

공유 E-스쿠터의 위치 재분배에 의한 탄소배출제로 공급망 네트워크의 최적화 방안⁺

(Optimization of Zero-carbon Supply Chain Network by
Redistribution of E-scooter Sharing)

중 이 민¹⁾, 진 성^{2)*}
(YiMin Zhong and Xing Chen)

요 약 교통수단의 과밀도화로 인한 대기오염은 도로이동오염원이라고 인식되고 있다. 공유E-스쿠터는 도시교통체증과 마지막 이동거리 수단으로 많은 편리함을 제공하고 있지만 적절하지 않은 사용습관과 폐차 과정에서 발생하는 탄소배출로 인해 공유 E-스쿠터가 환경오염을 가중시키는 원인으로 지목되고 있다. 따라서 본 연구에서는 공유E-스쿠터의 핵심 부품인 배터리의 과도한 사용문제와 장거리 사용으로 인해 발생하는 문제를 해결하기 위하여 공유E-스쿠터의 위치를 재분배하는 방법으로 탄소배출제로 공급망네트워크(Zero-carbon Supply Chain Network: ZSCN) 최적화 모델을 제안한다. 제한한 ZSCN 모델을 통해 효율적으로 E-스쿠터를 이용할 수 있는 방법을 제시함으로써 온실가스배출량 감소와 비용 절감을 검증하였다. 제안된 ZSCN 모델의 신뢰성을 검증하기 위해 유전알고리즘(Genetic Algorithm: GA) 방법을 적용하였으며, 수치실험에서는 G광역시 서구지역의 공유 E-스쿠터 배치위치를 참고하여 ZSCN 모델을 적용하고 GA방법을 통해 그 최적해를 구하였다. 제안된 ZSCN 모델을 통해 효율적으로 공유 E-스쿠터를 이용할 수 있는 방법을 제시함으로써 온실가스배출량 감소와 비용 절감을 검증하였다.

핵심주제어: 공유 E-스쿠터, 위치 재분배, 탄소배출제로, 공급망 네트워크, 최적화, 유전알고리즘

Abstract The phenomenon of air pollution caused by excessive densification of transportation means is considered as a source of road mobile pollution. Although E-scooter sharing provide a lot of convenience as a means of urban traffic congestion and the last moving distance, the process of inappropriate use and scrapping, carbon emission increase, and E-scooter sharing is polluting the environment. Therefore, in this study, an optimization of zero-carbon supply chain network (ZSCN) model is proposed by reallocating the location of E-scooter sharing in terms of preventing the problem of battery overuse and long-distance use. Through the ZSCN model, E-scooter sharing can be used effectively, and the cost savings of reduced greenhouse gas emissions are verified. In order to implement the proposed ZSCN model, Genetic Algorithm (GA) method is adopted. Numerical experiments refer to the E-scooter sharing configuration location in the west district of G Metropolitan City, and reassemble it.

Keywords: e-scooter sharing, redistribution, Zero-carbon, supply chain network, optimization, genetic algorithm

* Corresponding Author: chenxing1982@naver.com

+ 이 논문은 2022년6월 김대중컨벤션센터에서 개최된 한국산업정보학회에서 발표된 논문을 수정하고 확장한 연구결과임.
Manuscript received August 31, 2022 / revised February

27, 2023 / accepted April 28, 2023

1) 호남대학교 경영학과, 제1저자
2) 호남대학교 경영학과, 제2저자, 교신저자

1. 서론

세계적으로 도시화가 가속되면서 각 도시는 지구 온난화에 의한 기후변화라는 환경적 위기와 관련하여 복합적인 문제에 직면하고 있다. 교통체증으로 발생하는 자동차 배출가스에 의한 대기오염(Shaheen and Cohen, 2022), 주차 공간 부족, 도로안전기준 불량 및 소음 발생으로 나타나는 정서적 불안의 심각성이 가장 많이 거론된다(Gössling, 2020). 2018년 서울연구원이 발표한 내용에 따르면 2015년 서울시 대기오염물질 1위는 도로이동오염원으로 39%를 차지하고 있다(Seoul Research Institute, 2018). 최근 교통수단이 증가하면서 지구온난화에 대한 주범으로 이동 중 배출되는 이산화탄소(CO_2)를 주목하고 있다. 대기오염의 높은 비중을 차지하는 이산화탄소를 배출하지 않은 친환경자동차에 대한 관심이 집중되면서 E-스쿠터는 여러 이동 수단 중에서 가장 빠르게 성장하는 이동 수단으로 자리 잡고 있다. 특히 공유 E-스쿠터는 대중교통의 마지막 이동 거리의 개념으로 짧은 거리와 대중교통과 경계한 마지막 목적지로 접근하는 효율적인 이동 수단으로 각광을 받고 있다.

다만, 공유 E-스쿠터의 배터리 과다사용 및 장거리 이동을 포함한 부적절한 사용으로 공유 E-스쿠터의 총 사용시간을 심각하게 단축시키며 폐차 과정에서 탄소배출이 높아져 환경오염을 발생시키고 있다(Lee et al., 2021; Severengiz et al., 2020). 공유 E-스쿠터를 효율적으로 사용하고 충전 빈도를 감소시키는 방법으로 최적화하면 환경에 미치는 악영향을 획기적으로 줄일 수 있다(Hollingsworth et al., 2019). 더불어 공유 E-스쿠터의 비효율적인 사용으로 CO_2 가 배출되면서 환경오염이 발생하고 있다는 인식이 확산되면 공유 E-스쿠터 회사의 이미지가 손상될 수 있다. 따라서 공유 E-스쿠터 회사 관점에서는 이용자 이탈을 방지하고 유지보수에 의한 비용 발생으로 야기되는 경영상의 문제점을 방지하기 위해 공유 E-스쿠터 배터리의 과도한 사용 방지와 이동 거리를 최적화하는 방법으로 해결해야 한다.

이를 해결하기 위한 방법으로는 공유 E-스쿠

터 회사에서 지속적인 이익창출과 환경적인 스트레스 해소의 두 가지 측면을 함께 같이 고려하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관점에서 탄소배출을 최대한 억제하는 것을 목표로 공급망 관리 방안을 제안하여 공유 E-스쿠터 위치 재분배를 통한 탄소배출 제로 공급망네트워크(Carbon-zero Supply Chain Network: ZSCN) 최적화 모델을 수립하고자 한다.

2장에서는 본 연구에서 제시한 연구모델의 구조를 제시한다. 3장에서는 2장에서 제시한 연구모델을 구체적으로 설계하기 위해 수리모형을 제시한다. 수리모형에 대한 검증을 위해 유전알고리즘 (Genetic Algorithm: GA) 접근법을 사용하였다. 이와 관련된 일련의 과정은 4장에서 제시한다. 5장에서는 공용 E-스쿠터가 운영되는 현장사례를 중심으로 다양한 수치실험을 제시하였다. 6장은 결론으로서 본연구의 의의와 향후 개선방안을 제시한다.

2. 기존연구 분석과 제안된 ZSCN 모델

Moreau et al.(2020)의 연구에 따르면 공유 E-스쿠터를 사용하는 과정에서 CO_2 가 발생하며 가혹한 사용으로 E-스쿠터의 수명이 짧아지는 주원인으로 제시하였다. Guo and Zhang (2021)는 공유 E-스쿠터의 효율적인 사용을 위해 E-스쿠터의 사용규제 및 계획을 수립할 경우 평균 가솔린 소비량 53,566갤런과 CO_2 배출량 476.7톤의 절감효과가 있다고 밝혔다. 여기에서 사용규제 및 계획은 공유 E-스쿠터의 배터리 과다사용과 충전과정 중에서 발생하는 문제등을 고려할 수 있다. 그리고 사용수명에 따른 환경적인 영향은 공유 E-스쿠터의 중요한 평가 지표로 사용하고 있다 (Febien Leurent, 2022; Liao et al., 2022). 하지만 기존연구에서는 공유 E-스쿠터의 배터리 과다사용과 충전과정 중에서 발생하는 문제에 대한 구체적인 대안은 고려하지 못하고 있는 실정이다. 공유 E-스쿠터의 과다사용을 줄이기 위해서 배포센터와 충전센터 간의 최단 이동거리 고려해야 하며, 그룹별 충전센터의 설치여부를 고려할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 G광역시 서구 공유 E-스쿠터 배포점 및 충전센터의 분포와 현황을 실증 분석하고 이를 바탕으로 최적화된 개선방안을 마련하고자 한다. 먼저 기존에 활용하고 있는 E-스쿠터의 배치모델(Distribution Model of E-scooter of G City: DoG)은 공유 E-스쿠터 앱을 통해 Fig. 1과 같이 나타내고 있다. 기존에 있는 DoG상황을 살펴보면 Fig. 1에 나타낸 것처럼 공유 E-스쿠터 배포점과 충전센터의 위치 지정 사이에서 발생하는 수량 배분에 다음과 같이 불합리한 경우가 있다. 첫째, 공유 E-스쿠터 배포점 위치가 무작위적으로 배치되어 있어 E-스쿠터 회수와 배터리 충전 시간에 따른 경영의 효율성 측면에 많은 개선점이 있다는 것을 시사하고 있다. 둘째, 충전센터의 무작위 배포로 장거리 운행이 발생하여 배터리 과다사용이 불가피하고 장거리 주행 시 탄소배출량의 증가라는 문제점이 발생하고 있다(Zhong, 2022). 따라서 공유 E-스쿠터 배포점과 충전센터 위치 설정은 회수시간과 배터리 과다사용에 따른 문제점을 사전에 해결하기 위해 매우 중요하다.

이와 같은 이유로 본 연구에서는 공유 E-스쿠터 배포점 및 충전센터를 그룹으로 나누어 배터리 방전에 의한 이용 불가능한 시간을 최소화 하고 이용자가 쉽게 접근할 수 있는 동선을 연구하여 최적의 운영체계를 만들고자 한다. 각 그룹의 E-스쿠터 배포점과 각각 그룹의 충전센터와 연동하여 최소비용의 최대 사용시간이 가능한 방식으로 배치한다. 이 과정에서는 그룹별 E-스쿠터 배포점은 모두 개설된 E-스쿠터 대수가 일정하다고 가정한다. 이상 설명한 그룹 구분과 배포에 대한 개략도는 Fig. 2와 같이 제시하고자 한다.



Fig. 1 Distribution of E-scooter of G City

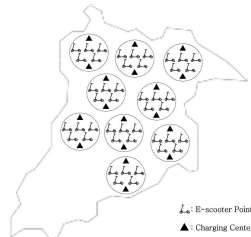


Fig. 2 Expectation Distribution of E-scooter of G City

Fig. 2와 같이 제시된 그룹을 나누어 재배치 하였을 때의 성과를 분석하기 위한 연구모델을 Fig. 3과 같이 제시한다.

본 연구에서 제시하고 있는 ZSCN은 각 그룹(Group1, 2, 3)에서 E-스쿠터 배포점(E-scooter Point: ED)과 충전센터(Charging Center: CG)로 분류하였다. 사용한 공유 E-스쿠터를 운반하는 과정은 각각 그룹별로 이루어진다. 한 E-scooter Point에서 시작하여 사용한 E-스쿠터를 가까운 순서대로 운반하게 된다. 운반된 공유 E-스쿠터는 지정된 CG로 보내지고 CG에서 충전하게 된다. 운반하는 과정중에서 CO₂ 배출과 관련된 문제를 모니터링한다.

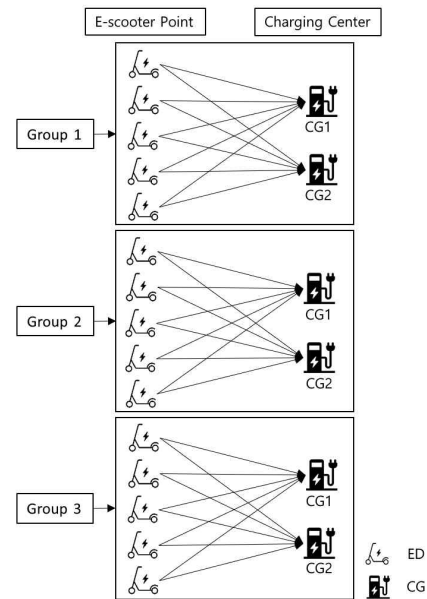


Fig. 3 The Structure of ZSCN

3. 수리 모형

본 연구에서 제안된 ZSCN에 관한 수학 공식을 개발하기 전에 다음의 가설을 고려해야 한다. 첫째, 문제의 단순성을 위해 수거하는 과정 중에서는 최단거리만 고려하며 그 그룹을 구성하는 E-스쿠터의 개수와 배터리 수명 그리고 E-스쿠터 사용시간과 사용 공간은 지면의 기울기 등 모두 동일한 조건만 고려한다. 둘째, ED

단계에서 운반할 때 우선순위는 고려하지 않으며 순서대로 모두 수집된다. 셋째, 각 그룹 E-스쿠터의 수량은 일정하며 사전에 알려져 있다. 넷째, ED 단계에서 각 그룹별 모든 시설은 전부 개설되며 CG 단계에서는 한 개만 개설된다. 다섯째, 각 단계에서의 단위당 운반비용, 단위당 처리비용, 고정비용, 각 단계별 거리 및 단위 거리당 배출되는 CO₂량 등은 각각 다르며 사전에 알려져 있다. 여섯째, ZSCN는 안정적인 상황에서 고려된다.

이상과 같은 가정에 고려하여 ZSCN 모델을 설계한다. 각각의 인수(Index), 모수(Parameter), 의사결정변수(Decision variable)는 다음과 같다.

Index:

i : 그룹 $i \in I$

j : E-스쿠터 배포점 $j \in J$

k : 충전센터 $k \in K$

Parameter:

FDP_{ij} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 의 고정비용

FCG_{ik} : 그룹 i 의 충전센터 k 의 고정비용

UTG_{ijk} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 에서 충전센터 k 까지 단위당 거리의 운반비용

UHD_{ij} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 의 단위당 처리비용

UHG_{ik} : 그룹 i 의 충전센터 k 의 단위당 처리비용

DTG_{ijk} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 에서 충전센터 k 까지의 거리

CEG_{ijk} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 에서 충전센터 k 까지 단위 E-스쿠터 한 대의 단위 거리당 배출되는 CO₂량

PCG_{ijk} : 그룹 i 의 E-스쿠터 배포점 j 에서 충전센터 k 까지 단위당 CO₂의 패널티

QTD_{ij} : 각 그룹 i 에서 E-스쿠터 배포점 j 의 E-스쿠터 수량

QTG_{ik} : 각 그룹 i E-스쿠터 충전센터 k 의 처리용량

Decision variable:

xc_{ik} : 만일 충전센터 k 가 개설되면 1, 그렇지 않으면 0

위에서 언급한 제약조건과 설정된 변수들을 이용하여 수리모델을 설계하면 다음과 같다. 목적함수는 수송비용(Transportation Cost: TCost), 고정비용(Fixed Cost: FCost), 처리비용(Handling Cost: HCost), 그리고 CO₂ 배출 패널티비용(CO₂ Emission Cost: CO₂ECost)이 포함된다.

Minimize Total Cost =

$$TCost + FCost + HCost + CO_2 ECost \quad (1)$$

$$TCost = \sum_i \sum_j \sum_k (DTG_{ijk} \cdot UTG_{ijk} \cdot xc_{ik}) \quad (2)$$

$$FCost = \sum_i \sum_j FDP_{ij} + \sum_i \sum_k (FCG_{ik} \cdot xc_{ik}) \quad (3)$$

$$HCost = \sum_i \sum_j (UHD_{ij} \cdot QTD_{ij}) + \sum_i \sum_k (UHG_{ik} \cdot QTG_{ik} \cdot xc_{ik}) \quad (4)$$

$$CO_2 ECost = \sum_i \sum_j \sum_k (CEG_{ijk} \cdot DTG_{ijk} \cdot PCG_{ijk} * xc_{ik}) \quad (5)$$

subject to

$$\sum_i \sum_k xc_{ik} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j QTD_{ij} - \sum_i \sum_k (QTG_{ik} \cdot xc_{ik}) = 0 \quad (7)$$

$$xc_{ik} = \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, k \in K \quad (8)$$

공식 (1)은 본 연구의 총 목적함수를 표현하고 있다. 공식(2), (3), (4)는 각 그룹별로 E-스쿠터 배포점에서 충전센터까지 발생하는 운반비용, E-스쿠터 배포점과 충전센터에서 발생하는 고정비용을 포함하여 E-스쿠터 배포점과 충전센터에서 발생하는 처리비용의 총합을 최소화하기 위한 목적함수를 표현하고 있다. 공식(5)는 E-스쿠터 수집 및 운반할 때 CO₂의 발생량에 따른 총 패널티비용을 표현하고 있다. 공식(6)은 그룹별로 고려해야 하는 충전센터들 중에서 오직 하나의 센터만 개설되어야 한다는 제약조건

이다. 공식(7)은 전체 E-스쿠터 배포 점에서 처리되는 E-스쿠터 수량은 다음 단계에서 개설되는 충전센터의 전체 처리용량과 같아야 한다는 제약조건이다. 공식(8)은 충전센터의 개설 여부를 결정하는 제약조건이다.

4. 연구 방법

3장에서 제안된 수리모형은 유전알고리즘(Genetic Algorithms: GA) 접근법을 적용하여 최적해를 구한다. GA는 Holland(1975)가 먼저 제안하고 Goldberg(1989)가 개선한 알고리즘이다. 특히, ZSCN과 같이 외생변수가 많은 복잡한 NP-hard문제를 좀 더 빠른 시간내 효과적인 가능해를 구하기 위해 GA등과 같은 메타휴리스틱 알고리즘은 많이 적용하고 있다(Sivanandam and Deepa, 2008; Yun et al., 2018; Chen et al., 2022). 따라서 본 연구에서는 GA 접근법을 이용하여 ZSCN 모델의 신뢰성을 검증하고자 한다. GA를 이용하여 그 적용절차는 아래 Table 1과 같다(Chen et al., 2021).

Table 1 The Procedure of GA

Begin
$G_{bt} = 0$
$t \leftarrow 0$ // iteration number
initialize parent population $GP(t)$ by real-number representation scheme (Chen 2021);
evaluation $GP(t)$;
While (not termination condition) do
apply crossover operator to yield offspring
population $GO(t)$ by crossover rate values
P_{cross} ;
apply mutation operator to yield offspring
population $GO(t)$ by mutation rate values $P_{\mu t}$;
evaluation $GO(t)$;
generate new $GP(t)$ using elitist selection(Yun et al., 2018);
store current best solution C_{best}
if $G_{bt} \leq C_{best}$ then
$G_{bt} \leftarrow C_{best}$
end if

```

t ← t + 1
end
output  $G_{bt}$ ;
end
    
```

5. 수치 실험

제안된 수리모형의 신뢰성을 검증하기 위한 규모와 그룹별로 검토할 수치 실험의 변수는 Table 2와 같다. Scale 1은 5개 그룹으로 나누고, 각 그룹의 E-스쿠터 ED수는 5개의 배포지점이며, ED당 E-스쿠터 수는 5개이고 마지막 CG의 수는 2개로 설정하였다. Scale 2와 3의 경우 Scale 1에서 설명하는 방법으로 설정하였다.

Table 2 Various Scales of ZSCN

Scale	No. of Group	No. of E-scooter	No. of ED	No. of CG
1	5	5	5	2
2	10	10	10	3
3	15	15	10	4

제안한 수리모형의 평가지표는 Table 3과 같다. 여기서 Best Solution(BS), Average Solution(AS), Total transportation cost(TCost), Total handling cost(HCost), Total fixed cost(FCost), Total CO2 emission cost(CO₂ECost), CPU Time(CT) 등 척도(MS)를 사용한다.

Table 3 Performance Measures

MS	Description
BS	Best solution among all solutions
AS	Average solution of all solutions
TCost	Total transportation cost
HCost	Total handling cost
FCost	Total fixed cost
CO ₂ ECost	Total CO2 emission cost
CT	Average CPU Time(unit: sec.)

Table 4 Comparison results for each scale

	Scale 1		Scale 2		Scale 3	
	DoG	ZSCN	DoG	ZSCN	DoG	ZSCN
MS						
BS	75408	57368	295282	220812	671593	499223
AS	80854	61476	305076	228219	682328	507098
Tcost		500		2100		4844
Hcost		400		3200		6900
Fcost		8252		16474		26781
CO ₂ Ecost	66256	48216	273508	199038	633068	460698
CT	0.82	0.82	1.17	1.17	1.26	1.26

수치실험은 GA 접근법을 적용하여 전체세대수(Number of generation)100, 교차변이율(Crossover rate) 0.5, 돌연변이율(Mutation rate) 0.3으로 설정하였다. 집단 크기(Population size)는 Scale 1, 2, 3에서 각각 10, 20, 30으로 설정하였다. 이렇게 설정하는 이유는 Scale이 커질수록 계산 시간이 기하급수적으로 증가하여 최적 해를 산출하는데 경제적이지 못하다는 점을 고려하였다. 총 반복수는 30회를 적용하여 각각 수치 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 수치 실험환경(CPU: Intel Core i7 10875H, RAM: 32GB)에서 Matlab R2021을 사용하여 프로그램 되고 실행되었다. 본 연구에서 사용하고 있는 단위당 운송비용, 단위당 처리비용, 고정비용은 랜덤하게 발생하였고, 단위당 CO₂ 배출패널티비용은 Hollingsworth et al. (2019)의 연구내용과 데이터를 활용하여 DoG상황에서는 단위거리당 CO₂배출은 177g으로 계산한다.

Table 4는 각 Scale별의 수행결과를 보여주고 있다. Scale 1의 경우 BS에서는 기준DoG 상황(BS=75408)과 비교했을 때 본 연구에서 제안한 ZSCN모델(BS=57368)이 더 우수한 결과를 보여주고 있다. 이는 본 연구에서 제안한 ZSCN 모델의 경우 총비용을 23.9%((75,408-57,368)/75,408) 더 절감할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. AS 결과도 BS 결과와 같은 패턴을 나타내고 있어 본 연구에서 제시하고 있는 ZSCN의 탁월성을 나타내고 있다. 규모를 Scale 2와 Scale 3으로 증가시켰을 경우에도 같은 결과를

나타내 Scale이 커질수록 본 연구에서 제시한 ZSCN 모델의 신뢰성을 확인할 수 있다.

ZSCN 모델은 기존의 운영방식과 비교하여 그룹 크기와 비용을 고정하고 이산화탄소 배출량의 변화에 초점을 맞추어 정리한 내용이다. 예를들어, Scale 1의 각 그룹에서 DoG와 비교했을 때 운송비용, 처리비용, 고정비용은 본 연구에서 제안한 ZSCN모델과 같은 값(500, 400, 8252)을 나타내고 있고, 단지 두 모델의 CO₂ 배출처리비용은 크게 개선된 점을 확인할 수 있다. DoG에서 CO₂ 배출처리비용은 66256로 보여주고 있는데, ZSCN에서는 48216으로 나타나 약 27.22% ((66256-48216)/66256) 절감된 결과를 확인하였다.

Scale 2와 3에서 각각 그룹별 공유 E-스쿠터 운영과 관련된 운송비용, 처리비용, 고정비용과 CO₂ 배출패널티비용을 정리하여Table 4에서 나타내었다. Scale 1의 결과에서 나타낸 것 처럼 DoG와 ZSCN모델 Scale2 와 3 각각의 운송비용(2100, 4844), 처리비용(3200, 6900), 고정비용(16474, 26781)은 동일한 결과를 나타내고 있으며, CO₂ 배출 패널티비용은 각각 다르게 나타내고 있다. Scale 2와 3의 결과에 따르면 CO₂ 배출패널티 비용은 ZSCN모델을 기준으로 운영했을 경우 기존 운영방식인 DoG의 경우와 비교해서 각각 199038, 460698으로 보여주고 있으며 이는 각각 27.22%로 이산화탄소 처리비용이 절감할 것으로 예측할 수 있다.

Table 5 The results of location and allocation decisions in Scale 3

	DoG	
	DoG	ZSCN
Group1	1	1
Group2	3	3
Group3	3	3
Group4	3	3
Group5	2	2
Group6	3	3
Group7	1	1
Group8	2	2
Group9	3	3
Group10	4	4
Group11	1	1
Group12	2	2
Group13	3	3
Group14	2	2
Group15	3	3

Fig. 4에서는 GA의 수렴과정을 보여주고 있다. Fig. 4에 나타낸 것처럼 11세대 이후부터 수렴하여 변동성이 없이 안정된 상태를 보여주고 있어 최적해를 찾았다는 것을 나타내고 있다.

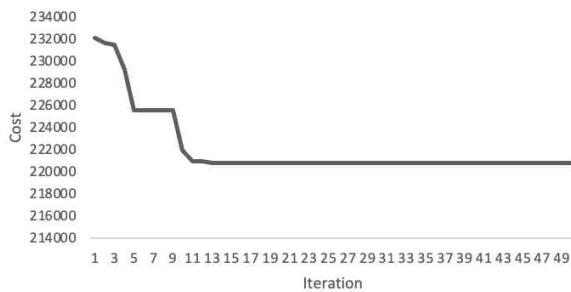


Fig. 4 Convergence Behavior of GA in Scale 2

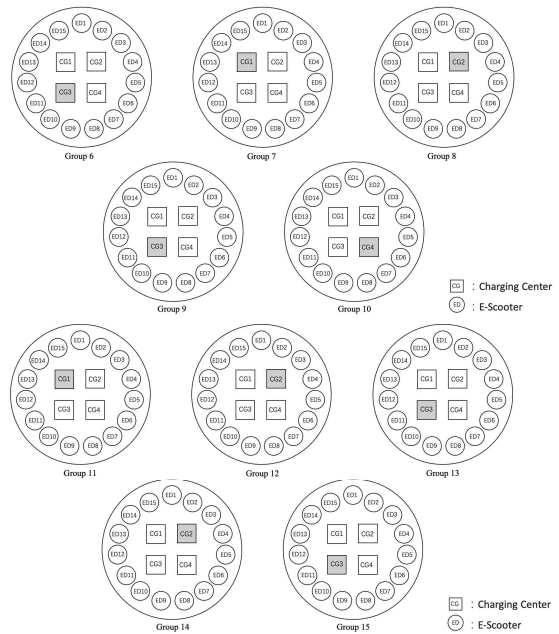
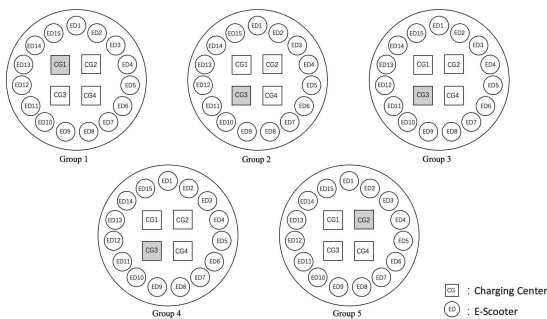


Fig. 5 Opening/Closing Decision of GA in Scale 3

Fig. 5는 Scale 3에서 가장 우수한 결과를 보여주고 있는 사례를 표본으로 각각 운영설비들의 최적의 여건을 만족하는 개설 여부를 보여주고 있다. 예를 들어, Fig. 5에 나타낸 네 개의 CG 중에서 CG1이 개설되며, 개설된 CG1에서 열다섯 대의 E-스쿠터의 충전이 가능하게 된다. 시설개설여부의 결과는 Table 5에서 확인 할 수 있다.

이상과 같은 분석을 종합하여 Scale3의 경우로 예를들어 보면, 수송비용, 처리비용, 고정비용, CO2 배출패널티비용을 합한 총비용은 기준 운영방식이 671593원이고 개선방안이 499223원이 되어 개선방안이 17370원(약25.67%) 더 절감되는 것을 확인 할 수 있다. 특히, 기준운영방식은 충전센터가 무작위로 분포되는 반면에 각각 그룹별로 최단거리를 결정하여 순서대로 공유 E-스쿠터를 수거하면서 그룹별로 충전센터를 설치하였다. 이러한 방신으로 설치하면 CO2 배출량은 약 27.22% (633068-460698)/ 633068)를 감소시킬 수 있어 개선방안이 상당한 효율성을 나타낸다고 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 공유 E-스쿠터의 배포와 충전 센터 위치에 따른 CO₂ 배출량 예측을 통해 환경에 미치는 영향을 연구하였다. E-스쿠터와 충전센터의 비효율적인 운영으로 배터리가 완전히 방전된 뒤 충전하는 과정이 반복되면 배터리를 다시 제작해야 하는 경우가 생기는데 이 때 생산과정에서 가장 많은 CO₂가 발생하게 된다.

따라서 배터리의 완전 방전이 발생하기 전에 회수하여 충전하는 체계를 구축한다는 것은 CO₂ 절감에 매우 민감하고 핵심적인 주제이다. 이와 같은 이유로 인해 기준운영방식은 충전센터가 무작위로 분포되는 반면에 본 연구에서는 각각 그룹별로 최단거리를 결정하여 순서대로 공유 E-스쿠터를 수거하면서 그룹별의 충전센터를 설치하는 방안을 제시하였다. 향후연구에서는 다양한 단위당 비용을 고려하여 연구 할 필요가 있다. 그리고 최적 해를 구하는 접근법으로 GA만 사용하였으나 향후에 연구를 진행하면서 다양한 분석 틀을 활용하여 비교 검토할 필요가 있다.

References

- Chen, X., Chuluunsukh, A., and Jang, J. H. (2021). Customized Model of Cold Chain Logistics Considering Hypergeometric Distribution, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 26(5), 159-169.
- Chen, X. and Jang, E. M. (2022). A Sustainable Supply Chain Network Model Considering Carbon Neutrality and Personalization, *Sustainability*, 14, 4803. <https://doi.org/10.3390/su14084803>
- Fabien, L. (2022). What is the value of swappable batteries for a shared e-scooter service? *Research in Transportation Business & Management*, 45, Part C, 100843. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100843>
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithm in Search, *Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Publishing Company.
- Gössling, S. (2020). Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102230, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102230>
- Guo, Y., and Zhang, Y. (2021). Understanding factors influencing shared e-scooter usage and its impact on auto mode substitution, *Transportation research part D: transport and environment*, 99, 102991.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Hollingsworth, J., Copeland, B., and Johnson, J. X. (2019). Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters, *Environmental Research Letters*, 14(8), 084031.
- Liao, F. and Correia, G. (2022). Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts, *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(3). <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1861394>
- Lee, H., Baek, K., Chung, J. H., and Kim, J. (2021). Factors affecting heterogeneity in willingness to use e-scooter sharing services, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92, 102751, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102751>
- Moreau, H., de Jamblinne de Meux, L., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C., and Achten, W. M. (2020). Dockless e-scooter: A green solution for mobility? Comparative case study between dockless e-scooters, displaced transport, and personal e-scooters. *Sustainability*, 12(5), 1803.
- Seoul Research Institute. (2018). *How much*

air pollution will decrease if the number of electric vehicles increases?, <https://www.si.re.kr> (Accessed on Aug. 20th, 2022)

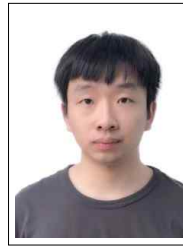
Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N., and Wendt, N. (2020). Life cycle assessment on the mobility service E-scooter sharing, *In 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)* (pp. 1-6). IEEE.

Shaheen, S., and Cohen, A. (2019). Shared micromobility policy toolkit: Docked and dockless bike and scooter sharing, *Available online*, <https://doi.org/10.7922/G2TH8JW7>

Sivanandam, S. N., and Deepa, S. N. (2008). Genetic algorithms, *Introduction to genetic algorithms*(pp. 15-37), Springer, Berlin, Heidelberg.

Yun, Y. S., Chuluunsukh, A., and Chen, X. (2018). Hybrid Genetic Algorithm for Optimizing Closed-loop Supply Chain Model with Direct Shipment and Delivery, *New Physics: Sae Mulli*, 68(6), 683-692.

Zhong, Y. M. (2022). *Optimization of e-scooter sharing sustainable green supply chain network problems*, Master. D. Thesis, Graduate School of Honam University, GwangJu, Korea.



중 이 민 (YiMin Zhong)

- 정회원
- 호남대학교 건축학과 공학사
- 호남대학교 경영학과 경영석사
- (현재) 호남대학교 경영학과 경영석사
- 관심분야: SCM, 위치 할당, 유전 알고리즘



진 성 (Xing Chen)

- 정회원
- 전남대학교 경영학석사
- 조선대학교 경영학박사
- (현재) 호남대학교 경영대학 경영학과 조교수
- 관심분야: 물류/SCM, 유전알고리즘, 생산최적화, 융합경영