

# 전기자동차 충전기용 스마트 분전반 및 그 제어방법

김명수, 홍순찬  
단국대학교 전자전기공학과

## Smart Panel Board for EV Charger and Its Control Method

Myeong Soo Kim and Soon Chan Hong  
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

### ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차 충전기용 스마트 분전반과 그 제어방법을 제안한다. 제안한 시스템은 정상시에 완속충전기에 전력을 공급하고, 충전요금이 저렴한 경우부하시간대에는 스마트 분전반 내의 배터리에 전력을 충전한다. 하지만 완속충전기가 연결된 전원선 중 어느 한 상의 전력소비가 상대적으로 커지거나 피크부하 시 또는 정전 시에는 배터리로부터 전력을 계통에 공급한다. 이렇게 하면 계통으로부터 공급받는 전력량이 감소되어 피크부하 값이 저감될 뿐만 아니라 전원설비의 이용률과 전력품질이 개선되는 이점이 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 수행하여 제안한 시스템의 유용성을 확인한다.

### 1. 서론

교토의정서에 의해 국가별 이산화탄소 감산이 의무화되고 최근 전기자동차에 대한 소비자의 요구가 증대되고 있어 향후에는 기존의 가솔린 엔진 차량이 친환경 교통수단인 전기자동차(EVs : Electric Vehicles)로의 교체가 예상된다. 서울특별시 환경영향평가 조례 제29조 제2항에 의한 “건축물 및 정비사업의 환경영향평가 항목 및 심의기준”<sup>[1]</sup>에서 전기자동차의 도입 계획 수립 및 총 주차구획의 5% 이상 주차구획별 전력인입(충전시설, 15[A]이상) 계획을 수립하도록 규정하고 있다. 최근에는 하나의 충전기로 여러 대의 전기자동차를 동시에 충전할 수 있도록 2채널 또는 다채널 충전기가 보급되고 있다. 또한 충전 전력요금에 계절별, 시간대별 2~4배의 차이<sup>[2]</sup>가 있어 하루 중 특정 시간대에 충전부하가 어느 한 상에 집중될 경우 삼상 전원을 사용하는 급속과 달리 완속은 단상 AC 220[V]의 전원을 사용하므로 전압강하와 상간 불평형이 발생하여 중성선에 이상 전류가 흐르게 된다. 이때 전력망의 공통 결합점에 연결되어 있는 전기 및 정보통신기에 나쁜 영향을 미친다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 완속충전기에 의해 발생하는 각 상에서의 전압강하를 최소화하고 피크부하 값 조절이 가능한 전기자동차 충전기용 스마트 분전반과 그 제어방법을 제안한다.

### 2. 제안한 시스템 및 제어방법

#### 2.1 시스템의 구성

제안한 시스템은 그림 1에서와 같이 기존의 충전기용 분전반<sup>[4]</sup>에 배터리(리튬전지), 충전회로, 인버터 및 제어기로 된 SVC(Step Voltage Compensator)와 MC(Magnetic Contactor)

로 구성된다. 배터리는 충전과 방전을 반복하는 리튬전지를 직렬로 연결하여 3[kW] 전력을 공급하도록 한다.

충전회로는 다이오드 정류기와 양단 포워드 변환기로 구성되며, 단상 AC 220[V]의 전원을 DC 150[V]로 변환하여 SVC 내의 배터리를 충전한다. 인버터는 DC전압을 AC전압으로 변환하고 필요시 배터리에 충전된 에너지를 방전하여 전력을 공급한다. MC 스위치는 제어신호에 의해 선택적으로 다양한 전력을 배분하는 기능을 수행한다. 제어기는 각 상에 연결된 배터리의 충전 및 방전과 MC의 스위칭을 제어한다. 제안한 시스템의 결선도, 제어도 및 제어시퀀스는 그림 1, 그림 2 및 그림 3과 같다.

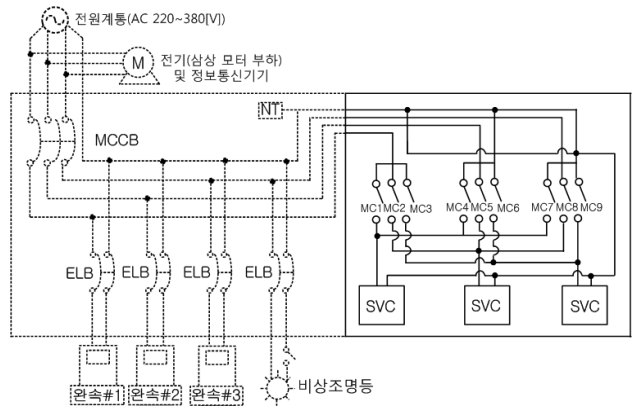


그림 1 제안한 시스템의 결선도  
Fig. 1 Schematic of the proposed system

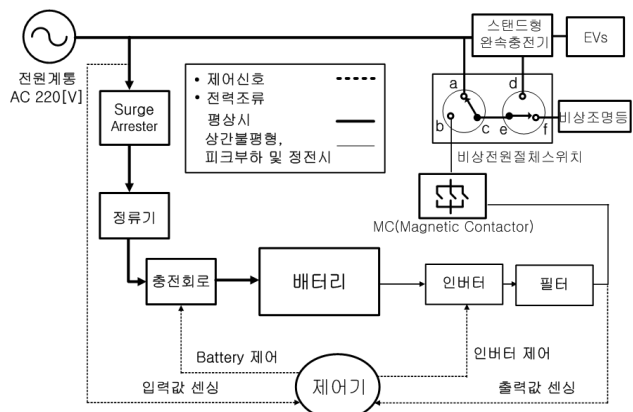


그림 2 제안한 시스템의 제어도  
Fig. 2 Control diagram of the proposed system

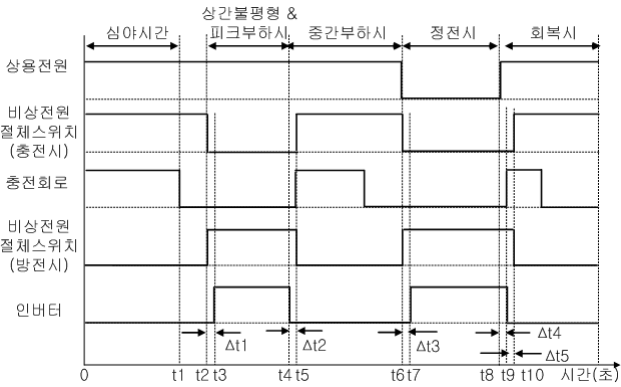


그림 3 제안한 시스템의 제어시퀀스  
Fig. 3 Control sequence of the proposed system

### 2.2 충전 스케줄링에 의한 전력제어

기준에 설치된 완속충전기의 전력소비특성을 분석한 결과, 일일 시간대별 1회당 충전 전력량은 5~12.72[kWh] 범위에 있으며 일일 평균 충전 전력량은 7.8[kWh]으로서 충전시간은 약 1시간 소요된다<sup>[5]</sup>. 이처럼 충전 전력량의 변동률이 최저값 대비 약 56.8[%]로 매우 크므로 충전 스케줄링 제어알고리즘을 통해 전체 충전 전력량과 각 상에서의 충전 전력량을 비교하여 충전 동작을 사전에 예측하여 배터리로부터 부족한 전력을 공급하면 각 상에서의 전압강하와 피크부하의 억제가 가능할 뿐만 아니라 정전 시에도 배터리로부터 일정시간 동안 비상전력의 공급이 가능하다.

그림 4는 충전 스케줄링에 의한 제어알고리즘을 나타내며 동작 설명을 위한 초기 조건으로서, 인버터는 turn off된 상태이다. 전원계통으로부터 상용전원 AC 220[V]가 완속충전기 및 비상조명등에 전력을 공급하고 있는 상태로 가정한다. 만약 사용자의 요구에 의해 충전이벤트가 발생하면 충전대기 중인 전기자동차의 충전정보를 입력받아 충전 전력량을 스케줄링한다. 이때 사용자의 충전요구 전력량이 변압기에서 공급 가능한 전력량을 초과하거나 충전조건이 변경될 경우 우선순위를 두어 충전 스케줄링을 재설정하여 완속충전기에 전력을 공급한다.

하지만 평상시 완속충전기가 동작하지 않는 시간 또는 경부하 시간대에 SVC 배터리의 SOC값이 85%보다 작을 경우, SOC가 100%까지 배터리에 충전하고 “충전 완료”를 나타내는 Display가 점등되고 Rectifier가 turn off되어 배터리에 대한 충전 동작이 정지된다. 상간 불평형 또는 피크부하가 예상되면 제어기에 의해 비상전원절체스위치가 고정접점(c)에서 가동접점(b)으로 절체되며 동시에 고정접점(e)에서 가동접점(d)으로 연결된다. 이어서 일정시간( $\Delta t1$ )이 경과한 후, 인버터가 turn on되어 각 상의 완속충전기에 전력을 공급한다. 전력이 공급됨에 따라 SVC 배터리의 SOC값이 감소하여 20% 미만이 될 경우 고정접점(c)가 가동접점(a)로 절체되어 계통으로 연결되고 정전시 비상전력을 확보하기 위하여 인버터가 turn off되고 동작을 중지한다.

정전이 발생할 경우, 절체스위치가 고정접점(c)에서 가동접점(b)로, 동시에 고정접점(e)에서 가동접점(f)로 절체된다. 이어서 일정시간( $\Delta t3$ )이 경과한 후, 인버터가 동작하여 비상조명등에 비상전력이 공급된다. 이렇게 비상전력이 공급됨에 따라 SOC가 10%이하 보다 낮아지면 배터리의 원활한 동작과 보호

를 위하여 인버터가 turn off되고 “배터리 잔량부족”을 나타내는 Display가 점등된다. 상용전원으로부터 정전으로부터 회복된 경우, 반대로 회복시점(t8)로부터 일정시간( $\Delta t4$ )이 경과한 후, 인버터가 turn off되고 동작이 정지한다. 이어서 일정시간( $\Delta t5$ )이후에 비상전원절체스위치의 고정접점(c)가 가동접점(a)으로 절체되며 동시에 고정접점(e)에서 가동접점(f)으로 연결되고 상용전원으로 회복된다.

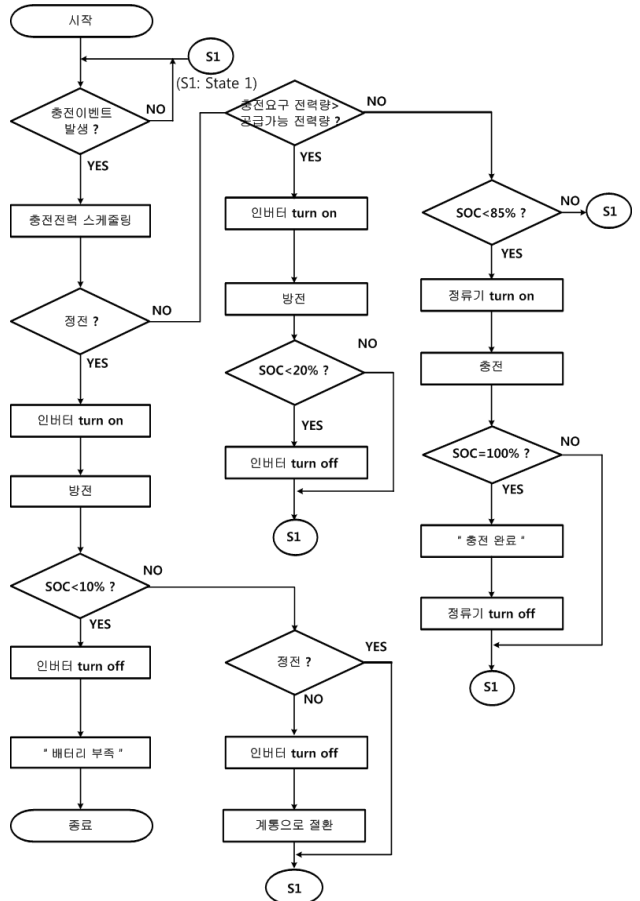


그림 4 제안한 시스템의 제어알고리즘  
Fig. 4 Control algorithm of the proposed system

### 3. 시뮬레이션 및 결과분석

그림 5는 제안한 시스템의 충전 및 방전회로가 결합된 회로로서 SVC가 각 상에 설치되는 점을 감안하여 하나의 SVC를 대상으로 각각의 회로별로 시뮬레이션을 수행한다.

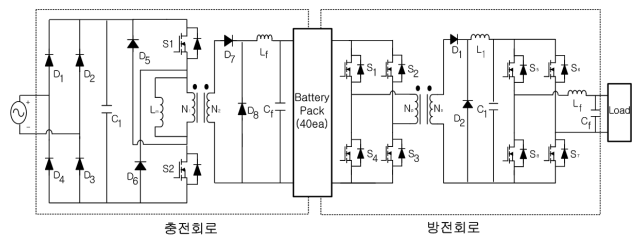


그림 5 시뮬레이션 회로  
Fig. 5 Simulation circuit

충전회로는 전브리지 정류기, 양단 파워드 변환기, 변압기, 필터와 배터리팩으로 구성된다. 배터리팩은 셀당 3.8[V]/20[A]인 40개의 배터리를 직렬로 접속하여 구성한다. 충전회로는 배터리를 단상 AC 220[V]에서 DC 200[V]로 변환하여 배터리를 충전한다. 그림 6과 같이 배터리에 전력이 정상적으로 충전하는 것을 알 수 있다.

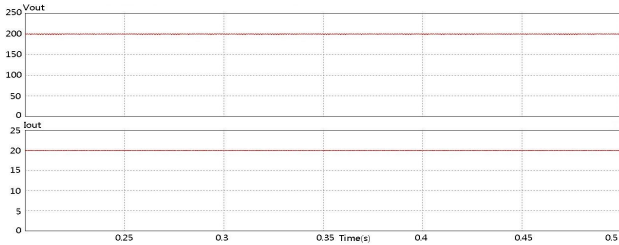


그림 6 충전기의 입력 전압/전류 파형

Fig. 6 Waveforms of input voltage/current of charger

방전회로는 단상 전브리지 컨버터와 변압기, 부스트 컨버터, 인버터, 필터로 구성된다. 인버터는 DC 150[V] 전압을 AC 220[V] 전압으로 변환하고 인버터의 출력전압/전류 파형은 그림 7과 같다. 이렇게 인버터의 출력전압과 전류 파형을 통하여 정상적으로 방전 동작이 되는 것을 알 수 있다.

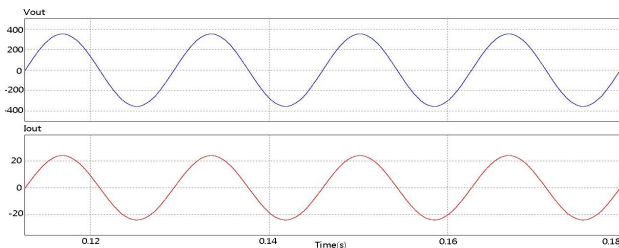


그림 7 인버터의 출력 전압/전류 파형

Fig. 7 Waveforms of output voltage/current of inverter

표 1에서와 같이 전기자동차를 운행하는 07:00~19:00 시간대에는 SVC의 배터리에 전력을 충전하였다가 퇴근시간 이후 방전하면 21:00~22:00 시간대 충전전력 피크값이 10.88[kWh]에서 7.31[kWh]로 저감되고 04:00~05:00 시간대에는 12.72[kWh]에서 7.85[kWh]로 저감된다. 피크부하 값 비교곡선은 그림 8과 같다.

표 1 시간대별 1회당 평균 충전 전력량 비교

Table 1 Comparison of hourly average charging power per charge

충전 시간대	1회당 평균 충전 전력량[kWh]		
	기존	제안 후	방전 전력량
19:00~20:00	8.11	8.08	0.03
20:00~21:00	9.40	8.42	0.98
21:00~22:00	10.88	7.31	3.57
22:00~23:00	10.39	6.85	3.54
23:00~24:00	9.48	6.64	2.84
00:00~01:00	9.84	7.57	2.27
01:00~02:00	10.75	7.67	3.08
02:00~03:00	12.23	8.08	4.15
03:00~04:00	12.08	8.61	3.47
04:00~05:00	12.72	7.85	4.87

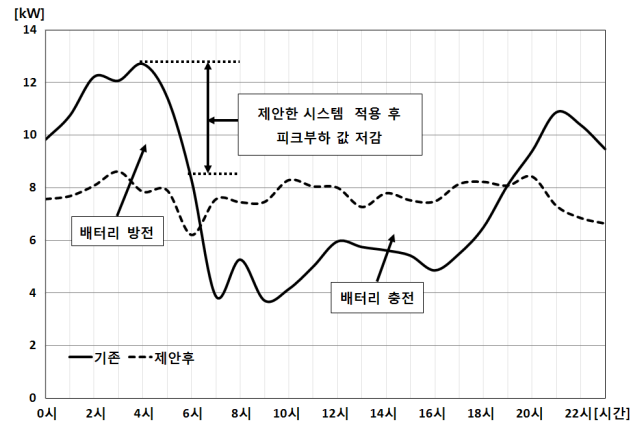


그림 8 피크부하 값 비교곡선

Fig. 8 Comparison curves of peakload values

이러한 결과로 부터 각 상에서의 상간 불평형과 피크부하가 억제되어 시간대별 1회당 충전 전력량의 피크값이 최대값 대비 38[%] 저감이 가능하다. 또한 충전설비와 관련된 비상조명등에 별도의 비상전원을 공급하기 위한 배관 및 배선의 설치가 불필요하므로 전원설비 용량이 부족한 기존 건물에 설치가 간단할 뿐만 아니라 비상발전기 용량이 감소되는 이점이 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 시스템은 기존의 충전기용 분전반과 달리 에너지 저장장치인 배터리를 포함하고 전력분배장치를 통하여 다양한 전력을 공급하도록 구성하였다. 또한 충전 스케줄링 제어알고리즘을 통하여 각 상에서의 충전 전력량을 사전에 예측하여 자체적으로 부족한 전력을 공급하도록 하였다. 그리고 충전 및 방전 회로별로 시뮬레이션을 수행하여 제안한 회로가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Seoul Metropolitan Government, "Item and Review Criteria of The Environmental Impact Assessment on Building and Maintenance Business (Redevelopment · Reconstruction)", The Environmental Impact Assessment Bylaw 29rd Clause Article 2, 2011.
- [2] Electricity Supply Agreement, Korea Electric Power Corporation, 2014.
- [3] Seung Yong Lee, Young Min Seo, Myeong Soo Kim and Soon Chan Hong, "Boost Type Inverter System for Compensation of Voltage Sag", Proceedings of International Conference on Power Electronics ECCE Asia, pp. 2757 2762, 2011.
- [4] Electric Vehicle Charging Infrastructure Installation and Operation Instructions, Ministry of Environment, 2012.
- [5] Myeong Soo Kim and Soon Chan Hong, "Set up a Demand Factor of EV Chargers and Its Control Method in Apartments", Journal of KIIEE, Submission Paper, May, 2014