

CO₂ 감축을 위한 차세대 자동차 대응 방안

정동수 | 한국기계연구원

1. 에너지 수요 보급과 유가 급등

2004년 중반 들어 원유가격이 계속 상승하고 있는 추세로 배럴당 \$35 수준에서 \$50선을 넘어서고 있고 향후 약간의 오르내림은 있겠지만 2020년경에는 배럴당 약 \$50 수준이상으로 상승할 것으로 미국 에너지성에서 발표하고 있다.

연료의 매장량으로 천연가스의 경우는 전체 생산량의 39%가 러시아에서 생산되며 가용연수가 약 70년 정도로 분석되고 있는데 비하여, 원유의 경우 매장량은 가용연수가 약 40년 정도로 분석되어 이미 한계가 예상되고 있는 데다가 원유의 경우 전세계 생산량의 65%가 중동에서 생산되며 원유의 예상 매장량 중 1/3 정도만이 경제적으로 이용 가능하다는 전망이 지배적이다. 게다가 현재 매장량의 약 67% 정도가 OPEC 손에 달려 있으므로 새로운 오일 위기가 온다면 대체연료나 대체동력원의 사용이 필연적으로 대두될 것이며, 만약 연료의 가격이 큰 폭으로 상승할 경우에는 큰 변화가 생기게 될 것은 당연한 일이다.

삼성경제연구소는 최근 유가 급등은 원유의 투기적 거래 뿐 아니라 중국의 경제성장 가속화로 수입 급증에 따른 것이라고 분석하고 중국의 원유 수입 약화는 중동 산유국들이 아시아 국가들에게 원유를 비싸게 파는 이른바 '아시아 프리미엄'을 심화시켜 한국, 일본 등에 높은 부담을 줄 뿐 아니라 석유위기를 경험해 본 적이 없는 중국의 취약한 위기 대응 시스템이 세계경제의 위험을 증폭시킬 수 있다고 지적하고 있다.

2. 기후변화협약 발효

이와 같이 고유가 시대가 장기간 지속되고 있는 상황에서 드디어 2005년 2월 16일을 기점으로 교토의정서가 발효됨에 따라 각국의 산업 전반에 미칠 영향에 대한 대응 방안 모색이 초점이 되고 있으며, 자동차 산업계는 연료 소비율을 줄이기에 비상이 걸렸다.

1992년 6월에 채택된 지구변화협약 이후 1996년 12월 교토 지구온실가스 저감협약을 거치면서 CO₂ 규제에 대한 국제규제가 본격화되어 자동차 배출가스에서 직접 CO₂를 규제하는 방안이 EU 국가들을 중심으로 활발하게 논의되어 오다가 1998년 10월 룩셈부르크에서 개최된 EU 환경이사회에서 2008년까지 신규 자동차의 CO₂ 배출

량을 140g/km으로 낮추고 2012년까지 120g/km으로 다시 강화하는 자동차 이산화탄소 배출제한 협약을 승인하게 되었다.

이 협정에 따르면, 전 유럽 내 자동차 판매의 약 85%에 해당되는 모든 유럽자동차 제조업자협회(ACEA)소속 운행 차량의 연료소모량이 모두 평균으로 산출되게 되는데, 자동차 제작회사에서 제작 판매하는 차량의 각 연료소비량을 모두 합쳐서 통제한다고 해서 소형차량 제작회사에서는 그래도 반가운 소식이지만 대형차량을 주로 제작하는 회사한테는 비상사태 선포나 다름없을 것이다.

한국은 개발도상국으로 분류되어 교토의정서 1차 의무부담기간(2008~12년) 이행국에 포함되지 않지만 이산화탄소 발생량이 세계 9위임을 감안할 때 2차 의무부담기간(2013~17년) 이행국에 편입될 것이 확실시 되므로 이 경우 온실가스 감축의무 부담을 질 수밖에 없어 사회경제적 파장이 심각할 수밖에 없다.

우리 자동차는 온실가스 감축기술을 높이지 못할 경우 2010년경 이후 유럽수출이 불가능할 수도 있으며, 또한 유럽연합과 맺은 자율협정에 따르면 수출차량은 2009년까지 온실가스 배출량을 140g/km이하로 줄여야 하는데 이 목표치는 100km당 약 5.6리터의 평균 연료소비량에 해당되는 것으로 현재 국산 차량의 이산화탄소 배출량이 평균 170g/km 수준임을 감안 할 때 2009년까지 평균 약 17% 이상의 연료절약을 이루어 내기 위한 기술개발이 결코 쉽지 않아 유럽 환경장벽을 넘을 수 있을 지 불투명한 상황이다.

이러한 상황을 감안하면 자동차 부문의 기후변화협약 대응 대책방안을 마련하기 위해 전력투구 해야 할 시점에 틀림이 없다.

따라서 자동차 생산부터 폐차 단계까지 다각적인 온실가스 감축 방안을 마련한다든지, 분야별로 생산 설비의 에너지 효율성도 높이는 것도 필요 하겠지만 무엇보다도 중요한 것은 국내실정을 감안해서 에너지원을 다원화 하여 저연비 차량 개발 및 보급 대책을 적극적으로 추진함으로써 CO₂감축효과를 극대화하는 방안을 모색해야 할 것이다.

선진국에서는 이미 자동차의 CO₂ 배출이 향후 자동차 기술경쟁의 가장 중요한 요소가 될 것으로 판단하고 이미 유럽의 3L Car Program, 미국의 Super Car Project 등 초 저연비 자동차 기술개발 사업을 적극적으로 추진하였다.

이들 사업은 각각 100km거리를 3리터 연료로 주행 (3L/100km ; 33.3km/l) 할 수 있는 차량개발을 목표로 하여 유럽은 '3L Car' 라는 중량 약 800kg 이하의 소형승용차, 미국은 신세대차량 (New Generation Vehicle) 이라는 중대형 승용차를 대상으로 하여 초 저공해이면서 연료소비율이 현재 기존 자동차의 1/3 수준으로 실용화 개발하는 것을 목표로 하였다.

따라서 그 동력원으로는 소형승용차를 대상으로 한 유럽의 경우 고속직접분사식 디젤엔진이 선호되고 있으며, 중대형 승용차를 대상으로 한 미국의 경우는 승용 디젤 기술은 취약하고 기존의 가솔린엔진 동력시스템으로는 목표달성이 어려워 향후 청정대체연료 엔진을 거쳐 대체동력원인 하이브리드 시스템이나 연료전지 시스템으로 방향 전환이 불가피 하리라고 예상하고 있다.

3. 향후 유망 원동기의 선택 기준

이와 같이 최근 고유가 시대가 계속되고 있고, 화석연료의 고갈 및 지구온난화 문제로 국제사회에서 국가별 CO₂ 배출량을 규제하려는 기후변화협약이 발효되어 그림1에서와 같이 자동차의 경우 지금까지 비중을 두어 왔던 배출

공해 저감 외에 효율향상을 위한 전략적 대책마련이 시급한 실정이다.

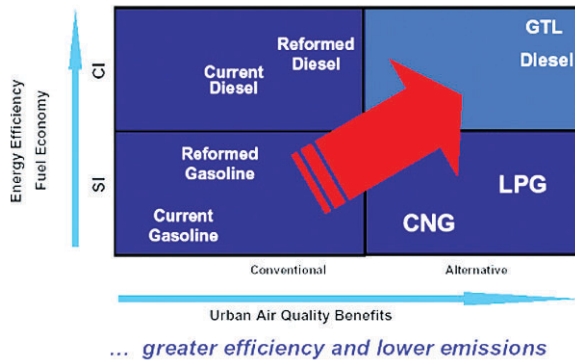


그림 1. 배출공해 저감과 효율향상을 동시 고려한 전략

부시 미국 대통령의 첫 취임과 함께 시작된 거액의 “Freedom Car” 프로그램으로 인하여 세계는 지금 수소연료 전지 자동차 개발의 열풍이 불고 있다.

그러나 부시 대통령은 기후변화 연구와 배출가스 감축기술 개발 분야에서 미국이 최선두에 서 있다는 기존 입장만을 되풀이하고 여전히 교토의정서 참여의사가 없음을 내비치며 꼬리를 내리고 있으며, 토니 블레어 영국 총리는 최근 하원에 출석해 기후 변화는 우리가 직면한 단일 사안 가운데 가장 큰 문제이고, 장기적인 사안이라면서 기후 변화에 대한 국제적인 노력이 성과를 거두려면 미국의 참여가 필수적이므로 교토의정서에 참여할 수 있도록 최선의 노력을 다할 것이라고 주장했다.

이러한 상황은 미국이 그 동안 풍요로운 석유자원에 안주하여 디젤엔진이나 하이브리드 차와 같은 고효율 동력 시스템 개발에 소홀히 한 결과로서 정부의 안일한 과학기술정책이 아무리 세계 초 강대국이라 하더라도 체면이 말아 아닌 꼴사나운 상황을 맞게 된다는 좋은 교훈을 주고 있으며, 이러한 관점에서 왜 미국이 연료전지 자동차로 올인 하는가를 잘 판단해야 한다는 주장도 많은 실정이다.

수소연료전지자동차는 도로 주행 시에 배출공해가 없고 에너지 소비가 적겠지마는 천연가스나 가솔린, 메타놀 등의 탄화수소계 연료로부터 수소를 만드는 과정에서 기존 에너지를 사용해야 하고 그린하우스 가스를 배출하게 된다.

MIT 연구분석에 의하면, 수소연료전지자동차는 이렇게 활발한 연구개발이 이루어진다 해도 2020년 전에는 전체에너지 사용량과 그린하우스 가스 배출 측면에서 디젤 하이브리드 보다는 유리하지 못할 것이라고 한다.

그 이유는 당분간 대부분 산업체의 수소 공급이 천연가스로부터 생산되고 있으며 미래에는 많은 양의 수소가 산소와 연결되어 있는 물로부터 풍력이나 태양력 같은 대체에너지를 이용해서 분리될 수 있겠지마는 지금은 수소제조 친환경 방법이 너무 비싸다는 것이다.

즉, 연료공급과 차량제조 과정에서 발생하는 배출공해가스와 에너지 사용량을 과소평가 함으로써 인식에 착오가 생기고 있다는 것이다.

그러나 공간이 넓고 차량 단가가 상대적으로 비싼 버스의 경우는 승용차와는 달리 미국은 물론 유럽에서는 예상보다 빠르게 수소 연료전지 버스 보급 사업이 추진되고 있다.

따라서 향후 유망 원동기를 선택함에 있어서 국가별, 차량의 크기 별로 그 선정기준이 달라질 수가 있지만 연료전지를 제외하고 하이브리드 자동차 등 기존엔진을 대상으로 할 경우에는 대체로 다음의 표1에서와 같이 4개 항목에 우선권을 주고 있다.

합성수소가스의 경우 가장 이상적인 연료로 가능성이 최고임을 알 수가 있으나 현재로써는 여전히 생산단가가 높아 조만간 실용화하기는 어렵다고 판단되고 있다.

표 1. 토요다사 발표 차세대 유망 연료 별 특성 비교평가

Future Automotive Fuels								
Target	Clean Gasoline	Clean Diesel	LPG	CNG	Synthetic Fuel	Ethanol	Bio-diesel	Renewable Hydrogen
Emissions (Urban air quality)	3	3	3	4	4	2	2	5
CO ₂ (Climate change)	2	3	2	3	2	4	4	5
Energy Alternative (Energy Security)	2	2	3	4	4	3	3	5
Market Availability (Cost & Supply)	5	5	3	2	2/4 (DME/GTL)	3	2	1

4. CO₂ 감축과 승용차 원동기

향후 이상적인 내연기관이라고 하면 기술린 엔진보다도 깨끗하고 디젤과 같은 연소효율을 실현할 수 있는 엔진이라고 할 수 있는데, 이러한 이상형 엔진이 직접분사 기술린엔진(GDI)에 이어 “제4의 엔진”으로 기대를 모으고 있다.

약 20년 이전에 승용차나 트럭, 이륜차 등을 운전한 적이 있는 사람이라면 최근에는 거의 없지만 시동키를 뺀 후에도 엔진이 수초간 연소를 계속하는 현상인 「after run」이라고 하는 현상을 경험했을 것이고 이 현상은 운전자들에게 고민거리였을 것이다. 그러나 그 때의 고민거리 현상이었던 이 「after run」의 연소원리가 지금 자동차 메이커의 관심을 받고 있다.

이 원리는 기술린 압축 자기착화연소로 불리고 종래의 엔진보다도 우수한 연비성능과 배기성능을 동시에 실현할 수 있는 연소방식이다. 이 연소방식의 엔진이라면 질소산화물(NOx)나 soot를 배출하지 않고 디젤 엔진에 필적하는 고효율을 달성할 수 있다고 많은 연구자들은 생각하고 있다.

전 세계적으로 자동차의 유해배출가스 규제가 점점 엄격해 지고 있고, 한편으로 연료전지 자동차의 실용화에는 아직 많은 시간이 걸릴 것으로 보여지고 있으므로 세계의 주요 자동차 메이커나 디젤 엔진 메이커는 기술과 경제의 양면에서 이 기술의 실현 가능성을 확인해 보고 있다. 만약 이 기술이 도입되면 이 신연소방식에 의한 동력원은 현재의 디젤엔진이나 가솔린엔진에서 장래에 도입될 깨끗한 연료전지로의 교량적인 존재일 것이다.

이 신연소방식은 우수한 연료경제성과 배출가스의 대폭적인 저공해화를 실현할 수 있으며 LPG, CNG, Alcohol 등 대체 연료의 활용이 가능한 기술이다. 종래의 가솔린엔진과 디젤엔진의 양쪽의 장점을 모은 첨단 엔진기술로 볼 수 있다.

그러나 이 신연소방식으로 많은 연구가 진행되고 있는 예혼합 압축착화(HCCI) 엔진의 경우 연소는 부분 부하 시로 제한된다. 이는 고부하 시 연소 압력의 상승이 너무 커지며, 엔진의 소음이 커지는 반면에 저부하 시는 연소 온도가 낮아 CO와 HC의 배출물이 증가하게 되므로 HCCI엔진은 저부하용으로만 사용되고 고부하용으로는 기존 엔진을 사용하는 dual mode로 운전하는 것이 바람직 하다고 알려져 있다.

그리고 또 다른 문제점으로는 연소 타이밍과 연소율의 제어가 어려우며, 추가부품이 늘어나 생산단가가 상승되고, power density 가 낮아 상대적으로 마찰손실이 크게 되며, 그리고 흡기 가열장치가 없을 경우 가스 혼합의 조건에 따라 연소불가 가능성이 높다는 점 등이 있다.

이러한 HCCI엔진의 연소에서의 단점을 해결하기 위한 유사한 신형식 연소로는 AVT(active valve train)을 이용한 CAI(Controlled Auto-Ignition), 또는 능동연소(Active Combustion) 엔진 기술이 있다.

이 연소 기술은 공기/연료 혼합기를 점화하는 기술로 앞 싸이클기간 동안 발생한 고온의 배기가스를 실린더 내에 잔류시킴으로서 자동으로 점화시키는 것이다. 이 자동점화 기술을 사용함으로써 연소안정성을 지속적으로 개선하고 연료소비율과 배출공해가스를 획기적으로 감소시킬 수 있다.

이 기술의 원리는 가변 밸브계에 기초를 한 것으로 캠이 없이 밸브 개폐시기와 밸브 리프트의 조절이 가능하도록 하는 AVT(Active Valve Train) Project 결과를 활용한 것이다.

이러한 방법에 의한 연소의 안정성은 매우 안정적이다. 실린더 내 전역에서 동시 다발 연소가 가능하게 되어 전 기나 압축에 의한 점화와는 완전히 다른 새로운 연소과정이 이루어진다는 것이다. 이 결과는 진정한 “Unthrottled load control” 로서, 실린더 내부에서 가스혼합기를 변화시킴으로서 펌핑손실을 없앨 수 있으므로 연비절감이 15 내지 20%까지 가능하게 된다는 것이다.

또한 기존 엔진에서는 엔진을 최적화 할 경우, HC와 NO_x사이에 trade-off 관계가 있지만은 이 신형식 연소는 HC와 NO_x를 동시에 저감할 수 있는 놀라운 특성을 지니고 있다. 배기가스를 잔류시키는 것이 바로 EGR(배기가스 재순환) 효과이며, 전기점화기관에서는 EGR율이 약 24%정도가 거의 한계이고 이 이상을 넘으면 연소 불안정을 가져오는데 비해 이 연소시스템에서는 70%이상도 가능하다고 한다.

하이브리드 자동차의 선구자라고 할 수 있는 Toyota사는 현재 운행중인 모든 차종에 대해 하이브리드 기종으로 개발하는 것을 목표로 하고 있고 향후 20년 내지 40년 동안 Toyota사는 전 차종을 하이브리드화 하겠다고 최근 발표를 하고 있으므로 미래는 하이브리드 시대가 될 것이라는 예상이다.

하이브리드 자동차 중에서도 가솔린-하이브리드 보다는 디젤-하이브리드 시스템의 효율이 당연히 우수할 것이므로, 여기에 사용되는 디젤엔진을 대신하여 상기의 신형식 가솔린 자기착화 점화 엔진을 적용할 경우 효율은 더욱 우수해 질 것이다.

그러나 독일의 Volkswagen 회장인 Bernd Pischetsrieder는 ‘원칙적으로 장사가 안되는 차는 만들기 싫으므로, 하이브리드 승용차는 제작비가 비싸 일부 기종에 국한하여 생산 하고 오히려 현재는 디젤 대체연료인 Bio-diesel 엔진개발에 관심이 많다’ 고 최근 Green Car Congress 에서 강조를 하였다.

결국 실용화를 위한 중요한 조건에는 CO₂ 저감기술 다음으로 차량 가격이라고 할 수 있으므로 전기점화 방식보다 CO₂ 저감효과가 우수한 압축착화점화의 디젤엔진을 사용하되 연료 공급가격이 저렴하고 차량의 큰 개조 없이 사용이 가능한 Bio-diesel이나 신합성연료 GTL(Gas To Liquid), DME(Di-Methyl Ether) 등과 같은 저렴 청정 디젤대체연료를 사용하는 것이 유리 하다는 결론을 얻을 수 있다.

5. CO₂ 감축과 상용차 원동기

상용차용 엔진은 승용차에 비해 연료소모량이 많으므로 고유가로 인한 연료비 부담이 큰 것은 물론이고 운행 차량의 연료소모량이 모두 평균으로 산출되게 되는 CO₂ 규제방안이 발효됨에 따라, 상용차량 제작회사한테는 원동기의 효율이 가장 관심사임에 틀림없다.

따라서 현재 유럽 상용차 시장에서는 디젤엔진이 효율 면에서 매우 유리하지마는 매연, 아황산가스 등 공해배출 면에서는 불리하므로 승용차에서와 마찬가지로 엔진의 개조 없이 디젤 연료를 대체할 수 있는 저렴 청정 디젤대체 연료에 대한 관심이 높아지고 있다.

그러나 승용차와 달리 공간이 넓고 차량 단가가 상대적으로 비싼 버스의 경우는 유럽에서 예상보다 빠르게 하이브리드 버스와 수소 연료전지 버스 보급 사업이 추진되고 있다.

5.1 수소 연료전지 버스

불과 몇 년 전만 하더라도 유럽 9개 국가로부터 15개 기관으로 구성되어 추진되었던 Cleaner Drive Consortium은 승용차와 밴, 그리고 도시간 운행용 트럭, 버스들을 포함하여 주 연료와 동력시스템은 첨단 디젤과 가솔린 시스템, 수소, CNG, LNG, LPG, Hybrid 구동과 연료 전지로 다양하게 추진되었는데, 그 결과를 토대로 최근 들어 버스운행에 한해서는 수소 연료전지 버스의 실용화 가능성이 높이 평가되어 선택과 집중이 이루어지고 있다.

The Clean Urban Transport of Europe (CUTE) project 는 유럽 9개 도시에서 저소음, 무공해 수소 연료전지 버스를 여러 종류 개발하여 시운전하기 위해 시작 되었다. 이 프로젝트에는 연료전지 개발팀, 수소 생산업체, 운송 회사, 시청 공무원 등을 포함하여 30개 기관 이상이 콘소시움을 형성하여 추진하는 것으로 현재 포르투갈의 Porto, 스페인의 Madrid, 스웨덴의 Stockholm, 독일의 Stuttgart 그리고 영국의 London 에서 그림2와 같은 27개 시제품의 수소 연료전지 버스가 이미 운행을 하고 있는 실정이며, EC에서는 이 CUTE 프로그램에 큰 기대를 걸고 있다.

이와 같은 EU차원의 공동 시운전 프로젝트는 아니지만 EU지원 국가차원의 수소 연료전지 버스 시운전 프로젝트로서는 2001년 3월부터 아이슬랜드의 Reykjavik에서 대중교



그림 2. Fuel cell hydrogen Citaro bus of CUTE Project

통에 3대의 수소연료전지 구동버스(그림 3)를 운행하는 ECTOS (Ecological City Transport System) 프로젝트와 2004년 초부터 호주의 Perth에서 역시 3대의 수소연료전지 구동버스(그림 4)를 운행하는 STEP(Sustainable Transport Energy Project)가 추진되고 있다.



그림 3. Fuel Cell Bus Trial of ECTOS Project

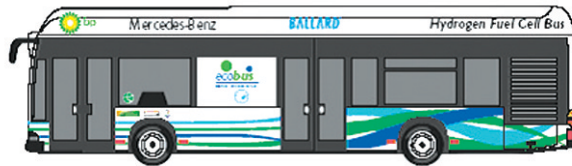


그림 4. Perth's Fuel Cell Bus Trial of STEP

5.2 하이브리드 버스

EU차원에서는 미래지향적으로 수소 연료전지 버스에 비중을 두고 있지만은 당장 실용화 보급하기에는 아무래도 하이브리드 시스템이 현실적이므로 영국에서는 초저공해 디젤 하이브리드 시내버스를 실용화 용으로 개발하여 Millbrook 자동차연구소의 Proving Ground 에서 2004년 말부터 최종 시운전을 진행하고 있다.

60kw급 common rail 디젤엔진 발전기와 120kw 전기모터 구동기로 구성된 이 시운전 하이브리드 시내버스는 Northern Ireland 의 Ballymena 소재 WrightBus 사에서 제작된 일층 버스로서 기존 디젤버스에 비하여 greenhouse 가스나 CO₂ 배출량이 약 34% 정도 수준이다.

이 회사는 도심지 운전 시내버스용으로 2001년부터 약 3년 동안 디젤엔진과 가스터빈의 두가지 종류 하이브리드 시내버스를 개발하였으나, 가스터빈으로는 향후 강화하는 시내버스 CO₂ 레벨을 맞추기가 어려운 단점을 안고 있어 영국 정부가 결국 효율이 좋은 디젤 하이브리드로 실용화 하기로 결정을 하였다. 이제는 승용차는 물론 전 세계 버스시장에서도 CO₂저감이 최우선인 것임에 틀림이 없다.

Millbrook연구소의 시운전 결과 CO₂ 발생량은 기존 EURO3 디젤버스가 약 1136g/km 인데 비하여 디젤 하이브리드 버스는 748g/km 정도 수준이므로 이 회사는 10.3m 길이의 'Electricity' (그림 5) 라는 버스이름으로 2005년 여름에 6 내지 10대 정도 차녀 생산을 하고 향후 연간 750 내지 1,000대 규모로 양산하기로 계획하고 있다.



그림 5. 'Electricity' hybrid bus of WrightBus, UK

5.3 청정 디젤대체연료

이러한 하이브리드 버스나 연료전지 버스는 차세대 버스로 가장 유망하다고 인정을 받고 있지만은 기존 디젤버스보다 차량가격이 연료전지 버스는 물론이고 하이브리드 버스도 비싼 단점이 있으므로 결국 실용화를 위한 중요한 조건에는 CO₂ 저감기술 다음으로 차량 가격이라고 할 수 있다. 즉, 차량가격은 실용화 시기를 결정하는 가장 큰 조건이라 할 수 있다.

따라서 가능한 차량의 개조 없이 CO₂ 저감효과가 큰 기술이 가장 바람직 하다고 할 수 있으므로 기술된 싸이클의 전기점화 방식보다는 CO₂ 저감효과가 우수한 디젤 싸이클의 압축착화점화 방식을 채택하되 가능한 차량의 개조가 최소화하여야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

Bio-diesel 엔진은 대형 트럭 생산회사인 Scania 사에서도 관심이 많으며, Volkswagen 사와 DaimlerChrysler 사는 또 다른 디젤 대체연료인 GTL(Gas To Liquid)에도 관심이 많은데 이 두 대체연료의 공통적인 장점은 기존 디젤엔진을 개조 없이 디젤의 압축착화 연소 방식을 사용할 수 있으므로 가격과 CO₂ 저감효과 면에서 우수하다는 것이다.

결국 20년 내지 40년 후쯤 각종 규제가 더욱 엄격해지면 자연스럽게 세계 버스 시장이 하이브리드 시스템을 거쳐 연료전지 시스템으로 찾아 갈 가능성도 있겠지만은 현실적으로 그 공백기간 동안에 실용화 하기에는 CO₂ 저감효과와 emission, 가격을 고려 할 때 기존 디젤엔진의 개조를 최소화하여 디젤의 압축착화 연소 방식을 사용할 수 있는 시스템이라는 결론은 부정하기 어려운 추세라고 유럽의 버스시장은 보여주고 있다.

바이오디젤의 경우 동·식물유는 경유에 비해 약 90%의 열함량을 가지고 있기 때문에 대체에너지로서 가치가 충분하다.

최근 콩, 유채, 해바라기, 쌀겨, 코코넛, 야자수 등 식물성 원료에서 추출한 오일과 알코올을 에스테르 교환반응시켜 합성한 바이오디젤은 일반 디젤유와 특성이 거의 같아 일명 식물성 디젤이라고도 불리며, 화석연료의 대체연료인 재생가능 연료 중 가장 널리 사용되고 있는 것 중 하나이다. 디젤엔진 자동차 연료로 사용할 경우에는 디젤유에 5~30%를 섞어 사용하고 있다.

바이오디젤은 산소 원자를 이미 갖고 있어 산화력이 일반 경유보다 뛰어나다. 이 때문에 연소 시 배출물질도 적으므로 대기오염의 주범으로 인식되는 자동차 배기 공해가스 양을 약10%가량 줄일 수 있고, 디젤유에 상응하는 점도, 끓는점 그리고 높은 세탄가를 가지고 있어 사용하기 쉽고, 생분해도가 높으며, 독성이 없고, 본질적으로 황과 방향족을 포함하지 않는 많은 장점 등 ‘친환경적’ 특성 때문에 그 수요가 크게 증대될 것으로 예측하고 있다.

또 바이오디젤을 썼을 때 대기로 방출되는 이산화탄소(CO₂)의 경우, 그림6에서와 같이 이산화탄소를 소비하는 식물을 다시 에너지원으로 활용하기 때문에 ‘에너지리’가 적용되어 75%는 식물이 소비하는 것으로 간주하여 유엔 기후변화 협약에 따라 25%만 순수 배출로 인정되고 있는 것이다.

이 같은 장점 때문에 독일 프랑스 미국 등에서는 대도시를 중심으로 90년대부터 일반주유소에서 경유대체용 연료로 청소차량, 대형버스, 관공서 차량 등에 활용하고 있다

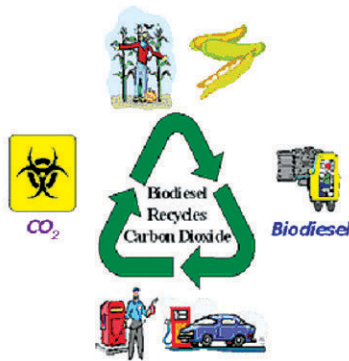


그림 6. 바이오디젤의 이산화탄소 순환 설명도

그러나 바이오디젤에도 ‘약점’이 있다. 우선 추위에 약해 온도가 떨어지면 쉽게 굳어지는 단점, 공기와 접촉할 경우 산화가 빨리 진행되어 화학적 특성도 바뀌는 단점 등은 극복해야 할 과제다. 그리고 바이오디젤이 자동차의 미치는 악 영향으로 출력감소, 고무 및 금속재료 부식, 저온 유동특성 저하, 동점도 상승 등이 거론되고 있고, 고성능 연료 분사계 등 고정밀 장치 및 촉매를 사용하는 차량에서는 치명적인 장애를 유발시킬 수 있으므로 각 부품 및 차량에 대한 충분한 검증 및 확인 시험이 선행돼야 할 것으로 평가되고 있다. 또 원료에 따라 품질차이가 크게 나타나므로 엄격한 규격 기준설정과 사후관리 제도가 필요하며, 혼합비율의 설정이나 연료류로서의 성능을 향상시키기 위한 첨가제 개발 등 지속적인 연구개발이 이뤄져야 한다.

천연가스에서 액체로 합성되어 기존 디젤엔진에 그대로 사용이 무난하다고 하는 GTL(Gas to Liquid) 연료의 경우, 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 청정연료에 대한 수요가 급증할 것으로 기대되고 있어 주요 석유 및 가스 기업들이 천연가스를 원료로 하는 GTL기술이 상업화 될 경우 예상되는 제조코스트는 약 \$25~30/bbl로 예상되어 석유와의 경쟁력이 충분하다고 인정되므로 GTL연료가 차세대 유망 디젤 대체연료로 주목 받고 있다.

GTL(Gas-to-Liquids)디젤유는 윤활성이 부족하여 윤활향상제의 첨가가 필요하고, 고무류와 반응성이 나쁜 몇가지 문제점을 갖고 있지만은 기존 디젤엔진에 적용이 용이하고, 방향족 및 유황 성분이 매우 적으며, 세탄가(87)가 높고, 착화지연이 짧아 열효율 제고와 배기가스 질감 효과가 높은 장점이 있으며, 또한 풍부한 매장량의 천연가스를 이용할 수 있다는 장점을 갖고 있으므로 세계적인 에너지회사들이 Malaysia, 남아공에서 생산을 하고 있

고 또 향후 카타르, 나이지리아, 남미, 동남아 등 천연가스 생산지에서 대량생산 공장을 추진하고 있다.

현재 생산 중인GTL은 수송연료로 사용하여 디젤연료 혼합용으로서 말레이시아, 미국(캘리포니아주), 태국, 그리스에 판매하고 있으며, 최근에는 GTL의 장점을 널리 확산시키기 위해서 전 세계 주요 국가에서 시운전을 수행하고 있다.

2003년 7월에는 Daimler-Crysler의 자회사인 EvoBus 는 Shell사와 영국교통부의 지원으로 Shell Centre 옆에 위치한 워털루역과 빅토리아역을 왕복하는 런던의 507번 'bendy bus' 를 대상으로 100% GTL(Gas to Liquid) 디젤유를 적용하여 3개월 동안 그림7과 같이 시운전을 실시한 적이 있다.

1년 후인 2004년 7월에는 PM과 NOx를 동시에 저감시키는 혁신적인 D-CAT(Diesel Clean Advanced Technology) 배기시스템으로 Euro IV 규제 만족 영국 생산 Toyota의 Avensis 디젤승용차 10대를 대상으로 100% GTL연료를 사용하여 런던 시내에서 3개월 동안 시운전을 하였다. 이 시운전의 목적은 기존차량을 변경하지 않고 GTL연료가 출력의 저하 없이 저공해성으로 사용될 수 있다는 가능성을 보여주기 위한 것으로 차량과 연료의 신기술개발을 위한 Toyota와 Shell의 공동연구 programme의 일환으로 수행된 것이다.

2003년 5월에 Shell사와 폭스바겐(Volkswagen)사는 그림8에서와 같이 GTL(Gas to Liquid) 디젤유에 대한 공



그림 7. 영국 런던에서 시운전 중인 GTL EvoBus 와 Avensis 디젤승용차



그림 8. Volkswagen사의 GTL Golf디젤승용차 공동설명회

동설명회를 개최하고, 25대의 Golf승용차 (TDI engine 74 kW/100 PS)을 대상으로 베를린에서 5개월간의 시운전을 개시하였다. 폭스바겐사는 2003년 10월 27일 베를린에서 5개월간 100% GTL 연료로 실시한 이 주행시험 결과 기계적인 부작용 없이 Euro3 수준의 엔진을 GTL연료만의 변경으로 Euro4 수준까지 만족 시킬 가능성을 확신하였다고 발표하였다.

Volkswagen의 회장은 자동차연료의 변천을 예측하고 향후 30년 동안의 계획 중에 Gas to Liquid (GTL) 역할의 중요성을 강조 하였으며, Royal Dutch/Shell Group사의 Managing Director인 Dr. Rob Routs는 GTL연료의 진가는 시내버스나 택시와 같은 도심지 운행차량에서 나타나며 Shell 과 Volkswagen은 차세대 청정연료의 개발과 보급에 선도적인 역할을 하고 있음을 강조 하였다.

미국의 경우, 이미 2002년에 Shell사는 California 교통부(CALTRANS)와 함께 69대의 truck, pickup, tractor 그리고 건설기계에 100% Shell GTL 연료를 사용하여 시운전 시험을 완료하였다. 시운전 결과는 긍정적이었으며, California 주 정부에서도 연료와 관련된 문제점은 전혀 없었고 다시 ULSD (Ultra Low Sulphur Diesel) 연료로 교체한 이후에도 여전히 문제가 없었음을 공식적으로 확인을 하였다.

그 이후 2002년 11월 부터는 Yosemite Waters 생수회사의 대형 운반트럭 3대에 100% GTL 연료를 사용하여 2004년까지 생수운반을 위해 남부 California에서 도심지와 고속도로상을 운행하며 운전성과 배기가스 저감성능을 점검하고 있다.

일본의 경우도 이미 영국 등에서 도요다사에 의해 진행이 되고 있지만 일본 내에서도 2대의 트럭을 대상으로 실험실내 시험, 시험트랙에서의 주행시험, 그리고 도로상 일상운행 시험의 3단계로 나누어 Shell GTL 연료와 표준 디젤연료를 사용하여 시운전과 배출가스 시험사업이 진행 중에 있다.

중국의 경우, Shell사와 Shanghai의 Pudong Ba-Shi 버스회사는 2004년 8월 25일부터 2개월간에 걸쳐 Shanghai의 Pudong시내 번잡한 노선에서 12대의 Euro 1급 엔진이 장착된 시내버스를 대상으로 시운전을 시작하였다. 이 시운전의 목적은 Shanghai 시내 도심지의 대기오염 방지 운동(Cleaner Energy Makes a Better City)의 일환으로 배기 및 소음공해의 저감을 위한 GTL연료의 가능성을 확인하기 위한 것으로 12대 중 8대의 시내버스는 30% GTL과 70% 일반diesel을 혼합하여 운행하고 나머지 4대는 현행대로 디젤로 운행하여, 배기공해 및 소음 저감, 연비향상 등에 대해 비교 시험을 하였다.

청정 디젤대체연료 중 DME(Di-Methyl Ether)의 경우도 LPG와 특성이 비슷하면서 디젤엔진에 사용할 수 있으므로 고효율 저공해 엔진으로 기대되지만 부식성 등으로 GTL과 바이오디젤에 비하여 기존엔진의 부품개조가 많고 연료가격이 비싼 단점이 있다. 그러나 신규 전용 엔진으로 개발할 경우 저공해성이 상대적으로 우수한 장점이 있으므로 향후 가능성이 있는 연료 중의 하나이다.

6. 맺는 말

최근 고유가 시대가 계속되고 있고, 화석연료의 고갈 및 지구온난화 문제로 국제사회에서 국가별 CO₂ 배출량을 규제하려는 기후변화협약이 발효되어 자동차의 경우 지금까지 비중을 두어 왔던 배출공해 저감 외에 효율향상을 위한 전략적 대책마련이 시급한 실정이다.

이제는 전 세계 승용차는 물론 상용차 시장에서도 CO₂저감(연비향상)이 최우선인 것임에 틀림이 없으므로 이

상적인 내연기관이라고 하면 디젤과 같은 연소효율을 실현하면서 가솔린엔진 보다 emission이 깨끗하고 가격도 저렴한 엔진이라고 할 수 있다.

향후 유망 원동기를 선택함에 있어서 국가별, 차량의 크기 별로 그 선정기준이 달라질 수가 있지만 연비(CO₂), emission, 에너지 대체성, 시장성(가격, 공급용이성)의 주요 4개 항목을 우선적으로 판단할 때 향후 이상형 승용차용 엔진으로는 현재의 직접분사 가솔린엔진(GDI), 직접분사 CR디젤엔진(CRDI)에 이어 기존 CRDI디젤엔진에 개조 없이 대체사용이 가능한 ‘청정디젤대체연료(Bio-Diesel, GTL, DME 등) 엔진’ 과 함께 CAI(Controlled Auto-Ignition), HCCI와 같은 자발화 엔진이 “제4의 엔진”으로 예상되고 있다.

그러나 공간이 넓고 차량 단가가 상대적으로 비싼 버스의 경우는 승용차와는 달리 유럽에서는 예상보다 빠르게 수소 연료전지 버스 보급 사업이 추진되고 있고 향후 좀 더 현실적으로는 디젤하이브리드가 유력하며, 트럭을 포함한 상용차 전체로 볼 때는 승용차에서와 같은 추세로 현재의 CNG나 LPG 엔진에 이어 기존 디젤엔진에 개조 없이 대체사용이 가능한 ‘청정디젤대체연료(Bio-Diesel, GTL, DME) 엔진’ 이 가장 유력한 원동기로 예상되고 있다.



정 동 수

- 한국기계연구원 친환경엔진연구센터 책임연구원
- 관심분야 : 기후변화국제협약 대응 차세대 자동차엔진기술 (가솔린 능동연소 엔진, 청정디젤대체연료 엔진)
- E-mail : dsjeong@kimm.re.kr