

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2009.33.4.278

PHEV 시장 형성 시 전력망에 미치는 영향 및 최적 충전 제어 전략에 관한 연구

노철우* · 김민수†

(2009년 1월 7일 접수, 2009년 3월 9일 수정, 2009년 3월 9일 심사완료)

Study on the Power-Grid Impact and Optimal Charging Control Strategy with PHEV Market Penetration

Chul Woo Roh and Min Soo Kim

Key Words: Charging Control Strategy(충전 제어 전략), Impact(영향), PHEV(플러그인 하이브리드 전기자동차), Poisson Distribution(푸아송 분포), Power-Grid(전력망)

Abstract

Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) with capability of being recharged from the power-grid will reduce oil consumption. Also, the PHEV will affect the utility operations by adding additional electricity demand for charging. In this research, the power-grid impact by demand of PHEV charging is presented and the optimal charging control strategy for utility operators is proposed with simulated data. The penetration of PHEV is assumed to be 50% in the circumstances of Korean passenger car market and Korean power-grid market limitedly. To obtain smooth load shape and utilize the surplus electricity in power-grid at midnight and dawn, the peak of charging demand should be controlled to be located before 4:00 a.m., and the time slot which can supply the electricity power to PHEV should be allowed between 1:00 a.m.~7:00 a.m.

기호설명

- f : 푸아송 확률
- k : 발생사건수
- λ : 사건의 기대치
- e : Euler 수

1. 서론

이산화탄소 감축을 위한 세계적인 노력과 함께, 우리나라 정부 또한 2008년을 기점으로 ‘저탄소 녹색성장’의 가치를 내걸고 이를 위한 여러

신재생에너지 기술의 상용화를 강력히 유도하고 있다. 특히 수송기술 부문에서는, 현재 전량 수입하고 있는 석유에너지 의존의 굴레를 탈피하고, 보다 환경 친화적인 ‘그린카(Green Car)’로의 혁신이 시도되고 있다. 그린카와 관련된 세계적인 기술 추세는 크게 2가지의 대안을 제시하고 있는데, 궁극적인 미래 자동차의 모습이라 할 수 있는 수소 연료전지 자동차(FCV)와 전기자동차(EV)이다. 그러나 비용과 내구성에 관련된 상용화 문제, 그리고 차량의 에너지를 공급하기 위해 요구되는 각종의 인프라 문제가 대두되면서 향후 10년 이내에는 EV와 내연기관 차량(ICV)의 과도기적 모습이라 할 수 있는 PHEV(plug-in hybrid electric vehicle)의 상용화가 점차 현실이 되고 있다.

일본의 도요타(Toyota)는 프리우스(Prius)의 PHEV 방식인 프리우스2를 2009년 상용화할 예정

† 책임저자, 회원, 서울대학교 기계항공공학부
 E-mail : minskim@snu.ac.kr
 TEL : (02)880-8362 FAX : (02)873-2178
 * 서울대학교 대학원 기계항공공학부

이며, GM은 직렬형 파워트레인을 갖는 PHEV, Chevy Volt를 2013년에 상용화하는 계획을 발표했다. 우리나라의 자동차회사 또한 2015년을 목표로 PHEV의 상용화에 앞장서고 있는 등 세계 시장의 자동차 기술을 선도하고 있다.

이러한 PHEV의 등장은 차량의 구동에너지가 기존의 석유에너지로부터, 중앙전력망 또는 분산전원을 통해 공급받을 수 있는 '전기에너지'로 변환되는 에너지 흐름의 대변혁을 예고하고 있는 가운데, 최근 신재생에너지관련 분산전원망의 지속적인 시장 참여는 전력시장 자체의 확대를 동반하고 있어 PHEV와 함께 전력시장의 시너지 효과 또한 기대된다.

중앙전력망으로부터 충전에 필요한 전력을 공급받아야 하는 PHEV는 향후 시장이 형성되고 승용차가 차츰 PHEV로 교체되면서, 전력부하의 패턴을 바꿀 정도로 큰 시장이 될 것이다. 그러나 아직 국내에서는 PHEV의 시장형성에 따른 전력망에의 영향에 대한 연구 사례가 전무한 실정이다. 미국의 경우, EPRI(electric power research institute)⁽¹⁾에서 2001년 PHEV 성능 목표를 제시한 이래, 아직 실차 양산이 시작되지 않은 현재까지 이 데이터를 바탕으로 다수의 연구가 이루어지고 있다. 현재까지 파악되고 있는 PHEV 연구 방향은 크게 3가지로서, 첫째, 배터리 SOC 제어전략 연구, 둘째, 파워트레인 성능향상 연구, 셋째, PHEV의 사회적 파급효과를 평가하는 연구이다.

본 연구는 세 번째 연구방향에 해당되는 연구로서, 이와 관련된 기존 연구로서는 NREL(national renewable energy laboratory)의 Simpson⁽²⁾이 배터리와 파워트레인의 비용 시나리오를 바탕으로, PHEV의 경제성을 배터리의 종류, 즉 Ni-MH 방식과 Li-Ion 방식에 따라 시뮬레이션 하였다. Kintner-Meyer *et al.*⁽³⁾는 PHEV의 충전전력을 위해 공급할 수 있는 중앙 전력망 내 잉여전력을 valley-filling 모델로 산출한 후, PHEV시장이 차츰 형성됨에 따라 발생하는 충전전력요구량의 증가를 미국 내 중앙 전력망의 한계 능력을 위주로 분석하였다. 그러나 Kintner-Meyer *et al.*⁽³⁾의 연구는 PHEV 운전자들의 충전 패턴을 무시하였고, 단순히 잉여전력의 총량을 PHEV33의 배터리 용량으로 산술 계산하였기 때문에 실제 현실에 직접적으로 적용하기에는 비약이 있다고 판단된다.

국내의 경우, 각국 자동차 제조사들의 본격적인 PHEV 상용화를 수년 앞두고 있는 상황에서, PHEV의 시장 경쟁력에 대한 분석데이터들이 미비하고, PHEV로 인해 발생할 우리나라 전력망 내 영향 등에 대한 논의 또한 부족하다. 더욱이 PHEV의 상용화에 따른 충전망 인프라, 충전 전략 등에 대한 중장기적 비전조차 제시되지 않는 상황은, 2008년 12월 중국의 BYD社가 'F3DM'이라는 상용 전기차를 출시하고 세계의 주목을 받고 있는 것과 사뭇 대조적이다.

PHEV와 관련된 국내 연구로서, Roh *et al.*⁽⁴⁾은 PHEV가 시장을 형성함에 따라 발생하는 우리나라의 중앙 전력망 내 영향을 연구하였다. 이 연구에서는 우리나라의 승용차가 PHEV33으로 점차 교체된다고 가정할 때, 겨울의 일부 시간대에서 현 우리나라 승용차의 31%만이 중앙전력망의 잉여전력으로 충분히 충전될 수 있음을 지적하였다. 또한, Roh *et al.*⁽⁵⁾은 앞서 지적한 특정 계절과 시간대에서의 절대적인 전력 부족과 그로 인한 전력망 내 안정성 확보를 위하여 PHEV 충전 전력의 수요와 공급을 조절할 수 있는 '인텔리전트 전력망(intelligent grid)'의 조속한 구축을 촉구하고 있다. 그 외 PHEV와 관련된 국내 연구로서는, Park⁽⁶⁾의 HEV와 PHEV, 그리고 FCV의 파워트레인 기술동향조사와 향후 기술전망 그리고 시장 현황에 대한 분석이 있다.

필자의 기존 연구는⁽⁴⁾ valley-filing method를 이용하여, 우리나라의 중앙전력망 내 존재하는 가용 잉여전력을 PHEV33이 가진 배터리 용량의 80%를 충전시키는 데 이용하도록 한다는 가정하에 PHEV시장 확대에 따른 전력망에의 영향을 분석하였다. 그러나 PHEV의 충전전력을 산정할 때에 PHEV의 전력 대 가솔린 이용비를 고려하지 않았고, PHEV 운전자의 충전전력 수요 분산 등을 고려하지 않았던 점이 미비하였다고 판단된다.

본 연구에서는 이러한 기존 연구^(4,5)의 한계를 보완하는 동시에, PHEV33보다 전력을 적게 사용하는 PHEV20의 상용화를 가정하여 논하고자 한다. 특히 PHEV 사용자의 주차 패턴을 반영한 충전수요의 시간대 분산을 고려하며, 국내 전력망 실측 데이터를⁽⁷⁾ 적용하여 국내 상황에 최적화된 전력망 관리 및 충전에 관한 전략을 제시하고자 한다.

Table 1 Korean passenger car market⁽⁸⁾

Class	Number (mil.)	Ratio (%)
compact sedan	8.3	7.1
mid-size sedan	73.1	62.8
full-size sedan	7.8	6.7
mid-size SUV	20.4	17.5
full-size SUV	6.7	5.8

2. 시뮬레이션 모델링

2.1 국내 승용차 시장 분석

2007년 12월 현재 국내에 등록된 자가용 승용차 대수(영업용, 관용 제외)는 총 1,165만 여대이다.⁽⁸⁾ 본 연구에서는 이를 다음의 배기량 분류로 다시 세분화 하였다.

- Compact sedan: 승용일반형 1000cc 미만
- Mid-size sedan: 승용일반형 1500~2500cc 미만
- Full-size sedan: 승용일반형 2500cc 이상
- Mid-size SUV: 승용다목적형 1500~2500cc 미만
- Full-size SUV: 승용다목적형 2500cc 이상

Table 1은 상기의 분류체계에 의한 국내 승용차 시장 규모를 나타낸 것이다.

교통안전공단의 2006년 12월 통계를 참조하면, 국내 승용차(자가용)의 운행 특성은 Table 2와 같다.⁽⁹⁾ 자가용 승용차의 매일 평균주행거리는 약 51.5 km이다. 우리나라 인구⁽⁸⁾로 승용차(자가용)대수를 나눌 경우 국민 일인당 0.24 대(4.2 명/대) 꼴로 승용차를 갖고 있는 것으로 파악된다.

2.2 PHEV 성능조건 모델링

PHEV의 클래스를 분류하는 명명법에는, 내연기관을 구동하지 않고 배터리의 전기에너지만으로 주행할 수 있는 최대거리를 X (mile)라 할 때 PHEV- X 라 이름붙이는 방법이 널리 사용되고 있으며,⁽¹⁾ 본 연구에서는 이러한 명명법을 사용하였다.

한편, PHEV20은 전력 대 가솔린 이용비율이 40:60으로서,⁽¹⁾ 본 연구에서는 매일 평균주행거리의 40%를 전력으로 운행한다는 가정 하에, 이에 필요한 순수 배터리 전력을 매일의 충전 요구전력으로 계산하였다. 이를 위한 상세 운전 조건으로는 Table 3에 나타낸 것과 같이, EPRI⁽¹⁾의 PHEV20 성능목표를 기준하여 승용차의 배기량에

Table 2 Characteristics of Korean passenger cars⁽⁹⁾

Avg. daily vehicle traveled	Passenger cars per capita	Avg. vehicles traveled per capita
51.5 km/day	0.24	12.3 km

Table 3 Efficiencies in electric driving range for different class of passenger cars

Class	Ratio (%)	Efficiencies for simulated vehicles (kWh/mile)
compact sedan	7.1	0.25
mid-size sedan	62.8	0.32
full-size sedan	6.7	0.42
mid-size SUV	17.5	0.37
full-size SUV	5.8	0.43

따른 주행거리 당 전력소모량 (kWh/mile)을 설정하였다. 이때, 주행거리 당 전력소모량은 시내(urban) 주행방식 또는 고속도로(highway) 주행방식에 따라 소폭 상이할 수 있는데, 본 연구에서는 EPRI의 성능목표 데이터 중 시내주행 방식과 고속도로 주행방식의 평균값을 적용하였다.⁽¹⁾

한편, 전술한 바와 같이, PHEV는 아직 실차양산이 시작되지 않아 공인된 검증기관으로부터의 연비 및 효율 데이터가 존재하지 않는다. 따라서 에너지 공급 인프라의 선제적 도입과 함께 PHEV 시장 확대를 시도하는 정부 및 유틸리티 산업계에서는 PHEV와 관련된 성능 데이터를 EPRI의 성능목표에 기준할 수밖에 없는 것이 현실이다.^(2,3,10) 또한 EPRI의 성능목표 데이터는 자동차 제조사들의 향후 PHEV 설계 방향을 가늠할 수 있는 기초 데이터 수준으로 유용하며, 향후 PHEV의 등장과 관련된 사회적 과급효과를 분석하기에 용이한 데이터로 판단된다.⁽¹⁰⁾

2.3 PHEV 시장 형성

PHEV의 시장이 형성되는 시기와 속도는 어느 누구도 예측할 수 없는 부분으로서, 배터리 기술의 발전과 각종 전기장치 비용이 지속적으로 하락하고 있는 시점에 PHEV의 향후 대중화 속도를 전망하기란 극히 어려운 부분이다. 이에 본 연구에서는 PHEV의 시장 형성 정도를 현 승용차 시장의 점진적인 'PHEV로의 교체 (market penetration of PHEV)'로 정의한 후, 현재의 국내 승용차 등록 대수의 50%가 PHEV로 교체되었다는 가정 하에, 전력망에의 영향을 분석하였다.

Table 4 Needing charging power for different class of passenger car

Class	Market Penetration 50% (MWh/day)
compact sedan	1,327
mid-size sedan	14,990
full-size sedan	2,107
mid-size SUV	4,840
full-size SUV	1,865

2.4 충전 조건 모델링

2.4.1 전력 손실 및 배터리 잔량 조건

본 연구에서는 중앙 전력망에 부하로 작용하는 충전 전력량의 실질적 전력량을 계산하기 위해 다음과 같은 전력 손실 및 배터리 잔량 조건을 설정하였다.

- 송/배전손실: 8%
- 충전기 효율: 87%

이때, 충전기 효율 조건은 공급전압 220 V 기준, 1 kWh 이상의 대용량 배터리용 충전기의 일반적인 충전 효율로 선정하였다.⁽¹⁾ Table 4는 이와 같은 조건에 따라 계산된 PHEV의 충전 전력 요구량으로서 현 승용차 등록대수의 50%가 PHEV로 교체되었을 경우 매일의 충전전력 요구량 (MWh/day)을 나타낸 것이다.

2.4.2 전력망 시뮬레이션 범위

중앙 전력망의 시스템 부하를 분석함에 있어, 본 연구에서는 여름과 겨울, 그리고 봄에 걸친 3개 계절의 1주일(일요일~토요일)을 시뮬레이션의 범위로 선택하였다.

여름의 경우에는 2007년 피크부하가 걸렸던 8월 21일(화요일)이 속한 주간을 선택하였다. 피크 부하가 걸리는 주간은 중앙전력망의 잉여전력이 최소화될 뿐만 아니라 일중 최고/최저 부하 간격차 또한 커지기 때문에 중앙전력망 관리에 가장 주의를 요하는 기간이다. 겨울의 경우에도 마찬가지로 피크부하가 걸린 2008년 1월 17일(목요일)이 속한 주간의 전력 부하를 시뮬레이션 범위로 설정하여, 기존 전력부하가 높은 때에 PHEV의 충전으로 인한 부하 증가가 전력망에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.⁽⁷⁾

봄의 경우에는 사계절 간 가장 시스템 부하가 적게 걸리는 계절로서, 이 계절의 경우, 발전단

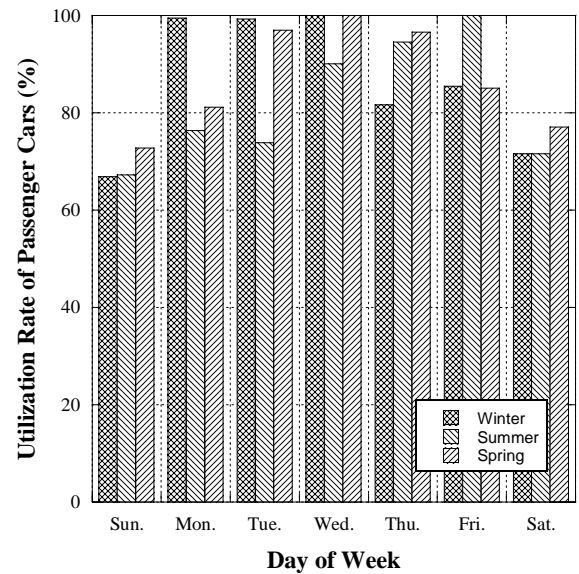


Fig. 1 Utilization rate of passenger cars for different day of week (between Seoul toll gate and Singal junction)⁽⁸⁾

실적이 가장 낮았던 2007년 5월 28일(월요일)이 속한 주간을 시뮬레이션 범위로 설정하였다. 이를 통해 기존 전력부하가 적을 경우, PHEV충전으로 인한 부하 증가가 전력망에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.⁽⁷⁾

또한, 본 연구에서는 일요일부터 토요일까지 일주일 동안 요일별 차량 이용률을 시뮬레이션에 적용하였다. 그러나 국내에는 요일별 승용차 이용률에 대한 체계적인 통계치가 전무한 실정이기 때문에, 본 연구에서는 출퇴근 자가용 승용차의 이용률이 가장 높은 경부고속도로의 서울요금소-신갈분기점 간 승용차 이용률⁽⁸⁾을 2007년 8월(여름)과 2008년 1월(겨울), 2007년 5월(봄)의 ‘승용차 이용률’로 대체 적용하였다. 서울요금소-신갈분기점 간 승용차 이용률은 승용차를 통해 출퇴근을 시도하는 차량이 가장 많은 구간으로서 일반 국도 등에서 집계하기 어려운 승용차 이용률의 근사 데이터로 활용하기 적합하다고 판단하였다. Fig. 1은 이러한 요일별 서울요금소-신갈분기점 간 승용차 이용률을 나타낸 것이다. 주말인 일요일과 토요일에는 승용차 이용률이 모든 계절에 걸쳐 전반적으로 낮은 반면, 주중이라 할 수 있는 월요일부터 금요일까지의 승용차 이용률은 고루 높게 나타나고 있다.

2.4.3 충전 가능 시간대 및 충전 접속 분산

Fig. 2와 Fig. 3는 서울시내 승용차 운전자의 출근 시간대와, 퇴근에 따른 주차장으로의 복귀 시

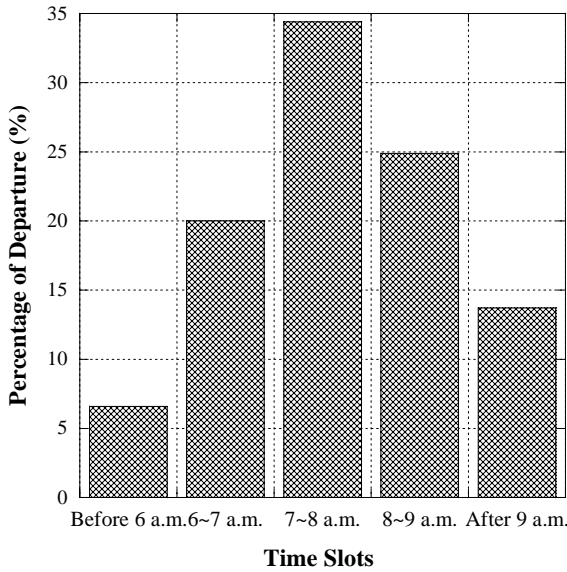


Fig. 2 Percentage of departure for different time slot⁽¹¹⁾

간을 설문조사한 결과이다.⁽¹¹⁾ 출근시간대는 오전 6시부터 시작하여 오전 7시에 가장 많은 운전자가 집을 나서는 것으로 집계되었다. 반면에 퇴근 시간대의 경우에는 오후 5시부터 주택의 주차시설로 복귀하기 시작하여 오후 6시부터 본격적인 귀가가 이루어지는 것을 알 수 있다.

이러한 특징은 향후 PHEV 상용화가 이루어진 후, 운전자가 자신의 PHEV를 충전시키고자 전력망에 접속을 시도하려는 ‘충전 시간대’의 패턴이, 결국은 ‘심야/새벽시간대의 주차 시간대’와 일치할 것임을 예측케 한다. 따라서 본 연구에서는, PHEV가 전력망에 접속할 수 있는 시간대의 기본 범위를 ‘오후 6시부터 익일 오전 6시’로 하였다.

한편, 본 연구에서는 주차장에 들어오는 차량의 확률이 푸아송 분포(Poisson distribution)에 따른다는 기존 연구결과^(10,12)에 기초하여, 전력망에 접속하는 PHEV 운전자들의 접속 분포 또한 다음의 푸아송분포식으로 분산될 것이라 가정하였다.

$$f(k;\lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (1)$$

기존의 연구결과⁽¹⁰⁾는 주차장으로 들어오는 차량이 오전 4시를 기준으로 푸아송 분포를 따르고 있음을 지적하고 있다. 이러한 특성은 Fig. 6에서 확인할 수 있는 오전 4시 부근에서의 가용 잉여전력이 최대가 되는 현상과 연관 되어, 심야/새벽 시간대의 잉여전력을 효과적으로 사용할 수 있는

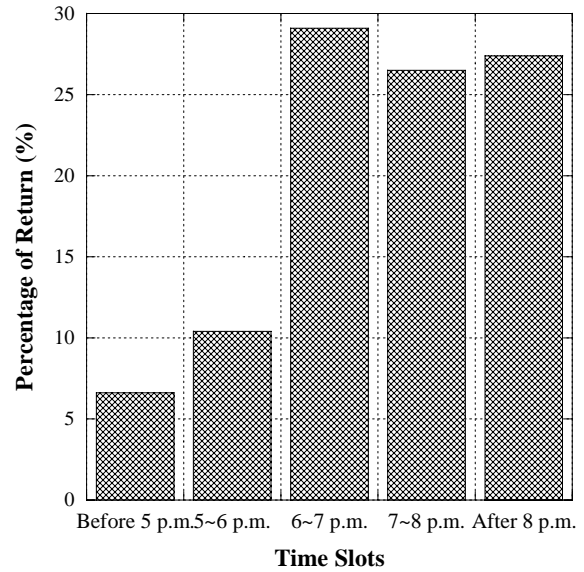


Fig. 3 Percentage of return for different time slot⁽¹¹⁾

PHEV 충전 전략의 수립을 가능케 한다. 이를 통해 기존 전력망의 경제성을 제고하는 한편, PHEV 충전전력 수요로 인한 전력망 내 관리 부담을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는, 이러한 PHEV의 충전 전략을 수립하는데 있어, 다음의 두 가지 시나리오를 가정하고, PHEV의 충전 부하가 중앙 전력망에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

- ◎ Scenario 1. (피크 시간대 변화)
 - 충전시간대를 다음과 같이 고정.
 - ◆ 오후 6시~익일 오전 6시
 - 접속량 피크가 발생하는 시각을 변화시킴.
 - ◆ 오전 0, 1, 2, 3, 4시
 - 충전전력수요의 99% 이상을 충족.
 - 출근시간대 충전수요 이탈 고려
- ◎ Scenario 2. (충전 시간대 변화)
 - 충전시간대를 변화시킴.
 - ◆ 오전 0~8시
 - ◆ 오전 1~7시
 - ◆ 오전 2~6시
 - ◆ 오전 3~5시
 - 접속량 피크가 발생하는 시각을 고정.
 - ◆ 오전 4시
 - 충전전력수요의 99% 이상을 충족.
 - 출근시간대 충전수요 이탈 고려하지 않음

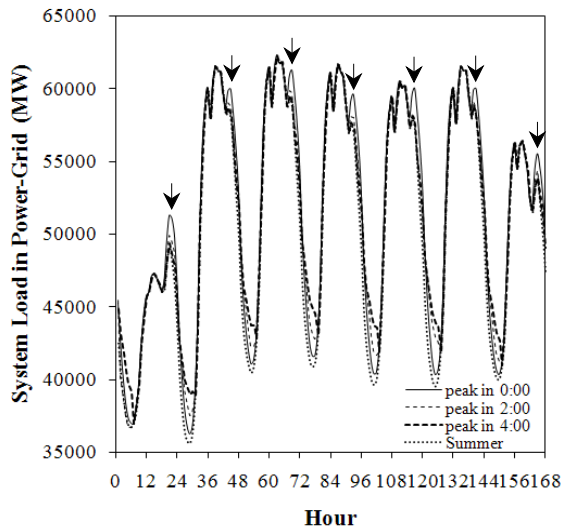


Fig. 4 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (summer, scenario 1, penetration: 50%)

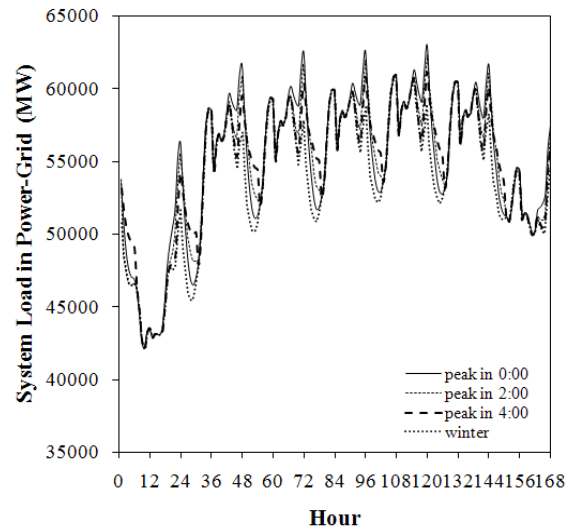


Fig. 6 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (winter, scenario 1, penetration: 50%)

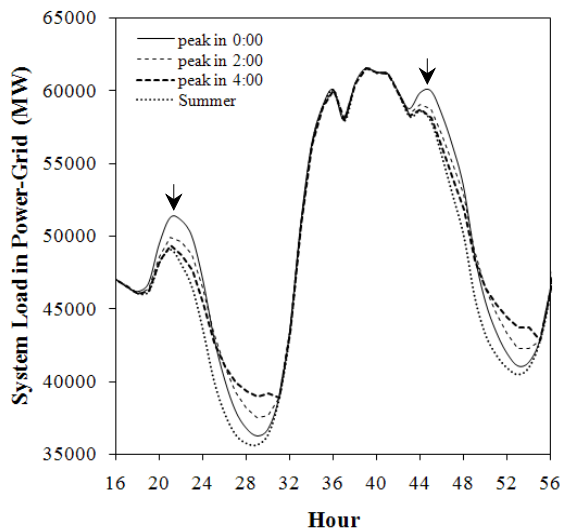


Fig. 5 Magnified hourly system load of Fig. 6 (from Sunday evening to Tuesday morning)

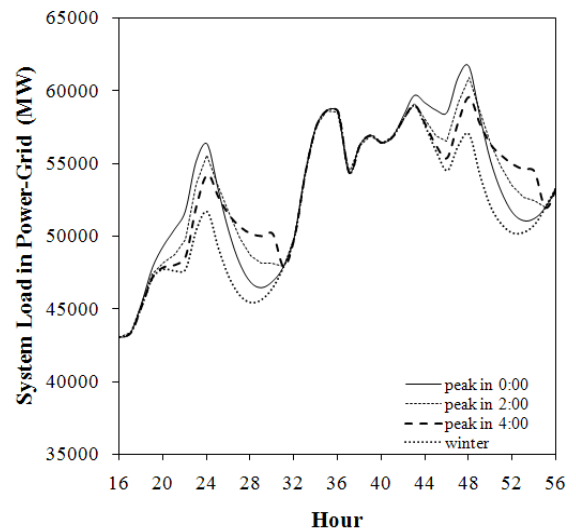


Fig. 7 Magnified hourly system load of Fig. 8 (from Sunday evening to Tuesday morning)

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 피크부하시간대 변화 조건 (Scenario 1)

3.1.1 여름철 전력부하 전개양상

Fig. 4와 Fig. 5는 PHEV 충전전력 수요로 인한 여름철 전력 부하 양상을 보여주고 있다. PHEV의 접속량 피크가 자정(0시)에 걸리는 경우 기존 부하양상의 첨두부하가 크게 증가하는 것을 볼 수 있으며(화살표 표시), 이러한 피크 양상은 전

력망에 부담을 초래할 수 있다. 반면, 오전 2시에 접속량 피크가 걸리는 경우 기존 첨두부하에 약간의 부하 증가가 관찰되나, 기존 부하 패턴과 비슷하게 매끄러운 곡선의 모습을 보여주고 있다.

오전 4시에 접속량 피크가 걸리는 경우에는, 자정부근의 첨두부하에 거의 영향을 미치지 않으면서 새벽시간대의 잉여전력량을 충분히 활용할 수 있지만, 앞서 Fig. 2와 같이 오전 6시 부근부터 시작되는 본격적인 출근과 그로 인한 PHEV 충전 도중 전력망 이탈은 중앙 전력망의 안정성에 부정적 영향을 줄 수 있다. 출근시간대에 임

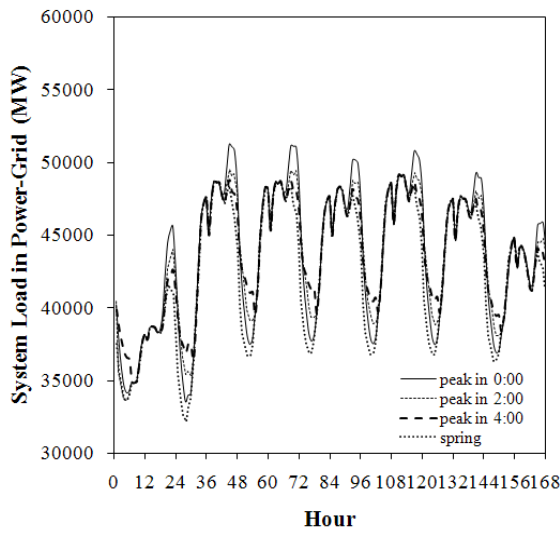


Fig. 8 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (spring, scenario 1, penetration: 50%)

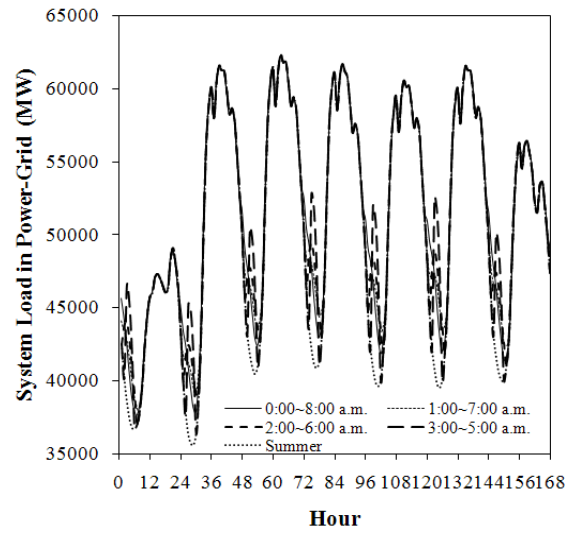


Fig. 10 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (summer, scenario 2, penetration: 50%)

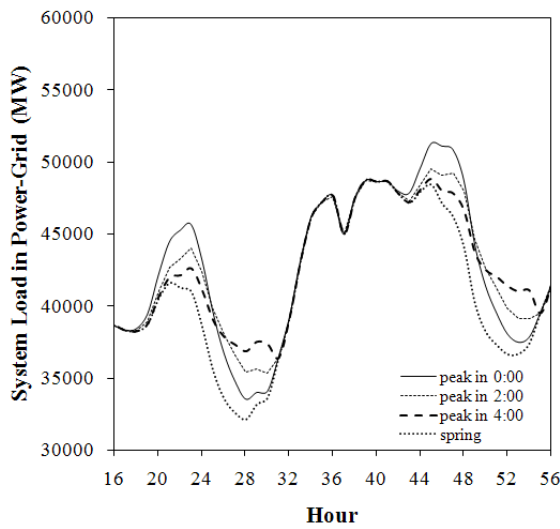


Fig. 9 Magnified hourly system load of Fig. 10 (from Sunday evening to Tuesday morning)

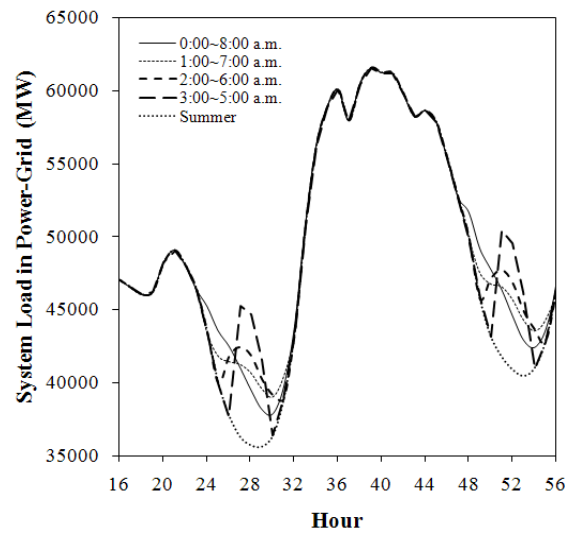


Fig. 11 Magnified hourly system load of Fig. 12 (from Sunday evening to Tuesday morning)

박했는데도 PHEV 충전이 완료되어 있지 않을 경우, 사용자가 완충을 위해 출근 시간을 미루는 것을 선택할지, 또는 출근시간을 맞추기 위해 충전을 포기하고 전력망으로부터 이탈할지에 대해서는 추후에 체계적인 패턴 분석이 필요하겠으나, 일반적으로 후자의 선택 비중이 클 것으로 보인다.

이러한 특징은 필자의 기존 연구⁽⁵⁾에서 지적한 것과 같이, 향후 PHEV 충전을 위한 시스템 설계 시, PHEV 배터리의 완전 충전이 가능한 예상시간을 산출하여, 사용자가 출근을 원하는 시간대 이전에 충전을 완료 시킬 수 있도록 하는 ‘스마

트 충전시스템’의 도입이 반드시 필요함을 예상케 하는 부분이다.

3.1.2 겨울철 전력부하 전개양상

Fig. 6과 Fig. 7은 PHEV 충전전력 수요로 인한 겨울철 전력 부하 양상을 보여주고 있다. 대체적으로 여름과 비슷한 모습을 보여주고 있으나, 겨울의 경우, 여름보다 PHEV의 접속량 피크 발생 시간대가 출근시간대에 근접할수록, 출근이 본격화 되는 오전 6시 이후의 전력망 이탈로 인한 영향이 더욱 클 것으로 예상된다.

이러한 특징은 심야/새벽시간대에도 전력사용량이

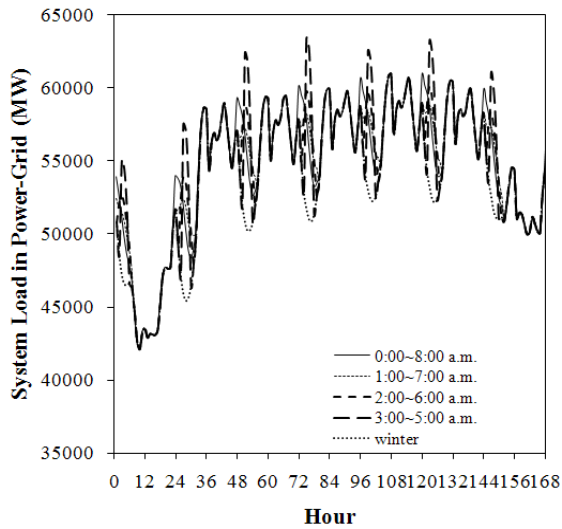


Fig. 12 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (winter, scenario 2, penetration: 50%)

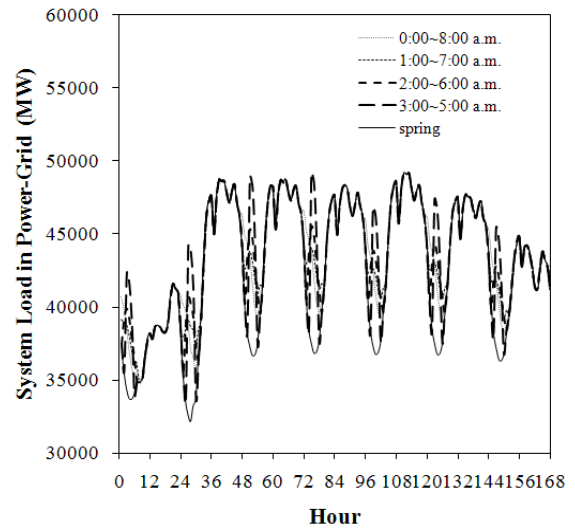


Fig. 14 Hourly system load in power-grid by PHEV charging (spring, scenario 2, penetration: 50%)

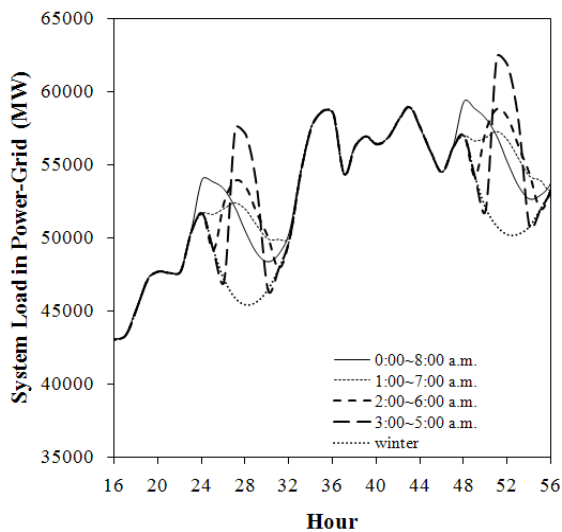


Fig. 13 Magnified hourly system load of Fig. 14 (from Sunday evening to Tuesday morning)

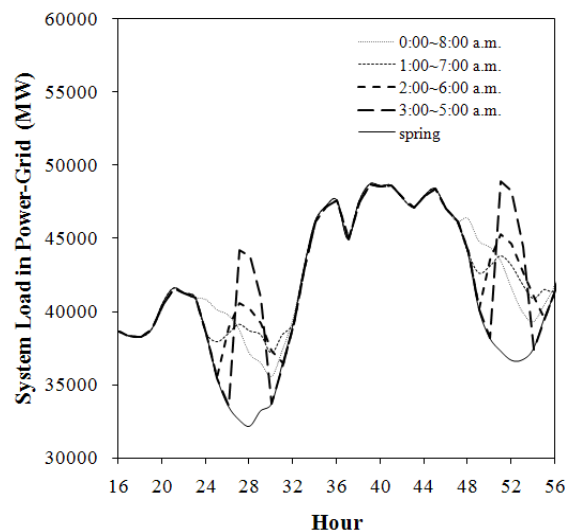


Fig. 15 Magnified hourly system load of Fig. 16 (from Sunday evening to Tuesday morning)

크게 줄지 않는 겨울의 부하 특성 때문에 파악된다. PHEV 충전을 위해 활용될 수 있는 심야/새벽시간대의 잉여전력이 적을수록, PHEV 충전수요로 인해 예상치 못한 침두부하가 심야/새벽시간대에 추가적으로 발생할 우려가 있다. 이는 전력망 관리에 부담을 초래하는 요인으로서, 이 후 오전 6시부터 발생하는 PHEV 사용자들의 전력망 이탈 요인과 함께, 안정적인 전력망 관리 및 경제성 제고에 부정적이다.

3.1.3 봄철 전력부하 전개양상

Fig. 8과 Fig. 9는 PHEV 충전전력 수요로 인한 봄의 전력 부하 양상을 보여주고 있다. 여름/겨울과 비

슷하게 PHEV 충전수요는 심야/새벽시간대 부하의 전반적인 확대를 가져온다. 잉여전력이라고 볼 수 있는 심야/새벽시간대의 전력을 효율적으로 활용한다는 장점이 있는 반면, 접속량 피크가 자정 등으로 몰릴 경우, 주간에 발생하는 피크 부하에 육박하는 침두부하가 심야시간대에 발생할 수 있다.

3.2 충전 시간대 변화 조건 (Scenario 2)

3.2.1 여름철 전력부하 전개양상

충전시간대를 변화시키되, 오전 4시에 접속량 피크가 걸리도록 유도하는 시나리오2의 경우,

Fig. 10과 Fig. 11에서 볼 수 있듯이, 오전 1시부터 7시 사이에 PHEV 충전 접속을 허용하고, 새벽 4시에 PHEV 접속량 피크를 유도하는 것이 가장 매끄러운 부하 곡선을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

PHEV 접속을 허용하는 시간대가 좁아지면 새로운 첨두부하가 발생하여 전력망 관리에 부담이 발생한다. 반면에 PHEV 접속을 허용하는 시간대가 넓어질 경우, PHEV 접속량의 분산은 커지나 심야/새벽시간대의 잉여전력을 충분히 활용할 수 없다. 특히 PHEV 접속을 광범위한 시간대에서 허용할 경우, 기존 전력 부하의 첨두부하 확대를 유발하는데, 이 또한 전력망 관리에 부담을 초래할 수 있으며, 전력 부족 시 추가적인 발전소 가동은 인프라 전체의 경제성을 저하시킬 수 있다.

3.2.2 겨울철 전력부하 전개양상

Fig. 12와 Fig. 13에서 볼 수 있듯이, 심야/새벽 시간대의 잉여전력이 많지 않은 겨울철의 경우, PHEV 접속을 허용하는 시간대가 좁으면 주간대의 피크부하 보다 높은 피크부하가 발생할 우려가 있어 전력망의 안정성에 심각한 위협요인이 될 수 있다. 그렇다고 PHEV 충전접속을 허용하는 시간대를 자정에서 오전 8시까지 넓게 허용하면, 기존 첨두부하의 확장과 더불어 새벽/심야시간대의 잉여전력을 효과적으로 사용할 수 없음을 알 수 있다.

결과적으로, 겨울철의 경우에도 여름과 비슷하게, 오전 1시부터 7시까지의 시간대에 PHEV 충전 접속을 허용하도록 제어하면서 새벽 4시에 접속량 피크가 걸리도록 유도하는 것이 가장 매끄러운 부하 곡선을 나타내는 한편, 심야/새벽시간대 잉여전력 또한 효과적으로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

이러한 결과는 향후 PHEV 충전 전략의 수립 방향을 제시하는 것으로서, PHEV 접속량의 분산을 무턱대고 높이는 것이 중앙전력망에 부담을 더는 것이 아니라, 적절한 접속 가능 시간대를 설정하고, 이 특정 시간대에 PHEV 충전전력 공급을 집중토록 제어하는 것이 전략적인 접근 방법이라 할 수 있겠다.

그러나 사용자들이 취침시간에 직접 이 시간대에 수동으로 접속할 수 없기 때문에, 정부 및 에너지 유틸리티 업계에서는 PHEV의 접속 가능 시

간대를 통제하는 시스템과, 접속량 피크가 걸리는 시간대를 유도하는 요금제 설계 등 관련 인프라 구축이 시급하다고 판단된다.

3.2.3 봄철 전력부하 전개양상

Fig. 14와 Fig. 15에서 볼 수 있듯이, 앞서 3.2.1, 3.2.2 항의 분석과 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 오전 1시부터 오전 7시 사이로 PHEV 충전을 허용하고, 새벽 4시를 접속량 피크가 걸리도록 유도하는 것이 기존 첨두부하의 확대를 피하면서 심야/새벽시간대의 잉여전력을 효과적으로 이용할 수 있는 방법으로 판단된다.

그러나 봄의 경우, 여름 또는 겨울과 달리, 오전 0시부터 오전 8시까지 접속을 넓게 허용하더라도, 23시 이후 기존 첨두부하의 증가가 발생하지 않으면서 완만한 부하 변동을 보이고 있다. 이 경우에는, 새벽시간에 갑작스런 첨두부하가 발생할 수 있는 오전 1시에서 7시 사이에 PHEV 접속을 허용토록 하는 경우보다, 전력망 관리가 용이할 수 있다. 따라서 봄에는 여름 또는 겨울보다 넓은 충전 시간대를 할애할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PHEV가 현 승용차 등록대수의 50% 수준으로 시장이 형성되었을 경우 발생할 수 있는 전력망에의 영향을 분석하였다. 중앙전력망 관리의 용이함과 안정성, 기타 전력 유틸리티 전반의 경제성을 높게 유지하기 위한 목적을 가지고, 본 연구는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PHEV 충전전력 수요는 대체적으로 기존 전력망의 첨두부하를 증가시키고 동시에 심야/새벽시간대 잉여전력의 활용을 가능케 한다. 현재 일반적인 심야/새벽시간대 전력이 축열 냉난방 또는 양수발전으로 이용되는 현실에서 PHEV로의 충전전력화는 우리나라의 석유 의존도를 낮추고 지구온난화 방지에 기여할 수 있다는 의의를 갖는다.

(2) 정부 또는 유틸리티 업계에 의하여 PHEV 접속량 피크 시간대를 변동시키는 충전 전략이 적용될 경우, 여름의 경우 오전 4시, 겨울의 경우 오전 2시, 봄의 경우 오전 2시에 PHEV 충전 접속량 피크를 유도하는 것이 가장 완만한 부하 변

화 양상을 보인다. 특히, 심야/새벽시간대에 기존의 전력 부하가 높아 잉여전력이 많지 않은 계절에는 PHEV 충전을 위한 중앙전력망으로의 접속량 피크 시간대가 오전 4시 이전에 위치토록 함으로써, 출근으로 인한 중앙전력망으로부터의 PHEV 충전수요 이탈을 관리하는 것이 필요하다.

(3) PHEV 충전을 위한 접속 시간대가 변화하고, 접속량 피크 시간대가 오전 4시로 고정되는 경우, 오전 1시부터 7시 사이의 시간대로 PHEV 충전을 집중시키는 것이 가장 효과적인 심야/새벽시간대의 잉여전력 활용을 가능케 한다.

후 기

본 연구는 차세대 연료전지 통합시스템의 지능형 운전 및 열관리 기술 개발을 위한 국가지정연구실(NRL)사업 및 마이크로열시스템연구센터의 지원으로 진행되었습니다. 아울러 지식경제부 및 국토해양부의 지원에도 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Duvall, M., 2002, "Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for Compact Sedan and Sport Utility Vehicles," Technical Report, Electric Power Research Institute.
- (2) Simpson, A., 2006, "Cost-benefit Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Technology," Conference paper of National Renewable Energy Laboratory, CP-540-40485.
- (3) Kintner-Meyer, M., Schneider, M. and Pratt,

R., 2007, "Impact Assessment of Plug-in Hybrid Vehicles on Electric Utilities and Regional U.S. Power Grids," Technological Report, Pacific Northwest National Laboratory.

- (4) Roh, C. W. and Kim, M. S., 2008, "Impact Assessment of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electric Utilities," *Proceeding of the KSME Fall Annual Conference*, pp. 2001~2006.
- (5) Roh, C. W. and Kim, M. S., 2008, "A Study on the Strategy of Smart Charging System to Charge the PHEV in the House Which has a 1 kW Fuel Cell Cogeneration System," *Proceeding of the SAREK Summer Annual Conference*, pp. 838~843.
- (6) Park, S. S., 2008, "Technologies for HEV, Plug-in HEV, and FCEV," *Auto-Journal of KSAE*, Vol. 30, No. 4, pp. 43~54.
- (7) Korea Power Exchange, 2008, (website: <http://www.kpx.or.kr/>).
- (8) Korea National Statistical Office, 2007, (website:<http://www.nso.go.kr/>).
- (9) Korea Transportation Safety Authority, 2006, (website: <http://www.ts2020.kr/>).
- (10) Denholm, P., and Short, W., 2006, "An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-In Hybrid Electric Vehicles," Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, TP-620-40293.
- (11) Kim, S. C., Kim, H. B. and Sung, L. M., 1993, "Study on the Prediction of Parking Demand in Metropolis," Researching Report, Korea Transport Institute
- (12) Currin, Thomas R., 2001, *Introduction to Traffic Engineering*, Brooks/Cole Publishing Company, Florence.