

전력계통 제약을 고려한 플러그인 전기자동차 충전계획 수립

권한나¹, 국경수^{1,2*}

¹전북대학교 전기공학과, ²스마트그리드연구센터

Charging Schedule Establishment of PEVs considering Power System Constraints

Han Na Gwon¹, Kyung Soo Kook^{1,2*}

¹Department of Electrical Engineering, Chonbuk National University, ²SGRC

요약 최근 플러그인 전기자동차에 대한 적극적인 보급 정책이 추진되고 있으나 플러그인 전기자동차는 전력계통에 직접 연계되어 충전수요를 공급받기 때문에 충전수요의 집중도에 따라서는 전력계통의 설비확충이 요구될 수도 있다. 반면 전력계통의 설비확충은 많은 시간과 투자가 소요되어 현실적으로 제한될 수밖에 없기 때문에 기존의 전력망을 효율적으로 이용하여 플러그인 전기자동차의 충전수요를 안정적으로 공급하는 것은 플러그인 전기자동차의 보급 확대에도 중요한 요소라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 주어진 전력계통에서 선로조류와 모션전압과 같은 제약조건을 만족하면서 플러그인 전기자동차의 충전수요를 공급하기 위한 충전계획 수립방안을 제안한다. 이를 위해 자동차의 주행 패턴과 충전 요금제를 기준으로 플러그인 전기자동차 충전수요의 요구량과 충전 시작시간을 전기자동차별로 모델링 한 후 이를 전력계통 모델에 연계하여 조류계산을 계산하여 전력계통의 운전 상태를 모의하였다. 또한 선로의 전력조류와 모션의 전압에 대한 제약 조건의 만족 여부를 확인하며 제약조건에 위반이 발생하는 경우 이를 완화하기 위해 제약조건에 직접 관련된 플러그인 전기자동차의 충전수요를 조정하여 계통제약의 만족 여부를 재확인하는 과정을 반복함으로써 주어진 전력계통의 제약조건을 만족할 수 있는 플러그인 전기자동차의 충전계획을 수립하였다.

Abstract Recently, a policy has been enforced to supply Plug-in Electric Vehicles (PEVs) but this may require reinforcement of the power system depending on its clustering because PEVs are charged directly from power systems. On the other hand, as the reinforcement of power system is limited by time and budget, it is important to supply the charging demand of PEVs efficiently using the existing power systems to increase the diffusion of PEVs. This paper establishes a charging schedule for Plug-in Electric Vehicles (PEVs) considering the power system constraints. For this, the required amount and time of the charging demand for an individual PEV was modeled to integrate into power systems based on the driving pattern and charging tariff of PEV. Furthermore, the charging schedule of PEVs was established to meet the power system constraints by calculating the operating conditions of the power systems with PEVs.

Keywords : Charging demand, Constraint, Plug-in Electric Vehicles, Power Flow, Power System

1. 서론

새로운 기후변화 체제인 파리협정(Paris Agreement)

등에 따른 온실가스 감축의무 이행을 위해 우리 정부도 2030 국가온실가스감축 기본로드맵[1]에 따라 각 부문 별 목표 감축량을 설정하였으며 수송부문에서는 약

*Corresponding Author : Kyung Soo Kook(Chonbuk National Univ.)

Tel: +82-63-270-2368 e-mail: kskook@jbnu.ac.kr

Received March 15, 2018

Accepted April 9, 2018

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

24.6%인 2,590만톤을 감축할 계획으로 이를 위해 자동차 산업에서도 전기자동차의 보급이 적극적으로 추진되고 있으며 새 정부에서는 2022년까지 전기자동차 35만대 보급을 목표로 전기자동차 산업을 육성하기 위한 정책을 추진해 오고 있다[2].

반면, 전기자동차의 대표적인 형태가 될 것으로 예상되는 플러그인 전기자동차(Plug-in Electric Vehicle, 이하 PEV)는 전력 계통에 직접 접속되어 충전됨에 따라 전기자동차의 보급이 확대될 경우, 전기자동차의 충전수요 또한 전력계통 운영에 제한요소로 작용될 수 있다 [3,4]. 더욱이, 전력계통의 확충은 기존 전력수요의 증가와 환경적 제한요소만으로도 이미 많은 제약을 받고 있기 때문에 전기자동차의 보급 확대를 위해서는 전기자동차 충전수요를 사전에 예측하고 적절히 관리함으로써 이로 인한 전력계통의 확충을 최소화 할 필요가 있다. 특히 주차장에서의 대기 시간 비중이 높은 자동차 운행의 특성 상 전기자동차 충전수요는 기존의 일반적인 전력수요에 비해 유연성이 높아 기존의 자동차 운전패턴을 기반으로 요구량과 시간을 예측하고 시간대별로 변동하는 요금제 등을 통해 집중을 적절히 제어할 경우 전력망을 효율적으로 활용하기 위한 수요관리에 더욱 유리하다고 할 수 있다.

이에 따라 전기자동차 충전 요금제를 기반으로 부하평준화를 고려한 PEV 충전수요의 제어 방안이나[5] 전력시장의 계통한계가격을 활용하여 충전비용을 최소화하는 최적 제어 방안[6] 등이 연구되어왔다. 다만 이러한 연구에서는 총 PEV의 충전 수요를 하나의 부하로 모델링함으로써 모션별 전압, 각 선로별 부하율과 같은 전력계통의 제약을 고려하지 못하였다. 또한 PEV의 충전수요를 전기자동차 별로 모델링하여 충전 제어를 수행한 기존 연구[7]에서도 각 PEV 인근에서의 전력계통 제약만을 적용함으로써 전력계통 전체를 고려한 효과적인 충전 제어를 수행하지 못하였다.

이에 대해 본 논문에서는 전기자동차의 충전수요를 PEV 별로 모델링하고 기존 자동차의 운전 패턴기반의 PEV 주행 시나리오에 따라 충전수요 패턴을 가정한 후, 주어진 전력계통 제약을 PEV 충전수요가 만족할 수 있도록 각 PEV의 충전 패턴을 수정함으로써 전력계통 제약을 고려한 PEV 충전 계획을 수립하는 방안을 제안하였다. 특히, PEV가 연계된 전력계통의 조류계산을 통해 전력계통내 모든 선로에서의 전력조류 제약과 모든 모션

에서의 전압 제약을 PEV 충전 계획의 제약조건에 포함하였다.

이를 위해 2장에서는 PEV 충전 수요의 모델링과 충전 시나리오 및 제약조건을 정식화하고, 3장에서는 계통 제약 기반의 PEV 충전계획 수립 과정을 기술하였으며 4장의 사례연구를 통해 본 논문에서 제안한 PEV 충전계획 수립 방안의 유효성을 확인하였다.

2. PEV 충전계획 정식화

2.1 PEV 충전수요

개별 PEV 충전수요는 전력계통의 규모에 비해 그 용량이 매우 미약하지만 PEV의 이동성과 충전정격으로 인해 그 수요의 접속 위치와 용량이 기존의 전력수요와는 매우 다르고 다수의 PEV가 특정 지역의 계통에 연계되어 동시에 충전을 수행할 경우에는 기존의 최대 전력수요에도 영향을 미치게 된다. 따라서 PEV의 충전계획 단계에서는 PEV의 특성을 반영한 충전수요의 모델이 필요하며 본 절에서는 식 (1)과 같이 전력계통의 모션별로 접속이 예상되는 PEV 대수를 산출하고[8,9], 이를 기반으로 PEV의 충전수요를 모델링한다. 이때, PEV 대수는 모션별 전기수용가 수와 전기자동차 보급률에 비례한다고 가정하였다.

$$n_k = \frac{P_k}{CF \times P_{contract} \times 1.1} \times p_{vehicles} \times p_{PEV} \quad (1)$$

여기서, n_k 는 모션 k 에 연계되는 PEV 대수를 나타내고 P_k 는 모션 k 의 전력수요(유효전력), CF 는 전력수요의 동시율(coincidence factor)로서 개별 최대 전력수요가 동시에 발생하는 정도를 나타내는 인수이고, $P_{contract}$ 는 수용가의 계약전력이다. 이때, 전력계통에서 사용할 수 있는 최대 전력은 계약전력에 10% 여유를 두어 1.1배를 적용한다. 또한, $p_{vehicles}$ 는 가구당 자동차 보유대수 기대치[10]를 나타내고, p_{PEV} 는 전기자동차 보급률을 의미한다.

한편, PEV별 충전요구량은 일반 자동차의 주행거리 통계 데이터를 기반으로 결정된 1일 주행거리와 배터리의 에너지 소비 효율을 고려하여 산출하였으며 또한 상

업용 충전소의 보급에 상당 기간이 소요될 것으로 판단됨에 따라, PEV 충전은 운전자의 귀가 즉시 가정에서 이루어진다고 가정하여 귀가시간 통계 데이터를 통해 각 PEV의 충전시작시간과 충전 위치를 결정하였다.

2.2 PEV 충전비용 최소화를 위한 정식화

PEV의 충전은 그 목적에 따라 패턴이 달라질 수 있는데 본 절에서는 가장 보편적인 충전전략이라고 할 수 있는 충전비용의 최소화를 충전계획의 목표로 가정 하였으며 이를 다음 식 (2)와 같이 정식화 하였다[11].

$$\min f(P_{n,t}) = \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} \left(C_t \times \sum_{n=1}^N P_{n,t} \right) \quad (2)$$

이때 $P_{n,t}$ 는 시간 t 에서의 n 번째 PEV 충전전력(kW)을 나타내고 C_t 는 시간 t 에서의 전기자동차 충전단가(원/kWh)를 나타내며 본 절에서는 현재 한전에서 운영 중인 전기차 충전요금제[12]를 적용하였다.

Table 2. Electric Vehicle Charging Rate

	Energy Charge (won/kWh)			
	Time period	Summer (Jun~Aug)	Spring & Autumn (Mar~May/Sep~Oct)	Winter (Nov~Feb)
Low Voltage	23:00~9:00	57.6	58.7	80.7
	9:00~10:00, 12:00~13:00, 17:00~23:00	145.3	70.5	128.2
	10:00~12:00, 13:00~17:00	232.5	75.4	190.8
High Voltage	23:00~9:00	52.5	53.5	69.9
	9:00~10:00, 12:00~13:00, 17:00~23:00	110.7	64.3	101.0
	10:00~12:00, 13:00~17:00	163.7	68.2	138.8

2.3 제약조건

본 절에서는 PEV 충전수요의 특성과 이를 공급하는 전력계통의 운영 조건을 고려하여 PEV가 연계된 전력계통의 제약조건을 다음과 같이 정식화 하였다.

- 1) PEV의 충전수요는 충전기를 통해 전력계통으로부터 전력을 공급받아야하기 때문에 충전전력은 식 (3)과 같이 충전기의 정격 $P_{rate,n}$ 을 초과할 수 없다.

$$0 \leq P_{n,t} \leq P_{rate,n} \quad (3)$$

- 2) PEV는 다음 식 (4)와 같이 충전기간 동안 완충되어야 한다.

$$\sum_{t_{start}}^{t_{end}} P_{n,t} = D_n \quad (4)$$

여기서, D_n 은 n 번째 전기자동차 충전 요구량이다.

- 3) PEV가 전력계통으로부터 충전수요를 공급받을 때 전력계통은 기존 전력수요를 동시에 공급하므로 PEV 충전수요와 기존 전력수요의 합은 전력계통의 공급용량을 초과할 수 없다.

$$P_{load,t} + \sum_{n=1}^N P_{n,t} \leq P_{max} \quad (5)$$

여기서, $P_{load,t}$ 는 시간 t 에서의 기존 부하, P_{max} 는 변전소 변압기의 최대 공급용량을 의미한다.

- 4) PEV가 연계된 전력계통에서 모든 선로에서 전력 조류는 식 (6)과 같이 선로의 정격 범위 이내로 유지되어야 한다.

$$PowerFlow_i(P_t, V_t, \theta_t) \leq PowerFlow_{i,max} \quad (6)$$

여기서, $PowerFlow_{i,max}$ 는 선로 i 의 정격용량이다.

- 5) PEV가 연계된 전력계통에서 모든 모선에서 전압은 식 (7)과 같이 계통유지범위 이내로 유지되어야 한다.

$$V_{j,min} \leq V_j(P_t, V_t, \theta_t) \leq V_{j,max} \quad (7)$$

여기서, $V_{j,min}$, $V_{j,max}$ 은 모선 j 의 각각 최소 및 최대 유지전압이다.

3. 전력계통 제약을 고려한 PEV 충전최적제어 계획 수립

앞 절에서 기술된 바와 같이 PEV가 연계된 전력계통에서 계통 운영조건을 만족하면서 PEV의 충전비용을 최소화 하는 PEV 충전계획은 비선형 방정식인 전력조류방정식의 해를 통해 표현되는 모션전압과 전력조류의 제약조건도 포함하게 된다. 따라서 본 절에서는 먼저 충전정격 및 충전요구량과 같은 선형 제약조건만을 적용하여 PEV 충전계획을 수립한 후 이를 기반으로 한 전력조류계산 해를 다음 그림 1과 같이 비선형 제약조건을 만족하도록 조정함으로써 계통제약을 고려한 PEV 충전계획을 수립한다.

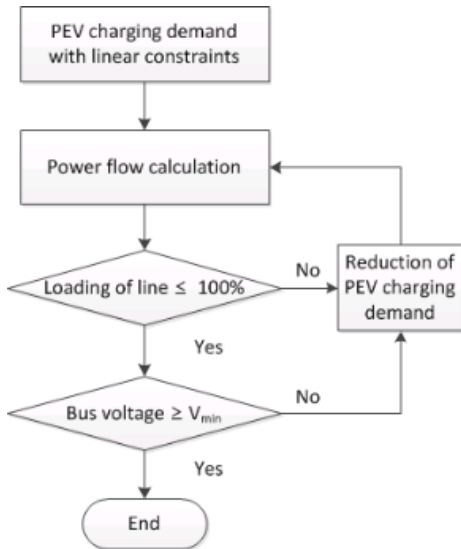


Fig. 1. Flow chart for applying system constraints

이때, 계통 제약인 전력조류제약과 모션전압제약을 동시에 적용할 경우 초기 충전 계획으로부터 과도한 값이 수정될 수 있으므로, 계통 제약을 고려함에 있어서 위반량이 큰 선로의 전력조류제약을 우선 수정하고 이후 모션전압제약을 검토함으로써 PEV 충전 계획의 수정 범위를 조정 하였다

즉, PEV 충전수요로 인해 과부하가 발생하는 선로가 있을 경우 이를 해결하기 위해 부하율이 가장 큰 선로부터 이를 통해 전력을 공급 받는 PEV들의 충전 전력을 기존 충전 계획량에 비례하여 과부하 전력만큼 감소시킴으로써 과부하를 해소하고, 모든 과부하 선로가 제거될

때까지 이러한 과정을 반복 적용한다. 이 때, 과부하 선로로부터 충전수요를 공급받은 각 PEV가 줄여야 하는 충전수요는 다음 식 (8)와 같이 계산된다.

$$Reduced P_{ev}(n) = \frac{P_{EV}(n)}{\sum_{i=1}^N P_{EV}(i)} \times (Loading - 100) \times Rating \quad (8)$$

이때, N은 과부하선로로부터 충전수요를 공급받는 PEV의 총 개수, Loading은 과부하선로의 부하율[%], Rating은 과부하선로의 정격전류[A]이며, P_EV(n)은 과부하선로 선로를 통해 전력을 공급받는 n번째 PEV의 충전 전력이다.

또한, 모션전압이 계통 유지전압의 범위를 벗어날 경우 위반 모션별로 해당 모선에 연계된 PEV의 충전 전력을 그림 1과 같이 기존 충전 계획의 10%씩 감소시킨다. 즉, PEV 충전 전력과 연계 모선의 전압과의 관계는 선형적이지 않기 때문에 충전 전력을 10%씩 감소시키면서 조류계산의 재수행을 통해 모션전압의 운영범위 위반 여부를 확인하고 모션전압의 위반이 해소 될 때까지 이를 반복함으로써 모션전압 운영기준을 만족하는 PEV의 충전계획을 도출하게 된다.

4. 사례연구

본 논문에서는 앞서 기술한 바와 같이 전력계통 제약을 만족하는 PEV 충전계획을 수립하기 위해 수치해석 프로그램인 MATLAB을 사용하여 충전시나리오와 선형 제약조건을 고려한 기본 충전계획을 수립하고 계통제약 만족여부를 판단하면서 PEV 충전 전력의 수정을 수행하기 위해 계통해석 프로그램인 OpenDSS[12]를 사용하여 PEV가 연계된 전력계통의 조류계산을 시간별로 계산함으로써 비선형 제약인 전력조류와 모션전압을 반영한다[13].

본 사례연구에서는 제안된 PEV 충전계획 수립 방법을 검증하기 위해 시험계통에 연계 될 PEV의 충전 수요를 모델링하고 충전수요에 의해 발생한 계통 제약 위반요소를 확인하여 이를 완화하는 과정과 최종 충전 계획을 수립한 결과를 나타내었다.

4.1 시험계통 및 PEV 충전수요

본 절에서는 IEEE 13 모선 시험계통을 대상으로 PEV의 충전 수요를 모델링하였다. 표 2는 식 (1)를 이용하여 시험계통의 부하 모선별 전력수요를 기준으로 수용가 수와 자동차 보유대수, PEV 대수를 산출한 결과이다. 이 때, 부하의 동시율(CF)은 0.77, 계약전력($P_{Contract}$)은 3kW, PEV 보급률은 10%로 가정하였다. 본 절에서 모델링 된 모든 PEV의 분포를 시험계통에 도식화하면 그림 2와 같다.

Table 2. The number of households, vehicles and PEVs at each bus

bus	P(kW)	Number of households	Number of vehicles	Number of PEVs
671	716.1	282	277	28
634a	99.2	39	38	4
634b	74.4	29	29	3
634c	74.4	29	29	3
645	105.4	41	41	4
646	142.6	56	55	6
692	105.4	41	41	4
675a	300.7	118	116	12
675b	42.16	17	16	2
675c	179.8	71	70	7
611	105.4	41	41	4
652	79.36	31	31	3
670a	10.54	4	4	0
670b	40.92	16	16	2
670c	72.54	29	28	3
Total	2148.92	1365	832	85

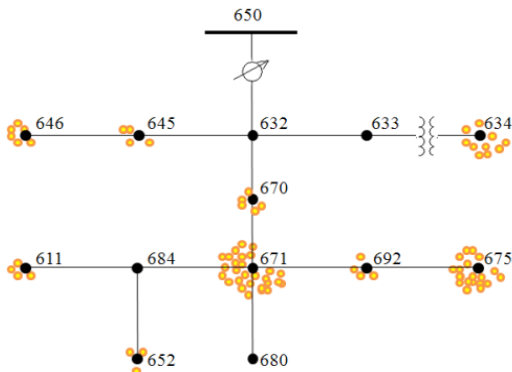


Fig. 2. Distribution of PEVs on IEEE 13 Node Test Feeder

대상이 되는 PEV의 배터리 용량은 현재 운행 중인 국내 전기자동차의 배터리 용량인 16.4kWh를 적용하였

고[13], 배터리 충전 정격은 가정용 충전기 및 완속 충전기의 정격 출력인 3.3kW, 7.7kW를 적용하였다[14].

그림 3은 국내 자동차의 귀가시간과 1일 주행거리 통계 데이터 및 배터리 소비 효율을 기반으로 모델링 된 PEV 충전시작시간과 충전 초기 SOC 범위 별 대수 분포를 나타낸다[15,16,17,18].

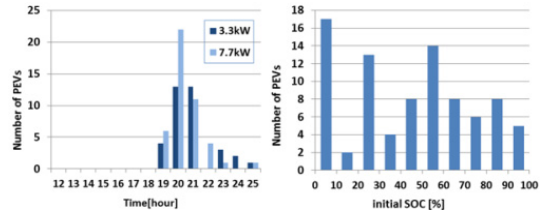


Fig. 3. The number of PEVs by charging start time and initial SOC

4.2 계통제약을 고려한 PEV 충전계획

본 절에서는 PEV 충전수요로 인해 발생한 계통 제약 위반 요소를 먼저 확인하고, 이를 해소하기 위해 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 PEV의 충전 전력을 수정하는 과정 및 계통제약을 고려한 충전계획의 수립 결과를 나타내었다.

4.2.1 PEV 충전수요의 계통영향 분석

전력계통의 운영제약을 고려하지 않고 충전 비용 최소화만을 목적으로 충전을 수행할 경우 그림 4와 같이 충전요금이가장 저렴한 23시에 충전수요가 집중되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 5와 같이 부하율이 100%를 초과하는 과부하 선로가 나타났으며, 모선의 전압도 계통의 최소유지전압인 0.9665 p.u. 이하로 감소하였다. 이때 0.9665는 사례연구를 위해 최소유지전압으로 가정한 수치이다.

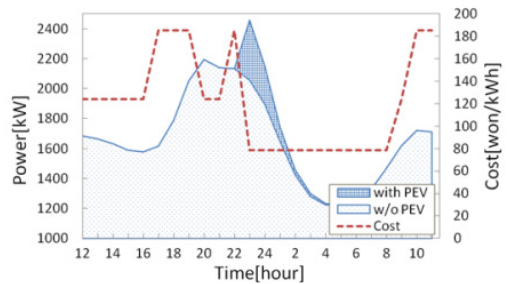


Fig. 4. Power demand adding PEVs demand

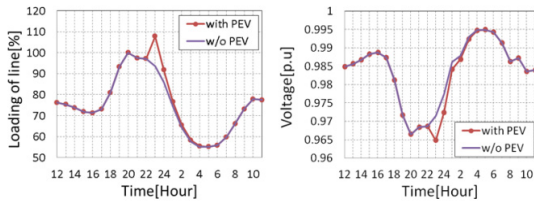


Fig. 5. The loading of line(#650632) and the voltage of bus(#611)

4.2.2 계통제약을 고려한 PEV 충전계획 수립

그림 6은 PEV의 충전으로 인해 계통 제약을 위반한 23시의 PEV 충전 전력에 대하여 선로조류제약과 모선 전압제약을 각각 적용하여 PEV 충전 전력을 수정하는 과정을 나타낸 것이다.

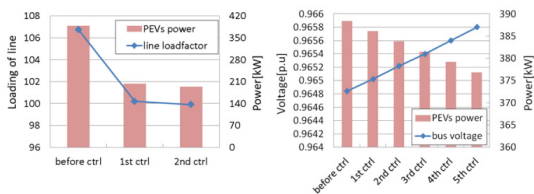


Fig. 6. Process of considering constraints of power flow and bus voltage respectively.

그림 6에서와 같이 PEV 충전전력의 변경은 유효전력으로 나타나는 선로조류제약의 완화에는 큰 효과를 나타내지만, 무효전력에 더 의존되는 전압제약에서는 그 효과가 적어 모선전압제약을 완화하기 위해서는 PEV 충전전력의 변경 회수가 더 필요하였다.

그림 7는 계통제약을 고려하지 않았을 때의 시간별 PEV 충전전력(before)과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 계통제약을 고려한 PEV 충전계획(after)을 비교한 것이다. 계통제약을 위반했던 23시의 충전전력이 감소한 만큼 다음 24시 이후의 충전수요가 증가한 것을 확인할 수 있다.

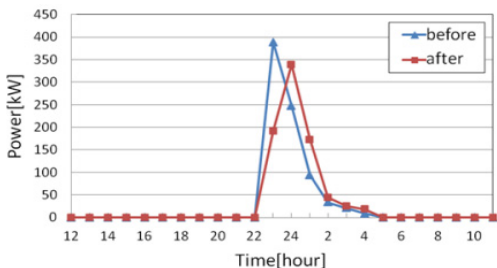


Fig. 7. Charging power of PEVs applying system constraints

표 4는 계통제약을 고려하기 전 후의 PEV 충전계획을 비교한 것으로, 계통의 최대 전력수요와 시간별 최대 PEV 충전 전력이 감소하였지만 PEV의 총 충전량이 동일한 것을 통해 계통제약을 고려하여 충전전력을 일부 수정하더라도 각 PEV가 충전요구량을 만족한 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Result of simulation after applying system constraints

	Without System constraints	With System constraints
maximum total demand [kW]	2459.3 (23h)	2258.8 (23h)
max. demand of PEVs [kW]	388.4 (23h)	338.9 (24h)
total charging energy of PEVs [kWh]	714.4	714.4
maximum loading of line [%]	107.81 (23h)	99.90 (23h)
minimum bus voltage [p.u]	0.9648 (23h)	0.9666 (23h)

그림 8은 모든 선로와 모선에 대하여 계통제약을 고려하기 전과 후의 1달 동안의 PEV 충전 계획에 따른 시간별 최대 선로부하율과 최소 모선전압을 지속곡선(duration curve)으로 비교한 결과이다. 1달 동안의 다양한 충전수요에 대하여 제안한 알고리즘을 적용한 충전계획이 계통제약을 모두 만족한 것을 확인할 수 있다.

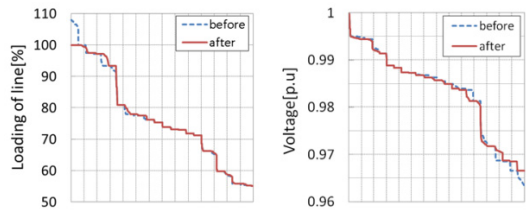


Fig. 8. Duration curve of maximum loading of line and minimum bus voltage during 1 month

5. 결 론

전력계통으로부터 직접 충전전력을 공급받는 PEV는 충전수요가 증가할 경우 전력계통의 최대 전력수요의 증가, 전력 설비의 과부하 및 계통 전압 강하 등과 같은 계통문제를 야기 할 수 있으나 전력계통의 확충은 현실적으로 제한되고 있기 때문에 기존의 전력계통을 효율적으로 활용하기 위한 PEV 충전수요의 관리는 PEV의 보급 확대에 매우 중요한 요소가 될 수 있다.

본 논문에서는 PEV의 충전수요를 PEV 개별로 모델링 하고 이를 전력계통 모델에 연계하여 전력계통의 제약을 만족하는 플러그인 전기자동차의 충전계획을 수립하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 전력계통 제약인 선로조류와 모선전압에 대한 비선형 제약과 충전전력 요구량과 같은 선형 제약이 혼재되어 있는 최적화 문제로 정식화 된 플러그인 전기자동차 충전 계획을 수립하기 위해 먼저 선형 제약조건만을 적용하여 최적 해를 계산한 후, 비선형 제약조건을 만족하도록 충전계획을 조정함으로써 전력계통 제약이 고려된 PEV 충전계획을 수립하는 방안을 제안하였다. 이 과정에서 조류계산을 통한 계통 운영 조건 만족 여부의 확인과 PEV 충전 전력의 수평을 반복 수행하였고, 그 결과 계통제약을 모두 만족하는 플러그인 전기자동차의 충전 계획을 수립하였다.

향후 플러그인 전기자동차의 보급률이 높아질 경우 전력 설비의 과부하 및 전압 강하와 같은 계통 제약을 만족하면서 PEV의 충전수요를 효과적으로 관리함으로써 기존 전력계통 인프라를 최대한 활용하면서 PEV의 보급을 확대하기 위한 충전수요 관리 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Ministry of Environment in Korea, <http://www.me.go.kr/home/web/main.do>
- [2] Electric Vehicle Industry Revitalization, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2010.
- [3] The Affect and Implication of the electric power supply and demand According to dissemination of Electric Vehicles, KPX, 2009.
- [4] Analysis of impact of energy supply and demand of dissemination of electric vehicles, Korea Energy Economics Institute, 2012.
- [5] Sang-Keun Moon, Jin-O Kim, "Evaluation of the Charging effects of Plug-in Electric Vehicles on Power Systems", KIEE vol. 61, no. 6, pp. 783-790, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.6.783>
- [6] Weihao Hu, Chi Su, Zhe Chen, Birgitte Bak-Jensen, "Optimal Operation of Plug-In Electric Vehicles in Power Systems With High Wind Power Penetrations", IEEE vol. 4, no. 3, July 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSTE.2012.2229304>
- [7] Navid Rahbari Asr, Mo-Yuen Chow, "Network Coordinated Distributed Demand Management for Optimal Large-Scale Charging of PHEVs/PEVs", IEEE PES General Meeting, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/PESMG.2013.6672367>
- [8] M. De Nigris, I. Gianinoni, S. Grillo, S. Massucco, F. Silvestro, "Impact Evaluation of Plug-in Electric Vehicles (PEV) on Electric Distribution Networks", IEEE Conference on Harmonics and Quality of Power, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2010.5625433>
- [9] Hyeok Jin Son, Kyung Soo Kook, "Stochastic Modeling of Plug-in Electric Vehicle Distribution in Power Systems", JEET, no. 6, vol. 8, pp. 1276-1282, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2013.8.6.1276>
- [10] Transport Survey, Korea Transport Database, Available online: <http://www.ktdb.go.kr/web/guest/home>
- [11] Ho Yeon So, Hyeok Jin Son, Kyung Soo Kook, Yu Jin Song, "An Effect Analysis of Plug-in Electric Vehicles Charging Control considering Charging Scenarios", KIEE Summer Conference, pp. 133-134, 2013.07
- [12] Electric Rate Table-Electric Vehicle Charging Service, Available online: <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEH/P00202.jsp>
- [13] Ray EV features, KIA motors, Available online: <http://www.kia.com/kr/vehicles/ray/features-ev.aspx>
- [14] Korean Agency for Technology and Standards <http://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=240&cid=19955&mode=view>
- [15] Instructions of installation for Public charging infrastructure of electric vehicles instructions, Ministry of Environment, 2011.02
- [16] Time period and run-time for commute on weekdays, Ministry of Gender Equality & Family, 2016.
- [17] 2012 Research for Analysis of Mileage of Vehicles, Korea Transportation Safety Authority, 2013.
- [18] The number of vehicles by driving distance, Traffic Monitoring System, Available online: http://www.road.re.kr/analysis/analysis_05_1.asp

권한나(Han Na Gwon)

[준회원]



- 2010년 2월 : 순천대학교 공과대학 전기제어공학과(공학사)
- 2012년 3월 ~ 2014년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 박사 수료

<관심분야>

전력시스템, 스마트그리드, 전력시장, 신재생에너지

국 경 수(Kyung Soo Kook)

[정회원]



- 1996년 2월 : 고려대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 고려대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2007년 5월 : (미국)버지니아공대 전기전자공학과(공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2004년 7월 : 한국 전기연구원 연구원/선임연구원
- 2007년 5월 ~ 2010년 4월 : 미국 전력연구원(EPRI) 선임 연구원
- 2010년 5월 ~ 현재 : 전북대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>

전력시스템, 스마트그리드, 전력시장, 신재생에너지