부하평준화를 고려한 V2G 시스템의 배터리 수명 최적화 기법

신창현* · 김도윤* · 원일권* · 김영렬** · 원충연*
성균관대학교* · 안양대학교**

The Method of Battery Lifetime Optimization for V2G System considering Load Leveling

Chang Hyun Shin* · Do Yun Kim* · Il Kuen Won* ·
Young Real Kim** · Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University* · Anyang University**

ABSTRACT

The development of smart grid technologies will enable enhanced utilization of electric vehicles(EV) as portable energy storage devices which can provide power system wide. Because significant increase of EV in the near future, V2G(Vehicle to Grid) system will soon become a reality. This paper presents the optimal method of a battery lifetime depending on depth of discharge(DOD) considering load leveling.

1. 서론

V2G는 전기 수요가 적은 경 부하 시간대에 전력을 전기자동차에 충전하고 전기 수요가 많은 피크부하시간대에 전력을 계통에 송전해 줌으로써 신재생에너지의 도입에 따른 전력품질의 저하를 막고 부하평준화에 따른 전력안정화를 수행한다[1].

본 논문은 V2G시스템의 운용에서 배터리의 최적 DOD 선정에 따른 배터리의 에너지 및 수명 최적화기법을 제안한다. 또한 제안한 기법을 20kW급 전기자동차 배터리 충전 시스템에 적용하여 향후 전기자동차 보급의 증가에 따른 부하평준화능력을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

2. 본론

2.1 20kW급 전기자동차 배터리 충전 시스템

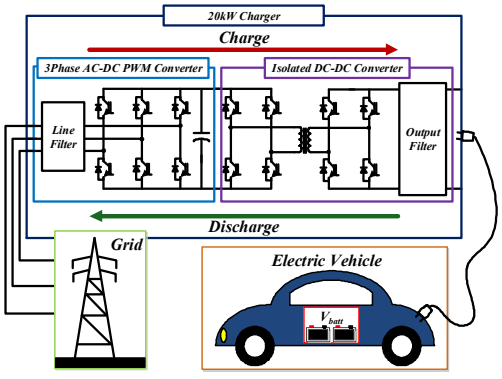

그림 1 DC출력을 가지는 20kW급 전기자동차용 충전기
Fig. 1 20kW charger for EV with DC output

그림 1은 20kW급 전기자동차용 배터리 충전기와 전력흐름을 보여준다. 본 시스템을 이용하여 계통과 배터리의 상호적인 V2G 운용이 가능하다. 경 부하시간 때에 3Phase AC DC PWM 컨버터와 절연형 DC DC 컨버터를 통하여 계통으로부터 전기자동차용 배터리를 충전하며, 피크 부하시간에 배터리에 충전된 전력을 계통으로 역 송전 한다.

2.2 최적 DOD 선정

배터리의 수명 최적화 기법은 최적의 배터리 DOD 선정이 우선시된다. 부하평준화 개념을 적용하여 배터리의 DOD에 따른 충/방전 사이클(Achievable Cycle Count, ACC) 및 수명 사이클 동안의 전체 사용 가능 용량(Total Transferable Energy)을 고려하여 최적의 DOD를 선정한다.

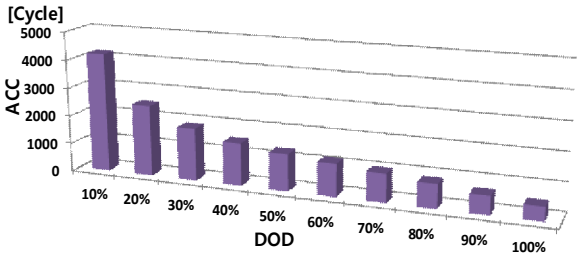

그림 2 DOD에 따른 리튬이온 배터리 사이클
Fig. 2 A Li-ion battery cycle depending on DOD

그림 2는 전기자동차용 배터리의 DOD에 따른 ACC를 나타낸다. 일반적으로 배터리는 DOD를 작게 사용할수록 배터리의 수명은 길어진다. V2G 시스템에서 단순히 부하평준화만을 고려하여 충/방전 용량을 선정한다면 배터리 자체의 수명 사이클은 고려하지 못한다. 따라서 배터리의 수명 사이클 동안 전체 사용 가능 용량을 고려해야하며 이는 식 (1)로 계산된다.

(1)

여기서, D와 $ACC(D)$는 각각 선정한 DOD와 그에 따른 충/방전 사이클이다. 효율은 전기자동차용 배터리의 충/방전 시의 효율을 말하며 본 논문에서는 고려하지 않았다. 여기에 배터리 용량인 $Battery\,size$를 곱하여 전체 사용 가능 용량이 계산된다.

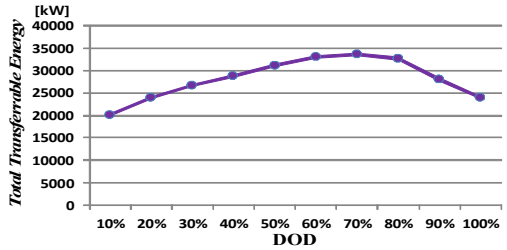

그림 3 DOD-ACC 특성에 대한 Total transferable energy
Fig. 3 Total transferable energy with DOD-ACC characteristic

그림 3은 배터리의 각 DOD에 따른 ACC동안의 Total transferable energy를 나타내며, 이때 배터리의 수명 동안 가장 많은 에너지를 사용할 수 있는 DOD는 70%이다. 또한, 전기자동차용 배터리 연비를 5km/kWh를 기준으로 출/퇴근 시 사용되는 배터리 용량을 고려할 때 최소 DOD 50%이상을 사용하여야한다. 그러므로 피크시간의 방전전력 및 배터리의 수명을 최적화할 수 있는 DOD를 70%로 선정하였다.

2.3 부하평준화 및 국내 현황

V2G 시스템은 최대 전력의 감소와 최소 전력의 상승, 즉 peak shaving과 valley filling을 통하여 부하를 평준화한다. 이것은 곧 부하율을 상승시키며, 식 (2)와 같다.

$$\text{부하율} = \frac{\text{평균 전력}}{\text{최대 전력}} \times 100 \qquad (2)$$

최근 후쿠시마 원전 사고 및 국내 안전면의 부정사례 속출되고 있지만 현재 원자력은 전 세계 전력의 약 14%를 공급하고 있고, 우리나라 발전량의 31%을 차지하고 있다.

이에 따라 본 논문은 국내의 전기자동차 보급 목표를 적용한 V2G 시스템의 효용성을 국내 원자력 발전소의 발전량과 비교분석하였다.

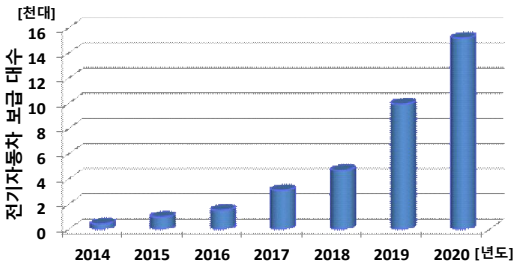

그림 4 국내 전기자동차 보급 목표
Fig. 4 The supply aim of EV in the country

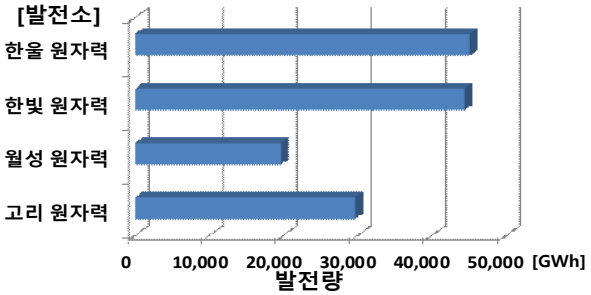

그림 5 국내 원자력 발전소의 발전실적
Fig. 5 The power generation amount of domestic nuclear power plants

그림 4는 국내 전기자동차의 보급 목표 대수를 나타낸다. 전기자동차 기술의 발전으로, 향후 전기자동차 시장은 점진적으로 증가하다가 2015년을 시작으로 매년 50% 이상의 성장률을 기록할 것으로 예측된다[2].

그림 5는 국내 원자력 발전소의 발전실적을 나타내며 1978년 4월 고리원전 1호기가 첫 상업운전을 시작한 이후 원자력발전소를 지속적으로 건설해 왔고, 현재 총 23기의 원자력발전소를 운영하고 있다. 국내 원자력발전량은 2013년 기준 138,783GW이며, 원자력 발전소 1기의 하루 발전량은 평균 16.53GW이다[3].

3. 최적 DOD 적용 시뮬레이션

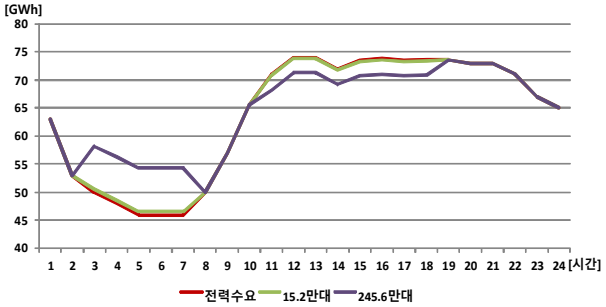

그림 6 전기자동차 대수에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 6 The result of simulation with number of EVs

그림 6은 최적 DOD인 70%를 적용한 V2G 시뮬레이션 결과이다. 국내 2013년 8월의 부하패턴에 적용하였으며 시뮬레이션 결과, 전기자동차의 대수가 15.2만대보다 245.6만대일 때가 부하율이 더 상승하였으며, 시간당 82.5GW를 충전하고 27.4GW를 방전하여 더 많은 부하평준화를 이루었다는 것을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 V2G 시스템 적용 시 배터리의 수명을 고려한 최적 DOD선정기법을 제시하였으며 그에 따른 부하평준화 능력을 분석하였다. 제시한 기법을 통해 배터리의 에너지를 보다 더 효율적으로 사용할 수 있으며, 하루에 632GkW의 부화평준화를 수행함을 확인하였다.

제시한 V2G 시스템을 통해, 최대 부하 시간대에 원자력 발전소 1기의 하루 평균 발전량의 1.32배에 해당하는 전력의 감소 효과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참 고 문 헌

[1] Corey D. White, K. Max Zhang, “Using vehicle to grid technology for frequency regulation and peak load reduction”, J. Power Sources, Vol. 196, pp. 3972 3980, April, 2011.

[2] 최진영, 박은성, “스마트그리드 환경에서 전기자동차 배터리를 이용한 V2G의 활용방안에 관한 연구”, 전기학회논문지. Vol. 63P, No. 1, pp. 40 45, Mar, 2014.

[3] 전력거래소, “13년 8월 전력계통 운영실적”, Sep, 2013.