

# 수송에너지 효율성 향상 기술

이 글은 수송에너지 분야의 효율성 향상 기술에 대한 전망을 다룬다. 먼저 현재 자동차 산업/시장의 환경과 고효율 기술들을 소개한다. 아울러 항공과 선박 부문 기술의 현황/발전 가능성을 분석한 뒤 미래 수송에너지 시장에 대한 종합적인 대응 방안에 대해 요약하고 있다.

배충식 KAIST 기계항공공학부, 교수  
 김기현 KAIST 기계항공공학부, 박사과정

e-mail : csbae@kaist.ac.kr

현대 사회 수송수단은 사회와 환경이 원하는 바를 충족시키기 위해 끊임없이 발전해 왔다. 그 중 일상생활 속으로 가장 깊숙이 들어와 있는 자동차 산업은 2010년 기준 전 세계 10억 대, 우리나라 1,700만 대의 자동차 등록대수만 보아도 그 크기를 알 수 있을 정도로 글로벌 핵심산업이다. 자동차 산업은 지금까지 쉼새 없이 성장해왔으나 한편으로, 지구 온난화와 환경오염, 화석에너지 고갈 등의 큰 장벽들 아래에서 초저연비저배기 자동차에 목표를 두고 다시 한 번 도약해야 할 때가 되었다.

전 세계적으로 에너지 소비량이 계속해서 증가하는 가운데, 그림 1에서 보이듯이 수송 에너지 분야는 이 중 27%를 차지하며 그 상승폭이 다른 분야에 비해 매우 높다. 수송 분야를 대표하는 자동차 산업이 극복해야 할 당면한 과제는 화석연료의 사용량이 계속해서 증가하면서 초고유가 시대에 대한 대비에 있다. 따라서 미래 자동차 기술은 저연비 기술 개발에 초점이 맞춰지고 있으며 대체 에너지원에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다.

에너지 안보와 함께 빼놓을 수 없는 것이 환경오염 문제이다. 최근 더욱 논란이 가중되고 있는 지구 온난화 문제로 선진국들을 포함한 다수의 국가들이 CO<sub>2</sub> 관련 협정을 맺고 배출량을 규제하고 있다. 또한 CO<sub>2</sub>뿐만 아니라 NO<sub>x</sub>와 PM부분에서 소형 디젤 자동차의 배기 규제는 다가올 2014년부터 시행될 Euro 6 (NO<sub>x</sub>: 0.08g/km, PM: 0.005g/km) 등 매우 엄격해지고 있다. 따라서 이를 만족시키기 위해 자동차 회사와 연구소들은 하이브리드/전기/연료전지 자동차 등 새로운 자동차 동력 기술의 도입에 힘을 쏟는 뿐 아니라 기존 가솔린 엔진과 디젤엔진에서 배기후처리 장치 등 기존 기술의 지속적인 발전을 통한 고도화에 매진하고 있다.

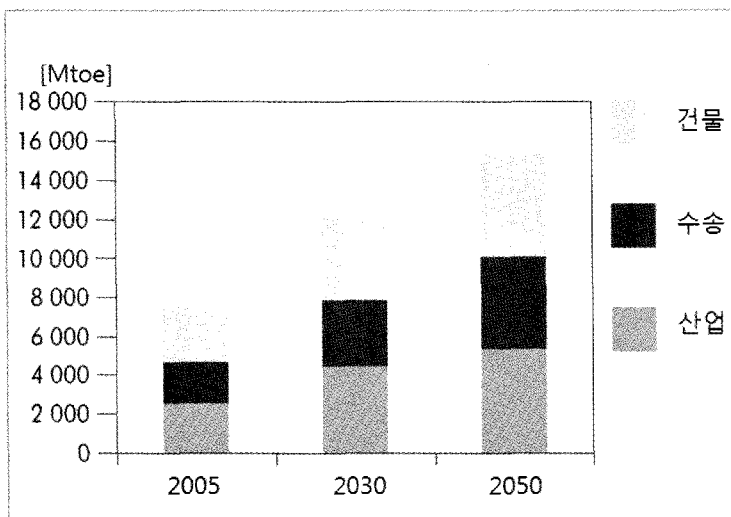


그림 1 미래 에너지 사용 전망(출처 : ETP 2050)

### 자동차 효율 향상 기술

#### 가솔린 엔진 기술

◎ 직접분사식 가솔린 엔진(DISI: Direct Injection Spark Ignition)

자동차의 동력원으로서 세계적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 가솔린 엔진에서는 직접분사식 가솔린엔진이 고효율 디젤 엔진에 대항할 만한 저연비 기술 개발에 가장 적합한 기술로 대두되고 있다.

DISI 기술은 연료를 직접 연소실에 분사하고 고정밀도의 연소제어를 통해 매우 희박한 혼합기에서도 고효율의 연소가 가능해지므로 연비저감 효과가 있을 수 있다. 가솔린엔진은 저 부하에서 공기량을 조절하기 위해 스로틀 밸브를 사용하는데, 이로 인한 흡기행정 중의 펌핑 손실이 연비악화를 초래한다. 그림 2는 DISI 엔진의 연비 향상 기술에 대해 요약하고 있다. DISI 엔진은 전체 부하에서 스로틀 전개 상태로 운전하므로 펌핑 손실을 대폭 저감시킬 수 있다. 이로 인해 저 부하 영역에서 공연비가 30~40 정도로 매우 희박한 연소를 실현함으로써 연소온도를 낮추어 냉각으로 인한 열손실을 크게 줄일 수 있다. 또한 실린더 내로 직접 연료를 분사하는 방식이므로 연료의 증발잠열 흡수에 의해 실린더 내 온도가 낮아지고 체적효율이 향상된다. 따라서 고부하 영역에서 노킹을 억제하고 압축비를 증대할 수 있으므로, 최대 출력을 향상할 수 있다.

그러나 희박연소 DISI 가솔린 엔진의 상용화를 위해서는 연소 안정화 기술 및 배출가스 저감기술 확보가 관건이다. 희박연소조건에서 삼원촉매를 사용할 수 없어 강화되는 NOx배출규제를 만족할 수 없기 때문에 흡장형 NOx 촉매 기술 등과 같은 배기가스 처리 기술들의 발전이 필요하다.

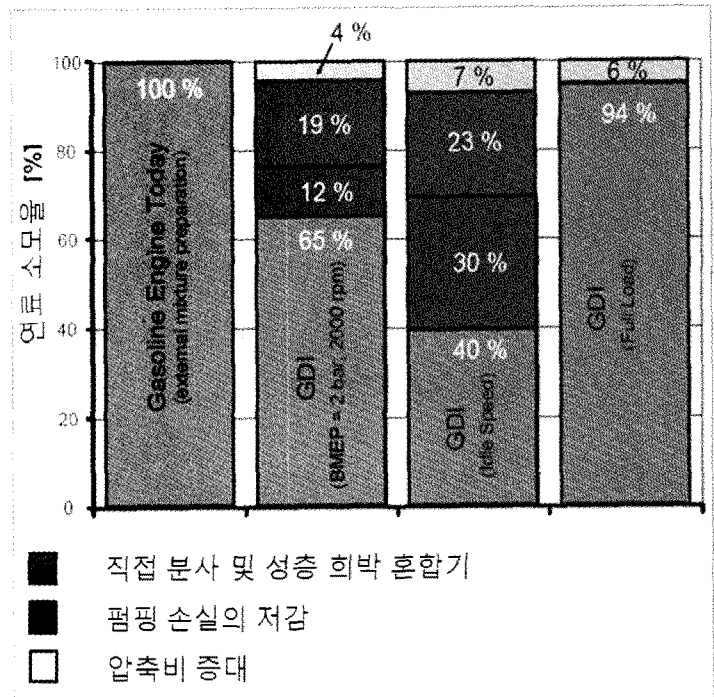


그림 2 DISI 엔진 연비 향상 기술

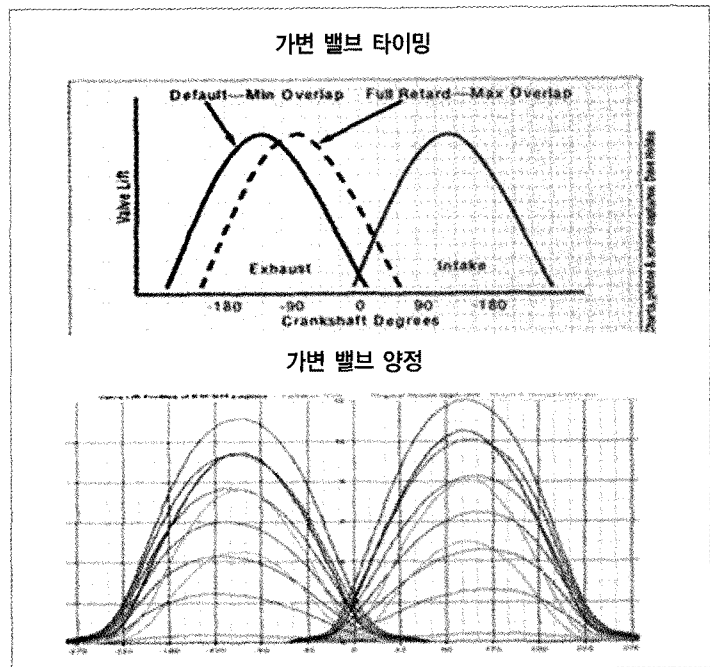


그림 3 가변 밸브 기구 기술

#### ◎ 가변 밸브 기구

가솔린 엔진의 고효율화를 위한 대표적인 기술로 각종 가변 밸브기구가 실용화되고 있다. 가변 밸브 기구에는 그림 3에 보는 바와 같이 VVT(Variable Valve Timing)와 VVL(Variable Valve Lift) 기술을

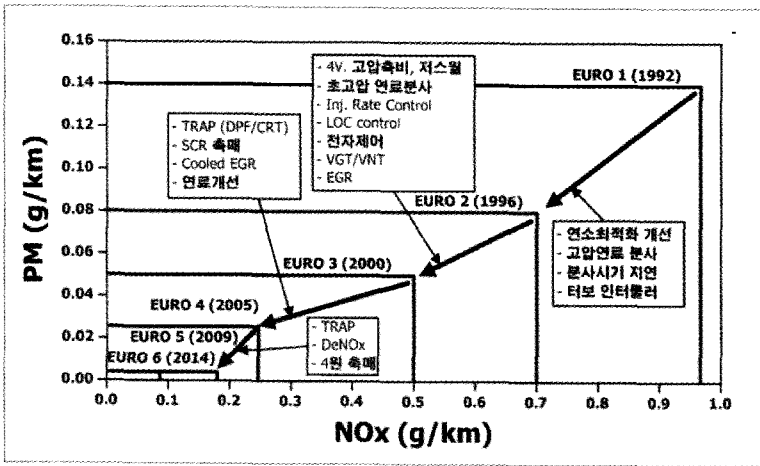


그림 4 유럽 소형디젤엔진 배기규제와 대응 전략

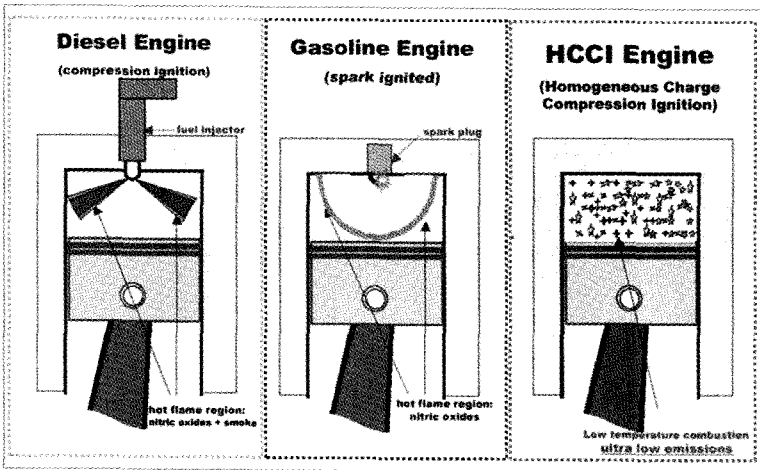


그림 5 HCCI 엔진의 개념

들 수 있다. 가변 밸브기구는 캠의 형상과 위상각을 조절하여 엔진의 흡배기를 최적화하는 기술로서, VVT는 흡배기밸브의 개폐시기 변화를 통하여 밸브 오버랩 기간을 조절하고, VVL은 밸브 리프트를 조절하여 흡입되는 공기의 압력손실을 제어한다. 이러한 가변 밸브 기술은 저속과 고속 영역에서 각각 최적화를 통하여 대폭적인 연비향상이 가능하기 때문에 차세대 가솔린엔진 기술개발의 초점이 되고 있다.

**디젤 엔진 기술**

디젤 엔진은 고압축비로 인한 높은 열효율과 저부하에서 펌핑 손실 감소가 있으며, 희박연소를 채택하므로 연료소비율이 가솔린 엔진 대비 최대 20~30% 향상된다. 디젤 엔진은 에너지 고갈 문제와 이산화탄소 규제를 동시에 해결할 수 있는 핵심기술로서 최근 대형트

럭과 버스뿐만 아니라 승용차용 엔진으로도 활용이 확대되고 있다.

◎ 고압 연료 다기능 분사 시스템

고압연료 분사기술은 연료를 충분히 미립화시켜 기화 및 공기와의 혼합을 통해 완전한 연소를 이룰 수 있게 한다. 또한 최근에는 피에조 인젝터를 통해 기존의 솔레노이드 인젝터보다 빠른 응답성을 구현하여 다단분사와 연료 분사율 조절을 통한 연료 분사의 보다 능동적 제어 기술 개발이 활발하다.

◎ 과 급

과급은 흡입공기량을 늘려 출력을 증대시키는 기술이다. 대형 트럭이나 버스뿐만 아니라 최근에는 디젤 승용차에도 많이 탑재되고 있다. 가솔린 엔진에 상대적으로 무게가 무거운 디젤엔진의 소형화에 큰 기여를 하고 있는 기술로서, 소형 디젤 엔진에 과급기를 설치할 경우 출력 향상, 마찰저감, 펌프손실 저감 등의 효과를 동시에 가져올 수 있다. 과급기술에는 터보차저, 수퍼차저, e-booster 등이 있

는데, 그중 하나인 터보차저의 가장 큰 단점은 가속 시 흡기관의 압력을 증대시켜 출력을 증진시키는 데 시간이 필요한 것이며, 이를 터보지연(Turbo lag)이라고 한다. 최근 가변 형상 터보차저(VGT: Variable Geometry Turbocharger), 2 stage 터보차저 등 터보지연을 해결하기 위한 다양한 시스템이 도입되고 있다.

◎ 신연소 기술

예혼합 압축착화(HCCI: Homogeneous Charge Compression Ignition) 연소기술은 주로 가솔린을 이용하는 스파크 점화엔진의 예혼합기 형성과 디젤을 이용하는 압축착화 엔진의 고효율 연소기구의 장점이 혼합된 개념이다. 기존의 디젤 엔진에서는 압축 행정 말기에 연료를 고온, 고압 분위기에 분사하여 공간

적으로 불균일한 혼합기 영역이 존재하게 되며, 농후한 영역에서는 PM이, 이온 공연비 영역부근에서는 NOx가 발생하게 되는 문제점을 갖고 있다. 그러나 예혼합 압축착화연소에서는 흡기 행정 혹은 압축행정 초기 이른 시기에 연료를 분사하여 형성된 균질 혼합기를 이용하므로 PM발생이 없고 희박연소로 인해 연소온도가 낮아 질소산화물 발생이 크게 저감된다. 또한 예혼합 압축착화 연소기술을 디젤엔진에 적용할 경우 고압축비 운전으로 높은 열효율을 유지할 수 있다.

그러나 예혼합 압축착화 연소 기술은 운전범위가 제한되고, 높은 수준의 탄화수소와 일산화탄소 배기배출물이 발생하는 등의 단점이 있는데, 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

위에서 살펴본 가솔린/디젤 엔진에서는 소형화(downsizing) 및 희박연소를 고효율 요소기술과 결합하여 연비저감을 기하고, 나아가 폐열 회수와 전장화를 통한 운전 최적화를 통하여 효율성 향상을 도모하여 앞으로 무궁무진한 효율 향상이 기대된다.

**대체연료 활용 엔진기술**

제한된 양의 화석에너지를 대체하고, 가솔린·디젤보다 청정한 연료에 대한 연구가 활발하다. 자동차 대체연료의 종류는 바이오 연료, 합성 연료, 가스 연료, 수소까지 매우 다양하다. 바이오 연료에는 바이오 디젤과 바이오 에탄올이 있다. 바이오 디젤은 식물성 기름, 동물성 지방, 폐식용유 등의 자원을 촉매 존재하에 알코올과 반응시켜 제조하는 에스테르화 기름으로서 경유와 물성이 유사하여 경유에 대체 또는 혼합하여 디젤 엔진의 연료로 사용된다. 바이오 에탄올은 전분질계(옥수수), 당질계(사탕수수), 목질섬유소계(목재)와 같은 원료를 발효시켜 생산하며 옥탄가가 높아서 휘발유에 대체 또는 혼합하여 가솔린엔진의 연료로 사용될 수 있다. 바이오 디젤·가솔린은 재생 가능한 원료로부터 생산되고 기존 디젤·가솔린에 혼용 또는 대체할 수 있는

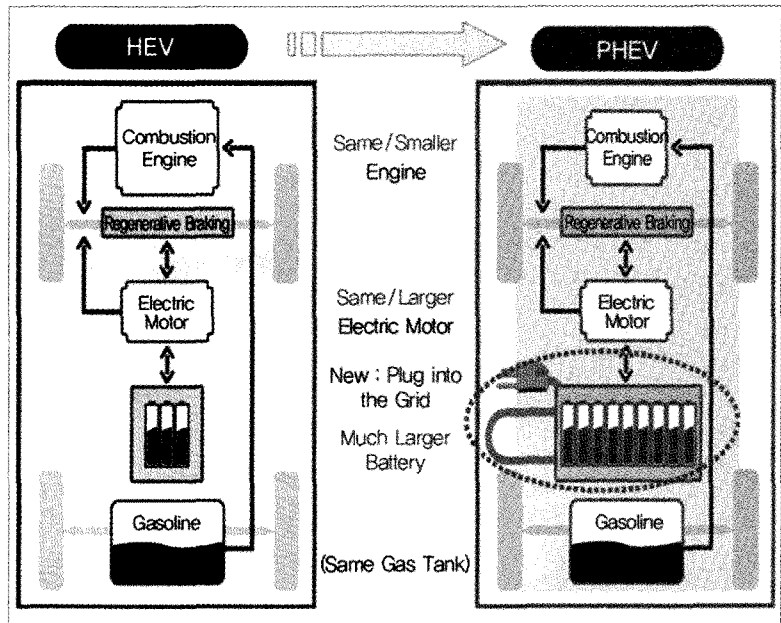


그림 6 HEV와 PHEV 시스템 비교

경쟁력 있고 기술적으로 성숙한 대안이다. 합성 연료는 천연가스, 석탄, 바이오매스 등을 CO와 H<sub>2</sub>의 합성가스로 전환한 후에 화학적인 공정을 거쳐 제조한 메탄올, DME, FT 오일 등을 말한다. 이중 DME는 합성가스로부터 메탄올 탈수반응을 거쳐 제조되는 상온에서 기체인 연료로서 차량용, 발전용, 가정용 등 다양한 용도로 도입되고 있는 신연료이다. DME는 경유보다 높은 세탄가를 가지고 있어 경유의 대체연료로 사용 가능하며 합산소 연료로서(34.8wt%) PM 배출량이 매우 적다. FT 오일은 합성가스로부터 FT(Fischer-Tropsch) 공법을 통해 제조되는 합성연료로서 천연가스, 석탄, 바이오매스 등으로부터 디젤·가솔린과 유사한 연료로 합성된다. 동일한 합성연료인 DME와는 달리 상온 상압에서 액체이기 때문에 기존의 인프라를 준용할 수 있으나 운활성이 경유보다 다소 낮고 연료계 실링 재료에 다소 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다. 마지막으로 수소는 현재 천연가스의 수증기 개질법이나 부분 산화법에 의해 제조되나 궁극적으로 태양에너지에서 비롯된 각종 재생에너지를 이용하여 발전된 전기로 물을 전기분해하여 제조하거나, 바이오매스 자원을 활용하여 제조되는 방법이 검토되고 있다. 수소를 이용한 내연기관은 배기가스 중에 물과 NOx만이 포함되어 온실가스를 저감할 수 있고, 가연한계가 넓기 때문에 초희박영

역에서 안정적인 연소가 가능하므로 저부하에서 고효율을 얻을 수 있다.

### 하이브리드 자동차 및 전기차 기술

하이브리드 자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle)는 두 가지 이상의 동력원을 이용하는 자동차를 말한다. 일반 자동차는 도심에서 주행할 경우 엔진의 열효율이 낮은 저부하에서 정지-출발을 반복하는 운전을 하는 경우가 많다. 또한 정지 시 브레이크를 통해 발생하는 열은 그대로 대기 중으로 방출되므로 열손실이 크다. 하이브리드 자동차는 엔진과 모터로 구동과 회생을 수행한다. 특히 회생은 감속 시에 운동에너지 손실을 발전하는 데 사용하여 전기로 저장한다. 그리고 이 에너지를 가속 시에 사용함으로써 엔진이 열효율이 높은 구간에서 일정하게 운전할 수 있게 도와주어 열효율을 향상시킨다. 또한 차량 정체 등으로 정지상태가 잦을 때 공회전(idling) 스톱을 효과적으로 사용하여 실용 연비 향상에 큰 도움을 준다. 이러한 특징들은 정속 고속 주행을 하는 고속도로에서는 불필요한 중량과 공간을 차지하는 단점이 될 수 있으나, 시내 운전 시 연비향상효과가 매우 우수하다.

플러그인 하이브리드 자동차(PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle)가 기존 하이브리드 자동차와 구분되는 가장 큰 특징은 외부충전이 가능하다는 점이다. 그림 6에서 HEV와 PHEV 시스템 간의 차이점을 확인할 수 있다. 그래서 배터리의 힘만으로 짧은 거리를 주행할 수 있어 tail-pipe 배출가스와 연료 소모가 전혀 없는 자동차가 된다. 이런 장점 때문에 많은 자동차 회사들이 PHEV 개발에 매진하고 있다. 배터리의 전력이 다 소모되면 PHEV는 엔진을 구동하여 배터리를 충전하고 충전된 전지로 모터를 주행하는 방식으로 전환된다. 배터리를 사용한 전기차(EV: Electric Vehicle)는 배터리의 전원을 이용하여 모터를 구동하고 차량을 움직이며 전원이 다 소모되면 재충전하는 방식으로, 다른 수단에 의해 얻은 전기에너지를 차량 내부에 탑재된 배터리에 충전시켜 놓고 그 전기를 이용하여 모터를 구동시키는 방식으로 차량 수준에서 완벽에 가까운 무탄소 차량이다. 한편 PHEV 및 EV의 상용화를 위해서는 자동차용으로 안전하게 사용할 수 있는 경제적인 대용

량 리튬이온 배터리의 개발 여부가 중요한 문제이다. 배터리의 동력밀도를 높이고 수명을 늘리며 안전성을 확보하고 비용을 줄이는 한편, 충전인프라를 확충하기 위해 장기적인 기술 개발이 요구된다. 아울러, 전기의 에너지를 신재생에너지로 치환하여야 실질적인 온실가스 저감을 기할 수 있을 것이다.

### 연료전지차

연료전지 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle)는 자동차 내에 장착된 연료전지에서 연료인 수소와 산소를 반응시켜 전기를 얻은 후, 생산된 전기로 모터를 움직여 주행하는 자동차이다. FCEV는 배기배출물이 물뿐인 전형적인 무공해 자동차이며, 내연기관과 비교하여 에너지 효율이 높다. 그러나 수소를 발생하는데 많은 에너지와 높은 수준의 기술이 필요하고 연료 및 차량용 스택의 비용이 비싸며 시동성, 내구성 등 아직까지 실용화에는 많은 어려움이 있다. 따라서 신재생 에너지를 이용한 수소 생산을 전제로 기술성, 경제성이 확보된 연료전지차의 보급에는 오랜 시간이 소요될 것으로 보인다.

## 기타 수송기관의 효율성 향상기술

### 항공

항공기관에서의 효율성 향상기술은 대부분 엔진 효율증가, 항공기 무게감소, 양력 대 항력 비 개선에 의한 것이다. 이를 시스템으로 분류하면 추진 시스템, 공기 역학적 개선, 구조체 및 신소재 관련 기술, 운항 시스템 등으로 나눌 수 있다. 항공기의 추진 시스템이 되는 가스터빈 엔진은 아직 기술적 한계에 이르기 전이므로 대략 30% 정도의 추가적인 연료소모량 감소가 가능하다. 또한 공기 역학적으로 양력 대 항력 비를 높이는 기술은 잠재적으로 연료 사용량을 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법이며 날개 개량을 통해 양항비를 4~7% 상승시킬 수 있음이 보고된 바 있다. 이외에도 항공기의 구성 재료로 탄소섬유 강화플라스틱과 같은 강하고 가벼운 재료를 사용함으로써 비행기 중량 감소로 연료를 절감하는 등의 신소재 관련 기술 분야에서의 발전도 중요하다. 운항 시스템에서는 연속강하접근절차(CDA:

Continuous Descent Approach)로 불리는 착륙 시 엔진 추력의 변화를 줄여 연료 소모량과 소음의 감소하는 방법, 항공관제관리 시스템의 발전 등을 통해 항공기편을 고효율화 하려는 노력이 진행 중이다.

**선박**

전 세계적으로 해운 수송은 2005년에 200Mtoe의 연료를 사용하여 전체 수송 분야의 10%를 차지했다. 연료 사용량과 이에 따른 CO<sub>2</sub> 배출은 연평균 3% 가량 증가하고 있으며, 기술 발전으로 인해 선박의 연료 효율 역시 연평균 3%의 상승률을 보이고 있다.

선박들의 평균 연료 소모량은 추진 시스템의 최적화를 통하여 30%까지 감소 가능한데, 선박 내에서 보조전력의 사용을 줄이는 것만으로도 상당한 연료사용량 감소가 가능하다. 보조 추진시스템으로 새롭게 떠오르고 있는 연과 돛은 일반적인 돛과는 다르게 케이블로 연결하여 강풍에 의해 발상하는 배의 흔들림을 최소화하며 갑판보다 100~300m 가량 높은 곳의 바람도 이용 가능하다. 또한 컴퓨터 제어를 통한 자동 작동 시스템과 항로 최적화를 이용할 경우 평균 연료비용을 10~35%까지 감소 가능하다.

**맺음말과 전망**

2030년까지 자동차 시장은 현재의 2배에 가까운 1억 1,000만 대 정도로 거대하게 성장할 것이다. 연료의 소비량도 현재 대비 40% 증가할 것으로 보인다. 기존의 가솔린자동차와 디젤자동차, 시장에 막 걸음을 내디딘 하이브리드 자동차, 상용화를 위해 기술발전에도 힘써야 할 전기자동차, 연료전지 자동차 등 다양한

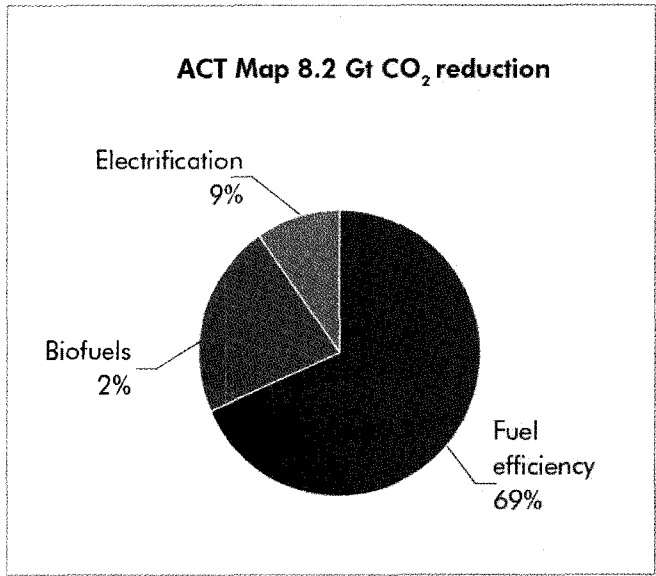


그림 7 2050년 수송 분야 기술별 CO<sub>2</sub> 저감 비중

자동차들이 시장을 점유하기 위해 각축전을 벌일 것으로 예상되나 당분간은 고효율저배기자동차에 대한 지향점을 공유하며 서로 발전하면서 기존 가솔린 디젤 자동차가 우세를 보일 것으로 예상된다. 그림 7에 국제에너지기구(IEA)의 전망이 보이듯이, 당분간 내연기관의 효율 향상 기술이 수송에너지 효율성 향상기술의 가장 중요한 역할을 하면서, 대체연료 및 대체동력기관(하이브리드, 전기, 연료전지)의 기술성, 경제성 확보에 따라 청정 고효율화의 추세가 점진적으로 진행될 것으로 기대된다. 따라서 단·중기적으로는 내연기관 자동차의 소형화와 고효율화가 에너지·환경 문제 해결의 열쇠를 쥐고 있다고 볼 수 있으며 장기적으로는 대체연료 개발 및 확보, 대체동력기관의 기술 개발을 병행하여 미래의 에너지·환경 위기에 대처하여야 한다. 앞서 간략히 요약했듯이, 항공과 선박산업도 수송 에너지 부문의 한 축을 담당하며 효율향상을 위한 다각도의 노력이 계속될 것이다. 미래 에너지의 가장 큰 화두가 될 수송에너지 고 효율화 기술에 대한 끊임없는 투자와 분석이 필요한 시점이다.

**기계용어해설**

**고유수분(固有水分; Water Content)**

석탄의 공업분석에서 항습시료를 105~110°C로 건조시켰을 때의 감량.

**액면(수위)계(液面(水位)計; Water Gauge)**

보일러나 물 탱크 등의 외부에 장치하여 수위를 잴 수 있도록 만든 유리관.