현재 약 30만대의 LPG차량과 6,000대가량의 CNG차량이 운행되고 있는데 LPG용 충전소는 전국에 약 1,900개 정도이고 CNG용 충전소는 약 120개정도 설치되어 있다.

신 에너지·산업기술 종합개발기구(NEDO)에서 운수 저공해차 보급기구(LEVO)를 통하여 청정 에너지 자동차 보급과 연료충진 설비를 위한 지원 사업을 수행하고 있다. 처음에는 청정에너지 자동차 대상으로 천연가스(CNG/LNG) 자동차와 메탄올 자동차, 하이브리드/전기자동차 만으로 한정하였다가 나중에 LPG자동차도 포함시키고 있다.

환경친화성 자동차사회의 실현과 지속가능한 수송시스템의 구축, 그리고 자연 환경을 지키는 새 에너지의 이용추진을 목적으로 설립된 일본의 '(재)운수저공해차보급기구(LEVO)'는 저공해차 도입과 연료충진 설비를 위한 지원시책으로 저공해차 보급을 위한 보조, 저공해차 보급에 따른 세제상 우대조치, 저공해차 보급에 대한 재정투자 용자 등의 사업을 수행하고 있다.

3.3 한국의 저공해차량 보급 동향

100만대 이상의 LPG차량이 운행되어 세계 제2의 LPG차량 보급국인 우리나라의 경우 LPG충진소가 전국에 겨우 650개소 정도인 것을 감안해 보면 국내 보급정책의 불균형을 실감할 수 있다. CNG버스의 경우 월드컵 축구 시합이 개최될 2002년까지 5,000대를 전국에 보급하고 향후 2007년에는 2만대까지 확대 보급한다는 대대적인 지원정책을 국내외에 발표하였으나 철저한 사전준비의 부족으로 시작부터 여러 가지 어려움을 겪고 있다. 또한 선진 외국의 경우와 달리 천연가스 버스의 보급에만 국한하여 다양한 저공해차량의 기술개발과 보급을 지연시키는 결과를 초래하고 있다.

따라서 자동차 운행의 증가로 인한 대도시의 대기오염을 방지하고 향후 국내 자동차산업이 국제시장에서 기술경쟁력을 갖추기 위해서, 현재 중장기 계획을 수행중인 선진국을 모델 케이스로 하여, 청정연료차량의 기술개발현황 및 보급정책을 분석하여 국내 정책수립에 유용하게 활용해야 할 것이다.

자동차에서 발생하는 배출공해가스는 인간생활과 밀접한 관계로 인하여 환경오염에 직접적인 영향을 미치고 있다. 저공해차량의 보급은 환경보호뿐만 아니라 에너지 절약, 석유자원 의존 탈피라는 세가지의 중요성이 집중된 사업인 만큼 전 세계적으로 중요성을 인식하여 범 국가적인 차원에서 여러 저공해 에너지를 대상으로 보급 육성 방안을 종합적으로 마련해서 시행하고 있다. 그 중에서도 LPG, CNG와 같은 가스연료는 현재 실용화되어 널리 보급되고 있으므로 보급정책과 병행하여 첨단기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다.

또한 가스연료 차량 다음으로는 하이브리드 차량이 급속히 보급될 것으로 예상되고 있지만 하이브리드 차량의 동력원으로 가스연료 등 대체엔진이 사용될 가능성이 많고 또 제4세대 기술인 가스연료 직접분사식 기술이 완성될 경우 기술이동의 관도가 달라질 수도 있으므로 당분간 가스연료 엔진에 대한 응용 연구도 지속적으로 많이 수행될 것으로 판단된다.

후 기

이 내용은 과기부의 고효율 청정에너지 자동차 기술개발 동향조사 사업으로 수행된 내용의 일부입니다.

참고문헌

1. 정동수, "고효율 청정에너지 자동차 기술개발 동향조사", 과기부 보고서, 2000
2. 정동수, "보수전통의 영국에 부는 저공해 차량 보급 혁명", 자동차공학회지 Vol. 22, No. 6, 12월호, 2000
3. A. Miura 외 인, "Further Development of Fuel Consumption for HD CNG Engine", Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, 2000