

## 전기자동차 충전기술 현황 및 경제적 충전 인프라 구축

하희두, 박정우, 김종무

한국전기연구소

### Update of charging technologies and cost-optimized charging infrastructure

Hoidoo Ha, Jung-woo Park, Jong-mu Kim

Korea Electrotechnology Research Institute.

Abstract-Traction battery chargers are an integral part of the required charging infrastructure. EV charging systems are continuing to improve in design. The newer types are affecting power quality to a much lesser extent. High efficiency battery chargers are being designed and produced which form little or no harmonic distortion. In addition chargers are becoming smaller and lighter. This is due mainly to the fact that there are improvements in the power electronics industry, especially with respected to IGBTs. Lower costs are achieved by the reduction in price of the IGBTs, standard magnetic material and small cores for inductors and transformers. But electric vehicles occupy a relatively small market niche at present. Therefore with already existing power supply networks, establishment of EV infrastructure can safeguard the service value of present vehicle as well as ensure the ability to charge a significant number of such vehicle. In this paper, we surveyed the update charging technologies according to the conductive charging, inductive charging and fast charging. Then we suggested cost-optimized charging infrastructure in consideration of the economical, political and technical standpoint.

#### 1. 서론

전기자동차의 보급을 위해서는 국제적으로 호환성 있는 전기자동차의 충전소는 매우 중요하다. 이것은 어느 한 나라에서 만든 전기자동차가 다른 나라에서 사용될 수 있다는 것을 의미한다. 또한 전기자동차가 전원공급계통에 미치는 영향들이 전력회사나 수용가가 받아들일 만한 수준이어야만 하고 양산 체제가 구축되면 가격 또한 내려갈 수 있어야 할 것이다.

충전기는 충전 인프라를 구축하는데 가장 핵심이기 때문에 이러한 충전기의 기술적 현황과 그 적용 예를 조사 분석하는 것은 인프라 구축하는데 매우 중요할 것이다.

여러 가지 타입의 충전기의 성능, 내구성 및 통신 인터페이스들을 비교 분석하면 현존하는 기술적 차이들을 파악할 수 있고 이것들의 호환성을 위한 표준화 작업이 이루어질 수 있을 것이다. 또한 전력회사와 차량의 인터페이스 부분의 보호기기를 위한 성능평가 과정을 체계화 할 수도 있으며 전기자동차의 보급확대에 따른 지방 배전계통의 영향도 파악 될 것이다.

현재 사용되고 있는 대부분의 충전기 기술은 전력 공급의 질에 영향을 미친다. 매우 조악하게 설계된 충전기는 그것들이 사용되고 있는 가까운 배전계통의 역률을 저하시키든지 전원계통으로부터 불필요하게 많은 전류를 끌어온다든지 해서 전력 질을 크게 저하시킬 것이다.

그러나 지금 시점에서 매우 적은 충전기가 사용되고 있기 때문에 이러한 영향에 대해서 상세하게 조사되고 있지 않다. 전기자동차 보급이 확대됨에 따라 충전기 사용이 점차 증가하고 그에 따른 전원계통의 질을 위해서 요구되는 사항들이 어떠한가 할 것인가가 관심사로 크게 대두할 것이다.

#### 2. 충전기술현황

##### 2.1 콘덕티브 충전

현재 가장 많이 쓰이고 있으며 안전 관리를 위해서 접지 시스템을 이용하고 있다.

##### 2.1.1 충전 모드

충전 프로세스는 레벨이나 모드로 구별된다. (미국에서는 레벨로 유럽에서는 모드로 구분)

###### • Model 1

전력회사의 배전용 표준 소켓을 사용해서 충전하는 것이며 가까운 장래에 전기자동차를 소개 및 보급하는데는 가장 기본적이며 전기자동차용 충전 인프라가 구축되면 다소 덜 중요시 될 것이다.

Model 충전은 나라마다 다르다. 미국이나 일본보다 배전 전압이 높은 유럽에서는 전력 공급이 크기 때문에 Model 충전이 훨씬 의미가 있다. 더구나 차들이 미국에 비해서 유럽은 작고 가볍기 때문에 Model 충전은 훨씬 의미 있다. 일본에서는 차고를 가진 집보다는 아파트에 사는 사람들이 많기 때문에 표준 소켓에 연결하는데 제약을 받아서 Model충전이 다소 덜 중요하다. Model과 레벨1의 정의의 가장 큰 차이점은 Model 충전은 3상 전류를 사용할 수도 있다는 것이다.

###### • Mode2

유럽에서는 전기자동차와 플러그 사이에 콘트롤 피어릿트선을 가진 보호용 접지선을 가지고서 단상이나 중성점을 가진 3상 전류를 이용해서 표준 소켓 아웃렛에 꼽힌 전기자동차 공급장치를 통해서 전기자동차에 AC전원계통을 연결하는것이라고 정의하였다. 미국에서 레벨2는 전기자동차 충전을 위하여 접지, GFCI, 무부하 인터락, 전선안전 개폐장치, 양방향 통신기능을 가진 충전장치를 사용하는 것으로 정의되어 있다.

###### • Mode3

전력계통에 연결된 충전장치를 전기자동차에 콘트롤 피어릿트선을 가진 전원공급장치를 통해서 연결하는 것으로 유럽에서 정의하였다.

모드 2와 모드 3 그리고 레벨 2 형태의 충전은 공공 기관이나 기업들이 운영하는 것에 적용될 수 있다. 일반 가정에서도 소비자가 원하면 설치할 수 있으므로 추가적인 안전장치가 필요할 것이다.

회사의 직원들은 일터에서 자신들의 자동차를 이러한 시스템을 이용해서 충전할 수 있을 것이다. 또한 슈퍼마켓이나 음식점들도 이 시스템을 이용해서 고객유치 증대를 꾀할 수 있을 것이다. 쇼룸이나 주차장에 설치한 것은 요금부와 시스템을 채택해서 사용되어 질 수도 있다.

미국과 일본에서 다른 정의를 사용하는 이유는 저전압 공급계통을 가지고 있기 때문에 정교하고 fail safe 연결 기능을 부과하기 위한 것이며 반면에 유럽에서는 직접 표준 가정용 소켓 아웃렛에 연결해도 아무런 문제가 없기 때문이다. 이러한 전압차와 어느 의미에서는 주파수 차이가 전기자동차용 충전장치의 완벽한 표준화 작업에 꽤 큰 장애용인이 되고 있다.

• Mode4

Mode3형태에 탑재형 충전기를 사용한다는 것을 명시한 것을 유럽에서는 Mode4로 정의하였다. 대부분 이러한 형태의 충전기는 급속 충전 시스템이지만 그렇지 않을 수도 있다. 탑재형 충전기를 제어하기 위하여 직렬 데이터 통신은 Mode4에서 필수적이다. 미국에서 급속충전은 레벨3으로 정의되어있으며 전력 변환은 최대 400A 전류를 차량에 공급하는 최대 240kW급 까지이다.

2.1.2 충전기 특성

제한된 주행거리와 에너지소비량 문제는 충전기를 항상 시킴으로써 어느 정도 해결할 수 있다. 전력전자 기술의 발전으로 특히 IGBT와 소프트 스위칭 기술의 향상으로 충전기의 성능을 향상시킬 수 있다.

따라서 전기자동차용 충전기는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.

- 가정용 아웃렛에서 충전이 가능해야 한다.
  - 탑재형 충전기는 가볍고 작고 소음이 없어야 한다. 이것은 높은 스위칭 주파수를 사용함으로써 가능하다.
  - 효율이 높아야 한다.
- 이것은 차량의 전체 에너지 효율과도 관계가 있기 때문에 매우 중요하다. 높은 스위칭 주파수와 높은 효율은 공진형 컨버터를 사용함으로써 가능할 것이다. 이것은 또한 EMC 문제도 향상시킬 수 있다.
- 충전기는 전지관리 시스템(BMS)에 의해서 제어되어야 한다.
- 따라서 효율적인 통신 체계가 필수적이다.
- 충전기는 비싸지 않아야 한다.

2.1.3 기술 현황

대부분의 새로운 충전기는 앞에서 언급한 특성들을 가지고 있으며 어떠한 것들은 훨씬 더 향상된 기술들을 가지고 있다. 현재 상업화된 대표적인 충전기들은 다음과 같다.

가. RWTH Aachen에서 개발한 충전기(독일)

충전속도를 최대로 하기 위하여 충전기의 최대 입력전력이 전원계통의 최대 전력과 같아야만 한다. 이것은 정현파 전류를 사용하고 역률이 1이 되어야 한다. 역률 조정기로 사용되는 부스터 컨버터가 필수적이다. 이 기술은 RWTH Aachen에서 사용되었다.

충전기는 표준가정용 소켓에 연결할 수 있으며 정류된 230V 공급전압이 공진형 부스터 컨트롤에 의해서 500V 까지 표평되었으며 효율은 92% 정도이고 외관과 냉각시스템을 합친 충전기 무게는 5에서 7kg이다.

나. Northrop Grumman 회사에서 개발한 탑재형 충전기(미국)

이 충전기는 1995년 10월부터 아이오와 주 Cedar

Rapids에 있는 시내버스운행에 사용되어지고 있다. 전지관리시스템(BatteryManagement System)은 차량에 있고 탑재형 충전기는 이 BMS에 의해 제어되어지고 있다. 현재의 가격은 kW당 720불이나 양산 되면 200불 정도까지 가격을 낮출 수 있다고 한다. 역률은 0.99이상에서 기존의 부하가 지상 역률을 보편적으로 가지고 있으면 진상으로 조정할 수 있게 설계되어 있다. 부하가 적을 때 충전해서 최고 부하일 때 충전할 수 있는 기능도 가지고 있다.

다. Santa Babara 시내 교통에 사용되는 충전기

12대의 전기자동차 시내버스를 운행하기 위해서 14대의 충전기를 설치하고 있으며 가격이 2000 US\$에서 4045 US\$까지의 6종류의 충전기를 사용하고 있다. 가격이 싼 충전기의 역률은 0.67 이고 비싼 충전기는 0.99이다. 전체 고조파 변형 (Total Harmonic Distortion)은 7.9%에서 60.5%이다. 동일 전원을 쓰는 민감한 전기기기에 영향을 최소로 주기 위해서는 5% 미만의 THD가 요구된다.

그러나 이 시범 운행에서 높은 THD를 발생하는 충전기를 사용했으나 민감한 전기기기를 사용하지 않는 야간에 충전하였기 때문에 문제가 되지 않았다.

2.2 Inductive 충전

컨덕티브 충전과 비교해서 안전성을 확보할 수 있고 적합한 제어로서 주기적인 이득을 얻을 수 있으며 충전 과정에서 운전자를 배제한 완전 자동화를 이룸으로써 에너지 효율을 극대화 할 수 있다.

인덕티브 커플링이란 전자장을 통해서 한 회로에서 다른 회로로 전기적 에너지를 이동시키는 것을 말하며 일종의 변압기로 보면 된다. AC전력이 공급측 1차 회로에서 차량에 인터페이스되는 2차측 권선에 이동되어 진다. 접촉점이 없기 때문에 사용이 편리하고 사용 수명이 길다. 근본적으로 안전하기 때문에 공공 장소에서 충전소로 사용하는데 가장 적합하다고 하겠다.

2.2.1 기술현황

1980년에 J.G.Bolger에 의해서 10mm 공극을 가지고 운전되는 시스템인 Inductran이 개발되었다. 미국을 제외한 전 세계의 제조 및 판권은 영국의 Senior Mining Equipment 그룹의 Davis Derby 회사가 소유하고 있다. 이 Inductran은 1982년에 12대가 디즈니 엔터테인먼트의 100명 승차인원의 기차에 설치되었고 1986년에는 캐나다에 있는 GM자동차회사 공장에 700대가 420대의 자동화 무인레도 자동차를 위해서 지상에 설치되었다. 지금은 차량이 정확하게 놓여지면 자동으로 충전기가 작동하는 기능이 부가되어 마그네틱 근접 스위치를 가진 1차측 인덕터가 지상이나 벽에 설치되어지고 있다. 이보고서 제2장 제5절에서 소개하듯이 Praxitele 시스템(프랑스)은 일반대중이 사용할 수 있도록 경전기 자동차의 셀프서비스용으로 사용되어지고 있다.

이 시스템은 하루에도 여러 다른 사람들이 차량을 렌트할 때 마다 사용하고 있다. 이 시스템의 운용은 EDF(프랑스 전력), Renault, CGFTE가 수행하고 있다. 전기자동차인 Renault Clio를 충전하기 위하여 설정된 주차구역 내에서 사용자가 어떠한 조치도 할 필요없이 완전자동으로 충전되는 인덕티브 충전 시스템이다. 두 개의 말굽형 Ferrite 코어에 의해서 정확하게 정렬되면 커플링 되어지도록 했으며 두가지 방법이 시범 사업에 사용되었다.

첫 번째 방법은 1차측 인덕터가 설치된 약간 높은 플랫폼에 차량에 부착된 인덕터가 정렬되어 질 수 있도록 차량이 주차되면 충전되어 질 수 있는 방법이다.

두 번째 방법은 커플링 정렬을 도와 줄 수 있도록 움직이는 판 위에 1차측 인덕터가 설치되어 있는 것이다. 공극은 최대 8mm이며 용량은 3kW이다. 강제 냉각방식을

채택하면 용량은 증가할 것이다.

PSA(푸조 시트로엥)는 Tulip이라는 전기자동차를 개발하였다. Praxitele와 같이 운전자가 렌트를 하면 임의의 차를 임대할 수 있으며 완전자동으로 충전되어진다. 이것은 40mm의 공극을 가지고 1.5kW용량의 인덕티브 충전이며 50mm로 하였을 때는 1kW전력이 이동된다. 인덕터 충전기의 패들은 안전성을 제공하지만 완전자동화는 제공하지 못하고 단지 콘덕티브 충전의 플러그와 소켓을 대체할 뿐이다.

제네랄 모터스(GM,미국)의 EV1이란 전기자동차는 Magne-charge(Delco사에서 개발한)란 인덕티브 충전 메카니즘을 사용하고 있다. 충전기에 연결된 패들을 손으로 전기자동차에 설치된 홈에 삽입함으로써 인덕티브 커플링이 이루어지도록 되어 있다. 패들이 1차축 인덕터이고 차량의 홈 주위가 2차축 인덕터로 구성되어 있으며 용량은 3kW에서 25kW까지 다양하게 제공되어진다. 100kW급 모델이 현재 개발 중이며 70대의 Magne-charge 시스템이 캘리포니아에서 공공장소에 설치되어 있다. 조지아 전력과 버지니아 전력이 1996년 10월에 이 충전기의 설치, 판매, 서비스를 위한 프로그램에 가입한다고 발표하였다. 위스콘신 대학의 무접촉 충전 플러그(Contactless Charging Plug)는 Magne-charge 시스템과 매우 유사하다. CCP는 원래 로봇에 적용하기 위해서 회전 Power transformer로 개발되었다. 25kHz에서 5kW전력을 이동시킬 수 있다. 이 대학에서는 동축 권선형 Power transformer를 이용해서 전기자동차의 인덕티브 충전을 할 수 있는 충전기로 개발하였다. 120kW급 강제 냉각 시스템을 채택한 인덕티브 충전기가 개발되어 시험중에 있다. Nissan과 도요타도 1996년 10월 제13차 전기자동차 심포지엄에서 인덕티브 충전기를 소개하였다.

### 2.3. 급속 충전

승용차, 다수의 차량을 소유해서 운행하거나 버스 등의 가장 편리한 충전방식은 전기요금의 싼 심야에 충전하는 것이다. 그러나 구매의지를 가진 대부분의 일반 사람들은 전력이 다 소비되어 전기자동차가 운행 중에 멈추어 서는 것을 두려워한다. 따라서 이러한 문제를 해결하는 하나의 방법이 공공장소에 급속 충전 스탠드를 설치하는 것이다. 이 급속 충전 스탠드는 10 내지 15분 사이에 전기자동차의 충전용 특수요금으로 50에서 80% 충전을 하는 것이다. 전지의 종류에 따라서 매일본 충전마다 2에서 8km 정도의 거리를 갈 수 있는 전력을 공급받는 것을 의미한다. 이러한 급속 충전기의 용량은 20kW에서 150kW사이이다.

사람들이 심리적 안정감 때문에 급속 충전 스탠드를 필요로 하지만 여러 곳의 시범 운행 사업에서의 경험에 의하면 이러한 급속 충전 스탠드의 사용은 거의 미미하다. 이것이 시사하는 바는 사람들이 전기자동차를 사기전에 미리 비싼 충전 스탠드가 설치되어 있기를 원하지만 일단 급속 충전 스탠드가 설치되면 그렇게 자주 사용하지 않는다는 것이다. 이것은 급속 충전 스탠드를 설치한 투자자들이 자금을 회수하는데 굉장히 오랜 시간이 걸린다는 것을 뜻한다. 그러면 과연 누가 이렇게 비싼 급속 충전 스탠드를 투자해서 설치하려고 할 것인가라는 문제가 제기된다. (스탠드 당 약 7,5000 US\$) 이렇게 가격이 비싸지는 이유중의 하나가 차량과 충전기 사이의 효율적인 통신의 필요성 때문에 야기된다. 일반 대중들에 의해서 충전기가 사용되면 차량의 종류에 따라, 사용되는 전지의 종류에 따라 조금씩 다른 충전 알고리즘이 적용되는 문제를 극복하여야만 한다. 전력회사들이 큰 이득을 볼 것 같지만 심야의 유휴전력을 이용해서 충전해 주면 훨씬 큰 이익을 볼 수 있다. 부하 평준화 기기처럼 심야 충전은 사용되어질 수 있으므로 투자의 효율을 극대화 할 수 있다. 그렇지만 대부분의 전기자동차가 대도시에 밀집되어 있기 때문에 급속 충전 스탠드가 급격하게 늘어난다면 전

력계통의 제한된 용량(특히 도시 지역) 때문에 또 다른 문제가 야기될 것이다.

전기자동차의 성공적인 상업화는 전기자동차의 주행거리를 어느 정도 타당성 있게 늘릴 수 있는 주거지역 및 공공지역에서 충전 스탠드의 설치가 요구된다. 전기자동차의 충전 스탠드를 일반대중이 사용하면 아래와 같은 여러 가지 문제점들의 해결을 요구한다.

- 요금산정 및 부과문제
- 코드와 커넥터의 관리 문제
- 보안등 설치 문제
- 기물 파손에 대한 대책
- 옥외 설치에 의한 날씨에 대한 대책
- 사용자의 사용 편리성 극대화
- 통신 체계
- 전력의 안정성

통신에 대한 문제는 고전력을 사용하기 때문에 일반적인 충전기 보다 급속충전이 보다 복잡하다. 첩두 부하 관리, 전력회사와 차량의 통신 체계, 급속 충전용 고성능 전자 개발, 인명 보호 대책 등이 향후 급속 충전 스탠드가 공공지역에 설치될 때까지 해결해야 할 과제라 하겠다.

### 2.3.1 기술현황

아래에 열거한 것들은 현재 성능이 뛰어난 급속 충전 기술들이다.

가. Wave driver(영국의 Power Gen의 회사)가 개발한 급속 충전기

이것은 차량에 탑재된 급속 충전기이며 주차해서 충전할 때에는 충전기로 사용되며 주행중일 때는 유도전동기의 콘트롤러로 사용되는 시스템이다. 이 기기는 모든 전력변환과 차량제어기능을 결합하였다. 즉 차량의 추진제어, 급속 충전, 운전자 인터페이스, 전지관리 등의 기능을 수행한다. 이 기기는 역률을 자동으로 조정해서 전력의 질을 향상시킬 수 있고 모든 종류의 전지에 대해서 사용할 수 있다.

나. EDF가 개발한 급속 충전기

이것은 DC전력을 차량에 공급해서 급속 충전하는 것이며 차량과 충전기사이에서 계속해서 통신할 수 있도록 설계되어 있어서 차량에 충전하는 과정을 제어할 수 있다. 효율 73%로 35kW출력을 낼 수 있으며 출력전압은 48V에서 425V이며 출력전류는 DC 20A에서 200A이다. 이 시스템은 유럽 ELEGIE 프로젝트의 일환으로 SAGEM에 의해서 개발되었다.

다. Norvik Traction(캐나다)에서 개발한 급속 충전기

이것은 전지의 충전전 횟수를 최대한 늘리고 전지의 용량을 최대한 사용할 수 있도록 개발된 콘덕티브 급속 충전기이다. 이것은 효율 또한 증가시켰음을 보여 준다. 용량은 전자기기 전지 충전기용의 1250Watt급에서부터 15kW에서 150kW까지의 전기자동차용 전지 충전기에까지 다양하며 300kW급 충전기를 개발 중에 있다.

### 2.4 충전기의 주요 특성

전력질에 영향을 미치는 6개의 주요 충전기 특성이 있다.

그것들을 역률(power factor), 변위율(displacement factor), form factor, crest factor, 고조파 왜곡 및 고조파효율이다.

#### 2.4.1 역률(power factor)

역률은 기본 주파수에서 피상 전력(apparent power)과 유효 전력(real power)의 비이다.

$$\text{역률} = \frac{\text{유효전력 (Watt)}}{\text{피상전력 (Volt \cdot ampere)}}$$

역률을 높이는 것은 2가지 이유가 있다. 가용전력은 가용전류에 의해 제한되며 차례로 이것은 회로를 보호하는 전류 차단기에 의해서 제한된다. 실제 전력 공급에는 리액티브 전류와 고조파 전류를 최소화함으로써 보다 더 높은 전류를 공급할 수 있다. 이것은 차례로 AC 서비스용 도체의 온도상승을 최소화하며 인프라의 사용을 극대화할 것이며 전기자동차의 충전장치가 설치되었을 때 서비스 질을 높이기 위한 작업이 필요 없게 할 것이다.

### 2.4.2 변위율(displacement factor)

선전압과 선전류사이의 phase차이를 말한다. 이것은  $\cos \phi$ 로 표현되며 이것은 AC 전동기와 같이 리액티브 특성을 갖는 리니어 부하의 특성이다. 선 전류는 싸인파이며 이것은 선전압에 비해서 지상이거나 진상이다.

### 2.4.3 form factor

반주기(180°)마다 form factor는 근본적으로 rms(root mean square)전류값을 전류 평균값으로 나눈 것을 말한다. 완벽한 싸인파의 form factor는 1.11이다.

### 2.4.4 crest factor

crest factor는 피크 전류와 rms전류의 비를 말한다. 완벽한 싸인파의 crest factor는 1.4이다.

### 2.4.5 harmonic content

전력전자장비와 관련된 대부분의 파형에는 고조파 성분이 포함되어 있기 때문에 정현파는 아니다. 고조파 성분은 특정한 크기와 주파수를 가지고 있다. 고조파 주파수는 주기적 파형 형태의 기본 주파수의 정수 배이다. 모든 고조파의 벡터합은 고유의 주기적인 파형을 나타낸다. 전체 고조파 왜곡은 각각의 고조파 왜곡의 rms값이다.

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \frac{i_n^2}{i_1^2}}$$

여기서  $i_1$  : 기본 주파수의 선전류

$i_n$  : 기본 주파수의 n차 고조파에서의 선전류

AC선에 흐르는 고조파 전류는 실제 전력 공급에는 아무런 관여를 하지 않고 단순히 도선의 온도 상승등 에너지 소비역할만 한다. 또한 전기적 도체, 변압기 및 전동기의 온도 상승, 보호기기의 오동작, 민감한 전자기기의 전기적 영향, 측정기기의 오차 증가등의 전기적 문제점을 야기시킬 수 있다.

### 2.4.5 효율

충전기 효율은 충전기 입력 전력분에 출력 전력으로 나타낸다. 즉

$$\text{효율(\%)} = \frac{\text{충전기출력전력}}{\text{충전기입력전력}} \times 100$$

이것은 보통 충전기의 정격 전력에서 측정된다. 이것은 2가지 이유에서 매우 중요하다.

첫번째는 효율이 높으면 높을수록 더 빨리 전지를 충전할 수 있으므로 에너지를 덜 소비하게된다.

두 번째로는 효율이 좋은 충전기는 효율이 나쁜 충전기보다 발전소에서 공해를 덜 유발시킨다. 이것은 전기자동차에 있어서 중요한 특징중 하나이다. 효율이 얼마나 중요한지를 나타내주는 보고서는 EVT95에 발표된 한 논문에서 전기 자동차에서 소비되는 전체 에너지의 50%가 전지를 충전할 때의 손실에 기인한다는 사실이다.

### 2.4.7 사용전압

사용전압은 전력질에는 아무 영향을 미치지 않지만 호환

성 있는 인프라 구축에는 매우 중요한 요소이다. 승용차 등의 가벼운 전기자동차는 120V, 240V 전원에서 충전할 수 있다. 그러나 전기버스등 일반 승용차 타입보다 4.5배의 전지용량을 요구하는 대형 전기자동차들은 3상 480V 전원에서 충전하는 것이 훨씬 유리할 것이다. 같은 전류이면 3상 시스템이 단상 시스템보다 1.73배의 전력을 공급할 수 있고 전압을 높이면 높일수록 같은 전류에서 더 높은 전력을 공급할 수 있다. 이러한 것들이 충전 시간을 단축시키며 전원부하가 전류를 낮추면 손실이 적어지며 도체 회로 차단기등 다른 부품의 가격이 낮아지며 궁극적으로는 충전 인프라 구축 가격을 낮추게 된다.

## 3. 경제적인 충전 인프라 스트럭처

### 3.1 아키텍처

충전 아키텍처는 에너지원(전원계통), 인터페이스(충전기, 소켓 및 플러그)와 차량으로 구성되어 있다. 가장 우선적으로 고려해야 할 것은 안전성, 기존의 설비와의 호환성 및 국내에서의 일체성, 국제적인 표준 규격과 부합되어야 한다.

먼저 현재의 국내 환경을 고려해 보면 다음과 같다.

- 한국전력에서는 공급전압을 2005년까지 220V/380V로 단일화 (22.9kV)할 계획이다.
- 현대, 대우, 기아 자동차의 탑재형 충전기의 용량은 3.3kW미만이며 승용차 개념으로 개발된 전기자동차이기 때문에 전지용량은 20kWh이상 차체 무게는 1000kg이상이다.
- 기존의 전력회사의 배전용 표준 소켓을 사용해서 충전하는 Model(Level1)충전은 국내에 적용하기가 적합하지 않다. 왜냐하면 차고를 가진 집보다는 아파트등 공동주택에 사는 사람들이 많기 때문에 표준 소켓을 연결하는데 계약을 많이 받기 때문이다.

### 3.1.1 경제적인 관점

초기에는 기존의 설치를 사용하는 것은 매우 중요하다. 새로운 설비를 계획하고 설치할 때는 설치비를 가능한 한 적게 써야만 한다. 현재 전기자동차 시장은 매우 느리게 성장하고 있기 때문에 아래와 같은 관점들이 고려되어야만 한다.

- i) 기존의 인프라를 사용하여야만 한다.
- ii) 어떤 특정한 시스템에 사용되는 새로운 플러그의 사용은 피하여야만 한다.
- iii) 충전소에서 사용되는 전기자동차의 플러그 연결은 기존 시스템과 호환성 있게 사용될 수 있는 것이어야만 한다.
- iv) 충전 시스템내의 정보 교환은 최대한으로 적게 하여야만 한다.
- v) 국제 규격에 적합하여야만 한다.

### 3.1.2 사회적인 관점

교통수단으로 채택되려면 손쉽게 사용되어야만 한다. 에너지를 재충전하기 위해서 굳이 에너지 충전소에 갈 필요가 없다는 것이 일반적으로 사람들이 간과하기 쉬운 전기자동차의 큰 장점이다.

전기적 에너지는 일반적으로 적용되는 조건하에서 어느 곳에도 얻을 수 있다. 따라서 이러한 장점을 살릴 수 있는 충전 아키텍처의 구성이 전기자동차 보급에 큰 역할을 할 것이다. 다음과 같은 관점을 고려한다면 전기자동차의 보급은 증가할 수 있을 것이다.

- i) 공공장소에 충전소를 설치할 때 또다른 새로운 설비를 찾는데 충분한 거리를 담당할수 있도록 위치를 선정하여야만 한다.
- ii) 집에서 충전하나 충전소에서 충전하나 그 충전방법에는 차이가 없어야만 사용자들이 안전하고 편리하게 충전

할수 있다.

iii) 일반 가정의 소켓에서 충전하는 것보다 공공장소의 충전소에서 충전하는 것은 더 많은 전력을 공급하여야만 한다.

iv) 충전소에서는 고객이 미리 충전량과 충전시간에 대한 돈을 미리 지불하지 않으면 충전되지 않도록 하는 방법을 강구하여야만 한다.

v) 시장이 매우 적다면 사용되는 요금이 일반적인 에너지 요금보다 비싸지 않아야만 한다.

### 3.1.3 기술적 관점

일반적으로 사용되는 가정용 전기 플러그가 각 나라마다 약간씩 다르며 정격전류를 사용하는 최적의 조건하에서 오랫동안 사용하는데 적합하다. 이러한 가정용 소켓의 충전 출력은 심야에 가정에서 충전된다고 가정하면 LEV나 작은 EV에 적합하다. 전지용량이 20kWh 이상인 전기자동차에는 충분한 충전 출력을 공급하지 못할 것이다.

급속 충전 개념도 발표되고 있는데 이것은 차량에 직류 전류를 공급한다는 개념에 기초를 두고 있다. 따라서 급속충전에 필요한 인프라는 매우 복잡한 컨버터를 사용하고 있으며 차량에는 고용량의 퓨즈와 복잡한 전선 연결 및 안전보장장치의 꽤 비싼 추가 비용이 요구될 것이다. 이러한 급속 충전 기술은 각 나라에서 수행된 여러 가지 시범운행사업의 경험에서 보듯이 사용자들의 사용빈도에 있어서 기대치에 훨씬 못 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 높은 설치비가 요구되는 급속충전장치들을 자동차회사들이 채택하는데 꺼리고 있는 실정이다. 유럽에서는 32A까지 공급하는 단상 전원 공급 시스템을 최소 공통 모드로 생각하고 있다. (3상 전원이 모든 나라에서 사용되고 있지 않음.)

그럼에도 불구하고 기술적인 관점에서 본다면 3상전원 시스템에서 전력을 받는 것이 훨씬 더 낫다. (정현파 전류가 공급되면 순수 직류를 전지측에 흘려줄 수 있기 때문이다.)

기술적인 관점에서 위와 같은 사항을 고려해서 정리해보면 가정에서의 충전과 더 높은 전력을 공급하는 충전소에서 가능한 복합적인 형태가 될 것이다.

i) 충전기는 어떠한 형태의 전원에 연결되는가를 구별할 수 있어야 한다.

ii) 플러그 시스템은 기존의 시스템과 호환성이 있어야 하고 양쪽에 다 사용될 수 있어야 한다.

iii) 높은 출력으로 충전할 때는 충전소와 차량사이에 정보교류가 필수적이다. 이러한 추가적인 기능이 감지되지 않았을 때는 즉 일반적인 가정용 소켓에 꽂았을 때는 충전기를 가정용 전류의 최대 전류값에 자동적으로 조정될 수 있어야 한다.

iv) 전체 시스템은 보급되는 순간부터 사용될 수 있어야만 한다.

따라서 기존의 시스템과의 호환성이 매우 중요하다.

v) 국제 표준 규격에 적합하여야 한다.

## 3.2 충전 아키텍처 사양

3.1절에서 언급한 국내 실정 및 제반 고려사항은 고려해서 1차적으로 적용할 아키텍처는 컨덕티브 충전이 주종을 이루고 Level2 타입이 가장 경제적인 시스템이 될 것이다. 각각의 사양은 다음과 같다.

### 3.2.1 충전기 사양

- 탑재형 : 입력 전압 220V 용량 3.5kWh 미만
- 별치형(급속) : 입력전압 380V 출력전압 DC 500V 최대 허용전류 400A
- 최소효율 : 85%이상
- 최소 역률 : 96%이상
- 돌입 전류(In-rush current)제한 : 최대 정격 전류의

110-400%

### 3.2.2 벽 설치용 충전 Box 사양

i) 220V 32A AC 단상 전원 60Hz

ii) 32A. 최대연속전류를 흘리면서 40A 회로 차단기가 내장

iii) RCD (Residual Current Device)/GFCI (Ground Fault Current Interrupt) ( $\leq 30\text{mA}$ )가 포함되어야 한다. 전기자동차를 연결 해제한 1초 후에 커넥터의 단자전압은 30V를 넘지 않아야 한다.

iv) Control Pilot

-차량이 적합하게 연결되었는지 확인.

-접지선이 제대로 연결되었는지 확인.

-control pilot 회로가 적합하게 작동하면 시스템이 전원을 공급할 준비가 되어있음을 나타냄.

-control pilot 회로가 방해받으면 시스템의 전력공급을 차단하는 기능.

v) 역전류 방지 기능

### 3.2.3 충전 스탠드 사양

벽 설치형 충전 BOX사양의 ii)-v)가 포함.

i) 220V AC 단상 전원 60Hz 32A

ii) 2개의 32A 소켓과 1개의 16A 소켓으로 구성

iii) 상단부는 소켓들과 관련된 전류차단기와 전류가 흐를 때 각 소켓에 불이 들어오는 파이롯트 램프로 구성되어 있으며 30mA 누설 전류 차단기도 여기에 취부.

iv) 아랫부분은 주 전류 차단기와 충전 요금 부과기능이 취부

v) 잠금 장치 및 열쇠가 취부 (카드 결제 타입의 slot형태도 가능)

## 3.3 작동

### 3.3.1. 가정에서의 충전(mode1)

충전 케이블은 차량과 분리되어 있다. 전원 공급측의 케이블은 기존의 가정용 플러그 형태이거나 NEMA 14-50의 플러그 형태를 가지고 있으면서 기존의 가정용 플러그에 꽂을 수 있도록 어댑터가 부착되어 있을 수도 있다. 손쉽게 충전할 수 있고 기존의 가정용 전원 플러그를 쓸 수 있는 시스템이 선호될 것이다.

### 3.3.2. 주차장에서의 약간 변형시킨 인프라를 이용한 충전(mode2)

주차장이나 차고에서 충전할 때는 NEMA 14-50 시스템의 설치가 바람직하다.이럴 경우 최대로 많은 전류(16A)를 이용하여 충전할 수 있다.

### 3.3.3. mode1하에서의 충전 스탠드에서의 충전

어떤 특정한 통신체계를 채택하지 않으면 차량이 연결되었는 것을 감지한 후 기계적인 스위치를 작동함으로써 충전이 시작된다. 연결이 이루어진 후 전압이 스파크 없이 투입되고 16A 주차단용 퓨즈는 회로의 일부가 된다. 원칙적으로 이 방법으로 모든 기존 차량들은 이러한 인프라에 의해서 충전되어 질 수 있고 사용자들은 예전의 충전 방법과 별다른 차이점을 느끼지 못한다.

### 3.3.4. mode3하에서의 충전 스탠드에서의 충전

mode3 충전은 control pilot에 의한 통신이 이루어질 때의 충전 형태이다. 이러한 상태에서는 차량 인터페이스에 32A까지 공급될 수 있다. 선택사양으로 전원공급 계통을 관리하는 전력회사에서는 입력 전류에 적합한 값을 선정할 pulse duty factor방법으로 탑재형 충전기에 최대 충전가능전류를 표시하는 기능을 줄 수도 있다.

#### 4. 결 론

인덕티브와 콘덕티브 충전방식이 시장점유율을 가지고 서로 경쟁을 할 것이다. 이것은 가장 성능이 우수한 차량이 사용하는 기술이 우위를 점령해서 일반적으로 사용될 여질 가능성이 매우 높다. 그러나 지금의 시점에서는 두 가지 다 사용될 것이며 많은 시간과 돈이 안전 표준과 표준화 작업에 투여 될 것이다.

전기자동차의 보급이 증가되면서 급속 충전 스탠드의 보급도 증가될 것이다. 충전소의 네트워크도 처음에는 시범 운행 사업이 시작되는 특정지역에서부터 점차 증가될 것이다.

처음에 전기자동차가 도심 내에서 운행되는 자동차로 고려되면 도심 내에 극소수의 충전소만 있으면 충분할 것이다. 점차적으로 이런 도심 내의 인프라 스트럭처가 전기자동차 사용범위의 증가로 나라전체의 인프라 스트럭처로 발전되어 갈 것이다.

성공적인 충전 아키텍처는 한편으로는 소비자가 요구하는 것을 만족해야하고 다른 한편으로는 전원계통에 새로운 설비를 할 필요가 없이 기존의 설비로써 충분히 가능하여야 한다. 그러나 인덕티브 충전이나 DC급속충전일 경우에는 그러하지 못하다. 현재의 인프라 구축은 계란이 먼저냐 닭이 먼저냐하는 논쟁과 같다. 전기자동차의 수요가 많지 않으면 인프라 구축이 되지 않으며 전기자동차의 보급은 확산되지 않는다. 결론적으로 특별한 하드웨어를 소개하지 않았지만 개념적인 관점에서 경제적인 충전 아키텍처를 제시하였다. 향후에 기술수준과 경제 상황에 맞추어 필요한 부분은 더 수정 보완될 수 있을 것이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Stirling B. Lane R. "Progress in the development of EV infrastructure". EA Technology TR 4150, March 1997.
- [2] 하 회 두, "전기자동차의 국내의 현황 및 연구동향", 전기학회지 제47권 5호, pp5-9, 1998.5.