

## 배터리 열화비용을 고려한 V2G 시스템의 수익예측

(The Prediction of Total Revenue of V2G System Considering Battery Wear Cost)

원일권\* · 김도윤 · 고안열 · 신창현 · 황준하 · 김영렬 · 원충연\*\*

(Il-Kuen Won · Do-Yun Kim · An-Yeol Ko · Chang-Hyun Shin ·  
Jun-Ha Hwang · Young-Real Kim · Chung-Yuen Won)

### Abstract

Recently, research on the smart grid that combines ICT(Information & Communication technology) to the power system has been actively progressed. If the occupancy of the EV(Electric vehicle) is increased, the V2G(Vehicle to grid) system is available which constitutes the micro-grid through battery of EV. V2G system performs load leveling and efficient energy consumption by battery operation considering load condition. But, if the battery is used only depending on the electricity rates, it does not consider the life of the battery. The ACC(Achievable cycle) and the total transferable energy of battery varies corresponding to the selected DOD(Depth of discharge). In this paper, the optimal DOD selection method of V2G system considering battery wear cost and average driving distance of EV. Also, the total revenue prediction of various nation is presented considering the actual electricity costs per hour.

Key Words : Achievable Cycle, Battery Wear Cost, Depth of Discharge, V2G, Total Transferable Energy

### 1. 서 론

최근 기존의 전력계통에 정보통신기술을 접목한 스마트 그리드에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 이차전지의 연구개발을 통해, 전력을 저장해 두

었다가 가장 필요한 시기에 전기에너지를 공급하여 에너지 효율을 향상시키는 ESS(Energy storage system)와 UPS(Uninterruptible power supply)와 같은 기술이 발전되면서 에너지의 효율화 및 계통 시스템의 안정을 도모할 수 있게 되었다[1-3]. 현재 이차전지 중 가장 각광받는 전지는 리튬이온 전지이며, 에너지 밀도가 매우 높고 자기 방전율이 5% 이내로 작은 특성을 가진다. 주로 EV내에 모터구동용으로 많이 사용되고 있으며, 향후에도 배터리의 양산이 적극적으로 이루어 질 예정이며, 그에 따라 배터리의 가격 또한 하락할 것으로 예상되며 EV의 점유도 점차 증가할 예정이다. EV의 점유율이 증가할 경우, 계통상황에 따라

\* Main author : Combined Master/Ph.D, Colleague of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

\*\* Corresponding author : Professor, Colleague of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

Tel : 031-290-7164, Fax : 031-290-7179

E-mail : ganzipers@skku.edu

Received : 2014. 12. 23

Accepted : 2015. 2. 16

EV의 내장 배터리를 분산전원으로 활용하여 마이크로그리드 형성이 가능하며, 이를 V2G라 한다. 현재 전 세계적으로 EV의 공급 및 개발이 활발히 이루어지는 가운데 전기자동차의 배터리를 휴대용 에너지 저장 장치로 활용할 수 있는 방안 및 기술의 발전으로 V2G 시스템은 곧 현실로 다가올 전망이다. 일반적으로 V2G 시스템은 전기요금이 낮은 경 부하 시간에 EV의 배터리에 충전을 하며, 전기요금이 높은 피크부하에 저장된 전력을 역 송전함으로써 부하평준화를 수행함과 동시에 EV사용자의 에너지 효율화를 이룰 수 있다 [4-5].

따라서 V2G 시스템의 운용에 있어 배터리는 가장 중요한 요소가 되며, 전기자동차의 사용자의 입장에서는 배터리의 수명관리 및 안정적인 배터리의 운용이 필수적이다. 배터리의 사이클은 배터리의 선정 DOD 및 충/방전 온도 등에 영향을 받아 결정된다. 선정된 DOD 및 ACC에 따라 배터리의 전체 수명동안 사용가능한 전체 에너지량이 결정된다. V2G와 EV의 운용에 있어 사용가능한 전체 에너지량이 가장 높은 DOD를 선정하는 것이 가장 효율적인 에너지 운용이라 할 수 있다. 본 논문에서는 EV 배터리의 사용 DOD(Depth of discharge)에 따른 배터리 열화비용을 고려해 최적의 V2G 시스템의 DOD 선정 기법을 제안하였다. 또한 선정된 DOD를 사용한 국가별 시뮬레이션을 통해 V2G 시스템의 향후 수익을 예측하였다.

## 2. V2G 시스템

### 2.1 V2G 시스템의 개요

V2G 시스템은 V2G용 충전인프라 및 EMS(energy management system)의 핵심 요소기술로 구성되며, 통신기술을 비롯한 전력거래기술, 인증기술 및 보안기술 등의 융복합 기술이 적용된다.

V2G 기술 실현은 대규모 전기자동차의 보급이 전제가 되어야 한다. 즉 적은 수의 전기자동차는 전력량이 소규모이므로 전력망 사업자 입장에서는 전력망운영에 큰 도움이 되지 않는다. EV의 점유가 점차 증가할 경우 계통 상황에 따라 EV의 내장배터리를 분산전

원으로 활용하여 마이크로그리드의 형성이 가능하며, 전력망과 전기자동차 배터리의 전원을 연계하여 양방향으로 전력을 전송 및 역 송전함으로써 부하평준화를 수행함과 동시에 EV사용자의 에너지 효율화를 도모할 수 있다[6-9].

하루 중 계통이 감당하는 부하 전력은 일반적으로 오전 10~12시와 오후 4~6시 경에 피크 부하가 발생된다. 이런 피크 부하 때문에 부하율이 하락하게 되며 순간적인 피크 부하는 정전 사고로 이어질 수 있다. 한편 일반적으로 EV 차량 내부에는 높은 전류 밀도를 가진 리튬 계열의 대용량의 배터리가 내장되어 있다. 그렇기 때문에 위에서 제시한 피크 부하로 인한 문제점을 EV에 내장된 배터리를 이용한 역 송전 기법을 통하여 해결할 수 있다. 즉, EV가 충전기와 연결되면 피크 부하에서 요구되는 전력 수요를 계통과 연계되어 있는 배터리에서 에너지를 충족시킨다. 또한 리튬 계열의 배터리는 방전 효율이 높아 순간적인 피크 부하에도 효과적으로 보상될 수 있다. 이러한 전기자동차의 배터리를 휴대용 에너지 저장 장치로 활용할 수 있는 방안 및 기술의 발전으로 V2G 시스템은 곧 현실로 다가올 전망이다.



그림 1. V2G의 개념도  
Fig. 1. Conceptual diagram of V2G

### 2.2 전기자동차 보급 및 배터리 가격 추이

EV 배터리는 충전 속도와 출력을 고려하여 리튬

계열로 구성되며, 각 셀들을 직병렬로 연결하여 배터리 팩을 만든다. 배터리 팩을 제작함으로써 필요한 배터리의 정격전압과 용량을 확보할 수 있다. 따라서 배터리 팩의 에너지를 관리하는 BMS(Battery management system), 배터리 자체의 용량, 배터리에서 방전하는 에너지를 효율적으로 전환하기 위한 컨버터, 인버터 기술 등의 연구가 진행되고 있다. 리튬계 열 배터리의 특성상 nominal 구간과 배터리를 주로 사용하는 useable 구간으로 나뉜다[10]. 이는 BMS에서 DOD를 얼마나 설정하느냐에 따라 달라진다. 그림 2는 2020년까지 예상되는 배터리의 nominal 구간과 useable 구간의 용량 당 가격을 나타낸다. 2020년까지 배터리팩의 가격이 대략 \$600정도로 하락하는 것을 확인할 수 있다. 각 정부에서 발생하는 온실가스를 감축하기 위해 전기자동차 사용자에게 대한 금전적 지원을 확대하고 있다. 또한 전기자동차 관련 기술 개발을 위해 지속적인 투자가 이루어지고 있다. 이러한 지원을 바탕으로 전기자동차의 보급량은 꾸준히 늘어날 전망이다. 표 1은 각 국가의 전기자동차의 예상 보급량을 나타낸다.

표 1. 각 국가별 EV공급 예상 (단위 : 천 대)  
Table 1. Expected EV supply in each nation  
(Unit : 1,000 vehicles)

	2016	2018	2020
U.S.	1,240	2,013	3,910
Japan	1,220	1,764	2,289
EU	1,020	2,123	4,360
Korea	276	444	615
China	1,284	2,339	3,612
Others	711	1,457	2,250
Total	5,752	10,141	17,036

각 국가마다 보급량의 차이가 생기는 이유로는 현재 전기자동차를 운행할 수 있는 인프라가 설치되는 시기의 차이 때문이다. V2G 시스템을 구성하기 위해서는 부하를 담당할 수 있는 MW급의 전기자동차 배터리 용량과 전기자동차에 대한 인프라가 구축되어야 한다. 따라서 정부는 전기자동차를 효과적으로 운행

하기 위해 충전소 등의 전기자동차 인프라를 설치하여 시험 운행하고 있다.

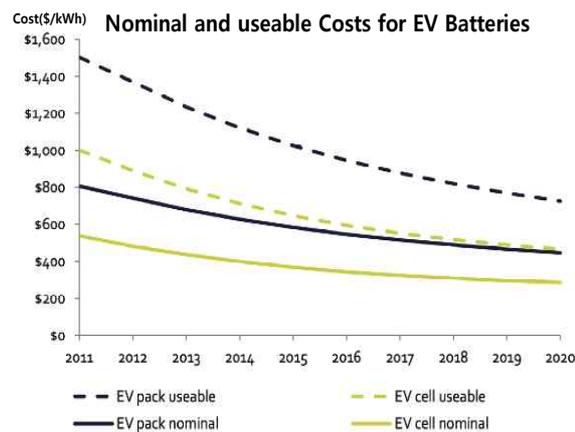


그림 2. EV 배터리의 용량 당 가격 변화추이  
Fig. 2. Change in prices of EV batteries per capacity

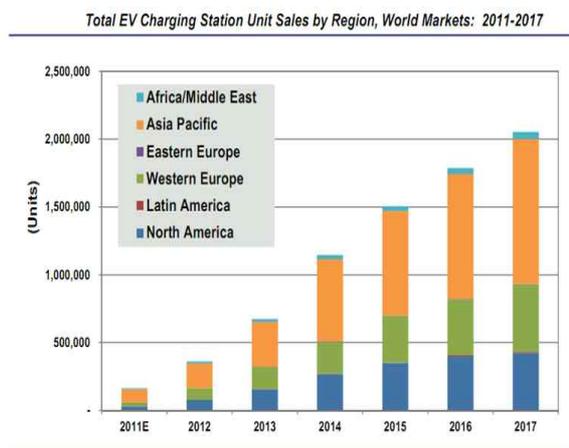


그림 3. 국가별 EV 충전소 수 현황 및 예상량  
Fig. 3. Total EV charging stations and prediction for each nation

그림 3은 미국, 유럽, 아시아의 2011년부터 2017년까지 설치하고 있는 전기자동차 충전소의 수를 나타낸다. 따라서 향후 전기자동차의 보급률과 각 충전소마다 양방향으로 EV 배터리를 충·방전할 수 있는 인프라가 구축된다면 V2G 시스템의 운영이 가능할 것이다.

### 3. 배터리 열화비용

V2G 시스템을 전기자동차 사용자가 운용할 시 단순히 전기요금만을 고려해 충·방전용량을 산정할 경우 배터리 자체의 수명을 고려하지 못한다.

리튬이온배터리 자체의 수명은 V2G 시스템의 운용에 있어 가장 중요한 변수가 되며, 배터리의 운용 기법에 따라 V2G 시스템의 수익이 결정되게 된다. 사용자가 계통으로 역 충전하는 배터리의 방전 전력량이 V2G 시스템의 수익으로 결정되기 때문에 배터리의 실제 사용가능 용량의 정의가 먼저 이루어져야 한다. 따라서 DOD 선정에 의해 결정된 수명동안 배터리 전체 사용 가능 용량을 계산해야 하며 전체사용 가능 용량이 가장 큰 DOD를 선정해야 한다.

그림 4는 상온 25°C에서의 리튬이온 배터리의 사용 DOD에 따른 ACC를 보여준다. DOD는 사용자가 배터리를 사용할 때 지정하는 최대 방전 심도로 정의한다. 일반적으로 리튬이온 배터리는 DOD를 적게 사용할 때 ACC가 더 길어진다[11]. 그림 4와 같이 배터리의 설정 DOD가 100에 가까울수록 배터리의 ACC가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만 이러한 특성을 이용하여 배터리를 운용할 때, ACC를 늘리기 위해 너무 적은 DOD만을 이용하면 총 사용가능한 배터리의 용량이 줄어들어 배터리를 효율적으로 활용할 수 없게 된다.

또한 EV 내장 배터리의 특성 상 외부에 노출되어 있기 때문에 외부온도에 영향을 많이 받게 된다. 그림 5는 DOD 별 온도에 따른 ACC를 나타낸 그래프이다. 충·방전 시 배터리의 DOD를 많이 사용할수록 충·방전 사이클이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 25°C(Room Temperature) 전후로도 충·방전 사이클이 줄어드는데, 고온보다는 저온에서 특히 더 많이 줄어든다. 이는 모든 배터리의 화학적 성질은 낮은 온도에서 크게 감소하기 때문이다[12-16].

리튬-이온 배터리의 안전한 동작을 위한 온도 범위는 -20°C~60°C사이 이며 -20°C 이하의 저온에서는 대부분의 리튬 계열 배터리는 기능이 정지된다. 따라서 V2G의 운용에 있어 온도조건에 대하여 명확한 동작기준이 필수적이다.

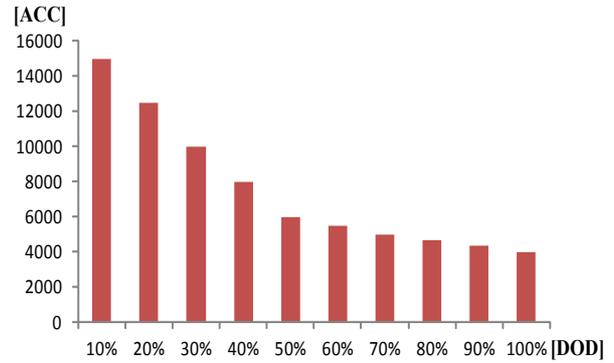


그림 4. DOD에 따른 리튬이온배터리의 ACC  
Fig. 4. ACC of Li-Ion battery corresponding to the DOD

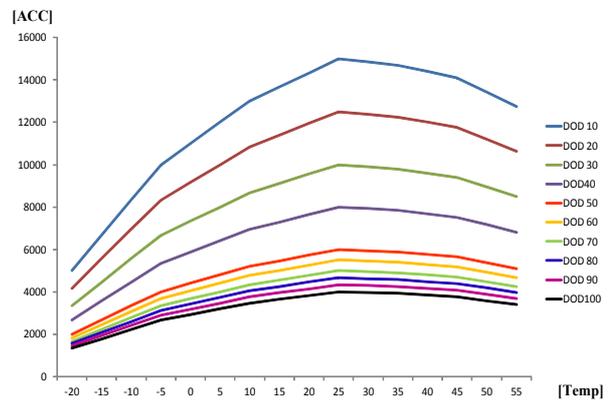


그림 5. 온도와 DOD에 따른 리튬이온 배터리의 ACC  
Fig. 5. ACC of Li-Ion battery corresponding to the temperature and DOD

DOD에 따라 배터리가 전체 수명동안 사용할 수 있는 전체 에너지는 수식 (1)로 계산된다.

이때  $D$ 는 선정한 DOD이며, DOD에 따라 배터리가 사용할 수 있는 용량은  $D \times \text{Battery Capacity}$ 로 정의된다.

$$\begin{aligned} & \text{Total transferable energy} \\ & = \text{Cycle}(D) \times 2 \times D \times \text{Battery Capacity} \times \text{efficiency}^2 \quad (1) \end{aligned}$$

$\text{Cycle}(D)$ 는 해당 DOD에서의 수명 사이클이다. 1 Cycle은 해당 DOD에 따라 사용가능한 용량만큼 완전충전, 완전방전을 1회 완료함으로 정의하며, 이에 따라 수식에 2를 곱해야 한다.

효율은 충·방전 효율을 의미하며, 본 논문에서는 고려하지 않았다. 수식(1)을 통해 선정된 DOD에 따라 실제 배터리가 수명동안 사용가능한 에너지의 양을 계산할 수 있다. 그림 6은 선정된 DOD에 따른 total transferable 에너지를 나타낸다. 계산된 전체 에너지를 토대로 선정 DOD에 따른 배터리 열화비용(Average wear cost)은 수식 (2)를 통해 계산된다.

$$AWC(D) = \frac{\text{Battery Price}}{\text{Total transferable energy}} \quad (2)$$

배터리 열화비용은 배터리 단위 용량을 화폐화 한 것이다. 배터리 열화비용은 배터리가 선정된 DOD에서 수명동안 사용할 수 있는 전체에너지를 배터리의 실제가격으로 나눈 값이다. 배터리 열화비용을 통해 배터리의 단위용량에 따른 가격을 추산함으로써 실제 배터리 사용에 따른 배터리의 열화를 가격화할 수 있다[17].

따라서 배터리가 수명 동안 사용할 수 있는 전체 용량이 클수록 배터리 열화비용이 작아지게 된다.

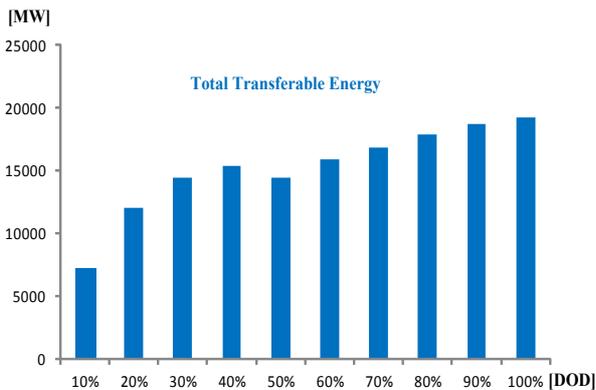


그림 6. DOD에 따른 Total transferable energy  
Fig. 6. Total transferable energy corresponding to the DOD

그림 7은 25°C에서의 DOD에 따른 총 사용 가능 용량 및 그에 따른 배터리 열화비율을 나타낸다. EV의 배터리 용량은 24kW로 선정하였고 가격은 1kW당 \$600 달러로 책정하였다.

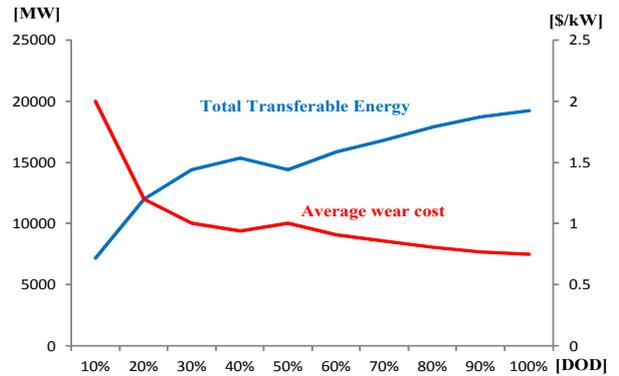


그림 7. ACC와 DOD에 따른 Average wear cost  
Fig. 7. Average wear cost according to ACC and DOD

일반적으로 DOD를 적게 사용할수록 전체 사이클은 늘어나지만 전체 사용가능한 용량은 작아진다. 전체 에너지는 DOD에 따라 최저 9,000kW에서 최대 24,000kW까지 변하며 DOD가 100일 때 사용 가능한 전체에너지가 24,000kW로 가장 큼을 알 수 있다. 그에 따라 배터리 열화비용은 DOD가 100일 때 가장 적게 계산됨을 알 수 있다.

따라서 사용자 입장에서 V2G 시스템을 운용할 시 DOD를 100으로 사용하는 것이 가장 배터리의 수명 및 열화비용 고려 시 최적 점임을 알 수 있다. 따라서 V2G 시스템의 사용자가 최대 수익을 낼 수 있는 DOD는 100임을 알 수 있다.

리튬이온 배터리의 종류 및 특성에 따라 설정한 DOD에 따른 ACC는 가변적이다. 따라서 사용하는 리튬이온 배터리의 특성에 따라 total transferable 에너지를 가장 많이 사용할 수 있는 DOD를 설정하여 EV 및 V2G를 운용해야 한다.

#### 4. 연비 및 최소 필요 DOD

전기자동차 사용자가 V2G 시스템을 운용할 경우 사용자의 하루 평균 운전 거리를 고려해야 한다.

V2G의 운용은 피크 부하 방전 이후의 전기자동차의 이동거리가 고려되어야 하며 해당 운용거리를 운행할 수 있는 최소한의 배터리 용량이 확보되어야 한다. 사용자가 V2G를 최대이윤을 추구하는 방향으로

운용하기 위해서는 최소의 출·퇴근 거리를 위한 최소한의 배터리의 용량을 제외한 배터리 용량을

계통에 연계하여야 한다. 표 2는 하루 평균 주행 거리에 따른 최적 DOD 선정을 나타낸다. 전기자동차의 주행특성 및 연비를 통해 하루 평균 주행거리에 따른 최소 배터리 용량이 제시되어 있다.

전기자동차는 구동모드일 때 배터리를 방전하여 모터를 구동하고, 회생모드일 때 모터에서 발생하는 역기전력으로 배터리를 충전하게 되는데 구동모드와 회생모드를 포함한 연비를 통해 평균 주행거리 당 필요한 배터리 최소용량을 산정한다. 전기자동차 사용자가 V2G 시스템을 통하여 최대한의 이익을 얻기 위해서는 하루에 EV운용을 최소로 하고 남는 전력을 계통으로 역 송전해야 한다.

본 논문에서 사용하는 리튬이온 배터리의 최대 사용 가능 용량을 최대화시킬 수 있는 DOD는 100이며, 이때 배터리 열화비용이 가장 작다. 최소의 운전거리 운용을 위한 필요잔여용량을 제외한 실제 역 송전 가능한 DOD를 표 2로 근사화할 수 있다[18].

표 2. 하루 평균 주행 거리에 따른 최적 DOD  
Table 2. Optimal DOD considering average driving distance per a day

거리 (km)	필요잔여용량(kW)	선정DOD
0 - 10	0.72	90
10 - 20	1.5	90
20 - 30	2.2	90
30 - 40	3	80
40 - 50	3.6	80
50 - 100	7.2	70

### 5. 국가별 시뮬레이션

V2G 시스템을 이용한 국가별 연간 이윤을 예측하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 국가별 시간당 온도와 전기요금 데이터와 소비전력량을 통해 국가별 연간 이윤과 부하평준화의 능력을 확인할 수 있다.

시뮬레이션에서 사용되는 한국의 전기요금은 한국

전력공사에서 제공하는 전기요금을 기준으로 작성하였으며, 미국의 전기요금의 경우 일리노이주를 기준, 일리노이드 전체전력의 80%를 공급하는 전력회사인 Exelon Company의 the Residential Real-Time Pricing(RRTP) program 가격을 이용하였다. 시뮬레이션 조건으로는 사용자가 최대 이윤을 내기 위해 하루의 평균 주행거리에 필요한 최소한의 배터리 전력을 제외한 나머지 전력을 V2G 시스템에 사용하였다. 하루 평균 주행거리는 30-40km로 선정하였으며 그에 따라 총 80%의 DOD에 해당하는 용량을 V2G 시스템에 활용할 수 있다. 배터리의 용량은 24kW로 선정하였으며 배터리의 안정적인 충·방전 제어를 위해 C-rate는 0.5로 고정하였다.

V2G 시스템의 구축에 필요한 정보통신비용은 고려하지 않았다. 국가별 시간 별 전기 요금 특성 상 최소 경 부하시간에 충전을 수행하고 피크 부하 시에 방전을 각각 시간당 0.5C씩 1회씩 수행하는 것이 사용자 입장에서 최대 이득을 얻게 한다.

따라서 사용자의 효율적인 에너지 사용을 위해 각 계절별 전기요금에 최적화된 충·방전 패턴을 적용하였으며, 선택된 DOD로 하루에 1회 충·방전을 수행하였다. 그림 8, 9, 10, 11은 미국의 계절별 전기요, 금, 온도 및 충·방전 패턴을 보여준다.

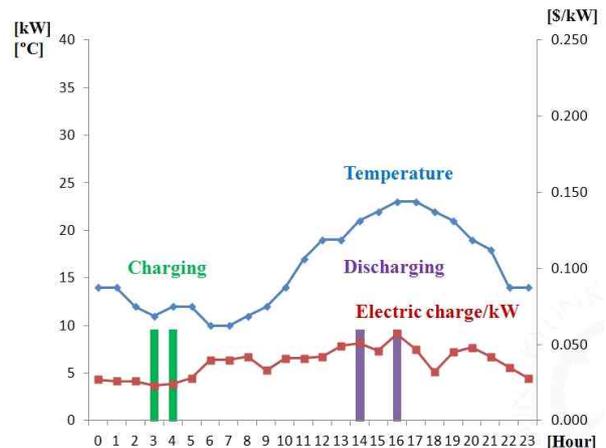


그림 8. 미국(봄)의 전기요금, 온도 및 충·방전패턴  
Fig. 8. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of the United States (Spring season)

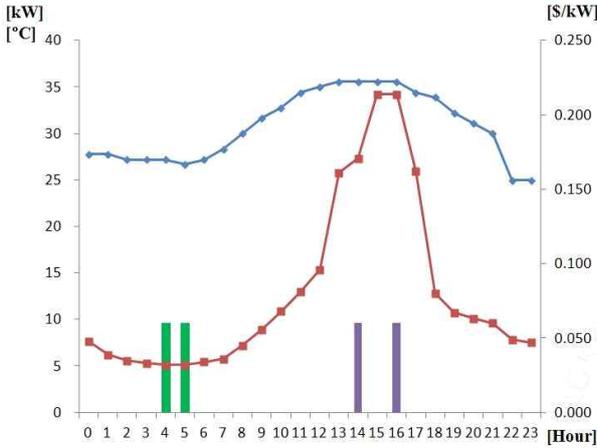


그림 9. 미국(여름)의 전기요금, 온도 및 충·방전패턴  
 Fig. 9. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of the United States(Summer season)

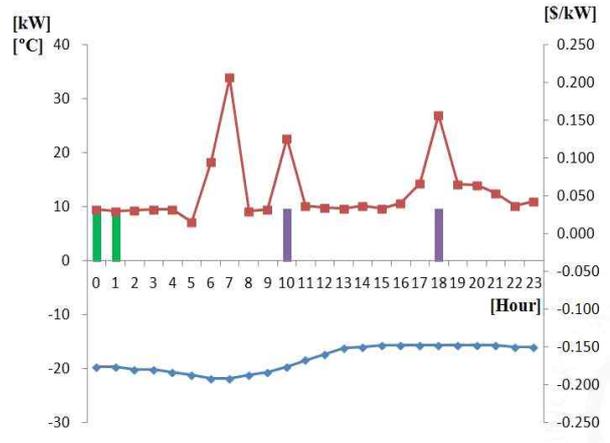


그림 11. 미국(겨울)의 전기요금, 온도 및 충·방전패턴  
 Fig. 11. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of the United States(Winter season)

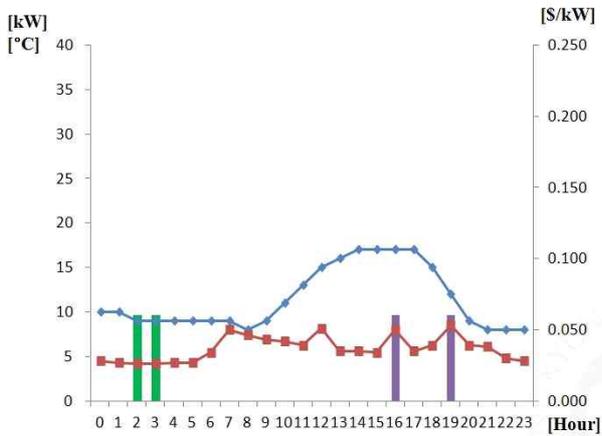


그림 10. 미국(가을)의 전기요금, 온도 및 충·방전패턴  
 Fig. 10. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of the United States(Fall season)

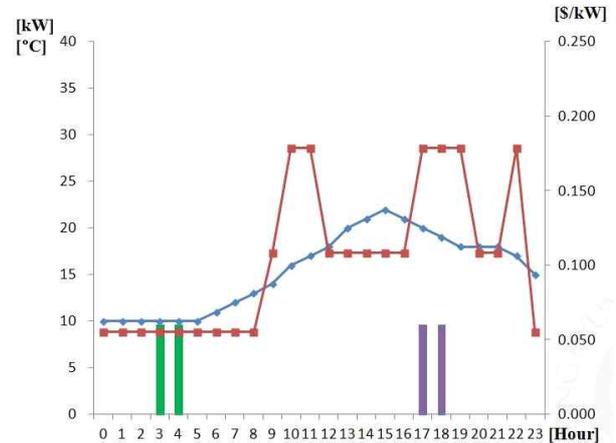


그림 12. 한국(봄)의 전기요금, 온도 및 충·방전 패턴  
 Fig. 12. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of Korea(Spring season)

계절별로 시간에 따른 전기요금이 달라지기 때문에 최적의 충·방전 시간을 고려하여 충·방전을 수행해야 한다. 또한 겨울의 경우 온도가 -20°C 이하로 떨어지는 시간대가 존재하므로 배터리의 동작 온도 조건에 의해 그 시간 동안에는 충·방전을 수행하지 않았다. 그에 따른 결과로 봄, 여름, 가을 그리고 겨울에 각각 하루당 \$0.586, \$3.082, \$0.490 그리고 \$2.127의 이윤을 창출할 수 있는 것을 확인할

수 있었다.

여름 및 겨울의 전기요금을 확인해보면 시간에 따른 전기요금의 차이가 봄·가을에 비해 좀 더 큼을 알 수 있다. 그에 따라 V2G운용에 따른 하루의 이윤 값이 여름과 겨울에 더 큼을 알 수 있다. V2G를 운용할 시 미국에서의 개인 당 연간 수익은 약 \$565로 계산 가능하다.

그림 12, 13, 14, 15는 한국의 계절별 전기요금, 온도

및 충전·방전 패턴을 보여준다. 미국과 비교했을 때 한국의 전기요금은 시간별로 선형적인 특성을 보여주며 경부하와 피크부하의 차이가 선명함을 알 수 있다. 그에 따른 결과로 한국의 경우, 봄, 여름, 가을 그리고 겨울에 각각 하루당 \$2.371, \$2.371, \$0.879 그리고 \$1.021의 수익이 나는 것을 확인할 수 있다. V2G를 운용할 시 한국에서의 개인 당 연간 수익은 약 \$598로 계산 가능하다.

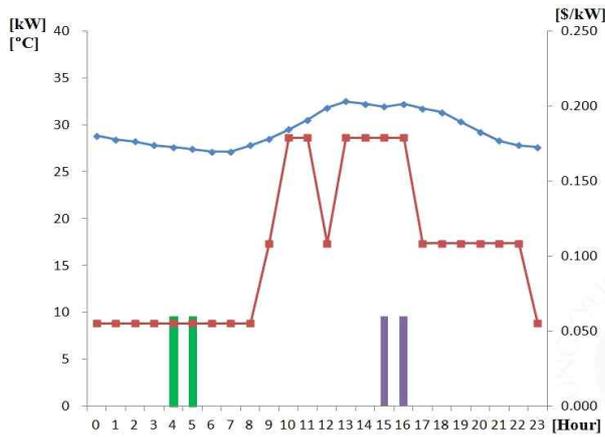


그림 13. 한국(여름)의 전기요금, 온도 및 충전·방전 패턴  
Fig. 13. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of korea(Summer season)

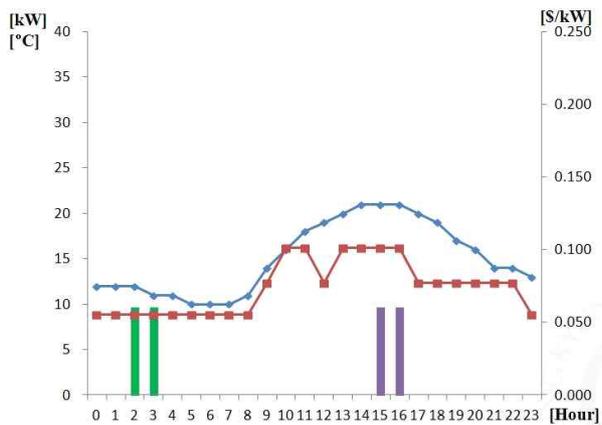


그림 14. 한국(가을)의 전기요금, 온도 및 충전·방전 패턴  
Fig. 14. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of korea(Fall season)

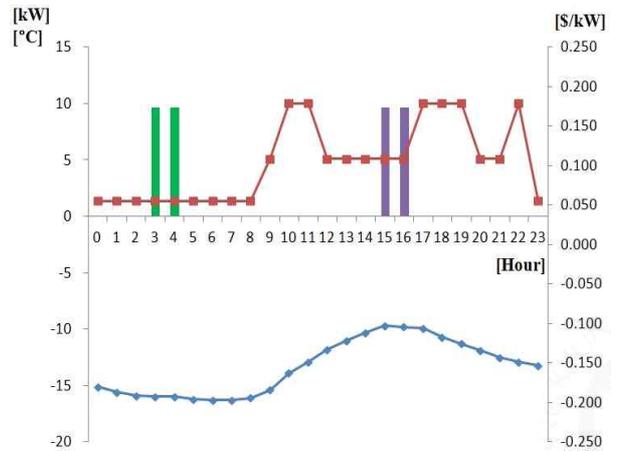


그림 15. 한국(겨울)의 전기요금, 온도 및 충전·방전 패턴  
Fig. 15. Electric charge, temperature and charging · discharging patterns of korea(Winter season)

본 논문에서 제시한 기법을 통해 사용자가 EV의 내장된 배터리의 사양에 따른 최적의 DOD를 선정함으로써, 효율적인 에너지사용과 V2G를 통한 최대 이익을 예측할 수 있는 이점이 있다. 하루 평균주행 거리에 따라 계통에 연계할 수 있는 배터리의 용량이 달라지므로, 개인당 연간 수익량도 변하게 된다. 앞서 설명한 조건으로 시뮬레이션을 수행하였을 때 미국과 한국의 전기료를 비교해보면 결국 경부하와 피크부하 시간의 전기요금 차이가 크면 클수록, 혹은 비쌀수록 V2G의 이윤 값은 증대될 것으로 예상할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 EV배터리의 사용 DOD에 따른 배터리 열화비용을 고려해 V2G 시스템의 최적 DOD 선정 기법을 제안하였다. 또한 선정된 DOD를 사용한 국가별 시뮬레이션을 통해 V2G 시스템의 향후 수익을 예측하였다. V2G의 운용에 있어, 배터리의 선정 DOD에 따른 배터리 열화비용을 고려함으로써, 배터리 전력을 최적으로 활용할 수 있다. 또한 실제 국가별 시간별 전기요금을 적용해 V2G를 통한 연간 수익을 예측 가능하다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A2A2A05006744).

## References

- [1] "EPRI-DOE of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications," EPRI, and the U.S. Department of Energy, Palo Alto and Washington, CA and DC, 2003, EPRI-DOE no. 1001834.
- [2] S. B. groupe Energie, "Energy Storage Technologies for Wind Power Integration," Tech. Rep., Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées, 2010.
- [3] D. Manz, O. Schelenz, R. Chandra, M. d. R. S. Bose, and J. Babić, "Enhanced Reliability of Photovoltaic Systems With Energy Storage and Controls," Tech. Rep., National Renewable Energy Laboratory, 2008.
- [4] Lan Liu, Christopher Sohn, "Economic assessment of Lithium-Ion batteries in terms of V2G utilisation" ICEPE.2012 pp 934 - 938 Oct. 2012.
- [5] Jie Wu, Jia Wang, Kun Li, Hai Zhou, Qin Lv, Li Shang and Yihe Sun, "Large-Scale Energy Storage System Design and Optimization for Emerging Electric-Drive Vehicles" IEEE trans, Vol32, No. 3, Mar, 2013.
- [6] C. Guille, G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," Energy Policy, VOL. 37, ISSUE 11, PP. 4379-4390, Nov. 2009.
- [7] Corey D., White, K. Max Zhang, "Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction," J. Power Source, VOL. 196, ISSUE 8, PP. 3972-3980, April 2011.
- [8] Hisseini, S.S., Badri, A., Parvania M., "The plug-in electric vehicles for power system applications: The vehicle to grid (V2G) concept," Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), 2012 IEEE International, pp. 1101-1106, Sept. 2012.
- [9] Sayed Saeed Hosseini, Ali Badri, "The Plug-in Electric Vehicles for Power System Applications: The Vehicle to Grid (V2G) Concept", EnergyCon. 2012. pp 1101 - 1106, Sept. 2012.
- [10] Ding Zuowu, Wang Shulin, "Study about Lithium Battery's Characteristics" CMCE.2010, pp 639 - 642 Aug. 2010.
- [11] T. Guena, P. Leblanc "How Depth of Discharge Affects the Cycle life of lithium-Metal-Polymer Batteries", INTLEC. 2006, pp 1 - 8, Sept. 2006.
- [12] Yan Ji, Yancheng Zhang, and Chao-Yang Wang, "Li-Ion Cell Operation at Low Temperatures," J. Electrochem. soc. 2013, VOL. 160, ISSUE 4, PP. 636-649, Feb. 2013.
- [13] Jiang Fan, and Steven Tan, "Studies on Charging Lithium-Ion Cells at Low Temperatures," J. Electrochem. soc. 2006, VOL. 153, ISSUE 6, PP. 1081-1092, April 2013.
- [14] Languang Lu, Xuebing Han, Jianqiu Li, Jianfeng Hua, Minggao Ouyang, "A review on the key issue for

- lithium-ion battery management in electric vehicles," J. Power Sources, VOL. 226, PP. 272-288, March 2013.
- [15] M. C. Smart, B. V. Ratnakumar, C. -K. Huang, and S. Surampudi, "Performance Characteristics of Lithium Ion Cells For Low Temperature Applications," Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, 1998.
  - [16] M. C. Smart, B. V. Ratnakumar, L. Whitcanacka, K. Chin, "Performance characteristics of lithium ion cells at low temperatures," Battery Conference on Applications and Advances, 2002. The Seventeenth Annual, PP. 41-46, Jan. 2002.
  - [17] Sekyung Han, Sohee Han, Hirohisa Aki, "A practical battery wear model for electric vehicle charging applications," Applied Energy, VOL. 113, PP. 110-1108, Jan. 2014.
  - [18] Il-Kuen Won, Do-Yun Kim, An-Yeol Ko, Jun-Ha Hwang, Young-Real Kim, Chung-Yuen, "The Optimal DOD Selection method of V2G System considering Battery waring cost" The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp397-398, May, 2014.

## ◇ 저자소개 ◇



### 원일권 (元一權)

1986년 12월 5일생. 2013년 성균관대 전자전기공학과 졸업. 2013년~현재 성균관대 전자전기컴퓨터공학과 석박사 통합과정.



### 김도윤 (金度潤)

1985년 11월 30일생. 2011년 안양대 전자공학부 졸업. 2013년 성균관대 대학원 에너지시스템공학협동과정 졸업(석사). 2013년~현재 동대학원 태양광시스템협동과정 박사과정.



### 고안열 (高安悅)

1988년 2월 16일생. 2012년 남서울대 전자공학과 졸업. 2014년 성균관대 대학원 에너지시스템공학협동과정 졸업(석사). 2014년~현재 동대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사과정.



### 신창현 (申昌賢)

1986년 10월 17일생. 2014년 안양대 전자공학과 졸업. 2014년~현재 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학과 석사과정.



**황준하 (黃浚夏)**

1990년 2월 16일생. 2014년 안양대 전기 전자공학과 졸업. 2014년~현재 성균관대 대학원 에너지시스템공합협동과정 석사 과정.



**김영렬 (金瑛烈)**

1958년 9월 5일생. 1982년 서울대 전기 공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동대학원 전기 공학과 졸업(공학박). 1982~1987년 한국 기계연구소 부설 기업기술지원센터 연구원. 1993~1996년 한국항공우주연구소 선임 연구원. 1996년~현재 안양대 전기전자공학과 교수. 현재 본 학회 평의원.



**원충연 (元忠淵)**

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문 교수. 1998년~현재 한국 철도기술연구원 심사위원. 2006~2009년 한국전력공사 PQ 심사위원. 2006~2009년 차세대 첨단 도시철도시스템(한국건설교통기술 평가원) 기술개발사업 운영위원. 2006년~현재 (주)로템 기술자문 위원. 2010 ~2012년 도시철도공사 기술검증위원. 2007년~현재 삼성전기 에너지파워 연구센터장. 2011~2013년 직류표준화 연구회 회장. 2010년 전력전자학회 회장. 현재 성균관대 정보통신대학 전자전기공학부 교수.