

전기 자동차의 충전 모델링을 이용한 배전계통 과부하 분석

최상봉*[†] · 이재조** · 성백섭***

한국전기연구원 차세대전력망연구센터*, 한국전기연구원 전력ICT연구센터**,
조선대학교 첨단산학캠퍼스***

(2020년 8월 10일 접수, 2020년 9월 7일 수정, 2020년 9월 9일 채택)

Overload Analysis of Distribution Systems make use of PEVs Charging Modeling

Sang-Bong Choi*[†] · Jae-Jo Lee** · Back-Sub Sung***

KERI Advanced Power Grid Research Center*, KERI ICT Center**, Chosun University
High-tech Industry-academic Campus***

(Received 10 August 2020, Revised 7 September 2020, Accepted 9 September 2020)

요 약

본 논문은 PEVs가 배전계통 모선에 연계되었을 때 PEVs 보급 시나리오별로 PEVs 일간 충전 패턴에 따라 배전계통 모선별 PEVs 충전 일부하곡선을 산정하여 배전계통 모선별 과부하 영향 평가를 하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘은 첫째 배전계통 모선별 가구 수 산출을 위한 PEVs 대수 산출, 둘째 PEVs 운행 특성을 고려한 PEVs 충전시작시간 확률밀도 함수 산출, 셋째 PEVs 보급시나리오별로 배터리 특성을 반영한 해당 모선별 PEVs 충전 일부하곡선을 산출하였다. 넷째 산출된 해당 모선별 PEVs 충전 일부하곡선과 기존 일부하곡선을 합산하여 PEVs 보급시나리오별로 해당 모선의 과부하 영향 평가를 시행하였다. 추가로 제안된 알고리즘에 대해 배전계통 모선별 과부하 영향 평가 검증을 위해 한국 동탄 신도시의 배전계통 회선의 해당 모선(아파트, 단독주택 지역)을 대상으로 사례 검토를 실시하였다.

주요어 : 전기자동차, 충전 모델링, 일부하곡선, 과부하, TOU 요금

Abstract - This paper presents an algorithm that evaluated the overload influence by bus upon the distribution system by calculating the daily load curve of PEVs charging by bus based on the daily charging patterns of PEVs according to PEVs penetration scenarios. The proposed algorithm calculates the number of PEVs to estimate the number of households by bus; the probability density function of the charging start time of PEVs, considering driving characteristics of PEVs and the daily load curve of PEVs charging by bus considering battery characteristics according to PEVs penetration scenarios. To verify the evaluation of the overload influence by bus on the distribution system in terms of the proposed algorithm, the cases were reviewed on the target bus(apartment and detached houses) among the feeders of the distribution systems at Dongtan new-town in Korea.

Key words : PEVs, Charging Modelling, Daily Load Curve, Overload, TOU Tarrif

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-031-420-6182, E-mail : sbchoi@keri.re.kr

1. 서론

PEVs가 점차 전 세계 자동차 시장에 들어옴에 따라 남은 관심사는 배전회사(electrical distribution utilities)가 어떻게 PEVs 충전 부하를 배전계획에 고려할 것인가 하는 것이다. 즉, PEVs가 배전계통(distribution system)에 안전하게 연계하는 것이 PEVs 상업화를 위해 전력회사(utility)가 지원할 수 있는 대단히 중요한 문제로 볼 수 있기 때문이다.

또한, 그동안 PEVs에 대한 기술적 장벽들이 계속해서 제거되어지고 있는 반면에 PEVs가 배전계통에 미치는 영향에 대한 평가는 미흡한 실정이다. 따라서 전력회사에서는 이와 같은 PEVs로 인한 새로운 형태의 부하(load)와 배전계통사이의 원인과 관계에 대해 숙지하여야만 배전계통에 대해 추가적인 부담을 줄일 수 있는 방향으로 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 문제를 잘 다루기 위해서는 PEVs의 공간적 시간적 다양성을 고려한 분석 방법을 개발하고 다양한 배전계통에 대한 잠재적인 영향 평가 관련 연구가 필요하다 하고 볼 수 있다.

일반적으로 자동차의 전기화(electrification)는 다양한 사회적, 경제적 이득을 제공할 수 있는 잠재성이 매우 큰 상황으로 볼 수 있다. 대표적인 잠재 이득으로는 CO₂ 배기가스와 석유 수입의 감소, 그리고 개솔린에 비해 상대적인 비용 절감 등을 들 수 있다. 그러나 자동차 연료로서 전기(electricity)를 선택하게 되면 배전계통 계획 및 운용에 상당한 영향을 가져 올 수 있으므로 배전회사는 이를 반드시 고려해야만 한다.

즉, 배전회사 관점에서 보면, 배전회선(feeder)에서 PEVs 부하의 공간적 시간적 변화가 배전회선 및 모선(bus)의 과부하에 미치는 영향에 대한 임팩트 분석이 필요하다. 이와 같은 PEVs 부하가 배전계통에 미치는 영향을 정확히 평가하기 위해서는 PEVs 부하의 특성 변화를 고려한 상세한 계통 해석이 필요하다고 볼 수 있다.[1]

이와 같은 필요성에 근거하여 PEVs가 배전계통에 미치는 전체적인 영향을 평가하기 위한 다양한 연구가 수행되어지고 있다. Kejun et al[2]은 PEVs 배터리 충전으로 인한 배전계통의 수요 부하를 분석하고 모델링하는 방법을 제안하였다. K. Clements-Nyns et al[3]은 PEVs가 가정이나 주차장에서 충전할 때 전력 손실과 전압 변동 관점에서 배전계통에 미치는 영향을 평가하였다.

그리고 L. Zhao, S. Prousch et al,[4]는 배전계통의 PEVs 임팩트를 산정하기 위한 포괄적인 모델에 근거한 시뮬레이션 방법을 제시하였다. 또한, H. Son and K. Kook[5]는 PEVs 계통 연계를 고려한

배전계통 해당 지역의 특성 분석을 스토케스틱 모델링을 통해 평가하였다. 그러나 위 논문은 스토케스틱 모델 기법을 적용하여 단순히 가구(household)당 PEVs의 수를 고려한 PEVs 클러스터링을 산출함으로써 보다 중요한 배터리 형태별 충전 특성이나 충전 시간 등을 반영하지 못하고 배전계통 모선별 영향 평가를 수행한 문제점이 있다.

사실, PEVs의 충전 부하로 인한 배전계통 모선별 영향 평가를 위해서는 각 모선별로 PEVs의 수만 아니라 배터리 충전 특성을 고려한 충전 시작 시간을 고려해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고 PEVs 충전으로 인한 배전계통 모선별 일부하곡선을 산출하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 제시하였다.

- 1) 모선별 가구 수 산출을 통한 PEVs 대수 산출
- 2) 모선별 PEVs 충전시작시간 확률 밀도 함수 산출
- 3) 모선별 PEVs 충전 일부하곡선 산출
- 4) 모선별 기존 일부하곡선 + PEVs 충전 일부하곡선

제안된 방법은 국내 동탄 신도시(Dongtan new-town)의 회선을 대상으로 특정 모선에 대하여 PEVs 보급(penetration) 시나리오별로 과부하 영향 평가를 시행하고 분석하였다.

2. 전기차 충전 부하 모델링

일반적으로 PEVs 전력수요에 대한 전기요금 체계는 주어진 조건에 따라 다음 그림 1에 도시한바와 같이 고정 전기요금, TOU(Time of Use) 전기요금, 실시간 전기요금(Real Time Price)으로 구분된다. 여기서 고정 전기요금은 전기 사용 시간대와 상관없이 사용전력량(kWh)당 고정된 전기요금을 책정하는 것이고 TOU 전기요금은 2개의 메인 블록 즉, 첨두 부하와 비첨두 부하 요금제로 나누어서 전기요금을 결정하는 것이며 실시간 전기요금은 월별 요일별 시간별로 전기요금이 가변되는 제도이다. 지금 현재 세계 각국에서는 스마트그리드 환경에 맞춰 기존 고정요금제에서 TOU 전기요금 그리고 실시간 전기요금으로 점차 바뀌고 있는 실정이다.

또한, PEVs 충전 시작시간을 확률론적으로 모델링하기 위해 계절별 요일별 시간대별 전기차 운행 대수를 산출하는 과정에서 지금 현재 전기차 보급이 활성화되고 있지 않는 상황을 고려하여 실제 전기차 시간대별 운행 대수가 아닌 국내의 서울시 시간대별 차량 운행 대수[6]로 대체하였다. 따라서 본 논문에서는 2,018년 봄 요일별 시간대별 서울시 차량

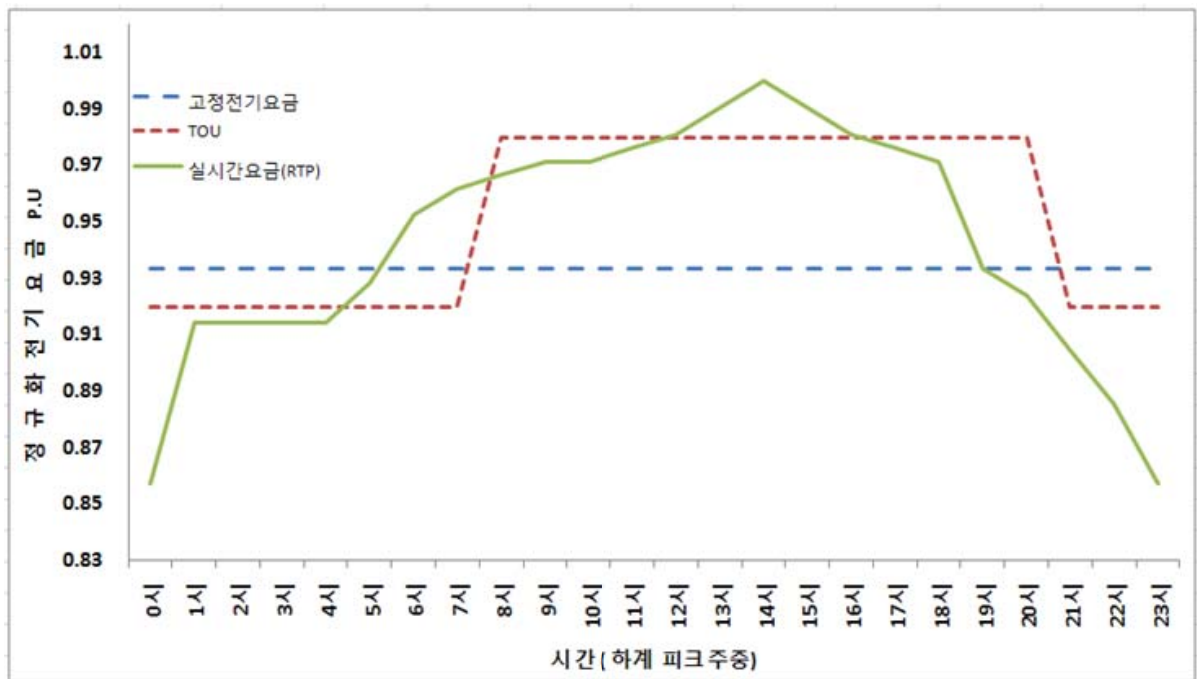


Fig. 1. System of electricity pricing about PEVs charging load

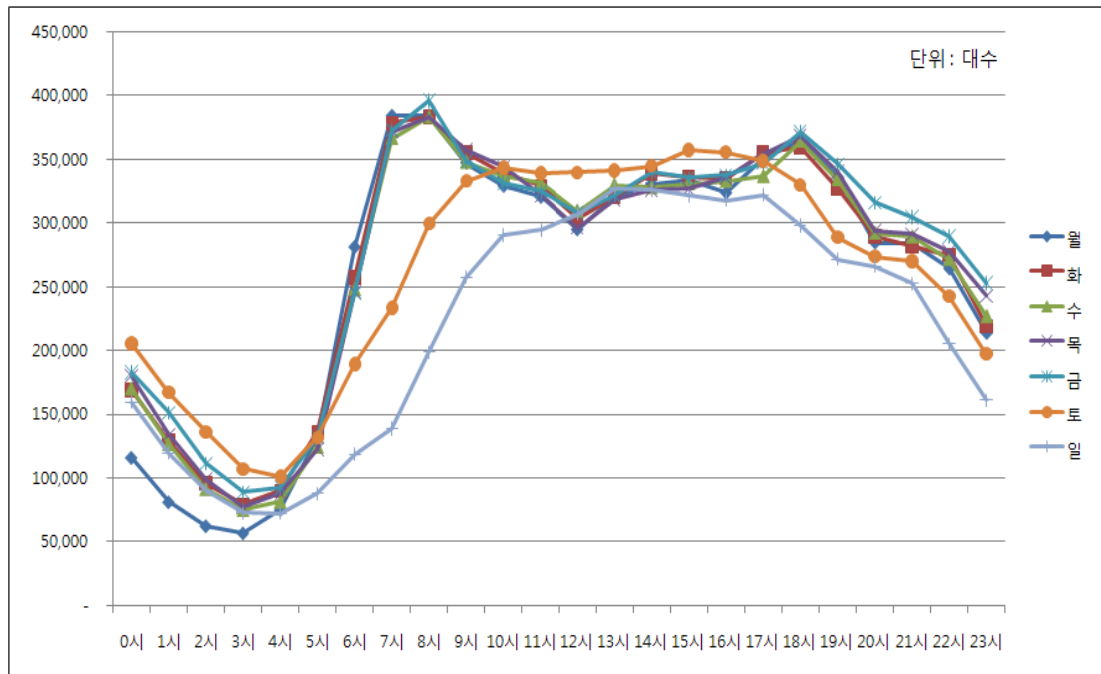


Fig. 2. Number of driving vehicle by day and time(Seoul city)

통행 대수를 운행 대수 산출 기준으로 선정하였으며 다음 그림 2에 도시하였다. 그림 2에 도시한바와 같이 요일별 차량 운행 대수는 주중(월요일 ~ 금요일)에는 오전 6시부터 시작해서 오전 9시까지 출근으로 인해 차량이 증가하는 패턴을 보이며 그 이후

12시 정오까지 차량이 다소 감소하며 12시 정오부터 오후 1시까지의 점심시간으로 차량이 많이 줄어드는 것을 알 수 있다. 그리고 오후 1시를 지나 차량이 점진적으로 증가하다 오후 5시부터는 퇴근으로 인해 차량 증가가 급속히 일어나고 오후 7시에

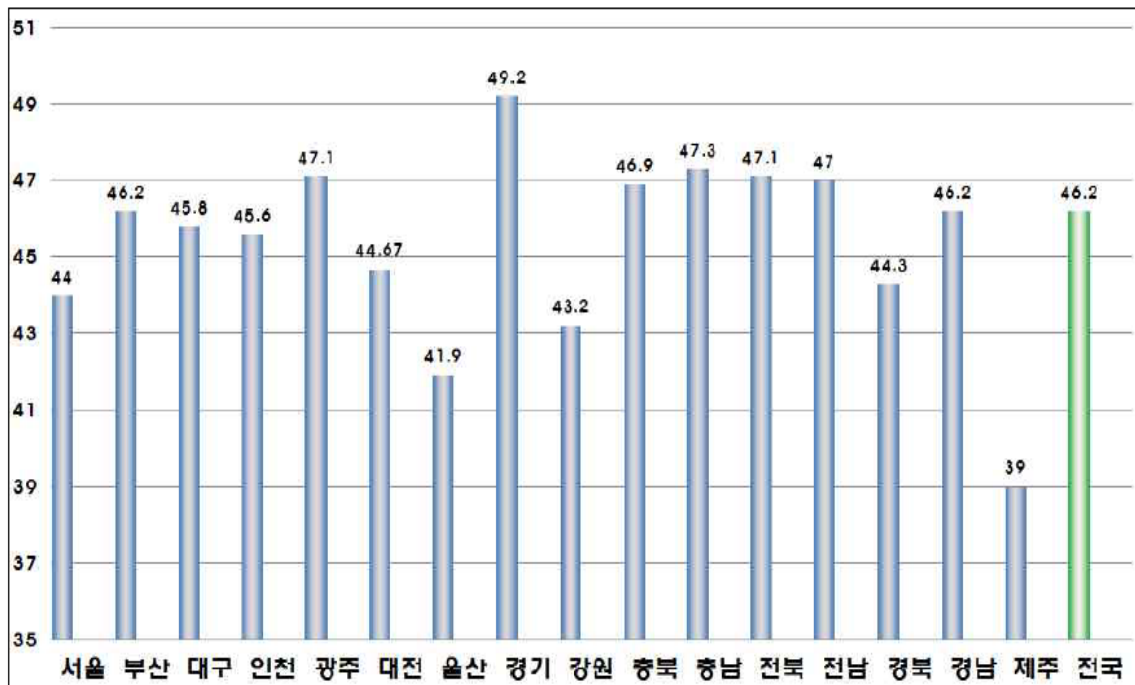


Fig. 3. Daily average driving mileage by region(km)

정점에 도달한 후 오후 8시 이후 부터는 서서히 차량량이 감소하는 패턴을 보인다. 한편 주말에는 주중과 비교하여 차량 운행 패턴이 다른 양상을 보이는데 우선 전체적으로 살펴보면 토요일이 일요일에 비해 차량이 다소 많은 것을 알 수 있으며 시간대별로 분석해 보면 주중에 비해 출·퇴근 차량이 없으므로 오전 6시를 기점으로 완만하게 차량이 증가하다 오후 2~3시를 정점으로 서서히 감소하는 특성을 보이고 있다. 여기서 특이한 사항은 차량의 일간 운행 루틴에서 전 시간을 통틀어 실제 운행 중인 차량 비율은 대략 10%내외로 대부분의 자동차는 주차하고 있다는 사실을 알 수 있다.

그리고 시간대별 PEVs 충전 대수를 산출하기 위해 국내의 지역별 차량의 1일 평균 주행거리를 2,018년도 기준으로 분석[7]하여 다음 그림 3에 도시하였다. 그 결과 지역별 1일 평균주행거리를 분석해 보면 경기 49.2km, 충남 47.3km, 전북 47.1km 순이며 제주가 39.0km로 가장 짧았으며 서울은 44km로 타 지역에 비해 다소 낮은 평균주행거리를 나타내고 있으면 전국 평균으로는 1일 평균 46.2km임을 알 수 있다.

3. 배전계통 모선별 과부하 임팩트 산출

배전계통 모선별 과부하 임팩트를 산출하기 위해 본 논문에서는 우선 배전계통 각 모선별로 가구

수를 산정하고 각 모선별로 PEVs 보급 시나리오별에 따른 시간대별 PEVs 일간 운행 패턴과 전기요금 체계(TOU) 그리고 리튬이온 배터리 충전 특성을 반영하여 모선별 EV 배터리 충전 일부하곡선을 산출한 후 이를 모선별 기존 부하 일부하곡선과 합산하여 각 배전계통 모선에 과부하 임팩트를 산정하는 알고리즘을 제시하였다. 즉, PEVs 보급시나리오별로 배전계통의 모선별 과부하 제약조건을 만족시키면서 배전계통의 증설을 최대한 억제하는 방향으로 PEVs의 충전 전략을 수립하는 시뮬레이션 방법론을 제안하였다. 각 단계별 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

3-1. 모선별 가구수 산정

본 섹션에서는 계절별 요일별로 우선 배전계통 모선별 가구수(N_A)를 다음 식(1)와 같이 산정하였다.

$$N_A = \frac{S_K \times \text{고압수용률}}{P_A \times \text{부동율} \times \text{저압수용률}} \quad (1)$$

S_K : 고압계약전력 또는 변압기용량

P_A : 주택용 저압계약전력

즉 첫째 배전계통 모선인 개폐기(switch)를 통해 연결된 고압 계약전력 또는 변압기 용량에 연결된 저압 가구수를 고·저압 수용률과 부동율 그리고 저

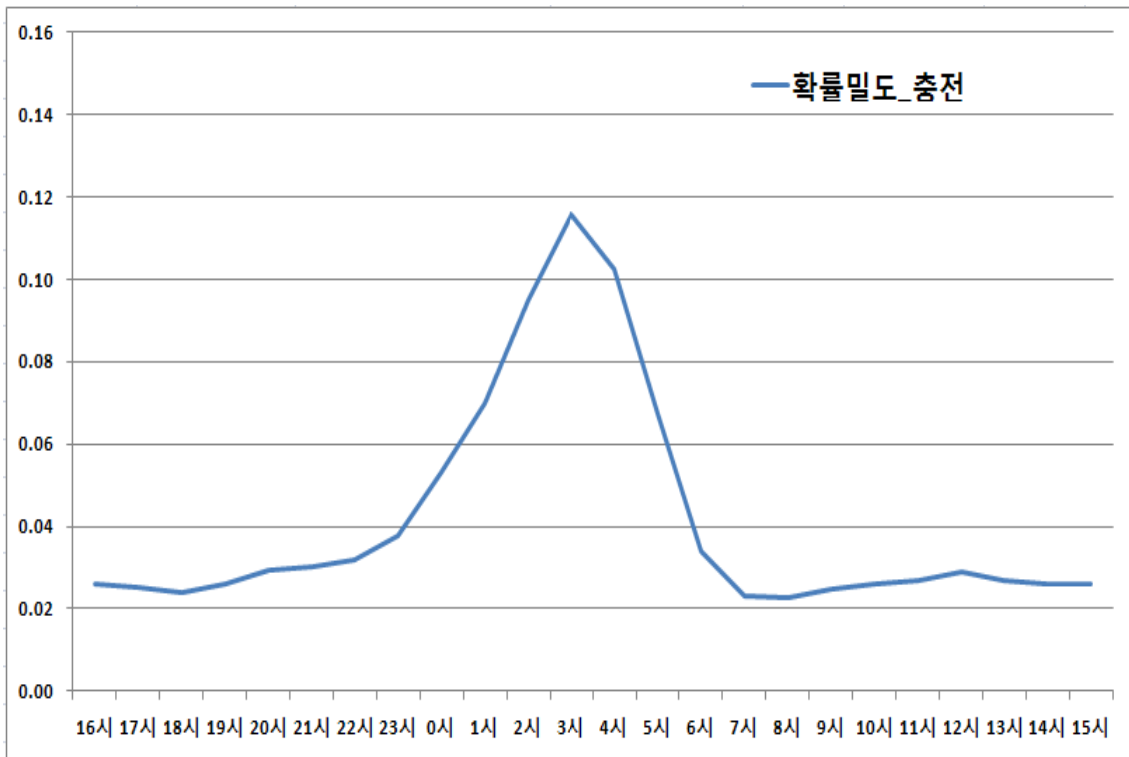


Fig. 4. The probability density for departure time of EVs charging (vehicle operation)

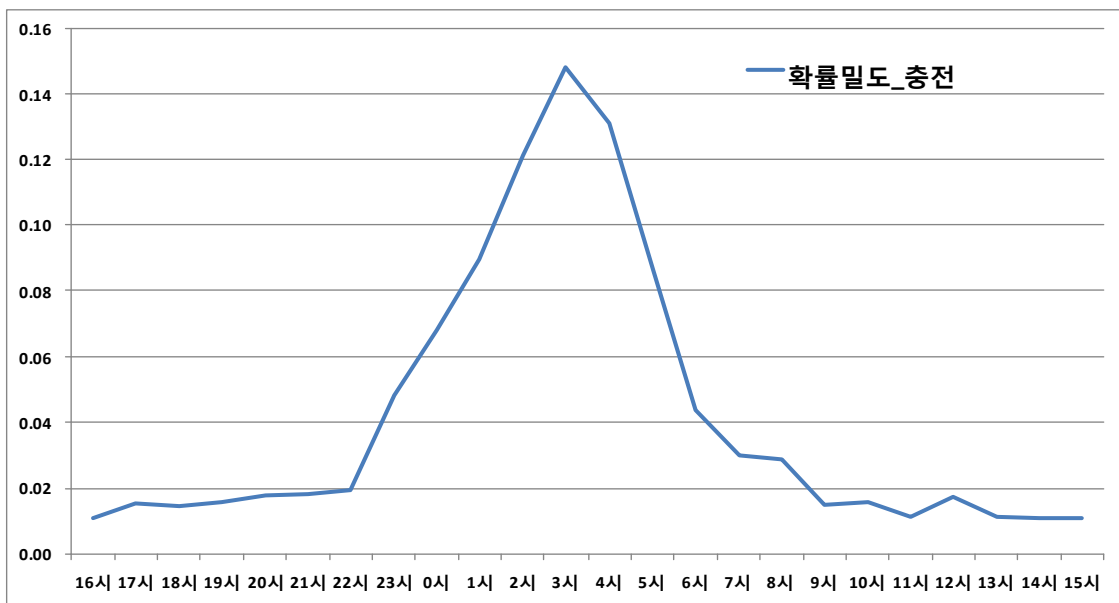


Fig. 5. The probability density for departure time of EVs charging (vehicle operation+TOU price)

압 계약전력을 이용하여 산정하였다. 둘째 산정된 모션별 가수 수에 대해 가구 당 차량 대수를 평균 1대로 가정하여 시나리오별로 PEVs 점유율에 따라 모션별 PEVs 대수를 산정하였다.[6]

3-2. PEVs 충전 시작 시간 확률밀도 함수

본 섹션에서는 PEVs 배터리의 충전 시작 시간을 각각 PEVs 일간 운행 패턴에 따른 확률밀도 함수 그리고 TOU 요금 체계와 PEVs 일간 운행 패턴을

동시에 고려하여 결정되는 확률밀도 함수로 각각 산정하였다. 즉, PEVs 배터리의 충·방전 시작 시간을 각각 다음 식(2)과 식(3)과 같이 일간 PEVs 운행 대수 그리고 일간 PEVs 운행 대수와 TOU 요금을 동시에 고려하여 산정하였다. 구체적으로 설명하면 식(2)와 같이 PEVs 배터리의 충전 시작 시간은 일간 PEVs 운행 대수가 적을 때 주차하여 충전할 확률이 높은 것으로 그리고 식 (3)과 같이 일간 PEVs 운행 대수가 적고 동시에 TOU 요금이 낮을수록 차량이 주차하여 충전할 확률이 상대적으로 높을 수 있기 때문에 이들 두 요소의 곱에 역수로 충전 시작 시간 확률을 산정하였다.

- 충전 시작 시간 확률 : $1/(\text{PEVs 운행 차량 대수})$ (2) (PEVs 운행대수 고려)
- 충전 시작 시간 확률 : $1/(\text{PEVs 운행 차량 대수} \times \text{TOU 요금})$ (3) (PEVs 운행대수 + TOU 요금제 고려)

식 (2)와 식 (3)에서의 PEVs 시간대별 운행 차량 대수는 실제 서울시 시간대별 차량 운행 대수이며 식 (3)에서 요금제도는 한전에서 지금 현재 적용하고 있는 TOU 요금제를 적용하였다.

따라서 PEVs 운행대수 그리고 PEVs 운행대수와 TOU 요금제를 동시에 고려하여 산정된 PEVs의 시간대별 충전 시작 시간 확률밀도 함수는 각각 다음 그림 4와 그림 5에 도시하였다. 그림 4와 그림 5에서 알 수 있듯이 두 가지 확률 모드 모두에 대하여 PEVs 충전시작 시간 확률은 새벽 3시를 최고점으로 하는 정규 분포함수를 갖는 것을 알 수 있다. 즉, 차량 귀가 완료 시간인 오후 11시를 기점으로 충전 확률이 급속히 상승하여 새벽 3시에 정점에 도달하며 그 이후 점차 하락하기 시작하여 차량 출근 시간인 오전 6시를 기점으로 가장 낮은 상태를 유지하는 것으로 분석됐다. 다만, PEVs 운행대수와 TOU 요금제를 동시에 고려한 경우가 PEVs 운행대수만을 고려한 경우에 비해 심야시간대에 충전 시작시간 확률밀도가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 그 이유는 심야시간에 충전요금이 저렴한 TOU 요금제로 인해 충전시작시간 확률밀도가 올라간 것으로 분석된다.

일반적으로 평균주행거리는 PEVs 배터리의 전력 소모와 관련이 있으므로 PEVs 배터리의 초기 SOC₀는 다음 식 (4)와 같이 산정할 수 있다.

$$soc_0 = \left(1 - \frac{\alpha}{d_R}\right) \times 100\% \quad (4)$$

여기서, α = 일간 운행 거리, d_R = PEVs의 최대 운행거리

본 논문에서는 PEVs의 최대 운행거리인 d_R 의 대표 값을 Nissan Altra 29kWh 리튬이온 배터리와 PEVs 효율 0.16kWh/km(영국 BERR 보고서)를 근거로 180km로 설정하였다. 그러므로 위의 그림 3에 도시한 전국 1일 평균 주행거리 α 에 대해 46.2km를 고려하면 초기 배터리 SOC₀는 0.74이다. 그러므로 PEVs 1일 주행 후 초기 배터리 SOC₀가 충전할 필요성을 느끼지 못할 정도로 매우 높으므로 2일 주행 후 충전한다고 가정하면 그때 초기 배터리 SOC₀는 0.48이다.

따라서 주어진 Nissan Altra 리튬 이온 배터리 충전 특성 조건하에서 충전시간 $T_c(h)$ 는 초기 배터리 SOC₀와 최종 배터리 SOC_F에 따라 다음 식 (5)와 같이 결정되어진다.

$$T_c = \frac{(SOC_F - SOC_0)}{P_c} \times 29kWh \quad (5)$$

여기서, SOC_F = 최종 배터리 충전 상태, P_c = 시간별 배터리 충전 전력(kW)

그러므로 본 논문에서는 최종 PEVs 배터리의 SOC_F은 풀 충전을 고려하여 1로 설정하였으며 P_c 는 Nissan Altra 리튬이온 배터리의 시간별 충전 전력을 고려하여 6.0kW로 설정하였으며 따라서 충전 시간 $T_c(h)$ 는 2.5h로 결정되어진다.

3-3. PEVs 시나리오별 모션별 충전 일부하곡선 산출

본 섹션에서는 앞서 3-1 섹션과 3-2 섹션에서 산출한 시나리오별 모션별 PEVs 대수와 PEVs 배터리 충전시작시간 확률 모델링을 근거로 앞서 Nissan Altra 29kWh 리튬이온 배터리 충전 특성을 반영하여 모션별 PEVs 배터리 충전 일부하곡선을 산출하였으며 흐름도는 다음 그림 6에 도시하였다.

한편 시나리오별 PEVs 충전 대수는 앞서 설명한 바와 같이 차량의 일간 운행 거리와 Nissan Altra 29kWh 리튬이온 배터리 용량을 고려하여 전체 PEVs의 1/2 대수가 충전하는 것으로 가정하여 모션별 PEVs 배터리 충전 일부하곡선을 산출하였다. 즉, 시나리오별로 각 배전계통 모션별 가구당 전체 PEVs의 1/2대수에 대하여 PEVs 리튬이온 배터리의 시간대별 충전 전력 특성을 반영하여 해당 PEVs 배터리 충전 시작시간에서 종료시간까지 시간대별 충전 전력을 산정하여 배전계통 모션별 PEVs 배터리 충전 일부하곡선을 산출한다.

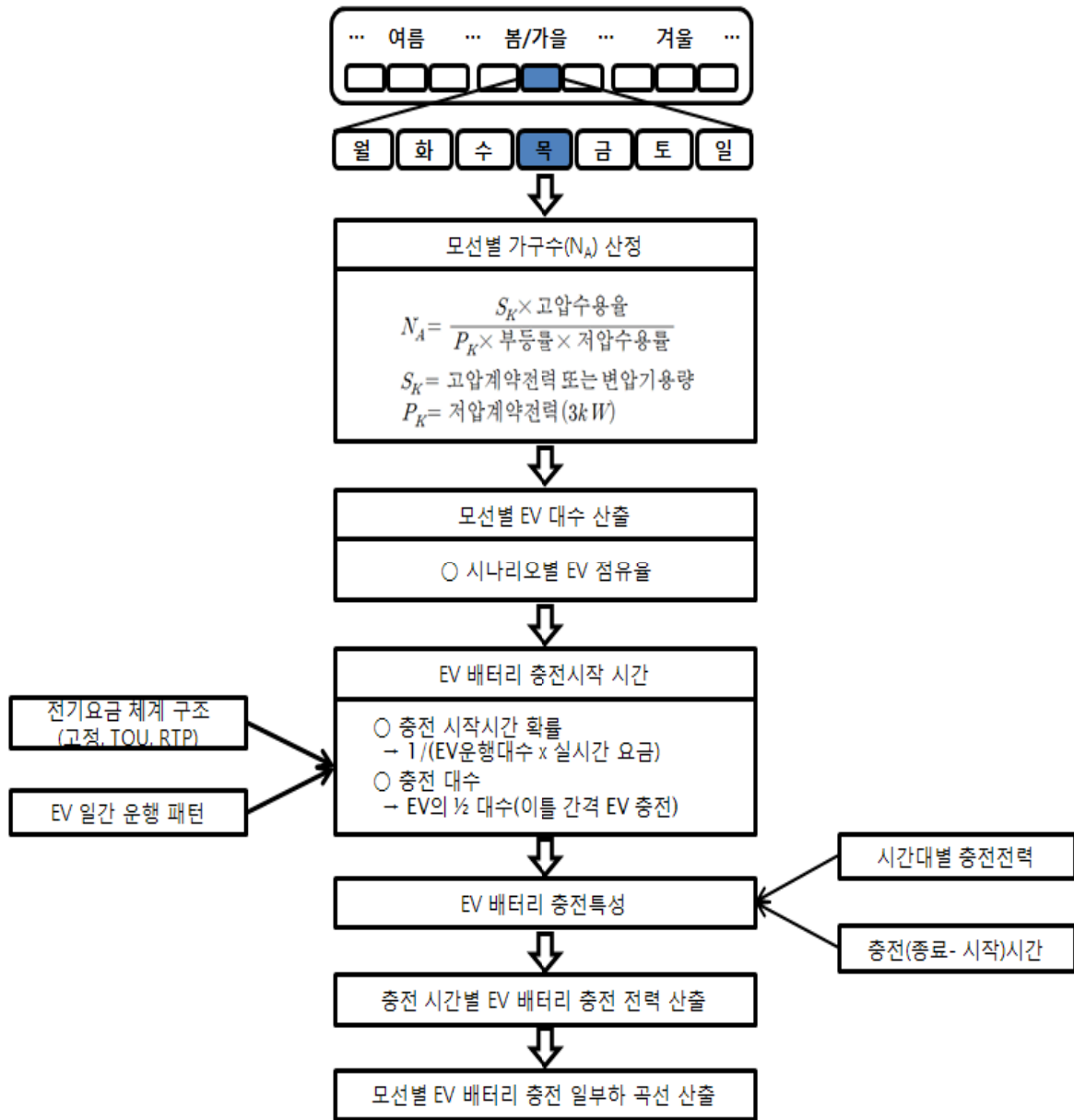


Fig. 6. Flow chart to evaluate daily load curve of EVs battery charging by bus

3-4. PEVs 시나리오별 모선별 과부하 임팩트 산출

본 섹션에서는 앞서 3.3 섹션에서 산출한 시나리오별 모선별 충전 일부하곡선을 근거로 모선별 기존부하 일부하곡선을 합산하여 전체 배전계통 모선별 일부하곡선을 산정함으로써 모선별 과부하 임팩트를 산출하였으며 흐름도는 다음 그림 7과 같다. 여기서 모선별 기존부하 일부하곡선은 국내 도시지역 아파트에 대한 대표적인 전력 부하 패턴(Electric load pattern) 을 인용하였다.[9]

4. 배전계통 모선별 과부하 임팩트 사례 검토

PEVs에 대한 배전계통 임팩트를 분석하기 위해 본 논문에서는 대상지역을 한국 동탄 신도시의 상가 및 아파트 그리고 단독 주택단지가 밀집해 있는 지역을 대상으로 사례검토를 실시하였다.

본 논문에서는 동탄신도시 지역의 A 회선의 각 모선에 대한 모선별 일부하곡선을 산출하기 위해 2개의 시나리오를 시행하였다. 첫 번째 시나리오는 기존 부하에 대하여 EV의 10% 점유율 그리고 두 번째 시나리오는 EV의 30% 점유율로 인한 부하

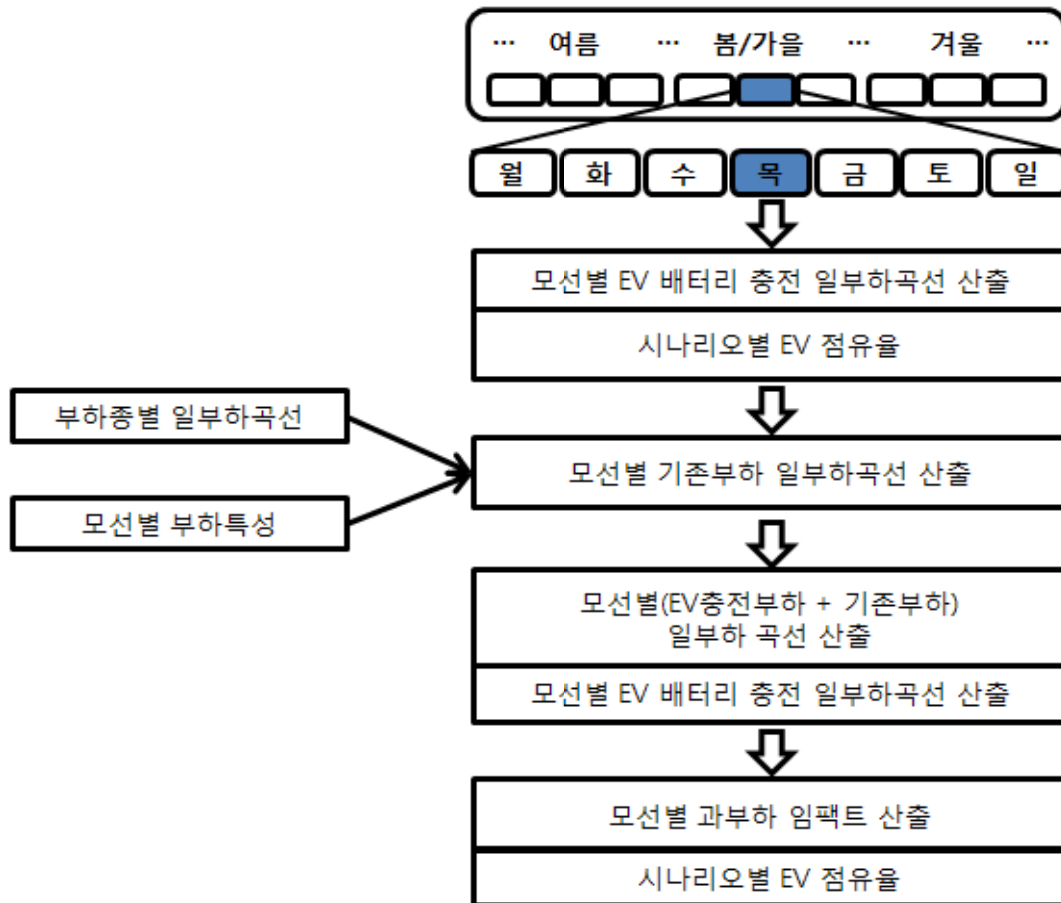


Fig. 7. Flow chart to evaluate impact overload by bus

Table 1. Load characteristics and number of household (AD/L)

구 분	수용가 명(모선)	계약전력 (kW)	가구 수
A D/L	베스텍 상가	300	1
	휴먼시아 아파트	2,750	1,719
	덕천프라자	500	1
	프라스틱 상가	700	1
	벡텔글로벌 상가	500	1
	프레스트 상가	750	1
	단독주택 1 구역	300kW	178
	단독주택 2 구역	300kW	156
	단독주택 3 구역	300kW	191
	단독주택 4 구역	300kW	145

증가를 고려하였다.

다음 표 1에서는 A 회선에 대한 부하 특성과 가구 수를 제시하였다. 다음 표 1에서 제시한바와 같

이 A 회선에서는 10개의 모선이 있으며 10개의 모선중에서 아파트 및 단독주택의 가구 수 산정은 앞서 식(1)에서 제시한 배전계통 모선별 가구수(N_A)

Table 2. No. of EVs charging by bus(scenario 1)

모선	PEVs 대수	PEVs 충전 대수(일간)
휴먼시아 아파트	172	86
단독 주택 1	18	9
단독 주택 2	16	8
단독 주택 3	19	10
단독 주택 4	15	8

Table 3. No. of PEVs charging by bus(scenario 2)

충전 장소	PEVs 대수	PEVs 충전 대수(일간)
휴먼시아 아파트	516	258
단독 주택 1	53	27
단독 주택 2	47	24
단독 주택 3	57	29
단독 주택 4	44	22

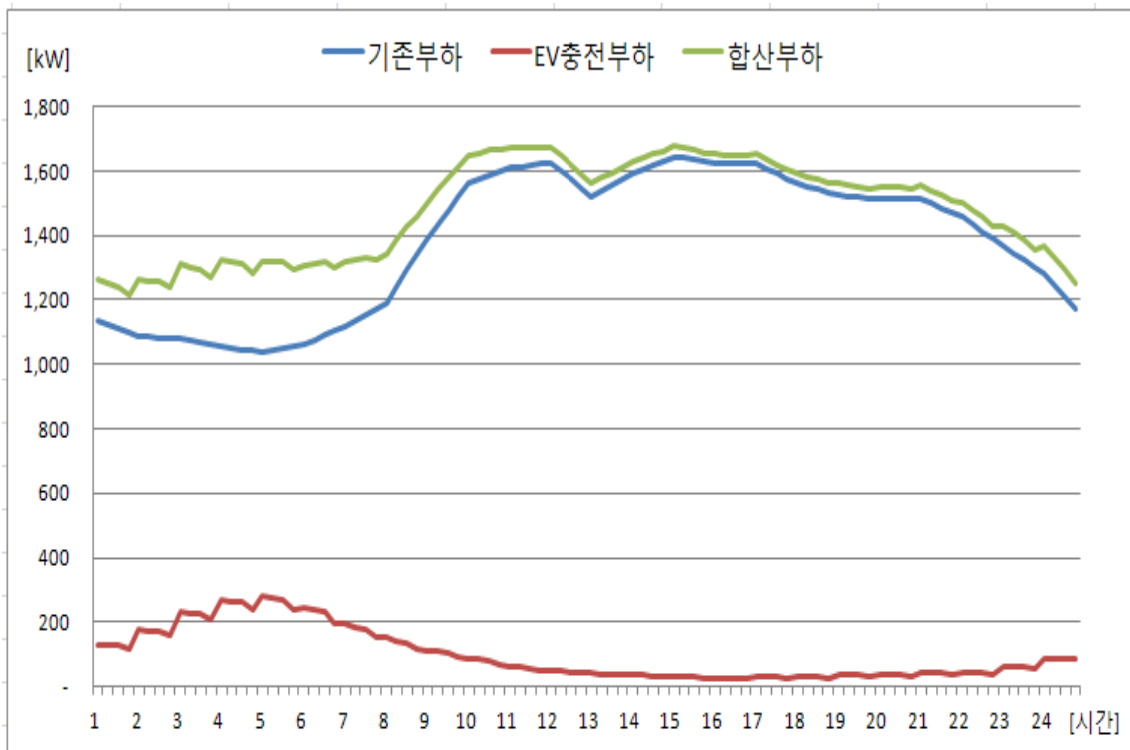


Fig. 8. Daily load curve in Apartment by load type (Scenario 1)

산정을 기준으로 산출하였으며 상업용 모선(베스텍 상가, 덕천프라자, 플라스틱 상가, 벡텔글로벌 상가, 프레스트 상가)에 대한 가구 수는 1로 산정하였다.

한편, 전기차 충전 모선은 주차 및 충전시간을 고려하여 아파트 및 단독주택 모선에서만 이루어지는 것으로 설정하였다.

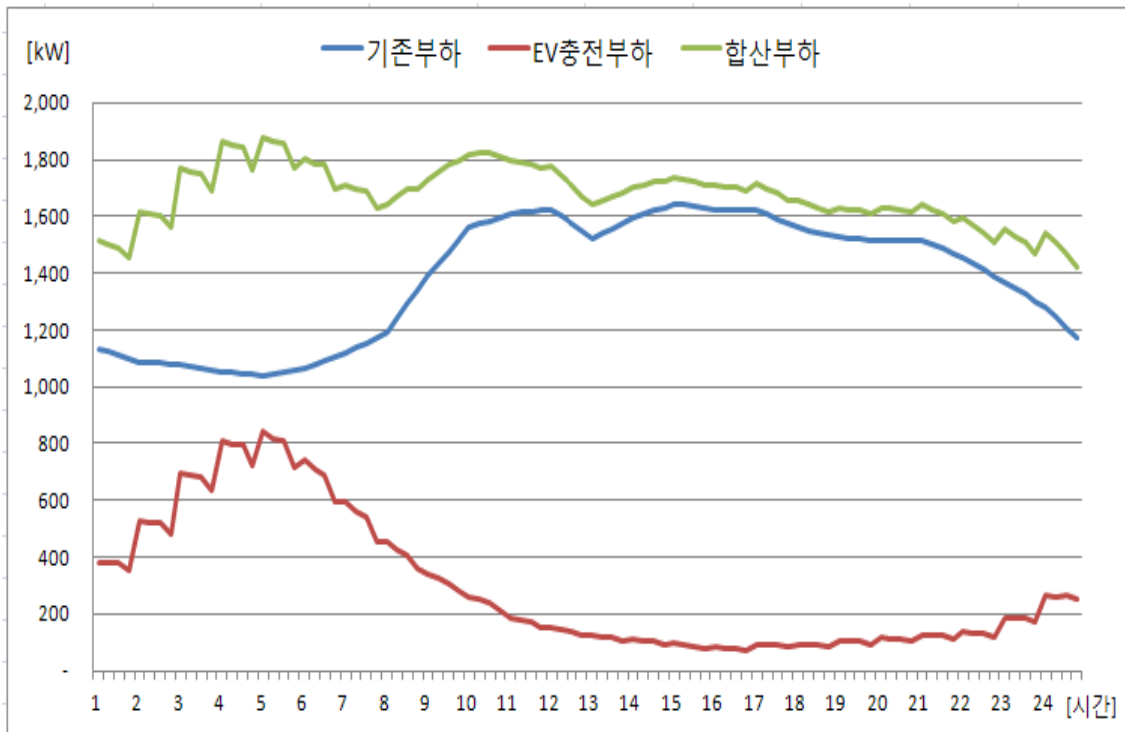


Fig. 9. Daily load curve in Apartment by load type (Scenario 2)

Table 4. Analysis of peak load and demand factor by scenario 1 (Apartment bus)

부하 종별	피크 시간	최대 부하	수용율(%)
기존 부하	오후 3시	1,645	60
충전 부하	오전 5시	280	10
합산 부하	오후 3시	1,676	61

Table 5. Analysis of peak load and demand factor by scenario 2 (Apartment bus)

부하 종별	피크 시간	최대 부하	수용율(%)
기존 부하	오후 3시	1,645	60
충전 부하	오전 5시	841	31
합산 부하	오전 5시	1,880	68

또한, 다음 표 2와 표 3에서는 앞서 표 1에서 제시한 A D/L의 아파트 및 단독주택에 대하여 가구당 차량 대수를 평균 1대로 가정하여 각각 전기차 시나리오별로 PEVs 대수를 산정하였다. 이때 PEVs 배터리 용량과 일간 운행거리를 고려하여 일간 기준으로 전체 PEVs 차량 대수의 50% 정도가 충전하는 것으로 PEVs 일간 충전 대수를 산정하여 제시하였다. 여기서 전기차 점유 시나리오 조건은 전체 차량 중에서 전기차 점유율 10%(시나리오 1)와

전기차 점유율 30%(시나리오 2)이다.

본 논문에서는 우선 모션별 충전 부하의 일부하 곡선을 산출하기 위해 앞서 그림 4와 그림 5에 도시한 충전 확률밀도 함수를 이용하여 휴먼시아 아파트와 단독주택 3에 대하여 PEVs 점유율 시나리오에 따른 일부하곡선을 산출하였다. 이때 휴먼시아 아파트와 단독주택 3에 대한 최대전력 산출 조건은 아래와 같이 각각 계약전력에 대해 수용률과 부동률을 고려하여 산정하였다.

휴먼시아 아파트 : $2,750\text{kW}(\text{계약전력}) \times 0.46(\text{수용률}) \times 1.3(\text{부동률}) = 1,645\text{kW}(\text{최대전력})$
 단독주택 3 : $300\text{kW}(\text{변압기용량}) \times 0.46(\text{수용률}) \times 1.3(\text{부동률}) = 179\text{kW}(\text{최대전력})$

위에서 산출된 휴먼시아 아파트의 최대전력 1,645kW를 고려한 기존부하 일부하곡선과 시나리오 1(PEVs 점유율 10%)과 시나리오 2(PEVs 점유율 30%)에 따라 리튬 이온전지 배터리 특성을 반영하여 앞서 그림 5에 도시한 PEVs 충전시작시간 확률 밀도 함수(차량운행+TOU 요금)에 의한 PEVs 일간 충전부하곡선 및 합산 부하 일부하곡선을 산출하여 각각 다음 그림 8과 그림 9에 도시하였다.

따라서 위 그림 8과 그림 9에 도시한 시나리오별 휴먼시아 아파트에 대한 TOU 요금에 따른 일부하곡선에 대한 분석을 각각 표 4와 표 5에 제시하였다.

그 결과를 분석해보면 시나리오와 상관없이 기존 부하는 피크 시간이 오후 3시이며 충전 부하의 피크 시간은 오전 5시임을 알 수 있었으며 합산 부하는 TOU 요금_시나리오 1에 대해서 합산 부하의 피크 시간이 오후 3시이며 시나리오 2에 대해서는 EV 점유율 30%에 따른 충전부하의 영향이 시나리오 1에 비해 상대적으로 커서 합산 부하는 오전 5시가 피크 시간임을 알 수 있었다.

또한, 충전 시나리오별 합산 부하를 분석해 보면 시나리오 1에 대해서는 합산 부하의 수용률이 61%로 기존 부하 60%에 비해 거의 차이가 없어 충전 부하에 대한 영향이 거의 없음을 알 수 있었다.

다만 충전 시나리오 2에 대해서는 합산 부하의 수용률이 68%로 70%에 근접하여 해당 모션에서의 변압기 또는 계약전력의 업그레이드를 고려해야 할 것으로 분석됐다.

5. 결론

본 논문은 PEVs가 배전계통 모션에 연계되었을 때 PEVs 보급 시나리오별로 PEVs 일간 충전 패턴에 따라 배전계통 모션별 PEVs 충전 일부하곡선을 산정하여 배전계통 모션별 과부하 영향 평가를 하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 제안한 알고리즘은 첫째 배전계통 모션별 가구 수 산출을 위한 PEVs 대수 산출, 둘째 PEVs 운행 특성을 고려한 PEVs 충전시작시간 확률밀도 함수 산출, 셋째 PEVs 보급시나리오별로 배터리 특성을 반영한 해당 모션별 PEVs 충전 일부하곡선을 산출하였다. 넷째 산출된 해당 모션별 PEVs 충전 일부하곡선과 기존 일부하곡선을 합산하여 PEVs 보급시나리오별로 해당 모션의 과부하 영향 평가를 시행하였다.

추가로 제안된 알고리즘에 대해 배전계통 모션

별 과부하 영향 평가 검증을 위해 한국 동탄 신도시의 배전계통 회선의 해당 모션(아파트, 단독주택 지역)을 대상으로 사례 검토를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- PEVs 보급시나리오와 상관없이 해당 모션(아파트, 단독주택)의 경우, 기존 부하 피크 시간은 오후 3시이며 충전 부하 피크시간은 오전 5시이다.

- 해당 모션에서의 합산 부하는 시나리오 1(PEVs penetration 10%)의 경우, 오후 3시가 피크 시간이며 시나리오 2(PEVs penetration 30%)는 오전 5시가 피크시간으로 시나리오 1에 비해 상대적으로 충전 부하의 영향이 큼을 알 수 있다.

- 시나리오 1의 경우, 해당 모션에서의 합산부하는 수용률이 61%로 기존 부하 수용률 60%와 차이가 없어 PEVs 충전이 배전계통 모션에 미치는 영향이 미비하였다.

- 시나리오 2의 경우, 해당 모션에서의 합산부하는 수용률이 68%~70%로 영향이 커서 해당 모션에서의 변압기 및 계약전력의 업그레이드가 필요한 것으로 분석됐다.

사 사

이 논문은 2018년 에기평 산업기술혁신사업(에너지기술개발사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(제2018-380호, 20182010600280)

References

1. A Technical Overview of Transportation Electrification, 2011, EPRI Technical Report
2. K, Qian., C, Zhou., M. Allan., 2011, Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 26, No. 2, pp. 802-810
3. K. Clements-Nyns., E. Haesen., et al., 2010, The impact of charging plug-in-hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, IEEE Trans. Power Systems. Vol 25, No. 1, pp. 371-380
4. L. Zhao., S. Prousch et al., 2010, Simulation methods for assessing electric vehicle impact on distribution grid, IEEE PES Transmission and Distribution conference and exposition
5. H. Son., K. Kook., 2013, Stochastic modeling of plug-in hybrid vehicle distribution in power systems, JEET, Vol. 8, No. 6, pp.1276-1282
6. Seoul City Traffic Census, 2018, Seoul Metropolitan Police Agency

7. Analysis for actual condition Survey of vehicle mileage, 2018, Seoul Traffic Safety Complex
8. Statistics of Electric Power in Korea, 2013, Korea Electric Power Corporation