

Simulation of One-way Carsharing Systems : Operating Parameters and Relocation Policy Analysis

SeJoon Park* · Wooyeon Yu** · Yunsun Park**†

*Division of Energy Resources Engineering and Industrial Engineering, Kangwon National University

**Department of Industrial and Management Engineering, Myongji University

시뮬레이션을 활용한 편도 카셰어링 시스템의 최적 운영 조건 및 차량 재배치 알고리즘에 대한 연구

박세준* · 유우연** · 박윤선**†

*강원대학교 에너지자원 · 산업공학부

**명지대학교 산업경영공학과

The concept of carsharing involves sharing a small number of reserved cars to be used individually by a larger number of people as required. This study examines the operating parameters of one-way carsharing systems in order to determine the appropriate operating conditions that minimizes the lost sales rate. Five operating parameters are tested in this study: the number of stations, the average number of vehicles per station, the rate of one-way trip, the average number of staffs per station, and the relocation policy. The performance of round-trip carsharing systems is also compared to that of one-way carsharing systems. A simulation model is developed and simulations are performed to determine the appropriate combination of operating parameter and levels. The simulation results show that the average number of vehicles per station is the most critical parameter. Other key findings obtained from this research are as follows. First, applying the appropriate relocation policy to one-way carsharing systems can allow more customers to rent vehicles than the traditional round-trip carsharing systems. Second, the appropriate relocation policy should be selected based on the average number of vehicles per station in order to minimize the lost sales rate. Third, the number of stations does not affect the lost sales rate. This study findings will provide tools to understand impact of the carsharing system parameters on the efficiency of the carsharing operations.

Keywords : Carsharing, One-way, Relocation, Simulation

1. 서 론

최근 들어 많은 국가에서 카셰어링이 차량을 소유하는 것에 대한 대안으로 빠르게 성장하고 있다. 카셰어링은 차량을 개인적으로 사용하고 싶어하는 많은 사람들이 적은 수

의 차량을 공유하여 사용하고자 하는 의도로 출현하였다. 카셰어링은 차량의 소유와 관련한 비용이나 책임 없이 개인적으로 차량을 사용할 수 있다는 장점 때문에 차량을 자주 사용하지 않는 사람들에게 차량 소유를 대체할 수 있는 매력적인 수단으로 인식되어 있다. 카셰어링 시스템은 일반적으로 단거리의 짧은 시간의 이용을 위해서 차량을 대여한다는 점에서 전통적인 렌터카 시스템과 차이를 보인다. 카셰어링의 장점으로는 개인적으로 차량을 소유하는 것

Received 5 August 2019; Finally Revised 3 September 2019;

Accepted 17 September 2019

† Corresponding Author : sunpark@mju.ac.kr

관련된 비용을 줄이고 차량 정체를 감소시키며 도시의 공기를 좋게 하고 주차공간을 줄일 수 있다는 것을 들 수 있다.

카셰어링 시스템은 차량의 반납 형태에 따라서 왕복 카셰어링 시스템과 편도 카셰어링 시스템으로 구분할 수 있다. 전통적인 카셰어링 시스템은 대여한 동일한 장소에 반납을 하는 왕복 카셰어링 시스템으로 운영되었다. 이러한 왕복 카셰어링 시스템은 운영자에게는 비용 효율적이거나 사용자에게는 항상 같은 장소에 반납해야만 하는 불편함이 있었다. 왕복 카셰어링 시스템의 단점을 극복하여 사용자에게 편의를 제공하고자 편도 카셰어링 시스템이 도입되었다. 편도 카셰어링 시스템은 사용자가 대여한 장소와 반납하는 장소를 다르게 설정할 수 있다는 점에서 편의성을 제공했으나, 대여소 간의 수요의 불균형으로 인해서 대여소 간 차량의 수가 불균형하게 되는 원인을 제공하게 되었다. 예를 들어서, 대여 수요가 많은 대여소에서는 차량이 부족한 현상이 발생할 수 있으며, 반대로 차량의 반납이 많은 대여소에서는 너무 많은 차량으로 주차 공간이 부족한 현상이 발생할 수 있다. 그러므로, 편도 카셰어링 시스템에서는 적절하게 차량을 재배치하는 것이 필요하게 된다. 차량 재배치는 고객의 수요를 만족시키기 위해서 각 대여소 간 충분한 차량이 이용 가능하게끔 보장하는 역할을 한다. 이와 같은 차량 재배치 전략은 세 가지 카테고리로 분류할 수 있다. 첫 번째는 사용자 기반 차량 재배치 전략으로 차량 재배치를 위한 가격 보상 등의 인센티브 제도를 통해 사용자 스스로가 차량을 재배치하도록 유도하는 방법이다[4, 6]. 두 번째 전략은 카셰어링 회사에서 차량 재배치를 위한 직원을 고용하여 이들 직원들이 재배치를 하는 방법이다[2, 11, 12, 13]. 마지막 전략은 자율 주행 기술의 발달에 기인하여 최근 문헌에 나타난 전략으로 자율 주행 차량이 스스로 재배치를 하는 전략이다[3].

카셰어링에 대한 선행 연구는 크게 차량 대여소의 수, 위치, 크기나 각 대여소에 배치되는 차량 또는 직원의 수 등과 같이 장기적인 의사결정과 관련 있는 전략적 의사결정과 관련한 연구[1, 5, 10, 15]와 카셰어링의 일상적인 운영 관리를 위한 운영적 의사결정과 관련한 연구로 구분할 수 있다. 운영적 의사결정과 관련한 연구의 대부분은 위에서 언급된 편도 카셰어링 시스템의 차량 재배치 관리에 초점을 맞추어 수행되었다. 국내의 카셰어링에 대한 연구로는 PSO 방법론을 통한 편도 카셰어링 시스템의 실시간 차량 재배치에 관한 연구[14]와 P2P 카셰어링 도입 및 활성화 방안에 대한 연구[8] 등이 있다. 카셰어링의 선행 연구에 대한 자세한 내용은 선행 연구에 대해서 정리한 논문[7, 9]을 통해서 확인할 수 있다.

카셰어링 시스템에서 높은 서비스 수준을 제공함과 동시에 운영의 효율성을 향상시키기 위해서는 카셰어링 시스템의 운영 요인들에 대한 적절한 수준이 설정되어야 한다. 본 연구의 목적은 편도 카셰어링 시스템의 판매손실률을

최소화하기 위한 운영 요인들의 최적 수준을 결정하는 것이다. 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 다양한 운영 요인들의 영향을 파악하기 위해서 시뮬레이션 모델이 개발되었다. 각 요인은 일정한 범위의 수준 내에서 값들이 변경되었다. 모든 요인의 수준들을 조합한 시뮬레이션 수행을 통해서 각 요인에 대한 최적의 수준이 도출되었다. 본 연구의 결과는 각 요인들이 카셰어링 운영의 효율성에 미치는 영향에 대한 이해를 도울 수 있을 것으로 기대된다.

2. 카셰어링 시스템

2.1 모델 설명

본 연구에서는 편도 카셰어링 시스템이 고려된다. 카셰어링 대여소는 지리적으로 분포되어 있으며, 모든 대여소는 동일한 수의 차량을 보유하고 있다고 가정한다. 고객은 예약 없이 대여소에 도착하여 대여를 하며, 만약 고객 도착 시 이용 가능한 차량이 없으면 대기하지 않고 대여를 하지 않는다고 가정한다. 그러므로, 고객이 도착했을 때 이용 가능한 차량이 없는 경우는 판매 손실이 발생한 것으로 고려된다. 고객이 차량을 대여하는 경우에 고객은 차량 대여 시간과 반납 대여소를 지정한다. 본 연구에서 고려하는 성과 지표는 판매손실률로 아래의 식(1)에 나타난 바와 같이 차량을 대여하지 못한 고객 수를 총 도착 고객 수로 나눈 것으로 계산된다.

$$\text{판매손실률} = \frac{\text{차량을 대여하지 못한 고객 수}}{\text{총 도착 고객 수}} \quad (1)$$

본 연구에서 판매손실률을 성과 지표로 설정한 이유는 판매손실률이 고객과 서비스 제공자 모두에게 영향을 미치는 가장 중요한 척도 중 하나이기 때문이다. 고객의 수요가 주어졌을 경우에, 판매손실률이 낮다면 더 많은 고객이 차량을 이용할 수 있다는 것을 의미하므로 고객 만족도가 높아질 것이라 예상할 수 있다. 따라서, 낮은 판매 손실률을 유지하는 것은 고객과 서비스 제공자 모두에게 중요한 점이다.

위의 운영 조건에 추가하여, 본 연구는 아래의 가정을 기반으로 수행되었다.

1. 카셰어링 시스템은 1년 365일 24시간 운영되며, 차량 재배치 직원도 24시간 근무한다.
2. 일일 카셰어링 수요는 동일하다고 가정한다.
3. 차량의 유지보수와 청소 작업은 고려하지 않는다.
4. 고객은 항상 대여 시간 종료 전에 그들이 지정한 반납 장소에 반납한다.
5. 직원이 차량을 재배치 할 때, 교통 정체나 사고에 따른 재배치 시간의 지연은 없다.

2.2 차량 재배치 전략

편도 카셰어링 시스템이 사용될 경우에는 차량을 재배치 할 필요가 있는데, 본 연구에서는 직원을 활용한 재배치 전략을 고려한다. 카셰어링 회사의 직원은 차량의 재배치가 요구될 때 차량을 재배치한다. 차량 재배치 직원은 다음의 세 종류의 활동들 중 한 가지 활동을 하는 것으로 표현될 수 있다. 이들 세 가지 활동들은 ‘대기’ (다음 활동을 위해서 대여소에서 대기를 하고 있음), ‘이동’ (두 개의 대여소 사이를 운전하지 않고 이동함), 그리고 ‘재배치’ (차량 재배치를 위해서 차량을 운전하여 이동함)이다.

본 연구에서는 대여소의 차량 수에 대해서 재배치 한계선을 적용한 재배치 전략을 활용하였다. 재배치는 다음과 같은 두 상황 하에서 발생할 수 있다. 첫 번째 상황은 대여소의 차량의 수가 상한 한계선 이상인 경우에 재배치 직원이 차량을 다른 대여소로 재배치하는 경우이며 이와 같은 재배치를 ‘차량 감소를 위한 재배치’라 표현하였다. 이 때, 만일 차량 감소를 위해서 재배치를 필요로 하는 대여소에 직원이 있지 않은 경우에는 그 대여소에서 가장 가까운 대여소에서 대기하고 있는 직원에게 재배치를 하도록 요청한다. 두 번째 재배치 상황은 대여소의 차량의 수가 하한 한계선 이하인 경우에 발생하며, 이때는 직원에게 다른 대여소로부터 차량을 가져오도록 요청한다. 이와 같은 경우를 ‘차량 추가를 위한 재배치’라 표현하였다. 차량 추가를 위해서 다른 대여소로부터 차량을 가져올 경우에 차량을 보내는 대여소의 차량의 수가 차량을 보낸 이후에도 여전히 하한 한계선 이상인 경우에만 차량을 보내는 것을 허용하는 것으로 설정하였다.

만약에 상한 한계선과 하한 한계선의 폭을 너무 넓게 설정하는 극단적인 재배치 한계선을 설정한다면 상대적으로 재배치 요청이 적게 발생함으로써 재배치 비용이 감소할 것이다. 하지만, 이와 같은 경우에는 대여소에 차량이 부족하거나 차량을 주차할 수 있는 공간이 부족한 상황이 발생할 확률이 높아짐으로써 고객 서비스의 수준이 낮아질 수 있다. 반면에, 너무 보수적인 한계선을 설정하여 상한 한계선과 하한 한계선의 폭을 줄인다면 차량이 부족하거나 주차할 공간이 부족한 경우는 줄어들어 고객 서비스 수준은 높아질 수 있지만, 반대로 너무 많은 재배치를 요청하게 됨으로써 재배치 비용이 증가하고 효율성이 감소하는 결과로 이어질 수 있다. 그러므로, 적절한 수준의 한계선을 설정하는 것은 카셰어링 시스템의 효율적인 운영을 위해서 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서 제안한 차량 재배치 전략은 <Table 1>에 나타난 바와 같다.

<Table 1> Pseudo Codes for Relocation Procedure

Relocation Type	Pseudo Code
Vehicle Removal	<p>Assume that the number of vehicles at station r is more than the upper threshold, and therefore a relocation for vehicle removal is required.</p> <p>Let A = set of stations where the number of vehicles at the station $<$ (the upper threshold-1).</p> <p>Let B = set of stations where the number of staffs at the station > 0.</p> <p>Step 1. If $A = \phi$ or $B = \phi$, then there is no relocation. Otherwise, let the closest station in A to station r be station a.</p> <p>Step 2. If station $r \in B$, then relocate a vehicle from station r to station a.</p> <p>Step 3. Otherwise, let the closest station in B to station r be station b. A staff in station b first travels from station b to station r without a vehicle, then relocate a vehicle from station r to station a.</p>
Vehicle Addition	<p>Assume that the number of vehicles at station r is less than the lower threshold, and therefore a relocation for vehicle addition is required.</p> <p>Let A = set of stations where the number of vehicles at the station $>$ (the lower threshold + 1).</p> <p>Let B = set of stations where the number of staffs at the station > 0.</p> <p>Step 1. If $A = \phi$ or $B = \phi$, then there is no relocation. Otherwise, let the closest station in A to station r be station a.</p> <p>Step 2. If station $a \in B$, then relocate a vehicle from station a to station r.</p> <p>Step 3. Otherwise, let the closest station in B to station a be station b. A staff in station b first travel from station b to station a without a vehicle, then relocate a vehicle from station a to station r.</p>

3. 시뮬레이션 모델 개발

본 연구에서는 카셰어링 시스템에 대한 모의실험을 수행하기 위해서 비주얼 베이직 프로그램을 활용한 이산 사건 시뮬레이션 모델이 개발되었다. 시뮬레이션 모델에서 각 대여소에 도착하는 고객의 도착률과 차량의 대여 기간은 확률적 분포를 가진다고 가정하였다. 고객의 도착 간격 시간은 지수적으로 분포한다고 가정하였다. 각 대여소의 고객 도착률은 시간 당 $U(2/3, 4/3)$ 고객의 균일 분포를 따른다고 가정하였다. 따라서, 평균 고객의 도착률은 시간 당 1명이다.

한편, 고객의 차량 대여 시간은 최소 2시간의 대여 시간과 최대 6시간의 대여 시간을 가지는 $N(4, (2/1.96)^2)$ 시간의 절미 정규 분포를 따른다고 가정하였다. 여기서, 2/1.96의 대여 시간 표준편차는 차량 대여 시간 데이터의 95%가 2시간과 6시간 사이에 발생하도록 설정된 것이다.

본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모델은 <Table 2>에 나타난 바와 같이 카셰어링 운영에 영향을 미치는 다섯 가지의 주요 요인들과 각 요인들의 몇 가지 수준들에 대해 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 설계되었다. 다섯 가지 요인들에 대해 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 고려하는 요인은 카셰어링 시스템의 차량 대여소의 수이다. 본 시뮬레이션에서 고려하는 최대 대여소의 수는 25개로 이는 서울시의 각 구 별로 하나의 편도 차량 대여소를 운영한다는 가정하에서 설정되었다. 대여소는 각 구의 중앙에 위치한 것으로 가정하였다. 차량 대여소의 수가 운영 효율성에 미치는 영향을 고려하기 위해서 대여소의 수는 5개, 10개, 15개, 20개, 25개의 다섯 수준을 고려하였다. 각 대여소의 수준은 5개의 대여소를 선택한 후 5개씩 기존 대여소에서 늘려가는 방식으로 설정되었으며 지리적인 분포를 고려하여 서울시 전체에 서비스를 제공하면서 대여소 간 적절한 거리를 갖춘 대여소를 선정하여 시뮬레이션을 실행하였다.

두 번째 고려한 요인은 대여소 당 평균 차량 수로 5대, 6대, 7대, 8대의 네 수준으로 설정하였다. 본 연구에서는 각 대여소의 이용 가능한 주차 공간을 10대로 설정하여 실험하였으며, 이에 적절한 값을 갖는 네 개의 차량 대수를 대상으로 실험을 하였다. 세 번째 고려한 요인은 편도 대여 비율로 0.0, 0.25, 0.5, 1.0의 네 수준을 대상으로 시뮬레이션을 수행하도록 설계하였다. 시뮬레이션에서는 고객이 도착하였을 때, 고객이 차량을 편도로 대여할 것인지 또는 왕복으로 대여할 것인지를 편도 대여 비율의 확률에 따라서 무작위적으로 결정되도록 설계되었다. 만약에 고객이 편도로 차량을 대여하는 경우에는 고객이 반납을 하고자 하는 대여소도 무작위적으로 설정되도록 설계되었다. 따라서, 만약에 편도 비율의 수준이 0.0으로 설정된 경우에는 모든 고객이 왕복 대여를 한다는 의미이다. 한편, 만약에 편도 비율이 0.25라는 의미는 도착하는 고객의 25%는 편도 대여를 하며 75%는 왕복 대여를 한다는 것을 의미한다.

네 번째 고려 요인은 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수로 0.0, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4의 총 6개 수준을 고려하였다. 차량 재배치는 직원에 의해서 이루어지기 때문에 만약에 대여소 당 평균 차량 재배치 직원이 0.0으로 설정되었다면, 이는 차량의 재배치가 이루어지지 않는 시스템을

의미한다. 만약에, 카셰어링 시스템의 차량 대여소의 수가 25라고 설정되고 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 1.2로 설정되었다면, 카셰어링 시스템에 총 30명(= 1.2×25)의 차량 재배치 직원이 있는 것이라 해석할 수 있다. 마지막 다섯 번째 요인은 재배치 전략이다. 이 요인은 시뮬레이션에서 0, 1, 2의 총 3개의 수준으로 설정할 수 있도록 설계되었다. 이들 수준은 이용 가능한 주차 공간과 상한 한계선의 차이 그리고 하한 한계선과 0 사이의 차이를 의미한다. 그러므로 만약에 재배치 전략의 수준이 0이라면, 상한 한계선은 10으로 설정되고 하한 한계선은 0으로 설정되었다는 것을 의미한다. 한편, 재배치 전략의 수준이 1인 경우에는 상한 한계선은 9이며 하한 한계선은 1인 것을 의미하고, 마지막으로 재배치 전략의 수준이 2인 경우에는 상한 한계선은 8이고 하한 한계선은 2인 것을 의미한다. 본 연구에서 설정한 각 대여소의 10대의 주차 공간을 기준으로 설정 가능한 재배치 전략의 수준은 0부터 4까지의 총 5개의 수준이다. 앞에서 설명한 바와 같이 너무 보수적인 한계선을 설정하게 되면 너무 많은 재배치를 요청하게 됨으로써 재배치 비용이 증가하고 효율성이 감소하는 결과로 이어질 수 있기 때문에, 본 연구에서는 0, 1, 2의 총 3개의 수준만을 고려하였다.

대여소 간에 차량을 재배치하기 위해 소요되는 시간은 서울 시내의 평균적인 교통 상황을 가정하여 설정되었다. 두 대여소 간의 최소, 평균, 그리고 최대 재배치 시간은 각각 11분, 41.55분, 105분으로 설정되었다. 본 시뮬레이션 모델의 객체는 차량을 대여하고자 하는 고객이다. 시뮬레이션의 상태는 각 대여소의 차량 수와 차량 재배치 직원 수이다. 시뮬레이션 모델은 고객 도착, 고객의 차량 반납, 그리고 차량 재배치 직원에 의한 차량 재배치의 세 개의 사건을 포함한다.

4. 시뮬레이션 모델 적용 및 결과 분석

본 연구의 시뮬레이션은 아래와 같이 수행되었다.

1. 재배치를 고려하지 않는 경우 : 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 0인 경우에는 재배치가 이루어지지 때문에 재배치 전략이 고려될 필요가 없다. 따라서, 모든 가능한 실험의 수는 차량 대여소의 수 요인의 5수준, 대여소 당 평균 차량 수 요인의 4수준, 그리고 편도 대여 비율 요인의 4수준의 조합인 80회가 된다.
2. 재배치를 고려하는 경우 : 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 0이 아닌 경우에는 시뮬레이션에서 재배치가 실행된다. 이 때, 가능한 총 실험의 수는 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 0인 경우를 제외한 모든 요인의 조합이므로 $1,200$ 회(= $5 \times 4 \times 4 \times 5 \times 3$)가 된다.

<Table 2> Input Parameters

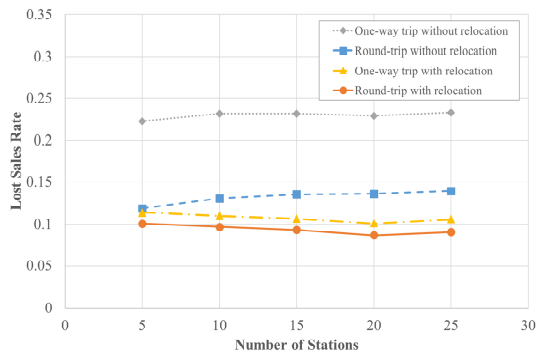
Input Parameters	Level
Number of stations	5, 10, 15, 20, 25
Average number of vehicles per station	5, 6, 7, 8
Rate of one-way trip	0, 0.25, 0.5, 1
Average number of staffs per station	0, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4
Relocation policy	0, 1, 2

본 연구에서는 1280 조합에 대한 시뮬레이션 실험을 5회 반복 실험하여 총 6400개의 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 시뮬레이션에서 초기 차량과 재배치 직원은 각 대여소에 균등하게 분배 후 시스템이 안정 상태에 이르기까지 충분한 시간을 실행한 후, 안정 상태 이후부터 365일간의 시뮬레이션 결과를 수집하여 분석하였다. 시스템이 안정 상태에 이르는 시간은 사전 시뮬레이션 실행을 통해 도출하였으며, 이는 60일로 설정하였다. 즉, 시뮬레이션 데이터는 시뮬레이션 시작 후 60일부터 수집하기 시작하여 이후 365일 동안 데이터를 수집하여 분석하였다. 수집한 데이터는 차량의 대여 횟수, 판매 손실 수, 차량의 재배치 횟수 등이 있다. 시뮬레이션

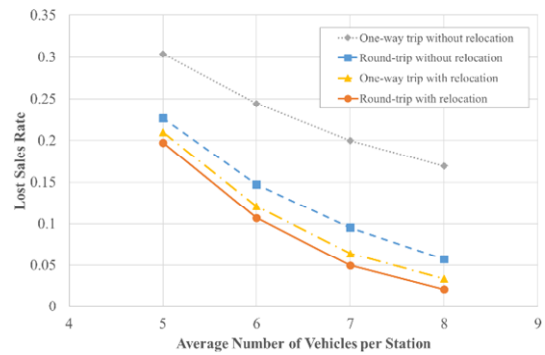
프로그램은 Intel® Core™ i7-5600U CPU @ 2.60GHz with 8GB RAM의 성능을 갖춘 컴퓨터를 이용하여 실행되었다.

4.1 다섯 요인에 대한 결과 분석

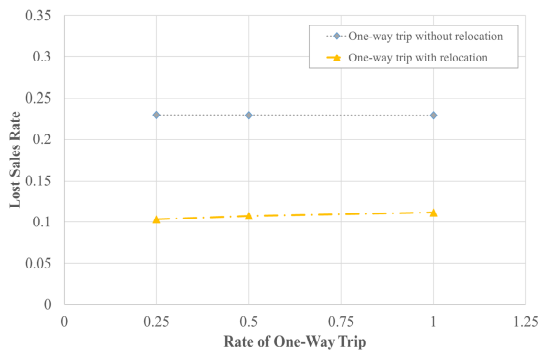
본 연구에서 고려한 다섯 개의 요인들이 판매손실에 미치는 영향을 파악하기 위해서, 다섯 요인들을 독립 변수로 하고 판매손실률을 종속변수로 하여 결과를 분석하였으며, 그 결과는 <Figure 1>에 나타난 바와 같다. 그림에서 모든 시뮬레이션 실험 결과는 다음과 같이 4개의 카테고리로 분류하였다.



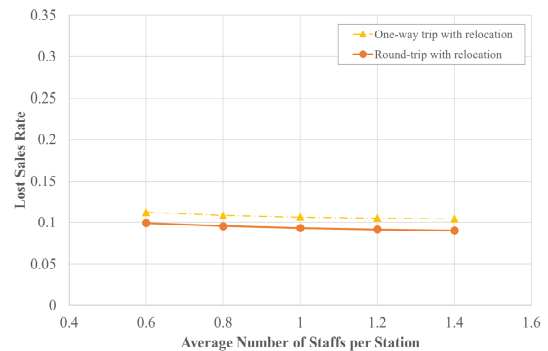
(A) Effect of the number of stations



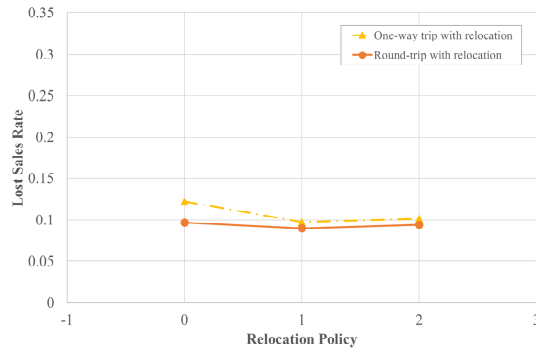
(B) Effect of the average number of vehicles per station



(C) Effect of the rate of one-way trip



(D) Effect of the average number of staffs per station



(E) Effect of the relocation policy

<Figure 1> The Effect of the Five Parameters on the Lost Sales Rate

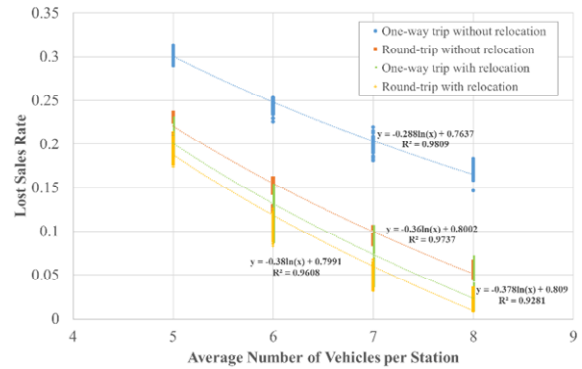
1. 재배치를 하지 않는 왕복 시스템 : 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수와 편도 대여 비율이 모두 0인 모든 시뮬레이션 실험 결과
2. 재배치를 하는 왕복 시스템 : 편도 대여 비율은 0이지만 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수는 0이 아닌 모든 시뮬레이션 실험 결과
3. 재배치를 하지 않는 편도 시스템 : 편도 대여 비율은 0이 아니지만 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수는 0인 모든 시뮬레이션 실험 결과
4. 재배치를 하는 편도 시스템 : 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수와 편도 대여 비율이 모두 0이 아닌 모든 시뮬레이션 실험 결과

<Figure 1>에서 각 요인이 판매손실률에 미치는 영향을 공정하게 비교하기 위해서 모든 요인들에 대해서 y축의 높이는 0.35로 고정하였다. <Figure 1(A)>는 차량 대여소의 수와 판매손실률 사이의 관계는 중요하지 않다는 것을 나타낸다. 즉, 차량 대여소의 변화에 따른 판매손실률의 뚜렷한 경향을 찾기가 어렵다. 반면에, <Figure 1(B)>는 대여소 당 평균 차량 수가 판매손실률에 중요한 영향을 준다는 것을 나타낸다. 대여소 당 평균 차량 수가 증가할수록 판매손실률이 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. <Figure 1(C)>에서는 편도 대여 비율이 판매손실률에 미치는 영향을 확인할 수 있는데 왕복대여 시스템은 제외했기 때문에 두 개의 카테고리만 포함되었다. <Figure 1(C)>에 따르면, 편도 대여 비율은 단지 ‘재배치를 하는 편도 시스템’에서만 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이 경우에 편도 대여 비율이 증가할수록 판매손실률이 약간 증가하는 것을 확인할 수 있다. 차량 재배치 직원은 재배치를 하는 경우에만 필요하기 때문에 <Figure 1(D)>에는 두 개의 카테고리만 포함되었다. <Figure 1(D)>로부터 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 증가할수록 판매손실률이 약간 감소하는 것을 확인할 수 있다. <Figure 1(E)> 역시 차량 재배치가 이루어지는 두 개의 카테고리만 포함하고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이, 차량 재배치 전략 또한 판매손실률에 약한 영향을 주는 것을 알 수 있다.

위에서 실시한 다섯 요인들의 판매손실률에 대한 분석 결과 대여소 당 평균 차량 수의 변동에 따른 판매손실률의 변화가 가장 크게 나타났으므로 다섯 요인들 중 판매손실률에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 대여소 당 평균 차량 수라고 결론을 지을 수 있다. 다음 절에서는 판매손실률에 가장 크게 영향을 미치는 대여소 당 평균 차량 수에 대한 세부적인 분석을 실시한다.

4.2 주요 요인에 대한 세부적인 분석

<Figure 2>는 대여소 당 평균 차량 수를 독립변수로



<Figure 2> Lost Sale Rates for All 6400 Simulation Runs

<Table 3> Lost Sale Rates based on the Average Number of Vehicles Per Station for Each Category

Category	Average Number of Vehicles per Station			
	5	6	7	8
One-way trip without relocation	30.02%	24.77%	20.33%	16.48%
Round trip without relocation	22.08%	15.52%	9.97%	5.16%
One-way trip with relocation	20.06%	13.17%	7.34%	2.30%
Round trip with relocation	18.75%	11.82%	5.97%	0.89%

하고 판매손실률은 종속변수로 하는 6400회의 모든 시뮬레이션 실험 결과와 각 카테고리에 대한 회귀선을 보여 준다. <Table 3>은 각 카테고리에 대하여 대여소 당 평균 차량 수가 5, 6, 7, 8일 경우에 회귀 모델을 적용한 판매손실률 예측치를 나타낸다.

<Figure 2>와 <Table 3>을 통해서 각 카테고리 별로 대여소 당 평균 차량 수가 판매손실률에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 현재, 가장 보편적이고 널리 활용되는 전통적인 카셰어링 시스템은 ‘재배치를 하지 않는 왕복 시스템’이다. 즉, 일반적으로 왕복 시스템의 대부분은 차량 재배치를 하지 않고 있다. 하지만, <Table 3>에 나타난 것과 같이 만약에 왕복 카셰어링 시스템이 재배치를 한다면 (‘재배치를 하는 왕복 시스템’) 재배치를 하지 않는 왕복 카셰어링 시스템에 비교해서 대여소 당 평균 차량 수에 따라서 판매손실률을 3.33% 포인트에서 4.27% 포인트까지 감소시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 예상한 바와 같이 <Figure 2>와 <Table 3>으로부터 편도 카셰어링 시스템의 판매손실률은 왕복 카셰어링 시스템의 판매손실률보다 높은 것을 확인할 수 있다.

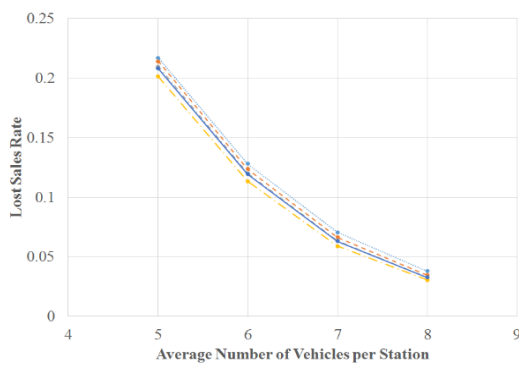
가장 높은 판매손실률은 ‘재배치를 하지 않는 편도 카셰어링 시스템’에서 나타났다. 만약에 편도 카셰어링 시스템에서 재배치를 실시한다면, 판매손실률은 대여소 당 평균 차량 수에 따라서 9.95% 포인트에서 14.18% 포인트까지

급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 특히, ‘재배치하는 편도 시스템’의 판매손실률이 ‘재배치를 하지 않는 왕복 시스템’의 판매손실률보다 낮다는 것은 주목할 필요가 있다. 이 결과는 만약에 적절한 재배치 정책이 적용된다면, 편도 카셰어링 시스템이 전통적인 왕복 카셰어링 시스템에 비교해서 고객의 수요를 더 잘 충족할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 실험 결과는 예상한 바와 같이 ‘재배치를 하지 않는’ 카셰어링 시스템이 ‘재배치를 하는’ 카셰어링 시스템보다 높은 판매손실률을 보였다. 마지막으로, 대여소 당 평균 차량의 수가 증가할수록 모든 항목에서 판매손실률이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

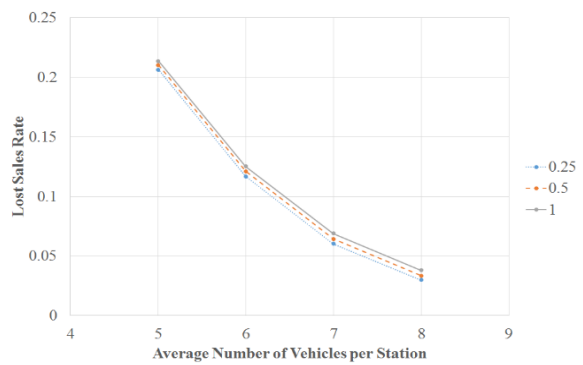
본 연구의 주요 관심 대상인 ‘재배치를 하는 편도 시스템’에 대한 세부적인 분석 결과는 <Figure 3>에 나타난 바와 같다. <Figure 3>은 대여소 당 평균 차량 수 요인을 기준으로 다른 요인의 다양한 수준에 따른 판매손실률의 변화를 보여준다. <Figure 3(A)>는 차량 대여소의 수의 다섯 수준의 각각에 대한 판매손실률의 변화를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 차량 대여소의 수는 판매손실률에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 예를 들어서, 가장 낮은 판매손실률은 차량 대여소의 수가 20일 때이며 25, 15, 10, 5 순으로 높아진다. 반면에, <Figure 3(B)>는 편도 대여 비율이 증가함에 따라 판매손실률도

약간 증가하는 것을 보여준다. 유사하게 <Figure 3(C)>도 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수와 판매손실률 간에 일정한 경향이 있음을 나타낸다. 하지만, 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 판매손실률에 미치는 영향은 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수가 증가함에 따라서 판매손실률은 약간 감소한다.

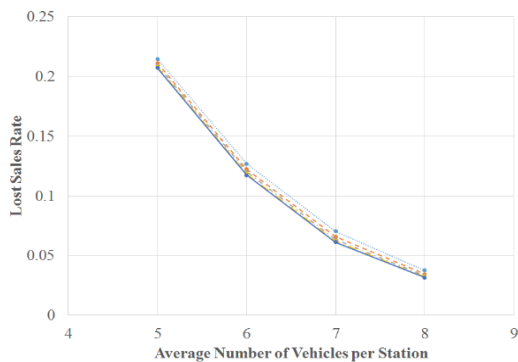
마지막 남은 요인은 차량 재배치 전략이다. <Figure 3D>에서 나타난 바와 같이 차량 재배치 전략은 대여소 당 평균 차량 수를 제외한 나머지 네 가지 요인들 중에서 판매손실률에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 대여소 당 평균 차량 수가 5 또는 6일 때에는 고려한 세 가지의 차량 재배치 전략들 중에서 ‘차량 재배치 전략 1’이 가장 낮은 판매손실률을 나타내었다. 하지만, 대여소 당 평균 차량 수가 7 또는 8일 때에는 ‘차량 재배치 전략 2’가 가장 좋은 결과를 가져왔다. 그러므로, 판매손실률을 최소화하기 위해서는 대여소 당 평균 차량 수에 기초하여 적절한 차량 재배치 전략을 선택하는 것이 매우 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 특히, 대여소 당 평균 차량 수가 7 또는 8인 경우에는 차량 재배치 전략들 사이에 4% 포인트까지 판매손실률 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.



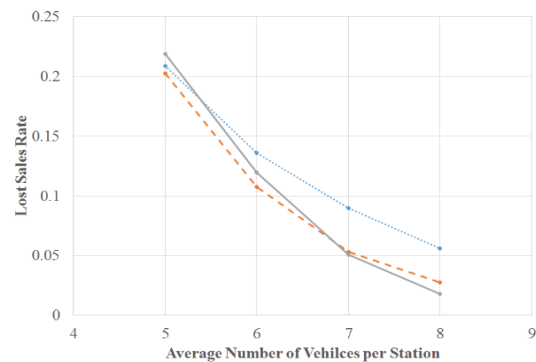
(A) Number of stations



(B) Rate of one-way trip



(C) Average number of staffs per station



(D) Relocation policy

<Figure 3> Effects of Four Parameters on the Lost Sale Rates based on the Average Number of Vehicles Per Station

5. 결 론

본 연구는 편도 카셰어링 시스템의 판매손실률을 최소화하기 위한 최적의 운영 조건의 조합을 결정하기 위해서 다섯 가지의 운영 요인들이 시스템의 성과에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서 검토한 운영 요인은 차량 대여소의 수, 대여소 당 평균 차량 수, 편도 대여 비용, 대여소 당 평균 차량 재배치 직원 수, 그리고 차량 재배치 전략이다. 또한, 본 연구에서는 왕복 카셰어링 시스템의 성과와 편도 카셰어링 시스템의 성과가 비교 분석 되었다. 다섯 가지 운영 요인들에 대한 최적의 수준을 결정하기 위해서 시뮬레이션 모델이 개발되고 실험에 활용되었다. 추가적으로, 네 종류의 카셰어링 시스템 카테고리에 대한 회귀선을 유도하여 각 카테고리 간의 특징을 비교 분석하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 카셰어링의 성과에 미치는 주요 요인들 중 대여소 당 평균 차량 수가 가장 핵심적인 요인으로 밝혀졌다. 예를 들어서, ‘재배치를 하는 편도 모델’의 환경하에서는 대여소 당 평균 차량 수가 5대인 경우에 판매 손실률이 21.0%에서 8대인 경우 3.4%로 17.6% 포인트 낮아졌다. 본 연구를 통해 확인한 다른 주요 연구 결과들은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 만약에 편도 카셰어링 시스템에 적절한 재배치 전략이 적용된다면 전통적인 왕복 카셰어링 시스템에 비교하여 판매 손실률이 줄어들어, 그 결과 더 많은 고객의 수요를 충족시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 ‘재배치를 하는 편도 모델’의 실험 결과가 ‘재배치를 하지 않는 왕복 모델’보다 2.4% 포인트 더 낮은 판매 손실률을 나타냈다는 것을 통해서 확인할 수 있다.

둘째, 판매 손실률을 최소화하기 위해서는 대여소 당 평균 차량 수에 기초하여 적절한 재배치 전략을 선택하여야 한다. 예를 들어서, 대여소 당 평균 차량 수가 5 또는 6일 경우에는 ‘차량 재배치 전략 1’을 적용했을 때 가장 낮은 판매 손실률을 나타냈지만 대여소 당 평균 차량 수가 7 또는 8인 경우에는 ‘재배치 전략 2’를 적용했을 때 가장 낮은 판매 손실률을 나타냈다. 이를 통해서 모든 상황에 대해서 최적인 단 하나의 재배치 전략은 없으며, 상황에 따라서 적절한 재배치 전략을 적용해야 한다는 것을 알 수 있다. 셋째, 본 연구를 통해서 대여소의 수는 판매 손실률에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 그러므로, 본 연구의 결과가 실제 더 많은 수의 대여소를 보유하여 더욱 더 복잡한 현실 세계의 카셰어링 시스템에 적용 가능하다고 할 수 있다.

마지막으로 본 연구의 한계점은 편도 카셰어링 시스템의 재배치와 관련된 비용을 고려하지 않았다는 점에 있다. 비록 대여소 당 평균 차량의 수 또는 대여소 당 평균 차량

재배치 직원 수가 증가함에 따라서 판매 손실률은 감소하지만 이는 또한 비용을 발생시키는 요인들이다. 또한, 차량을 재배치하는 데 있어서도 차량 연료 등의 비용 추가가 수반된다. 따라서, 본 연구 결과를 현실 세계의 카셰어링 시스템에 적용하기에 앞서서 차량 재배치를 포함함 편도 카셰어링 시스템 운영에 따르는 추가 비용과 편도 차량 대여 비용을 고려한 경제성 분석이 필요하다.

References

- [1] Boyaci, B., Zografos, K.G., and Geroliminis, N., An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems, *European Journal of Operational Research*, 2015, Vol. 240, Issue 3, pp. 718-733.
- [2] Bruglieri, M., Colomi, A., and Lue, A., The vehicle relocation problem for the one-way electric vehicle sharing : an application to the Milan case, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, Vol. 111, pp. 18-27.
- [3] Cepolina, E.M. and Farina, A., A methodology for planning a new urban car sharing system with fully automated personal vehicles, *European Transport Research Review*, 2014, Vol. 6, No. 2, pp. 191-204.
- [4] Clemente, M., Fanti, M.P., Mangini, A.M., and Ukovich, W., The vehicle relocation problem in car sharing system : modeling and simulation in a petri net framework, *International Conference on Applications and Theory of Petri Nets and Concurrency*, Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 250-269.
- [5] Correia, G.H.A. and Antunes, A.P., 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.
- [6] Febbraro, A., Sacco, N., and Saeednia, M., One-way carsharing : Solving the relocation problem, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2012, No. 2319, pp. 113-120.
- [7] Ferrero, F., Perboli, G., Rosano, M., and Vesco, A., Car-sharing services : An annotated review, *Sustainable Cities and Society*, 2018, Vol. 37, pp. 501-518.
- [8] Jang, J.-S. and Rho, J.-H., A study on introduction and activation plan of P2P car sharing-For the apartment complex in seoul-, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2017, Vol. 18, No. 2, pp. 47-66.

- [9] Jorge, D. and Correia, G., Carsharing systems demand estimation and defined operations : a literature review, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2013, Vol. 13, No. 3, pp. 201-220.
- [10] Jorge, D., Correia, G.H.A., and Barnhart, C., Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems, *IEEE Transactions in Intelligent Transportation Systems*, 2014, Vol. 15, No. 4, pp. 1667-1675.
- [11] Kek, A.G.H., Cheu, R.L., and Chor, M.L., Relocation simulation model for multiple-station shared-use vehicle systems, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2006, No. 1986, pp. 81-88.
- [12] Kek, A.G.H., Cheu, R.L., Meng, Q., and Fung, C.H., A decision support system for vehicle relocation operations in carsharing systems, *Transportation Research Part E*, 2009, Vol. 45, No. 1, pp. 149-158.
- [13] Lee, J. and Park, G., Design of a relocation staff assignment scheme for clustered electric vehicle sharing systems, *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Springer International Publishing, 2014, pp. 639-651.
- [14] Lee, K.-Y., Lee, H.-S., Hong, W.-H., and Ko, S.-S., The optimization of one-way car-sharing service by dynamic relocation : Based on PSO algorithm, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 2, pp. 28-36.
- [15] Rhee, J., Alfian, G., and Yoon, B., Application of simulation method and regression analysis to optimize car operations in carsharing service : a case study in South Korea, *Journal of Public Transportation*, 2014, Vol. 17, No. 1, pp. 121-160.

ORCIDSeJoon Park | <http://orcid.org/0000-0002-4556-2627>Wooyeon Yu | <http://orcid.org/0000-0003-1522-6486>Yunsun Park | <http://orcid.org/0000-0002-1405-4128>