

The Optimization of One-way Car-Sharing Service by Dynamic Relocation : Based on PSO Algorithm

Kun-Young Lee · Hyung-Seok Lee · Wyo-Han Hong · Sung-Seok Ko[†]

Department of Industrial Engineering, Konkuk University

실시간 재배치를 통한 카셰어링 서비스 최적화에 관한 연구 : PSO 방법론 기반으로

이건영 · 이형석 · 홍요한 · 고성석[†]

건국대학교 산업공학과

Recently, owing to the development of ICT industry and wide spread of smart phone, the number of people who use car sharing service are increased rapidly. Currently two-way car sharing system with same rental and return locations are mainly operated since this system can be easily implemented and maintained. Currently the demand of one-way car sharing service has increase explosively. But this system have several obstacle in operation, especially, vehicle stock imbalance issues which invoke vehicle relocation. Hence in this study, we present an optimization approach to depot location and relocation policy in one-way car sharing systems. At first, we modelled as mixed-integer programming models whose objective is to maximize the profits of a car sharing organization considering all the revenues and costs involved and several constraints of relocation policy. And to solve this problem efficiently, we proposed a new method based on particle swarm optimization, which is one of powerful meta-heuristic method. The practical usefulness of the approach is illustrated with a case study involving satellite cities in Seoul Metropolitan Area including several candidate area where this kind systems have not been installed yet and already operating area. Our proposed approach produced plausible solutions with rapid computational time and a little deviation from optimal solution obtained by CPLEX Optimizer. Also we can find that particle swarm optimization method can be used as efficient method with various constraints. Hence based on this results, we can grasp a clear insight into the impact of depot location and relocation policy schemes on the profitability of such systems.

Keywords : Integrated Decision Making Model, One-Way Car-Sharing Service, Satellite City, Dynamic Relocation, Particle Swarm Optimization

1. 서 론

카셰어링 서비스는 일반적으로 렌터카와 달리 사전에 가입된 회원들이 다양하게 분산되어 있는 승용차 공동이

용 차량을 인터넷, 모바일, ARS 등을 통하여 차량 이용을 예약한 후 필요한 시간만큼 단기간 이용할 수 있는 서비스로 대중교통의 보완재 역할을 하며, IT 기술의 발달로 인터넷과 스마트폰 어플을 통해 무인대여소 운영이 가능한 특징이 있다. 국내에는 2009년 최초 서비스가 시작된 후, <Figure 1>과 같이 회원 수는 205만 명, 차량 수 3,450대의 규모(2015년 10월 기준)로 증가하고 있다[7].

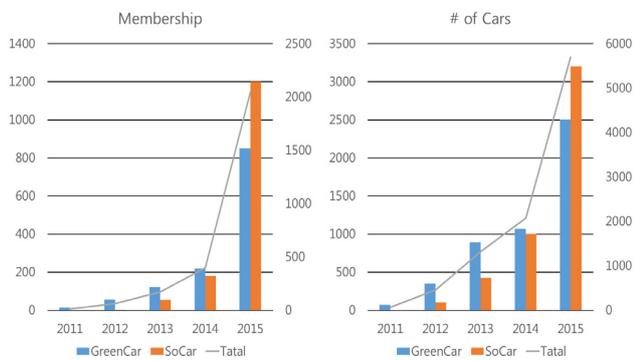
카셰어링 서비스를 운영방식과 통행관점으로 보면 왕

Received 11 December 2015; Finally Revised 25 April 2016;

Accepted 26 April 2016

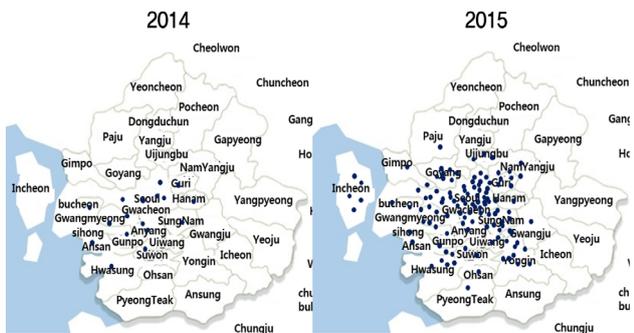
[†] Corresponding Author : ssko@konkuk.ac.kr

복통행과 편도통행으로 구분한다. 왕복통행은 대여지점과 반납지점이 동일한 형태이고 편도통행은 대여지점과 반납지점이 다른 형태이다. 이 서비스의 활성화를 위해서는 모든 방식의 형태가 제공되어야 하나 편도통행 방식의 카셰어링 서비스는 시간이 지남에 따라 주차장에 저장되는 차량의 불균형을 유발하기 때문에 서비스 제공을 위해서는 왕복통행 방식보다 많은 수의 차량을 운영해야 하는 문제점이 있다[12]. 따라서 효율적인 편도 시스템의 도입과 운영을 위해서 차량의 재배치는 카셰어링 시스템에서 중요한 이슈이다. 하지만 기존 국내의 도입 방식은 왕복과 재배치가 고려되지 않은 편도 시스템으로 운영되고 있다.



<Figure 1> The Number of Membership and Car of Carsharing Service in Korea

수도권 내 카셰어링 서비스 대여소의 위치를 나타낸 <Figure 2>와 같이 아직 설치되지 않은 위성도시가 많다. 위성도시에서의 카셰어링 이용수요는 주변 대도시로의 출근, 여가, 쇼핑 등 편도통행 방식인 경우가 대부분이므로 왕복통행보다는 편도통행 방식이 적합하다[8, 11]. 따라서 본 연구는 위성도시의 특징을 반영하여 효율적인 편도 시스템의 도입과 운영자의 수익을 최대화하기 위한 실시간 수요와 재배치를 고려한 통합모형을 제시한다.



<Figure 2> The Location of Car-Sharing Service Zone in Seoul Metropolitan Area

Correia et al.[2]은 카셰어링 서비스를 3가지로 구분하였다. 운영자의 최대의 수익을 위해 수요를 자유롭게 선택하는 Controlled Service와 모든 수요를 만족시키는 Full Service, 주차장 내 차량이 없을 경우에 수요를 거부하는 Conditional Service로 분류하여 최적 차량 대여소의 입지 및 차량 수와 운영 후 재배치에 대한 모형을 제시하였다. Han[4]는 Correia et al.[2]의 연구에서 재배치로 인해 유지해야하는 높은 차량 수를 문제로 제기하고 수요를 모두 만족시키는 Full Service에 대해 운영 중 재배치 의사결정을 위한 해법을 제시하였다. Kim et al.[9]는 효율적인 편도 시스템을 위한 차량 수, 카셰어링 존(Zone)별 주차면수를 결정하였다. 편도통행의 문제를 해소하고자 해당 연구의 시간적 범위를 운영 중과 후로 나누어 재배치 기간을 단발성과 실시간으로 구분하였다. Ganjar et al.[1]은 편도통행 방식의 카셰어링 서비스에서 모든 수요를 만족시키기 위해 최소의 비용으로 차량을 재배치하는 모형을 제시하고 개미 군집 알고리즘으로 해결하였다. Hedayat[15]은 고객 수요가 결정적(Deterministic)일 때와 확률적(Stochastic)일 때의 카셰어링 서비스의 최적화 해법을 위하여 각각 Mixed Integer Programming(MIP)와 휴리스틱 알고리즘[5]을 개발하였다.

그러나 이들의 연구를 위성도시에 적용하기에는 몇 가지 한계점이 나타난다. 첫째, 위성도시에서의 카셰어링 이용수요는 주변 대도시로의 편도통행 방식인 경우가 대부분이다. 따라서 Alfian et al.[1]와 Correia et al.[2]에서 제시된 일정 기간 단위로 실행되는 단발성 재배치 전략은 운영 중에 지역 간 차량의 불균형을 초래하고 결과적으로 카셰어링 서비스의 운영자는 높은 차량 수를 유지해야 한다. 둘째, 기존 연구는 모든 수요를 만족시키기 위해 최소의 비용으로 재배치를 결정하는 단일 의사결정 모델이다. 운영자의 최대 수익을 위해서는 수요에 따른 이익과 재배치 비용을 함께 고려함으로써 통합적인 의사결정 모델을 구축해야 한다. 셋째, 기존연구에서 사용된 Mixed Integer Programming(MIP)은 주차장 수의 증가, 재배치 간격의 감소 등 문제의 크기가 커질수록 해결 시간이 기하급수적으로 증가한다. 그러므로 빠른 시간 안에 해를 도출하는 방법론이 필요하다.

이러한 카셰어링 서비스의 최적화 문제는 위성도시에서의 입지와 초기 차량 수, 주차장 크기, 기간 별 수용하는 수요량과 재배치량을 구하는 NP-Hard 문제라고 알려져 있다[15]. 고려하는 지역의 크기가 증가하거나 재배치를 고려하는 기간이 짧아질수록 해를 찾는 시간이 기하급수적으로 증가한다. 이는 실시간으로 받아들이는 수요량과 재배치량에 대한 의사결정에 어려움을 발생시킨다. 따라서 본 연구는 메타 휴리스틱 기법 중 최근에 가장 많이 적용되고 있는 입자군집 최적화(Particle Swarm Optimiza-

tion : PSO) 기법을 적용하여 효율적인 해를 구하는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 제 2장에서 본 연구에서 다루는 문제를 수학적으로 모델링을 하고, 입자군집 최적화 방법론을 적용하여 카쉐어링 문제를 접근하는 방법론은 제 3장에서 서술하고자 하며, 제 4장은 수도권을 중심으로 새로운 입지를 선정할 경우를 대상으로 사례 분석을 실시하고자 하면, 제 5장은 본 연구에 대한 결론으로 마무리하고자 한다.

2. 카쉐어링 수리 모형

본 연구는 편도통행 방식의 카쉐어링 서비스를 위성 도시에 도입하기 위해 운영자의 최대 이익을 위한 기간별 수요량과 재배치량의 의사결정 모델을 제시하고자 실시간 재배치를 적용할 수 있는 Correia et al.[2]에서 제시된 Controlled Service를 기반으로 하고 있다.

편도통행 방식의 카쉐어링 서비스에서 단발성 재배치는 실시간 재배치보다 많은 수의 차량 유지해야만 가능하다. 따라서 차량유지 비용을 증가시키며 결과적으로 전체 이익을 감소시킨다고 할 수 있다[4]. 따라서 편도통행 방식 수요가 대다수인 위성도시에서의 특성을 반영하기 위해 실시간 재배치를 사용하는 것이 효율적이라 할 수 있다.

모형 수립에 앞서 필요한 변수와 모수들에 대해서 다음과 같이 정의하고자 한다.

• 집합

$N = \{1 \dots i \dots N\}$: 주차지역을 나타내는 집합

$T = \{1 \dots t \dots T\}$: 운영시간 동안 시간 간격으로 이루어진 집합

$X = \{1_1 \dots i_t \dots N_T\}$: 주차지역과 시간 간격의 결합으로 이루어진 네트워크 노드의 집합($X = X_1 \cup X_2$)

X_1 : 기 지정된 주차지역과 시간 간격의 결합으로 이루어진 네트워크 모델의 노드 집합

X_2 : 후보 주차지역과 시간 간격의 결합으로 이루어진 네트워크 모델의 노드 집합

$A = \{\dots a_1(i_t, i_t + \delta_{ij}) \dots\}$, $i_t \in X$: 집합 X 의 각 노드를 연결하는 Arc의 집합

• 의사결정변수

$D_{i_t j_t + \delta_{ij}}$: 시간 $[t, t + \delta_{ij}]$ 사이에 지역 i 에서 j 으로 사용되는 차량 수

$R_{i_t j_t + \delta_{ij}}$: 시간 $[t, t + \delta_{ij}]$ 사이에 지역 i 에서 j 으로 재배치되는 차량 수

Z_i : 주차지역 i 의 크기

S_{i_0} : 지역 i 의 초기차량 수

Y_i : 후보지 i 가 선택되었다면 1, 아니면 0을 갖는 이진변수

• 주요모수

C_r : 차량 당 재배치 비용

C_{m2} : 주차 공간의 일간 유지비용

C_v : 일간 차량 감가상각비

δ_{ij} : 지역 i 와 j 의 운행 시간

$Q_{i_t j_t + \delta_{ij}}$: 시간 $[t, t + \delta_{ij}]$ 에 지역 i 와 j 의 수요

Q_{\min} : 최소 수요 충족비용

R_{\max} : 최대 재배치 허용량

M : Big-M

위성도시의 특징을 반영하여 효율적인 편도 시스템의 도입과 운영을 위해 실시간 재배치를 고려한 통합모형은 위의 표기법을 사용하여 나타내면 다음과 같다.

목적함수

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi = & (P - C_{m1}) \times \sum_{i_t j_t + \delta_{ij} \in A_1} \delta_{ij} D_{i_t j_t + \delta_{ij}} \\ & - C_r \sum_{i_t j_t + \delta_{ij} \in A_2} \delta_{ij} R_{i_t j_t + \delta_{ij}} - C_{m2} \sum_{i \in N} Z_i - C_v \sum_{i \in N} S_{i_1} \end{aligned} \quad (1)$$

제약조건

$$\begin{aligned} S_{i_t} = & S_{i_{t-1}} - \sum_{j_t \in X} D_{i_t j_t + \delta_{ij}} - \sum_{j_t \in X} R_{i_t j_t + \delta_{ij}} \\ & + \sum_{j_t \in X} D_{j_t - \delta_{ij} i_t} + \sum_{j_t \in X} R_{j_t - \delta_{ij} i_t}, \forall i_t \in X \end{aligned} \quad (2)$$

$$D_{i_t j_t + \delta_{ij}} \leq Q_{i_t j_t + \delta_{ij}}, \forall (i_t, j_t + \delta_{ij}) \in A \quad (3)$$

$$D_{i_t j_t + \delta_{ij}} \geq Q_{\min} \times Q_{i_t j_t + \delta_{ij}}, \forall (i_t, j_t + \delta_{ij}) \in A \quad (4)$$

$$R_{i_t j_t + \delta_{ij}} \leq R_{\max}, \forall (i_t, j_t + \delta_{ij}) \in A \quad (5)$$

$$S_{i_t} \leq Z_i, \forall i_t \in X_2 \quad (6)$$

$$S_{i_t} \leq M \times Y_i, \forall i_t \in X_2 \quad (7)$$

$$S_{i_t} \leq z_i, \forall i_t \in X_1 \quad (8)$$

$$S_{i_0} = s_i, \forall i_0 \in X_1 \quad (9)$$

$$D_{i_t j_t + \delta_{ij}}, R_{i_t j_t + \delta_{ij}}, S_{i_t} \geq 0, Y_i = 0 \text{ or } 1$$

목적식 (1)은 기간별 수용하는 수요에서 얻는 운영수익과 재배치 및 차량 관련 비용의 차이인 이익으로 정의

할 수 있다. 운영수익은 시간 당 대여금액(P)과 사용된 차량 수($D_{i,j,t+\delta_y}$)를 이용해 산출하며, 차량 관련 비용은 네 가지 항목으로 이루어져 있다. 첫째, 사용한 차량의 유지비용으로 차량 운행 시 소모되는 차량의 부품 및 성능에 대한 비용을 나타내고 차량 1대의 유지비용(C_{m1})과 사용된 차량 수($D_{i,j,t+\delta_y}$) 및 소요시간(δ_{ij})을 곱하여 산출한다. 둘째, 재배치에 대한 비용으로 실시간으로 이뤄지는 재배치를 고려하여 단위시간당 재배치 비용(C_r)과 재배치되는 차량 수($R_{i,j,t+\delta_y}$) 및 소요시간(δ_{ij})을 곱하여 산출한다. 셋째, 주차 공간에 대해 지불하는 비용이며, 카셰어링 서비스는 기존의 주차 기반 시설을 이용하기 때문에 공간 대여 비용(C_{m2})을 지불한다. 따라서 대여소 크기(Z_i)와 곱하여 산출한다. 넷째, 보유하고 있는 모든 차량의 감가상각비용이다. 차량 1대당 감가상각비용(C_v)과 전체 차량 수(S_i)를 곱하여 산출한다.

식 (2)~식 (9)는 제약조건으로써 카셰어링의 기본적인 운영을 조건과 재배치로 인한 추가적인 사항이 포함되어 있다.

식 (2)은 주차장 i 에 $t-1$ 시간에 있던 기존 차량 수를 의미하는 $V_{i,t-1}$ 에서 t 시간에 주차장 j 로 이용자가 타고 이동한 차량($\sum_{j_t \in X} D_{i,j_t,t+\delta_y}$)과 재배치된 차량 수($\sum_{j_t \in X} R_{i,j_t,t+\delta_y}$)를 빼고 기간 t 에 주차장 j 에서 주차장 i 로 도착한 차량 수($\sum_{j_t \in X} D_{j_t-\delta_y,i,t}$)와 재배치된 차량 수($\sum_{j_t \in X} R_{j_t-\delta_y,i,t}$)를 더하면 S_i 가 되는 것을 의미한다. 식 (3)와 식 (4)는 사용된 차량 수는 수요를 넘을 수 없으며 주차장 i 에서 j 로 가는 수요 중 사용된 차량 수의 비율은 최소한의 요구된 수요비율(Q_{\min}) 이상을 받아 들여야 한다는 조건이다. 식 (5)은 주차장 i 에서 j 로의 재배치된 차량 수는 최대 재배치 차량 수를 넘을 수 없음을 의미한다. 식 (6)은 주차장 i 에 저장되는 차량 수보다 주차 용량이 커야한다는 조건이다. 식 (7)은 후보지에 대여소가 설치되지 않으면 차량 수는 0 대라는 의미이다. 식 (8)은 대여소가 도입된 지역의 주차장 크기 제약을 의미하며, z_a 는 도입된 지역의 대여소의 주차 용량 크기이다. 식 (9)은 도입된 지역의 초기 차량 수(S_{i_0})는 $t=0$ 일 때, 차량 수(s_a)와 같다는 의미이다. 또한, N_a 는 선정되는 후보지들의 집합이다.

3. 최적화 알고리즘

3.1 입자군집 최적화(PSO) 방법론

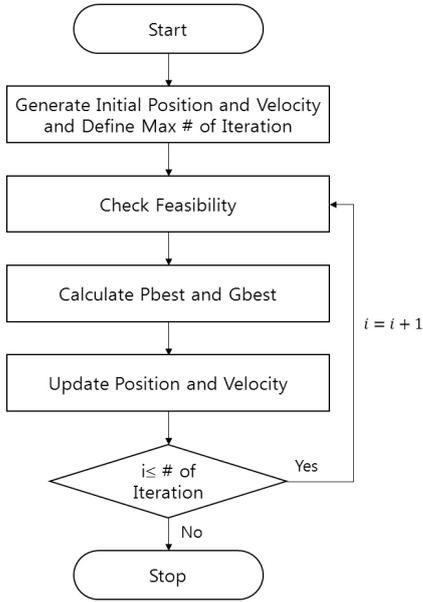
Kennedy et al.[6]에서 PSO(Particle swarm optimization)

는 Meta heuristic 방법 중 하나로 자연에서 집단행동을 하는 동물들이 무리를 형성하고, 집단경험에 기반을 두어 해결책을 발견하는 알고리즘이다[3, 10, 14]. PSO의 구성요소는 Particle, Swarm, P-best, G-best, Velocity이다. Swarm은 Particle을 포함하는 n차원의 집합이다. Particle은 Swarm에 속해 있는 하나의 객체이며, 같은 체제 하에 독립적으로 움직인다. 이는 하나의 해로써 위치는 식 (10)과 같이 n차원의 실수 벡터로 표현된다. P-best는 Swarm을 여러 구역으로 나누어 해당 구역 내에서 최적의 위치정보를 가진 Particle이다. G-best는 P-best 중에서 가장 최적의 위치를 나타내는 Particle이다. 따라서 주어진 문제의 최적 해는 G-best로 나타나며 Particle의 위치와 속도에 영향을 준다. Velocity는 식 (11)과 같고 Particle 속도를 나타내는 벡터이다. 각 Particle이 가지는 이동속도와 방향을 의미한다. 구성요소를 변수로 표시하면 최적해 탐색 과정에서 필요한 구성요소를 변수로 나타내면 다음과 같다.

- X_i^n : Particle i의 위치
- v_i^n : Particle i의 Velocity
- w : Inertial weight factor
- c_1, c_2 : Acceleration constants
- r_1, r_2 : Random number of $U(0,1)$
- $X_i^{(n+1)} = X_i^n + V_i^{(n+1)}$ (10)
- $v_i^{(n+1)} = w v_i^n + c_1 r_1^n (P.best_i^n - X_i^n) + c_2 r_2^n (G.best_i^n - X_i^n)$ (11)

PSO 알고리즘의 절차는 <Figure 3>과 같다. PSO에서 각 Particle은 문제의 후보 해를 나타내며 Particle은 n차원의 실수 벡터로 구성되어 Swarm안에 놓여진다. 초기 Swarm 내의 각각의 Particle은 설정한 크기에 맞게 무작위로 생성, 배치되어 목적함수에 따라 적합성이 평가되고, P-best로 설정한다. P-best 중 최적의 값은 G-best로 선정된다. 식 (11)에 따라 Velocity가 수정되고, 수정된 Velocity와 위치가 조절된다. 이후 종료조건에 이르지 않으면, 각 Particle들은 목적함수의 결과에 의해 다시 평가하여 최적의 해를 도출한다.

카셰어링 문제는 위성도시에서의 입지와 초기 차량 수, 주차장 크기, 기간 별 수용하는 수요량과 재배치량을 구하는 NP-Hard 문제이다. 고려하는 지역의 크기가 증가하거나 재배치를 고려하는 기간이 짧아질수록 해를 찾는 시간이 기하급수적으로 증가한다. 이는 실시간으로 받아들이는 수요량과 재배치량에 대한 의사결정에 어려움을 발생시킨다. 따라서 빠른 시간 안에 수요량과 재배치에 관한 정수해의 산출이 필요하므로 Meta Heuristic 방법 중 최근에 가장 많이 적용되고 있는 PSO를 이용하였다[13].



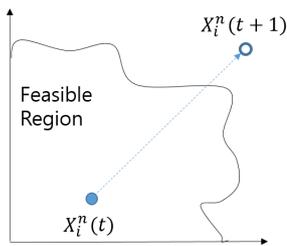
<Figure 3> Flowchart of PSO Algorithm

3.2 초기해의 선정

본 문제에서 후보 해를 나타내는 Particle은 고려하는 기간 t 동안의 주차장 i 에서 주차장 j 로의 허용하는 수요량 (D_{ij}^t)에 대한 정보를 담고 있으므로 3차원 Matrix로 표현 된다. 초기 해는 각 기간마다 주차장 i 에서 주차장 j 로 이동하는 수요량(Q_{ij}^t)과 최소로 허용되는 수요량($Q_{\min} \times Q_{ij}^t$) 사이의 임의의 수로 구한다. 최적 해를 탐색할 때, 수리 모형의 목적식을 비교하여 해를 평가한 후 P-best와 G-best를 산출한다. 그 후 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 속도를 갱신한 후 Particle의 다음 위치를 구한다.

3.3 교정 작업

X_i^n 와 v_i^n 을 갱신하며 해를 탐색하다 보면 <Figure 4>와 같이 가능한 해의 영역을 벗어나 해를 탐색하는 경우가 발생한다. 가능한 해의 영역을 벗어나 해를 탐색할 경우, Particle의 위치를 재설정해야 한다.



<Figure 4> Situation of Departure from Limitation

가능한 해의 영역을 벗어나는 경우는 다음의 2가지이다. 첫 번째는 X_i^n 에서 $D_{ij}^t \geq Q_{ij}^t$ 인 경우이고 두 번째는 X_i^n 에서 $D_{ij}^t \leq Q_{\min} \times Q_{ij}^t$ 인 경우이다. 위와 같이 해의 영역을 벗어나는 경우 다음의 교정 작업을 실시하였다.

- 1) $D_{ij}^t \geq Q_{ij}^t \Rightarrow D_{ij}^t = Q_{ij}^t$
- 2) $D_{ij}^t \leq Q_{\min} \times Q_{ij}^t \Rightarrow D_{ij}^t = Q_{\min} \times Q_{ij}^t$

3.4 재배치 알고리즘

실시간으로 수요와 차량의 재고에 맞는 재배치될 차량 수를 구해야 한다. PSO에서 Particle이 나타내는 기간 t 일 때, 주차장 i 에서 주차장 j 의 수요량(Q_{ij}^t)이 주차장 i 에서 이용 가능한 차량 수(S_i^{t-1})를 초과하여 S_i^t 가 음수가 된다. 이때, 가장 가까운 주차장에서부터 차량의 재배치가 이루어진다. i_k 는 주차장 i 에서 k 번째로 가까운 주차장을 의미하며 재배치 알고리즘을 수행하는 과정은 다음과 같다.

- ① 주차장 i 에서 $S_i^t - \sum_j D_{ij}^t$ 을 계산하여 부족한 차량 수 (S) 계산.
- ② 주차장 i_1 의 $t - \delta_{i_1}$ 부터 t 까지의 기간 중 S 의 최소값 산출(이때, 최소값이 주차장 i_1 에서 주차장 i 로의 재배치량 $R_{i_1 i}^{t - \delta_{i_1}}$ 을 의미).
- ③ 주차장 i_1 의 기간 $t - \delta_{i_1}$ 부터 t 의 S 을 $R_{i_1 i}^{t - \delta_{i_1}}$ 만큼 감소, 기간 t 에서 주차장 i 의
- ④ S_i^t 을 $R_{i_1 i}^{t - \delta_{i_1}}$ 만큼 증가.
- ⑤ ②와 ③을 기간 t 의 S 가 0 이상 될 때까지 $l = \{i_1 \dots i_k\}$ 에 대해서 반복.
- ⑥ 주차장 i_k 까지 반복하였는데도 S 가 0 미만일 경우, 가장 가까운 지역으로의 수요 D_{i_k} 을 $\min(-S_i^t, D_{i_k})$ 만큼 감소.
- ⑦ S_i^t 을 $\min(-S_i^t, D_{i_k})$ 만큼 증가.
- ⑧ S_i^t 가 0 이상이 될 때까지 ⑤와 ⑥을 반복.

4. 사례 분석

4.1 실험 설계

시간적 범위는 차량 재배치 과정은 최소 운영단위인 10분마다 이루어지며, 실험 기간은 일반적인 특성이 반영되는 평일(5일)로 설정하였다. 공간적 범위는 수도권인 서울과 경기 지역의 위성도시 중 예상 수요 상위 6곳으로

설정하였다.

위와 같은 범위 설정 및 모수를 위해 입지 후보지, 지역 간 운행 소요 시간, 지역 간 수요량 그리고 제반 비용에 대한 정보가 필요하다.

입지후보지는 기존에 도입된 지역과 새로 도입될 지역을 구분하여 선정하였다. 기존에 도입된 지역의 경우, 일정 수준의 편도 수요를 충족시키기 위해 1~7개의 지역을 1개의 Zone으로 설정하였다. 현재 카셰어링 서비스가 도입된 지역은 서울의 27개 구와 경기 지역의 8개시이므로 총 8개의 Zone을 생성하였다. 새로 도입될 입지 후보지는 기존에 도입된 경기지역과의 거리, 인구의 기준으로 하여 평택시, 남양주시, 화성시, 광주시, 양주시, 가평군(총 6곳)을 선정하였다.

차량 대여소간 운행 소요시간은 Zone의 중심이 되는 지역의 행정기관(구청 등)에서 입지후보지의 행정기관 사이의 운행 소요시간이며 <Table 1>와 같다. 동일 구간의 왕복의 경우 2회 편도로 간주하여 20분으로 설정하였다.

<Table 1> Travel Time between Depots

(unit : 10 minute)

depot \ depot	Zone1	Zone2	...	13	14
1	2	4	...	6	11
2	4	2	...	4	11
...
13	6	4	...	2	9
14	11	11	...	9	2

시스템 운영비용은 Han[4]에서 사용된 비용으로 설정하였으며 <Table 2>와 같다.

<Table 2> System Cost

(Unit : Won)

Description	Cost
Profit per one car	3,290
Relocation cost per one car	2,390
Maintenance cost for sites per one day	10,000
Maintenance cost for car per one car	100
Car depreciation	10

각 입지에서의 예상 수요는 카셰어링 서비스의 도입효과 및 수요를 추정한 Park et al.[11]의 수식을 사용했다. Zone 및 입지 후보지 사이의 쇼핑/여가/배웅/기타, 출퇴근, 업무 등 목적별 통행량을 산출한 후, 카셰어링 서비스 이용통행비율과 대중교통 이용비율을 이용하여 예상 수요를 산출하였다. <Table 3>은 편도통행 방식이 가장 활발히 사용되는 출근 시간대의 10분 단위의 수요 예측 모형이다.

<Table 3> Demand between Depots at 07:00~09:00

depot \ depot	Zone1	Zone2	...	13	14
1	41	3	...	0	0
2	19	37	...	0	0
...
13	0	0	...	3	0
14	0	0	...	0	1

4.2 실험 결과

<Table 4>은 사용된 차량 수와 재배치 차량 수와 비용에 대한 결과이다. 사용 차량 수는 일정한 규칙을 보이며 약 35,900대가 사용되었다. 또한 재배치 차량 수는 일별로 산발적인 형태를 띠고 있으며 실험 기간 동안 4,049회의 재배치가 일어났다.

<Table 4> Used Cars and Relocated Cars

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Total
Used # of Cars	36,080	35,954	35,956	35,669	35,673	179,332
Relocated # of Cars	974	942	918	763	552	4049
Relocation Cost (1,000₩)	3,514					
Other Cost (1,000₩)	6,012					
Objective Value (1,000₩)	140,893					

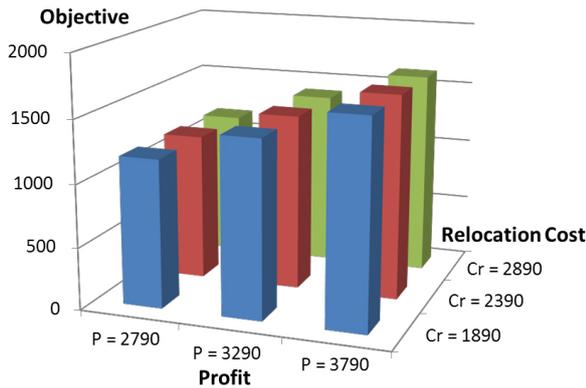
<Table 5>는 주차장 크기와 입지별 초기차량 수에 대한 결과이다. 주차장 크기는 실험 기간 동안 주차된 차량 수 중 가장 큰 값에 따라 결정되었으며, 남양주가 가장 높게 나타났다. 전체 비용 중 차량 유지비용이 약 47%로 가장 높게 나타났으며, 재배치 비용이 37%로 다음으로 높게 나타났다.

<Table 5> Depot Size and Initial Number of Cars

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Total
Initial # of Car	25	84	44	14	6	2
Depot Size	64	98	80	38	6	2
Car Maintenance Cost(1,000₩)	4,572					
Sites Maintenance Cost(1,000₩)	1,440					
Depreciation(₩)	8,750					

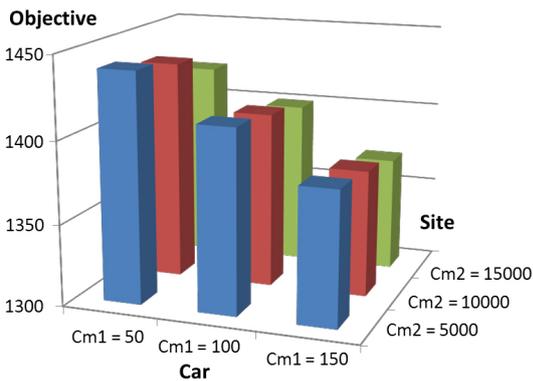
4.3 민감도 분석

<Figure 5>는 운영수익과 재배치 비용에 따른 이익의 변화를 나타냈던 것으로 재배치 비용보다 운영수익의 변화에 더 큰 변동이 있음을 알 수 있다. 이는 매 회 재배치량이 R_{max} 이하로 발생하는 것이 주요 요인으로 분석할 수 있다.



<Figure 5> Profit and Relocation Cost

또한 주차장 비용과 차량유지비용에 대한 목적함수 값 (이익)의 변화는 <Figure 6>과 같다. 주차장 비용의 영향보다 차량 유지비용에 의한 변동이 더 큰 것을 알 수 있는데, 이는 앞의 결과와 같이 총 비용 중 차량 유지비용의 중요도를 알 수 있다.



<Figure 6> Maintenance Cost for Car and Site

5.4 성능 평가

본 연구에서 활용한 PSO 알고리즘을 통해 구한 해와 IBM ILOG CPLEX Optimizer를 통해 얻은 해와 비교를 통해 본 연구에서 제시한 PSO 알고리즘의 유용성을 검증하였다. 먼저 PSO 알고리즘을 통해 얻은 결과는 <Table 6>의 결과와 같이 약 4%의 오차를 나타내었지만 연산 속

도는 PSO 알고리즘이 CPLEX에 비해 약 8배 빠른 결과를 보였다.

<Table 6> Comparison of Objective Measure

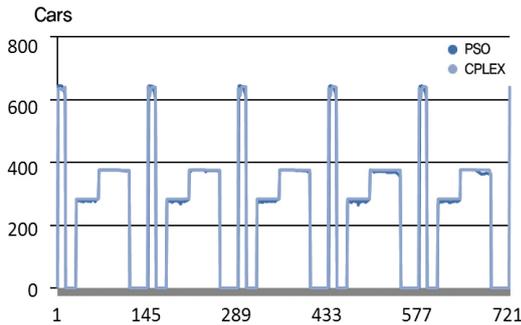
	PSO	CPLEX	Gap(%)
Revenue (1,000₩)	150,421	151,559	9
Relocation Cost (1,000₩)	3,514	3,221	9
Car Maintenance Cost (1,000₩)	4,572	4,751	3
Sites Maintenance Cost (1,000₩)	1,440	825	42
Depreciation Cost (1,000₩)	0.88	0.83	5
Objective Value (1,000₩)	140,893	147,511	4
Run time(min)	2	16	-

또한 주차장 크기는 <Table 7>의 결과와 같으며, 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 문제에 반영되는 지역의 수가 증가한다면 실시간으로 운영되는 편도통행 방식에 PSO 알고리즘의 적용이 효율적이라 할 수 있다.

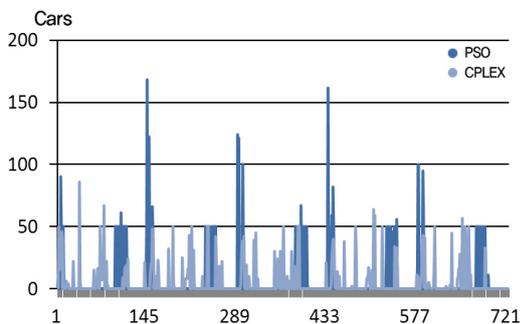
<Table 7> Comparison of PSO and CPLEX

	Initial # of Car		Depot Size(car)	
	PSO	CPLEX	PSO	CPLEX
Pyeongtaek	25	27	64	27
Namyangju	84	83	98	83
Hwaseong	44	33	80	33
Gwangju	14	14	38	14
Yangju	6	6	6	6
Gapyeng	2	2	2	2

다음으로 사용된 차량 수와 재배치된 차량 수를 비교하였다. <Figure 7>와 같이 사용된 차량 수는 차이가 없는 반면, 재배치된 차량 수는 <Figure 8>과 같이 차이가 있다. 이는 PSO 알고리즘은 운영 단위 시간마다 수요와 재배치량을 반영하여 가장 가까운 주차장에서부터 순차적으로 재배치가 결정되는 재배치 알고리즘에 기인한 것으로 분석된다. 그러나 CPLEX를 활용한 최적 해의 경우 모든 기간에 주차장의 차량 수를 고려하여 거리가 먼 주차장의 재고까지 고려하여 재배치를 결정하기 때문에 재배치 차량 수의 차이가 존재한다.



<Figure 7> Comparison of PSO and CPLEX of Periodical Condition of Used Car



<Figure 8> Comparison of PSO and CPLEX of Periodical Condition of Relocated Car

5. 결론

수도권 지역 위성도시에 카셰어링 서비스의 최적화를 위하여 재배치 차량 수, 초기차량 수, 주차장 크기, 선정 입지 등을 산정하고자 본 연구를 수행하였다. PSO 알고리즘을 활용함으로써 보다 빠른 해 탐색이 가능하고 운영단위 시간에 따라 실시간으로 수요와 재배치를 반영하는 통합모형을 사용하였다.

CPLEX를 이용한 최적해와 비교해본 결과, 재배치 차량 수와 주차장 크기 부분에서 차이가 있는 것으로 분석되었으나 초기 차량의 수나 사용된 차량의 수 등은 비슷한 결과를 보여 주었으며 8배 이상의 연산 속도를 보여 줌으로써 본 연구에서 제안한 알고리즘을 유용성이 충분히 검증될 수 있었다.

그러나 카셰어링 시스템의 다양한 환경 및 기능에 대한 고려 즉 수요의 거절과 시스템 도입 등에 따라 추가적으로 발생하는 비용 및 지역에 따른 교통상황 등을 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 이러한 한계점은 지속적인 연구를 통해 카셰어링 서비스의 고객서비스 향상, 수익성 증대 그리고 다른 위성도시에의 활용까지 가능할 것으로 생각된다.

References

- [1] Alfian, G., Farooq, U., and Rhee, J., Ant Colony Optimization for Relocation Problem in Carsharing, *Journal of 2013 KIIE Spring Conference*, 2013, pp. 1859-1866.
- [2] Correia, G. and Antunes, A., Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems, *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, 2012, Vol. 48, No. 1, pp. 233-247.
- [3] Del Valle, Y., Venayagamoorthy, G.K., Mohagheghi, S., and Hernandez, J.-C., Particle Swarm Optimization, Basic Concepts, Variants and Applications in Power Systems, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation TEC*, 2008, Vol. 12, No. 2, pp. 171-195.
- [4] Han, J.H., One-way Carsharing system Optimization through Real-time relocation of vehicle, *Journal of 2014 KIIE Fall Conference*, 2014, pp. 44-58.
- [5] Jung, I.S., Yeo, S.J., Bae, J.H., and Wang, G.N., An Approach of heuristic rule for the quay assignment, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 2008, Vol. 13, No. 3, pp. 59-66.
- [6] Kennedy, J. and Everhart, R.C., Particle Swarm Optimization, *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, 1995, pp. 1942-1948.
- [7] Kim, J.S., Park, K.C., and Ko, J., Socio-economic Effects of Carsharing, *Issue and Analysis*, 2015, Vol. 183, pp. 1-25.
- [8] Kim, S.H., Jung, H.J., and Bea, S.H., Development of a Vehicle Relocation Algorithm for the Promotion of One-way Car Sharing Service, *Journal of Korean Society of Transportation*, 2014, Vol. 32, No. 2, pp. 239-247.
- [9] Kim, S.H., Lee, K.J., and Choi, K.J., Preferences Factors Analysis for Car-sharing, *Journal of The KSCE*, 2014, Vol. 34, No. 4, pp. 1241-1249.
- [10] Park, B.J., Oh, S.K., Kim, Y.S., and An, T.C., Comparative Study on Dimensionality and Characteristic of PSO, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 2006, Vol. 12, No. 4, pp. 328-338.
- [11] Park, J.S. and Moon, J.H., Demand Estimation and Impact Analysis of Car-Sharing Service, *Journal of Transport Research*, 2013, Vol. 20, No. 2, pp. 59-75.
- [12] Park, J.S. and Moon, J.H., Estimation of the Demand for Car-Sharing Service, *The Korea Transport Institute Spot Research Report*, 2012, Vol. 24, pp. 1-149.

- [13] Talukder, S., Mathematical Modelling and Applications of Particle Swarm Optimization, *Master's Thesis Mathematical Modelling and Simulation Thesis*, 2011.
- [14] Yim, D.-S., Particle Swarm Optimizations to Solve Multi-Valued Discrete Problems, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2013, Vol. 36, No. 3, pp 63-70.
- [15] Zarkoob, H., Optimizaing One-Way Car Sharing Systems, [master's thesis]. [Burnaby, Canada] : SIMON FRASER University, 2015.

ORCIDKun-Young Lee | <http://orcid.org/0000-0003-0144-2997>Hyung-Seok Lee | <http://orcid.org/0000-0003-2307-0290>Wyo-Han Hong | <http://orcid.org/0000-0002-4702-1533>Sung-Seok Ko | <http://orcid.org/0000-0001-8659-007X>