

CO₂ 전쟁의 승자가 미래 자동차시장을 지배한다.

배영문

목차

1. 우리는 운전만 한다.
2. 자동차도 다이어트를 한다.
3. 엔진의 환골탈태(換骨奪胎)
4. 하이브리드는 만능인가?
5. 전지를 지배하는 자가 세계를 지배한다.

< 요약 >

미래의 자동차 시장을 지배하기 위해서는 지구온난화 방지를 위한 친환경 자동차의 개발은 필수이며, 이것은 바로 CO₂ 저감 대책과 직결된다고 할 수 있다.

자동차의 친환경 및 지구온난화 방지와 관련된 주요 기술로는, 기존 자동차에 대한 CO₂ 발생 저감 기술개발, 전기 또는 하이브리드 자동차의 개발, 그리고 바이오 연료나 배터리 등 자공해 대체 에너지원의 개발을 들 수 있다.

기존의 자동차에 대한 CO₂ 저감 대책으로 차체, 엔진 등의 초고강력강, 경량금속 및 고분자 소재의 개발이 있다.

기존의 가솔린 엔진에 대해서는 유해물질의 발생을 저감시키는 대책으로 직접 분사기술, 가변 밸브, 가변 압축, 가변 실린더 등의 기술개발이 있다.

기존의 디젤엔진에 대해서는 저공해 엔진 기술로 연료분사 시스템, 과급기술, 가변 압축, 지능형 냉각 시스템, 다운사이징 등의 기술개발이 있다. 그 밖에 디젤 엔진의 유해 배출물 저감 대책으로, 배기가스 재순환 장치 및 배출물의 후처리 기술로 디젤 산화촉매, 입자상 물질 필터, 질소산화물 흡장 환원 등의 기술개발 등이 있다.

친환경 자동차로는 배터리나 전기로 움직이는 전기 자동차와 하이브리드 자동차가 있으며, 배터리의 전기 용량을 증대시키고 외부에서 플러그로 충전이 가능한 플러그인 하이브리드 자동차도 개발되고 있다.

저공해 대체 연료로는 천연가스, 바이오 디젤, 바이오 에탄올, 수소 연료전지 등의 개발이 있다.

마지막으로 “전지를 지배하는 자가 세계를 지배한다”에서는 전기 자동차나 하이브리드 자동차에 장착되는 고성능 충전 배터리의 기술개발 경쟁이 치열할 것으로 전망하고 있다.

1. 우리는 운전만 한다.

□ 운전은 한다. 차는 모른다?

- 국내 자동차 보유대수가 이미 1,600만 대를 넘어서고, 자가용 차량만도 1,200만 대 수준을 돌파하였다.¹⁾ 우리는 하루에도 몇 번씩이나 자동차를 운전하거나, 탑승하여 원하는 목적지로 이동하는 생활을 매일같이 반복하고 있다. 이제는 설날이나 추석과 같은 명절 때가 아니더라도 매시간마다 주요 간선도로의 정체여부를 방송하는 시대를 당연하게 받아들이는 것처럼, 자동차는 일상의 필수적인 이동수단이 되었다. 따라서 신문이나 TV, 인터넷 등을 통해서 자동차의 신기술, 광고, 구입 및 정비와 관련된 다양한 정보가 하루가 멀다 하고 쏟아지고 있다. 그 중에서도 아래 그림과 같은 광고 문구는 우리나라 자동차 운전자들의 성향을 보여주고 있다고 할 수 있다.

<국내 정비체인업체의 TV 광고장면 (TV장면 사진촬영) >



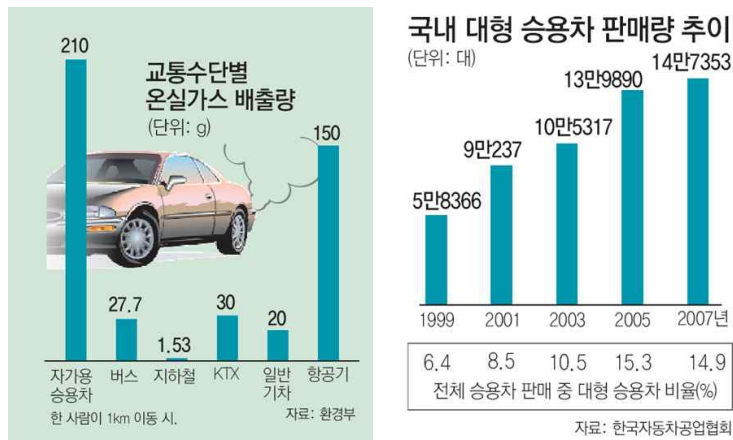
- 운전자 자신뿐만 아니라, 사랑하는 가족의 생명까지 자동차에 맡겨 놓은 채, 차는 모르고 오로지 운전만 할 줄 안다고 당당하게 광고하는 현실에서 일말의 섬뜩한 불안감을 떨치기가 힘든 상황이다.
- 자동차 친환경 기술은 자동차 제작사만의 문제가 결코 아니기 때문이다.

1) 국토해양부 자동차등록현황조사자료 (2008년 5월 현재)

□ 지구온난화 방지는 자동차 제작회사만의 문제이다?

- 운전습관과 자동차 문화만 바뀌도 지구온난화 방지에 기여할 수 있다.
 - 환경시민연합의 발표 자료에 의하면 나쁜 운전습관만 개선해도 연료소모를 약 20% 이상 절약할 수 있다고 한다. 또한 자동차의 각종 편의장치가 늘어날수록 차량은 무거워지고, 차량 제작뿐만 아니라 운행과정에서도 에너지 소모는 더욱 늘어나기 마련이다.2)
 - 하지만 국내 자동차시장에서 대형 승용차의 판매량과 수입차량의 시장 점유율은 계속 상승 중에 있다. 다음의 그림은 한 사람이 1km 이동하는 교통수단별 온실가스 배출량, 국내 대형 승용차의 판매량 및 수입차 점유율을 각각 나타낸다.

<국내 온실가스 배출량, 대형 승용차 판매량 및 수입차 점유율>



2) 중앙일보 2008년 6월9일 기사, 조선일보 2008년 3월4일, 2009년 4월21일 기사

- 따라서 국내 온실가스 배출량은 해가 갈수록 증가하고 있으며, 아래 그림은 각종 온실가스를 이산화탄소 톤(tCO₂) 기준으로 환산한 국내 온실가스의 총 배출량과 1인당 배출량을 나타낸다.



- 타이어는 관심 받고 싶어 한다.
 - 한국소비자원이 대한타이어공업협회 및 교통안전공단과 함께 국내 운행차량의 타이어 실태를 조사(2008년)한 결과에 따르면, 국내 운전자들의 타이어 공기압에 대한 안전 불감증이 심각한 수준인 것으로 나타났다.
 - 국내 차량 100대 중 85대는 타이어 공기압이 불량한 상태이며, 앞 타이어 좌우 공기압의 편차가 3 psi(pound per square inch) 이상인 경우도 17%에 해당될 정도이다.
 - 타이어 공기압만이라도 제대로 관리한다면 연비향상뿐만 아니라 사고예방에도 큰 효과를 볼 수 있다.
 - 최근 국내 고급 승용차량에 선택적으로 보급되고 있는 타이어의 공기압 자동감지시스템(TPMS, Tire Pressure Monitoring System)의 적극적인 확대적용이 필요하다.

○ 아무리 비싸도 산다?

- 지구온난화 방지 및 온실가스 저감의 다양한 노력에도 불구하고 고급 승용차량의 시장은 계속 성장하고 있다. 벤츠, 포르쉐, BMW, 페라리 등과 같은 명차들의 판매는 고유가 시대에도 큰 영향을 받지 않는 경향을 갖는다.
- 이는 뛰어난 주행성능과 함께 성공한 이미지 및 차별성 등을 선호하는 고객들의 차량구입이 계속해서 유지되기 때문이다. 2008년 11월 BMW의 신형 7시리즈 신차 발표회는 오직 7명의 VIP만 초청된 바 있으며, 이러한 발표회를 한두 팀만 초청하여 반복하는 추세이다.
- 이른바 '살 사람만 모시는 마케팅'으로 '소수' 고객만을 집중 공략하는 판매 전략으로 전환되고 있다.

2. 자동차도 다이어트를 한다.

□ 무거운 자동차는 설 땅이 없다.

○ 자동차의 다이어트는 연비향상의 지름길이다.

- 일반적으로 자동차의 무게를 10% 줄이면, 연비는 3~8% 개선되는 것으로 알려져 있다. 엔진의 출력을 동일하게 유지하여 동력성능의 변화가 없더라도, 통계적으로 차량중량이 1% 가벼워지면 연비도 1% 개선되는 것으로 나타난다.
- 자동차의 경량화는 차량의 안전도(충돌테스트의 등급)와 서로 상충(trade-off)관계이므로, 연비향상과 차량 안전도의 조화기술이 자동차 제작 회사의 기술수준으로 평가받게 된다.

□ 차체(body)의 균살을 줄여라.

○ 철강소재의 변신

- 차체중량의 60%를 차지하는 강판소재는 차체의 내·외판 패널(panel), 구조재(멤버, 필러 등) 용도, 보강재(범퍼, 임팩트 빔 등) 용도, 새시(서브 프레임 등) 용도 등으로 구분된다. 강판소재는 고장력(high tensile)화에 따른 두께 감소만으로도 차체의 중량을 크게 줄일 수 있다. 선진 자동차업체의 경우, 차체용 고장력 강판의 적용비율이 40%에 이르고 있다.
- 고장력 강판은 현재 340MPa 수준에서 부품특성에 따라 590MPa 이상의 강판이 적용되고 있으며, 측면 충돌특성 향상을 위한 센터 필러(center pillar) 부위에는 1,500MPa 급의 초고장력강의 적용이 현실화되고 있다.

○ 경량금속 및 고분자소재

- 엔진의 실린더 블록(Cylinder Block)에 알루미늄 합금을 적용하면, 기존 주철재 실린더 블록에 비해 약 40% 이상의 무게 저감효과를 얻을 수 있

다. 최근에는 엔진 실린더의 라이너(liner) 삭제를 통한 실린더 간의 간극(Bore Gap)을 최소화시키는 기술이 개발되고 있다.

- 여러 개의 부품들이 서로 용접된 강판재료를 한 개의 마그네슘 주조재로 대체할 경우, 약 40%의 중량감소를 얻은 사례가 있다.
- 고분자 소재의 채택 : 내·외장 플라스틱의 채택이 증대되고 있는데, 단섬유(유리섬유)에서 장섬유 강화 복합재료의 적용증대와 무(無)도장 플라스틱 등의 채택이 증대되고 있다.

□ 자동차도 먹는 것(연료)을 변화시켜야 한다.

○ 기존 석유계 연료

- 환경부에서는 2009년 1월1일부터 휘발유와 경유의 황성분을 각각 30ppm, 10ppm 이하로 강화하였다.
- 휘발유의 황성분은 원유에 기인하며, 배기저감을 위한 후처리장치인 촉매의 정화효율을 저하시키고, 산소센서(O₂ 센서, Lambda Sensor라고도 함)의 기능에도 영향을 미쳐서 유해가스를 과다 배출하게 한다.
- 경유의 황성분 역시 후처리장치에 영향을 끼친다. 디젤엔진후처리장치의 내구성과 정화효율은 가솔린 엔진보다도 황성분에 매우 민감하여, 연소시 황산염을 형성하여 PM(Particulate Matter, 입자상물질, 마스크에서는 보통 '미세먼지'로 표현)의 배출량을 증대시키고 엔진의 부식과 마모를 촉진시키게 된다.

○ 천연가스

- 원유에 비해 매장량이 풍부하고, 탄소수가 적어 청정성이 높고 온실가스인 이산화탄소 배출량도 적어서 저공해 대체연료로 보급이 확대되고 있다.
- 전 세계적으로 약 850만 여대의 천연가스 자동차가 보급되었으며, 국내에서는 2000년 이후부터 스파크점화에 의해 착화되는 방식의 엔진이 기존 시내버스의 디젤엔진을 대체하고 있다. 2008년 현재 약 15,000여 대의 천

연가스 차량과 250여개의 충전소가 운영되고 있다.

○ 바이오 디젤

- 바이오 디젤은 식물성 기름, 동물성 지방, 폐식용유 등과 같이 재생 가능한 자원을 촉매 존재 하에 알코올과 반응시켜 제조한다. 경유와 물성이 비슷하여 경유를 대체하거나 또는 혼합하여 디젤 엔진의 연료로 사용할 수 있다.
- 바이오 디젤은 PM, HC(Hydrocarbon, 탄화수소), CO 등의 유해물질 배출이 적고, 탄소중립인 연료이므로 차량에서 배출되는 이산화탄소는 기후변화협약의 온실가스 배출량 통계에 산입되지 않는다.
- 연료의 산화 안정성과 저온 유동성이 나빠서 쉽게 변질되거나 엔진의 시동성 악화를 유발할 수 있는 단점이 있으나, 첨가제를 사용하여 개선하고 있다.
- 국내에 20개 사의 바이오 디젤 생산업체가 있고, 연간 80만톤을 생산한다.

○ 바이오 에탄올

- 바이오 에탄올은 전분질(옥수수, 카사바 등)계, 당질(사탕수수, 사탕무 등)계, 목질섬유(목재, 농산폐기물 등)계 등의 원료를 발효시켜 생산한다. 옥탄가가 높아서 휘발유에 대체 또는 혼합하여 가솔린 엔진의 연료로 사용할 수 있다.
- 바이오 에탄올은 탄소중립 연료이며, 산소를 다량으로 함유하고 있어서 CO와 같은 가솔린 엔진의 유해물질 배출가스가 크게 저감된다.
- 공기 중의 수분을 흡수하여 상분리를 유발하는 특성이 있기 때문에, 가솔린과 혼합하여 사용할 경우에는 이를 방지하는 유통 인프라의 구축이 필요하다.
- 바이오 에탄올을 가장 많이 사용하는 나라는 브라질과 미국이다.

○ 수소

- 지구에 무한히 존재한다고 볼 수 있는 물을 원료로 제조할 수 있으며, 연소 후에 생성된 물은 다시 재순환되므로 재생 가능한 연료라 할 수 있다. 또한, 이산화탄소를 비롯한 유해가스를 거의 배출하지 않으므로 꿈의 에너지라고도 말할 수 있다.
- 수소를 연료로 자동차에 사용하는 방법은 기존의 내연기관과 연료전지 자동차에 사용하는 두 가지 방식으로 구분된다.
- 연료전지 자동차는 무공해, 고효율, 저소음 등의 뛰어난 장점으로 세계 각국에서 기술개발을 활발히 추진하였으나, 연료전지의 가격과 내구성 등의 기술적 문제들이 우선적인 해결과제라 할 수 있다.
- 내연기관 연료로 수소를 사용하는 경우에는 배기가스 중에 물과 질소산화물만이 존재하므로, 온실가스 저감과 대기의 질 개선에 크게 기여할 것이며, 기존의 내연기관 설계 및 양산기술을 준용할 수 있는 이점이 있다.

3. 엔진의 환골탈태(換骨奪胎)

□ 가솔린 엔진은 숨가쁘다.

○ 가솔린 엔진의 성형수술

- 최근 자동차 엔진기술은 단순히 높은 효율과 출력뿐만 아니라 배기가스의 엄격한 규제에 관한 사항을 동시에 요구하고 있다. 특히 지구온난화 방지를 위해 주요 온실가스로 분류되는 CO₂ 가스의 배출저감이 한층 엄격해지고 있는 추세이다.
- 또한 고효율 특성과 낮은 CO₂ 배출을 장점으로 내세운 디젤엔진의 시장 잠식으로 말미암아, 가솔린 엔진에서도 낮은 배기, 높은 연비를 지향하는 기술개발이 최우선시 되고 있다.
- 가솔린 엔진의 성능향상을 위한 변신으로는 가솔린 직접분사, 가변 밸브 기구, 가변 압축비, 가변 실린더 기술 등이 있다.

○ 가솔린 직접분사(DISI, Direct Injection Spark Ignition) 엔진

- 과거 GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진으로도 불렸던 가솔린 직접분사 방식은 가솔린 연료를 연소실에 직접 분사하여 매우 희박한(연료에 비해 공기가 매우 많은 상태) 혼합기에서도 높은 효율의 연소를 가능케 하는 기술이다. 기존 가솔린 엔진에 비해 연료절감과 고출력을 동시에 만족시킬 수 있다.
- 이는 흡기행정 펌프손실(Pumping Loss) 저감과 연료의 직접 분사로 연소실 온도가 낮아지는 효과로 체적효율(Volumetric Efficiency) 향상과 함께 압축비를 높일 수 있기 때문이다.
- 2000년 초반의 국내 최고급 차량에 적용된 초기사양에 비해서 미립화용 인젝터, 가변밸브, 흡장형 질소산화물 촉매기술 등이 보완되어서 연료효율 증대 및 배기 저감효과를 기대할 수 있다.

- 가변 밸브(VVT:Variable Valve Timing, VVL:Variable Valve Lift) 기구
 - 흡기(intake) 및 배기(exhaust) 밸브의 여닫는 시기를 엔진 회전수와 부하(load)에 따라 변화시키는 기구를 VVT 장치라 하며, 밸브가 열리는 길이(양정, Lift)를 조절하는 기구를 VVL 장치라 한다.
 - 일본 Honda의 V-TEC 장치는 이러한 기구를 채택하여 엔진의 저·중부하 영역의 연비를 크게 향상시킴.
 - 향후 전자기력으로 밸브를 구동시키는 EMV(Electro-Mechanical Valve) 시스템의 개발이 예상됨. 이는 타이밍 벨트나 체인의 삭제가 가능하여, 폭넓은 엔진설계 및 성능향상을 기대할 수 있다.

- 가변 압축비(VCR, Variable Compression Ratio) 엔진
 - 엔진가동 중에 연소실의 체적을 변화시켜서 엔진의 고정된 압축비를 변경할 수 있는 엔진을 뜻함.
 - 낮은 엔진부하에서는 높은 압축비를 사용하여 연료효율을 높이고, 부하가 증가할수록 압축비를 저하시켜 노킹(knocking) 방지 및 엔진의 내부 열전달을 원활하게 해준다.
 - 결국 적은 배기량으로도 큰 배기량의 엔진에 필적하는 출력특성을 얻을 수 있으며, 또한 가변 압축비 엔진은 다양한 대체연료의 사용이 가능한 이점이 있다.

- 가변 실린더(VCM, Variable Cylinder Management) 엔진
 - 차량의 저속, 저부하 운전영역에서 실린더의 일부를 연소과정 없이 운전시키고, 나머지 실린더들로만 운전하는 방식의 엔진으로, 실린더의 비활성화(deactivation) 개념으로 연료를 절약한다.
 - 밸브의 운동을 정지시켜 연비를 향상시키고 저속영역에서 엔진 배기량을 줄여 배기성능도 향상시키는 효과를 얻는다.
 - 일본 Honda의 i-VTEC 장치에 적용되었다.

□ 과거의 디젤 엔진이 아니다.

○ 디젤 엔진의 부활(재평가)

- 디젤 엔진은 높은 압축비로 인해 열효율이 높고 펌프손실(Pumping Loss)이 적을 뿐만 아니라, 희박연소를 하는 특성으로 인하여 연료소비율이 동일한 출력의 가솔린 엔진에 비해서 약 30% 적은 특징을 갖는다. 따라서 에너지 고갈문제에 대한 대책과 지구온난화의 주범인 이산화탄소에 대한 규제(120g/km)를 동시에 해결할 수 있는 엔진으로 재평가되고 있다.
- 또한 가솔린 엔진에 비해서 일산화탄소(CO)와 탄화수소(HC)의 배출량이 극히 적은 장점을 갖는다.
- 유럽지역에서는 2007년 승용차 시장의 53%가 디젤 엔진이었으며, 국내 시판 중인 승용차와 RV의 경우 디젤 엔진을 장착했을 때 가솔린 엔진과 비교해서 17~42%의 우수한 연비 개선효과가 있는 것으로 알려져 있다.
- 디젤 엔진은 연소원리상 입자상물질(PM, Particulate Matter)과 질소산화물(NO_x , Nitrogen Oxides)의 배출이 인체에 유해하여 그 규제치가 더욱 엄격하므로, 이에 대응하는 연소기술의 개선과 배기 후처리장치의 개발이 필수적이다.

○ 디젤 엔진의 성형수술

- 디젤 엔진의 연비개선과 동시에 인체에 유해한 배출물의 저감을 위해서는 기존의 디젤 엔진과는 전혀 다른 새로운 선진기술과 장치들이 개발·적용되어야 한다. 먼저 디젤 엔진의 연비개선과 관련된 기술로는 연료 분사 시스템, 과급기술, 가변 압축비, 지능형 냉각시스템, 엔진의 Down-sizing 등으로 구분할 수 있다. 디젤 엔진의 배기 후처리장치는 다음 항목에서 언급하였다.
- 디젤 엔진의 연비개선에 대한 비용의 상승은 피할 수 없는 장벽이라 할 수 있다. 엔진의 내구성 확보와 고압의 연료 분사시스템의 장치 등으로 인하여 이미 현재의 디젤 엔진은 가솔린 엔진에 비해 2배 가까운 가격을

가지기 때문이다. 연비개선과 더불어 강화되는 배출물 규제의 대응을 위한 추가 비용을 최소화시키는 것이 문제이다.

○ 연료 분사시스템

- 직접분사식 디젤엔진은 연소실 내부로 분사된 연료와 공기가 혼합되는 속도에 의해서 연소상태가 결정된다. 따라서 공기와 연료의 혼합이 효과적으로 이루어지도록 연소실 내부의 유동특성과 더불어 연료의 분사율, 분무의 형태, 분무의 미립화 특성을 최적화하는 것이 중요하다.
- 최근의 연료 분사시스템은 커먼레일(Common Rail)과 유닛 인젝터(Unit Injector) 등을 주축으로 하는 전자제어 고압 연료 분사시스템으로 개선되고 있다. 응답성이 빠른 동축 가변노즐(Coaxial Vario Nozzle)을 갖춘 솔레노이드 인젝터(Solenoid Injector)를 이용하여 최대 2,200bar 이상으로 분사압력을 높이고 다단분사가 가능하게 개발되고 있다.
- PM과 NO_x를 동시에 저감시키기 위한 새로운 연소기술로는 예혼합 압축착화(HCCI, Homogeneous Charge Compression Ignition) 방식이 주목받고 있다. 이 연소방식은 기존의 디젤이나 가솔린 엔진과는 달리 연소실 내에 희박혼합기를 형성한 후, 자기 착화온도에 도달하면 동시다발적인 연소를 유발하여 순간적으로 연소가 이루어지게 한다. 따라서 연소율이 높아 연비향상에 크게 기여할 수 있으며, 연소실 내의 온도가 낮아 NO_x 발생량이 적은 특징을 가진다.
- 이러한 예혼합 압축착화 연소방식은 PCCI(Premixed Charge Compression Ignition)라고도 불리며, 기체와 액체상태의 모든 연료에 대한 적응력이 높아 다양한 연료(가솔린, 경유, 일반 가스연료, DME(Dimethyl Ether) 등)를 적용할 수 있는 연소원리를 가지는 장점이 있다.

○ 과급(Turbo/Super Charger) 기술

- 과급기술은 흡입공기량을 늘려 엔진의 출력을 증대시키는 기술이다. 즉, 적은 배기량으로 큰 출력을 얻을 수 있는 기술로 가솔린 엔진보다 무게가

무거운 단점을 가진 디젤 엔진의 소형화(Down-sizing)에도 기여한다.

- 최근에는 2단 터보차저(2 Stage Turbo Charger)와 Electric Booster를 적극 도입하여 기존 디젤 엔진의 출력향상과 더불어 연소실내의 최고압력을 저감시켜 엔진 중량 및 제작단가 저감, 저마찰 및 연비향상 등을 꾀하고 있다.

○ 가변 압축비

- 가변 압축비(VCR, Variable Compression Ratio) 기술은 압축비가 상대적으로 낮은 가솔린 엔진에 주로 적용되었으나, 디젤 엔진에서도 마찬가지로 원리를 이용하여 낮은 부하(load)에서는 높은 압축비를 사용하여 출력향상과 배출물 저감을 꾀하고 높은 부하에서는 낮은 압축비를 사용함으로써 질소 산화물 배출을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

○ 지능형 냉각시스템

- 일반적인 엔진의 냉각시스템은 높은 부하와 극한 운전조건에 맞추어 엔진의 연소실과 접한 금속면들과 각 부품들의 열적파손이 발생하지 않도록 설계되어 있다. 그러나 실제 이러한 극한조건의 차량운행은 전체 운전시간의 2%에도 미치지 못한다. 따라서 실제 차량이 가장 많이 사용되는 엔진의 낮은 부하에서는 엔진의 온도가 과도하게 낮아지는 경향을 가져서 실린더 라이너의 마찰손실 증가, 연소온도 감소, Heater Core의 성능저하를 가져올 수 있다. 이러한 모순점을 해결하기 위해 지능형 냉각시스템을 도입하면 구동손실의 저감과 더불어 연비의 개선효과를 기대할 수 있다. 또한 이는 향후 디젤 하이브리드 엔진에 적용함으로써 엔진의 효율향상과 배기저감에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

○ Down-sizing

- 디젤 엔진의 가장 뚜렷한 연비 개선효과는 다운사이징(Down-sizing)이다. 이는 디젤 엔진의 배기량을 줄여서 효율이 좋은 고부하 운전영역을 사용

한다는 개념이다. 하지만 질소산화물의 배출이 증대될 우려가 있으므로, LPL(Low Pressure Loop) EGR(Exhaust Gas Recirculation)의 적용, EGR Cooler의 적용, 압축비 감소 등의 개선작업이 필요하다.

□ 디젤 엔진도 장(腸)이 좋아야 건강하다.

○ 디젤 엔진의 배출물

- 디젤 엔진의 배출물 중에서 가장 문제되는 유해물질은 입자상물질(PM)과 질소산화물(NO_x)이다.
- PM은 연료의 연소과정에서 수소원자가 연료분자로부터 이탈되고 남은 탄소(탄화수소 성분과 엔진 윤활유계 탄화수소 성분)와 기타 성분(계면활성제, 윤활고상 물질 및 엔진 마모성분 등)들로 구성되며, 디젤 엔진의 연소실 내부의 고온과 열분해과정에서 생성된다. PM은 인체의 호흡기에 침투하여 폐에 흡착됨으로써 호흡기 질환 및 폐암을 유발시킬 수 있는 매우 유독한 물질이라 할 수 있다. PM은 탄소 미립자(이를 Soot로 표현하기도 한다)와 탄화수소 화합물 및 황성분에 의한 황산염 등으로 이루어지므로 산화나 환원반응으로는 제거할 수가 없다. 따라서 별도의 장치로 포집하지 않으면 그대로 대기 중에 배출되기 마련이다.
- NO_x 는 디젤 엔진의 연소가 과잉의 산소 분위기에서 이루어지기 때문에 중성인 질소가 반응과정에서 다량으로 배출하게 된다. NO_x 는 코와 인후를 자극하여 재채기, 기관지염, 폐부종과 같은 현상을 유발하고, 특히 천식환자에게 매우 위험한 공해물질이라 할 수 있다. 또한 NO_x 는 HC와 함께 태양광선에 의한 광화학 반응(광화학 스모그)을 일으켜 인체에 해로운 오존을 발생시키는 주범이다. NO_x 는 NO와 NO_2 가 대부분을 차지하며, NO는 색과 냄새가 없고 인체에 비교적 해가 적은 반면에, NO_2 는 심한 냄새와 황갈색을 띄며 인체에 큰 피해를 입힌다.
- 이러한 PM과 NO_x 는 서로 상충 관계이므로, 이들을 줄이는 방법은 ① 엔

진으로부터 PM을 현격하게 줄이고, 그 대신 증가되는 NO_x를 별도의 후처리기술로 저감하는 방안, ② 엔진으로부터 NO_x의 배출량을 현격하게 줄이면서 다량의 PM은 필터로 걸러내는 방안 등을 선별할 수 있다.

○ 내버리는 배출가스도 재활용한다.

- 배기가스 재순환(EGR, Exhaust Gas Recirculation) 장치는 디젤 엔진의 질소산화물인 NO_x를 저감시키기 위해서, 연소가 끝난 배기가스를 다시 흡기를 통해 연소실로 유입시키는 장치이다. 연소실로 유입되는 신선한 공기(Fresh Air)의 일부를 대체한 배기가스로 말미암아 연소실 내의 산소농도가 낮아지게 되어 화염영역(Flame zone)이 넓어지면서 온도가 감소하여 질소산화물의 생성을 억제시키기 때문이다. 즉, 내버려지는 배기가스도 효율적으로 재활용하는 셈이다.
- 배기가스 재순환(EGR) 장치는 고압의 HPL(High Pressure Loop) EGR, 저압의 LPL(Low Pressure Loop) EGR, EGR Cooler 등으로 구분된다.

○ 배출물 후처리기술

- 계속 강화되고 있는 배기가스 규제치에 만족하기 위해서는 디젤 엔진의 주요 배출물인 PM과 NO_x를 저감시키기 위한 후처리기술이 매우 중요해지고 있다. 인체에 비유하자면 위에서 미처 소화시키지 못한 음식물을 소장(小腸)과 대장(大腸)을 통해서 충분히 소화시키는 개념과 매우 흡사하다.
- 대표적인 후처리기술로는 디젤산화촉매(DOC, Diesel Oxidation Catalyst), 입자상물질 필터(DPF, Diesel Particulate Filter), 선택환원촉매(SCR, Selective Catalytic Reduction), 질소산화물 흡장환원법(NSR, NO_x Storage and Reduction) 등이 주로 사용된다.

○ 디젤산화촉매(DOC, Diesel Oxidation Catalyst)

- DOC는 디젤 엔진의 배기가스 중에서 CO는 80~90%, HC는 70~80% 정도 저감시키며, PM 성분 중에서 산화가 용이한 용해성 유기화합물(溶解性 有

機化合物, SOF : Soluble Organic Compounds)만을 제거하는 기능을 갖는다. 즉, 배기가스 중에서 산화가 가능한 성분들을 제거하기 때문에 뒤에서 설명할 DPF, SCR, NSR 등의 장치들도 디젤산화촉매의 도움이 없이는 제 기능을 발휘하기가 힘들어진다.

- DOC는 입자상물질 중 산화가 어렵거나 불가능한 물질을 저감하기 위해서는 DPF가 필요하며, 질소산화물의 저감을 위해서는 SCR과 NSR과 같은 별도의 환원시스템이 장착되어야 한다.

○ 입자상물질 필터(DPF, Diesel Particulate Filter)

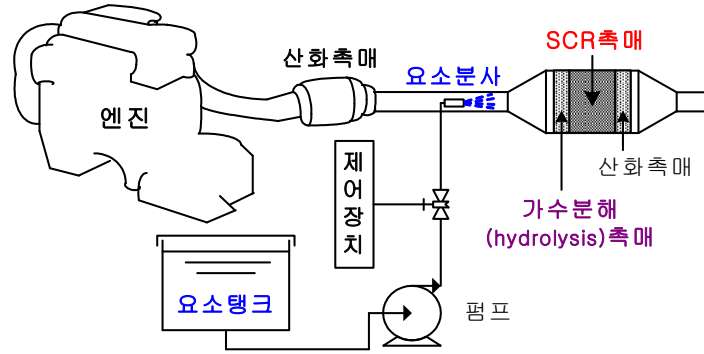
- DPF는 매연을 포함한 입자상물질인 PM을 여과재에 포집하고, 배기가스의 온도나 외부의 열을 이용하여 포집된 PM을 연소시켜 재생하는 장치이다.
- 포집된 PM을 재생시키는 방식에 따라 촉매식 자연재생 DPF, 강제재생 및 복합재생 DPF 등으로 구분된다. 현재 국내 디젤 엔진장착 차량에 채택된 DPF는 대부분 촉매식 자연재생 방식이다.
- 이러한 후처리장치가 제 기능을 발휘한다 하더라도 연료 내에 황성분이 많을 경우에는 PM이 급격하게 증가될 수 있다. 그 이유는 배기가스가 디젤산화촉매(DOC)를 거치면서 황성분이 삼산화황(SO₃)으로 산화되고, 이것이 배기 중의 수분과 반응하여 황산염(Sulfate)성분을 형성하게 되는데, 바로 이 황산염성분이 입자상물질로 구분되어 규제되고 있기 때문이다. 따라서 연료의 황성분 관리가 매우 중요하다.

○ 선택환원촉매(SCR, Selective Catalytic Reduction)

- 선택환원촉매는 주기적이거나 또는 연속적으로 분사되는 환원제를 흡장하고 있다가 엔진에서 배출되는 질소산화물(NO_x)과 반응시켜 정화하는 역할을 한다.
- 환원제로는 일반적으로 암모니아(NH₃)를 사용하는데, 암모니아의 유독성 가스 특성과 폭발 위험성 등으로 인해 요소(Urea)를 선택환원촉매(SCR) 전방에 분사하면 가수분해 과정을 거쳐 암모니아로 변환된 후 질소산화물

의 환원과정에 참여하게 된다. 따라서 Urea-SCR이라 부르기도 하며, 다음의 그림은 요소를 이용한 선택환원촉매의 작동원리를 보여준다.

<선택환원촉매의 작동원리>



○ 질소산화물 흡장환원(NSR, NO_x Storage and Reduction)

- 질소산화물 흡장환원은 질소산화물을 먼저 흡장시킨 후 환원제거하는 방법을 뜻하며, 연료가 희박한 상태에서 질소산화물을 포집한다는 의미로 LNT(Lean NO_x Trap)이라 부르기도 한다. 즉, 연료를 환원제로 공급하므로 별도의 환원제 공급망을 구축할 필요가 없어 유리하나, 연료내의 황성분에 의한 피독과 NO_x 재생이 잦을 경우에는 연비가 악화되는 단점이 있다.

4. 하이브리드는 만능인가?

□ 하이브리드 자동차의 정체

○ 하이브리드 자동차의 구조 및 작동원리

- 하이브리드 자동차(HEV, Hybrid Electric Vehicle)는 기존 엔진에 별도의 모터를 장착하여 배터리에 저장된 전기 에너지의 동력으로 주행하는 자동차를 의미한다.
- 신호대기와 같은 차량정지 상태에서의 엔진 공회전과 출발이나 가속과 같은 주행조건에서는 기존 엔진의 연료소모가 많고, 유해 배기가스도 다량 발생한다. 반면에 일정한 속도 이상의 정속조건에서는 엔진의 효율이 높아서 연비가 좋아지고 배기가스 발생량도 줄어들게 된다. 하이브리드 자동차는 이러한 기존 엔진의 단점을 전기모터의 채택으로 에너지 효율을 향상시키고 배기가스를 저감시키는 자동차이다. 아래 그림은 모터와 엔진의 토크와 출력특성을 나타내 것으로, 우측 그림에서 보듯이 출발 및 저속주행에서는 토크가 큰 모터를 이용하고, 중·고속주행에서는 엔진의 토크를 이용하는 개념이다.

<모터와 엔진의 토크 및 출력비교, 하이브리드 작동원리(우측그림)>

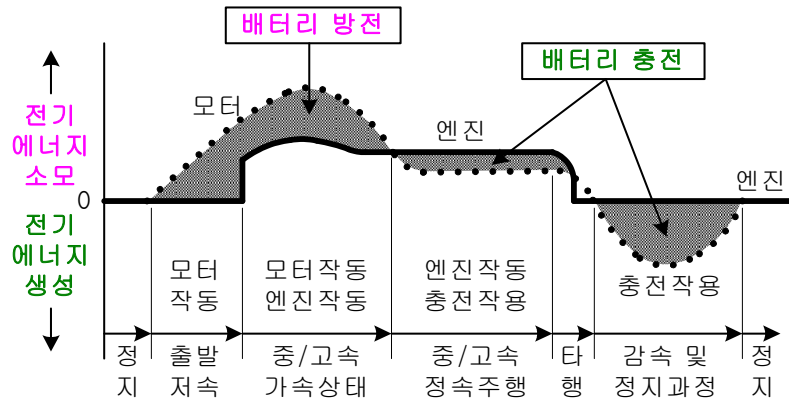


○ 하이브리드 자동차의 에너지 흐름과 주행특성

- 하이브리드 자동차의 에너지 흐름과 주행특성 간의 관계는 다음의 그림으

로 설명할 수 있다.

<하이브리드 자동차의 에너지 흐름과 주행특성>



- 하이브리드 자동차는 전기 자동차에서 문제되는 배터리의 전기저장 한계를 극복하고, 배터리의 충전상태(SOC, State of Charge)에 따라 엔진의 동력을 이용하여 자가 충전할 수 있다는 큰 장점을 가진다.
- 또한 브레이크 작동에 의한 감속과정에서도 바퀴의 운동에너지를 단순히 열에너지로 방출하는 것이 아니라, 이 에너지를 배터리 충전으로 이용하는 회생제동(regenerative braking, 또는 brake energy regeneration)으로 차량의 구동력을 배터리에 축적할 수 있다는 이상적인 작동개념을 가진다.
- 국내의 현대자동차에서는 LPG 엔진을 기반으로 하이브리드 자동차를 출시하였다. LPG 엔진을 선택한 이유는 연료 가격뿐만 아니라 경쟁사에 비해서 상대적으로 기술우위에 있는 LPG 엔진기술(세계 최초 ULEV 기준을 만족하는 LPG 자동차를 시판하고 있다)을 이용하여 경쟁사와의 직접적인 경쟁을 피하려는 의도도 있으리라 생각된다. 아쉬운 점은 세계적으로 LPG를 연료로 쓰고 있는 나라는 한국과 일본이 지배적이며, 이 두 나라의 자동차 비율이 전 세계의 90%를 상회하고 있어서 수출의 여지가 매우 좁다는 점이다.

○ 하이브리드 자동차는 과연 만능인가?

- 하이브리드 자동차의 뛰어난 연비는 매스컴을 통해 알려진 것처럼 과연 뛰어나다고 생각할 수 있다. 하지만, 이는 오로지 복잡한 도심의 정체상태에서 주행하거나, 잦은 정지와 가속이 반복되는 저속주행 조건에만 해당된다고 볼 수 있다. 하이브리드의 뛰어난 연비가 후회 없이 발휘되는 때가 바로 이러한 주행조건이기 때문이다.
- 차량이 정속이나 특히 고속으로 주행하는 상황에서는 하이브리드의 연비효과가 급격하게 사라진다. 이때에는 복수의 동력원을 탑재하여 중량과 공간용적을 모두 증가시키는 것이 오히려 연비향상에 걸림돌이 되기 때문이다. EU에서 실시한 주행시험에서는 벤츠 'E320 디젤 승용차'의 연비가 도요타 'RX400h 하이브리드 자동차'보다 연비가 오히려 좋게 나타나고 있어서 하이브리드 자동차는 주행조건에 크게 좌우되고 있음을 알 수 있다.
- 하이브리드 자동차가 배터리의 전기에너지를 이용하여 주행하는 거리는 크게 잡아도 저속에서 2~3km에 불과하다. 그 이상은 모두 엔진의 동력이 담당해야만 하며, 방전된 배터리까지 충전시키면서 주행해야만 하는 것이 사실이다. 배터리가 온전하게 충전되지 않은 상태일 경우에는 차량 정지 및 출발과정에서도 엔진은 쉴 틈 없이 가동되어야 한다.
- 이제 소비자들도 하이브리드 자동차의 우월한 연비가 비싼 차량가격을 상쇄하기까지 얼마간의 시간이 필요한지, 가격에 대한 장점이 있는지 꼼꼼하게 따져보게 될 것이다.

□ 하이브리드의 구원투수, 플러그 인 하이브리드 자동차

○ 플러그 인 하이브리드 자동차

- 플러그 인 하이브리드 자동차(PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle)는 배터리의 전기용량을 증대시키고, 외부(주로 집)에서 플러그에 의한 충전이 가능하도록 하여 전기에너지만의 주행거리(AER, All Electric Range)

를 확장시킨 하이브리드 자동차이다.

- 기존 하이브리드 자동차에서 짧은 모터구동(저속에서 2~3km 미만의 주행거리)의 한계를 넘어서는 거리(GM의 볼트는 40mile 정도가 가능하다고 발표)까지 확장시키기 위해서는 배터리의 용량증대가 필요하다. 현재 시판되는 HEV의 배터리 용량은 1~2kWh이나, 플러그 인 하이브리드 자동차에서는 5~15kWh의 용량증대가 필수적이다.
- 최근 미국 GM에서 발표한 '볼트'라는 자동차는 배터리만의 에너지로 40mile의 거리를 주행할 수 있다고 하면서, 연비는 100km/Liter 에 이른다 고 발표한 바 있다. 미국의 연방간선도로국(FHA, Federal Highway Administration)에 따르면 미국인들의 하루 평균 주행거리는 40mile 내외, 주행시간은 1시간 내외인 것으로 알려져 있다. '볼트'는 이러한 일반 자동차사용자들의 이용실태를 기반으로 개발되고 있음을 알 수 있다.

5. 전지를 지배하는 자가 세계를 지배한다.

□ 석유의 시대에서 전지의 시대로

○ 21세기의 산업혁명, 전지의 시대

- 오랫동안 인류에게 에너지를 제공해 온 석유는 이제 환경문제와 고갈우려로 인하여 주역의 자리에서 물러나려고 한다. 이제 새롭게 등장하는 에너지원은 바로 '전지(Battery)'이다.
- 자동차의 동력원도 내연기관의 시대를 서서히 마감하려는 기세이고, 전기모터의 동력원으로 대체되는 추세로 기울어지고 있다. 즉, '석유'에서 '전지'로 패러다임의 변화(Paradigm Shift)는 기존의 업계 질서를 무너트리고 산업구조를 완전히 바꿔놓을 가능성을 보이고 있다. 2009년 Time의 신년호에서는 '에너지 절약'을 제 5의 에너지라고 정의하고 있다. 아래 그림은 이러한 경향을 함축적으로 나타낸 '일경 비즈니스(Nikkei Business)' 표지의 내용이다.



○ 사용가능한 전지(배터리)로는 무엇이 있을까?

- 기존의 하이브리드 자동차에 장착되는 배터리는 Panasonic EV와 Sanyo 등에서 공급한 니켈-수소(Ni-MH)전지들이며, 출력 밀도가 1~1.5kW/kg, 에너지 밀도는 40~50Wh/kg 수준이다. 아직까지 높은 생산가격, 낮은 전

지효율, 높은 자가방전을 등은 시급히 개선되어야 할 기술적 문제이다.

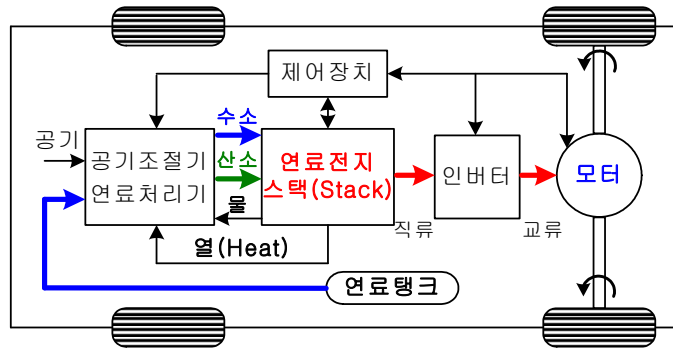
- 최근에 개발되는 하이브리드 자동차용 배터리는 리튬이온 전지(LIB, Lithium Ion Batteries)로 니켈-수소전지에 비해서 중량과 부피대비 에너지 밀도가 우수하고 뛰어난 고출력으로 기대되고 있다. 참고로 출력 밀도는 3~4kW/kg, 에너지 밀도는 60~100Wh/kg 수준이다.
- 하이브리드 자동차용 배터리는 소형 가전용 이차전지와는 달리 10년 이상의 보증기간이 필요하고, 보증기간 이후에도 안전사고(폭발이나 화재 등)가 발생되지 않아야 하는 엄격한 조건이 필수적이다. 리튬이온 전지의 핵심소재는 양극, 음극, 전해질, 분리막으로 나눌 수 있으며, 하이브리드 자동차용 배터리는 많은 수의 전지를 직렬로 연결하여 구성되므로, 단 하나의 전지만 수명열화가 진행되어도 전체 시스템의 수명을 좌우하게 된다. 따라서 전지의 균일성(Uniformity) 확보가 매우 중요하며, 시스템의 열적/기계적 스트레스를 균일하게 유지하는 설계기술이 매우 중요하다.

□ 자동차용 연료전지는 도대체 언제 데뷔(Debut)하나?

○ 연료전지 자동차의 원리

- 연료전지 자동차(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)는 연료전지(Fuel Cell)에서 연료인 수소와 산소를 반응시켜 생성된 전기로 모터를 구동하여 차량의 동력원을 얻는다.
- 배기가스 중에는 미반응 산소와 질소, 수증기와 열 외에는 다른 유해물질이 전혀 배출되지 않으므로 무공해자동차라 할 수 있다. 아래 그림은 연료전지 자동차의 동력흐름에 관한 것이다.

<연료전지 자동차의 동력흐름>



- 차량의 효율비교에서 차량효율(Tank-to-Wheel)은 연료탱크에서 구동바퀴까지의 에너지 효율을 뜻하며, 연료효율(Well-to-Tank)은 유정에서 연료탱크까지의 효율을 뜻하는데, 여기에는 연료의 채굴, 정제, 수송, 탱크보급까지의 에너지 손실 등을 고려한 것이다. 이러한 효율을 모두 고려한 총합효율(Well-to-Wheel)을 보면, 연료전지 자동차는 가솔린 자동차와 비교할 때 200% 이상의 효율상승이 있다고 알려져 있다.
- 연료전지 자동차 개발의 난제는 무엇인가?
 - 무엇보다도 연료전지의 비용, 주행 가능거리, 연료공급 인프라, 연료전지 탑재에 의한 자동차 중량 및 체적증가 문제 등이 있다.
 - 현재의 기술로 연료전지 자동차를 제작하는데 소요되는 비용이 한 대당 약 10억 원이 넘는 것으로 알려져 있다.
 - 그 외에도 시동성능, 빙점 아래에서의 작동성능 및 내구성능에 대해서도 해결해야 할 기술적 문제들이 산적한 상태이다.
 - 세계적으로 엔진기술력을 선도하는 선진 메이커 중에는 ‘공짜’로 수소가 주어진다 하더라도 연료전지가 아닌, 내연기관인 엔진의 연료(수소 엔진)로 사용하겠다는 전략을 가지고 있을 정도이다.
- 연료전지 자동차의 주행거리
 - 현재 연료전지 자동차는 1kg의 수소로 100km 정도를 주행할 수 있는데,

35MPa의 고압으로 100L의 고압 수소탱크에 저장할 수 있는 수소의 양은 2kg에 불과하다. 따라서 200km 정도의 주행거리밖에 얻을 수 없는 실정이다. 탱크의 저장압력을 현재의 두 배인 70MPa로 승압시키고, 수소의 저장효율을 개선시킨다고 해도, 현재의 가솔린 자동차의 주행거리(500km 내외)에 필적하려면 150L의 탱크(가솔린 연료탱크의 3배 크기)가 필요하다.

○ 연료전지의 빙점 아래에서의 작동성능

- 내연기관 자동차는 -30°C 정도의 저온에서도 신속한 시동이 가능하다. 연료전지는 발전반응에 의해 생성되는 물이 빙점 아래에서는 동결되는 관계로 반응가스(수소와 산소)의 수송경로가 폐색되어 단시간에는 전기생성이 불가능한 상태에 이르게 된다.
- 빙점 아래의 추운 날씨에서는 외부의 에너지(차량의 배터리)를 이용하여 연료전지의 온도를 신속하게 올리는 방안도 강구할 수 있으나, 자동차 구동용 연료전지의 용량을 감안할 때, 배터리의 전기 에너지 소모는 상당할 수밖에 없다. 차량의 배터리에 저장된 에너지 역시 연료전지의 발전에 의해 축적된 것이기 때문에, 자동차의 실용연비나 주행거리에도 심각한 영향을 끼치게 된다.

<참고문헌>

1. 사종성, 정남훈, “알기 쉬운 자동차 개발공학 이야기”, 청문각, 2005
2. 사종성, “운전도 하고 자동차도 안다.”, 청문각, 2004
3. 사종성, 김한길, “자동차 진동소음의 이해”, 청문각, 2006
4. 한국자동차공학회지, 제31권1호(2009), 제30권6호(2008), 제30권4호(2008), 제30권3호(2008), 제30권1호(2008), 제28권6호(2006)
5. 중앙일보 신문기사 : 2008년 9월22일, 2008년 8월30일, 2008년 7월14일, 2008년 6월9일
6. 조선일보 신문기사 : 2009년 7월15일, 2009년 4월21일, 2008년 8월22일, 2008년 7월22일, 2008년 3월4일, 2007년 9월11일
7. 동아일보 신문기사 : 2009년 2월28일, 2008년 10월8일, 2008년 9월5일, 2008년 9월3일,