

# V2G 시스템에서 배터리의 열화특성을 고려한 OPEX 최적화 알고리즘

황준하\* · 신민호\* · 고안열\* · 김영렬\*\* · 원충연\*  
성균관대학교\* · 안양대학교\*\*

## The Operating Expenditure Optimal Algorithm considering Battery's Wear Features for V2G System

Jun Ha Hwang\* · Min Ho Shin\* · An Yeol Ko\* · Young Real Kim\*\* · Chung Yuen Won\*  
Sungkyunkwan University\* · Anyang University\*\*

### ABSTRACT

전력망과 전기자동차 배터리를 연계하여 양방향으로 전력을 송전하는 V2G(Vehicle to Grid) 시스템은 충/방전 시 AC/DC PWM 컨버터와 양방향 DC/DC 컨버터를 사용한다. 기존 V2G 시스템은 컨버터에 충전 지령과 방전 지령을 줄 때, 전기요금과 배터리의 용량만을 고려하여 지령을 주었다. 본 논문에서는 배터리의 열화특성을 비용으로 나타내고 전기요금과 배터리의 용량을 같이 고려하여 OPEX(Operating Expenditure)로 나타냈다. 또한 사용자의 입장에서 최적의 OPEX를 구하는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 1. 서 론

V2G 시스템은 전기자동차의 보급과 충전인프라가 갖추어지면서 지속적으로 연구되고 있다. V2G 시스템은 AC/DC PWM 컨버터와 양방향 DC/DC 컨버터 같은 충/방전 제어가 가능한 컨버터를 사용한다. 이와 같은 컨버터의 충/방전 지령은 사용자의 예상 OPEX를 계산하여 결정하였다. 기존에는 예상 OPEX 계산 시 전기요금과 배터리의 용량만을 고려하여 OPEX를 구했다. 하지만 본 논문에서는 배터리를 사용할 때 발생하는 배터리 열화비용을 포함하여 전체 OPEX를 산출하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 배터리의 DOD에 대한 Cycle과 총에너지

일반적으로 배터리를 사용할 때 선정한 DOD에 따라 충/방전 가능 용량이 결정되고, 높은 DOD 일수록 배터리의 충/방전 가능 총 Cycle 이 줄어든다<sup>[1]</sup>. 식 (1)은 배터리의 수명동안 사용 가능한 총에너지 량을 나타내며, DOD에 따른 배터리의 충/방전 가능 총 Cycle이 고려된다<sup>[2]</sup>.

(1)

식 (1)에서 'D'는 DOD, '2'는 충전과 방전시의 에너지 출입을 의미한다. DOD에 대한 Cycle이 비선형적으로 변하기 때문에 사용가능한 에너지 량 또한 비선형적인 곡선으로 나타난다. 그림 1은 DOD에 따른 Cycle 곡선과 수명 동안 사용가능한

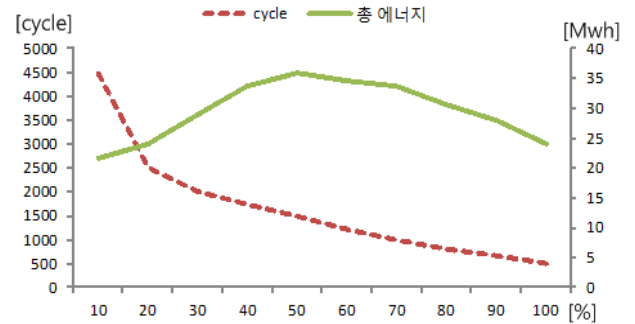


그림 1 DOD에 따른 ACC와 사용가능한 전체 배터리 에너지  
Fig. 1 The available total energy and ACC considering DOD

배터리의 총에너지 량을 나타낸다. DOD가 낮을수록 총 Cycle은 늘어나고, DOD 50%에서 배터리의 총에너지 량이 가장 크울 알 수 있다.

#### 2.2 배터리의 열화비용을 고려한 OPEX

계산된 총에너지 량을 토대로 배터리 열화비용은 식(2)를 통해 계산된다.<sup>[2]</sup>

$$AWC = \frac{\text{battery price}}{\text{cycle}} \quad (2)$$

배터리 열화비용은 배터리의 단위 용량 당 가격을 화폐화한 것으로 배터리의 총에너지가 클수록 비용이 낮아진다. AWC(Average Wear Cost)를 이용하여 소비되는 요금은 AWC와 배터리 사용량의 곱으로 구할 수 있다.

배터리열화비용과 전기요금, 배터리 용량을 고려한 OPEX는 식 (3)으로 계산된다.

$$OPEX = AWC(Q_c + Q_d) + m(k \times rate_c \times Q_c - (1-k)rate_d \times Q_d) \quad (3)$$

식 (3)에서  $Q_c$ 는 충전 량,  $Q_d$ 는 방전 량,  $rate_c$ 는 충전 시 전기요금,  $rate_d$ 는 방전 시 전기요금,  $k$ 는 배터리 충전 시 1,

방전 시 0 을 사용한다. 배터리는 충전과 방전을 동시에 하지 않기 때문에  $k$ 를 상수로 구분하였다.  $m$ 은 자동차가 주행할 때 방전하는 량을 고려한 것으로서, 주행하지 않고 계통에 연결하여 배터리를 충/방전 할 때를 1 로 나타낸다. 자동차 주행 시 전기요금과는 상관없이 자동차가 자체적으로 전력을 소모하므로  $m$ 을 0으로 사용한다.

### 2.3 제안하는 알고리즘

그림 2는 본 논문에서 제안하는 알고리즘 순서도를 나타낸다. 제안하는 알고리즘은 배터리의 가격, 용량에 따라 변하는 AWC를 고려하여 최소의 OPEX를 찾는다.

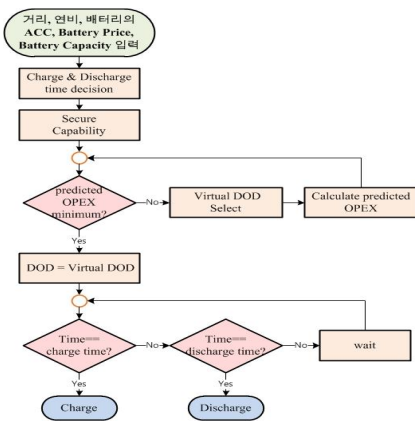


그림 2 제안하는 OPEX 최소화 알고리즘 순서도  
Fig. 2 Proposed OPEX minimizing algorithm flow chart

알고리즘 초기 상태에서 전기자동차의 연비와 배터리 정보 등을 입력받아 전기요금에 따른 적절한 충/방전 시간의 우선순위를 결정하고, 용량 계산 후에 현재시간과 비교하기 위해 충/방전 시간을 저장시킨다. 다음 단계로 전기자동차가 주행할 때 사용할 배터리의 용량을 입력받은 거리와 연비데이터를 이용하여 확보한다. 확보한 용량보다 높은 용량을 사용할 수 있는 가상의 DOD를 선정하여 사용가능한 배터리 용량을 계산 후, 식 (3)을 통해 최소의 OPEX가 계산되는 DOD를 찾는다. 찾은 DOD를 시스템에 적용시켜 최대 사용 가능한 배터리의 용량을 결정하고, 현재시간이 충전시간과 일치하면 충전지령을, 방전시간과 일치하면 방전지령을 출력한다.

### 2.4 배터리 충방전 시스템

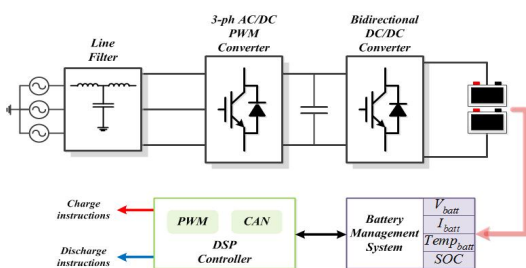


그림 3 배터리 충방전 시스템  
Fig. 3 Discharging and charging system of battery

그림 3은 전기자동차용 배터리 충/방전 시스템을 나타낸다. 알고리즘의 충/방전 지령이 DSP컨트롤러의 PWM신호를 통해, 출력된다. 출력된 PWM신호는 AC/DC PWM 컨버터와 양방향 DC/DC 컨버터에 입력되며, 각 컨버터의 스위칭 소자들은 PWM 지령에 따라 충/방전을 수행한다.

### 2.4 시뮬레이션

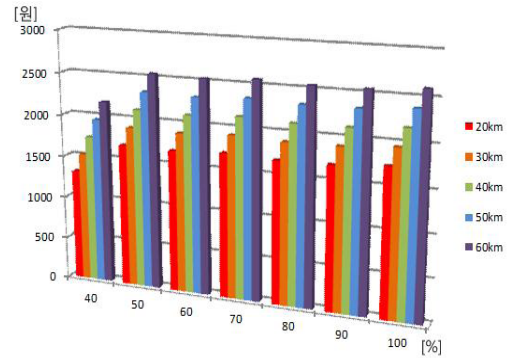


그림 4 조건에 따른 OPEX  
Fig. 4 The OPEX depending on condition

알고리즘을 검증하기 위해, 현재 상용화 된 전기자동차의 사양인 연비 7km/kWh, 배터리의 용량 24 kWh와 1 kWh 당 60 만원을 입력 값으로 선정하였다.

그림 4는 거리를 20~60km까지, DOD를 40~100%까지 변화시킴에 따른 OPEX의 변화를 나타낸다. 알고리즘 적용 시, 최소의 OPEX가 발생하는 DOD 40%에 최적화되어 충/방전 지령이 발생하게 된다. 기존기법에서는 주행에 사용한 배터리 용량을 제외한 나머지 용량을 모두 역송전하므로 선정된 DOD는 100%이다. 따라서 DOD가 40%일 때와 100%일 때를 비교하면 425원의 이득이 발생하게 된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 V2G시스템에서 OPEX를 계산 할 때, 배터리 열화비용과 전기요금, 배터리 용량을 고려하는 OPEX를 제안 하였다. 또한 OPEX를 최소화 시키는 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

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

### 참 고 문 헌

- [1] 이순정, 김준혁, 김철환 “전기자동차 V2G 시스템 적용의 타당성 분석”, 2013 대한전기학회 전력기술부문회 추계 학술대회 논문집, pp. 218 220, 10, 2013.
- [2] Sekyung Hana, Soohee Hanb, Hirohisa Akic “Practical Battery Wear Model for Electric Vehicle Charging Applications”, Applied Energy, Vol. 113, pp. 1100 1108, January, 2014.