

전기 자동차 개발의 배경과 그 동향



최진민

(수송기계실장)

- '75.2 서울대학교 공과대학 기계과(학사)
- '77.2 서울대학교 대학원 기계과(석사)
- '92.8 경북대학교 대학원 기계과(박사)
- '77.2-'78.4 효성중공업
- '78.4-현재 한국기계연구원 수송기계실



구정서

(수송기계실 선임연구원)

- '85.2 부산대학교 공과대학 기계과(학사)
- '87.2 KAIST 기계공학과(석사)
- '87.3-'91.2 KIST 기계시스템실
- '91.3-현재 한국기계연구원 수송기계실



권오건

(수송기계실 연구원)

- '85.2 인하대학교 공과대학 기계과(학사)
- '87.2 인하대학교 대학원 기계과(석사)
- '90.4-현재 한국기계연구원 수송기계실

1. 전기자동차 개발의 배경

미국의 환경 감시 기구인 'World Watch'는 1992. 4. 26의 발표문을 통하여 '현재의 지구 대기는 이미 연평균 기온의 1 °C 상승에 충분한 이산화탄소를 함유하게 되었으며, 연 평균 1 °C의 기온 상승은 21세기에 많은 생명체들의 멸종을 가져올 것이다'라고 경고하고, '2000년까지는 대기속의 이산화탄소 수준을 1990년 수준으로 유지하여야 한다'고 발표하였다. 실제로 많은 전문가들은 2000년까지 지구의 평균 기온이 3 °C 가량 상승할 것으로 예측하고 있으며, 대규모의 기상 이변, 천재 지변의 발생을 우려하고 있다. 금년 6월 리오데 자네이로의 환경 정상 회담에서는 온실화의 주범인 이산화탄소의 배출을 제한하려는 기후 변화 협약을 체결하였다. 선진국의 경우를 살펴보면, 온실 효과를 유발하는 주범인 화석 연료 소비 가운데 수송 분야에서 차지하는 비중이 약 50%를 상회하는 것으로 보이며, 차량의 공해 저감은 시급한 과제가 되고 있다. 특히, 공장 등과 같은 오염 물질의 고정 발생원에 대해서는 상당한 대책을 세울 수가 있지만, 차량 등의 이동 발생원에 대해서는 차량 보유 대수의 증가 등으로 인하여 효과적인 대책을 마련하지 못하고 있다. 그래서 선진 각국에서는 차량의 배기 오염물질을 근본적으로 저감시키는 방법을 전기 자동차의 대량 보급에서 찾고 있으며, 정부 관련 부서, 전력 회사, 자동차 회사들이 유기적으로 협조하여 전기 자동차의 개발과 보급에 체계적이고 지속적인 투자를 하고 있다. 그림 1은 각종 대체 연료 자동차의 배출 가스량을 가솔린 차에 대한 상대적인 비율로 환산하여 비교한 것인데, 전기 자동차의 무공해성을 잘 보여주고 있다. 여기서 전기 자동차의 경우는 발전소의 배출 가스를 포함하고 있다.

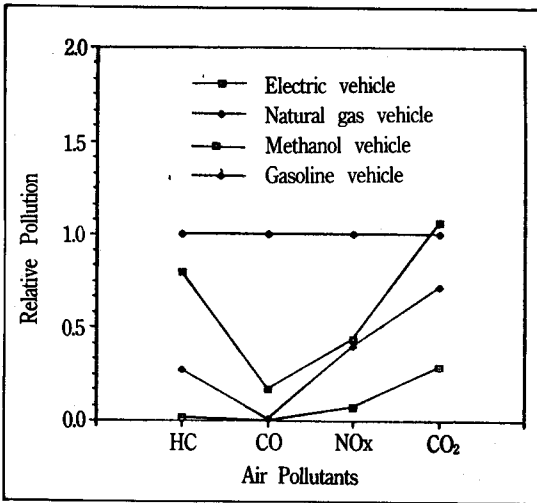


그림 1) 각종 대체 연료의 배출 가스량 비교

주 1) 가솔린 자동차에 대한 상대적인 비로 나타내었음.

(가솔린 자동차의 실제 배출 가스량(unit : g/mile) :

HC=0.7, CO=9.0, NO_x=1.1, CO₂=700)

주 2) 전기 자동차의 경우는 발전소 배출 가스를 포함한 것임.

최근 일본은 1991. 10에 발표한 통산성 전기 자동차 보급계획에서, 2000년에는 연간 10만대의 생산에 보유 대수 20만대를 달성하는 목표를 정하고 국가적인 지원을 아끼지 않고 있다. 그리고 미국도 저공해 및 무공해 자동차의 대량 보급을 유도하기 위한 정책들을 시행하고 있다. 1990. 6에 캘리포니아 대기 자원국(CARB)은 무공해 자동차의 판매를 의무화한 법령을 제정하였고, 1990. 11. 15에는 연방 정부가 신 대기 정화법(new clean air act)을 제정하여, 자동차 배기 가스의 규제를 강화하고 있다. CARB의 저공해 및 무공해 자동차 강제 보급안에 따르면, 자동차 회사는 승용차 및 소형 상용차의 HC, CO, NO_x 등 배기 가스량을 단계적으로 감소시킴과 동시에 1998년 부터는 반드시 총 판매 대수의 2%를, 2001년 부터는 5%를, 2003년 부터는 10%를 완전 무공해 차로 공급하도록 하고 있다. 그리고 캘리포니아주의 에너지 위원회는 1995년까지 LA 분지에 1만대의 전기 자동차를 도입할 계획을 세우고 있으며, 이어서 주 정부와 전력 회사들은 2000년까지 전 차량의 20%(170만대)를, 2010년까지는 70%(670만대)를

전기 자동차로 보급한다는 계획을 세워 두고 있다. 이 계획상의 수치가 달성되려면, 1996년 부터는 연간 35만~50만대의 전기 자동차가 생산되어야 한다. 이와 비슷한 조처들이 뉴욕, 뉴저지, 펜실 배니아 등지에서도 있을 전망이다. 또한 유럽의 여러 도시들은 내연기관 차량의 시내 주행을 금지하려는 움직임마저 있다.

전기 자동차는 내연기관 자동차의 대량 보급에 따른 대기 오염, 소음 등 환경 공해를 효과적으로 대처할 수 있는 가장 확실한 대안일 뿐만 아니라, 원자력, 수력, 풍력 등에 의한 전기 에너지를 사용하기 때문에 석유 자원의 보호 및 이의 고갈시에 대비한 수송에너지의 안정적 공급에 크게 기여할 수 있는 교통 수단으로 평가되고 있다. 또한 기존의 엔진에 비하여 연비 특성이 우수하여 수송 에너지의 효율을 제고시킬 수 있고, 충전 부하에 의한 대규모 심야 전력 수요의 창출로 전력회사의 1일 부하 변동율을 줄이는데도 상당히 기여할 것으로 기대된다. 그러나 전기 자동차의 조기 실용화를 가로막는 요인도 적지 않은데, 이것은 차량의 주행 성능에 결정적인 역할을 하는 축전지의 에너지 밀도, 출력 밀도(power density) 및 수명이 만족할 만한 수준이 아니며, 축전지의 기술 혁신이 빨리 이루어지지 못하기 때문이다. 그리고 전기 자동차의 조기 실용화를 위해서는 현재보다 더욱 소형, 경량이면서 출력이 큰 전동기 및 제어기 등 관련 부품들이 개발되어야 하며, 일반 사용자의 전기 자동차에 대한 인식 제고, 유지보수 시스템 및 세계 등 보급 장려 제도의 정비, 차량의 원가의 저감, 차량의 신뢰성 향상 등 많은 과제가 해결되어야 한다.

그럼에도 불구하고 선진 각국들이 전기 자동차의 개발에 엄청난 노력을 경주하고 있는 것은 환경 보호의 측면 뿐만 아니라 조기 실용화를 통한 세계 시장의 석권을 노리고 있기 때문이다. 미국 에너지부(DOE)의 전기 자동차 개발 지원 계획에서 천명하고 있는 전기 자동차 개발의 필요성을 살펴보면, 대기 오염 등 환경 문제의 해결과 함께 대외적인 석유 의존도를 낮추어, 국가 안보 차원의 위험 부담을 줄이고 무역 역조의 개선을 꾀하고 있다고 밝히고 있다. 따라서 국내에서도 환경 공해

저감은 물론이고, 석유류 수입 감소 및 자동차 수출 시장의 지속적 유지·확보를 위해서도 국가 규모의 대단위 투자가 요망되고 있다.

2. 전기 자동차의 구조 및 주요 구성 부품

전기 자동차는 주행에 필요한 구동력을 전기적 에너지로부터 얻으며, 기존의 가솔린 자동차에 비하여 에너지 효율이 높고, 공해 저감에 효과가 크기 때문에 실용화가 강력히 요구되고 있다. 전기 자동차의 주요 구성 요소는 축전지, 제어기, 전동기, 변속장치, 충전기, 기타 보조 계기류 등이다. 그림 2는 전기 자동차의 개략적인 구조를 나타내며, 그림 3은 전기 자동차와 가솔린 자동차의 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 전기 자동차에서는 외부 전원으로부터 충전기를 통하여 주 축전지(2차전지)에 저장된 전기 에너지가 운전자의 의지에 따라 조작되는 제어기(controller)에 의하여 주행에 필요한 전력으로 변화된 후 구동용 전동기에 공급되며, 이 때 전동기에서는 이에 상응하는 출력(속도-토크)이 얻어진다. 대개 전동기의 출력은 고속이므로 변속기 등을 통하여 감속된 상태로 구동 차륜에 전달되어 차량의 주행에 사용된다. 전기 자동차 주요 구성 요소들의 기능과 기술 현황을 간략히 알아보면 다음과 같다.

2.1. 축전지

축전지는 전기 자동차의 요소 부품 중 가장 중요한 것으로서, 기존 가솔린 자동차의 연료 저장 탱크와 같이 구동 에너지 저장 용기의 기능을 한다. 궁극적으로 전기 자동차 실용화의 성공 여부는 값싸고 성능 좋은 축전지의 개발 여하에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 축전지를 평가하는 중요한 지표는 에너지 밀도, 출력 밀도, cycle 수명, 축전지의 가격 등이다. 여기서 에너지 밀도란 축전지의 단위 중량당 충전 가능한 전기 에너지의 양을 말하는데, 단위는 Wh/kg으로 표시할 수 있고, 1회 충전 주행 거리를 결정하는 지표가 되며, 경우에 따라서는 차량의 탑재 공간을 고려한 공간(space) 효율을 평가하기 위하여 단위 체적당의 에너지 밀도인 Wh/L이 사용되기도 한다. 출력 밀도는 단위 중량의 축전지에서 얻을 수 있는 출력의 크기를 나타내는 양으로서, 단위는 W/kg이다. 이것은 전동기 성능과 함께 전기 자동차의 가속 성능, 등판 성능, 최대 속도 등의 주행 성능을 결정하는 중요한 지표가 된다. 그리고 cycle 수명이란 축전지가 몇 회의 충전과 방전 cycle에서 수명이 끝나는지를 나타내며, 축전지 가격과 함께 전기 자동차의 원가 및 보수 유지 비용에 큰 영향을 준다. 구미 선진국 및 일본의 전지 회사들은 정부 유관 기관의 대폭적인 지원을 받아, 기존

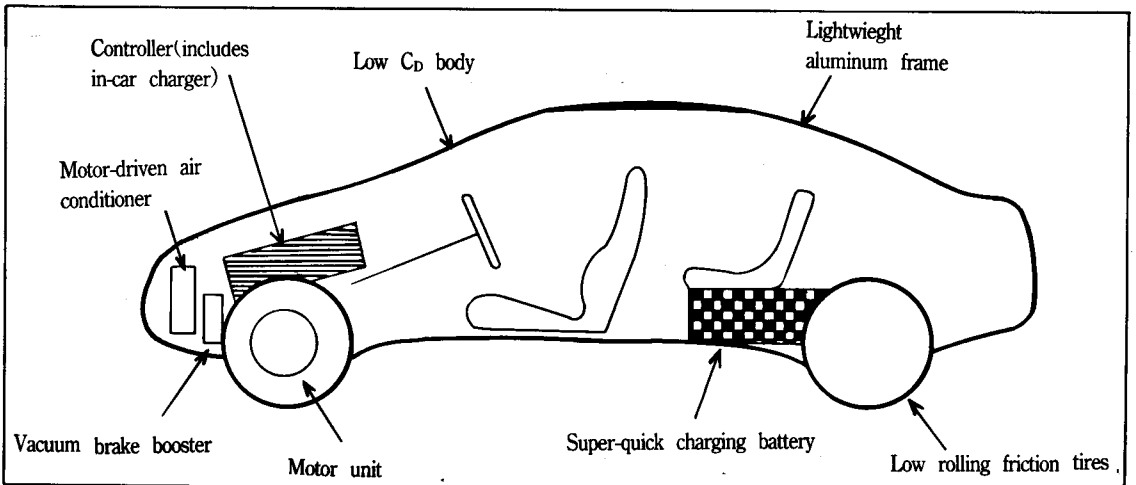


그림 2) 전기 자동차의 구조

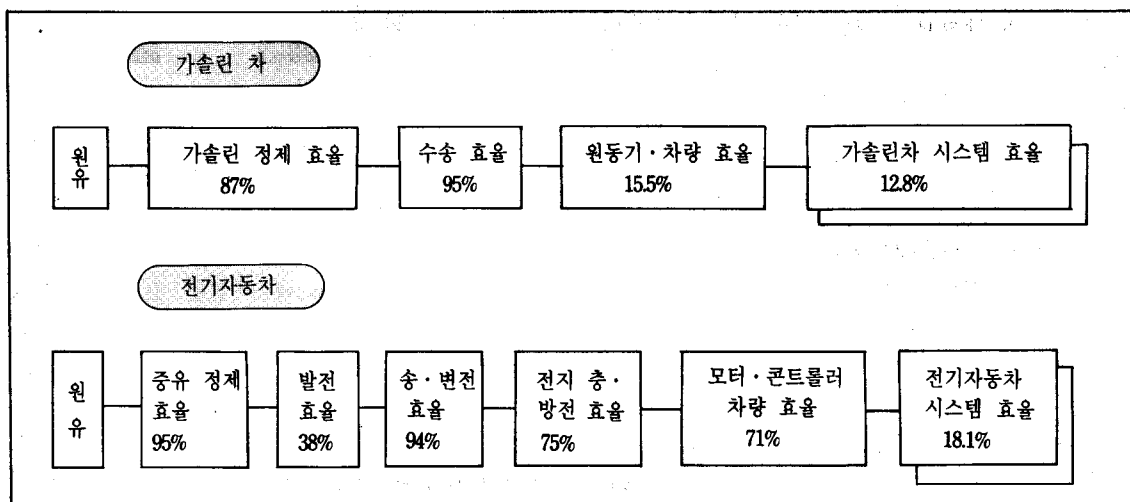


그림 3) 10 모-드 주행시 에너지 효율의 비교

표 1) 전기 자동차용 각종 축전지들의 특성 비교

종 류		Pb	Ni-Cd	Ni-Fe	Ni-Zn	Ni-MH	Na-S	Zn-Br
에너지 밀도	현황	40Wh/kg (70Kh/L)	50Wh/kg (100Wh/L)	55-60Wh/kg (110-12Wh/L)	70Wh/kg (130Wh/L)	-	80-100Wh/kg (88-110Wh/L)	70Wh/kg (85Wh/L)
	목표	45Wh/kg (78Wh/L)	60Wh/kg (120Wh/L)	60-65Wh/kg (120-130Wh/L)	80Wh/kg (150Wh/L)	80Wh/kg (200Wh/L)	110Wh/kg (121Wh/L)	70-90Wh/kg (85-100Wh/L)
파워 밀도	현황	120W/kg (190W/L)	150-0180W/kg (300-360W/L)	100W/kg (200W/L)	140-160W/kg (220-290W/L)	-	80-100W/kg (140-W/L)	80-90W/kg (110W/L)
	목표	130-W/kg (200-W/L)	180-200W/kg (360-400W/L)	130W/kg (260W/L)	150-180W/kg (270-330W/L)	130-W/kg (330-W/L)	130-W/kg (88-110W/L)	100W/kg (90-100W/L)
사이클 수명	현황	500	1000-2000	1000	100-200	-	300	250-700
	목표	500-1000	2000-	1000-2000	500	1000-	500-1000	500-1000
가격 (양산시 예상)		10	4.1*	3.7*	2.8*	4.1*이상 으로 추정	19	14
특징	장점	• 신뢰성 높음 • 가격 저렴	• 급속충전 • 긴 수명	• 긴 수명	• 에너지 밀도 높음	• 에너지 밀도 높음(체적 효율 높음)	• 에너지 밀도 높음(체적 효율 낮음)	• 가격 저렴 • 에너지 밀도 높음
	단점	• 에너지 밀도 낮음 • 과충전, 과방전에 약함	• Ni, Cd 가격 높음	• 밀폐화 불가(정기적 보수필요)	• 짧은 수명	• 가격 높음 • 수소 취급에 대한 안전성	• 안전성 • 고온의 제어	• 출력 밀도 낮음 • 짧은 수명 • 정기적인 완전 방전 필요

납 축전지의 개량과 고성능 신형 전지의 개발에 몰두하고 있다. 표 1은 전기 자동차용으로 개발되고 있는 각종 축전지들의 특성을 나타낸 것이다.

2.2. 전동기

전기 자동차에서 전동기는 기존 차량의 엔진과 같은 역할을 하며, 축전지로 부터 전기 에너지를 공급 받아 기계적 에너지로 변환시켜 주는 장치이다. 일반적으로 전기 자동차에 사용되는 전동기로는 직류직권, 직류분권, 직류타여자, 직류 무정류자 등의 직류 전동기와 교류 유도, 교류 동기 등의 교류 전동기가 있다. 정류자가 있는 직류 전동기는 축전지의 직류 전원을 직접 사용할 수 있어서, inverter가 필요 없고 제어가 용이한 장점이 있으므로 현재 실용화 되어 있는 대부분의 전기 자동차에 사용되고 있다. 그러나 직류 전동기는 가격이 비싸고 고속 회전화가 어려워 대형화 되며, brush 접점부의 에너지 손실과 기계적 마모에 의한 소음 및 brush 보수/교환 등이 필요한 단점이 있다. 여기서 직류 직권 전동기는 저속 영역에서 큰 구동력을 얻을 수 있는 이상적인 속도-토크 특성을 가지나, 저부하 운전시에 과회전을 하기 때문에 위험성이 높고 넓은 영역의 회전 속도 제어에 어려움이 있어, 주로 기존 차량의 고단 변속기를 그대로 이용하여 개조한 전기 자동차에 많이 사용되고 있다. 직류 분권이나 직류 타여자 전동기는 제어가 용이하고 발전기 및 제어기의 효율이 높기 때문에 1~2단 정도의 변속기와 결합되어 많이 사용되고 있다. 최근에 활발히 개발되고 있는 직류 무정류자 전동기는 전자적 장치가 기계적 정류자의 기능을 하도록 고안된 것으로서 소형화 고효율화가 가능하고 속도 제어가 용이하므로 원형 전기차로 개발되는 차륜내 직접 구동방식(wheel-in-moter)의 전기 자동차 등에 많이 사용되고 있다. 이러한 방식의 전기 자동차로는 IZA가 있는데, 이 방식을 사용하여 대폭적인 주행거리의 향상과 에너지 소모를 저감을 달성할 수 있었으나, 저속 주행시의 전동기 효율 저하와 과부하시 전동기의 온도가 상승하는 문제가 발생하였다.

한편 초기의 전기 자동차에는 별로 사용되지 않았던 교류 전동기의 적용도 활발해지고 있는데, 이것은 전력 반도체 소자의 진보와 함께 발전하고 있는 주파수 교환기술의 덕분이며 앞으로 제어 기술이 더욱 발전할 것이므로 그 사용이 확대될 전망이다. 교류 전동기는 정류자가 없기 때문에 brush의 교환이 필요 없고 소형화와 고효율화가 가능하여 비교적 최근에 개발된 전기 자동차에 많이 사용되고 있다. 여기서 교류 유도 전동기는 Ford의 ETX-I, Eaton의 DSEP, GM의 Impact, Nissan의 FEV 등에, 그리고 교류 동기 전동기는 Nissan의 March-II, Ford의 ETX-II(Aero Star Van)에 사용되고 있다. 그런데 교류 동기 전동기는 효율이 좋은 반면에, 고가의 고성능 영구 자석을 사용하여 하기 때문에 가격이 상당히 높아진다.

2.3. 제어기

전기 자동차의 주행 속도 제어는 축전지로부터 전동기에 공급되는 전력을 조절함으로써 이루어진다. 운전자는 가속/제동 페달을 작동하여 주행에 대한 의사를 표현하기 때문에 기계적 신호를 전동기 제어에 필요한 전기적인 신호로 바꾸어 chopper(또는 inverter)에 전달해야 하므로 압력 센서와 마이크로 컴퓨터를 이용한다. 대개 직류 전동기는 SCR chopper나 TR chopper를 사용하여 PWM(pulse width modulation) 방식으로 전력 제어를 하는 것이 보통이다. 직류 직권 전동기는 부하 전류가 크기 때문에 부하 용량이 큰 SCR chopper의 제어 방식을 택하는 경우가 대부분인데, 이방식을 채택하면, 제어기의 효율이 낮고 chopper 음에 의한 소음과 회생 제동에 어려움이 있다. 한편, 전기자와 계자가 병렬로 연결되어 있는 직류 분권 전동기의 경우나 전기자와 계자의 전원을 독립적으로 사용하는 직류 타여자 전동기는 부하 변동에 대한 회전 속도 변화가 거의 일정한 특성을 가지며, 출력 및 속도 제어는 전기자 전류와 계자 전류를 제어함으로써 달성된다. 전기자 제어는 SCR 또는 TR chopper를 사용하고, 계자 전류의 제어는 TR chopper를 사용한다. 최근에는 최대 전류 제어 능력이 300A가 넘는 대전력 TR 소자(GTR)가 개발되어서 전기자

제어에서도 TR chopper제어 방식이 일반화 되고 있다. 이 경우의 종합 효율(전동기 효율+제어기 효율)은 직류 직권 전동기의 60~65% 보다 훨씬 높은 75% 이상을 얻을 수 있다. 그리고 교류 전동기의 전력 제어는 inverter에서 이루어 지는데, PWM이나 SSSW(six step square wave) 등을 이용한 고주파 switching 회로에 의하여 달성된다. 교류 전동기를 직류 타여자 전동기와 비교하면, 제어기의 효율은 약간 떨어지지만 전동기 효율이 높기 때문에 종합 효율은 조금 높은 편이다.

한편, 제어기의 신뢰성을 향상시키고 차량 주행의 안전성을 확보하기 위하여 chopper, inverter 등, 대전력 제어에 곤란한 전자파 장애를 방지하기 위한 연구도 이루어 지고 있다.

2.4. 변속기

전기 자동차의 속도 제어는 근본적으로 전동기 제어에 의하여 수행되며, 변속기는 회전수의 감속이나 가속 성능, 등판 성능 등 주행 성능 제고를 위한 보조적인 기능을 한다. 전동기는 가솔린 엔진과 비교하여 저속 영역의 회전 토크크가 크고 후진 기어(전동기를 역회전 시킴)를 필요로 하지 않기 때문에 전기 자동차 전용으로 설계된 변속기는 1~2단의 것이 많고, 전동기를 차륜에 내장하여 구동시키면 변속기어를 전혀 사용하지 않아도 된다. 한편 자동 변속 기능과 동시에 저속 운전 영역의 회생 제동 효과를 제고시킬 수 있도록 토크 컨버트(torque converter)를 이용한 CVT를 적용하는 연구도 이루어지고 있다. 그리고 두개의 교류 유도 전동기를 구동용 전동기로 사용하여 독립적으로 제어함으로써 섬세한 선회 주행 성능을 얻고, 차동 기어를 제거시키는 방법(2 motor/controller 방식, 예, FEV, Impact)이 개발 적용되고 있다. 최근에는 전기적 회로의 연결 방법을 이용한 전기적 2단 변속 장치가 개발되어서 주목을 받고 있다.

2.5. 제동장치

전기 자동차는 구동용 전동기를 발전기화 하여

회생 제동을 일으켜 제동 손실 에너지를 회수할 수 있으므로, 시내 주행의 경우에 15% 정도의 주행거리 향상을 가져올 수 있다. 대개의 경우, 이 제동 장치는 기존의 브레이크 페달 동작과 거의 같은 감각을 유지시키면서 3/4 정도의 페달 동작까지는 전기적 회생제동을, 나머지 부분은 기계적 제동을 사용한다. 이때 회생 제동은 엔진 브레이크와 같은 부드러운 제동 느낌을 준다. 그리고 진공 용기 내부에 flywheel을 설치하여 기계적 회생 제동 효과를 얻고 주행성능을 향상시키는 방법도 연구되고 있다.

2.6. 충전기

충전기는 주 축전지를 충전하기 위한 기기로서 정전류나 정전압 기능을 조합한 제어 장치를 사용하여 축전지에 손상(damage)을 주지 않도록 충전을 한다. 충전기는 차에 탑재하는 유형과 지상에 설치하는 유형의 두가지로 분류되며, 탑재 가능한 소형 충전기는 일반적으로 충전시간이 길어서, 통상 6~10 시간 정도가 걸린다. 전기 자동차 실용화를 가로막는 요인의 하나인 비현실적으로 긴 충전 시간을 단축하기 위한 급속 충전 기술 개발에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 Nissan에서 개발한 Ni-Cd 축전지의 충전 장치는 40% 보충 충전 경우에 6분, 100% 완전 충전에는 15분 밖에 소요되지 않아서, 기존의 충전장치와 비교하면 1/4~1/5의 수준이다. 이러한 초 급속 충전 장치의 개발은 축전지의 적재량을 줄여서 중량 감소에 의한 가속 성능의 향상을 얻을 수 있음은 물론이거니와 이용 가능한 공간(space)의 증대, 가격(cost) 저감, 회생 제동시의 에너지 회수율 증대, 그리고 단시간의 충전으로 인한 실질적 주행거리 연장 등의 효과를 얻을 수 있어 전기 자동차의 실용화를 크게 기여할 것으로 기대된다.

2.7. 전용 보조 기기류

차량 구동용 전동기는 공회전을 필요로 하지 않기 때문에 에어컨의 콤프레사나 파워 스티어링

(power steering) 등의 보조 기계류는 전용 전동기를 별도로 설치하여 작동시킨다. 또한 종래의 난방 장치는 원동기의 폐열을 이용하지만, 전기 자동차의 경우는 별도의 연료를 사용하는 heater나 heat-pumper 등을 사용한다.

한편 축전지의 방전 심도(DOD : depth of discharge)를 정확하게 측정할 수 있어야 적절한 시기에 충전을 해줄 수 있고, 자동차 주행의 신뢰성과 축전지의 수명 향상을 도모할 수 있는데, 이러한 기능을 하도록 고안된 계기를 잔존 용량계라고 한다. 잔존 용량계에서는 대개 축전지의 단자 전압과 소비된 전력량을 측정하여 남아 있는 전기 에너지의 양을 산출하는 방법을 사용하며, 그 정확도를 높이는 것이 중요한 과제가 되고 있다.

2.8. 차체 및 타이어

원형 전기 자동차로 개발된 차체는 중량을 최대한으로 줄이고, 주행 저항을 최소화 하기 위하여 많은 첨단 소재와 설계 기술이 응용되고 있다. 먼저 차체의 무게를 대폭 경량화 하기 위하여 차체의 골격은 알루미늄 프레임과 알루미늄 하니컴 floor를, 차체의 내판 및 골격 부재는 알루미늄 판재와 압출재를, 외판 부분은 복합재 또는 수지 재료 등을 사용하는 경우가 많다. 고속 주행시의 주행 저항은 공기 저항이 지배적인 요인이 되며, 공력 특성을 최적화한 외형 설계에 의하여 차량의 전면 면적과 항력 계수를 대폭 저감시킨 차량들이 개발되었다. Impact나 FEV는 항력 계수가 0.19로서 기존 차량에 비하여 2배 이상 감소되었다. 한편, 저속 주행시는 전동 저항의 비중이 상대적으로 크게 되어 차량 주행 성능을 결정하는 요인이 된다. 최근에는 타이어 기술의 혁신에 의하여 전동 저항 계수가 종전의 1/2 수준인 0.005 정도의 것이 개발되어 사용되고 있다. 이와 아울러 타이어의 경량화도 획기적으로 이루어져 종래의 40% 수준으로 경량화된 예도 있다.

그리고 전기 자동차의 사용이 보편화 되려면 주행 성능의 향상을 위한 연구 뿐만 아니라 도로 주행시의 주행 안전도, 충돌/전복 등 사고 발생시에 대비한 수동 안전도에 관한 연구도 충분히 수행

되어야 한다.

3. 전기 자동차의 역사 및 연구 동향

최초의 전기 자동차는 1834년 미국인 토마스 다벤포트가 충전 방식이 아닌 전기 자동차로 개발한 것이다. 그후 전기 자동차는 실용성을 인정받지 못하여 별다른 관심을 끌지 못하다가 1873년 영국인 로버트 데이비슨에 의하여 실용적인 전기 자동차가 제작되었다. 이것은 프랑스인 큐노에 의하여 증기 자동차가 개발된 후 104년이 지난 후이며, 독일인 다이물러 벤츠에 의해 최초의 가솔린 자동차가 개발되기 12년 전의 일이었다. 그때부터 19세기 말까지는 전기 자동차가 전체 자동차의 주류를 이루었으며, 1899년에 벨기에인 카미유 주난치에 의하여 최대속도 105 km/h의 전기 자동차가 개발되기도 했다. 그러나 1900년 경에는 정적이고 운전이 쉬운 전기 자동차보다 기동이 불편하고 흑연이나 석탄 등을 배출하지만 행동 반경이 비교적 넓은 증기 자동차를 구하는 시대로 이행되었다. 이 해에 미국에서 생산된 자동차의 내역은 전기 자동차가 1575대, 증기 자동차가 1687대, 가솔린 자동차가 936대 었다. 그러나 1909년 T형 Ford 자동차가 탄생하면서 가솔린 자동차의 대중화 시대가 개막되었고, 증기 자동차도 자취를 감추게 되었다. 전기 자동차는 1회 충전 주행 거리가 짧고, 충전 시간이 긴 결점 때문에 지게차, 구내 운반차, 유원지 유람차, 근거리 화물 배달차, 마라톤 증계차 등, 한정적이고 특수한 용도의 차량을 제외하고는 1920년대 무렵에 완전히 자취를 감추게 되었다. 그 후에 유전의 대량 발견과 내연 기관 분야의 기술 발전으로 가솔린 자동차의 성능 향상과 수요 증가가 획기적으로 이루어졌다. 그러나 1970년대 전 세계적인 석유 파동으로 인한 에너지 위기는 다시 전기 자동차 개발의 필요성을 부각시켰으며, 대도시의 공해 문제와 연계되어 국가 주도형 프로젝트로서 이루어졌다. 다음은 1970년대와 1980년대에 걸쳐 세계 각국에서 수행된 연구 개발 과정을 살펴본다.

일본에서의 본격적인 연구 개발은 1971년 통산성 공업기술원에 의한 대형 프로젝트로 시작되었는데,

6년간에 걸쳐 57억엔이 투입되어 전기 자동차 요소 기술의 습득 및 관련 연구가 수행되었고, 1976. 8에는 통산성의 지원으로 전동 차량의 연구 개발과 보급을 촉진하기 위하여 전동 차량 협회(JEVA)가 설립되었다. 이 공업기술원 프로젝트의 연구 결과를 토대로 하여, 실용적인 전기 자동차를 개발할 목적으로 1978. 3에는 전기 자동차 연구조합(EVERA)이 설립되어 1차(1978-1981), 2차(1982-1986) 연구를 수행하고 1990년에 해산되었다. EVERA에는 차량 회사, 전동기 회사, 축전지 회사 등 많은 회사들이 참여하였으며, 연구는 산·학·연 협동 체제로 수행되었다. 이 연구 기간 중에 E1, E2, E31, E41 등의 개조형 전기 자동차와 축전지(개량된 납축전지, 니켈-아연, 철-니켈), 전동기/제어기(직류분권 전동기, SCR/TR chopper), 충전기(고주파 급속충전기) 등이 개발되었다.

미국의 경우에는 1973년에 전력 회사 공동의 연구 개발 기관으로 EPRI가 설립되어 전기 자동차의 상업화, 전기 자동차의 시장 개발 및 부대 설비(infrastructure)의 구축을 담당하였고, 1976년에는 미국 에너지부(DOE)의 전기 자동차 및 hybrid vehicle 연구 개발 보급법이 제정되어 DOE 주도하에 자동차 제작사, 축전지 제작사, 국립연구기관 등이 협조하여 본격적으로 연구를 개시하였다. 이 연구는 축전지의 개발, 추진 시스템의 개발, 시험 및 평가, 연구 및 분석 등 4가지 분야로 나누어져 수행되었다. 축전지 연구 분야에서는 개량된 납 축전지(gel cell, tubular type, flow through type)와 신형 전지(Ni-Fe, Zn-Br, Na-S, Li-Me-S)의 개발이 완료되었거나 개발중에 있다. 추진 시스템 개발 분야에서는 전동기 회사, 자동차 부품 회사 및 자동차 제작사 등이 주축이 되어 ETV-I/II, ETX-I/II, DSEP/IDSEP 등의 구동 시스템이 개발되어, TE-Van(ETV-I을 2단 변속으로 개량하여 적용), Aerostar Van, T-115 Van 등의 개조형 전기 자동차의 제작에 사용되었다. 이렇게 제작된 전기 자동차는 실용적 성능을 평가하기 위하여 시험 사용자 그룹에 제공하여 시험중이다. 또한 기술 평가는 Idaho National Laboratory에 설립된 EVTC(Electric Vehicle Test Center)에서 수행하고 있으며, 전기 자동차 시스템 연구의 우선 순위 결정,

내연 기관 자동차의 대체 효과, 경제성 분석 등의 연구 분석은 Jet Propulsion Laboratory에서 수행하고 있다.

그리고 유럽에서는 1978년 EC 주관으로 유럽 전기 자동차 협회를 설립하여 공해 저감 및 수송 에너지의 다변화를 목표로 연구 개발을 지원하고 있고, 자동차 제작사, 축전지 개발 회사, 전장 부품 개발 회사 등이 협력하여 활발히 연구를 수행하고 있다. 독일의 Volks Wagen은 Jetta를, GES와 BMW는 City Stromer를 개발한 바 있으며, 프랑스의 Peugeot사는 Citroen 25, PSA205, J5 Van를 개발하여 성능 시험을 하였고, 이중 J5 Van은 시판되고 있다. 영국의 Bedford사, 이탈리아의 ENEL, Fiat 등에서도 연구 개발이 활발하며, Bedford CF II Van과 Fiat의 Panda Elettra는 판매되고 있다. 특히 영국은 저속 용도의 차량을 대상으로 개발 보급을 실시하여 20만대가 넘는 전기 자동차를 운행하고 있다. 한편 축전지의 개발도 활발히 이루어지고 있는데, 독일의 ABB사와 영국의 Chloride Silent Power사 등이 Na-S 축전지를, 프랑스의 SAFT 사가 Ni-Cd 축전지를 상용화할 예정이다.

국내에서 이루어진 최초의 연구는 1975년 한국 과학 기술 연구원에서 코로나 차체에 납 축전지를 탑재한 것이며, 이것은 최고속도 50km/h에, 최대 주행 거리 38km(40km/h 정속)의 성능을 가진 것이었고, 그 후 기아 자동차는 1986년 일본에서 수입한 전장 부품을 사용하여 베스타 차체를 개조한 마라톤 증계용 전기 자동차를 5대 제작하였다. 한전은 전기 자동차의 무공해성과 심야 전력 부하 개발의 가능성을 고려하여 1987년 부터 4년간에 걸쳐 전기 자동차의 적용성 평가 및 외국에서 도입한 전기 자동차(EV-Cort)의 성능 평가와 차량의 개조에 관한 연구를 수행하였다. 현대 자동차에서는 1991년 소나타를 개조한 제1호 시작차(최고속도 60km/h, 1회 충전 주행 거리 70km)를 개발한데 이어, 1992년에는 엑셀을 개조하여 최고속도 100km/h, 주행 거리가 100km/h인 제2호차를 개발했다.

대체로 1970년대와 1980년대의 전기 자동차 개발 연구는 기존의 내연기관 자동차 기술의 바탕 위에서 축전지, 전동기 및 동력 전달 장치, 기타

전장부품을 사용하여 개조형 전기 자동차를 개발하고, 사용상의 문제점, 주행 성능 분석, 경제성 분석, 기술 개발의 방향 제시, 경험 축적 등을 할 목적으로 수행되었다. 이 시기에 개발된 개조형 전기 자동차들은 주행 거리, 최고 속도, 가속 성능 등 대부분의 차량 성능이 기존의 내연 기관차에 많이 뒤지기 때문에 비도로 주행용 특수 차량이나, 전력 회사의 선로 보수 차량, 우편 배달 차량, 청소 차량 등 공공 단체들에서 정책적인 배려로 사용되는 차량이 대부분이었다.

그러나 최근 지구 규모의 환경 문제가 제기되면서 공해 배출 차량의 규제 및 저공해/무공해 차량의 강제 보급 계획 등에 힘입어, 1990년대부터 성능이 기존의 가솔린 자동차에 비해 크게 손색이 없는 우수한 성능의 원형 전기 자동차가 개발되기 시작하는데, 대표적인 것으로는 GM의 Impact, Nissan의 FEV, 동경 전력의 IZA, BMW의 E1 등을 들 수 있다. 이러한 전기 자동차는 공기 저항을 최소화한 새로운 외형 설계, 초경량 차체와 낮은 전동 저항의 경량화 타이어 개발 등으로 주행 저항을 줄이고, 신형 축전지, 소형 경량화된 고성능 전동기 및 제어 장치, 높은 기계적 전달 효율을 가진 transaxle을 사용하여 제작되었으므로 전반적인 주행 성능이 매우 우수하다. 따라서 이러한 전기 자동차는 최근 Nissan에서 개발된 초급속 충전 장치의 성능 등을 감안할 때, 충전소, 유지 보수 시스템들만 잘 정비된다면 사용에 큰 문제점 없이 것으로 추정된다. 표 2는 미국 전력 연구소(EPRI)가 예상하고 있는 금후 10년 동안 개발될 전기 자동차 성능을 나타낸 것인데, 2000년까지는 실용적으로 거의 불편이 없는 수준까지 도달할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 일본은 2000년에 시내 주행 200km 이상, 최고 속도 130km/h,

가격은 동일 종류의 기존 차량 대비 1.2배 정도인 실용적인 전기 자동차의 개발을 목표로 하고 있다.

한편 국내에서도 국제적인 연구 개발 추세에 부응하여 원형 전기 자동차의 개발에 박차를 가하고 있는데, 현대 자동차는 1990년 중반에 최고 속도 160km/h, 1회 충전 주행 거리 350km(정속 90km/h)인 실용적인 전기 자동차의 상용화를 목표로 하고 있고, 상공부 및 과기처가 주도하는 HAN 과제 기획팀에서는 1996년까지 경쟁력 있는 전기 자동차의 개발을 목표로 하여, 산·학·연 공동의 국가적 사업을 추진하고 있다. 여기서 개발될 전기 자동차는 최고속도 120km/h, 1회 충전거리 300km(40-60 km/h 정속운행), 출발 가속 성능이 100 km/h 도달하는데 15초가 소요되는 4인승 승용차이다.

4. 전기 자동차의 미래 전망

현재 기술 수준의 전기 자동차들도 도시내 운행 통근 차량이나 second car 등의 목적으로는 손색이 없다. 실제로, G-Van, Beford CF-II 등 몇몇 전기 자동차는 시판을 개시하였고, Impact나 TE-Van 등은 곧 판매를 개시할 것으로 생각된다. 그러나 개조형 전기 자동차의 경우에는 항속 거리가 짧고 주행 성능이 좋지 못하여 기존의 자동차에 익숙한 운전자에게는 불편할 정도이며, 원형 전기 자동차의 경우에는 비슷한 가솔린 자동차의 2~3배로 가격이 높아 상품으로서의 경쟁력이 없다. 2인승용차인 Impact를 예로 들어 보면, 예상되는 판매 가격이 \$15000~\$25000 정도이고, 20000~30000 miles 마다 \$8000의 축전지 교환 비용이 추가 소요될 것으로 전망된다. 그림 4는 가솔린 차와 전기 자동차의 구매 및 유지 비용을 추정하고

표 2) 향후 상용 전기 자동차의 성능 예측(미국 EPRI)

생산년도	전동기	축전지	주행거리	비 고
1990	DC	Pb	60miles(96km)	Van
1993	DC	Ni-Fe	100miles(160km)	TE-Van
1996	AC	Na-S	150miles(240km)	ETX-II 상당
2000	AC	금속-공기	250miles(400km)	

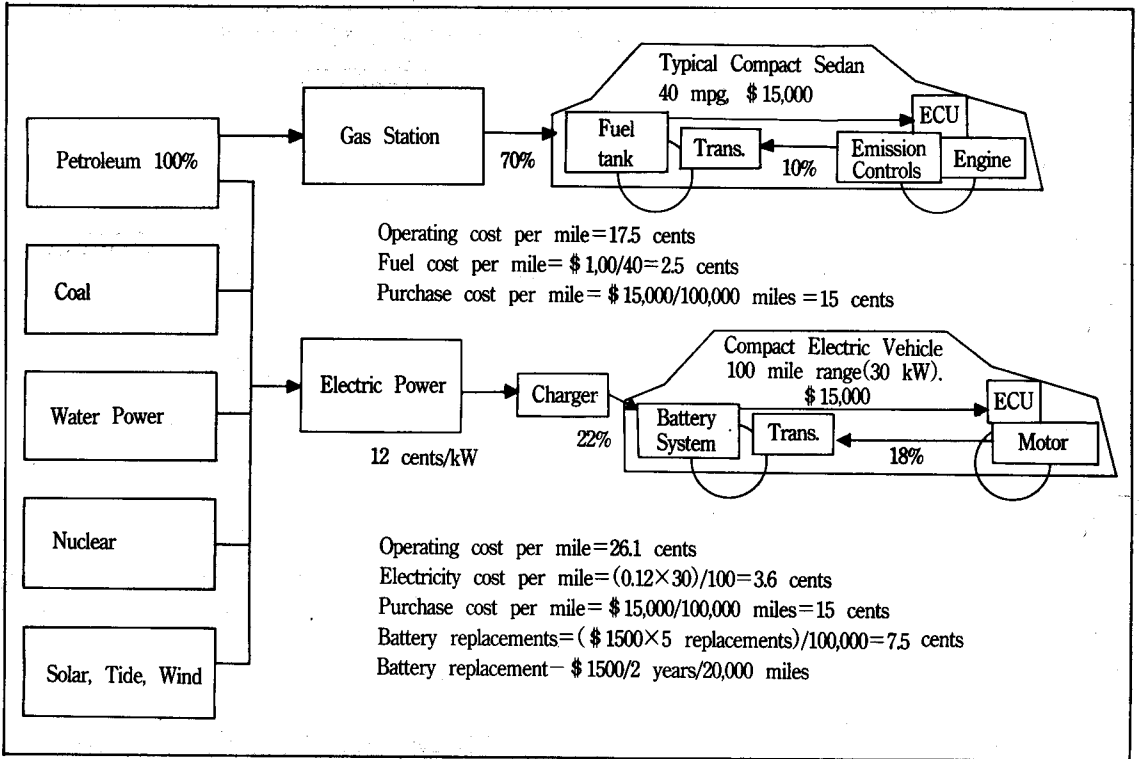


그림 4) 내연기관 자동차와 전기 자동차의 가격 비교

비교한 자료인데, 전기 자동차가 경제적으로 상당히 불리함을 알 수 있다. 따라서 전기 자동차가 상업적 경쟁력을 가지기 위해서는 상당한 가격 저감과 함께, 1회 충전 주행거리 300 miles 이상, 축전지 수명 100,000 miles 이상을 달성해야 할 것이며, 아울러 고가의 초기 구입 비용을 상계할 수 있을 정도의 전기료 할인, 세제 혜택 등의 우대 정책과 매연 차량의 시내 주행 제한 등의 부수적인 보급 체계가 필요하다.

이러한 난점들이 있음에도 불구하고 전기 자동차가 무공해성, 에너지원의 다양성 등에서 장점이 있기 때문에, 세계 각국은 심각한 환경 문제를 해결하기 위하여 강제 보급 정책들을 더욱 강화하고 있고, 여기에 부응하여 세계적인 자동차 제작사들도 적극적인 연구 개발을 하고 있으므로 장래의 실용화 전망은 매우 밝다고 할 수 있다. 또한 현재의 연구 개발 추세로 볼때 장기적으로는 고성능 축전지의 개발, 초고속 충전 장치 및 우수한 동력 전달 장치의 개발이 괄목할 수준까지 도달할

것이므로 가솔린 자동차와 비교하여 충분히 경쟁력이 있는 전기 자동차의 출현이 기대된다. 우선 상용화가 예상되는 차종은 2~4 인승 소형 승용차, mini-Van, full-size-Van 등이 될 전망이며, 이러한 차량들은 전력 회사, 지방 자치 단체의 업무용차 등, 공공 기관의 정책적인 배려에 의하여 보급이 선도될 것으로 보인다. 표 3은 로스엔젤레스에서 추진하고 있는 EV 10000대 도입 계획을 나타낸 것이다.

5. 결 언

산업 시설 및 수송 수단 등에 의한 대규모 오염 물질의 배출은 지구 환경을 심각한 지경으로 파괴하였으며 세계적인 규모의 환경 보호 운동이 활발히 진행되고 있다. 산업혁명 이후 발전을 거듭해온 각종의 산업은 인간에게 편리하고 윤택한 생활을 제공해 주었지만 결국은 환경을 오염시켜 인류의 생존권을 위협하게 되었다. 따라서 미래의

표 3) 미국 로스엔젤레스시의 전기 자동차 도입 계획(10,000대)

도입시기	'89. 8-'91. 8	'91. 8-'93. 8		'93. 8-'95. 8
차 종	Compact Van	Compact Van Mini-Van, 소형트럭		Compact Van, Mini-Van 소형트럭, 승용차
도입대수	3000대	3000대		4000대
1회 충전시 주행거리	65 miles(105km)	100 miles(161km)		150 miles(241km)
적 재 량	906kg (8인)	906kg (8인)	544kg (6인)	ICE 차와 동일
최고속도	55 mph (88.5 km/h)	65 mph (104.6 km/h)		70 mph (112.6 km/h)
가속시간(0-48.3km/h)	13초	9초		5초
표준 장비품	Power Steering(P/S) Power Brake(P/B)	P/S, P/B 탑재형 충전기(OBG)		P/S, P/B OBG
옵션 장비품	에어컨, 라디오 등	에어컨, 라디오 등		ICE 차와 동일
기 타	모두 규제에 적합			

산업 발전은 인간 뿐만 아니라 자연에게도 쾌적하고 이로우며, 진정한 의미로 인류의 행복 및 복지에 부합하는 방향으로 진행되어야 할 것이다. 이러한 관점에서 무공해 특성(zero emission)을 가진 전기 자동차(Electric Vehicle; EV)의 개발은 필연적인 과정이며, 2000년대의 자동차 산업을 주도하게 될 것이라고 확신할 수 있다. 그러나 현재의 전기 자동차 성능은 주행 거리, 주행 성능 등에서 기존의 가솔린 자동차에 많이 뒤지며, 가격 및 유지 보수 시스템에서 불리한 위치에 있으므로 실용화에 어려움이 있다. 선진 각국에서는 전기 자동차의 조기 실용화를 위하여 정부 차원의 대규모 투자와 아울러 강제 보급 정책을 추진하고 있다. 우리나라에서도 세계적인 추세에 부응하여 대형 국가 과제로 선정하여 지원하고 있으며, 현대자동차를 비롯한 자동차 제작회사들도 이에 적극적으로 참여하고 있으므로 전기 자동차의 개발 및 실용화 전망은 밝다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Electric Vehicles : A Decade of Transition, PT-40, SAE, 1992.
 [2] Electric Vehicle Technology, SP-817, SAE, 1990.

2.
 [3] Electric Vehicle, R & D, SP-880, SAE, 1991. 9.
 [4] Electric Vehicle, Design and Development, SP-862, 1991. 2.
 [5] Recent Advances in Electric Vehicle Technology, SP-793, SAE, 1989. 8.
 [6] 전기 자동차 : 그 기술개발의 현황, (일) 자동차 기술회, Symposium 자료, 1992. 1. 31
 [7] 아메리카·유럽의 전기 자동차 사정, (일) 통상 산업성 기계 정보 산업국, 전기 자동차 협의회, 해외 조사 보고서, 1990. 2.
 [8] 자동차 공학(종합이론), 중원사 자동차 연구회 편저, 1982.
 [9] 전기 자동차 적용에 관한 조사 연구, 한전기술 연구원 보고서, 1990. 12.
 [10] 전기 자동차 개발, 한국자동차부품종합기술연구원, 연구 기획 보고서, 1992. 5.
 [11] Electric Vehicles : Getting the Lead Out, Mechanical Engineering, 1991. 12.
 [12] 전기 자동차의 현상과 장래 전망, Masato Fukino & Namio Irie, 일본 자동차 학회지, No.8, pp.35-41, 1991.
 [13] The Electronics Industry : One Perspective, Automotive Engineering, 1992. 3.