

전기버스를 위한 배터리 자동 교환-충전인프라 배치 최적화 모형개발 및 적용 사례 분석

A case study on optimal location modeling of battery swapping & charging facility for the electric bus system

김 승 지*
(Seung-Ji, Kim)

김 원 규**
(Wonkyu, Kim)

김 병 종***
(Byung Jong, Kim)

임 현 섭****
(Hyun Seop, Im)

요 약

전 세계적으로 지구온난화로 인한 환경문제가 심각한 위기로 인식되어지면서 세계 각국에서는 전 산업분야에 걸쳐 이산화탄소 배출을 줄이고자 노력하고 있다. 국내 에너지 부문 CO2 배출량의 약 20%를 차지하는 수송 분야의 이산화탄소 배출을 감소시키기 위해서는 전기자동차 보급 확산이 필수적이다. 최근 정부에서 전기자동차 보급 활성화를 위해 많은 노력을 기울이고 있으나 긴 충전시간과 배터리의 가격에 의한 비싼 차량가격, 짧고 불규칙한 운행거리와 부족한 충전인프라 등으로 인하여 향후 전기자동차의 보급 확대는 매우 불투명한 상태이다. 이러한 단점을 해결하고 효과적으로 전기자동차를 보급할 수 있는 방법 중 하나가 바로 배터리 공용제 기반의 배터리 자동교환형 전기자동차 시스템이다. 이를 위해서는 배터리를 자동으로 교환해주는 시설인 배터리 교환소(BSS: Battery Swapping Stations)가 필요하게 되는데, BSS는 배터리 교환을 통해 전기자동차가 긴 충전시간을 소모할 필요 없이 짧은 시간 내에 배터리를 충전하고 이동할 수 있도록 하는 시스템이다. 이러한 시스템을 대중교통, 특히 공공버스에 적용함으로써 보다 빠른 시간 안에 전기자동차를 보급, 확산시키는 것이 가능하다. 일반버스를 전기버스로 전환하여 버스 노선을 운영할 경우 전기버스가 중간에 멈추지 않도록 적절한 위치에 충전시설을 구축할 필요가 있다. 전기버스에 대한 충전시설은 버스 노선의 기·종점 및 기존 버스정류장에 추가로 설치하여 버스가 승객의 승·하차를 위해 정차할 때 신속하게 배터리를 교환할 수 있게 구축해야 한다.

본 연구에서는 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 위치선정 문제를 Set Covering Problem에 적용하여 해결하였다. 배터리 충전 시 최대 주행거리를 영향권으로 설정하였으며 메타 휴리스틱 기법인 그리디 알고리즘을 활용하여 배터리 교환형 충전인프라 배치 최적화 모형을 개발하였고 현재 운영 중인 서울시의 버스노선을 대상으로 실제 충전시설의 위치를 선정하였다.

Abstract

This paper propose an efficient algorithm for selecting electric bus charging facility location. In nature, the optimal charging facility location problem is similar to Set Covering Problem. Set Covering Problem is the problem of covering all the rows of an $m \times n$ matrix of ones and zeros by a subset of columns with a minimal cost. It has many practical applications of modeling of real world problems. The Set Covering Problem has been proven to be NP-Complete. In order to overcome the computational complexity involved in seeking optimal solutions, this paper present an enhanced greedy algorithm and simulated annealing algorithm. In this paper, we apply the developed algorithm to Seoul's public bus system.

Key words : Electric Bus, Greedy Algorithm, Set covering problem, Battery Swapping Station, EV

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 “전기자동차 교통안전융합체계 기술개발” 과제(11PTSI-B056303-02) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교통 전공

** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

*** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

**** 공저자 및 교신저자: 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

† 논문접수일 : 2012년 6월 27일

† 논문심사일 : 2012년 7월 18일

† 게재확정일 : 2013년 1월 8일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

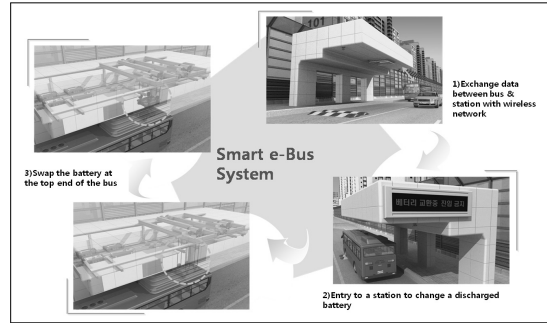
전 세계적으로 지구온난화로 인한 환경문제가 심각한 위기로 인식되어지면서 리우 UN회의(1992년) 이후 교토의정서(1997년) 및 발리로드맵(2007년) 등 국제적인 논의가 활발히 진행되어왔다. 교토의정서에는 세계 각국의 탄소배출량에 대한 규제를 담고 있고, 그 결과 현재 유럽탄소배출권거래소(ECX: European Climate Exchange)에서 탄소배출권에 대한 거래가 이루어지고 있다.

이와 같이 지구온난화로 인해 세계 각국에서는 전 산업분야에 걸쳐 이산화탄소 배출을 줄이고자 노력하고 있으며 2009년 11월 우리나라 정부도 2020년 국내 온실가스 배출량을 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축하기로 결정하였다. 이에 따라 각 부문별로 세부목표를 정하고 관리하는 ‘온실가스 및 에너지 목표관리제’를 도입하여 건물과 교통 등 비산업 분야 위주로 온실가스 배출량 감축을 진행할 계획에 있다.

국내 에너지 부문 CO2 배출량의 약 20%를 차지하는 수송분야의 ‘저탄소 녹색성장’ 실현을 위해서는 전기자동차 보급 확산이 필수적이므로 정부는 저탄소 녹색성장 기본법(2010.04.14. 시행)의 제정 추진과 지속가능 교통물류 발전법(2009.12.10. 시행)을 통해 친환경·비동력·무탄소 교통수단의 활성화를 도모하고 있다.

2012년부터는 EU 지역 내 차량탄소배출량의 상한치를 2012년에는 평균 130g/km, 2020년에는 95g/km의 탄소배출량 목표를 설정하고 있으나 국산차의 대부분은 탄소배출량 수준이 130g/km를 초과하여 국제적 기준에 부합하지 못하고 있어 전기자동차에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 2009년 10월 정부에서 “전기자동차 산업 활성화 방안” 마련하고 2011년 말에 전기자동차 양산을 결정하는 등 전기자동차 보급 활성화를 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 긴 충전시간과 배터리의 가격에 의한 비싼 차량가격(승용차의 경우 약 55%) 짧고 불

규칙한 운행거리와 부족한 충전인프라 등으로 인하여 향후 전기자동차의 보급 확대는 매우 불투명한 상태이다. 이러한 단점을 해결하고 효과적으로 전기자동차를 보급할 수 있는 방법 중 하나가 바로 BSS(Battery Swapping Stations)이다[5].



〈그림 1〉 BSS(Battery Swapping Stations)의 개념도
(Fig. 1) The concept of BSS(Battery Swapping Stations)

BSS는 배터리 교환 방식을 통해 전기자동차가 긴 충전시간을 소모할 필요 없이 짧은 시간 내에 배터리를 충전하고 이동할 수 있도록 하는 시스템이다. 이러한 시스템을 대중교통, 특히 공공버스에 적용함으로써 보다 빠른 시간 안에 전기자동차를 보급, 확산시키는 것이 가능할 것으로 기대된다. 또한 BSS에 설치되는 배터리 자동 교환-충전시설인 QCM(Quick Changing Machine)의 경우 정류소지점에 지지구조물을 토대로 대부분의 기자재가 실제 정류소 이용객 사용공간과 분리된 정류소 상단부분에 설치되어 시설 설치 및 운용에 무리가 없으며 전력을 사용하는 시설물의 특성 상 시설구조물에 VMS 등의 전력사용 교통시설과 운용을 병행할 수 있는 장점이 있다.

일반버스를 전기버스로 전환하여 버스 노선을 운영할 경우 전기버스가 중간에 멈추지 않도록 적절한 위치에 충전시설을 구축할 필요가 있다. 전기버스에 대한 충전시설은 버스 노선의 기·종점 및 기존 버스정류장에 추가로 설치하여 버스가 승객의 승·하차를 위해 정차할 때 신속하게 배터리를 교환할 수 있게 구축해야 한다.

본 연구에서는 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설(BSS)의 위치선정 문제를 Set Covering Problem에 적용하여 해결하였다. 배터리 충전 시 최대 주행거리를 영향권으로 설정하였으며 메타휴리스틱 기법인 그리디 알고리즘을 활용하여 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설 위치선정 알고리즘을 개발하였고 현재 운영 중인 서울시의 버스노선을 대상으로 실제 충전시설의 위치를 선정하였다.

2. 연구의 내용 및 방법

전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설 위치선정 문제의 경우 기존 정류장에 충전시설을 설치한다는 점, 모든 충전시설 간 간격이 배터리 충전 시 최대 주행거리 내에 위치해야한다는 점 등을 고려하여 가장 적합한 방법론은 Set Covering Problem이라고 판단하였다.

Set Covering Problem의 경우 NP-Complete의 특성을 가지고 있으며, 정수계획법(Integer Programming)에 의한 접근법을 사용한다. 정수계획법에 의한 접근은 최적해를 구할 수 있지만 노드의 수가 증가하면 문제를 푸는 시간이 지수적으로 증가하므로 메타휴리스틱 기법을 적용하여 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 설치 위치를 도출하였으며, 그리디 알고리즘과 시뮬레이티드 어닐링을 적용하여 알고리즘을 개발하였다.

또한 실제 충전시설을 설치할 경우에는 충전시설의 설치 위치뿐만 아니라 충전시설의 규모와 용량을 고려해야 실제 설치 가능한 위치를 선정할 수 있다. 그러므로 기존 알고리즘의 개선을 통해 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 규모와 용량을 고려하여 최적의 위치를 선정할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서는 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설 위치선정 문제의 특성을 정리하고 이 문제를 해결할 수 있는 Set Covering Problem에 대한 문헌 고찰을 통하여 유사 문제에 적용 가능한 방법론을 조사하였다. 또한 문제의 특성을 고려한

메타휴리스틱 알고리즘을 제시하였고, 실제 서울시 버스노선에 적용하여 실제 위치를 선정하였다.

II. 문헌고찰

1. Set covering problem의 분석

기업은 경제활동을 위해 많은 지역에 지점을 개설하여 많은 사람들에게 서비스를 제공하고 이윤을 극대화 하는 것이 목적이지만 동시에 불필요한 곳에서의 지점 개설로 비용을 낭비하는 경우를 최소화하여야 한다. 이러한 문제들을 일반적으로 위치선정 모델링(location modeling) 문제라 하며 기업이 지점을 개설하는 문제, 통신망에서의 기지국 설정 문제뿐만 아니라, 특정 지역에서의 소방서나 응급센터의 위치 설정 등이 대표적인 위치선정 문제들이다.

본 논문에서 다루는 Set covering problem은 위치선정 문제의 가장 기본적인 형태이다. Set covering problem은 네트워크 전체 노드를 포함하는 최소 비용의 시설 위치를 결정하는 문제이다.

Set covering problem의 경우 NP-Complete 문제로서 일반적으로 정수계획법(Integer programming)을 통하여 정확한 해를 구할 수 있다. 하지만 문제의 크기가 커질수록 해를 구하는 시간이 지수적으로 증가한다는 단점을 가지고 있다. 본 연구의 배경인 서울시의 경우 분석대상인 정류장의 개수가 7146개이고 노선별로 구분한 정류장의 수는 23458개이므로 이를 정수계획법을 통해 해결할 경우 해결 시간은 기하급수적으로 증가하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 휴리스틱 방법론을 이용하여 최적해에 가까운 해를 찾아가는 방법을 개발하였다. 또한 연구대상이 되는 배터리 자동교환형 전기버스의 배터리 용량을 고려하여 해당 배터리의 약 80%수준에서 충전 시 주행가능거리인 16km를 영향권으로 설정한다.

2. Set covering problem과 관련된 문헌조사

기존 연구에서는 Set covering problem의 해결을 위해 다양한 휴리스틱 알고리즘이 제안되어 왔다.

대표적인 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은

현재 상태에서 최선의 위치를 선택한 후 다음 상태로 이동하는 과정을 반복함으로써 최적해에 근사한 값을 구하는 방법이다. 여기에서 최선의 선택이란 영향권 내에 포함되지 않은 모든 열들 중에서 가장 많은 행을 포함하는 열을 우선적으로 선택하는 것을 말한다. 결국, 모든 행이 영향권 내에 포함되는 순간까지 이 과정을 반복함으로써 해를 얻는 것이다. 그러나 특정 상황에서 가장 많은 행을 포함하는 열을 선택하는 것은 해당 상황에서는 최선의 선택이지만 전체적으로 보면 최선이 아닌 결과를 가져올 수 있다. 이런 문제 때문에 그리디 알고리즘의 경우 빠른 시간 안에 해를 얻을 수 있지만 지역 최적해에 빠지기 쉬운 단점이 있다[11].

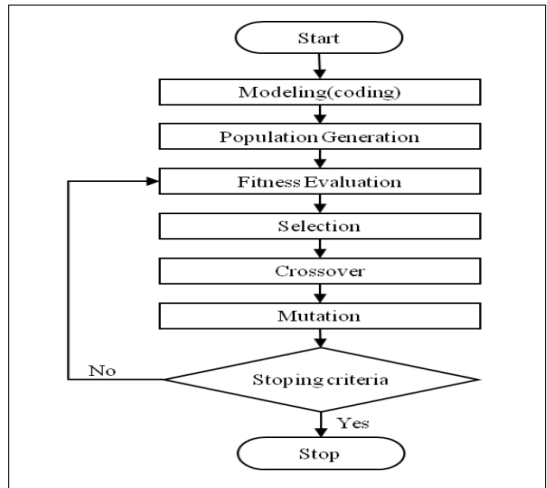
Michael J. Brusco 외 2명은 이러한 문제를 해결하기 위해 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘(Simulated Annealing Algorithm)을 기반으로 한 휴리스틱 방법을 제안하였다[8]. 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘(Simulated Annealing Algorithm, SA)은 1983년 Scott Kirkpatrick, Gelatt and Vecchi 등에 의해 처음으로 소개된 방법론으로 금속공학의 담금질에서 착안점을 얻어 고안된 메타 휴리스틱 기법이다. 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘은 연속적으로 해들을 생성하고 한정된 수의 계산과정을 통해 최적의 해를 찾는 방법이다. 해공간에서 현재해 X 를 선택하고 X 의 이웃해 X' 을 얻어 이웃해로 이동하는 과정을 반복함으로써 전체해공간을 탐색하여 이 탐색결과 근사 최적해를 얻는 것이다.

이현남 외 1명은 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 단점을 보완하고 보다 좋은 해를 얻기 위하여 개선된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 제안하였다[3]. 위 연구에서는 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 탐색시간이 오래 걸린다는 단점을 보완하기 위해 유전자 알고리즘의 교차연산을 결합하고, 또한 더욱 전역 최적해에 근접수렴하기 위하여 지역 탐색방법을 결합하였다.

또한 J.E. Beasley 외 1명은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 적용하여 Set covering problem을 해결하였다[9].

유전자 알고리즘(Genetic algorithm, GA)은 19세기

영국의 생물학자인 찰스 다윈이 주장한 생물진화론에 영향을 받은 방법론이다. 이런 생물학적 진화과정의 아이디어를 최적화 문제에 적용하여 개발한 것이 유전자 알고리즘이다. 다음 <그림 2>은 일반적인 유전자 알고리즘의 흐름도이다.



<그림 2> 유전자 알고리즘 흐름도
(Fig. 2) The flowchart of Genetic Algorithm

자연계에 있는 생물의 진화 과정에서, 한 세대를 형성하는 개체들의 집합인 개체군(Population)을 중에서 유전 형질이 우수한 개체들이 환경에 대한 적합도가 높아 살아남을 확률이 높으며, 이렇게 살아남은 개체들끼리 교배(교차) 및 돌연변이의 과정을 거쳐 다음 세대를 생성하면서 우수한 유전 형질을 유전하게 된다. 이러한 진화의 과정을 Set covering problem에 적용하면 하나의 생물 개체가 하나의 실현가능해가 되고, 개체군은 실현가능해들의 군을 의미한다. 이러한 유전자 알고리즘은 지역해에 빠질 가능성은 적지만, 유전자 표류현상(Genetic drift)과 해의 조기수렴현상(Premature convergence)을 해결하지 않으면 최적해로의 접근을 보장할 수 없다. 특히 문제의 크기가 크고 최적 위치의 수가 적을수록 조기수렴현상이 두드러지게 나타난다.

강병천 외 1명은 유전자 표류현상과 조기수렴현상을 해결하기 위한 방법으로 선형함수를 이용한

보정기법과 비선형함수를 이용한 보정기법을 적용하였으며 비선형함수를 이용한 보정기법이 우수함을 증명하였다[4].

Ⅲ. 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설 위치 선정

1. 변수 정의 및 분석 대상 설정

Set covering problem을 전기버스 충전스테이션 위치선정 문제에 적용할 경우 변수는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 전기버스 충전스테이션에서의 변수 정의
(Table 1) The variable definition of the electric bus charging station

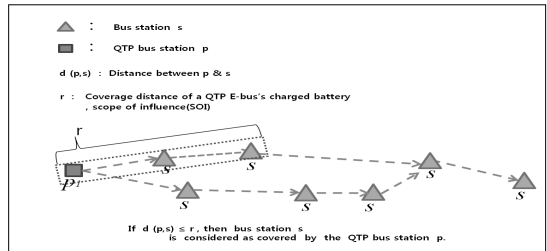
Variable	Definition
X_j	Whether the location of QCM to candidate site j - 1 : if we locate - 0 : else
f_j	Cost of locating a QCM at candidate site j
a_{ij}	- 1 : if candidate site j can cover demands at node i - 0 : else
r	Coverage distance of QCM located at site j , scope of influence - Set the coverage distance to 16km considering 80% of the QTP(Quick Top Pick up) E-bus battery capacity approximately

X_j 의 경우 j 번 정류소에 충전시설의 설치 여부를 나타내며 충전시설을 설치할 경우 1, 설치하지 않을 경우 0으로 표현한다.

a_{ij} 는 i 번 정류소가 j 번 정류소에 설치된 시설에 의해서 영향권 범위 내에 포함이 되는 경우 1, 포함되지 않는 경우 0으로 표현함으로써 i 번 정류소의 영향권 범위 내 포함 여부를 나타낸다.

f_j 의 경우 j 번째 정류소에 시설이 설치되었을 경우 드는 비용을 의미하며 현 문제에서는 시설의 설치비용을 고려하지 않기 때문에 모든 f 값을 1로 가정한다.

r 은 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 영향권 범위로 완충된 전기버스 배터리가 최대 이동할 수 있는 거리를 의미한다. 본 연구에서는 16km 이하 노선길이의 노선에 적용 운행하는 type 1 전기버스(배터리 1개 장착, 차고지 출발 후 최대 16km 이동 가능)와 16km 이상 노선길이의 노선에 적용 운행하는 type 2 전기버스(배터리 2개 장착, 차고지 출발 후 최대 32km 이동 가능), 2가지 종류의 전기버스를 서울시 대상으로 운행하는 경우를 가정하였으며, 버스의 종류에 관계없이 일반 정류장의 배터리 교환시설에서는 배터리 1회 교체 시 16km의 최대 이동가능거리, 즉 영향권을 가진다. 영향권에 대한 정의는 다음 <그림 3>과 같다.



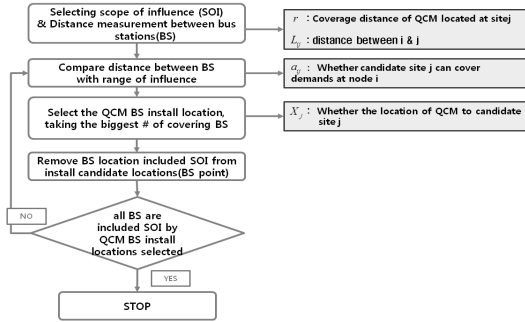
<그림 3>영향권 범위 정의
(Fig. 3) The definition of the scope of influence

본 연구에서는 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 위치선정을 수행하기 위한 분석 대상으로 서울시를 통과하는 모든 노선을 선정하였다. 서울시를 통과하는 노선 중 광역버스를 제외한 버스노선은 총 385개, 총 정류소 수는 8320개소로 각 버스노선의 차고지에는 충전시설이 설치되어 있다고 가정함으로써 전체 노선의 길이가 16km 이하인 노선(즉 type1 버스종류 운행대상 노선)은 분석 대상에서 제외하였다. 그 결과 분석 대상이 되는 총 노선은 298개 노선이 선정되었으며 총 정류장 수는 7403개소이다.

2. 일반적인 Set covering model 적용

일반적인 Set covering model 적용 시 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은 전기버스를 위한 배터

리 자동교환충전시설의 위치 선정 문제를 가장 간단하게 해결할 수 있는 방법으로 분석 절차는 다음 <그림 4>와 같다.



<그림 4> Greedy Algorithm을 이용한 위치 선정 절차 (Fig. 4) Site selection process using Greedy Algorithm

1) 영향권 범위 선정 및 정류소간 거리 측정

영향권 범위(r)는 완충된 전기버스 배터리가 최대로 이동할 수 있는 거리로 본 연구에서는 16km를 영향권 범위로 설정하였다. 각 노선의 정류소가 충전시설의 영향권 범위 내에 포함되는지 여부를 판단하기 위해서는 분석 대상이 되는 각 정류소간 거리를 도출하여 L matrix를 만든다. L matrix는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> L matrix (Table 2) L matrix

from to	1	2	3	4	5	6
A-1	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}
A-2	L_{21}	L_{22}	L_{23}	L_{24}	L_{25}	L_{26}
A-3	L_{31}	L_{32}	L_{33}	L_{34}	L_{35}	L_{36}
B-1	L_{41}	L_{42}	L_{43}	L_{44}	L_{45}	L_{46}
B-2	L_{51}	L_{52}	L_{53}	L_{54}	L_{55}	L_{56}
C-1	L_{61}	L_{62}	L_{63}	L_{64}	L_{65}	L_{66}
...

L matrix의 열 번호는 각 정류소를 나타내는 번호이고 행 번호는 노선별 정류소를 나타내는 번호이다. 즉 L_{11} 은 1번 정류소에서 A 노선의 1번 정류

소까지의 거리를 의미한다. 이런 방식으로 각 정류소 간 거리를 나타내는 것이 L matrix이다.

2) 영향권 범위와 각 정류소간 거리 비교

도출된 L matrix를 영향권 범위와 비교하여 a matrix를 구축한다. 즉, j 정류소에 설치된 충전시설의 영향권 내에 i 정류소가 포함될 경우 ($r \geq L_{ij}$) a 값은 1이 되고 포함되지 않을 경우 ($r < L_{ij}$) a 값이 0이 된다. 이러한 방법으로 구축된 a matrix는 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> a matrix (Table 3) a matrix

from to	1	2	3	4	5	6
A-1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
A-2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}
A-3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}
B-1	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}
B-2	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}
C-1	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}
...

다음 <표 4>는 영향권 범위를 10으로 가정하였을 때 정류소간 거리 비교를 한 예시이다.

<표 4> 정류소 간 거리 비교(예시) (Table 4) Comparison of the distance between sops (Examples)

from to	1	2	3	4	5	6
A-1	0	19	17	17	11	3
A-2	4	0	19	21	13	13
A-3	11	3	0	27	15	15
B-1	13	14	2	0	19	18
B-2	17	16	5	4	0	20
C-1	19	17	7	15	5	0

↓

from to	1	2	3	4	5	6
A-1	1	0	0	0	0	1
A-2	1	1	0	0	0	0
A-3	0	1	1	0	0	0
B-1	0	0	1	1	0	0
B-2	0	0	1	1	1	0
C-1	0	0	1	0	1	1

3) 가장 많은 정류소를 포함하는 위치에 충전시설 설치

그리디 알고리즘은 가장 많은 정류소를 포함하는 위치에 우선적으로 충전시설을 설치하는 방법이므로 가장 많은 정류소를 포함하는 위치를 찾는 것이 중요하다. 앞서 도출된 a matrix의 각 열의 합은 각 정류소가 포함하는 노선상의 정류소 개수를 나타내므로 열의 합 중 가장 큰 값을 가지는 열의 정류소를 충전시설 설치 위치로 선정한다. 다음 <표 5>는 충전시설의 위치를 선정하는 방법을 나타내는 표이다.

<표 5> 충전시설의 위치 선정 방법 (Greedy Algorithm)
<Table 5> Selection Method of location of the charging facility

from \ to	1	2	3	4	5	6
A-1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
A-2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}
A-3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}
B-1	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}
B-2	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}
C-1	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}
...
T_j	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6

<표 5>에서 T_j 값은 a matrix 각 열의 합을 나타내며 이 T_j 값이 최대인 지점에 충전시설을 설치하게 된다.

4) 영향권 범위 내 포함된 정류소를 포함여부 고려 대상에서 제거

T_j 값이 최대인 지점에 충전시설을 구축하게 되면 이미 설치된 충전시설로 인해 포함되는 노선상의 정류소들은 더 이상 포함 여부를 고려할 필요가 없다. 그러므로 다음 충전시설의 위치를 선정할 때 이 정류소들을 제거하고 판단해야 한다. 다음 <표 6>은 영향권 범위 내 포함된 정류소를 포함 여부 고려 대상에서 제거하는 과정이다.

<표 6> 영향권 범위 내 포함된 정류소를 고려 대상에서 제거하는 과정

<Table 6> The process of removing the bus stop included within the scope of influence from consideration

from \ to	1	2	3	4	5	6
A-1	1	0	0	0	0	1
A-2	1	1	0	0	0	0
A-3	0	1	1	0	0	0
B-1	0	0	1	1	0	0
B-2	0	0	1	1	1	0
C-1	0	0	1	0	1	1
T_j	2	2	4	2	2	2



from \ to	1	2	3	4	5	6
A-1	1	0	0	0	0	1
A-2	1	1	0	0	0	0
A-3	0	0	0	0	0	0
B-1	0	0	0	0	0	0
B-2	0	0	0	0	0	0
C-1	0	0	0	0	0	0
T_j	2	1	0	0	0	1

<표 6>에서 3번 정류소의 T_j 값이 4로 가장 크기 때문에 3번 정류소에 충전시설을 설치하게 되면 A-3, B-1, B-2, C-1 정류소는 이미 3번 정류소에 의해서 포함되기 때문에 <표 6>과 같이 A-3, B-1, B-2, C-1 정류소 각 행의 모든 a값을 0으로 전환한다. a matrix를 변환한 후 다시 T_j 값이 최대인 정류소를 찾을 경우 1번 정류소가 선택된다. 이러한 과정을 반복하여 모든 a matrix의 값이 0이 될 때 노선 상 모든 정류소가 충전시설의 영향권 범위 내에 포함이 되며 이 때 위치선정이 종료된다.

5) 알고리즘의 올바른 수행 여부 검사

그리디 알고리즘을 통해 선정된 충전시설이 노선 상 모든 정류소를 포함하는지 여부를 확인해야 한다. 이를 확인하는 방법은 a matrix를 이용하는 방법과 해당 정류소에 충전시설을 설치하고 각 충전시설 간 거리를 측정하는 방법이 있다. a matrix를 이용하는 방법은 다음 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 a matrix를 이용하여 올바른 수행 여부 검사
 〈Table 7〉 The decision to perform a valid inspection using a matrix

from to	1	2	3	4	5	6
A-1	1	0	0	0	0	1
A-2	1	1	0	0	0	0
A-3	0	1	1	0	0	0
B-1	0	0	1	1	0	0
B-2	0	0	1	1	1	0
C-1	0	0	1	0	1	1

↓

from to	1	3	sum
A-1	1	0	1
A-2	1	0	1
A-3	0	1	1
B-1	0	1	1
B-2	0	1	1
C-1	0	1	1

우선 충전시설이 설치된 정류소만으로 구성된 a matrix를 만들고 도출된 a matrix에서 행의 합이 0인 행이 존재하면 모든 노선 상 정류소를 포함하지 못하므로 잘못된 해라고 판단한다. 즉, 모든 행의 합이 0보다 크면 도출된 해는 노선 상 모든 정류소를 포함하므로 유효한 해라고 볼 수 있다.

또한 설치 위치로 선정된 정류소에 충전시설을 배치한 후 각 충전시설 간 거리가 16km보다 작으면 전기버스가 모든 노선을 멈추지 않고 운행할 수 있다는 의미이므로 이 때 설치 위치를 유효한 해라고 판단한다.

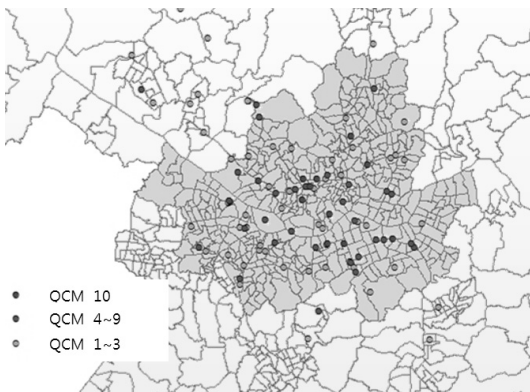
6) 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)을 이용한 위치 선정 결과

서울시 통과 노선을 대상으로 하여 그리디 알고리즘을 통해 선정된 충전시설 설치 정류소는 총 87개소로 각 정류소는 다음 <표 8>과 같다.

〈표 8〉 그리디 알고리즘을 통해 도출된 충전시설 설치위치
 〈Table 8〉 Installation Location of the charging facility derived from Greedy algorithms

location result	location result	location result	location result
Hyochang Park	Yeongdeungpo Water Purification Center	Lotte-young Plaza	Gae-bong gas station
Yongma Elementary School	San-Gol-Go-ga e	Sinbanpo Station	Seo-jung village (in)
Lotte Gwanak Branch	Nowon Station Exit 9	Seokchon Lake	Soonchunhyang University Hospital
Yungdong Middle School	Shindongah apartment	Dangsan Samsung Raemian apartment	Nodeul Island
Dobong-Civic Center	Sangam DMC PR Center	jei-gi Station Yangnyeong market	Yeouido Park
Children's Grand Park back gate Ahasan Station	Catholic Bulgwang Cathedral	Garwol-dong	Baekseok, (in)
Yeouido Transit Center	Samseongyo Hansung University	Samsung apartment entrance	Eungbong Intersection
Gwacheon Cathedral	Hyun-dae Apartment	Gangseo-gu Office Building Street	In front of City Hall
Ui 1 gyo	Seodaemun	Junghwadong Hanshin Apartment	Sa-Shun Brid.
Shin Nonhyeon	Eunpyeong Newtown 10 sector	Nodeul Island	Seoul city seunghwawon
Yeongdeungpo Guro Tax Office	Korea University College of Health Sciences,	Jong-hap Sports Complex Intersection	Dongdaemun-gu cheong front.
Agriculture, Forestry and Fisheries Quarantine Inspection Division	Samseong station	Dae-hwa checkpoints	Samseongsan residential apartment
Jongno 5-ga	Sangbong Jungnang Post Office	Dobong Health Center	Jangji-dong

location result	location result	location result	location result
Hanaro Mart KOTRA	Sillim Intersection	NoryangjinFish Market, CTS Christian TV	Yongmi 3-li
Gyeongin Middle School opened Intersection	Segeomjeong Elementary School	Sincheon Exit 4	Sinnae dongsung apartment third
Dongsan-Dong	Han River Middle School	Hwagok subway station	Chunghwa Hospital
Sungrye Elementary School	Hwayangri	Yangzhou City Hall	Pungnap-dong Geokdong APT
Yeoksam-dong, forsythia apartment	Mokdong shepherds only	Geumcheon post office	Siksa ohgeori
Gwanghwamun	Jongno 2-ga	Gel market	Hanjin Hanwha Granville Apartments
Gupabal station entrance	Gel welfare gilap	Baik-seok High School	Gu-Seodaemun Post Office
Miasamgeori Station	Yatap Middle School	Ju-nae Church	Olympic Center
Jangchungdan road entrance	Dong Jung sector	Air Force Hall	



이 때 분석 대상이 되는 서울시의 총 정류소 수는 7403개소이며 그리디 알고리즘 수행 시 분석 결과가 도출되는 시간 66.67초(1분 7초)가 소요되었다. 그리디 알고리즘의 분석 결과를 각 노선마다 필요한 충전시설을 16km 간격으로 설치했을 경우와 비교한 결과는 다음 <표 9>와 같다.

<표 9> 각 노선별 16km 간격으로 설치 시와 그리디 알고리즘 분석 결과 비교

<Table 9> Comparison between the result that produces when the charging facilities install at intervals of 16km each route and analysis result of Greedy Algorithm

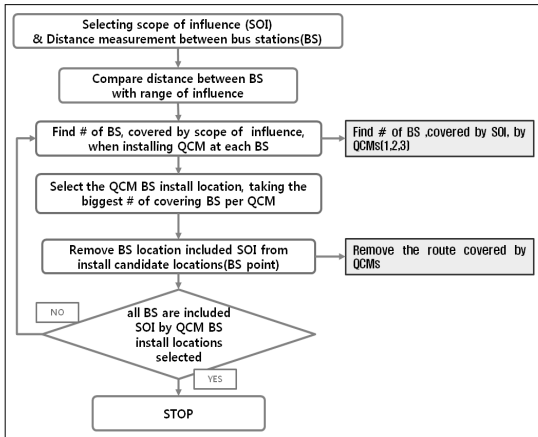
section	no. of facility locating stops	total QCM* demand (unit)	average QCM demand (unit)	Max QCM demand at a stop
Located at intervals of 16km for each bus route	239	255	1.06	4
General set covering model	87	232	2.66	10

*QCM(Quick Changing Machine): BSS에 설치되는 배터리 자동 교체형 전기버스의 배터리 교체 및 충전시설

전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설 설치 시 QCM 한 대당 처리할 수 있는 버스 교통량과 한 정류소에 설치 가능한 QCM 대수가 제한되어있기 때문에 한 정류소에서 배터리를 교환 가능한 횟수에 한계가 있다. 위 표는 QCM 한 대당 처리할 수 있는 버스 교통량이 최대 15대라고 가정한 후 구한 QCM 설치 대수이다. 그리디 알고리즘 적용 시 각 노선별 16km 간격으로 설치할 경우보다 충전시설을 설치하는 정류소의 수는 152개소가 적지만 실제 QCM 시설을 설치해야하는 수는 23대가 적어 비용은 적게 들지만 감소비율은 그다지 높지 않다. 또한 그리디 알고리즘 적용 시 한 정류소에 최대 10대의 QCM을 설치해야 하는데 이는 현실적으로 시설을 구축하는데 무리가 있다. 그러므로 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 위치를 선정함에 있어서 충전시설의 용량과 규모를 고려해야 한다. 본 연구에서는 일반적인 그리디 알고리즘을 개선하여 충전시설의 용량과 규모를 고려한 새로운 설치 위치를 선정하였다.

3. 시설의 용량과 규모를 고려한 Set covering model 적용

일반적인 Set covering model을 통해 나타난 문제점을 해결하기 위해서 시설의 용량과 규모를 고려한 새로운 모델을 개발하였다. 본 방법은 Set covering model의 일부 과정을 개선한 모델로 그리디 알고리즘을 이용한 위치 선정 절차는 다음 <그림 5>과 같다.



<그림 5> 개선된 Greedy Algorithm을 이용한 위치 선정 절차
 <Fig. 5> Location selection process using an enhanced Greedy Algorithm

개선된 Set covering model에서 정류소간 거리를 측정하는 부분과 영향권 범위와 각 정류소간 거리 비교를 통해서 L matrix와 a matrix를 도출하는 과정은 일반 Set covering model과 동일하다.

1) 충전시설 설치 시 영향권 범위에 포함되는 노선 상 정류소 수 파악

기본적으로 그리디 알고리즘은 가장 많은 수의 노선 상 정류소를 포함하는 위치에 충전시설의 설치해야 효과적이라는 가정에서 시설의 위치를 선정한다.

본 연구에서는 충전시설 설치 시 영향권 범위에 포함되는 노선 상 정류소 수를 파악하기에 앞서 다음 두 가지 가정을 설정하였다.

1. 정류소당 충전시설(QCM)은 3대까지 설치 가

능하다고 가정함

2. QCM 1대는 1시간에 15대의 전기버스에게 배터리 공급이 가능하다고 가정함

위 두 가지 가정을 바탕으로 각 정류소별 충전시설 설치 시 포함 가능한 노선 상 정류소 수를 파악할 경우 QCM 설치 대수에 따라 배터리 공급이 가능한 전기버스의 수가 달라지기 때문에 포함 가능한 노선 상 정류소 수가 다르게 나타난다. 일반적으로 QCM의 설치 대수가 많을수록 더 많은 정류소를 포함 가능하게 되는데 이 때 주의해야 할 점은 무작정 많은 정류소를 포함한다고 최적의 위치가 아니라는 것이다.

예를 들어 한 정류소에 QCM 3대를 설치할 경우 90개의 정류소를 포함하는 경우와 QCM 1대를 설치할 경우 50개의 정류소를 포함하는 경우를 비교하면 총 포함하는 정류소 수는 QCM 3대를 설치하는 경우가 더 많지만 이 경우 QCM 1대당 30개의 정류소를 포함하기 때문에 QCM 1대를 설치하는 경우보다 더 비효율적이다.

이러한 이유 때문에 충전시설 설치 시 영향권 범위에 포함되는 정류소 수를 파악하기 위해서는 각 정류소별 충전시설 설치 시 포함되는 총 정류소 수가 아닌 각 정류소별 QCM 1대당 포함 가능한 정류소 수를 파악해야 하며 이러한 과정은 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 각 정류소별 QCM 1대당 포함하는 노선 상 정류소 수 도출 과정

<Table 10> The decision to perform a valid inspection using a matrix

No. of covered bus stop nodes on route by QCM unit on each candidate stop		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1 unit	12	10	15	8	10	10	12	10	4
2 unit	28	28	23	17	19	24	27	24	4	16	
3 unit	42	28	33	32	19	42	41	24	4	24	

↓

No. of covered bus stop nodes on route by 1 QCM unit on each candidate stop		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1 unit	12	10	15	8	10	10	12	10	4
2 unit	14	14	11.5	8.5	9.5	12	13.5	12	2	8	
3 unit	14	9.3	11	10.7	6.3	14	13.7	8	1.3	8	

2) 충전시설 설치 위치 선정

충전시설의 설치 위치를 설정할 경우 QCM 1대 당 가장 많은 노선 상 정류소를 포함하는 위치가 가장 효과적인 위치이므로 이러한 지점을 찾아서 충전시설을 설치한다. 다음 <표 11>는 충전시설의 설치 위치를 선정하는 방법을 보여준다.

<표 11> 충전시설 설치 위치 선정 과정
<Table 11> The selection process where charging facilities installed

No. of covered bus stop nodes on route by 1 QCM unit on each candidate stop		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1 unit		12	10	15	8	10	10	12	10	4
2 unit		14	14	11.5	8.5	9.5	12	13.5	12	2	8
3 unit		14	9.3	11	10.7	6.3	14	13.7	8	1.3	8

위 표를 보면 3번 정류소에 QCM 1대를 설치하는 경우 가장 많은 15개의 정류장을 포함하기 때문에 가장 효율적인 위치라고 할 수 있다. 그러므로 3번 정류소에 QCM 1대를 설치하게 된다.

3) 영향권 범위 내 포함된 정류소를 포함여부 고려 대상에서 제거

충전시설의 위치와 QCM의 설치 대수를 결정하면 영향권 범위 내 포함된 정류소를 포함 여부 고려 대상에서 제거해야한다. 기존의 그리디 알고리즘에서는 충전시설 설치 지점의 영향권 범위에 포함되는 모든 노선 상 정류소를 고려 대상에서 제거하였지만 시설의 용량과 규모를 고려할 경우 영향권 범위에 포함되는 노선만 선택적으로 제거해야한다. 영향권 범위 내 포함된 정류소를 포함 여부 고려 대상에서 제거하는 방법은 다음 <표 12>와 같다.

<표 12>와 같이 3번 정류소에 충전시설을 설치할 경우 QCM의 용량 제한으로 인해 A 노선만 포함이 가능하다. 그러므로 A 노선을 통과하는 정류소는 더 이상 포함 여부를 고려할 필요가 없으므로 a matrix의 값을 0으로 변환한다.

<표 12> 영향권 범위 내 포함된 정류소를 고려 대상에서 제거하는 과정

<Table 12> The process of removing the bus stop included within the scope of influence from consideration

from/to	1	2	3	4	5	6
A-1	1	0	1	0	0	1
A-2	1	1	1	0	0	0
A-3	0	1	1	0	0	0
B-1	0	0	1	1	0	0
B-2	0	0	1	1	1	0
C-1	0	0	0	0	1	1

↓

from/to	1	2	3	4	5	6
A-1	0	0	0	0	0	0
A-2	0	0	0	0	0	0
A-3	0	0	0	0	0	0
B-1	0	0	1	0	0	0
B-2	0	0	1	0	0	0
C-1	0	0	0	0	0	0

4) 시설의 규모와 용량을 고려한 그리디 알고리즘 (Greedy Algorithm)의 위치 선정 결과

전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 규모와 용량을 고려한 그리디 알고리즘을 수행한 결

<표 13> 위치선정 방법 간 결과 비교(1)
<Table 13> Comparison between the results of selecting a location methods(1)

	Senario1	Senario2	Senario3
Section	Located at intervals of 16km for each bus route	General set covering model	Set covering model considering facility capacity & size
no. of facility locating stops	239	87	173
total QCM* demand (unit)	255	232	198
average QCM demand (unit)	1.06	2.66	1.14
Max QCM demand at a stop(unit)	4	10	3
operation time(sec)	-	66.67sec	262.93sec

과 총 173개소에 198대의 QCM이 설치되었다. 다음 <표 13>은 각 위치선정 방법 간 결과를 비교 분석한 내용이다.

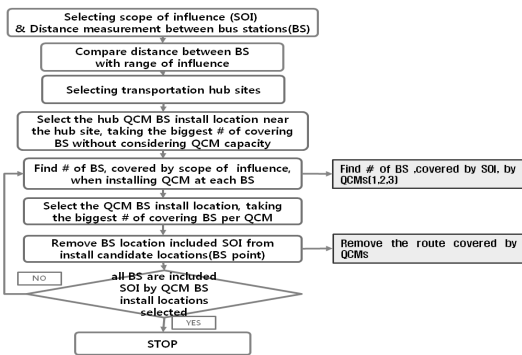
전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 규모와 용량을 고려하여 그리디 알고리즘을 수행한 결과 각 노선마다 충전시설을 따로 설치할 경우보다 총 QCM 설치 대수를 157대 감소시킬 수 있었다. 또한 1개 정류소에 최대로 설치할 수 있는 QCM 수는 3대로 현실적으로 설치 가능한 수가 도출되었다.

4. 교통거점과 시설의 용량 및 규모를 고려한 Set covering model 적용

물리적·공간적 제약에 따라 배터리 교환 충전 시설 용량의 제약이 있는 일반 정류소 지점보다 공간적 제약이 덜하고 위치적으로 주요 교통의 거점의 되는 환승센터 지점 및 건립계획 지점을 교통거점으로 선정한다. 선정된 교통거점은 설치가능한 충전시설의 규모제약이 없는 것으로 가정한다.

이는 중요 교통거점의 위치적 이점을 고려하고 정류장 배터리 교환충전시설의 설치지점과 설치 QCM 대수를 줄이는 것을 목적으로 개발하였다.

개선된 Set covering model에서 정류소간 거리를 측정하는 부분과 영향권 범위와 각 정류소간 거리 비교를 통해서 L matrix와 a matrix를 도출하는 과정



<그림 6> 교통거점과 시설의 용량 및 규모를 고려하여 개선된 Greedy Algorithm을 이용한 위치 선정 절차

<Fig. 6> Location selection process considering hub & facility capacity by an enhanced Greedy Algorithm

은 일반 Set covering model과 동일하다.

1) 교통거점 위치 설정

서울시 버스노선 대상 9개 교통환승센터 내 30개 버스정류장의 버스노선을 교통거점지점 대상으로 선정한다.

<표 14> 환승센터 및 대상 정류소
<Table 14> Transit transfer centers & bus stops

Transpo ration hub	bus stop ID	bus stop name
Seoul Station Transit Center	313	Seoul Station Bus Transfer Center
	2056	Seoul Station Bus Transfer Center
	2057	Seoul Station Bus Transfer Center
	2087	Seoul Station Bus Transfer Center
	3201	Seoul Station Bus Transfer Center
Chungry angli Station	400	Chungryangli Station Transit Center
	422	Chungryangli Station Transit Center
	1533	Chungryangli Station Transit Center
Yeouido	2243	Yeouido Transit Center
	2279	Yeouido Transit Center
Gupabal Station	4584	Gupabal Station
	4613	Gupabal Station
Dobong san Station	463	DobongsanStation
	480	DobongsanStation
Sadang Staion	4324	Sadang Sation
	4110	Sadang Sation
Jamsil Staion	3030	Jamsil Staion
	3083	Jamsil Staion
	3127	Jamsil Staion
	3596	Jamsil Staion Exit1
	3590	Jamsil Staion Exit8
	3768	Jamsil Staion Exit9
Bokjung Station	3454	Bokjung Station
	4277	Bokjung Station
	3399	Bokjung Station Exit1
	4275	Bokjung Station Exit3
Guro	3774	Exit1 Tranfer Parking
	2104	Guro Digital Complex Staion
	2122	Guro Digital Complex Staion
	5253	Guro Digital Complex Staion Transit Center

2) 용량제약 없는 거점지점 정류소 설정

9개 거점 30개 정류장을 대상으로 용량 제약이 없는 일반적인 Set covering model에 적용한 greedy Algorithm 기법을 이용하여 위치별 설치 규모를 산정한다.

여기서 설치 규모라 함은 개별 교통거점별로 교황형 충전시설의 보유 배터리규모를 나타낸다.

3) 거점지점에 의해 커버되는 네트워크를 제외한 버스 노선네트워크를 대상으로 정류소 배터리 교환형 충전시설 위치선정

거점지점에 의해 커버되는 노선 상 정류소를 제외한 노선네트워크를 대상으로 시설의 용량 및 규모를 고려한 Set covering model의 개선된 Greedy Algorithm 기법을 적용하여 충전시설의 위치를 선정한다.

<표 15> 위치선정 방법 간 결과 비교(2)
<Table 15> Comparison between the results of selecting a location methods(2)

Section	Senario3	Senario4
	Set covering model considering facility capacity & size	Set covering model considering hub , facility capacity & size
no. of facility locating stops	173	131
total QCM* demand (unit)	198	146
average QCM demand (unit)	1.14	1.11
Max QCM demand at a stop(unit)	3	3
Transportation hub site QCM battery demand (unit)	-	539 (scale of 54 QCM units)
operation time(sec)	262.93sec	246.2sec

교통거점과 시설 용량 및 규모를 고려한 Set covering model의 경우, 정류소 충전시설의 설치 정류소 수는 42지점 감소, 필요 정류소 QCM의 수는 52대 감소하였으나 전체적인 QCM 규모로는 2대분량이 증가하였다. 결과 도출 시간 또한 16.6초의 감소 개선이 나타났다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서는 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 적절하고 효과적인 위치를 선정하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 현재 운영 중인 일반 버스를 전기버스로 전환하여 운영하기 위해서는 전기버스가 운행 중간에 멈추는 것을 방지할 수 있도록 적절한 위치에 충전시설을 구축하는 것이 필수적이다. 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 위치선정 문제에 대한 특성을 분석한 결과 Set covering model을 적용하는 것이 효과적이라고 판단하였다. Set covering problem은 적절한 장소에 시설을 설치함으로써 최대한의 서비스를 제공하면서도 설치비용을 최소화하는 문제이다. 이러한 Set covering problem은 NP-Complete 문제로서 이 문제의 해를 효율적으로 구하기 위해서 메타 휴리스틱 방법을 이용하였으며 알고리즘은 그리디 알고리즘을 적용하였다.

또한 일반적인 Set covering model 적용 시 현실성 없는 위치와 설치 규모가 도출되었기 때문에 전기버스를 위한 배터리 자동교환충전시설의 규모와 용량을 고려한 개선된 Set covering model을 적용하여 시설의 규모에 대한 문제를 해결하였으며, 추가적으로 설치 지점의 공간적 제약이 상대적으로 적고 교통의 요지가 되는 환승센터 9개 지점 30개 대상 정류소를 교통거점으로 선정하여 그리디 알고리즘의 단계적인 적용을 통해 결과를 도출하였다.

알고리즘 적용 결과 시설 용량 및 규모를 고려하여 그리디 알고리즘 적용한 경우 충전시설을 각 노선별 16km 간격으로 설치할 경우보다 157대의

QCM 설치 대수를 감소시킬 수 있었다. 추가적으로 교통거점을 고려하여 현실제약에 따른 추가적 모델링을 수행한 결과, 시설 용량 및 규모를 고려하여 그리디 알고리즘 적용의 결과와 비교해서 QCM 설치 규모 대수는 유사했지만 설치 지점 수는 42지점의 감소가 있었다.

실제 각 지자체에 전기버스 충전 인프라를 구축할 경우 단순히 노선별로 설치할 경우보다는 본 알고리즘을 이용하여 효과적인 위치를 선정한다면 많은 인프라 구축비용을 절감시킬 수 있을 것이다.

2. 향후 연구과제

본 연구는 교통거점을 제외한 설치 대상이 되는 모든 정류소가 동일한 환경을 가진다는 가정으로 연구를 진행하였다. 그러나 버스 정류소가 중앙차선에 설치된 경우와 노변에 설치된 경우 설치 가능한 QCM의 대수가 다르기 때문에 다양한 충전시설 설치 환경을 반영해야 한다. 이러한 분석이 가능하기 위해서는 모든 정류소에 대한 설치 환경 조사가 이루어져야하며 이를 바탕으로 정류소마다 QCM 설치 가능 대수를 다르게 적용할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요할 것이다.

또한 본 연구에서는 전기버스 배터리 충전을 통한 최대 이동 가능 거리를 16km로 설정하였으나 각 노선별 지형 특성에 따라 이동 가능 거리가 달라질 것이므로 각 노선별로 영향권 범위를 다르게 지정할 수 있는 알고리즘을 개발할 필요성이 있다.

마지막으로 유전자 알고리즘과 같은 다양한 메타 휴리스틱 방법론을 적용하여 충전시설의 설치 규모를 보다 최소화할 수 있는 방안을 찾는 연구가 요구된다. 특히 유전자 알고리즘의 경우 해의 조기 수렴 문제를 해결한다면 보다 효과적인 위치선정 알고리즘이 도출될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Oh Se-Chang & Kim Jung-Min, "A Optimal Facility Location Set Covering and Minisum(Application to Optimal Location of 119 Eru)", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol.27, no.4, pp. 103-113, 2009
- [2] Kim Seung-Bin. "A study on Optimal Allocation Model for SAM-X by using Set Covering Model", Korea National Defence Univ., 2004
- [3] Lee Hyun-Nam & Han Chi-Geun, "An Enhanced Simulated Annealing Algorithm for the Set Covering Problem", *IE Interfaces*, vol. 12, no. 1, pp. 94-101, 1999
- [4] Kang Byung-Cheon & Han Chi-eun, "A Genetic Algorithm for Solving the Extended Set Covering Problem", *Journal of KIISE(A)*, vol. 25, no. 2, 1997
- [5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Technology Development of EV Transportation Safety Convergence System"(10PTSI-B056303-01), Working Report, 2011
- [6] Zhi-Gang Ren, Zu-Ren Feng, "New ideas for applying ant colony optimization to the set covering problem", *Computers & Industrial Engineering*, Volume 58, Issue 4, pp. 774-784, 2010
- [7] Guanghui Lan, Gail W. DePuy, "An effective and simple heuristic for the set covering problem", *European Journal of Operational Research* Volume 176, Issue 3, pp. 1387-1403, 2007
- [8] Michael J. Brusco, Larry W. Jacobs, "A morphing procedure to supplement a simulated annealing heuristic for cost- and coverage-correlated set covering problems", *Annals of Operations Research* 86, pp.611-627, 1999
- [9] Beasley, J. E. and Chu, p., "A genetic algorithm for the set covering problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 94, pp. 392-404, 1996
- [10] Caprara, A., Fischetti, M. and P. Toth, "A heuristic method for the set covering problem", *Working Paper, DEIS*, University of Bologna, Italy, 1995
- [11] Daskin, M., *Network and Discrete Location Models, Algorithms and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., 1995

[12] Beasley, J. E. and Jonsten, K., "Enhancing an algorithm for set covering problems", *European Journal of Operational Research* 58, pp.293-300, 1992

[13] E. Balas and A. Ho, "Set covering algorithms using cutting planes, heuristics, and subgradient optimization", *A computational study, Mathematical Programming Study* 12, pp. 37-60, 1980

저자소개



김 승 지 (Kim, Seung-Ji)

2012년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통전공 (이학석사)
2007년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통시스템 전공
e-mail : ksj50017@naver.com



김 병 중 (Kim, Byung Jong)

1994년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류법학부 교수
1993년 : 토개발연구원 교통연구실 책임연구원
1993년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공 (공학박사)
1990년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공 (공학석사)
1982년 : 고려대학교 산업공학과 졸업
e-mail : wkim@kau.ac.kr



김 원 규 (Kim, Won Kyu)

1999년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류법학부 교수
1997년 ~ 1999년 : 한국교통연구원 책임연구원
1996년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공 (Ph.d)
1990년 : 연세대학교 대학원 건축공학과 도시계획전공 (공학석사)
1988년 : 연세대학교 건축공학과 졸업
e-mail : bjkim@kau.ac.kr



임 현 섭 (Im, Hyun-Seop)

2012년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통전공 석사과정
2011년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통시스템 전공
e-mail : plasticoin@naver.com