

전기 자동차용 충전기의 개발 동향

오성철 *·송병문**

(*한국전기연구소 전력전자연구실 선임연구원 ·

**동 연구소 전력전자연구실 연구원)

1. 서 론

근본적으로 짧은 일충전 거리와 긴 충전시간의 결점을 가지고 있는 전지로부터 기인되는 결점이 전기자동차의 보급에 최대 장애가 된다. 이 장애의 근본적인 해결책으로서는 신형 고성능 전지의 개발과 이의 실용화를 들 수 있다. 또한 단기적인 대책으로서는 급속 충전 장치의 개발도 주요한 과제이다.

전기 자동차용 충전 장치는 탑재형 충전 장치 및 별치형 충전 장치로 구별된다. 탑재형 충전장치는 주로 심야 전력을 이용하여 가정에서 충전하는 방식을 주 목적으로 한다. 심야 전력의 이용을 주 목적으로 함으로 충전시간의 단축 측면보다는 탑재형이기 때문에 장치의 소형 경량화, 저소음화, 고효율화를 주 목적으로 한다. 심야 전력의 이용 측면에서도 심야 전력 적용 개시시간에 심야 수요가 일시에 걸려 부하의 불균형을 초래할 수 있으므로 전지의 종류에 따라 급속 충전, 단 시간 충전이 가능한 경우에는 이에대한 적절한 대책도 강구할 수 있다. 또한 전지의 방전 전력량과 충전 소요시간의 계산에 의하여 심야 전력 효율이 끝나는 시점에서 충전이 종료 되도록 하는 제어방식을 채택한 경우는 심야 부하 개발 효과도 극대화할 수 있다.

충전 스탠드는 기존의 가솔린 자동차의 주유 스탠드의 개념에 해당하는 것으로서 전지의 종류에 따라 고속충전 혹은 단시간 충전을 목적으로 한다. 또한

어떠한 종류의 전지를 탑재한 전기 자동차도 충전이 가능하도록 범용성을 가져야 한다. 또한 사용자의 편의를 위한 요금 카드등 User Interface까지 고려하여 실용화를 꾀하여야 한다.

본고에서는 현재까지 개발된 전기자동차용 충전기의 국내의 개발현황을 살펴보고 개발 방향에 대하여 분석해 본다.

2. 충전 방식의 분류

현재까지 개발된 전기 자동차는 주로 연속 전지를 탑재하고 있으므로 충전기의 설계를 위해서는 연속 전지의 충전 특성에 대한 지식이 필요하다. 본 절에서는 연속 전지의 충전 특성 및 충전방식의 분류 및 용도에 대하여 설명한다.

2.1 충전 특성

충전이란 전기에너지를 충전기를 사용하여 화학적으로 변환시키는 것이다. 연속전지가 정전류 I로 충전될 때 단자전압 V는 그 기전력 E_0 보다 더 큰 값을 나타낸다. 이것은 내부 등가저항 R이 전류 I와 곱해져서 개로 전압에 더해지기 때문이다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V = E_0 + IR$$

충전지가 충전하는 동안의 단자 전압의 변화는 그

림 1에 나타난 바와 같이 각 단계로 구분할 수 있다.

1단계에서 기전력의 급격한 상승은 황산납의 분해로 내부 전해액 비중의 급격한 상승에 기인한다.

2단계에서는 충전이 진전됨에 1단계에서 생긴 전해액이 극판의 외부로 분산됨에 따라 단자 전압이 현저하게 상승하게 된다.

3단계에서는 황산 납이 대부분 이산화 납 또는 납으로 치환되고 전해액 속의 물은 전기 분해가 되어 산소와 수소 가스를 발생하게 된다. 이러한 이유로 극판의 표면에서 일어나는 화학 반응의 속도는 늦어지게 되며 단자 전압은 전압의 상승만큼 지연되고 재빨리 상승한다. (과전압)

4단계에서는 과전압은 일정한 수준까지 떨어지게 되며 단자전압은 일정한 수준에서 안정된다. 이 단계에서는 충전을 위한 대부분의 전기량이 물의 전기 분해에 소비된다.

충전 특성은 그림 1과 같으며 그림의 각 단계는 다음과 같다.

- ① 충전 시작후의 급속한 전압의 상승
- ② 점진적인 전압의 상승
- ③ 빠른 전압의 상승
- ④ 충전종지(정전압)

2.2 충전 방법

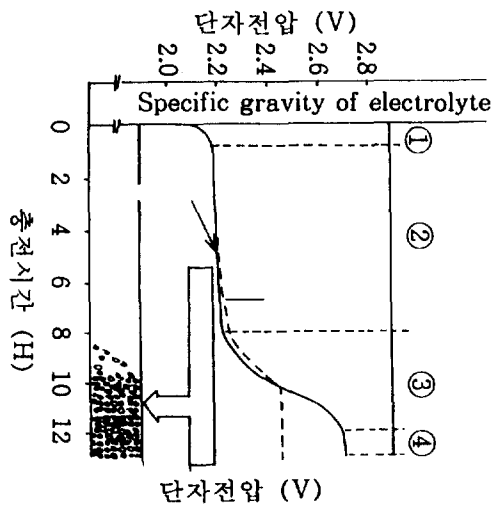


그림 1. 충전 특성 곡선

연속전지의 충전방식의 분류는 표 1과 같으며 전기자동차용 충전기의 충전방식으로는 정전류정전압 충전 방식이 주로 쓰이며 최근에는 고속 충전을 위한 계단충전 방식도 많이 채택되고 있다.

2.2.1 정전류 정전압충전

이 방법은 정전압 충전방식과 병행하여 최대 충전 전류를 제한하는 방법으로 초기 충전시 일정한 큰 전류로 충전을 하고 가스 발생 전압에 도달하면 충전전류를 서서히 감소시키면서 충전을 계속하는 방식이다.

또한, 초기 충전 단계에서 적은 전류로 충전하면 전해액의 감소는 극히 적어지며 축전지의 온도도 낮은 값으로 유지된다. 이 방식의 충전 특성 곡선은 그림 2와 같다.

2.2.2 계단(step) 충전

그림 3은 계단 충전방식의 한 예로서 multi step 정전류 충전방식의 전압 전류 특성 곡성이다. multi

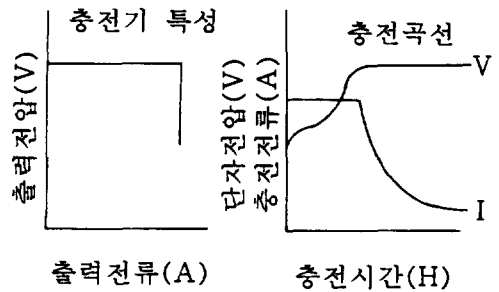


그림 2. 정전류 정전압 충전 특성 곡선

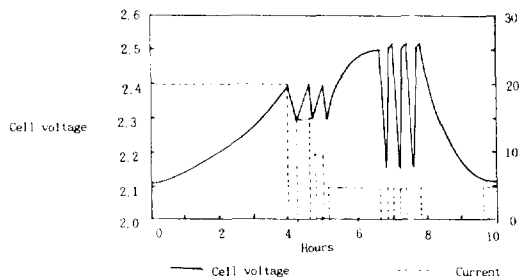


그림 3. Multi-step constant current charging

표 1. 충전 방식의 분류

방 식	특 성	용 도
정전류 충전	<ul style="list-style-type: none"> 가변저항이나 SCR을 통한 정전류 공급 충전이 끝나는 시점에 과충전 경향 	<ul style="list-style-type: none"> 초기충전 사고원인조사 용량시험 충전특성시험
정전압 충전	<ul style="list-style-type: none"> 정전압 충전에 의한 전력손실 제한 초기 충전전류를 고려한 충전기설정 급속한 온도상승에 의한 수명에 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 급속충전
준정전압 충전	<ul style="list-style-type: none"> 인가되는 정전압을 제한하기 위하여 전류제한용 저항 삽입 Timer에 의한 동작 	
정전류·정전압 충전	<ul style="list-style-type: none"> 초기충전시 큰전류로 충전하고 가스 발생 전압도달시 충전전류 감소 각 단위 충전지 간의 불균형 해소 	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차
Trickle 충전	<ul style="list-style-type: none"> 전지가 언제나 완전 충전상태에 있도록 충전지에 항상 적은 양의 전류 공급 	
균등충전	<ul style="list-style-type: none"> 선지 충전시 장시간 소요 	
계단충전 (Step)	<ul style="list-style-type: none"> 전류를 2-3단계로 변조시키면서 정전압 충전 또는 준정전압 충전을 행함 전지의 온도 상승 억제 급속 충전 	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차
부동충전 (Floating Charge)	<ul style="list-style-type: none"> 충전지의 전압은 부동충전 전압으로 일정 정류기, 전지부하와 병렬로 연결됨 	<ul style="list-style-type: none"> 통신 시스템 무정전 전원장치

step 정전류 방식은 효율 향상과 단 시간 충전을 위하여 채택하였다. 적절히 높은 전류를 그림 1의 2단계에서 공급하고 최적의 낮은 전류를 3단계에서 공급하는 방식이다.

초기 계단 충전율은 가스 발생 전압에 도달할 때까지 5시간 방전을 정도로 선택된다. 두번째, 세번째 충전율은 가스 발생 전압에 도달할 때까지 초기 충전율의 3/4, 1/2이며 최종 충전율은 초기 충전율의 1/4이다.

3. 국내외 개발현황

3.1 일본의 개발 현황

일본의 충전기는 별치형 및 탑재형을 채택하고 있으며 초기의 탑재형에서 최근에는 별치형을 채택하고 있다. 또한 급속 충전 방식의 실용화에 박차를 가하고 있다. 표 2에 일본에서 개발된 전기자동차용 충전기의 특성을 정리하였다.

3.1.1 Osaka시의 급속 충전 스탠드

Osaka시에는 급속 충전 스탠드가 설치되어 있으며 다양한 용도로 사용될 수 있다. 충전스탠드의 특징으로서는 충전전류 150A 충전시간 최대 30분의 급속충전이 가능하며 전지전압을 자동 검출하여 최적 전압으로 충전이 가능하므로 충전율 30%까지 방전된 전지를 충전율 80%까지 회복시키는 급속 충전이

표 2. 일본의 전기자동차용 충전기의 사양

차 명	전 지 사 양		충 전 기 사 양			
	종 류	총전압 (V)	설치형식	충 전 제어방식	급류입력전원 상수전압전류 ϕ V I	표준충전 시 간 (h)
Nissan FEV	Sealed Ni-Cd	276	탑 재 형	정 전 류 정 전 압	1,100, 15	8
			별 치 형	초급속충전	3,400, 160	6분간
Nissan Cedric	Ni-Fe	276	별 치 형	정 전 압 정 전 류	3,200, 15	8
Mild	Ni-Fe	120	별 치 형	2단준정 전압	3,200, 30	8-10
Dream Mini	Sealed Ni-Cd	120	탑 재 형	정 전 압 정 전 류	1,200, 10	8-10
IZA	Ni-Cd	288	별 치 형	정 전 압 정 전 류	3,200, 50	8
Toyota VAN	Lead-Acid	192	별 치 형	중정전압 급속충전	3,200, 60	8 혹은 1
Nissan President	Lead-Acid	120	별 치 형	중정전압	3,200, 15	8 혹은 1
Chuden Electric van	Seald Ni-Cd	120	탑 재 형	정 전 압 정 전 류	1,200, 30	8-10
Electric Jetta	Na-S	180	탑 재 형	정 전 압 정 전 류	1,200-220, 16	8-9
Daihatsu HIJET VAN	Sealed Lead -Acid	120	탑 재 형	중전전압 충 전	1,200, 20	8
Mistubishi Lancer	Sealed Ni-Cd	120	탑 재 형	정 전 압 정 전 류	1,200, 39	8

가능하다. 사진 1은 급속 충전스탠드의 외형이며 그림 4는 대표적인 충전 패턴을 나타낸다.

3.2 미국, 유럽의 개발 현황

미국 및 유럽에서 개발된 충전기의 특징은 표 3과 같다. 이 중 SCT Pickup용으로 미국의 Lester사에서

개발한 충전기의 외형은 사진 2와 같으며 특징은 다음과 같다. SCR Type 충전기로서 208V나 230V AC가 입력일 경우 초기 충전 전류가 32A DC이며, 전지가 만충전되면 자동으로 차단된다. 115V AC일 경우는 충전기의 tap이 낮아져 AC source에서 차단될 때까지 6A로 충전한다. 안전 interlock가 있어서 충전기 cord가 차에 연결되어 있으면 시동이 되지

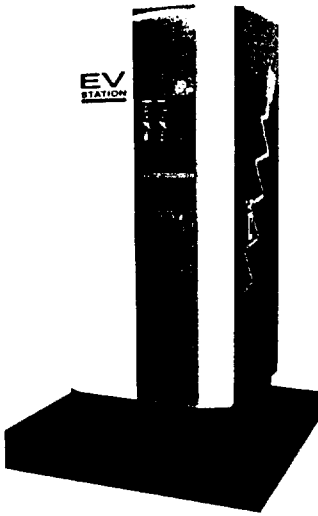


사진 1. 급속 충전 스탠드

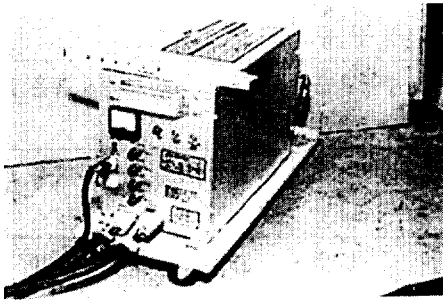


사진 2. SCT Pickup용 충전기

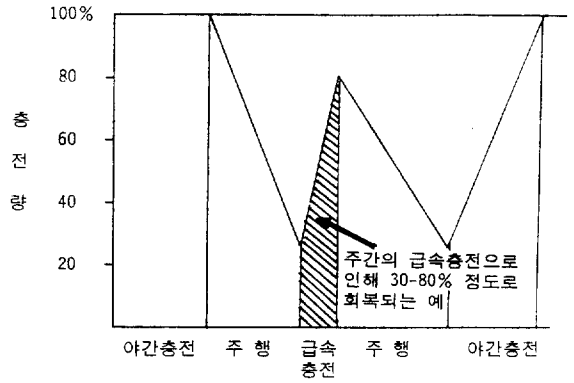


그림 4. 충전 특성 곡선

않게 되어 있다.

용도별 특징은 다음과 같다.

1) 주간전력 사용 Type

- 충전방식 : 정전류 정전압 방식
- 교류입력 : 3상 200V±10%, 50/60Hz
- 직류 출력 : 최대 165V, 150A(자동 선택)
- 대상 자동차의 전지 전압 : 48, 96, 120, 192V (150-200Ah)

- 충전시간 : 최대 30분
- 충전대수 : 1설비당 최대 2대 동시 충전 가능
- 설치 환경 : 옥외

<제어 방식>

- 자기 카드에 의한 이용자의 식별, 기동을 행함
- 전기 자동차 탑재 전지에 대응한 직류 출력을 자동 절환

표 3. 기타 지역의 충전기 사양

차 명	전 지		형 식	입력전압	방 식	충전시간
	종 류	총전압				
KubVan(미)	Lead-Acid	84	별치형	240	철 공 진	
Electric Pickup(미)	Lead-Acid	108	별치형	115/208/230	SCR	13.4
Electro-transporter (독)	Lead-Acid	144	탑재형	208/240	Air-gap core transforms	13.7
Griffon(영)	Lead-Acid	216	별치형	220-250	Transformer tapes	8.5

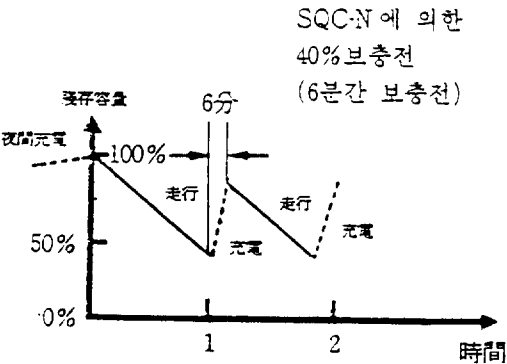
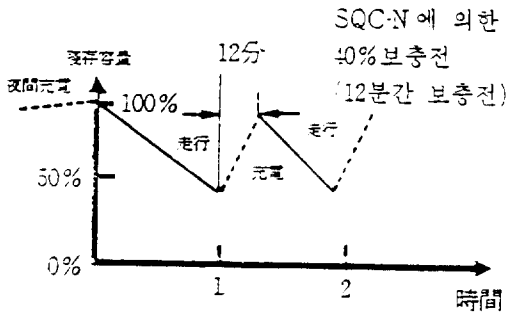
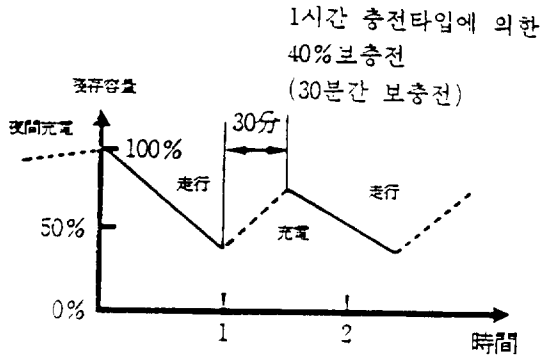


그림 5. 1시간 충전형과 SQC-N형에 의한 충전 시간 비교

-이용자가 충전 코드를 확실하게 접속시킨후 동작하는 sequence 채용

-내부의 지락, 단락 고장에 대한 보호 회로

2) 심야 전력 Type

-심야 전력을 충전해서 주간의 충전에 이용

-축전지의 용량은 경량 van type으로 1일당 10대 충전 가능한 용량

3.2.1 초급속 충전 시스템(Nissan, 일본 전기 공동 개발)

Nissan과 일본 전기가 공동으로 급속 충전 시스템을 개발하였으며 Nissan에서 개발한 FEV의 충전 시스템에 채용되었다. 특히 고속 충전을 위하여 전지의 성능 개선 및 이에 따른 충전 pattern을 개발하였다. 그림 5는 충전 pattern을 나타내고 있다.

1) SQC(Super Quick Charge)-N형 Ni-Cd전지

- a) 음극에 미세한 활성 물질과 특수 첨가제를 이용
 - b) 특수 세퍼레이터를 이용하여 급속 충전성과 사이클 수명 성능을 향상
 - c) 신형 고용량 양극판 및 음극판을 이용, 에너지 밀도 향상
 - d) 방열 효율이 좋은 형상
 - e) 단자, 볼 등의 구조를 최적화
- f) 기초 Data :

공칭 전압	12V
외형 치수	60W * 240L * 320H
중량	8.9kg
에너지밀도	55Wh/kg
출력밀도	180W/kg

2) SQC-P 밀폐형 납축전지

- a) 극판을 박형화하고, 극판수를 늘림으로서 전지의 분극을 작게 함
- b) 특수 첨가제를 넣은 고밀도 테스트를 사용하므로써 극판의 고성능화 및 수명의 정기화
- c) 단자, 볼 등의 구조, 재료의 최적화를 꾀하므로써, 전기저항을 저감

d) 기초 Data

공칭 전압	12V
외형치수	60W * 240L * 280H
중량	8.9kg
에너지밀도	192W/kg

3.3 충전기의 개발 동향

충전기의 전력 제어 소자는 전력전자 기술의 진전에 따라 thyristor, Power Transistor 등의 반도체 소자를 사용하여 소형 경량화, 저소음화, 고효율화가 이루어지고 있다. (표 4참조). 이밖에도 충전방식의 구현에 많은 연구가 진행되고 있다. 이중 1990년 중

표 4. 충전기의 변천

년대	1965년	1975년	1985년
주 회로	과포화 리액터		
방식		thyristor 위상 제어	Transistor 고주파 스위칭
충전 제어 방식	수동 충전 전환	전압, 전류 검출과 timer에 의한 자동 전환 방식	전자기억식 전자동 충전

표 5. expo용 충전기의 사양

항 목	특 성
형태	별치형
사용 전지	276V, 90AH 납축전지
충전 방식	정전압, 정전류 혼합 균일 충전
사용 전원	3상, 380V, 60Hz
회로 방식	SCR을 사용한 6상 위상 제어 정류 방식
충전량 측정	Microprocessor를 사용하여 충전시의 단자전압, 전류를 측정 분석하여 전지의 충전 상태 Display

콩에서 열린 EVS-10에서 홍콩 대학 교수인 C.C. Chan에 의해서 발표된 Intelligent charger에 대해서 살펴본다. 이 Intelligent charger는 충전방식에 계단 충전 방식을 채택하였으며 충전 Algorithm 및 특징은 다음과 같으며 시스템 블록도는 그림 6과 같다.

① Multi-step 정전류 충전 방식을 사용하여 고효

율 및 단시간 충전이 가능하다.

- ② 주 충전은 최종 정전류 충전 단계에서 15분 동안의 전압 평준화 조건을 감지하여 완료된다.
- ③ 주 충전이 완료된 후 펄스 균등 충전을 시켜 균등 충전을 이룬다.
- ④ 펄스 트리를 충전을 하기 전에 전지는 만 충전

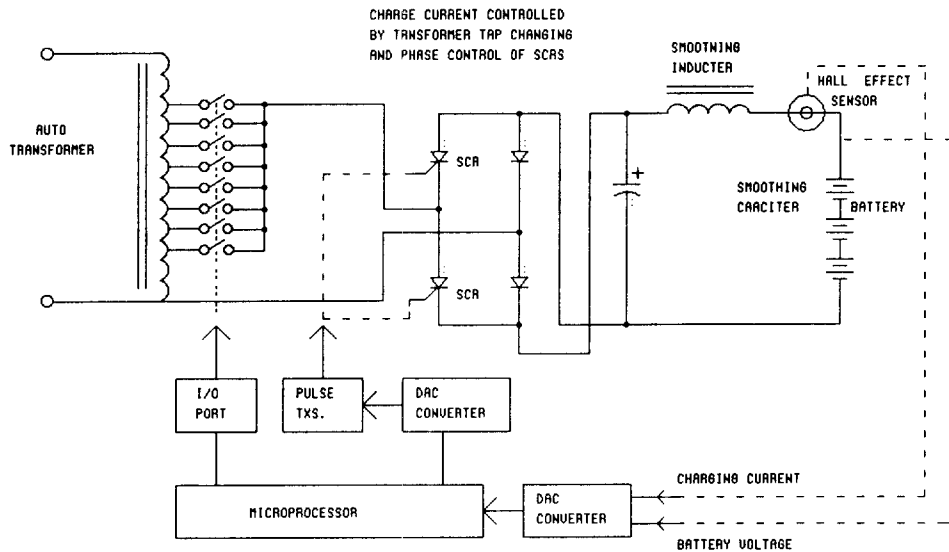


그림 6. Intelligent 충전기의 시스템 블록도

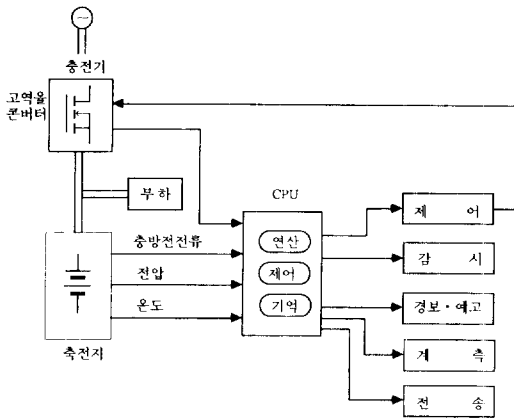


그림 7. 범용 충전기의 시스템 블록도

상태를 유지한다.

- ⑤ 과방전 전지, 과전압, 저전압에 대한 보호 기능이 있다.
- ⑥ 완전 방전부터의 정상적인 충전시간을 8시간이다.

3.4 국내의 개발 동향

충전기는 국내의 관련 기업에서 다양한 용량의 제품을 생산한 실적을 가지고 있다. 특히 무정전 전원 장치 및 통신용 전원 장치용 충전기가 다수 제작되었다. 또한 지게차나 golf차용의 충전기도 다수 생산되었다. 충전 방식은 철 공진방식이나 SCR방식이 주로 쓰이고 있다. 현재 한국전기연구소에서 개발 중인 expo전시용 전기자동차용 충전 스탠드의 사양은 표 5와 같다.

전기 자동차용으로는 정부의 HAN과제의 일환으로 탑재형 및 별치형의 충전기 개발이 1993년부터 시작될 예정이다. 탑재형 충전기는 심야전력을 이용한 충전을 목적으로 고주파 스위칭을 이용하여 소형 경량화 및 저소음화에 중점을 두어 개발될 예정이다. 별치형은 범용으로 사용되어 대상 전지에 따라 최적의 충전 방식을 구형하는 것을 목적으로 하며 사용상에 태양광이나 심야전력을 이용한 Backup에 대한 검토가 이루어져야 한다. 범용의 충전스탠드를 구성하기 위한 시스템 구성도는 그림 7과 같다.

4. 결 론

본 고에서는 전기자동차용 충전기의 개발동향에 대하여 살펴보았다. 전기자동차의 보급을 위해서는 고성능의 충전기의 개발은 필수적이다. 특히 신형 고성능 전지의 개발이 계속되고 있으므로 이에 적합한 충전기 개발이 병행되어야 한다. 국내 관련업체의 기술 축적이 충분하므로 최적의 충전방식에 따른 성능 구현은 가능하다고 판단된다. 그러나 회로방식이나 제어방식에 대한 새로운 이론이 계속 제시되고 있으므로 이에 대한 계속적인 연구가 필요하다. 특히 충전기 개발에 있어서는 전기 기기관련 업체뿐만 아니라 전지관련업체의 적극적인 참여가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 기술연구원, "전력 저장 전지 시스템 기술 개발", 보고서, 1991, 6
- [2] 한국전력공사 기술연구원, "전기자동차 적용에 관한 조사연구", 보고서, 1990, 12
- [3] 상공부, 과학기술처, "전기자동차 개발", 연구 기획 보고서, 1992, 5
- [4] EPRI, "EPRI and TVA Testing and Evaluation of Electric Work Vehicle", EPRI EM-4702, sept. 1986
- [5] C.C.Chan, W.S.Leung and K.C.Chu "A Microprocessor Based Intelligent Battery Charger for Electric Vehicle Lead Acid Batteries", Proc. of EVS-10, 1990
- [6] 半村, 村岡, 度邊, "Intelligent 직류 전원 장치 개발", OHM, 1989, 4
- [7] 일본 전동 차량 협회, "EV LIVE '91"



오성철(吳星哲)

1958년 1월 23일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 미국 Univ. of Florida 졸업(공학). 현재 한국전기연구소 전력전자연구실 선임연구원.



송병문(宋炳文)

1962년 8월 15일생. 1986년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구소 전력전자연구실 연구원.