

운영비용을 고려한 자전거 셰어링의 최적 재고수준

김진식* 이철웅*

Optimal Inventory Level of Bicycle Sharing Service Considering Operation Costs

Jin-Sik Kim*, Chul-Ung Lee*

요 약

본 논문에서는 자전거 셰어링 사업을 중심으로 창원시 누리자 자전거 셰어링 서비스의 최적 재고 수준을 유지하며 시스템 운영비용을 최소화하는 방법을 제안한다. 셰어링 서비스란 일반적으로 시간단위로 차량을 렌트하는 개념으로 렌터카보다 편리한 서비스로 이용자의 수가 많아지고 있는 추세이다. Vehicle sharing service는 다음 세대 차량과 함께 sustainable transportation 의 수단으로써 급부상하고 있다. 지구 온난화의 심화와 함께 이산화탄소 배출량의 감소에 관심이 집중되면서 기존의 차량의 내연 기관을 하이브리드 혹은 전기차로 변화하고 있으며, 기존의 대중교통 시스템을 다각화로 발전하고 있다. 그 중 실현 가능성이 높은 분야인 자전거 셰어링 분야이며, 이미 지방 자치 단체 중심으로 자전거 셰어링 사업이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 자전거 셰어링 서비스의 각 터미널간 최적 자전거 보유수준(S-s)을 제안하는 시뮬레이션을 설계하여 운영비용을 최소화시키는 자전거 터미널의 재고수준을 제안하였다.

▶ Keywords : 누리자, 자전거 셰어링 서비스, 재고수준, 운영비용

Abstract

In this paper, it shows optimal inventory level of bicycle sharing service terminal by maintaining the lowest costs. As the interest to environment and exhaustion of resource increases globally, investment to sustainable transportation increases around advanced countries and interest to efficient transportation, managing and consuming of vehicle increases also. Vehicle sharing service is a model of rental car where customer rent cars for short periods of time often by the hour and its users are increasing for the reason that it is more convenient than car rent. In addition, bicycle sharing service is one of the major parts in vehicle sharing program and many of country are already managing it. This paper proposes optimal

•제1저자 : 김진식 •교신저자 : 이철웅

•투고일 : 2014. 11. 12, 심사일 : 2014. 11. 25, 게재확정일 : 2014. 12. 3.

* 고려대학교 산업경영공학과 (Department of Industrial Management Engineering, Korea University)

inventory levels of vehicle sharing service's terminal by using simulation calculating operation costs of vehicle sharing service.

▶ Keywords : Nubija, bicycle sharing service, inventory level, operation costs

I. 서 론

1. Vehicle Sharing Service의 정의

전 세계적으로 급속한 산업화와 탄소배출에 따른 환경오염을 배경으로 많은 국가와 기업들은 탄소배출을 줄이기 위한 기술 및 정책에 집중하고 있다. 이러한 변화에 따라 각국은 국가별·산업별 대응전략 및 정책 수립의 필요성이 대두되고 있으며, EU, 미국, 일본 등 온실가스 감축 의무국 중심으로 온실가스 감축에 따른 목표와 시행 안을 발표하고 있다. 이러한 변화로 탄소배출 절감을 위한 교통 분야에서 친환경 정책에 관심이 늘어나고 있으며, 교통수단을 시간단위로 공유하며 이용하는 개념인 'Vehicle sharing service' 서비스가 주목 받고 있다.

해외에서는 이미 수십 년 전부터 이용되기 시작한 서비스로 많이 활성화 되어 있으나, 국내에서는 아직 차량 소유에 대한 문화의 차이와 서비스에 대한 홍보 부족, 서비스 지역의 한계 등으로 외국에 비해 활성화 되어있지 못한 실정이다.

현재, 서울시를 중심으로 민간사업분야에서 서비스가 시행되고 있으며, LH공사 등에서도 임대주택 거주자만을 대상으로 한 비개방형 서비스를 시행, 확대 예정에 있다. 서비스의 활성화를 위해 수많은 행정적, 재정적인 정책 추진과 관련 연구가 필요하다. 비교적 카셰어링 사업이 활성화된 해외의 경우에도, 지역별 운영사 및 이용자 만족도와 관련된 연구 활동은 많으나, 서비스 입지 선정과 이용수요 예측 등에 관한 자료와 데이터는 거의 없는 실정이다.

카셰어링의 대표적인 예는 자전거 쉐어링 서비스이다. 이미 창원시와 여수시에서는 각각 '누비자'와 '여수랑'이라는 이름으로 자전거 쉐어링 서비스를 운영 중이다. 누비자는 고객들이 손쉽게 자전거를 이용할 수 있도록 유비쿼터스 기술이 적용된 무인대여 공영자전거 서비스이다. 누비자 사업은 2007년부터 창원시가 친환경 녹색 교통수단으로 자전거 이

누비자는 언제나, 어디서나 손쉽게 이용할 수 있도록 유비쿼터스 기술이 적용된 무인대여 공영자전거로서 '창원시 곳곳을 자유로이 다니다' 라는 의미로 누비자와 자전거의 합성어입니다.



자전거 도시를 선언한 경남 창원시는 녹색교통 수단인 자전거 타기의 저변 확산을 위해 시민들이 공영자전거를 빌려 자유롭게 탈 수 있는 '시민공영 자전거제' 를 도입, 운영하고 있습니다.

그림 1. 창원시 누비자 자전거 쉐어링 서비스
Fig. 1. Nubija bicycle sharing service

용 활성화를 촉진시키기 위한 Vehicle sharing system 의 일환으로서, 현재 창원시 일대에 총 236개의 무인 터미널과 2626대의 자전거가 배치되어 운영 중이다.

본 연구에서는 기존 Vehicle sharing service의 터미널 간 최적 자전거 보유 수준을 고려하며 시스템 운영비용을 최소화 시키는 모델을 제안하였다. 터미널간 Vehicle의 보유 수준을 반영하였으며, 반납과 대여 상황에 따른 소비자의 불만족을 반영한 손실비용을 고려하여 최적의 자전거 보유 수준을 제안하였다.

본 논문에서는 실제 Vehicle sharing service의 문제점을 정의하고 각 터미널의 자전거 재고변화에 따른 시뮬레이션을 설계하였다. 고객의 대여 및 반납에 따른 재고변화를 반영하여 각 터미널의 자전거 보유수준을 결정하였으며, 재고수준에 따른 운영비용을 계산하였다. 더 나아가 현재 운영 중인 창원시 누비자 자전거 쉐어링의 실제 환경을 바탕으로 Case Study를 수행하였다.

II. 관련연구

Vehicle sharing분야는 지속 가능한 친환경 교통의 대표

적인 분야로서 2000년대 중후반부터 연구가 활발히 진행되고 있다. 전 세계적으로 셰어링 서비스에 주로 이용되고 있는 자전거와 자동차를 중심으로 연구가 진행 중이며 편도 및 왕복 서비스에 따른 vehicle의 보유 수준 문제에 대한 연구가 진행되고 있다.

하승우는 각 나라별 무인자전거 셰어링 서비스에 관하여 조사하였고, 창원시의 누비자 자전거 셰어링에 관한 전반적인 추진 과정과 운영체계를 정리하였다. 또한, 누비자 이용 시민 2,036명을 대상으로 누비자 서비스의 전반적인 만족도를 조사하여 보다 고객이 셰어링 서비스로부터 원하는 니즈를 조사하였다. [1] Nair 외는 Mixed-integer program을 이용하여 vehicle의 재배치를 최소화 하는 방안을 연구하였다. [2] 싱가포르의 자전거 셰어링 시스템에 관하여 실증연구를 하며 최저 재배치 비용을 고려하며 효율적인 재배치 루트를 제안하였지만 단일 터미널만 고려하였으며 자전거 보유수준에 따른 손실비용을 고려하지 않았다. Shaheen 외는 전 세계적인 Vehicle sharing service의 비즈니스 모델을 분석하였고, 이용율을 높이기 위한 방안을 델파이 기법을 통해 설문조사하였다. [3] 또한 지역별, 국가별 교통시스템의 특징을 정리하여 각 지형별에 맞는 셰어링 비즈니스 모델을 연구하였다. Lee 외는 텔레매틱스 시스템으로부터 얻은 교통정보로 전기 자동차 스테이션 위치 선정에 관한 연구를 하였다. [4] 셰어링 서비스의 중요한 축을 담당하고 있는 터미널의 위치를 조정함으로써 보다 고객의 셰어링 서비스 이용률을 높이고 운영비를 감소시키는 방안을 연구하였다. 하지만, 이미 구축된 전기자동차 충전 스테이션을 변경하기에는 상당한 비용이 소모되는 것을 고려하지 않았다. Alli 외는 이탈리아 밀라노시의 셰어링 시스템 구축 과정을 정리하였고, 자동차 보유 공간을 할당하는 방안을 연구하였다. [5] 하지만 지역별 이용자 수에 대한 고려를 하지 않아 모든 터미널에 동등한 이용율을 적용하여 실효성이 미흡하다.

기존의 연구에서는 단순히 Service provider 중심의 셰어링 터미널 위치에 관한 연구가 이뤄졌다. 하지만 본 연구에서는 재고 수준에 따른 소비자 불만족도를 고려하며 재고 조정에 대한 손실비용을 최소화하는 방안을 제안하였다.

III. Vehicle Sharing Service

1. 연구 목적 및 범위

셰어링 서비스에서 가장 중요한 부분은 각 역마다 이용 가

능한 운송수단의 재고와 주차공간이다. 이러한 이유로, 현재 서울 나눔카 사업의 일환으로 운영 중인 쏘카(Socar)와 그린카(Green Car)의 경우 왕복서비스만을 제공하고 있으며 이벤트의 일환으로 일시적인 편도서비스를 제공하고 있다. 왕복 서비스는 서비스 주체에게는 보다 편리하고 효율적인 셰어링 방식이지만, 다양한 형태로 자동차를 이용하는 고객에게는 장애물이 될 수 있다. 셰어링 운영자가 왕복 서비스를 선호하는 가장 큰 이유는 운송수단을 각 주차장(대기장소)에 일정한 재고를 유지할 수 있으며, 특정 주차장으로 이용된 운송수단이 몰릴 경우 주차공간이 부족할 수 있게 된다. 하지만 셰어링 이용자 입장에서는 반드시 빌린 장소에 자동차를 반납하는 왕복모형 보다는 자신이 원하는 장소로 반납하는 것이 훨씬 편리하다. 이러한 문제는 자동차의 재배치(Relocation)에 드는 운영비와 주차장의 공간문제와 겹쳐져있다.

편도 모형이 아직까지 한국에서는 운영되지 않고 있지만, 셰어링 서비스가 먼저 도입된 외국에서는 편도를 운영하고 있는 경우를 찾아볼 수 있다. 미국의 Car2Go의 경우에는 전기 자동차를 이용한 편도 시스템을 운영 중에 있다. 하지만 여전히 미국에 있는 대부분의 렌터카 및 셰어링 업체들은 왕복서비스 중심으로 제공하고 있다. 왕복 서비스의 경우 사용자가 대여한 장소에 반납을 하는 형태이기 때문에 많은 횡수의 재배치(Relocation)나 넓은 주차공간이 필요하지 않아 운영이 용이하다. 하지만 셰어링을 이용하는 고객들은 왕복뿐만 아니라 편도에 대한 수요가 높다.

이러한 이유로 본 연구에서는 자전거 셰어링의 재배치(Relocation)횟수와 소비자 불만족에 의한 손실비용을 고려하여 최적 자전거 보유수준과 최저의 운영비를 제안하였다. 더 나아가 현재 운영 중인 창원시 누비자 셰어링 서비스에 대입하여 연구의 유효성을 입증하였다.

2. 문제 제기

2.1. 부적절한 재고 관리에 따른 고객 불만족 발생

현재 자전거 셰어링 서비스는 고객들이 원하는 터미널에서 자전거를 반납 혹은 대여를 가능하도록 시스템이 구축되어 있다. 하지만 실제 운영 사례에서 알 수 있듯이 자전거 터미널의 보유 수준에 따라 고객들이 자전거를 대여 및 반납 불가능한 경우가 다분하다. 자전거 터미널의 보유수준이 가득 차 있다면 고객들은 원하는 터미널에 반납 할 수가 없으며, 자전거가 없는 경우 고객들은 자전거를 원하는 역에서 대여 할 수가 없다. 또한 지역별로 재고가 집중되는 특정 터미널이 존재하며 이러한 이유로 각 터미널의 위치 및 재고 수준에 따라 고객들은 불만족을 느낄 수 있다.

2.2. 비효율적 보관 수준에 따른 운영비 증가

현재 자전거 웨어링 서비스의 적절한 자전거 보유 수준을 유지하기 위해 자전거 운반용 트럭이 직접 자전거를 운반하며 적정 수준의 자전거 재고 관리를 위해 운영되고 있지만, 실시간 자전거 재고 상황을 고려하지 않으며 트럭운전자 스스로 자전거 터미널을 방문하며 자전거의 보유수준을 관리하고 있다. 이러한 운영 방법은 트럭 운반의 이동 거리와 작업 시간을 증가시켜 전반적인 누비자 시스템의 운영비 증가를 초래한다.

본 연구에서는 자전거 터미널의 용량(C)에 따른 최적의 보유수준(S)과 보충이 필요한 수준(s)을 제안하였다. 항상 대여 및 반납이 가능한 터미널의 수준을 유지하며 고객 불만족을 줄이고, 자전거 운반용 트럭의 이동거리를 최소화 하는 방안을 모색하였다. 또한, 현재 운영 중인 창원 누비자 자전거 웨어링 서비스에 도입하여 연구의 유효성을 입증하였다.

IV.시뮬레이션 환경 및 구성

1. 연구방향

현재 자전거 웨어링 서비스의 경우, 가장 큰 문제점은 편도 서비스를 제공하면서 특정 자전거 터미널로 자전거 재고가 집중되고 있으며, 자전거 보유 가능한 공간이 없을 경우에만 서비스 센터에서 직접 자전거 운반용 트럭으로 자전거 터미널 간의 재고를 조절하고 있다. 이러한 운영 방식에 따라 고객은 이미 자전거 대여 및 불가능한 상황으로 불만족을 느끼게 되며, 자전거 운반용 트럭의 비계획적인 운영으로 운영비 및 손실 비용으로 이어지게 된다.

본 연구에서는 자전거 터미널에 주차 가능 공간이 없을 때만 운반용 트럭을 운행하는 기존의 방식과는 다르게 자전거 터미널 별 적정 재고 수준에 따라 트럭 운행비용과 소비자 불만족에 따른 손실 비용을 최소화 시키는 재고 수준을 시나리오를 통하여 연구하였다.

자전거 운반용 트럭 운행비용은 터미널 간 운행 거리에 비례하여 유틸비를 계산하였다. 기존의 서비스에서는 운반용 트럭은 항상 서비스 센터에서만 출발하고 있으며 자전거 주차 공간이 없으면 운행하고 있다. 본 시뮬레이션에서는 특정 재고 수준 범위를 정하고 재고 수준에 따른 트럭 운행비용과 소비자 불만족에 따른 손실 비용을 고려하여 운영비용을 계산하였다.

2. 목적식

본 연구에서는 그림 2와 같이 자전거 터미널의 재고 수준에 따른 소비자의 불만족과 자전거 운반용 Vehicle 운영비용을 최소화 시키는 방안을 고려하였다. 각 터미널의 재고수준 $I_{E_i^R}$ 은 이전 $I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R$ 이 각 터미널의 최저 자전거 재고량보다 작으면 자전거를 초기 재고량만큼 다시 채워주는 것으로 가정하였고, $I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R$ 이 터미널의 용량보다 크게 될 수는 없으며 가득 찬다고 가정하였다. 그 이외의 상황에는 $I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R$ 의 변화를 보인다고 설계 하였다.

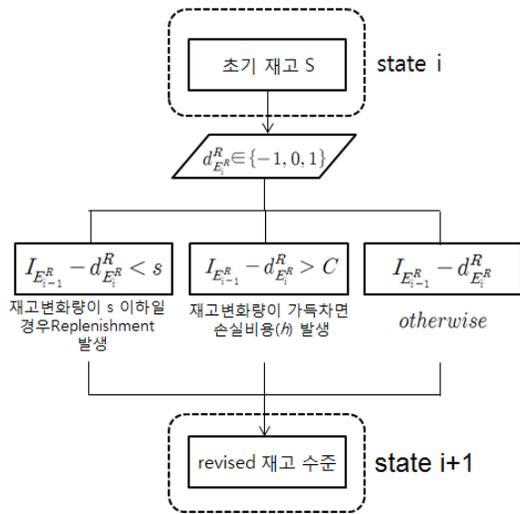


그림 2. 수요변화에 따른 재고변화
Fig. 2. Inventory level based on demand change

$d_{E_i^R}^R$ 은 각 자전거 터미널의 대여 및 반납 상황을 보여주는 변수이며 λ_t, μ_t 의 포아송 확률분포에 따라 $d_{E_i^R}^R \in \{-1, 0, 1\}$ 의 값을 가진다.

$$I_{E_i^R} = \begin{cases} S & , I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R < s \\ C & , I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R > C \\ I_{E_{i-1}^R} - d_{E_i^R}^R & , otherwise \end{cases} \quad (1)$$

각 자전거 터미널의 재고 변화량은 그림 3과 같이 도식화할 수 있다. t단위시간당 자전거를 반납하러 오는 사람들의 확률은 μ_t 의 포아송 확률분포를 이용하였다. 또한 t단위시간당 자전거를 대여하러 오는 사람들의 확률을 λ_t 의 포아송 확률분포를 이용하여 재고 변화를 발생시켰다.

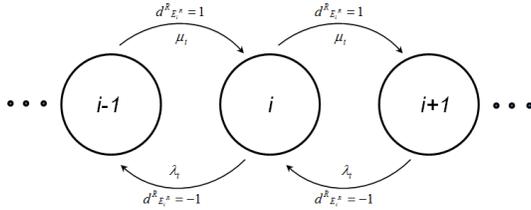


그림 3. 각 자전거 터미널의 대여 및 반납 수준
Fig. 3. Rental and return state of bicycle terminal

본 연구에서 제안하는 쉐어링 서비스의 운영비용은 식(2)과 같다. S-s(결정변수)에 따른 자전거 대여 및 반납을 조사하고, 서비스 운영비를 계산하였다.

$$F(S, s) = E_R \left\{ \sum_{i=0}^t \frac{r [S - (s - I_{E_{i-1}}^R + d_{E_{i-1}}^R)^+] (s - I_{E_{i-1}}^R + d_{E_{i-1}}^R)^+}{s - I_{E_{i-1}}^R + d_{E_{i-1}}^R} + h (I_{E_{i-1}}^R - d_{E_{i-1}}^R - C)^+ \right\} \quad (2)$$

- S : 자전거 터미널 초기 자전거 재고량
- s : 각 터미널의 최저 자전거 재고량
- r : 자전거 운반에 따른 발생 비용
- h : 반납 가능한 공간이 없을 때 손실비용
- C : 각 자전거 터미널의 주차용량
- $I_{E_{i-1}}^R$: i 시간대의 자전거 재고량
- $d_{E_{i-1}}^R$: i 시간대의 자전거 대여 및 반납 상태

식(1)과 같이, 각 터미널의 초기 자전거 재고량(S)와 최저 자전거 재고량 (s)에 따른 자전거 재고조절에 따른 발생비용 (r)을 고려하여 자전거 운반용 트럭의 운행비용을 고려하였다. 또한, 반납공간이 없을 경우 소비자의 외면으로 인하여 손실비용이 발생한다고 가정하며 비용적 측면으로 고려하였다. 서비스 운영비용의 근사치 계산식은 식(3)과 같다.

$$F(S, s) = \int_0^T (\pi_{S,s}(t)(S - s - \mu_t)r + \pi_{S,C}(t)h\lambda_t) dt \quad (3)$$

- λ_t : 단위 시간당 t 시간대에 자전거를 빌리러 오는 사람
- μ_t : 단위 시간당 t 시간대에 자전거를 반납하러 오는 사람
- $\pi_{S,s}(t)$: 자전거 초기 재고 S에서 t 시간 후 재고 s 가 될 확률
- $\pi_{S,C}(t)$: 자전거 초기 재고가 S에서 t 시간 후 재고 C가 될 확률

3. 시뮬레이션 구성

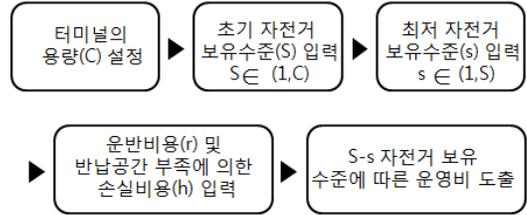


그림 4. 시뮬레이션 단계
Fig. 4. Simulation steps

본 연구에서는 그림 4와 같이 각 터미널의 최적 자전거 보유 수준을 결정하기 위해서 S-s 수준을 변화하면서 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션에서는 n개의 자전거 터미널이 존재한다고 가정하였으며, 자전거 보충이 일어날 경우 리드타임을 고려하였다. 리드타임을 결정하기 위하여 실제 창원시 자전거 터미널의 거리를 고려하였다. 창원시 누비자 자전거 센터와 각 터미널간의 거리평균 3227m 이며, 자전거 운반용 트럭의 운행속도를 35km로 가정하여 평균 5.532분, 표준편차 1.576의 정규분포를 가지는 리드타임을 적용하였다. 첫 번째 단계에서는 각 자전거 터미널의 최적 S-s 수준을 구하기 위해 최대 자전거 용량(C)을 15, 20, 25대로 구분 지었고, 그에 맞게 최소 자전거 보유량(S)을 1대부터 각 capacity에 맞게 15, 20, 25대로 변화시켜 운영비의 변화를 알아보았다. 또한, 최소 자전거 보유 수준(s) 역시 $s \in \{1, 2, 3 \dots S\}$ 로 설정하여 최저 운영비를 도출하는 S-s 자전거 보유수준을 구하였다. 각 터미널의 반납 및 대여 확률은 창원시 누비자 자전거의 데이터를 기반으로 $\lambda_t, \mu_t : 82.11$ 인 포아송 확률분포를 이용하였으며, 두 번째 단계에서는 자전거 운반에 따른 운반비용(r)과 소비자 불만족에 따른 손실비용(h)을 1000원, 2000원, 3000원으로 변경하였고 고정비는 1회 보충시 3000원으로 하며 시뮬레이션을 수행하여 각 터미널의 S-s 자전거 재고 수준의 변화추이를 알아보았다.

V. 시뮬레이션 결과

실제 자전거 쉐어링 서비스의 터미널 주차가능 공간은

20~30대까지 다양하게 설치되어 있다. 그래서 본 연구에서는 최대 자전거 주차용량(C)을 20, 25, 30대로 구분 지었고, 초기자전거 재고량(S)과 최저자전거 재고량(s)에 따른 자전거 보유수준을 발생시켜 자전거 운반에 따른 발생비용(r)을 고려하였다. 또한 반납가능한 공간이 없을 확률을 고려하여 손실비용(h)을 고려하여 총 서비스 운영비용(F(S,s))으로 계산하였다.

또한, 초기 자전거 재고수준에 따른 자전거 웨어링 서비스 운영비를 비교하였다. 자전거 터미널의 용량이 커질수록 운영비가 증가하는 것으로 나타났고, 자전거 보유수준을 가 터미널의 용량에 따라 60~70%정도 유지하는 것이 가장 최저 운영비를 나타내는 Convexity 그래프를 보여주었다.

자전거 웨어링 서비스의 최적 운영비를 구하기 위하여 한정된 자전거 터미널의 capacity에서 초기 및 최소 자전거 보유량을 대입하며 운영비를 도출하였다. 실제 자전거 웨어링 터미널의 capacity는 10대부터 30대까지 다양하여 각 터미널의 capacity를 15, 20, 25대로 변경하며 시뮬레이션을 수행하였다. 자전거 터미널의 용량이 15대일 경우 9대를 유지하며 자전거 보유수준이 4대일 때 보충 해주는 것이 가장 최저 운영비가 지출되는 것으로 나타났으며, 주로 9~11대를 유지하는 것이 가장 최저 운영비가 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 터미널의 capacity가 20일 때는 자전거를 초기 14대를 보유하고 7대가 되었을 때 자전거를 보충해주는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 14대에서 16대의 자전거를 보유하며 6~7대 일 때 보충하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타났다. 자전거의 터미널의 capacity가 25인 경우에 초기 21대를 보유하며 12대일 때 자전거를 다시 21대까지 보충하는 것이 경제적인 것으로 나타났다. 또한, 그림 5와 같이 Capacity가 늘어날수록 자전거 대여 및 반납의 횟수가 늘어

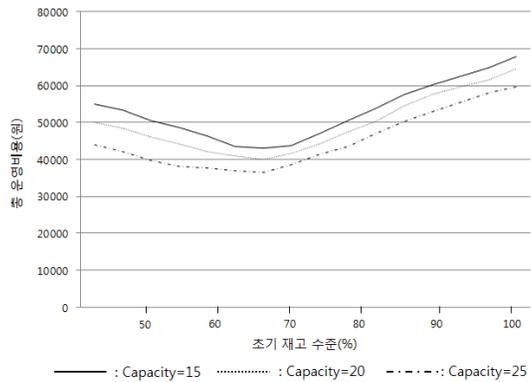


그림 5. 재고 수준에 따른 운영비용
Fig. 5. Total cost considering inventory level

나고, 그에 따른 운영비 역시 늘어나는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 자전거 보충에 따른 비용(r)과 터미널의 반납 공간 부족에 따른 손실비용(h)를 변경하며 터미널의 S-s 수준을 연구하였다. r과 h를 같게 하였을 때와 S-s 수준이 크게 차이가 나지 않았지만, 자전거 보충에 따른 발생비용이 1000원, 2000원, 3000원 일 때는 서비스 운영비용이 각각 34865.67원, 45178.81원, 53652.65원이 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 반납공간의 부족에 따른 손실비용을 1000원, 2000원, 3000원 변경하였을 경우 서비스 운영비용은 각각 34865.67원, 38774.49원, 40473.04원이 소요되는 것으로 나타났다. 더 나아가 그래프의 기울기에서 알 수 있듯이 운영비용에 영향을 미치는 요인으로는 공간부족에 따른 손실비용이 아니라, 자전거의 보충으로 손실되는 운반비용이 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

표 1. S-s 변화에 따른 시뮬레이션 결과(n=30)
Table 1. Simulation result considering S-s

순위	C=15		C=20		C=25	
	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용
1	(9,4)	28732.21	(14,7)	30121.68	(21,12)	30327.07
2	(10,5)	28798.84	(13,7)	30162.22	(20,11)	30384.34
3	(10,4)	29453.67	(14,8)	30175.37	(20,12)	30411.12
4	(8,3)	29943.11	(13,6)	30227.81	(19,11)	30453.41
5	(6,2)	30019.37	(12,6)	30246.45	(19,10)	30461.07
6	(11,4)	30101.48	(15,9)	30254.21	(18,10)	30515.51
7	(11,5)	30119.26	(15,8)	30283.37	(17,9)	30584.36
8	(9,3)	30145.61	(16,10)	30311.04	(16,9)	30624.42
9	(7,3)	30159.78	(15,7)	30341.84	(20,10)	30699.01
10	(12,6)	30218.51	(14,6)	30377.61	(18,9)	30724.67

표 2. 자전거 운반비용(r)에 따른 S-s 변화량(n=30)
Table 2. S-s level considering replenishment cost(r)

순위	r=1000		r=2000		r=3000	
	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용
1	(9,4)	28732.21	(9,4)	38021.45	(10,5)	44211.27
2	(10,5)	28798.84	(10,5)	38784.21	(9,4)	44732.25
3	(10,4)	29453.67	(11,4)	39511.53	(11,4)	45122.84
4	(8,3)	29943.11	(10,4)	40822.71	(6,2)	45544.31
5	(6,2)	30019.37	(8,3)	41751.43	(8,3)	46002.47
6	(11,4)	30101.48	(6,2)	41997.04	(10,4)	46377.63
7	(11,5)	30119.26	(9,3)	42679.35	(9,3)	46842.17
8	(9,3)	30145.61	(12,5)	43221.64	(12,5)	47432.51
9	(7,3)	30159.78	(12,6)	43229.71	(11,4)	48002.16
10	(12,6)	30218.51	(7,3)	44001.34	(7,3)	48655.48

표 3. 공간부족에 의한 손실비용(h)에 따른 S-s 변화량(n=30)
Table 3. S-s level considering loss cost(h)

순위	h=1000		h=2000		h=3000	
	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용	(S,s)	최소운영비용
1	(9,4)	28732.21	(10,5)	34221.74	(9,4)	38411.17
2	(10,5)	28798.84	(9,4)	34980.24	(10,5)	38941.28
3	(10,4)	29453.67	(8,3)	35400.11	(6,2)	39452.61
4	(8,3)	29943.11	(10,4)	35990.42	(8,3)	39744.26
5	(6,2)	30019.37	(6,2)	36721.31	(10,4)	40152.84
6	(11,4)	30101.48	(9,3)	36905.71	(9,3)	40231.16
7	(11,5)	30119.26	(11,5)	37400.19	(11,5)	40311.67
8	(9,3)	30145.61	(11,4)	37881.45	(12,6)	40400.11
9	(7,3)	30159.78	(12,6)	38210.81	(11,4)	40471.48
10	(12,6)	30218.51	(7,3)	38747.64	(7,3)	40579.13

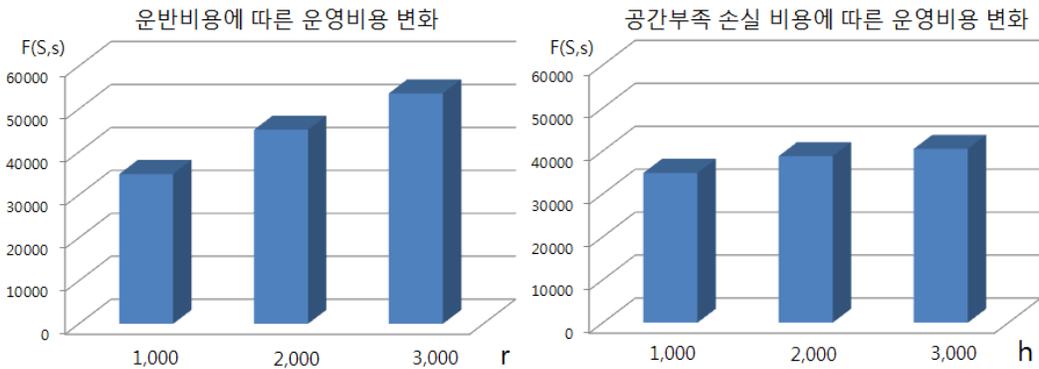


그림 6 운반비용 및 공간부족에 따른 운영비용 변화
Fig. 6 Average total cost considering replenishment and loss cost

VI. Case Study

1. 누비자 자전거 웨어링 서비스

본 연구에서 제안한 모델의 유효성을 입증하기 위해 현재

운영 중인 창원시 누비자 자전거 웨어링 서비스를 배경으로 case study를 진행 하였다. 누비자 서비스가 이뤄지고 있는 창원시 진해항 중심의 30개의 누비자 터미널을 대상으로 기존 자전거 보유수준에 따른 운영비와 본 연구에서 제안한 최적 S-s 수준에 따른 운영비를 비교하였다.



그림 7. 진해항 주변 자전거 터미널
Fig. 7. Bicycle terminal location surround by Jinhae port

누비자 터미널 마다 시간대별 자전거 재고량을 조사하였다. 각 자전거 터미널마다 자전거 보유 가능한 대수는 10~30대 정도로 상이하며 자전거 터미널의 위치에 따라 자전거 평균 보유대수 차이가 있었다. 예를 들어, 비교적 아파트 단지나 도심 시내일 경우 자전거 평균 보유대수가 낮았고, 시외일 경우 자전거 보유대수가 상대적으로 높았다.

창원시의 누비자 자전거 셰어링의 진해항 주변 터미널의 시간대별 대여 및 반납 수준은 그림 8과 같다. 진해항 주변의 30개 역의 06~22시까지의 자전거 재고 변동을 조사하였다. 주로 오전 시간대에 자전거 대여가 반납보다 더 많았고, 오후 시간대에는 대여보다 반납되는 자전거가 더 많았다.

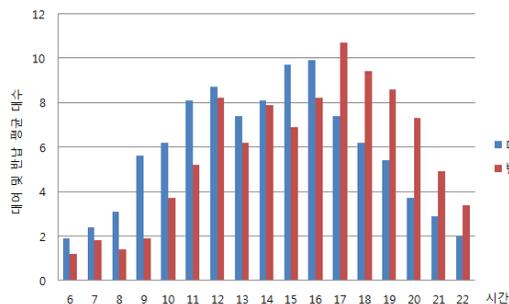


그림 8. 시간대별 자전거 대여 및 반납
Fig. 8. Rental and return state of bicycle terminal in Changwon

기존 창원시의 누비자 자전거 셰어링 서비스는 각 터미널의 자전거 재고수준을 조절하지 않고 특정 터미널에 반납공간이 없거나, 대여 가능한 자전거가 없는 경우 셰어링 서비스 센터에서 직접 운반용 트럭을 운행하여 자전거 보유수준을 조절하고 있다. 이러한 운영형태로 인하여 확립화된 서비스를 제공하지 못하고, 소비자의 불만족을 초래하며 자전거 운반용 비용이 증가하고 있다. 본 연구에서 도출된 최적 S-s 수준을 반영하여 진해항 중심의 30개 자전거 터미널을 대상으로 각

터미널 당 최적 자전거 보유수준을 결정하고 운영비를 비교하였다.

< 가정 >

- 1) 각 터미널의 보유 용량은 실제 30개 터미널의 주차용량을 반영하였다.
- 2) 자전거 역의 운영은 창원시가 운영 중인 실시간 정보 시스템을 기반으로 자동적으로 이루어진다.
- 3) Vehicle의 operation cost는 1000원 이다.
- 4) 고객들은 한 달마다 membership을 갱신하며, 갱신 요금은 10,000원이다.
- 5) 고객들이 반납공간이 없을 때 손실비용을 2500원으로 가정하였다.

앞에서 개발된 시뮬레이션을 통해 실제 자전거 셰어링 서비스와 비교하여 시뮬레이션의 타당성을 표 4와 같이 검증하였다. 창원시 누비자 자전거 셰어링 서비스의 각 터미널의 시간대별 자전거 보유현황을 측정하여 도출하였으며 이를 같은 조건하에서 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과와 비교하였다. 실제 2주동안 06시부터 22시까지 각 시간대별 진해항 주변의 30개 터미널의 자전거 보유수준을 수집하여 정규성 검정을 시행하였으며 각 터미널의 자전거 보유수준은 평균 0.22451, 표준편차 1.34677의 정규분포를 따르는 것을 알 수 있었다. 이를 모수적 검정을 사용하여 분석하였으며, 그 결과 t 값은 0.224으로 채택영역 사이에 존재하여 실제 운영 비용과 시뮬레이션을 통한 운영비용 상에서 얻어지는 값의 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

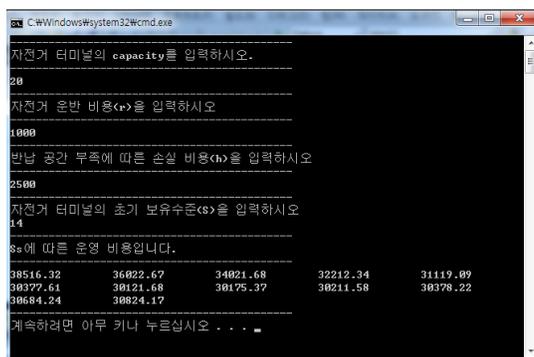


그림 9. 실행화면
Fig. 10. Case study result by C++

각 누비자 터미널 간의 적정 자전거 재고 수준을 맞추기 위하여 직접 자전거 운반용 Vehicle이 운행되고 있다. 운반

표 4. 동질성 테스트 결과
Table 4. Homogeneity test result

T-Test (동질성 검정)	대응차					t	자유도	유의확률
	평균	표준오차	평균의 표준오차	95% 신뢰구간				
				하한	상한			
실제측정- 시뮬레이션측정	-0.2245	3.4371	0.5173	-1.6224	0.5411	-0.224	29	0.322

용 트럭은 누비자 통합 정보 시스템에 따라 주차공간이 부족한 자전거 터미널에서 자전거를 신고, 대여 가능한 자전거가 부족한 터미널로 자전거를 옮기는 역할을 하게 된다. 자전거 운반용 Vehicle은 디젤을 사용하는 트럭으로 1000원으로 계산하였으며, 기존 서비스의 S는 평균 자전거 보유량으로 결정하였고, s는 익일 최저 자전거 보유량을 사용하여 기존 운영비를 산출하였다. 또한 창원시 누비자 자전거 셰어링의 데이터를 바탕으로 $\lambda_t, \mu_t : 82.11$ 인 포아송 확률분포를 이용하여 각 터미널의 반납과 대여에 대한 확률을 계산하였다. 본 연구에서는 Microsoft C++을 이용하여 고객 불만족도와 자전거 운반용 vehicle 운행비용과 공간부족으로 발생하는

손실비용을 고려하여 최적 자전거 보유 수준을 연구하였다.

2. Case Study 결과

각 터미널의 실제 capacity, 평균 자전거 보유량 및 최저 자전거 보유량을 이용하여 기존의 운영비를 계산하였고, 본 연구에서 제안한 S-s 모형으로 최저 운영비를 계산하였다. 표 5에서 볼 수 있듯이, 진해항 중심의 30개 자전거 터미널의 실제 자전거 보유수준의 평균으로 자전거 보유수준을 정하였고, 본 연구에서 제안한 최적 S-s 수준을 적용하여 실제 운영비용과 비교하였다. 기존 창원시의 자전거 셰어링 서비스 운영형태는 S-s 수준을 고려하지 않고 단순히 자전거 보유량이 0대

표 5. 창원시 누비자 Case study 결과
Table 5. Case study result of Nubija in Changwon

Terminal	Capacity	기존 S	운영비(원)	revised S	s	운영비(원)
진해고등학교	26	22	37201.24	15	6	32268.61
진해여중 앞	20	6	38246.02	14	7	30121.68
해군의 집	30	11	39731.22	23	14	36223.81
속천중점	20	12	37994.84	14	7	30121.68
진해고용센터 앞	17	16	32212.41	12	6	30127.11
진해구청	30	9	40021.25	23	14	36223.81
해군사관학교 입구	20	18	36284.81	14	7	30121.68
진해중고삼거리	20	8	38991.57	14	7	30121.68
냉천사거리버스터미널	20	3	40001.22	14	7	30121.68
진해중앙시장 입구	18	3	37454.91	12	6	30127.11
대동다숲 아파트 앞	25	18	37154.52	21	12	30327.07
우성아파트 버스정류소 앞	23	17	34825.01	17	9	32517.33
기적의 도서관	20	14	37412.48	14	7	30121.68
지은동사회 복지센터	10	8	28104.61	7	3	25419.37
태백초등학교	20	11	38242.84	14	7	30121.68
진해서울치과 앞	20	9	38211.72	14	7	30121.68
진해 중앙점터	25	16	36708.91	21	12	30327.07
신흥동 해군이파트	20	17	36551.41	14	7	30121.68
경화시장 입구	20	9	38211.72	14	7	30121.68
소죽도 찜질방	20	6	38246.02	14	7	30121.68
진해루	30	6	41002.31	23	14	36223.81
냉천로 안전지대	20	8	38991.57	14	7	30121.68
경화시장입구	26	17	36951.41	15	6	32268.61
경화동육교 밑	25	8	36004.15	21	12	30327.07
늘푸른요양병원	20	7	38882.01	14	7	30121.68
진해도서관	15	9	31006.71	9	4	28732.21
덕산성당	15	12	30966.64	9	4	28732.21
롯데마트 옆 버스정류장	25	7	35411.76	21	12	30327.07
합계			1,031,025.29			861,754.11

가 되거나 주차공간이 가득 찰 경우에만 운반용 트럭이 운행되어 자전거의 양을 조절하고 있다. 현재 창원시 진해항 주변 30개 역에서 총 600대의 자전거 보유 용량을 가지고 있으며 서비스 운영비용은 1,031,025.29원이지만, 본 연구에서 제안한 S-s 자전거 보유수준으로는 861,754.11원이 지출되는 것으로 결과가 나와 16.4% 절감된 결과를 가져올 수 있었다.

VII. 결론

본 연구에서는 자전거 웨어링 서비스의 주요 문제점인 반납 및 대여 장소의 불일치에 따른 소비자 손실비용과 자전거 운반비용을 고려하여 최적의 터미널 간 자전거 재고수준을 제안하였다. Vehicle sharing service의 가장 큰 문제점은 왕복 서비스를 제공하면 반납과 대여를 같은 장소로 이뤄지기 때문에 소비자의 이용율이 줄어들고, 편도 서비스를 제공하면 Service provider가 직접 각 터미널간의 재고 수준을 조절해야 하는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 자전거 웨어링 서비스를 대상으로 최저 운영비가 소요되는 자전거 터미널의 S-s 보유수준을 설계하였으며, 창원시 누비자 자전거 서비스를 통해 Case study를 진행하였다.

Vehicle Sharing Service는 도심 내에 위치하며 고객들에게 저렴한 가격으로 운송수단을 제공하는 장점을 가지지만, 편도 및 왕복 서비스에 따른 각 터미널별 특성에 따른 자전거 재고 수준은 여전히 문제점으로 남아있다. 또한, 터미널의 차량 재고 수준에 따른 고객의 불만족을 느낄 가능성이 크며 불만족을 느끼는 횟수가 많아질수록 웨어링 서비스의 보급에 악영향을 초래 할 것이다.

웨어링 서비스는 보다 지역적 특성을 고려하며 이뤄져야 할 것이며, 터미널별 최적의 재고수준을 유지하며 운영된다면, 웨어링 서비스 운영자와 고객이 모두 만족하는 사업형태가 운영될 것이다.

참고문헌

- [1] Ha, S., "The Current Situation of Public Bike Rental System 'NUBIJA' in Changwon," *Transportation Technology and policy*, v.7 no.3, 59-70, Aug 2010.
- [2] Nair, R., & Miller-Hooks, E. "Fleet management for vehicle sharing operations," *Transportation Science*, 45(4), 524-540, Dec. 2011.
- [3] Shaheen, S. A., Mallery, M. A., & Kingsley, K. J. "Personal vehicle sharing services in North America," *Research in Transportation Business & Management*, 3, 71-81, Apr. 2012.
- [4] Lee, J., Kim, H. J., Park, G. L., Kwak, H. Y., & Lee, M. Y. "Analysis framework for electric vehicle sharing systems using vehicle movement data stream," In *Web Technologies and Applications*. Springer Berlin Heidelberg pp. 89-94, Jul. 2012.
- [5] Alli, G., Baresi, L., Bianchessi, A., Cugola, G., Margara, A., Morzenti, A. & Depoli, E. V. (2012, October). "Green Move: towards next generation sustainable smartphone-based vehicle sharing," In *Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT)*, IEEE, pp. 1-5, Oct. 2012.
- [6] Jeribi, K., Mejri, H., Zgaya, H., & Hammadi, S. "Vehicle sharing services optimization based on multi-agent approach," In *18th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC)*, , Sep. 2011.
- [7] Schuijbroek, J., Hampshire, R., & van Hoes, W. J. "Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems," Feb. 2013.
- [8] Lee, J., Kim, H. J., & Park, G. L. "Relocation action planning in electric vehicle sharing systems," In *Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 47-56, Feb. 2012.
- [9] Chemla, D., Meunier, F., & Wolfler Calvo, R. "Bike sharing systems: Solving the static rebalancing problem," *Discrete Optimization*, 10(2), 120-146, May 2013.
- [10] Cho, H., "An Analysis of the Status and Strategies for the Activation of the Bicycle Utilization in Changwon," *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 11(2), 85-92, Jun 2009.
- [11] Hwang, J., "Integer Programming-based Local Search Techniques for the Multidimensional

Knapsack Problem.” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 17, No 6, Jun 2012.

- [12] Lee, S., Lee, H., “Routing Metric to Recognize Traffic Interference in Wireless Mesh Networks.” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No 8, Aug 2009.

저자 소개



김진식

2013 : 고려대학교 산업경영학과 입학
 현재 : 고려대학교 일반대학원
 산업경영공학과 석사과정
 관심분야: Vehicle sharing service
 Email : jinsik@korea.ac.kr



이철웅

1992년 2월: 서울대학교
 산업공학과 학사
 1994년 2월: 서울대학교
 산업공학과 석사
 2000년 5월: Pennsylvania State Univ. 공학박사
 현재 : 고려대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야: 항공해운 교통물류,
 e-Marketplace,
 물류시스템설계제어
 Email : leecu@korea.ac.kr