

급속 충전 정보를 활용한 버스 차량 충전 전력 분배 기법[☆]

Distribution Technique of Bus Charging Power Using Rapid Charging Information

장 태 욱^{1,2} 조 유 민¹ 신 지 인¹ 박 지 숙³ 백 종 호^{3*}
Tae-Uk Chang Yu-Min Jo Ji-In Shin Ji-Sook Park Jong-Ho Paik

요 약

충전기 인프라 시설은 일정한 전력 공급량을 기반으로 설계 및 설치되어 있다. 초기 설계된 충전 시설은 급속히 성장하는 전기 차량의 충전을 한정된 공급 전력량 기반으로 지원한다. 또한, 현재 상용차량은 완전 충전만 가능하며, 급속 균등 충전 방식으로 지원된다. 하지만 상용차량은 정해진 스케줄에 따라 운영되기에 탄력적인 충전이 필수적이다. 본 논문에서는 전기 차량의 급속한 성장 및 증가에 따라 동일 전력량을 기반으로 상용 버스의 고정 스케줄 기반 충전 스케줄링 및 전력 분배 기법을 활용하여 20%이상 효율 향상된 전력 운영방안을 제시한다.

☐ 주제어 : 급속 충전, 충전 스케줄링, 전기 차량, 적응형 급속 충전 기법, 휴리스틱 알고리즘

ABSTRACT

Charger infrastructure facilities are designed and installed based on a constant power supply. Initially designed charging facilities support charging of rapidly growing electric vehicles on a limited power supply basis. In addition, current commercial vehicles can only be fully charged, and are supported by the rapid equalization charging method. However, commercial vehicles operate according to a set schedule, so flexible charging is essential. In this paper, we propose a power operation method with more than 20% efficiency improvement by using a fixed schedule-based charging scheduling and power distribution technique of a commercial bus based on the same amount of power in accordance with the rapid growth and increase of electric vehicles.

☐ keyword : fast charging, charging scheduling, elective vehicle, fast adaptive charging power distribution, heuristic algorithm

1. 서 론

2030년부터 탄소 중립을 위해 내연기관 자동차의 등록 및 생산이 중단된다. 국내 환경부에서는 “한국형 무공해 차 전환 100” 정책을 제시하여 택시 및 렌트카를 전기차량으로 모두 전환하기 위해 관련된 다양한 정책 및 지원을 진행 중이다. 또한, 개인 소유 자동차부터 공공 수단 차량은 전기

차량으로 전환되고 있다. 그림 1에서는 전 세계적으로 전기 버스 시장이 점차 확대되고 있고, CAGR(Compound Annual Growth Rate)이 2016년에 비해 2022년 7.7% 증가되었음을 보여 준다[1]. 따라서 앞서 제시한 바와 같이 전기차량의 급속한 증가로 인해 상용차량의 충전 환경과 관련된 다양한 기술이 요구된다[2-6].



(그림 1) 전 세계 전기 버스 시장 동향

(Figure 1) Global electric bus market trends

또한 전력 공급 회사에서 제공하는 계약된 전력량 기반의 변전 장비는 계약된 전력량에 맞게 제작 되는 특성상 교체

¹ Major in Software Fusion, Seoul Women's University, Seoul, 01797, Republic of Korea

² Quantum Solution, Jeju, 63208, Republic of Korea

³ Department of Software Convergence, Seoul Women's University, Seoul, 01797, Republic of Korea

* Corresponding author: Jong-Ho Paik (paikjh@swu.ac.kr)

[Received 13 January 2023, Reviewed 16 January 2023, Accepted 02 February 2023]

☆ 이 논문은 서울여자대학교 학술연구비의 지원에 의한 것임 (2022-0281).

☆ 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가연구개발사업을 지원 받아 수행된 연구임 (No. 2021-01-000770103004)

할 때의 전력량을 기준으로 제작되면 건물의 전력 사용량의 증가폭이나 전기 자동차의 충전 시스템의 증가폭등은 고려하여 제작 할 수 없다.

버스 운수 사업자의 특성상 정확한 배차를 위한 짧은 대기 시간이 요구된다. 짧은 대기시간을 맞추기 위해 급속 충전기를 구축 운영을 하고 있으나 계약된 전력량 내에서 급속 충전기 대수가 결정되며 전기 버스는 한정된 급속충전기에 동시에 많은 전기 버스의 충전을 위해 충전 대기시간이 길어져 전기 버스 운영에 필요한 최소 충전량을 채우지 못하고 운행 하는 문제가 발생된다.

이러한 제한된 전력 공급량과 동시 다수의 버스가 운행에 필요한 충전량에 대한 수요가 불균형 하는 문제가 발생한다. 이는 공급량을 늘려서도 해결 할 수 있는 문제가 아니기 때문에 충전 스케줄링 기반의 분배 기법이 필요 하다.

본 논문에서는 충전 전력을 제공하기 위한 상용 차량의 운영 스케줄 기반 충전 스케줄링과 전력 분배 신호 처리 소프트웨어를 제안한다. 본 논문에서 설계한 소프트웨어는 버스 스케줄링 분석을 통해 충전 수요 전력, 충전 완료 시간 등을 도출한다. 또한 버스 스케줄링 분석을 통해 충전 전력 분배 및 시간으로 구성된 최적의 충전 스케줄을 제안한다.

2. 버스용 급속 충전 시스템

2.1 버스용 급속 충전 시스템 개요

버스용 급속 충전 시스템은 ISO 15118-3을 이용하여 전기 버스와 충전기 간의 통신을 지원하는 시스템이다. 일반용 완속 충전 시스템에 비해 버스용 급속 충전 시스템은 충전을 위한 스케줄링 및 전력 분배에 사용할 수 있는 데이터가 많다[7]. 하지만 대부분의 데이터는 차량 상태 정보이며, 차량 주변 장치의 세부 특성과 관련된 데이터는 수집하기 어렵다. 표 1에서는 버스용 급속 충전 시스템으로부터 수집한 데이터를 정리하였다. 실제 얻을 수 있는 정보는 차량의 전반적인 상태에 대한 데이터가 대부분이며, 세부 특성에 대한 정보는 접근이 제한적이다. 일반용 완속 충전 시스템과 마찬가지로 전체 충전 시스템의 총 수전 용량은 각 충전기의 최대 충전량의 총합보다 작다. 이를 정리하면 표 1과 같으며, 표 2와 같이 버스용 급속 충전 시스템에서 수집 가능한 데이터 항목별 파라미터를 정의한다.

(표 1) 버스용 급속 충전 시스템으로부터 수집한 데이터 항목별 파라미터 정의

(Table 1) Parameter Definition for each item of Data collected by the Fast-Charging System for buses

항목	정의
날짜 정보	Date
운행 스케줄	BusSchedule
차량 번호	BusNum
누적 운행 횟수	ShuttleCount
운행 거리	ShuttleDistance
운행 출발 시각	ShuttleStart
운행 도착 시각	ShuttleEnd
운행 시간	ShuttleTime
출발 배터리 SoC	BatteryStart
도착 배터리 SoC	BatteryEnd
운행 소모 배터리 SoC	BatteryUsed
충전 시작 시각	StartTime
충전 종료 시각	EndTime
충전 시간	ChargeTime
충전량(kW)	ChargePower
충전량(%)	ChargeSoC
운행 출발 지연 시간	StartDelay
운행 도착 지연 시간	EndDelay
부하 레벨	DemandLevel
일간 날씨 정보	Weather
충전소 지역 특성	Local

버스용 급속 충전 시스템은 일반용 완속 충전 시스템과 같이 전체 충전 시스템의 총 수전 용량은 각 충전기의 최대 충전량의 총합보다 작다. 표 2에서는 앞서 설명한 버스용 급속 충전 시스템의 특징이 보여 진다.

(표 2) 버스용 급속 충전 시스템 특징

(Table 2) Analysis of the Fast-Charging System for bus

항목	내용
통신	충전기와 차량 간의 통신
충전	전체 시스템의 총 수전 용량은 각 충전기의 최대 충전량의 총합보다 작음
데이터 수집	전기 버스의 상태 정보 수집
	각 충전기별 충전 시간 및 전력 정보 수집
	외부 통신을 통한 추가적인 데이터 수집

2.2 버스용 급속 충전 시스템 요구 사항

앞서 제시한 바와 같이 완속 충전 시스템과 급속 충전 시스템의 총 수전 용량은 각 충전기의 최대 충전량의 총합 보다 작다. 즉, 모든 충전기가 동시에 최대 전력으로 충전이 불가능하다. 또한 기존 기법은 총 수전 용량을 각 충전기에 균등 분배하여 충전하며 충전기의 최대 충전 전력을 사용하지 못해 효율성 문제가 대두된다. 앞선 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 전기 자동차의 충전 스케줄링을 통해 정해진 스케줄에 따라 충전기의 충전 전력을 조절하는 기법을 제안한다. 표 3에서는 완속 및 급속 충전 시스템 기반 충전 스케줄링의 요구사항이 보여 진다. 전기 자동차 충전을 위한 스케줄링 및 전력 분배에서 우선적으로 고려해야 하는 사항은 충전을 하기 위해 대기 중인 차량 대기 시간은 최소화 되어야 한다[8]. 즉, 충전 수요에 맞춰 차량의 충전 시간을 최소화할 수 있도록 충전 전력을 분산시켜 전기 자동차 충전소의 총 수전 용량을 보다 효율적으로 운용해야 한다. 또한, 충전 스케줄링 모델 기반으로 시간대별 충전기의 충전량 스케줄이 계산되어야 한다[9].

(표 3) 완속 및 급속 충전을 위한 스케줄링 요구 사항
(Table 3) Requirements of Scheduling for Slow and Fast Charging

순번	요구 사항
1	충전을 위한 차량은 최소화된 대기시간을 가진다.
2	충전 스케줄링 모델 기반으로 시간대별 충전기의 충전량 스케줄을 계산한다.
3	충전 스케줄링은 하루 충전 수요에 근거한다.
4	충전 스케줄링은 하루에 한 번, 정해진 스케줄에 따라 충전 전력을 분산하여 사용한다.

표 3의 순번 3에서 보여 지는 바와 같이 전기 자동차 충전 스케줄링 기법은 하루의 충전 수요에 근거하여 충전 스케줄링이 이루어져야 한다. 즉, 기준일 하루 다음 날의 전기 자동차 충전 스케줄링을 위해 충전 수요 예측이 필요하다. 또한 표 3의 순번 4에서 제시한 바와 같이 하루에 한 번 충전 스케줄링이 이루어지므로, 이 때 실제 충전 수요와 예측된 충전 수요가 상이할 경우, 사전에 제시된 충전 스케줄이 예측에서 벗어나 필요한 충전 수요에 대해 적합하지 않을 수 있다. 따라서 표 3에서 보여 지는 스케줄링의 요구사항을 만족하기 위해서, 본 논문에서는 실시간 충전 수요에 대응할 수 있는 전력 분배 기법을 제안한다. 전력 분배 기법은 전기 자동차 충전 스케줄링

기법과 같이 충전을 위한 차량의 대기 시간 감소가 우선되어야 하며, 전력 분배 모델에 기반 하여 충전 수요 값이 계산되어야 한다. 버스과 같은 상용차량의 경우, 일반적인 전기 자동차 충전 스케줄링 기법과는 다르게 실시간 충전 수요에 대해 즉각적인 계산이 요구되며, 계산된 전력 분산이 충전기에 실시간으로 반영되어야 한다. 표 4에서는 완속 및 급속 충전을 위한 전력 분배 기법의 요구사항이 보여 진다.

(표 4) 완속 및 급속 충전을 위한 전력 분배 기법의 요구사항
(Table 4) Power Distribution Requirements for Slow and Fast-Charging

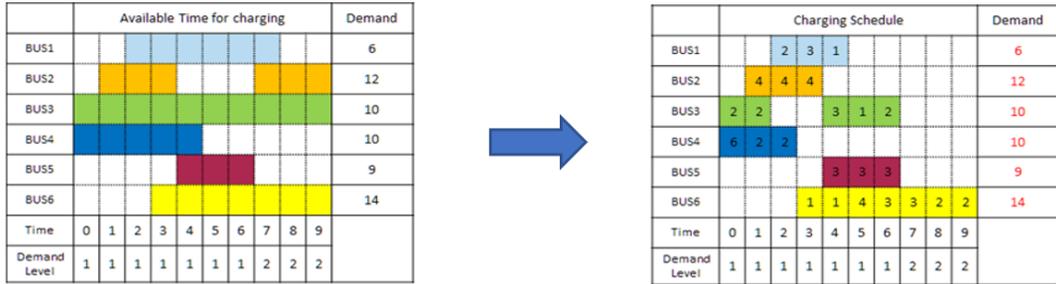
순번	요구 사항
1	충전을 대기하는 차량의 최소화된 대기시간
2	전력 분배 모델에 기반하여 충전 수요 값이 계산됨
3	실시간 충전 수요에 대한 전력 분배는 즉각적으로 계산되어야 하며, 그 결과에 따라 충전 전력이 분산되어야 함

3. 버스용 급속 충전을 위한 전력 분배 요구 사항

버스용 급속 충전 스케줄링 모델은 앞서 2장에서 언급한 바와 같이 충전기와 버스 간의 통신이 가능하다. 그러나 차량의 전반적인 상태에 대한 정보만 수집 가능하며, 차량 주변 장치의 세부 특성에 대한 정보는 수집하기 어렵다. 또한, 각 충전기의 최대 충전 속도의 합이 충전소의 전체 수전 용량보다 작아야 한다. 이러한 전기 버스의 특성을 바탕으로 버스 운행 스케줄 기반으로 충전 수요에 대한 최적화 문제를 해결하기 위한 목적식과 제약식을 구성하여 충전 스케줄링 모델을 제안한다. 표 5에서는 최적화 문제 구성을 위한 버스용 급속 충전 데이터의 각각의 항목과 내용이 보여 진다.

(표 5) 최적화 문제 구성을 위한 버스용 급속 충전 데이터
(Table 5) Data of Fast Charging for Buses to Construct Optimization Problem

항목	내용
수요 예측 데이터	전기버스 운행 스케줄
	전기버스 배터리 잔량
충전소 조건 데이터	충전기 최대 충전 전력
	충전기 최소 충전 전력
	충전소의 전체 수전 용량
	충전소의 충전기 수
	시간대별 부하 레벨(요금) 정보



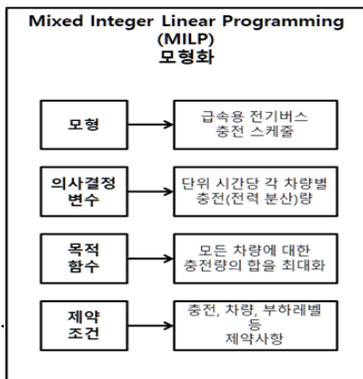
(그림 2) 버스용 급속 충전 스케줄링 예시
(Figure 2) Example of Fast-Charging Scheduling for buses

그림 2에서는 버스용 급속 충전 스케줄링의 한 예시가 보여진다. 왼쪽 그래프는 전력 분배가 없는 상태에서 균일한 전력량으로 충전할 경우의 충전 시간을 보여 준다. 오른쪽 그래프는 전력 분배를 우선순위 및 충전 요구 긴 급성에 기반하여 결정할 경우 충전하는 시간 및 효율을 보여 준다. 이와 같이 본 논문에서는 정해진 스케줄에 따른 제약된 조건 하에 모든 전기 버스에 대한 충전량의 합을 최대화하며, 최소 전력 이상을 충전해야 한다.

따라서, 앞서 언급한 문제는 혼합 정수 선형 문제 기반의 버스용 급속 충전 스케줄 모델을 기반으로 해결한다. 해당 모델은 빠른 충전 시간 내에 더 저렴한 충전 요금을 고려하여 각 전기 버스에 대한 충전 스케줄을 도출한다. 그림 3은 혼합 정수 선형 문제 기반의 버스용 급속 충전 스케줄링 모형도를 보여 준다. 그리고 식 1은 모든 전기 버스에 대한 충전량의 합을 의미한다.

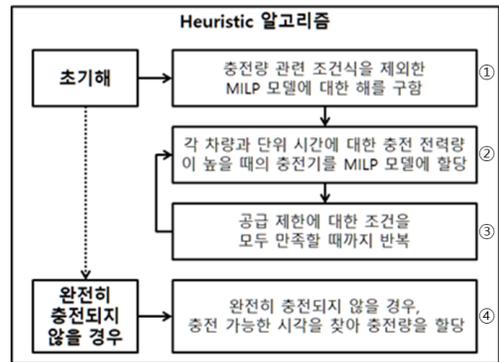
$$w_0 \sum_i \sum_j \sum_k + w_1 \sum_i \sum_j \sum_k z_{ij} x_{ijk} + w_2 \sum_i \sum_j \sum_k p_j x_{ijk} \quad (1)$$

식 1에서 i 는 각 전기 버스를 나타내며, j 는 각 시구간, k 는 각 충전기를 의미한다. w_0 , w_1 , w_2 는 각각 충전, 시간, 요금에 대한 가중치 계수를 의미하며, x 는 충전 전력량, z 는 충전 가능 시간 계수이며, p 는 요금 계수를 의미한다. 식 1을 최대화 하는 최적의 해를 구하기 위해 휴리스틱 알고리즘 기법을 채택하며, 해결 과정은 그림 4에서 보여진다.



(그림 3) 혼합 정수 선형 문제 기반 버스용 급속 충전 스케줄링 모형도

(Figure 3) Mixed Integer Linear Problem-Based Fast Charge Scheduling Model for Buses



(그림 4) 급속용 버스 충전 스케줄링 모델 해법 모형도
(Figure 4) Fast Bus Charging Scheduling Model Solution Model Diagram

휴리스틱 알고리즘은 가용한 정보를 기반으로 각 분기 단계에서 어느 한 분기를 선택하기 위해 사용하는 탐색 알고리즘 기법이다. 해당 기법은 불충분한 시간이나 정보로 인해 합리적으로 의사 결정을 내릴 수 없을 경우에 어렵 집작 방법을 사용하여 다양한 의사결정 상황에서 문제를

축소시켜 정의된 문제 해결 범위 내에서 규칙을 이용한다. 그림 4에서의 급속용 버스 충전 스케줄링 모델 해법은 먼저 MILP 모형으로 필요한 변수, 목적 함수, 충전기의 제약 조건 등을 확인하여 해를 구한다. 이를 기반으로 각 차량 및 단위 시간에 대한 공급 조건으로 충전을 진행 한다. 이러한 과정을 반복하면서 충전을 진행하고, 충전이 완료 되지 못하거나 충전 조건을 완료 되지 않을 경우를 재조정 한다.

따라서 충전기 및 인입 전력량이 조건마다 상이한 상황에서 MLP모형으로 해를 구하고 이러한 조건을 기반으로 최적의 해를 구할 수 있다. 휴리스틱 알고리즘에 대한 코드는 그림 5와 같다.

```

Ptotal ← Total charge power of the charge station
Pmax ← Maximum charge power of the charger
Pmin ← Minimum charge power of the charger
N ← The number of the chargers
order ← array with size N, initialize with value 0
i ← The port number
Pi ← Charge power to car i
Cnum ← The number of cars in the charge station
order ← array with size N, initialize with value 0
policy ← The charge policy including schedule and real-time demand
DemandLevel ← DemandLevel
predictCar ← Predicted the number of cars in time t
predictStayCar ← Predicted the number of stayed cars in time t
predictStayTime ← Predicted the time of stayed cars in time t
predictStayCharge ← Predicted the amount of charge power of stayed cars in time t

k=floor((Ptotal-N*Pmin)/(Pmax-Pmin))

update every Pi if policy(t) changed

Cstay=predictStayCar

if Cnum <= predictCar(t)
    policy(t) = "schedule"
else
    policy(t) = "real-time demand"
end

k=min(k, N-Cstay)

if Demandlevel(t) == 3
    Pmax_adt=Ptotal/N
else
    Pmax_adt=Pmad
end

if car arrive in i
    find index l with value 0 in order
    order(l)=i
    if l <= k
        Pi=((Ptotal-(N-k)*Pmin)/k)<Pmax?((Ptotal-(N-k)*Pmin)/k):Pmax
        if Demandlevel(t) == 3
            Pi=Pmax_adt
        end
    else
        Pi=(Ptotal-k*Pmax)/(N-k)
    end

    if l == N
        Pi=Ptotal/N
    end

    if i is in Cstay
        Pi=min(Pmin, max(Pmax, predictStayCharge/predictStayTime))
    end
end

if car leave from i
    find index l with value i in order
    order(l)=0
    rearrange order
end
    
```

(그림 5) 휴리스틱 알고리즘의 pseudo-code
(Figure 5) Pseudo-code of Heuristic Algorithm

휴리스틱 알고리즘을 통해 급속용 버스 충전 스케줄링 모델을 최적화하기 위한 조건은 식 2에서 보여 진다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \\ & w_0 \sum_i \sum_j \sum_k + w_1 \sum_i \sum_j \sum_k z_{ij} x_{ijk} + w_2 \sum_i \sum_j \sum_k p_j x_{ijk} \\ \text{subject to:} \\ & \sum_{\substack{j=\text{during} \\ \text{charging}}} x_{ijk} \leq VC_i \\ & \sum_k x_{ijk} \leq VCpT_i \\ & \sum_i x_{ijk} \leq CpT_j \\ & \sum_k x_{ijk} x_{ijk} \leq cCpT_j \\ & \sum_k y_{ijk} \leq N \end{aligned}$$

where during charging,

$$\begin{aligned} x_{ijk} & \leq cCpT_j \\ x_{ijk} & \leq M \\ x_{ijk} & \geq m \end{aligned} \quad (2)$$

VC_i 는 차량별 최대로 충전할 수 있는 전력량, 즉 차량의 최대 수요 전력량을, $VCpT_i$ 는 차량별 단위 시간당 최대로 충전할 수 있는 전력량, CpT_j 는 단위 시간당 충전기를 통해 공급되는 최대 전력량을 의미한다. $cCpT_j$ 는 단위 시간당 하나의 충전기에서 충전할 수 있는 전력량을 의미하며, N 은 사용 가능한 충전기 수, M 은 충전기의 최대 충전량, m 은 충전기의 최소 충전량을 의미한다.

전기차의 최대 배터리 용량이 있고 이때 차량의 안전 문제로 차량에서 단위 시간에 충전이 가능한 용량이 존재한다. 또한 차량에서 요구하는 단위 시간에 충전량을 충전기가 충전 속도에 따라 충전 용량이 존재 하고 따라서 단위 시간에 충전기가 충전하는 용량이 결정된다. 즉 이 4개의 지표를 활용하여 최적의 충전량 및 복수개의 차량을 충전할 수 있다.

4. 버스용 급속 충전 기법 적용 모의실험

버스용 급속 전기 자동차 충전 스케줄링 기법은 버스의 정보와 버스 운행 스케줄을 기반으로 충전 스케줄을 결정한다. 즉, 버스의 운행 스케줄에 따른 각 버스의 충전량을 버스의 충전 가능 시간을 고려하여 결정한다. 버스용 급속 전기 자동차 충전 스케줄링 기법 검증을 위해 성남시에서

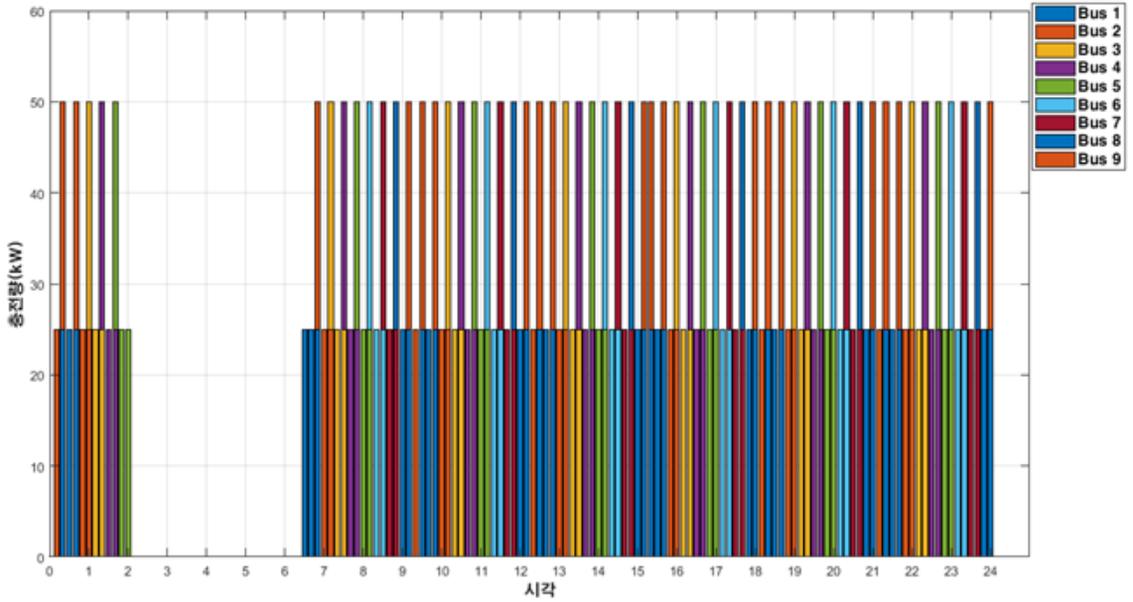
운영 중인 전기 버스 정보와 운행 스케줄 데이터를 일반화하여 전기 자동차 충전 스케줄을 도출하고, 도출한 스케줄링이 버스의 충전 가능 시간에 맞게 분배되었는지 확인하는 모의실험을 진행한다. 표 6에서는 버스용 급속 전기 자동차 충전 스케줄링 기법 모의실험을 위한 데이터를 보여 준다.

(표 6) 버스용 급속 전기자동차 충전 스케줄링 모의실험 데이터 (Table 6) Simulation data of Fast electric vehicle charging scheduling for buses

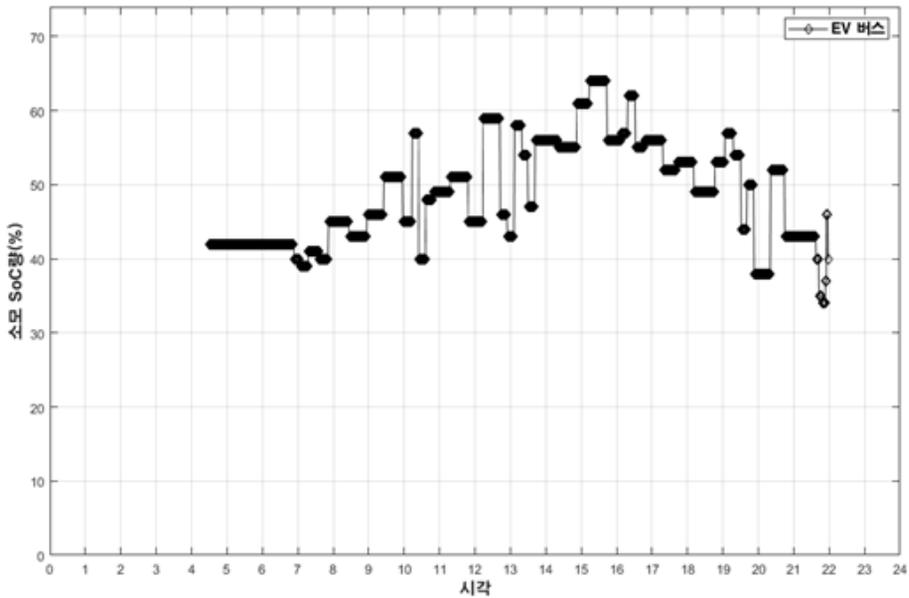
항목	데이터
단위 시간(분)	10 분
총 수전 용량	600kW
충전기 수	6 대
충전기 최소 전력	25kW
충전기 최대 전력	150kW
운행 시작 시각	04:30
운행 종료 시각	22:00
1회 운행 소요 시간(분)	120 분
운행 배차 시간(분)	20 분
운행 후 충전 가능 시간(분)	30 분
차량 수	9 대
전기 버스 배터리량	125kW
최소 운행 배터리량	70kW

그림 6에서는 버스용 급속 충전 스케줄링 모의실험 결과를 보여 준다. 버스 운행 후 충전 가능한 시간인 30분 동안 각 버스들의 충전 스케줄이 도출되었으며, 최소 운영을 위한 배터리 양인 70kW 이상을 모두 만족한다.

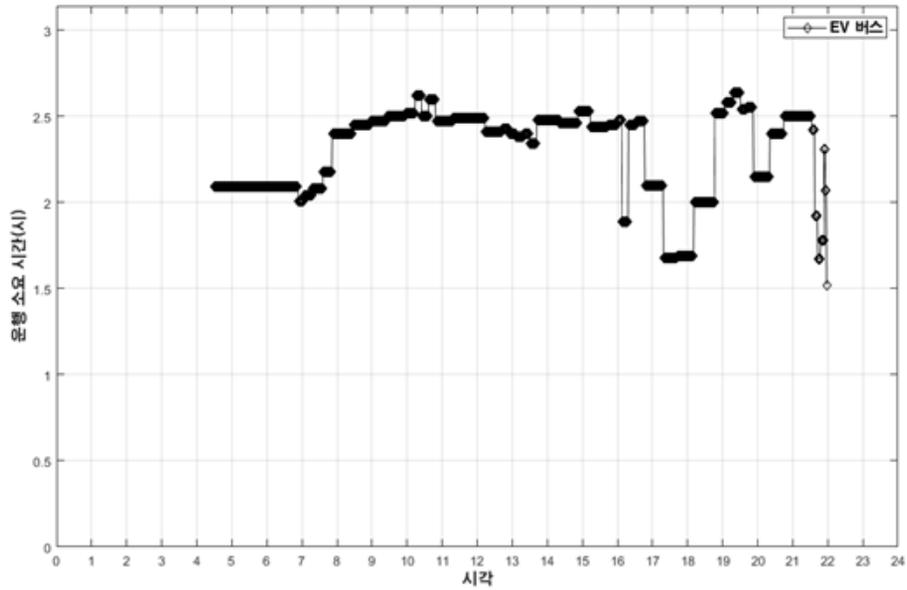
버스용 급속 적응형 충전 전력 분배 기법의 모의실험을 위한 조건은 표 6에 기반하며, 차량 수 9대 중 6대는 정규 차량이고, 3대는 예비차량이다. 또한, 정규분포(표준편차=1)를 가지는 운행 소요 시간 및 소모 SoC(State of Charge) 랜덤 생성 데이터를 조건으로 추가한다. 버스용 급속 적응형 충전 스케줄 관련 조건은 실제 충전 수요 데이터를 예측된 데이터 기반으로 랜덤하게 생성한다. 실제 급속 전기 버스 운행에서 운행 초반, 실증에 대한 통신 및 운행 이외의 다른 문제로 지연된 경우가 많았으며 교통 상황이 아닌 배차 간격 등의 문제들로 버스 운행 스케줄 일정이 지켜지지 않는 제약 상황이 발생하여 앞서 제시한 조건에서 불 때 데이터를 랜덤하게 발생 시킨다. 시간별 차량 출고에 따른 충전 수요 예측 결과는 그림 7과 그림 8에서 보여 진다.



(그림 6) 버스용 급속 전기자동차 충전 스케줄링 모의실험 결과
 (Figure 6) Simulation result of charging scheduling for fast electric vehicle for bus

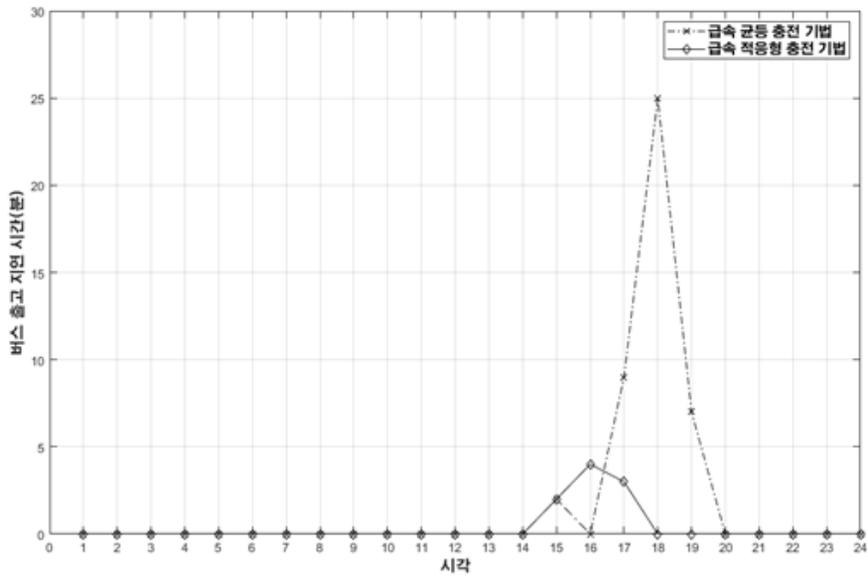


(그림 7) 전기버스 시간대별 소모 SoC 예측 모의실험 결과
 (Figure 7) The simulation result of predicting electric bus consumption SoC by hour



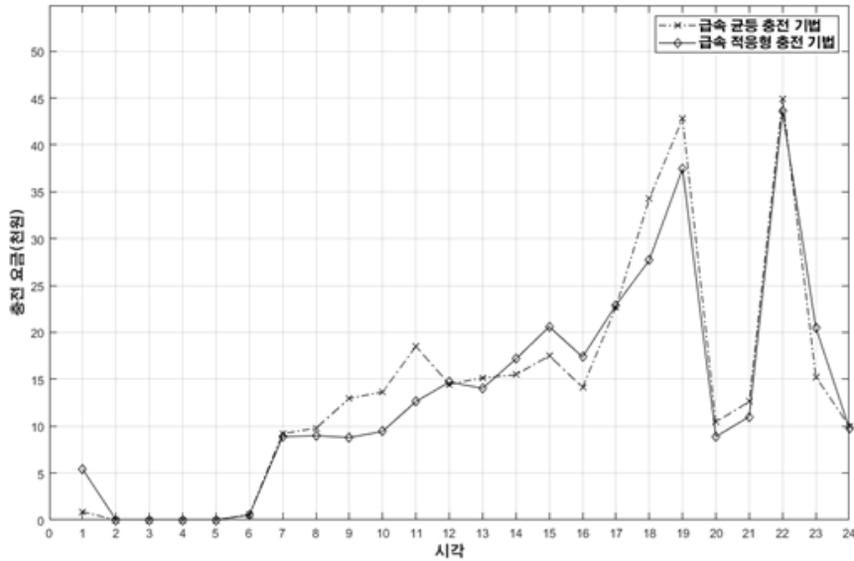
(그림 8) 전기버스 운행 시간대별 소요 시간 예측 모의실험 결과

(Figure 8) The simulation results predicting the required time for electric bus operation time by hour



(그림 9) 제안한 급속 적응형 충전 전력 분배 기법의 시간별 버스 출고 지연 모의실험 결과

(Figure 9) Results of a simulation of bus release delay by time zone with the proposed fast adaptive charging power distribution technique



(그림 10) 제안한 급속 적응형 충전 전력 분배 기법의 시간별 충전 요금 모의실험 결과
 (Figure 10) Results of simulation of charging fee by time zone using the proposed fast-adaptive charging power distribution technology

그림 7에서는 전기 버스가 각 시간별 운행에 필요한 전력량을 예측한 그래프이다. 그래프에서 예측하는 부분은 버스의 운행 시간 및 거리를 고려한 필요 전력량이다. 그림 8은 그림 7일 때 소요된 운행 시간을 나타낸다. 이를 기반으로 동일한 입력 전력량을 기반으로 운행에 지장이 없는 최적의 충전량을 확보하는 방법을 보여 준다.

기존 기법인 균등 분배 충전과 본 논문에서 제안한 버스용 급속 적응형 충전 전력 분배 기법의 시간대별 버스 출고 지연 시간과 충전 요금 모의실험 결과는 각각 그림 9와 그림 10에서 보여 진다.

충전 수요가 증가하는 15시부터 17시까지 균등 분배 충전 기법은 버스 출고 시간이 지연되고 있으나, 충전 요금은 본 논문에서 제안하는 기법보다 저렴하다. 하지만 나머지 시 구간에서 본 논문에서 제안하는 일반용 완속 적응형 충전 전력 분배 기법은 기존 균등 분배 기법에 비해 저렴한 충전 요금으로 버스 출고 지연 없이 충전이 진행되고 있다.

표 7에서는 버스용 급속 적응형 충전 전력 기법의 모의 실험 결과를 보여 준다. 본 논문에서 제안한 기법은 기존 균등 분배 기법에 비해 총 지연 시간과 충전 요금이 각각 약 79.1%와 약 4.5% 효율적임을 알 수 있다.

(표 7) 급속용 적응형 충전 스케줄링 및 전력분산 모의실험 결과

(Table 7) Simulation Results of Adaptive Charging Scheduling and Power Distribution for Rapid Use

충전 기법	하루 차량 총 지연 시간(분/하루)	하루 총 충전 요금(천원)
급속 균등 분배 충전 기법	43분	335.2
제안된 급속 적응형 충전 전력 분배 기법	9분	320.3

5. 결 론

본 논문에서는 버스 운영 스케줄을 분석하여 제안한 충전 기법을 버스용 급속충전기에 적용하여 일반적인 균등 충전 기법보다 효율적임을 도출하였다. 충전기와 차량간의 통신 제약으로 급속 충전 기법 등의 모든 모의실험에서 한계가 존재하지만, 추후 통신 지원 및 관련 오픈 데이터 API를 사용한다면 제안된 기법을 보다 효율적인 적응적 충전

스케줄링 및 전력분산을 제공할 것으로 예상된다. 또한, 향후 고정된 장소에서 많은 충전 데이터를 분석하여 최적의 충전량 스케줄링이 가능하면, 전력 사용 비용 및 차량 대기 시간 등을 효율적으로 관리할 수 있다.

향후 충전 슬롯의 개수가 고정되어 아닌 가변적인 경우, 시간별 전력 요금 및 급속 충전량의 제어 등을 고려한 충전 스케줄링 및 전력 분산 기법 연구를 통해 보다 효율적인 분산 충전 방식을 제공 가능할 것으로 기대한다.

참고문헌(Reference)

- [1] 최원준, “배터리 교환형 전기버스 시스템 표준시방 및 비상대응체계”, KAIA, Vol.16, pp.64-65, 2019.
http://www.kaia.re.kr/webzine/2019_03/sub/sub6.html
- [2] K. Park, H. Jeon, K. Jung and B. Son, “Charging behavior analysis of electric vehicle,” Journal of Korean Society of Transportation, vol. 35, no. 3, pp. 210-219, 2017.
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.3.210>
- [3] Y. W. Son, J. H. Cho and Y. E. Kim, “Distribution switchboard for standard charger of EV able to distribute as power capacity,” Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 26, no. 2, pp. 187-195, 2018.
<https://doi.org/10.7467/KSAE.2018.26.2.187>
- [4] S. Ahmed, A. Raza, S. Shafique, M. Ahmad, M. A. Khan, A. Nawaz and R. Tariq, “RPSMDSM: Residential Power Scheduling and Modelling for Demand Side Management,” KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 14, no. 6, pp. 2398-2421, 2020.
<https://doi.org/10.3837/tiis.2020.06.005>
- [5] M. S. Kim and S. C. Hong, “Smart panel board for ev standard chargers and its control method,” The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics(TKPE), vol. 19, no. 6, pp. 511-521, 2014.
<https://doi.org/10.6113/TKPE.2014.19.6.511>
- [6] D. Li, J. Lan and Y. Hu, “Central Control over Distributed Service Function Path,” KSII Transactions on Internet and Information Systems, vol. 14, no. 2, pp. 577-594, 2020.
<https://doi.org/10.3837/tiis.2020.02.006>
- [7] K. J. Yunus, M. Reza, H. Zelaya-De La Parra and K. Srivastava, “Impacts of stochastic residential plug-in electric vehicle charging on distribution grid,” Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) 2012 IEEE PES, pp. 1-8, 2012.
<https://doi.org/10.1109/ISGT.2012.6175691>
- [8] K. Qian, C. Zhou, M. Allan and Y. Yue, “Load model for prediction of electric vehicle charging demand,” Power System Technology (POWERCON) IEEE 2010 International Conference on 2010 Oct, pp. 1-6, 2010.
<https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666587>
- [9] W. Su, H. Eichi, W. Zeng and M. Y. Chow, “A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 8, no. 1, pp. 1-10, 2012.
<https://doi.org/10.1109/TII.2011.2172454>

● 저 자 소 개 ●

장 태 욱(Tae-uk Chang)

1992년 한양대학교 물리학과(이학사)

2021년 서울여자대학교 일반대학원 컴퓨터학과(공학석사/공학박사)

2015년~현재 퀀텀솔루션 대표이사

관심분야 : 유무선통신, AVB(Audio-Video Bridge), PLC, 증방전시스템, etc.

E-mail : michael.chang@q-sol.co.kr

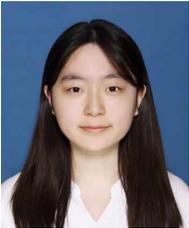


● 저 자 소 개 ●



조 유 민(Yu-min Jo)

2021년 서울여자대학교 수학과(이학사)/소프트웨어융합학과(공학사)
2021년~현재 서울여자대학교 일반대학원 컴퓨터학과 석사과정
관심분야 : 데이터베이스, 알고리즘, 머신러닝, 지능형플랫폼, 추천시스템, etc.
E-mail : rosem97@swu.ac.kr



신 지 인(Ji-in Shin)

2022년 서울여자대학교 소프트웨어융합학과(공학사)
2022년~현재 서울여자대학교 일반대학원 컴퓨터학과 석사과정
관심분야 : 서버플랫폼, 지능형플랫폼, 안드로이드응용, 프로그래밍, etc.
E-mail : jiin99@swu.ac.kr



박 지 속(Ji-sook Park)

1990년 한국과학기술원 전산학과(공학사)
1992년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
1998년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
2002년~현재 서울여자대학교 소프트웨어융합학과 교수
관심분야 : 데이터베이스, 의료정보시스템 etc.
E-mail : jspark@swu.ac.kr



백 종 호(Jong-ho Paik)

1994년 중앙대학교 전기공학과(공학사)
1997년 중앙대학교 일반대학원 전기학과(공학석사)
2007년 중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부(공학박사)
1997년~2011년 한국전자기술연구원(KETI) 모바일단말융합센터 센터장
2011년~현재 서울여자대학교 소프트웨어융합학과 교수
관심분야 : 서비스플랫폼, 방송통신융합, 중방전시스템, IIoT, 빅데이터, etc.
E-mail : paikjh@swu.ac.kr