

승용차의 CO₂ 저감 기술

한 상 명 · 대우자동차 기술연구소

1. 서 론

70년대에서 80년대 초반에 걸친 오일 쇼크는 대부분의 에너지원을 석유에 의존하는 자동차 산업에 큰 영향을 끼쳤다. 전통적으로 대형 및 고 배기량 차량이 주종을 이루고 있던 북미 자동차 시장에 높은 연비의 소형 자동차는 당연히 상당한 인기를 끌 수 밖에 없었고 일본 자동차 업체가 북미 시장에서의 기반을 구축할 수 있었던 좋은 계기가 되었다. 이 기간 중 연비 향상을 통해 오일 쇼크를 극복하려는 기술 개발 노력이 적극적으로 추진되어 대체 에너지원 개발을 포함한 신기술들이 쏟아져 나왔던 것이다.

국내와 유사하게 고 유가 정책을 유지하고 있는 서유럽에서는, 차량 연비는 소비자의 구매력에 크게 영향을 미치며 이러한 경향은 소형 승용차의 강세와 디젤 승용차 시장의 지속적인 발전과 유지를 가능케 하고 있다.

80년대 말까지는 자동차 연비에 대한 논의에서 제한된 부존 자원인 화석 연료의 고갈에 대한 우려와 중동 산유국들의 원유 생산량 및 가격 움직임 등이 주요 관심사였으며 유류 가격이 자동차 구매력에 미치는 영향의 정도에 따라 연비 관련 기술들의 상용화 여부가 결정되었다.

그러나 90년대 들어와 지구 온난화에 대한 국제적인 움직임이 본격화되면서 연비 규제는 새로운 양상을 띠고 있다. 지구 온난화에 영향을 미치는 성분들 중에서 가장 주목을 받고 있는 CO₂의 발생을 야기시키는 화석 연료를 사용하는 운송 수단의 기여율이 주요 국가별로 25 ~ 32% 정도로 나타나고 있다. 각국 정부는 차량의 증가 추세에 따라 CO₂ 발생량이 점차적으로 확대될 것으로 예측하고 다른 산업에 비하여 상대적으로 규제가 용이한 자동차 산업에 강도 높은 감축안을 제시하고 규제화를 추진하고 있으

며, 이러한 움직임은 승용차 연비 향상을 이끌 수 있는 새로운 추진력으로 연비 향상을 위한 기술 개발 경쟁은 더욱 가속화될 전망이다.

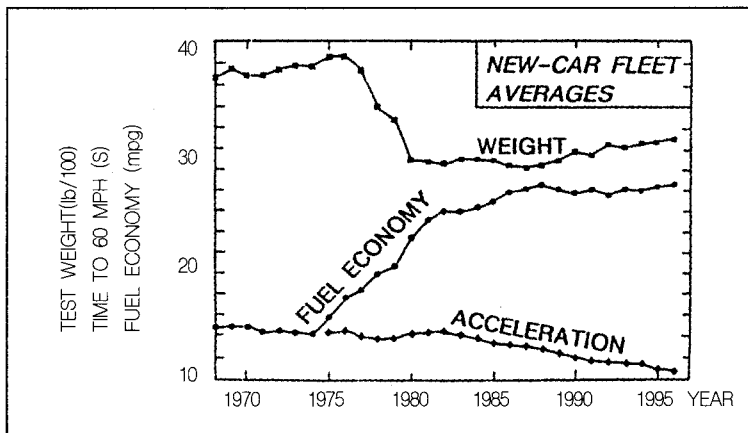
2. 각국의 연비 향상을 위한 노력과 연비 현황

자동차 연료 소비, 즉 CO₂ 발생에 영향을 미치는 요소로는 엔진의 성능, 연료, 차량의 중량 등이 있으며 배출 가스 규제의 강화도 연비 향상에 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 기술적인 측면에서는 연비를 향상시킬 수 있는 많은 획기적인 아이디어들이 있으나 기술의 경제성에서나 기존의 가솔린 엔진이나 디젤 엔진의 비하여 성능(Power density) 측면에서 경쟁력을 상실하여 실용화되지 못하고 있는 실정이다. 현재의 자동차가 가지고 있는 편의성, 안전 및 가속성 등을 유지하면서 대폭적으로 연비를 향상하고 가격

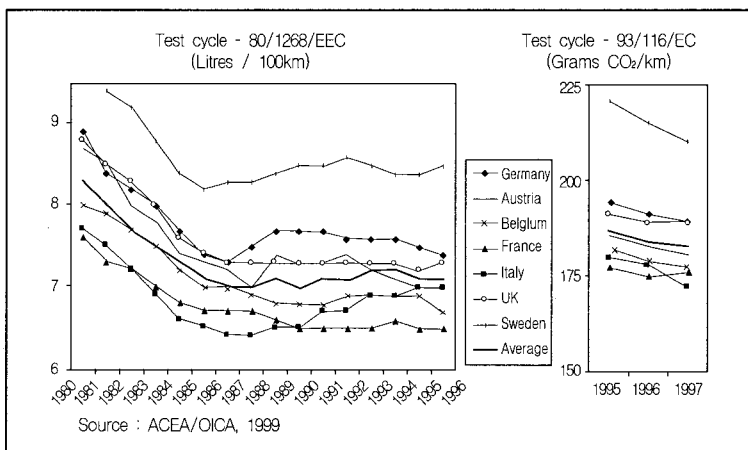
경쟁력 있는 승용차 생산에 적용할 수 있는 기술을 개발해야 하는 현실적 요구는 연비 관련 기술 개발의 어려움을 배가하고 있다. 따라서 이러한 어려움은 단일 업체가 해결하기에는 대규모의 기술 개발 투자를 요구하고 있기 때문에 자국 자동차 업계의 경쟁력을 유지할 수 있도록 정부 지원하에 업계와 컨소시엄 형태로 공동 개발을 추진하고 있다. 미국 정부는 자동차 업계, 부품 업계, 학교 및 국립 연구소 등이 포함하는 대규모 PNGV(Partnership for a New Generation Vehicle) 프로젝트를 주도하여 미국 자동차 산업의 경쟁력 확보, 80 mpg 연비를 갖는 중형 승용차의 시제품 개발 등을 목표로 10년에 걸쳐 연구를 진행하고 있으며 엄청난 규모의 연구 개발비를 투자하고 있다.

유럽의 The Framework Program도 연비 향상을 포함하는 자동차 관련 연구를 지원하는 프로젝트에 해당된다. 국내도 정부는 G7 프로젝트나 기타 지원책 등으로 자동차 연비 관련된 연구를 진행할 수 있는 여건을 조성하고 있으나 규모면에서 선진국 대비 영세성을 면치 못하고 있는 실정이다.

차량 배기 가스 중에서 유해 가스로 규제되고 있는 HC, CO, NOx & PM과 지구 온난화에 영향을 미치는 CO₂의 차이는, 전자는 주요 영향을 미치는 영역이 국지적 또는 지역적인 반면에 후자는 넓은 영역을 포함한다는 점 및



〈그림 1〉 미국 시장에서의 연도별 차량 중량 및 연비 변화 추이



〈그림 2〉 유럽 주요 국가의 연도별 연료 소비율 및 CO₂ 배출량 변화

지구 온난화에 대한 직접적인 영향 여부가 여전이 논란의 여지로 남아 있다는 점 등이다. 이와 같은 특성으로 인하여 미국의 경우 캘리포니아주는 지역적인 특성을 반영하는 배출가스의 규제에 대한 부분은 적극적인 반면에 CO₂ 발생 즉 차량 연비의 규제에 대하여는 소극적인 자세를 보이고 있다.

북미 시장에서의 차량 연비의 향상은 오일 쇼크로 인한 업계간

의 연비 경쟁과 규제화로 인하여 가속화되어 왔다. 그림 1은 연도별 연비 향상과 차량 중량의 감소 및 차량 주행성의 변화를 나타내고 있는 것이다. 급격한 연비의 향상은 차량의 중량 감소와 밀접한 관련을 갖고 있음을 알 수 있으며, 연비 규제치가 28.5mpg인 1985년 이후로는 연비의 증가는 미미함을 보이고 있다. 그림 2는 유럽에서의 연비 동향을 나타낸 것이다. 소형 차량이 주를 이루고

40% 이상의 디젤 승용차 시장을 유지하고 있는 프랑스는 가장 높은 연비를 보이고 있다.

3. CO₂ 저감 기술

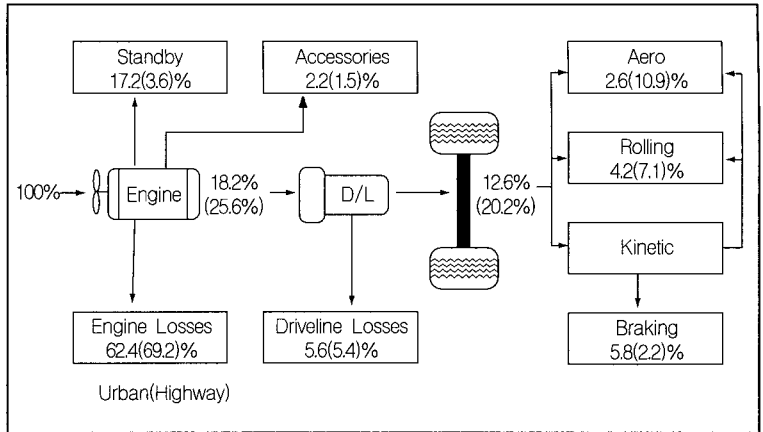
Carbon Balance법을 기준으로 얻어지는 승용차의 연비와 CO₂의 관계식은 다음과 같다.

$$\text{연비(km/l)} = \frac{K}{0.866\text{HC(g/km)} + 0.429\text{CO(g/km)} + 0.273\text{CO}_2\text{(g/km)}}$$

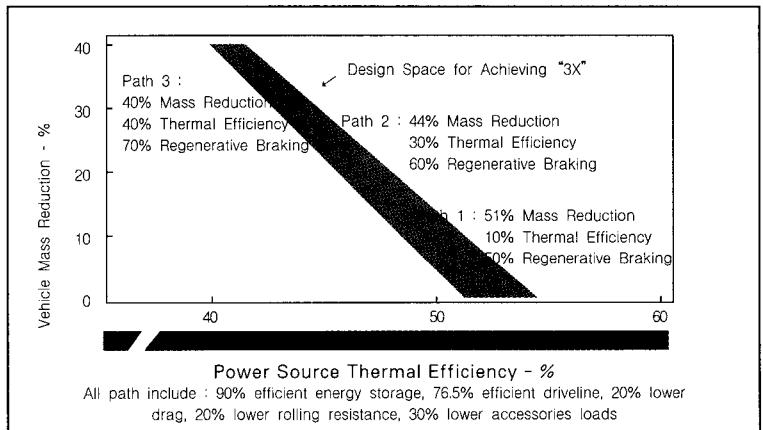
상수 K는 사용 연료의 밀도에 따라 차이가 있으며, 가솔린의 경우는 640, 디젤의 경우는 735이다. 차량 주행 시 발생하는 HC와 CO의 발생량은 CO₂의 발생량에 비하여 무시할 수 있는 수준으로, 상기 식을 기준으로 보면 연비와 CO₂의 발생은 반비례 관계임을 알 수 있다. 예를 들어 3L 디젤 승용차의 CO₂ 발생량은 약 81(g/km)이며, 80mpg 가솔린 승용차의 경우는 약 69(g/km)의 CO₂ 발생을 보이고 있다.

엔진에 공급된 연료를 기준으로 차량 구동에 필요한 에너지 분포를 보여주는 것이 그림 3이다.

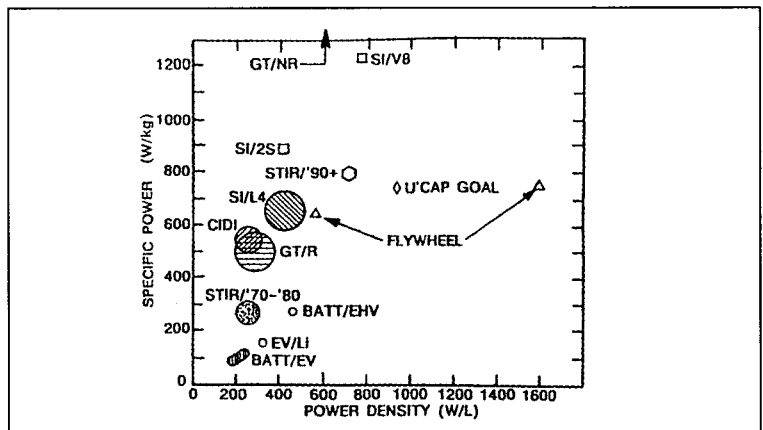
차량의 연료 소모는 그림에서 나타난 바와 같이 공기저항, 구름저항 및 브레이크 손실의 차량 부분과 엔진 및 보기류 손실, 동력 전달 손실 및 아이들 손실로 크게 구분할 수 있다. 시내 주행 모드(FTP-75)와 고속도로 주행 모드를 기준으로 각각 24.6%, 28.1%의 엔진 효율 및 69.2%, 78.9%의 동력계의 효율을 보이고 있다. 차량의 연비 향상 기술 개발은 이러한 손실을 감소하는



〈그림 3〉 승용차의 에너지 분포



〈그림 4〉 3배의 연비를 달성하기 위한 기술 전략



〈그림 5〉 주요 동력원의 비마력 비교

방안을 마련하는 것으로서 각 부분의 손실 개선으로 차량 전체의 연비 개선 여력을 예측할 수 있다.

현재 연비의 3배를 달성할 수 있는 방안에 대하여 Powertrain 과 차량 특성을 포함하여 예측한 것이 그림 4와 같다. 여기서는 중량 감소, 엔진 효율 및 재생 브레이크를 주요 기술 개발 변수로 보고 각각의 조건에 대하여 진하게 나타난 부분이 3배의 연비 향상을 기대할 수 있는 Design space 를 나타낸 것이다.

현재 엔진의 2배의 효율을 달성한다고 해도 다른 부분의 효율 향상이 수반되지 않고는 3배의 연비 달성이 어려움을 알 수 있다. 특히 엔진 효율이나 재생 브레이크의 획기적인 효율을 전제로 한다고 해도 20~40% 정도의 차량 중량을 줄여야 하며 이와 같은 중량의 축소는 오늘날의 강판 차체의 설계 개선만으로는 기대하기 어려우며 경량 재질의 개발이 동시에 진행되어야 한다.

4. 엔진 효율의 향상

엔진의 연비 향상을 위해서는 압축비를 높이고 희박 연소 조건에서 연소하여 이론 열 효율을 높여야 하며, 공기 흡입을 최대화하기 위해서 스로틀 손실을 최소화하여야 한다. 디젤 엔진은 이와 같은 관점에서 가솔린 엔진에 비하여 유리한 조건을 갖추고 있다. 그러나 가솔린에 비하여 확산 화염 연소로 이론 공연비에서 운전

〈표 1〉 Powertrain 기술과 CO₂ 감축 효과

기술 분야	상세 기술 내용	차량 적용	CO ₂ 감축 효과
연소 효율	DI diesel, multivalves	67%(S) : 100%(M) : 100%(L)	7.0%
	Partial leanburn SI	30%(S, M, L)	
	Gasoline DI	5%(S) : 10%(M) : 15%(L)	
	SI multivalve & VVT	0%(S) : 25%(M) : 50%(L)	
	Variable induction	0%(S) : 25%(M) : 50%(L)	
	Super/turbo charging	0%(S) : 1%(M) : 5%(L)	
엔진 성능	Knock control	50%(S) : 50%(M) : 100%(L)	4.4%
	Transient control & sensor/actuator improvements	100%(S, M, L)	
	Two phase/high temperature cooling	5%(S) : 10%(M) : 20%(L)	
	Valve train roller	25%(S, M, L)	
	Piston/skirts coating	50%(S, M, L)	
	Low friction/viscosity oil	100%(S, M, L)	
T/M	Robotised mechanical box	10%(S) : 5%(M) : 0%(L)	0.3%
	High torque CVT	5%(S, M, L)	
	6 gears, Diesels	0%(S) : 25%(M) : 50%(L)	
	6 gears, SI	0%(S) : 10%(M) : 20%(L)	
	5/6 Automatics	0%(S) : 25%(M) : 75%(L)	

이 불가능하고 연소 조건의 불리한 점 때문에 최고 엔진 속도가 낮고 Power density를 높이기 위해 보다 큰 엔진이 필요하다. 또한 최고 압력 조건 등이 가혹하여 강도 보강의 필요하기 때문에 가솔린 대비 약 20% 정도로 중량이 증가된다.

현재 승용차의 차량 성능을 유지하는 조건에서 차량의 연비 향상을 추구하는 것이 기술 개발의 대전제 조건으로 현재 신기술로 주로 거론되어 온 대체 동력원의 Power density나 Specific power 와 현재 상용 동력원과의 비교는 그림 5와 같다. 성능 측면

에서 가솔린 엔진이 여전히 큰 경쟁력을 유지하고 있음을 알 수 있다.

표 1은 내연 기관의 연소 효율과 엔진 성능을 향상시킬 수 있는 상세 기술과 트랜스미션 관련 기술을 나타낸 것이다. 직접 분사식 가솔린 및 디젤 엔진의 본격적인 적용, 흡입 효율 개선, 마찰 및 냉각 손실 감소를 위한 기술 개발이 주요 항목으로 나타나고 있다.

CO₂ 감축 효과는 1995년 유럽 차량의 연비를 기준으로 하고 2005년에 시장에서 실용화가 예상되는 기술 및 차량별 시장에서의 적용 정도를 근거로 예측된 것

으로 연소 효율 향상으로는 약 7%, 엔진 성능 향상으로는 약 4.4%의 감축 효과를 기대하고 있다. 수치적으로 나타나고 있는 개선 효과는 각각의 기술의 affordability 및 applicability를 고려하여 예측된 것이기 때문에 약간은 보수적인 전망으로 예상된다. 엔진을 최소 연료 소모율 및 최적 배기 가스 발생 영역에서 작동시킬 수 있는 무단 변속기와 6단 수동 변속기 등도 CO₂ 감축을 위한 기술로 평가되며 표1에 나타난 바와 같이 약 0.3%의 개선을 기대하고 있으나 이는 이 기술의 효과가 미약하기보다 시장성 등의 제약으로 적용이 제한되고 있다는 점이 고려되어야 한다.

이외에도 가변 압축비 및 가변 배기량 엔진의 개발, 42V 배터리를 도입한 electromagnetic 벨브 시스템의 개발, 플라이휠에 설치되어 있는 ISAD(Integrated Starter Alternator Damper) 시스템 등이 연구 개발되고 있다.

5. 차량 설계 개선

차량 기술로는 공기 저항을 감소하기 위하여 차량 및 부품의 형상 설계의 개선, 저 마찰 타이어, electric power steering 등이 있고, 차량의 중량 감소를 위해서 고 강도 강판, 알루미늄 BIW, 알루미늄 또는 마그네슘 기계 부품, 플라스틱을 포함하는 복합 재료의 적용 등이 활발히 연구되고 있다.

표 2는 연료 소비율 및 CO₂ 감

축에 미치는 인자 및 효과를 유럽 시험 모드를 기준으로 예측한 것이다. 엔진의 연료 소비율 감소는 직접적으로 차량 연비에 영향을 미치고 있으며, 공기 저항이나 구름 저항 보다는 차량 중량의 감소가 더욱 효과적인 것으로 나타나고 있다.

6. CO₂감축과 차량 안전 및 배출 가스 규제

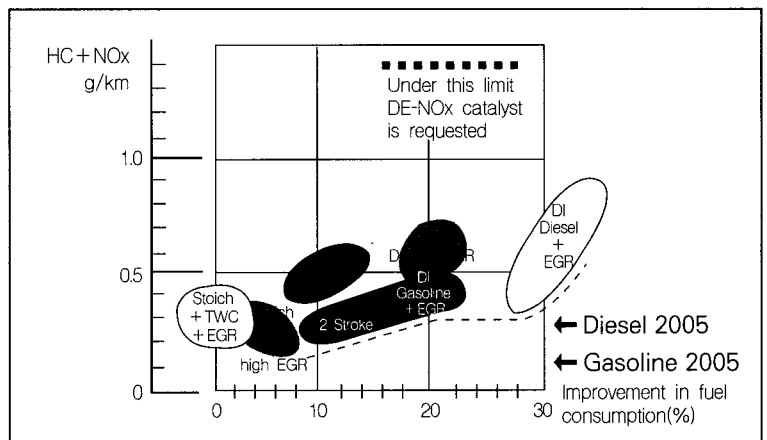
그림 6은 유럽 시장에서의 주요 엔진별 연비 및 배출 가스 특성을 비교한 것이다. 현재 배출 가스 규제를 만족할 수 있는 삼원 촉매 방식의 가솔린 엔진을 기준으로 볼 때 20% 이상의 연비를 달성하기 위해서는 가솔린 엔진도 실린더 내의 직접 분사식 린번 방식의 도입이 전제되어야 하며 이 또

<표 2> 연료소비율 및 CO₂ 감축에 미치는 인자 및 효과

10% 감소 항목	연비 및 CO ₂ 개선 효과
차량 중량	3.5 - 5 %
공기 저항 계수	1.5 - 2 %
마찰 저항	2 %
전달 마찰 손실	6 %
엔진 연소 소비율	10 %

한 디젤 엔진의 연비를 달성하기에는 여전히 한계가 있음을 보이고 있다. 직접 분사식 가솔린/디젤을 포함하는 고 연비 엔진은 2005년부터 강화되는 EURO VI 배기 규제를 현재의 후처리 시스템으로 만족하기 어려우며 de-NOx converter가 개발되어야 한다. 표 3은 CO₂ 감축에 불리하게 작용하는 요소들과 이 요소들의 영향을 표시한 것이다.

차량의 안전도와 배출 가스 규제가 가장 큰 영향을 미치고 있다. 연비 개선을 위해 필요한 차량의 다운사이징과 중량 감소는 안전도에 미치는 영향이 크므로



<그림 6> 연료 소모율과 배출 가스와의 관계

〈표 3〉 연비 향상에 불리한 요소와 기여도

불리한 요소	CO ₂ 증가
Safety (passive)	4.7 %
Safety(active)	2.0 %
Emissions	2.6 %
Noise	0.5 %
Essential product improvements	2.7 %
Total	12.5 %

북미에서는 안전도 관점에서 연비 향상을 위한 노력을 비판적인 시각으로 평가하고 있는 실정이다.

배출 가스 규제 측면에서의 연비 감소 효과는 안전 분야에서 보다는 적으나 de-NOx converter의 성능이 연비에 미치는 영향이 배기 압력을 증가하여 엔진 성능을 감소시키는 정도의 현재와 유사한 수준이 아닐 경우는 배출 가스 규제 특히 NOx나 PM의 규제 강화에 따라 표 3에서 예측된 2.6% 보다 CO₂ 증가 효과는 더욱 커질 것으로 판단된다.

7. 차세대 고연비 자동차의 개발

현재 차세대 고 연비 자동차로 널리 주목 받는 기술은 연료 전지와 하이브리드 차량의 개발이다.

연료 전지 차량은 연구 초기 단계이며 많은 기술적인 해결점을 안고 있으나, 하이브리드 차량은 혼다의 인사이트 및 도요타의 프리우스와 같이 양산 중

이거나 양산을 앞두고 있다. 가솔린 엔진을 사용하는 하이브리드 차량은 북미 배기 규제를 만족하면서 고 연비를 달성할 수 있었고 연비 디젤 차량에 비하여 북미와 유럽을 포함하는 넓은 시장성을 가지고 있다. 따라서 이러한 기술은 연비와 배출 가스를 동시에 만족할 수 있는 대안으로 기술 향상 및 적용은 더욱 확대될 전망이다.

8. 결 론

본 고에서는 CO₂ 감축 및 차량 연비 관련된 환경 여건과 기술 대응에 대하여 검토하였다. CO₂ 감축을 위한 획기적인 기술이 개발되어 있다고 해도 차량 양산 개발에 적용될 수 없으면 지구 온난화의 주범으로 알려지고 있는 CO₂ 감축에는 실제적인 기여가 없이

사장되는 것이 자동차 관련 기술이다. 기술의 경제성은 자동차 산업에서 우선적으로 검토되어야 하는 실정이며, 차량의 안전도와 배출 가스 규제는 CO₂ 감축 기술의 확대에 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 현재의 가솔린 엔진 만으로는 CO₂의 추가적인 감축이 극히 제한된 기술적 현실을 기준으로 볼 때 CO₂ 감축 방안으로 디젤 승용차를 위한 시장 여건의 조성이 시급한 실정이다.

참고 문헌

1. Inventions Needed for PNGV, August 1996.
2. Ph. Pinchon, "High fuel economy technologies," Reducing Automobile Fuel Consumption: A Challenge for the Turn of the Century Oct 1996.
3. ACEA Technical Study on Car CO₂ Emission Reduction.
4. Amann, C.A., "The Stretch for Better Passenger-Car Fuel Economy," Paper SAE 972658 1997.
5. ECMT-ACEA/OICA Joint Declaration New Car CO₂ Monitoring: 1999 Progress Report.