전기자동차용 전지의 개발 현황

문성인*
(*한국전기연구소 전기자동차개발팀 선임연구원)

1. 머 릿 말

최근 지구의 환경문제나 성에너지 대책의 일환으로 전기자동차 보급 추진의 중요성이 증대되고 있다. 전기자동차(EV)는 내연기관 대신 전지에 저장된 전기에너지로 전동기를 사용하여 동력을 발생시켜 이를 동력전달장치를 통해 차륜을 회전시켜 주행시키는 차량으로써 강연장, 호텔, 병원, 창고, 캠도 등과 같은 특수 용도에 현재 일부 사용되고 있다.

그러나 현재까지 개발된 EV는 내연기관 자동차에 비해 전지의 단위 중량(혹은 용적) 당의 에너지밀도가 낮아 일충전주행거리가 짧으며(gasoline의 에너지밀도가 13,800Wh/kg인데 비하여 연축전지는 40 Wh/kg), 가속성능, 등판성능 및 최고속도가 뒤떨어지고 과다한 전지의 부피로 인해 적재량 및 객실 용량이 부족한 단점이 있다.

이 문제를 해결하기 위해 EV의 핵심 부품인 고성능 전지를 개발하고자 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 1970년대부터 관민 공동으로 각종 신형전지 개발을 추진하고 있으며, 우리 정부에서도 선진기술 7개국에 진입하고자 작년부터 올 6월까지 G7과제의 일환으로 EV개발을 기획한 바 있으며 이중 한 분야로 고성능 전지 기술 개발을 추진하게 되었다. 이에 EV용 전지 개발 기획활동에 참여한 바 있는 본 EV 개발팀은 본고에서 EV용 전지의 개발 중요성과 기획 활동 중 파악한 EV용 고성능 전지의 국내외 개발 현황에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다.

2. 전기자동차용 전지 개발의 중요성

최근 지구의 환경 문제나 성에너지 대책의 일환으로 EV의 보급이 전세계적으로 중대되고 있다. 기존의 내연기관 차량의 사용으로 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소 등과 같은 배출가스에 의해 환경 오염이 증대되고 있으며, 또한 내연기관 자동차는 에너지원이 석유자원에만 의존하여 제한된 석유 매장량에 대한 고갈이 염려되지만, EV의 경우 전기에너지는 석유뿐만이 아니라 원자력, 수력, 태양열 등 그 에너지원이 다양하여 에너지 수급 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 또 원유로부터 차량의 운동에너지로 변환될 때까지의 에너지효율이 기존의 내연기관 자동차가 10.3%인데 비해 전기자동차가 17.8%로서 약 70% 정도 효율이 높아 경제성이 있으며 기존의 내연기관 자동차에서 문제가 되는 대기오염 및 소음공해 등과 같은 환경 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 심야 잉여전력도 개발할 수 있다.

경제적으로는 자동차 수출시장으로 가장 높은 비중을 차지하는 미국의 경우, 1990년 11월에 대기보전법(Clean Air Act)의 의회통과에 따른 자동차 배기가스규제 강화로 미국내 신차 등록대수의 약 12%를 차지하고 수입차의 20%가 판매되는 캘리포니아주가 1998년에 전체 판매대수의 2%를 EV(Zero Emission Vehicle)로 강제 판매 예고하고 있고, 이 수치는 2003년에는 10%로 증가된다. 아울러 캘리포니아주의 입법예고는 9대 도시로 확산될 예정으로

향후 저공해차로 수출해야만 할 우리로서는 국내에서의 EV개발이 필수 불가결하다.

현재까지의 EV는 내연기관 자동차의 성능에 비해 일충전주행거리가 짧으며 가속, 등판, 최고속도 등의 성능이 뒤떨어지며, 적재량, 객실 용량 등이 부족한 점들 때문에 현재까지는 보편, 실용화되어 있지 못하다. 이들은 주로 탑재전지 자체의 성능에 관계되는 것으로 일충전주행거리는 전지의 중량당 에너지밀도에, 적재량이나 승객용량은 체적당 에너지밀도에 가속, 등판, 능력 및 최고속도는 출력밀도에 각각 관련된다.

그러나 현재 주로 사용되고 있는 연축전지와 Ni/Cd전지는 무겁고 부피가 크며 에너지밀도 및 출력밀도가 낮아 비약적인 성능 향상은 난망하다. 또한 Pb 및 Cd 등의 중금속 오염 물질이 배출되어 환경오염을 유발시키고 있으며 세계 각국에서 점차 규제를 강화하고 있어 향후의 EV에의 적용은 곤란하므로 이러한 문제를 해결할 수 있는 차세대 EV용 고성능 전지의 기술 개발은 필수적 과제라 할 수 있다.

3. 전기자동차용 전지의 개발 현황

3.1 국가별 개발 현황

3.1.1 국외 개발현황

제1차 석유 파동 이후 EV개발 연구가 활성화되어 미국, 일본, 독일, 영국, 프랑스 등에서 각종 EV용 전지계를 연구하고 있지만, 가격, 대용량화 및 성능 향상의 문제가 남아 있어 아직까지 어떤 전지가 최적인지는 결정되지 못하고 있는 상태이다. 최근 미국의 GM, Chrysler, Ford의 3사는 EV용 전지의 공동개발을 착수한 바 있다. 이하 국가별 기술개발 동향을 파악한다.

(가) 미국

미국의 자동차 maker들이 EV개발에 있어서 최대의 핵심기술은 전지에 있는 것으로 판단하고 EV용 전지개발을 위해 Big 3(GM, Ford, Chrysler)가 USABC(United State Advanced Battery Consortium)를 결성하여 다양한 종류의 EV용 신형전지 개발에 착수했다. 총 12년간 개발할 계획이며 초기 4

표 1. USABC의 EV용 신형전지 개발계획

목 표 성 능	중기('90년대말)	장기(2000~2010)
출력밀도(W/l)	250	600
출력밀도(W/kg, 80% DOD per 30 sec)	150~200	400
에너지밀도(Wh/l)	135	300
에너지밀도(Wh/kg)	80~100	200
수명(년)	5	10
Cycle 수명(회)(80% DOD)	600	1,000
출력, 용량 저하한계(사양에 대한 비율)	20%	20%
목표가격($/kWh, 10,000대 생산시)	150이하	100이하
동작 주위 온도	-30~60℃	-40~60℃
충전시간	6h이하	3~6h
1시간 연속 방전시의 에너지 소비율(%)	75	75
효율(%)	75	75
자기방전율(%)	15%이하 (48시간당)	15%이하 (2개월당)

년간의 자금은 2억6천2백만불로 정부(DOE)/민간(Big 3)의 부담 비율은 50/50이다. 표 1은 USABC의 EV용 신형전지의 개발계획을 나타낸 것으로 전지 개발의 목표 성능은 중기와 장기로 나누어 달리 제시하였으며 전지의 종류는 제시(선정)하지 않았다.

(나) 일본

일본은 New Concept Car를 개발하고자 개발 목표와 개발 일정안을 제시한 바 있다. 개발 제Ⅰ기에는 연축전지 등과 같은 기존전지에 의한 시작차의 제작, 제Ⅱ기에는 Na/S전지 등과 같은 신형전지에 의한 시작차의 제작, 제Ⅲ기에는 미래형 전지를 탑재하여 상업화할 계획이다.

한편 금년(1992년)부터 시작된 New Moonlight Project는 금년초에 완료된 Moonlight Project의 신형전지 개발 계획중 Na/S 전지 및 Zn/Br_2 전지만 4년 더 계속하는 것으로 되어 있으며 총연구비는 약 140억엔으로 전액 정부 출연이며 이중 약 130억엔이 Li 2차전지에 투입될 계획인 것으로 알려져 있다. 표 2에 New Moonlight Project의 스케줄을 나타내었다.

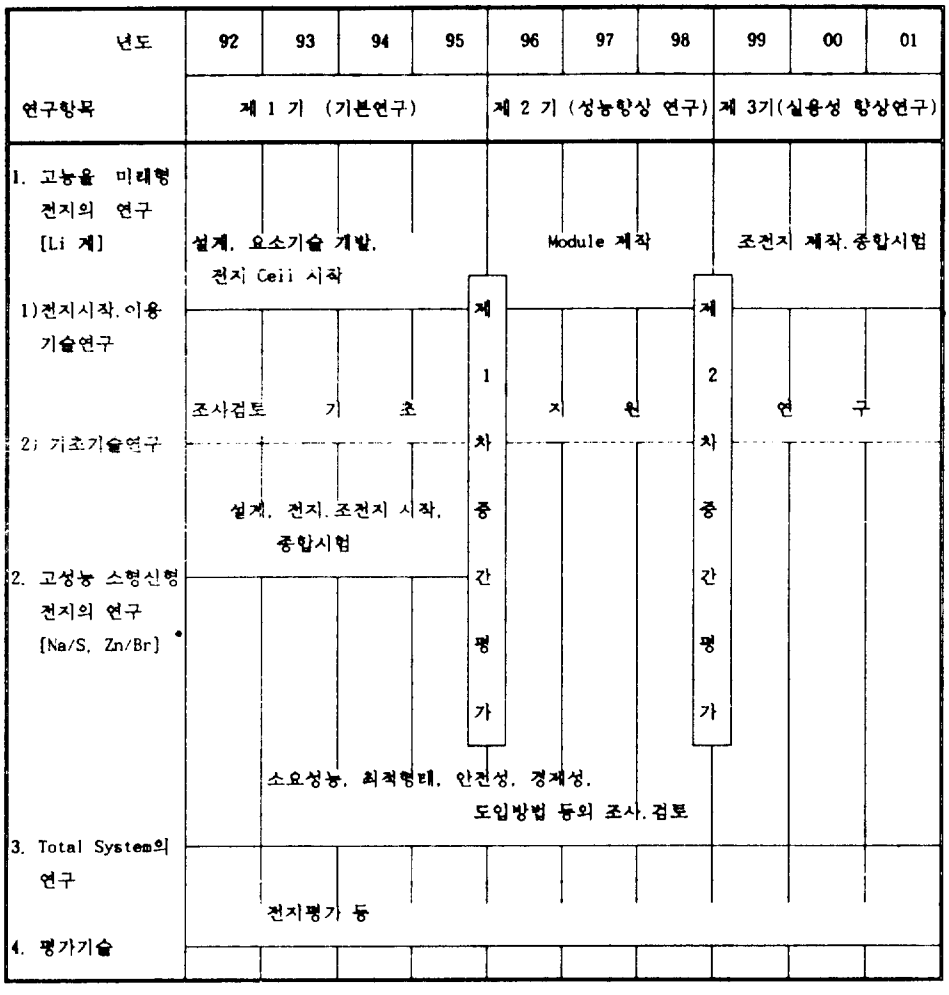
(다) 기타

("나. 전지별 개발 현황"참조)

3.1.2 국내 개발 현황

G7 과제중 EV용 고성능 전지 개발 기획 활동 동안 파악한 국내 개발 현황으로는 한국전기연구소,

표 2. New Moonlight Project의 스케줄



한국표준연구원, KIST, 한국에너지기술연구소 등의 정부출연연구소 및 세방전지, 경원산업, 현대자동차, (주) 서통, 한국 Delco전지, 유공 등의 기업체에서 EV용 전지개발을 계획하고 있다. 본격적인 연구 수행 실적은 없으나, 향후 EV개발의 필요성 증대와 함께 급속히 추진될 것으로 전망된다.

최근 결정된 G7과제중의 EV용 전지 개발 계획을 살펴 보면 다음과 같이 장·중·단기별로 고성능 전지를 개발하는 것으로 되어 있으며

-단기 목표 : 개량형 연축전지 기술 개발

-중기 목표 : Ni/Zn전지, Ni/MH전지, Na/S전지 기술 개발

-장기 목표 : Li 2차전지 기술 개발

전지별 기술 개발의 최종 목표는 다음 표 3과 같다.

3.2 전지별 개발 현황

3.2.1 Ni/Nn전지

EV용으로 실차 탑재 시험중이며 Zn극의 dendrite 성장 방지 및 구조 개선으로 장수명화하여 실용화 단계에 곧 도달할 것으로 예측됨

(가) 국내

세방전지가 자료 조사 및 기초 연구단계

(나) 일본

○ 유아사 전지

에너지밀도 64Wh/kg, 수명 400cycle의 YNZ 50-13.6의 밀폐형 전지 개발

○ 일본 전지

에너지밀도 72Wh/kg의 SNZ 200-8전지 개발 완료

○ 삼양 전기

Zn분말 및 금속첨가제를 혼합한 paste식의 Zn전극 및 소결식 Ni전극을 사용하여 수명 500cycle의 전지 개발

○ 기타

고하전지, 마쯔시타전지, 도시바 등에서 연구 개발중

(다) 미국

○ Yardney사

소결식 Ni전극과 rolled-bond된 Zn전극을 사용하여 용량 300Ah, 에너지밀도 44~77Wh/kg, 수명 200~400cycle의 전지 개발

○ Westing house사

에너지밀도 67Wh/kg, 수명 120cycle의 전지 개발

○ Electrochimica사

용량 225Ah, 수명 600~1,000cycle의 전지 개발

○ 기타

Eagle-Picher사 및 Energy Research Co. 등에서 연구 개발중

(라) 유럽

○ Sorapec(프랑스)

고전류밀도의 펄스충전과 전해액 유동을 조합한 전지 용량 100Ah, Cycle수명 900cycle의 전지(고가이며 신뢰성이 낮음) 및 전지 용량 60Ah, 에너

표 3. 전지별 기술 개발의 최종목표

전지종류 / 최종목표	Ni/MH전지 기술개발	Na/S전지 기술개발	Li 2차전지 기술개발	Ni/Zn전지 기술개발	개량형 연축 전지기술개발
Module 용량 (kWh급)	25	25	25	25	25
Energy 밀도 (Wh/kg)	73	120	120	72	50
출력밀도 (W/kg)	186	180	200	200	110
Cycle 수명 (회)	1,000	1,000	1,000	600	500
개발기간(년)	6	7	10	6	4

지밀도 57Wh/kg, 수명 900cycle(DOD 80%)의 전지 개발

3.2.2 **Ni/MH**전지

가전제품용 소형 Ni/MH전지는 이미 실용화되어 있으나 높은 자기방전율 및 저온방전 특성의 개선이 요구되고 있다.

(가) 국내

80년대 초반부터 KIST에서 수소흡장합금 연구가 시작되었으며, 로켓트 전기에서 AA size의 시제품을 개발한 바 있으며, 현재 KIST/한국 Delco전지, 표준연구원/금성마이크로닉스가 각각 대형 및 소형의 Ni/MH전지를 개발중이다. 한편 삼성전자와 현대자동차가 각각 20Ah급 이하 및 이상의 Ni/MH전지를 미국의 Ovonic사와 기술 개발 협약을 체결하고 현재 개발 진행중으로 대기업의 참여로 급속한 기술 개발이 기대된다.

(나) 일본

○ 산요, 마쯔시타, 도시바, 히타찌맥셀, GS-SAFT등에서 소형 산업용 Ni/MH전지를 개발하고 현재 생산중

○ GIRIO(대판공업시험소)에서는 도요다와 공동으로 실용화급의 EV용 Ni/MH전지를 개발하여 금년 20kWh급의 시작품을 EV에 탑재하여 주행시험할 예정임

(다) 미국

○ Inco등 많은 기관에서 수소흡장합금 연구중임

○ 80년초 Ovonic사가 소형의 Ni/MH전지를 개발하였으며, 현재 USABC 주관의 EV용 전지 개발에 참여하여 개발 진행중임

○ Gates, Duracell이 각각 Ovonic사 및 도시바와 기술 협력으로 Ni/MH전지의 생산을 준비중

(라) 유럽

○ Philips사 등에서 Ni/MH전지 개발중

○ Ni/MH전지의 생산 및 판매에 있어 VARTA/Duracell/도시바가 3국 협력 체제를 구축함

3.2.3 **Na/S**전지

(가) 국내

○ KIST에서 프랑스의 CNRS대학과 공동으로 β-Alumina연구를 수행한 바 있음

○ 유공은 현재 개발팀을 구성하여 기초 연구를 수행하고 있으며 독일의 ABB사와 Joint Venture를 설립할 계획으로 있음

(나) 일본

유아사전지가 Na/S전지 시작품을 개발하여 전력저장용으로 시험중이며, NGK는 아시아 지역에서 독일 ABB사의 Na/S전지 판권을 갖고 있음

(다) 카나다 Powerplex사

독일의 ABB와 공동으로 Na/S전지를 연구중이며 Ford ETX-II(Van)에 탑재하여 약 160km의 주행기록을 달성한 바 있음

(라) 독일 ABB사

○ 세계 제일의 Na/S전지 maker인 ABB사가 에너지밀도, 출력밀도, 안정성, 수명, 양산성 등 대부분의 기술적인 문제를 해결한 상태임(표 4참조)

○ B11(22kWh급), B15(10kWh급)의 2가지 Model 생산중

○ 에너지밀도 100Wh/kg, 출력밀도 150Wh/kg, 수명 1,000cycle 이상 달성

○ VW Jetta, BMW Electro, Ford ETX-II, Chrysler T115, Benz 190 등에 탑재 실적이 있으며 최장 주행거리 200km를 기록함

○ 독일 GTST의 안전성 시험에 통과한 바 있음(50 km/h 속도에서 충돌, 2m 높이에서의 낙하, 10~150Hz에서의 진동, 열충격, 화염방치 등)

○ 현재 10MWh/년의 Pilot Plant 양산단계이며 '95년까지 300~700MWh/년으로 Scale-up할 예정임

○ 신 Model인 B120K(9.6Wh급), B240K(19.2 kWh급)를 생산 계획중이며 BMW E1에 탑재하여 270km 주행기록 있음

(마)영국 Chloride RWE사

○ CSPL(Chloride Sildent Power Ltd.)이 '74년부터 연구개발 시작

○ Chloride RWE가 에너지밀도 85Wh/kg, 출력밀도 105Wh/kg, 수명 500cycle 이상의 Na/S전지를 개발하고 Pilot규모의 생산시설을 설치하여 세계시장 개척중

3.2.4 **Li** 2차전지

(가) 국내

한국전기연구소/서통, 한국표준연구원/테크라프 등에서 각각 공동으로 Li 2차전지를 연구개발 중이며 한국전기연구소는 G7과제-EV전지의 개발 기획을 하였으며 현재 개발 team을 구성하여 지속적으로 연구 개발할 계획임

(나) 일본

표 4. Na/S전지의 사양

1. 개발 상황	Pilot Plant에 의한 생산		개 발 중		
2. Design Characteristics					
· Type of battery	B11	B15	B120	B240	B480
· Number and type of cells	360 A04	144 A04	120 A08	240 A08	480 A08
· Cooling method	FA	L	L	L	L
· Defective cells replacable	yes	no	no	no	no
· Type of cell connection	screws	screws	welded	welded	welded
3. Mechanical Specifications					
· Location of feedthroughs	side	top	top	top	side
· Dimensions l x w x h, mm^3	14120	733	730	730	890
	x 485	x 318	x 314	x 542	x 850
	x 360	x 334	x 315	x 315	x 320
· Weight, kg	276	100	105	185	350
4. Electrical performance (rated values)					
· OCV, V	180	72	60	120	240
· Capacity, Ah	140	140	160	160	160
· Resistance at 310°C, mΩ	225	90	75	150	300
· Discharge current, A					
-continuous	140	140	160	160	160
-peak (3min.)	200	200	250	250	250
· Energy, kWh	25	10	9.6	19.2	38.4
5. Thermal Properties					
· Heat loss at 310°C, W	170	80	70	110	170
· Time at 310°C if heated with electric energy of battery, days	6	5	6	7	9

○ 도시바(Li-LGH/V_2O_5), 파나소닉(Li/V_2O_5), CRIEPI(Li/V_6O_{13}), 히다찌 맥셀(Li-Al/TiS_2) 등에서 소형의 상온형 Li 2차전지를 연구 개발중이거나 생산중

○ '91년 Sony Energytec이 에너지밀도 80~115Wh/kg, 출력밀도 205W/kg, Cycle 수명 1,200cycle (DOD 100%)의 AAM size의 LIC/$LiCoO_2$전지 개발로 지금까지 Li 2차전지의 문제점으로 지적된 안전성 및 cycle 수명 향상을 달성함

○ 유아사전지가 25Wh급의 각형 Li/V_3O_7 2차전지를 개발한 바 있지만 부극으로 순수 Li 금속을 사용하였기 때문에 Cycle 수명이 짧아 현재까지는 실용화되지 못하고 있음

○ '92년부터는 MITI 주도하에 Load Levelling용 및 EV용 전지 개발을 위해 향후 10년간 130억 엔을 투입하여 고능율 미래형 Li 2차전지를 개발할 계획임

(다) 미국

○ EIC사가 비교적 대용량의 Li 2차전지 개발중

○ 최근에는 Polymer 전해질을 사용하는 Li/TiS_2, Li/V_6O_{13} 등의 고체 Li 2차전지를 개발중이며 EPRI에서는 이들의 EV용 전지 System 개발을

지원하고 있음

(라) 카나다

Moli Energy Ltd.가 AAM size의 1Wh급 전지를 개발하여 일본의 CRIEPI에서 전지 성능 평가를 행한 바 다소 문제가 있는 것으로 판명되어 실용화되지는 못하였으며 현재 Li 2차전지로서는 최대의 용량인 70Wh급(BC) Li/MoS_2전지 개발중

(마) 독일

VARTA사가 향후 2000년대 가장 유망한 전지로 Swing System의 Li 2차전지(일명 Li Ion전지)를 꼽고 연구 개발 계획중

4. 맺음말

지금까지 EV용 전지 개발의 중요성 및 국내외 개발 현황에 대하여 알아 보았다. 1998년 미국 자동차 수출에 있어 무공해 EV의 강제 판매 예고는 EV의 핵심 요소 기술인 고성능 전지의 개발에 도화선이 되어 국내에서도 G7 과제의 일환으로 곧 수행하게 되었다. 이에 국내 전지계의 전 연구인력이 적극적인 참여 의욕을 보이고 있어 어쩌면 한국의 자동차 수출에 있어 새로운 도약이 될 수도 있을 것으로 기대된다.

문성인(文成仁)

1956년 2월 28일생. 1983년 경북대 공대 공업화학과 졸업. 1986년 동 대학원 공업화학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구소 전기재료연구부 전기자동차 개발팀 선임연구원.