

Proposal and Simulation of Optimal Electric Vehicle Routing Algorithm

최적의 전기자동차 라우팅 알고리즘 제안 및 시뮬레이션

Moonsuk Choi, Inji Choi, Minhae Jang, Haneul Yoo
최문석, 최인지, 장민해, 유하늘

Abstract

Scheduling of electric vehicles and optimizing for charging waiting time have been critical. Meanwhile, it is challengeable to exploit the fluctuating data from electric vehicles in real-time. We introduce an optimal routing algorithm and a simulator with electric vehicles obeying the Poisson distribution of the observed information about time, space and energy-demand. Electric vehicle routing is updated in every cycle even it is already set. Also, we suggest an electric vehicle routing algorithm for minimizing total trip time, considering a threshold of the waiting time. Total trip time and charging waiting time are decreased 34.3% and 86.4% respectively, compared to the previous algorithm. It can be applied to the information service of charging stations and utilized as a reservation service.

Keywords: Electric Vehicles, Vehicle Routing, Charging Scheduling, Delay Minimization, Optimization

I. Introduction

A. 연구 배경

환경 보전이 전 세계적으로 중요한 이슈가 되어 감에 따라 전기자동차는 대중으로부터 크게 환영받고 있다. 전기자동차는 기존 내연기관 차량에 비하여 높은 에너지 효율, 낮은 온실가스 배출, 신재생 에너지 사용의 잠재성 등에 있어 많은 이점을 제공한다. 2025년까지 상대적으로 낮은 전기자동차 판매량은 2025년에서 2030년 사이에 급증하여 2040년 신차 판매량의 54%, 전 세계 자동차의 33%를 점유할 것으로 전망된다 [1].

전기자동차 라우팅은 충전을 원하는 전기자동차에게 최적의 충전소와 충전기를 할당하는 과정이다. 라우팅 알고리즘이 도입된다면 전기자동차 사용자 측면에서는 충전량 대비 효율적인 전기자동차의 운행이 가능해지고, 여러 대의 충전소를 관리하는 시스템 측면에서는 효과적인 충전소 관리가 가능해진다 [4]. 즉, 넓은 범위에서 다수의 전기자동차에 대한 우선순위 관리는 중요한 과제이다. 따라서 충전대기시간 혹은 총 운행시간을 고려하여 전기자동차 라우팅 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 이를 확인하려는 여러 시도가 있었다 [2]-[5].

그러나 전기자동차는 교통상황에 의한 운행 불확실성에 따라 특정 구간 및 시간에서 예상된 속도로 주행하지 못하고 예상 도착시간을 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 전기자동차는 이동체의 특성에 따라 시공간상에 무작위로 분포하고 있으며, 그 정

보는 매 순간마다 바뀌기 때문에 특정 순간 모든 전기자동차의 정보를 알기 어렵다.

기존의 알고리즘에서는 전기자동차 라우팅이 출발 시점에서만 이루어져 다른 전기자동차에 의한 실시간 정보를 반영하지 못한다는 문제점이 있었다 [2]-[5]. 이는 특정 상황에서 충전대기시간이 과도하게 길어지는 문제로 이어졌고, 자연스레 총 운행시간의 증가와 라우팅 알고리즘의 전체적인 성능 저하로 이어졌다.

B. 연구 목표

본 논문은 한정대기시간 개념을 도입하여 기존의 문제점을 해결하는 최적화 라우팅 알고리즘을 제시하고자 한다. 이때, 한정대기시간이란 충전을 원하는 전기자동차가 배터리 잔여량, 이동거리 등을 고려하여 최대로 대기할 수 있는 임계값(Threshold)이다. 만약 예상 충전대기시간이 한정대기시간을 넘어가면 전기자동차는 해당 충전소에서의 충전을 포기하고 운행하며 다른 충전 기회를 기다린다.

국내 전기자동차 및 충전소 데이터를 충분히 반영한 시뮬레이터를 개발하고 업데이트 기능을 추가하여 다른 전기자동차에 의해 변하는 교통상황에 유동적으로 대처할 수 있도록 한다. 사용자 입장을 고려한 라우팅 알고리즘의 성능 평가 지표를 제시하고, 본 논문에서 제안하는 새로운 라우팅 알고리즘과 기존 알고리즘을 시뮬레이션 하여 성능을 비교한다.

Article Information

Manuscript Received October 18, 2019, Revised November 11, 2019, Accepted January 31, 2020, Published online March 30, 2020

M. Choi, I. Choi and M. Jang are with KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Republic of Korea.
H. Yoo is with Ajou University, 206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Republic of Korea.

Correspondence Author: Moonsuk Choi (freewill@kepco.co.kr)



This paper is an open access article licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
This paper, color print of one or more figures in this paper, and/or supplementary information are available at <http://journal.kepco.co.kr>.

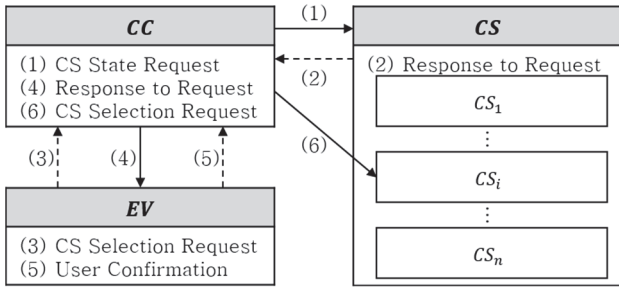


Fig. 1. 시뮬레이터 모듈 구성도.

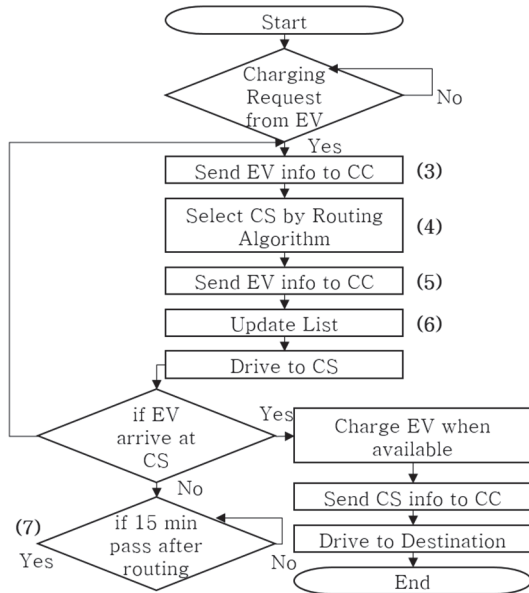


Fig. 2. 시뮬레이터 작동 플로 차트.

TABLE 1
시뮬레이터 3요소의 특징

	정의	정보	가정
EV	배터리와 전기 모터를 사용하여 구동하는 차량 중 하이브리드 충전 방식을 제외한 순수 전기자동차	ID, 위치, 목적지, 충전량, 목표 충전소, 충전 요청 시간	전기자동차는 충전량을 모두 채울 때까지 충전하며, 충전이 완료된 시점에 즉시 충전소를 떠난다.
CS	한 대 이상의 충전기가 존재하여 전기자동차의 충전이 이루어지는 장소	위치, 충전기 수, 충전 전력, 충전기 현황, 예약된 EV	충전소에 모든 충전기가 충전 중이라면, 그 이후에 도착하는 차량은 충전소에서 대기한다.
CC	전기자동차와 충전소로부터의 정보를 종합하여 전체 시스템을 관리하는 제어 센터	EV와 CS의 정보, 라우팅 알고리즘 A~D	중앙제어센터는 각 요소와 4G/LTE 무선 통신을 하며, 이때 기기의 고장이나 통신상의 오류는 없다.

II. 시뮬레이터 개발

A. 시뮬레이터 구성

시뮬레이터는 전기자동차 (Electric Vehicle: EV), 충전소 (Charging Station: CS), 중앙제어센터 (Control Center: CC)로 구성되며, 각 특징은 TABLE 1과 같다.

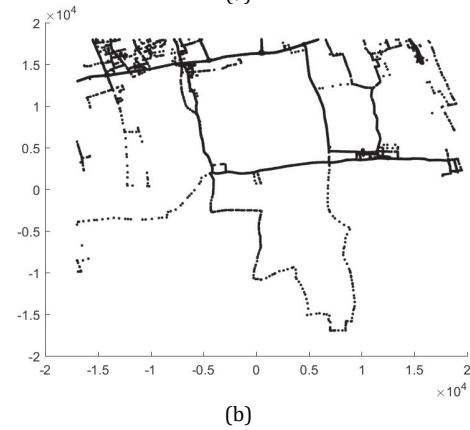
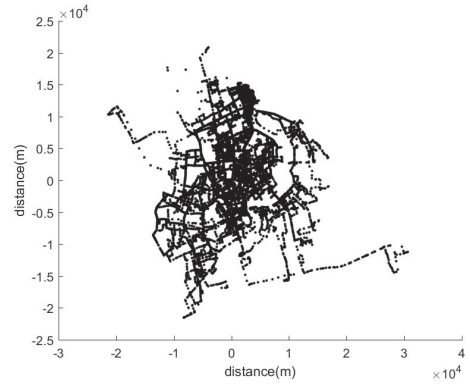


Fig. 3. 시뮬레이터 작동 플로 차트. (a) Metropolis Model. (b) Medium City Model.

시뮬레이터의 모듈 구성은 Fig. 1과 같다.

(1) CC는 매 단위시간마다 CS의 상태 정보를 요청한다.

(2) (1)의 요청에 따라 CS는 CC에게 해당 CS의 상태 정보를 전달한다.

(3) EV는 자신의 상태 정보를 CC에게 전달하며 충전 요청을 한다.

(4) CC는 라우팅 알고리즘에 따라 CS를 선택하고 EV에게 전달한다.

(5) EV는 선택된 CS를 확인하고 선택된 CS까지의 이동 시간 정보를 전달한다.

(6) 현재 단위시간에서 최종 결정된 CS에게 EV 정보를 전달한다.

이때, 시뮬레이터 내 임의의 전기자동차가 운행되는 과정은 Fig. 2와 같다. (7)에서는 (3)-(6)의 과정을 반복하여 이전에 선택된 결과와 다르다면 기존 예약을 중단하고 새로운 예약으로 업데이트 한다.

B. 시뮬레이터 내 전기자동차의 분포

전기자동차는 공간, 시간, 충전량에 대해 다음과 같은 푸아송 분포를 따른다.

(1) 전기자동차의 공간분포는 대도시 또는 중소도시로 구분되고, 대도시의 경우 중앙 밀집형 차량 분포를, 중소도시의 경우 분산형 차량 분포를 따른다. 본 논문의 시뮬레이터에 사용된 중앙 밀집형 차량 분포는 중국 상하이의 전기자동차 택시에서 수집된 결과이고 분산형 차량 분포는 국내의 차량 분포를 바탕으로 예측한 결과이다. (Fig. 3)

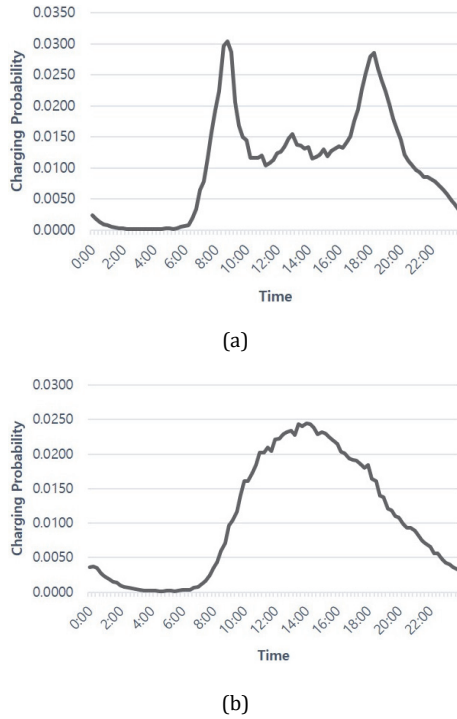


Fig. 4. 전기자동차의 시간분포. (a) 주중. (b) 주말.

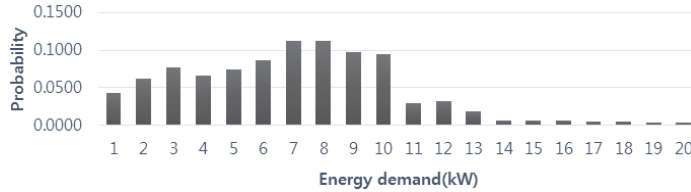


Fig. 5. 전기자동차의 충전 에너지 요구량 분포.

(2) 전기자동차의 시간분포는 주중 또는 주말로 구분된다. 주중의 경우 충전 요구 차량이 오전(08시)과 오후(18시)시간에 가장 많고, 주말의 경우 낮(12-16 시) 시간에 가장 많다 (Fig. 4) [6].

(3) 전기자동차의 충전량은 통계적 충전 에너지 요구량 확률분포를 따른다 [6]. 시뮬레이터는 15 분마다 새로운 전기자동차운행을 시작한다. (Fig. 5)

C. 기존의 전기자동차 라우팅 알고리즘

다음은 기존의 연구에서 제시된 전기자동차 라우팅 알고리즘이다.

(1) Step A: 출발 위치에서 가장 가까운 충전소를 선택한다. 예약 업데이트가 진행되더라도 선택된 충전소가 변하지 않는다.

(2) Step B: 충전대기시간이 최소가 되도록 하는 충전소를 선택한다. 전기자동차는 출발 시점 이외에도 주기적으로 충전대기시간을 확인하여 충전소 예약을 업데이트 한다 [4].

(3) Step C: 총 운행시간이 최소가 되도록 하는 충전소를 선택한다. Step B와 마찬가지로 예약 업데이트를 진행한다 [3].

가장 기초적인 방법은 (1) Step A이다. 그러나 이는 시간 효율을 전혀 고려하지 않은 대책이므로 기존의 선행 연구에서는 이

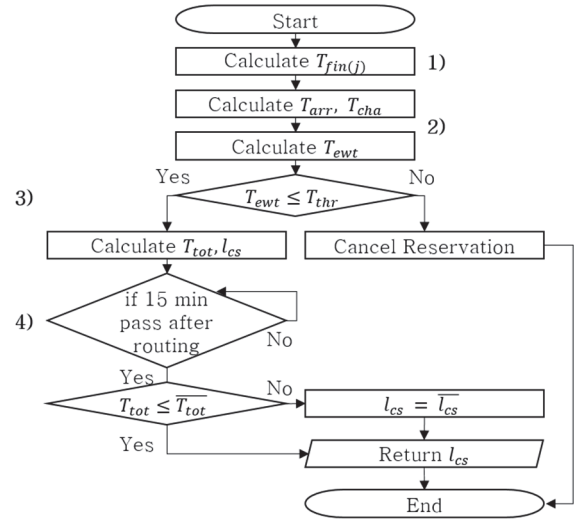


Fig. 6. 제안된 전기자동차 라우팅 알고리즘 Step D 플로 차트.

TABLE 2

전기자동차 라우팅에 사용되는 표현

$T_{fin(j)}$	충전기의 사용가능시점
LIST	각 충전기의 $T_{fin(j)}$ 을 저장하는 배열
T_{cur}	현재 시각
T_{exp}	사용 중인 충전기의 잔여 충전시간
T_{arr}	전기자동차가 충전소에 도착하기까지의 예상 시간
$T_{src,cs}$	전기자동차가 출발지에서 충전소까지 이동시 소요시간
T_{cha}	전기자동차의 순 충전시간
E_{select}	전기자동차가 요청한 충전량
P	충전기의 충전전력
T_{ewt}	예상 충전대기시간
T_{thr}	한정대기시간
T_{tot}	총 운행시간
l_{cs}	전기자동차 라우팅 알고리즘에 의해 선택된 결과
CS_{min}	라우팅 알고리즘에 의해 선택된 최적의 충전소

를 개선한 (2) Step B와 (3) Step C를 제시하였다. 그러나 이는 교통 상황에 의한 운행 불확실성을 고려하지 않아 다수의 전기자동차가 동시에 움직이는 실제 상황에서는 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 새로운 전기자동차 라우팅 알고리즘 Step D를 제안하여 전기자동차 라우팅을 최적화하고자 한다.

D. 한정대기시간을 도입한 라우팅 알고리즘 제안

(4) Step D: Step C와 마찬가지로 총 운행시간이 최소가 되도록 충전소를 선택하되, 충전대기시간이 한정대기시간을 넘지 않도록 한다. Step B, C와 마찬가지로 예약 업데이트를 진행한다. Fig. 6은 Step D 라우팅 알고리즘의 순서도이고, TABLE 2는 시뮬레이터에서 사용되는 전기자동차 라우팅 알고리즘에 사용되는 표현이다.

1) 충전기별 사용가능시점 계산

$$T_{fin(j)} = \begin{cases} T_{cur} & (\text{if } j \notin F) \\ T_{cur} + T_{exp} & (\text{if } j \in F) \end{cases} \quad (1)$$

각 충전소는 충전기의 사용가능시점을 저장하는 LIST를 포함한다. Eq. (1)에 따르면 어떤 충전기가 사용 중이 아니면 LIST

Algorithm 1
예상 충전대기시간(T_{ewt}) 계산 알고리즘

1:	sort LIST with ascending order
2:	sort reserved EVs according to FCFS
3:	for i 1:EVs do
4:	if ($T_{ev(i)arr} < T_{ev(r)arr}$) then
5:	if (LIST.(0) > $T_{ev(i)arr}$) then
6:	$T_{ev(i)fin} = \text{LIST}.(0) + T_{ev(i)cha}$
7:	else
8:	$T_{ev(i)fin} = T_{ev(i)arr} = T_{ev(i)cha}$
9:	end if
10:	replace LIST.(0) with $T_{ev(i)fin}$
11:	sort LIST with ascending order
12:	end if
13:	end for
14:	if LIST.(0) > $T_{ev(i)cha}$ then
15:	return $T_{ewt} = \text{LIST}.(0) - T_{ev(i)arr}$
16:	Else
17:	return $T_{ewt} = 0$
18:	end if

Algorithm 2
충전소 결정 알고리즘

1:	for $\forall cs(idx_{cs}) \in CS_s$ do
2:	calculate $T_{pos,cs}^{cs(idx_{cs})}$, $T_{trip}^{cs(idx_{cs})}$
3:	calculate expected waiting time (T_{ewt}) via Algorithm 1
4:	if $T_{ewt}^{cs(idx_{cs})} \leq T_{thr}$
5:	$T_{tot}^{cs(idx_{cs})} = T_{pos,cs}^{cs(idx_{cs})} + T_{EW}^{cs(idx_{cs})} + T_{cha}^{cs(idx_{cs})} + T_{cs,des}^{cs(idx_{cs})}$
6:	else do
7:	cancel reservation
8:	end if
9:	end for
10:	$T_{tot} = \{T_{tot}^{cs(1)}, \dots, T_{tot}^{cs(N_{cs})}\}$
11:	$cs_{min} = \text{argmin}_{cs(idx_{cs}) \in CS_s} T_{tot}$
12:	$ls_{cs}^{min} = \text{loc}(cs_{min})$
13:	return ls_{cs}^{min}

에는 현재시간(T_{cur})이 저장되고, 충전 중이라면 T_{cur} 에 현재 사용 중인 차량의 잔여 충전량을 고려한 예상 충전시간(T_{exp})가 더해져서 저장된다.

2) 충전소별 예상 충전대기시간 계산

충전소 이동시간($T_{src,cs}$)은 시스템 초기 값에 따라 지정된 차량의 운행 속도에 따라 결정된다. Eq. (2)은 예상도착시간(T_{arr})을 구하는 과정을 나타낸다. Eq. (3)에 따르면 예상충전시간(T_{cha})은 충전량(E_{select})을 충전전력(p)으로 나눈 값이다.

$$T_{arr} = T_{cur} + T_{src,cs} \quad (2)$$

$$T_{cha} = \frac{E_{select}}{p} \quad (3)$$

$$T_{ewt} = \max[T_{fin(j)} - T_{ev(r)arr}, 0] \quad (4)$$

Algorithm 1과 Eq. (4)는 충전소별 예상 충전대기시간(T_{ewt})을 계산하는 과정을 나타낸다. Algorithm 1은 충전소별로 예약된 전기자동차를 먼저 예약된 순서로 정렬하여 가장 빠른 충전가능 시간과 전기자동차의 도착시간을 고려하여 예상 충전대기시간(T_{ewt})을 정한다.

Algorithm 3
예약 업데이트 알고리즘

1:	for $\forall EV$ in charging reservation do
2:	find \overline{ls}_{cs} from Algorithm 2
3:	if $\overline{ls}_{cs} \neq ls_{cs}^{min}$ then
4:	if $\overline{T}_{tot} < T_{tot}$ then
5:	cancel reservation at cs_{min}
6:	make reservation at \overline{cs}_{min}
7:	change charging plan towards \overline{cs}_{min}
8:	end if
9:	end if

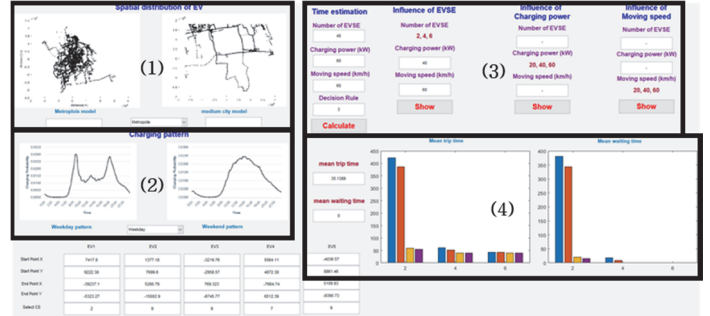


Fig. 7. 시뮬레이터의 사용자 인터페이스(GUI).

3) 충전소 결정

Eq. (5)은 예상 충전대기시간(T_{ewt})은 한정대기시간(T_{thr})를 넘지 않는 범위임을 나타낸다. Eq. (6)은 총 운행시간(T_{tot})이 충전소 이동시간($T_{src,cs}$), 예상 충전대기시간(T_{ewt}), 예상충전시간(T_{cha}), 목적지 이동시간($T_{cs,des}$)을 모두 합친 값을 나타낸다. Algorithm 2와 Eq. (7)에 따라 최종적인 충전소 결정 역시 해당 값이 최소가 되는 방향으로 이루어짐을 알 수 있다.

$$T_{thr} \geq T_{ewt} \quad (5)$$

$$T_{tot} = T_{src,cs} + T_{ewt} + T_{cha} + T_{cs,des} \quad (6)$$

$$ls_{cs} = \text{argmin}[T_{src,cs} + T_{ewt} + T_{cha} + T_{cs,des}] \quad (7)$$

4) 예약 업데이트

Algorithm 3과 Eq. (8) 및 (9)는 일정 주기마다 예약이 업데이트될 때 Eq. (5)을 만족하며 기존의 총 운행시간(T_{tot})보다 짧은 충전소가 존재한다면 운행 중에 실시간으로 해당 충전소로 전기자동차 라우팅을 업데이트 하는 과정을 나타낸다. 일단 전기자동차 라우팅이 진행된 이후에는 교통상황에 의한 운행 불확실성을 고려하지 못하던 기존의 단점을 개선하였다. 이를 통해 시시각각 변하는 전기자동차에 보다 효과적으로 대처하여 현실 상황에 가까운 시뮬레이션을 할 수 있다.

$$T_{tot} = \min[T_{tot}, \overline{T}_{tot}] \quad (8)$$

$$\overline{ls}_{cs} = \text{argmin}[\overline{T}_{tot}] \quad (9)$$

E. 사용자 인터페이스

Fig. 7은 시뮬레이터의 사용자 인터페이스이다. 파라미터를 결정하고 시뮬레이터를 사용하여 결과를 도출하는 과정은 다음과

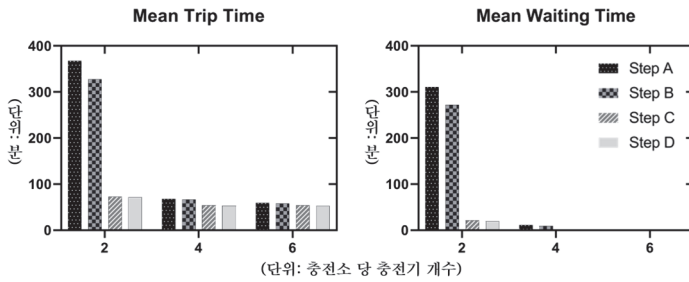


Fig. 8. 충전기 개수에 따른 전기자동차 라우팅 알고리즘 성능 비교.

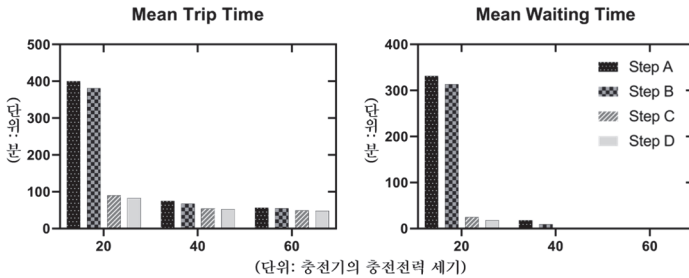


Fig. 9. 충전전력에 따른 전기자동차 라우팅 알고리즘 성능 비교.

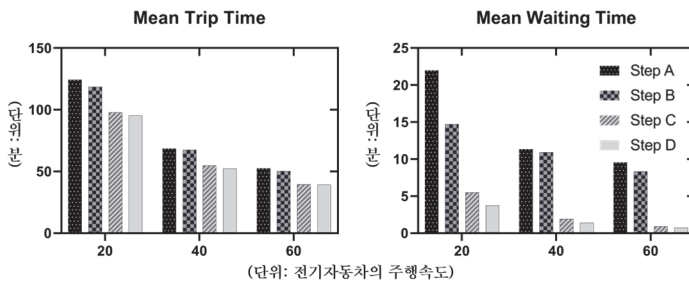


Fig. 10. 주행 속도에 따른 전기자동차 라우팅 알고리즘 성능 비교.

같다.

- (1) 대도시와 중소도시 중 전기자동차의 공간분포를 선택한다.
- (2) 주중과 주말 중 전기자동차의 시간분포를 설정한다.
- (3) 충전소의 개수, 충전소별 충전기의 개수, 전기자동차의 수, 충전기의 충전전력, 차량의 이동속도 등 파라미터를 설정한다.
- (4) 시뮬레이션의 평가 지표는 평균 운행시간과 평균 충전 대기시간이다 [4]-[5]. 총 4 가지의 전기자동차 라우팅 알고리즘에 대한 결과를 충전기의 개수에 따라 좌측부터 순서대로 그래프 형태로 보여준다. 좌측의 그래프는 평균 운행시간이고 우측의 그래프는 평균 충전대기시간이다. 그래프 세로축의 단위는 분이다.

III. 한정대기시간을 도입한 라우팅 알고리즘 성능 평가

A. 시뮬레이션 가정

본 논문의 시뮬레이션은 위의 시뮬레이터에서 다음 상황을 가정한다.

- (1) 전기자동차의 공간분포는 대도시이며, 시간분포는 주중이다. 한전의 전기자동차 충전소 및 충전기 정보를 바탕으로 시나

TABLE 3

전기자동차 라우팅 알고리즘 성능 비교표 (단위: 분)

상황	기준	Step A	Step B	Step C	Step D	성능(%)	
(1)	2 개	T_{tot}	367.401	327.550	72.499	71.405	80.565
		T_{ewt}	310.556	271.819	21.028	19.260	93.798
	4 개	T_{tot}	68.122	66.496	53.730	53.032	22.151
		T_{ewt}	11.517	9.184	1.556	1.500	86.976
	6 개	T_{tot}	59.152	57.668	53.669	52.565	11.136
		T_{ewt}	1.384	1.332	0.269	0.208	84.971
(2)	20 kW	T_{tot}	400.182	381.219	89.726	82.381	79.414
		T_{ewt}	331.091	313.114	24.750	18.294	94.475
	40 kW	T_{tot}	74.840	67.494	53.939	52.835	29.403
		T_{ewt}	18.274	9.349	2.050	1.480	91.901
	60 kW	T_{tot}	56.395	55.079	48.783	48.522	13.96
		T_{ewt}	2.331	2.288	1.008	0.853	63.406
(3)	20 km/h	T_{tot}	124.264	118.619	97.775	95.459	23.18
		T_{ewt}	21.973	14.704	5.480	3.763	82.874
	40 km/h	T_{tot}	68.515	67.390	54.733	52.171	23.855
		T_{ewt}	11.305	10.928	1.913	1.416	87.475
	60 km/h	T_{tot}	52.463	50.258	39.444	39.201	25.279
		T_{ewt}	9.536	8.340	0.936	0.752	92.114

리오를 가정한다.

- (2) 시뮬레이터는 24 시간 동안 4,000 대의 전기자동차의 운행과 충전에 대한 결과를 기록한다. 전기자동차 라우팅 업데이트 주기는 15 분이다.

B. 성능 평가 결과

다음은 위의 상황에서 전기자동차 라우팅 알고리즘 Step A-D의 성능을 파라미터에 따라 비교한 결과이다.

- (1) 충전소 당 충전기의 개수에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 7은 충전전력이 40 kW이고 전기자동차의 주행속도가 40 km/h일 때, 충전소 당 충전기의 개수를 2, 4, 6 개로 변화시키며 시뮬레이션한 각 알고리즘의 결과이다.

- (2) 충전기의 충전전력 세기에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 8은 충전소 당 충전기가 4 개이고 전기자동차의 주행속도가 40 km/h일 때, 충전기의 충전전력 세기를 20, 40, 60 kW로 변화시키며 시뮬레이션한 각 알고리즘의 결과이다.

- (3) 전기자동차의 주행속도에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 9는 충전소 당 충전기가 4개이고 충전전력이 40 kW 일 때, 전기자동차의 주행속도를 20, 40, 60 km/h로 변화시키며 시뮬레이션한 각 알고리즘의 결과이다.

Table 3은 (1)~(3)의 결과를 종합하여 그 값을 나타낸 표이다. 각 값을 분 단위로 나타내었고, Step A 대비 Step D의 성능 향상의 정도를 %로 표현하였다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘인 Step D는 Step A에 비하여 평균적으로 총 운행시간(T_{tot})은 34.327%, 충전대기시간(T_{ewt})은 86.443% 감소시켰다.

(1)~(3)의 결과에서 모두 Step A, B, C, D의 순으로 성능이 향상되었으며, 그 차이는 평균 충전대기시간에서 확연히 드러났다. 충전기의 개수가 적을수록, 충전전력이 낮을수록 각 알고리즘 간의 성능 차이가 더 크다. 가장 간단한 라우팅 방식인 Step A가 가장 비효율적인 결과를 나타내었다. 또한, Step B 역시 낮은 성능을 보였는데, 이는 해당 알고리즘이 특정 시간, 특정 충전소에 다수의 전기자동차가 몰린 상황에 대처하지 못하기 때문으로 추정한다. 총 운행시간(T_{tot})을 선택 기준으로 삼은 Step C와 D는 대체로 우수한 성능을 보였으나 Step D가 Step C에 비해 비슷하거나 약간 더 우수하였다. 충전대기시간이 일정 수준을 넘어간다면 우선 주행을 하

며 더 나은 결과를 탐색하는 Step D가 다수의 차량이 서로 영향을 주는 실제 교통상황을 고려한다면 가장 효율적임을 알 수 있다. 즉, 한정대기시간 개념을 도입한 라우팅 알고리즘과 전기자동차 스케줄링이 총 운행시간과 충전대기시간 두 측면에서 모두 효과적이다.

IV. Conclusion

전기자동차의 제한된 전력 공급과 긴 소요시간 문제를 해소하기 위해 시공간적 계획을 통해 충전대기시간을 최소화하는 연구는 꾸준히 제시되어 왔다. 따라서 실제 상황과 유사한 전기자동차 충전 시뮬레이터를 제안하고 효율적인 전기자동차 라우팅 알고리즘을 검증하였다.

본 논문의 시뮬레이터는 현실적인 시나리오를 가정하는 전기자동차의 공간 분포와 시간 분포, 충전량 분포를 따른다. 또한, 전기자동차의 속도나 대수, 충전소와 충전기의 개수 등을 모두 설정할 수 있어 보다 섬세한 조작이 가능하다. 시뮬레이터는 업데이트 주기마다 전기자동차 라우팅을 다시 진행하여 교통상황에 따른 변화에 능동적으로 대처한다.

기존의 총 운행시간 최소화 전기자동차 라우팅 알고리즘에 한정대기시간 개념을 도입한 최적화 라우팅 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교 검증한 결과 전기자동차 라우팅에서 한정대기시간 도입이 효율적임을 확인하였다.

현재 한전을 비롯하여 다수의 업체가 전기자동차 응용 서비스를 제공하고 있다. 그러나 기존 서비스는 현 시점의 충전소 및

충전기 사용 여부와 현황을 알려줄 뿐 최적의 충전소를 선택하고 제안해주지 않는다. 본 논문의 시뮬레이터를 활용하여 현재 지도상에 제공 중인 충전소의 실시간 충전 가능여부 안내 서비스에 전기자동차 충전소 대기 예약 서비스로의 확장 연구를 수행할 예정이다.

References

- [1] Bloomberg New Energy Finance, "EV Outlook 2017," Bloomberg New Energy Finance, 2017.
- [2] Bowen Zhang, Wei Li, Tao Chen, Wencong Su, "A simulation platform for energy-efficient dynamic commuter transit using electric vehicles," IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Busan, South Korea, 2016.
- [3] Hua Qin, Wensheng Zhang, "Charging scheduling with minimal waiting in a network of electric vehicles and charging stations," ACM, Las Vegas, Nevada, USA, 2011.
- [4] Thomas Conway, "On the Effects of a Routing and Reservation System on the Electric Vehicle Public Charging Network," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol.18, No.9, 2017.
- [5] Sepideh Pourazarm, Christos G. Cassandras, "Optimal Routing of Energy-Aware Vehicles in Transportation Networks with Inhomogeneous Charging Nodes," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol.19, No.8, 2018.
- [6] Nasrin Sadeghianpourhamami, N. Refa, Matthias Strobbe, Chris Develder, "Quantitative analysis of electric vehicle flexibility: a data-driven approach," International Journal of Electric Power & Energy Systems, Vol.95, 2018.