

가솔린자동차와 전기자동차의 에너지비용 조사

정도양 · 박성용 · 정태은*

고등기술연구원, *인덕대학

A Research on Energy Cost of Electric Vehicles and Gasoline Vehicle in On-road Use Condition

Do-Yang Jung, Seong-Yong Park and Tae-Eun Chung*

Institute for Advanced Engineering, *Induk Institute of Technology

요 약

대우자동차는 1992년 이래로 전기자동차 개발사업을 추진하고 있으며 1996년에는 전기자동차의 Fleet 운영시험을 위해 10대의 씨어로 개조형 전기자동차를 제작하였다. 이 씨어로 전기자동차에는 고성능 연축전지, 교류유도전동기, 탑재형 충전기 및 전동조향배력장치 등이 장착되어 있으며 고등기술연구원에서는 전기자동차의 Fleet 운영시험의 일환으로 시외 일반도로 운행조건에서 전기자동차의 에너지비용을 조사하기 위한 연구를 수행하였다. 두 대의 씨어로 전기자동차를 용인시와 안성군 지역의 일반도로에서 1998년 4월부터 운행하였으며 이 운행시험 결과를 바탕으로 일반도로 주행조건에서 씨어로 전기자동차의 에너지비용과 동급의 가솔린자동차인 씨어로 1.5DOHC A/T 차량의 에너지비용을 계산하였다. 두 대의 전기자동차중 한 대의 연비는 5.7 km/kWh이었으며, 다른 한 대의 연비는 5.8 km/kWh이었다. 이에 비해 가솔린자동차의 연비는 13.7 km/l로 연간 20,000 km를 주행한다고 가정할 때 가솔린자동차의 연간 주행비용은 전기자동차의 3.4~18.0배가 되는 것으로 나타났다. 이 시험을 통해 향후 전기자동차의 개발을 위해 유용하고 가치있는 많은 데이터를 얻었다.

Abstract— Daewoo has been developing electric vehicles since 1992 and built 10 Cielo conversion electric vehicles for fleet operation tests in 1996. The electric vehicles were mounted advanced lead acid batteries, AC induction motor, on-board charger and electric power steering system. We studied on the energy economics of electric vehicle in normal use conditions in the suburbs as a part of the fleet operation test. Two Cielo electric vehicles have been driven in on-road in Yongin-Shi and Ahnsung-Gun since April of 1998. We have calculated the energy costs for 2 Cielo electric vehicles and Cielo 1.5DOHC A/T in on-road use conditions. One of the electric vehicles has an energy efficiency of 5.7 km/kWh and the other's efficiency is 5.8km/kWh. The fuel consumption of gasoline vehicle is 13.7 km/l. The driving cost per year of gasoline vehicle is 3.4~18.0 times of that of electric vehicle when the vehicles are driven 20,000 km per year. The test has yielded invaluable and useful data for developing of electric vehicle in the future.

1. 서 론

씨어로 개조형 전기자동차 Fleet Test의 일환으로 시외의 일반도로 운행조건에서 전기자동차의 에너지소비를 조사하기 위한 시험을 수행하였다. 이 시험의 목적은 일반도로에서 운행되는 개조형 전기자동차의 에너지

소비를 측정하여 개조형 전기자동차와 동급 가솔린자동차의 에너지비용(주행비용)을 비교조사하기 위한 것이다.

전기자동차 재충전시 축전지의 충전효율을 측정하였으며 일반도로에서 차량 운행 중 차량의 에너지효율을 측정하였다. 에너지효율에 대한 데이터의 신뢰성을 얻

기 위해 차량운행은 1998년 4월 이래로 계속되고 있으며 운행 중 에너지소비율 뿐만아니라 운행 및 충전조건에 대한 상세한 정보를 기록하고 있다. 일부 차량에는 차량의 운행 패턴, 전압, 전류, 온도 등의 변화패턴 및 상관관계를 조사하기 위해 데이터획득장비(Data Acquisition System)을 탑재하여 시험하였다. 또한, 데이터에 대한 개인적 편견을 배제하기 위해 전기자동차에 대한 사전 지식이 전혀없는 운전자를 시험자로 선정하였다. 선정된 운전자는 원활한 시험을 위해 운행시험에 들어가기 전에 전기자동차의 구동원리, 부품 및 시스템의 사양, 운전요령 및 재충전요령, 응급처치요령 등에 대한 사전 교육을 실시하였으며 전기자동차 운전연수를 일정기간 실시하였다²⁾.

2. 시험차량

Fleet 시험용으로 제작한 씨에로 개조형 전기자동차중 2대를 선별하여 용인시 및 안성군 지역의 일반국도 및 지방도에서 전기자동차의 에너지비용을 조사하기 위한 Fleet 시험을 수행하였다. 용인 지역내의 국도에서 Fleet 운행 중인 씨에로 개조형 전기자동차의 주행모습을 Fig. 1에 나타내었다.

2-1. 시험차량의 사양

씨에로 전기자동차는 양산 판매 중인 씨에로 가솔린



Fig. 1. CIELO conversion electric vehicle in on-road.

자동차를 개조하여 제작하였으며, 이 차량에 적용된 주요 부품의 사양을 Table 1에 나타내었다³⁾. 전기자동차의 외관 및 제원은 씨에로 가솔린자동차와 동일하며 차량 중량은 가솔린자동차에 비해 약 400 kg 무겁다. 차량의 구동시스템은 독일 Siemens사의 교류유도전동기(AC Induction Motor)와 IGBT Inverter(Controller)를 장착하였으며, 동력 에너지원인 Battery로는 미국 Delphi사의 Valve Regulated Lead Acid Battery를 장착하였다. 차량의 운전 편의성을 위해 EPS(Electric Power Steering)를 적용하였으며, 일충전주행거리의 향상을 위해 회생제동 시스템(Regenerative Brake System)을 적용하였다. 또한, 전기자동차의 운행을 위한 Infrastructure가 마련되어 있지 않은 상황에서 차량의 충전을 용이하게 하기 위해 일반 가정용 전원인 AC220V를 사용하는 Conductive Type의 탑재형 충전기(On-Board Charger)를 장착하였다.

2-2. 시험차량의 성능

Fleet 시험을 수행하기 이전에 샤시디나모미터에서 씨에로 전기자동차의 주요 성능을 조사하여 결과를 Table 2에 나타내었다. 차량의 최고속도 및 가속성능시험은 SAE J1666⁴⁾의 시험절차에 따라 실시하였다. 씨에로 개조형 전기자동차의 최고속도는 123.4 km이었으며 축전지의 충전상태가 100%SOC와 50%SOC에서의 가속성능은 각각 16.0와 17.5초이었다. 일충전주행거리시험은 SAE J1634⁵⁾에 나타난 시내주행모드(Urban Dynamometer Driving Schedule) 주행조건에서 실시하였다. 씨에로 개조형 전기자동차의 일충전주행거리는 86 km이며 차량시스템의 직류 에너지소비율은 0.117 kWh/km로 조사되었다.

샤시디나모미터에서의 시험결과에 대한 신뢰성을 조사하기 위해 주행로에서 가속성능 시험을 실시하였다. 그 결과 축전지 충전상태가 100%SOC에서 씨에로 개조형 전기자동차의 가속성능은 16.9초이었으며 이는 샤시디나모미터에서 측정한 결과인 16.0초와 5%의 오차를 보이는 수치였다.

또한, 씨에로 개조형 전기자동차의 Fleet Test 전에 일반도로에서 차량을 운용할 경우 발생할 수 있는 문제점

Table 1. Dimensions of CIELO electric vehicle and specifications of vehicle parts.

Vehicle		Battery		Motor		기타	
차량	씨에로	형식	Lead Acid	형식	AC Induction	충전기형식	Conductive
공차중량	1,440 kg	전압	12 V	작동전압	180~330 V	충전기용량	3.3 kW
시스템전압	264 V	용량	55.3 Ah	최대출력	69 kW	DC/DC Converter	13.5 V/100 A
승차인원	4명	수량	22개	최대토크	180 Nm/3800 rpm	감속기	유성형

Table 2. Performance of CIELO conversion electric vehicle.

항목		차량성능	항목	시험조건	차량성능
최고속도		123.4 km	80 km/h 정속모드		89 km
가속 성능	100%SOC	16.0초	일충전주행거리	City Mode	86 km
	50%SOC	17.5초		Highway Mode	87 km
등판능력		38%	에너지소비율(DC)	80 km/h 정속모드	0.117 kWh/km

을 조사하기 위해 차량상품성시험을 수행하였다. 이 시험을 통해 동력성능시험, 제동성능시험, Ride & Handling Test, NVH Test 등 광범위한 시험이 수행되었으며 그 결과 씨어로 개조형 전기자동차를 Fleet Test 하는데 큰 문제가 없음을 밝혀졌다.

3. Fleet Test

3-1. 시험방법

용인시 및 안성군 지역의 일반국도 및 지방도에서 씨어로 개조형 전기자동차 2대를 다음과 같은 방법으로 Fleet Test하였다.

(1) 시험장소: 고등기술원 주변 국도 및 지방도(용인시 및 안성군 지역)

(2) 시험기간: 1998. 4. 13~1998. 8. 30

(3) 운전자 사전교육

Fleet Test 이전에 시험차량을 운용할 운전요원을 선정하여 전기자동차에 대한 사전 지식이 없는 운전자에게 교육을 실시하였다. 교육내용에는 전기자동차의 구동원리, 차량 및 부품 사양, 차량운전 및 충전요령, 응급처치요령, 데이터 획득 방법 등이 포함되었다.

(4) 시험차량 운용방법

Fleet Test를 위해 씨어로 전기자동차 2대를 고등기술원 업무용차량으로 운용하였으며 일충전주행거리를 감안하여 차량의 운행지역을 용인시와 안성군 지역으로 제한하였다. 시험의 신뢰성을 확보하기 위해 전기자동차에 대한 사전지식이 없는 전문 운전자를 선정하여 시험차량을 운행시켰다. 차량의 운행이 끝나면 운전자가 차량에 장착된 탑재형 충전기를 이용하여 고등기술원 내에 설치된 충전소에서 직접 재충전하였다.

(5) 데이터 획득

차량 운행 중 차량의 속도, 전압, 전류, 온도변화를 측정하기 위해 Fluke사의 Netdaq 2640A Data Acquisition System을 장착하였다. 이 장비의 오차범위는 ±0.5%이다. 또한, 재충전량을 측정하기 위해 충전소에 전력량계를 설치하였으며 이 장비의 정확도는 ±0.5%이다. 차량 운용시 전기자동차의 충전상태, 운행상태, 점검상태 등을 기록하는 차량운행일지, 차량점검일지를 작성하였다.

(6) 차량점검 및 정비

차량의 점검은 1주일에 1회 정기적으로 실시하였으며 차량 정비를 위해 전기자동차 전용의 정비실을 마련하여 운용하였다.

3-2. 시험결과

시험차량의 대표적인 Fleet 운행패턴을 Fig. 2에 나타내었다. 그래프에서 볼 수 있듯이 시험차량이 주행한 최고속도는 102 km이며 최대소비전력은 40.1 kW를 나타내었다. 주행 중 최대회생제동전력은 20.3 kW이며 회생제동에 의해 축전지에 재충전된 에너지량은 총에너지소비량의 24%를 차지하였다. 즉, 회생제동시스템 적용시

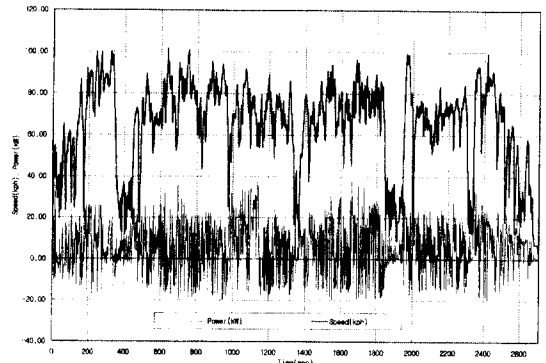


Fig. 2. Driving Pattern of CIELO Conversion Electric Vehicle.

Table 3. Fleet Test Result Summary of CIELO conversion electric vehicle.

Items	Vehicle	
	Vehicle No. 1	Vehicle No. 2
총 주행거리	1866 km	1130 km
일일 평균 주행거리	51.3 km	46.2 km
최대/최소 주행거리	72.6/18.2 km	76.9/18.2 km
연비	5.70 km/kWh	5.79 km/kWh
에너지소비율(AC)	0.175 kWh/km	0.173 kWh/km
평균 연비/에너지소비율(AC)	5.75 km/kWh/0.174 kWh/km	

전기자동차의 일충전주행거리는 약 24% 증가된다.

4월부터 8월까지 실시한 씨에로 개조형 전기자동차의 Fleet 결과를 분석 요약하여 Table 3에 나타내었다. 두 차량은 4개월에 걸쳐 약 3,000 km를 주행하였으며 각각 1866 km와 1130 km를 주행하였다. 하루 평균 각각 51.3 km와 46.2 km를 주행하였으며 최대 75 km, 최소 18 km 정도를 주행하였다. 시험차량의 연비는 각각 5.70 km/kWh와 5.79 km/kWh로 두차량의 연비차이는 1.6%로 매우 작은 값을 나타내었다. 또한, 두 차량의 평균연비와 평균교류에너지소비율은 각각 5.75 km/kWh와 0.173 kWh/km이었다.

4. 전기자동차와 가솔린자동차의 에너지비용 비교조사

이 장에서는 개조형 전기자동차와 동급 가솔린자동차의 주행비용을 조사하여 나타내었다. Fleet Test에서 얻은 결과를 바탕으로 씨에로 개조형 전기자동차의 에너지비용을 계산하였으며 가솔린자동차로는 씨에로 전기자동차와 가장 유사한 형태인 씨에로 1.5DOHC A/T를 선정하여 공식연비를 기준으로 주행비용을 계산하였다.

4-1. 비교기준

씨에로 개조형 전기자동차의 Fleet Test에서 얻은 결과를 바탕으로 전기자동차와 가솔린자동차의 주행비용을 비교하기 위해 다음과 같은 기준을 적용하였다.

- 두 차량은 연간 20,000 km를 주행하며 매월 같은 거리를 주행한다고 가정함.

- 비교대상으로 전기자동차와 가장 유사한 형태인 씨에로 1.5DOHC A/T를 선정하였으며 차량의 연비는 공식연비인 13.7 km/l를 적용함.

- 씨에로 전기자동차의 연비는 Fleet Test에서 조사된 평균연비인 5.75 km/kWh를 적용함.

- 전기자동차 재충전에 따른 월간 전기요금의 계산은 한국전력에서 현재 적용하고 있는 전기요금기준을 적용함.

4-2. 가솔린자동차의 연간 주행비용 조사

씨에로 개조형 전기자동차와 동급인 씨에로 1.5DOHC A/T 차량의 공식연비인 13.7 km/l와 시중에서 판매되고 있는 휘발유가격인 1097원/l를 적용하여 씨에로 가솔린자동차의 연간주행비용을 계산하였다. 아래와 같은 계산 결과 씨에로 1.5DOHC A/T 차량의 연간 주행비용은 1,601,460원으로 조사되었다.

- 연간 휘발유 사용량=20,000 km/년 ×
1 /13.7 km=1459.9 l

- 연간 연료비=1459.9 l × 1097원/l=1,601,460원

4-3. 전기자동차의 연간 주행비용 조사

4-3-1. 한국전력의 전력 요금제도

한국전력에서 현재 일반 가정용 전기요금을 부과하는데 사용하고 있는 전력요금제도를 Table 4, 5에 나타내었다. Table 4는 일반주택용 전력의 요금제도이며 이 제도는 전기자동차를 심야가 아닌 주간에만 일반 가정집에서 충전할 경우 적용되는 요금제도로서 전력 사용량에 따라 요금이 차등산정된다. Table 5는 심야전력과 심야가 아닌 기타시간의 전력을 동시에 이용하여 전기자동차를 재충전할 경우 적용되는 전력요금제도이다.

4-3-2. 씨에로 개조형 전기자동차의 연간 주행비용 계산

씨에로 개조형 전기자동차 Fleet Test에서 얻어진 결과를 바탕으로 씨에로 개조형 전기자동차의 연간 에너지비용을 조사하였다. 전기자동차의 연비로는 두 차량의 평균연비인 5.75 km/kWh를 적용하였으며 전기요금은 한국전력에서 현재 사용하고 있는 전력요금제도를 적용하였다. 현재 한국전력에서 사용하고 있는 전기요금제도는 전기사용량 및 사용시기에 따라 전기요금이 차등적용되기 때문에 전기자동차의 충전형태에 따라 네 가지 경우에 대해 계산하였다. 첫 번째 경우는 전기자동차를 단지 주간 시간에만 일반 가정용 전원을 이용하여 재충전하는 경우로 이때의 전기요금은 전력사용량에 따라 차등적용된다. 두 번째 경우는 전기자동차를 심야전력만을 이용해 충전할 경우를 나타내며 다른 경우에 비해 전기요금이 가장 적게 산정되나 이는 현실적으로 불가능한 충전형태가 될 것이다. 세 번째와 네 번째의 경우는 전기자동차 운용 중 가장 널리 적용될 충전방법이 되는 심야전력과 그외 기타 시간의 전력을 일정 비율로

Table 4. Electric charges table of day time use.

기본요금(호당)		전력량 요금(kWh당)	
100 kWh 이하 사용	390원	50 kWh 이하 사용	34.50원
		51~100 kWh 사용	81.70원
101~200 kWh 사용	850원	101~200 kWh 사용	122.90원
201~300 kWh 사용	1,500원	201~300 kWh 사용	177.70원
301~400 kWh 사용	2,990원	301~400 kWh 사용	256.70원

Table 5. Electric charges table of the night time use.

구분	기본요금(kW 당)	전력량요금(kWh 당)
갑	기본요금 없음	23.20원
을	6,250원 × (기타시간사용량/월간 총사용량)	심야시간 : 26.20원 기타시간 : 76.80원

동시에 사용하는 경우를 나타내었다. 세 번째 경우는 전기자동차 재충전시 심야전력과 기타시간 전력을 80%:20% 이용할 경우를 나타냈으며 네 번째의 경우는 심야전력과 기타시간 전력을 각각 50%씩 이용할 경우에 대해서 씨어로 개조형 전기자동차의 연간 에너지비용을 계산하여 나타내었다.

(1) 주택용 전기요금 적용시

씨어로 개조형 전기자동차를 일반가정에서 주간시간을 이용하여 재충전할 경우의 월간 전기청구요금과 연간요금을 조사하여 나타내었다. 이 경우 전기요금의 계산은 Table 4에 나타난 주택용 전기요금 제도가 적용되며 아태와 같이 계산된다. 주택용 전기요금 제도의 경우 월간 전기요금은 기본요금과 월간 전력량요금의 합이며, 월간 청구요금은 월간 전기요금에 부가세를 합한 값이 된다. 따라서 연간 20,000 km를 주행할 경우 1년간 청구되는 전기요금은 469,596원이 된다.

- 월간 전력 사용량=20,000 km/년 × 0.174 kWh/km
=3478.3 kWh/년=289.9 kWh/월

- 월간 전기요금=기본요금+전력량요금
=1,500원+{(50 kWh × 34.5원)+
(50 kWh × 81.7원)+(100 kWh ×
122.9원)+(89.9 kWh × 177.7원)}
=35,575원

- 월간 청구요금=월간 전기요금+부가가치세(10%)
=35,575원+3,558원=39,133원

- 연간 전기요금=39,133원 × 12월=469,596원

(2) 심야전력만 이용하여 충전할 경우

심야전력만을 이용하여 씨어로 개조형 전기자동차를 재충전할 경우의 연간 전기요금을 계산하였다. 이 경우 전기요금의 계산은 Table 5의 값의 산정기준이 적용되며 월간 전기요금은 기본요금없이 kWh당 23.2원이 적용된다. 또한, 월간 청구요금은 월간 전기요금에 부가세를 합한 값이 된다. 따라서 연간 20,000 km를 주행할 경우 1년간 청구되는 전기요금은 88,776원이 된다.

- 월간 전기요금=289.9 kWh × 23.2원=6,726원

- 월간 청구요금=6,726원+673원=7,399원

- 연간 전기요금=7,399원 × 12월=88,776원

(3) 심야시간 80%, 기타시간 20% 충전시

전기자동차 재충전시 월간 전력사용량 중 심야전력을 80% 이용하고 기타시간 전력을 20% 이용할 경우 씨어로 전기자동차의 연간 전기요금을 계산하였다. 이 경우 전기요금은 Table 5에 나타난 을의 산정방법에 의해 결정된다. 월간 전기요금은 기본요금과 전력량요금으로 이루어지며 월간 청구요금은 월간 전기요금에 부가세를 합한 값이 된다. 따라서 연간 20,000 km를 주행할 경우 1년간 청구되는 전기요금은 155,376원이 된다.

- 월간 전기요금=기본요금+전력량 요금
=6,210원 × (289.9 kWh × 0.2)/
289.9 kWh+{(289.9 kWh × 0.8)
× 26.2원}+{(289.9 kWh × 0.2)
× 76.8원}=11,771원

- 월간 청구요금=11,771원+1,177원=12,948원

- 연간 전기요금=12,948원 × 12월=155,376원

(4) 심야시간 50%, 기타시간 50% 충전시

전기자동차 재충전시 월간 전력사용량중 심야전력과 기타시간 전력을 각각 50%씩 이용할 경우 씨어로 전기자동차의 연간 전기요금을 계산하였다. 이 경우 전기요금은 Table 5에 나타난 을의 산정방법에 의해 결정된다. 월간 전기요금은 기본요금과 전력량요금으로 이루어지며 월간 청구요금은 월간 전기요금에 부가세를 합한 값이 된다. 따라서 연간 20,000 km를 주행할 경우 1년간 청구되는 전기요금은 238,060원이 된다.

- 월간 전기요금=기본요금+전력량 요금
=6,210원 × (289.9 kWh × 0.5)/
289.9 kWh+{(289.9 kWh × 0.5)
× 26.2원}+{(289.9 kWh × 0.5)
× 76.8원}=18,035원

- 월간 청구요금=18,035원+1,804원=19,839원

- 연간 전기요금=19,839원 × 12월=238,060원

(4) 전기자동차와 가솔린자동차의 연간 에너지 비용 비교

연간 20,000 km 주행할 경우 씨어로 개조형 전기자동차와 씨어로 1.5DOHC A/T의 연비 및 연간 에너지비용을 요약하여 Table 6에 나타내었다. 씨어로 1.5DOHC A/T의 연간 에너지비용은 1,601,460원이며 전기자동차의 경우 충전형태에 따라 에너지비용은 심야전력 이용시 88,776원에서 주간전력 이용시 469,596원까지 변화한다. 심야전력만 이용하여 전기자동차를 재충전할 경우

Table 6. Energy costs comparison of gasoline vehicle and electric vehicle.

Vehicle Items	전기자동차		가솔린자동차	
	연비	연료비용 비교	전기차	가솔린
연비	5.75 km/kWh	13.7 km/l		
심야전력 이용시	88,776원	1,601,460원	1	18.0
심야:주간 (80%:20%)	155,376원	"	1	10.3
심야:주간 (50%:50%)	238,060원	"	1	6.7
주간전력 이용시	469,596원	"	1	3.4

에너지비용은 가솔린자동차 비용의 6% 정도이며, 전기자동차의 경우 가장 비싼 요금ی 적용되는 경우인 주간 전력만 이용하여 재충전할 경우에도 전기자동차 에너지 비용은 가솔린자동차 비용의 30% 정도로 매우 작다.

7. 결 론

용인시 및 안성군 지역의 일반국도 및 지방도에서 수행된 씨에로 개조형 전기자동차의 Fleet 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 씨에로 개조형 전기자동차는 시외의 일반국도 및 지방도에서 가솔린자동차와 견주어 운행하는데 전혀 문제가 없었다.

2) Fleet Test를 실시한 2대의 씨에로 개조형 전기자동차의 연비는 각각 5.70 km/kWh와 5.79 km/kWh로 1.6%의 매우 작은 차이를 보였다.

3) 개조형 전기자동차 운행시 발생하는 에너지비용은 동급인 가솔린자동차의 주행비용에 비해 충전조건에 따라 6%~30%로 적은 값을 나타냈다.

4) 전기자동차가 상용화되면 운행시의 에너지비용 절감효과 뿐만아니라 유희 심야전력을 이용한 충전으로 에너지 절감효과를 동시에 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 G7 전기자동차 개발사업분야의 '차량 및 시스템 기술개발' 과제의 1998년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Francfort, J.E. and O'Hara, D.V.: Commercial Validation of Electric Vehicles in Field Operations, EVS-14 Symposium Proceeding (1997).
2. Electric Transportation Division, Fleet Evaluation Procedures for the U.S. Department of Energy, Southern California Edison (1997).
3. 이재용, 박성용, 정도양: 전기자동차 차량 및 시스템 개발, G7 과제완료보고서 (1996).
4. SAE J1666 - Electric Vehicle Acceleration, Gradeability, and Deceleration Test Procedure (1993).
5. SAE J1634 - Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure (1995).
6. 한국전력, 전기요금제산표, <http://www.kepco.co.kr/life/fare> (1998).