

# 효율적인 공공 자전거 재배치를 위한 실시간 자전거 수요량 기반의 HDPRA 기법 제안

윤은옥, 김강민, 박혜성, 정성욱\*

## An Efficient Public Bicycle Reallocation using the Real-Time Bicycle on-Demand HDPRA Scheme

Eun-Ok Yun, Kang-Min Kim, Hye-Sung Park, Sung-Wook Chung\*

**요약** 현재 여러 나라에서 생활 속에서 편리하게 자전거를 이용할 수 있도록 자전거 대여 서비스를 제공하며 접근성을 늘리고 있다. 본 논문에서는 우리나라의 창원시 공공자전거 누비자 서비스를 소개하고 누비자 자전거의 수요와 공급의 불균형을 방지하기 위한 최우선 재배치 방법을 제안하고자 한다. 무작위로 터미널을 방문하여 재배치하는 알고리즘과 현재 위치에서 가장 짧은 거리에 있는 터미널을 방문하여 재배치하는 알고리즘을 제안한 방법과 비교하여 더 효율적임을 설명한다. 본 논문에서 제시하는 최우선 재배치 방법은 주위 터미널 중 수요가 가장 높고 거리가 가장 짧은 터미널부터 방문한다. 본 논문에서는 실험을 통하여 제안한 최우선 재배치 방법이 트럭이 운행한 총 거리 평균 817.44km로 가장 낮은 비용을 보이고, 대여 성공 평균 횟수 6437.45회, 88.14%로 가장 높아 두 알고리즘보다 우수함을 보여준다.

**Abstract** Currently, various countries are enhancing accessibility by providing bicycle rental services for convenient usage within daily life. This paper introduces the Nubija public bicycle service in Changwon, South Korea, aiming to address the imbalance between demand and supply of Nubija bicycles. We propose a Highest Priority Reallocation Scheme to prevent this disparity. Comparing this scheme with others that randomly visit terminals for redistribution and those that prioritize terminals closest to current locations, we illustrate its superior efficiency. Our proposed Highest Priority Reallocation Scheme prioritizes terminals with the highest demand and shortest distances nearby. Through experiments, our proposed scheme demonstrates superior performance, with the lowest average of 817.44km distance and an average of 6437.45 times, i.e., 88.14% successful rental occurrences. This highlights its superiority over the other two algorithms.

**Key Words** : Public Bicycle, Dynamic Reallocation, Bike Rebalancing, Optimal Rebalancing Route, Dynamic Shortest Path Algorithm

### 1. 서론

최근 자동차가 늘어남으로써 대기환경 오염, 교통 체증과 주차난이 많이 발생하고 있다. 이에 전 세계의 여러 정부와 지자체에서는 이러한 사회적 문제를 해결하기 위해서 탄소배출이 없는 이동 수단인 자전

거에 주목하고 있다. 시민들의 자전거 이용을 장려하기 위해서 전 세계의 여러 나라에서는 시민 누구나 자신이 자전거를 소유하지 않더라도, 생활 속에서 편리하게 자전거를 이용할 수 있도록 자전거 대여 서비스를 제공하며 접근성을 늘리고 있다[1].

우리나라의 경우에도 현재 서울시의 '따릉이', 대

This work was supported by Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE) (P0017006, The Competency Development Program for Industry Specialist)

\*Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Changwon National University (swchung@changwon.ac.kr)  
Received March 07, 2024 Revised March 12, 2024 Accepted March 13, 2024

전시의 '타슈', 안산시의 '페달로', 광주광역시의 '타랑게', 수원시의 '반디클' 영천시의 '별타고', 세종시의 '어울링', 여수시의 '여수랑', 순천시의 '온누리' 등등 많은 지자체에서 공공자전거 서비스를 시행 중이다. 이 중 창원시의 경우에는 2006년 11월 '환경수도 창원'을 선언하며 8대 추진 전략과 70개의 단위 사업을 계획하며, 2008년 경상남도 창원시는 전국 최초로 자전거 대여 서비스 '누비자'를 시작하였다. 창원시는 자전거 이용 활성화를 목적으로, 창원시 내에 조밀하게 자전거도로를 구축하고 있으며, 공공자전거 관련 시설물을 설치하고 정비하는 등의 인프라 구축을 위한 많은 노력을 기울이고 있다[2].

하지만 도시 내의 지역적 특성에 의해 특정 지역들에 시간/요일에 따라, 자전거 이용자가 몰리거나 부족하게 되며 이로 인해 자전거가 특정 구역에 편향되는 문제가 발생한다. 자전거가 특정 구역으로 몰리게 된다면 수요와 공급의 불균형이 발생하게 되고, 원활한 공공자전거 시스템을 위해서는 지속적으로 수요와 공급이 이루어져야 한다. 현재는 실시간으로 터미널별 재고를 모니터링하며, 운송관계자가 직접 판단하여 자전거를 수거하고 배치하는 방식으로 재배치를 하고 있다[3]. 그러나 공공자전거 서비스는 계속해서 확대되고 있으며[4], 이 방식은 계속해서 효율성이 떨어지고 불균형 문제는 더 심화될 것이다[5]. 이 문제를 해소하기 위해서는 더욱 체계적이고 효율적인 재배치 방법이 필요하다.

본 논문은 2022년 1월부터 2022년 12월까지 1년간의 대여 이력을 통하여 예측 이용량을 산정하고, 효율적인 자전거 재배치를 위하여 창원시를 권역별('성산구', '의창구', '마산합포구', '마산회원구', '진해구')로 나누고 그중 '성산구'를 기준으로 자전거를 재배치를 하는 HDPR(A(Highest on-Demand Priority Reallocation Algorithm, 최우선 수요 재배치 알고리즘)을 제시한다.

## 2. 배경지식 및 관련연구

### 2.1 창원시 공공자전거 서비스

누비자는 창원시의 공공자전거 대여 서비스이다.

누비자는 언제나, 어디서나 손쉽게 이용할 수 있도록 유비쿼터스 기술이 적용된 무인대여 공영자전거로서 '창원시 곳곳을 자유로이 다니다'라는 의미로 '누비다'와 '자전거'의 합성어이다. 창원시는 녹색 교통 수단인 자전거 타기의 저변 확산을 위해 시민들이 공공자전거를 빌려 자유롭게 탈 수 있는 '시민공영 자전거제'를 도입하여 운영하고 있다[2].

누비자 자전거는 여성 및 노약자도 편하게 승하차할 수 있는 생활형 자전거로 7단 변속기를 가지고 있어 오르막을 오를 때에도 편안하게 이용할 수 있다. 그리고 핸들 커버 내에 타코미터를 장착하여 자전거 이용 별 주행거리, 주행시간, 주행속도 및 누적 주행 데이터를 확인할 수 있다. 이외에도 자가잠금 보조장치, 자전거와 대여자 동일 여부 확인을 위한 RFID 태그 등이 장착되어 있다. 창원시청을 중심으로 주변 생활시설에서 접근이 용이한 곳 및 시민들의 이용이 편리한 곳에 터미널이 설치되어 있다. 터미널에는 누비자를 보관하는 보관대와 키오스크가 있다. 보관대에는 자전거에 장착된 잠금 보조장치의 자동 결속 기능이 있다. 그리고 키오스크에는 대여 반납 및 사용자 정보를 통합관리서버와 보관대에 실시간으로 송수신하고 누비자의 각종 이용 방법을 안내하며 사용자에게 다양한 편의를 제공한다[1].

누비자 시스템은 한 곳에서 대여를 하고 또 다른 곳에서 반납을 할 수 있는 one-way 방식을 사용한다. 또한 대여를 한 터미널에서 반납도 가능하다. 대여 시에는 터미널에 반납 상태의 자전거가 있다면, 어느 터미널에서나 대여를 하고 이용한다. 반대로 반납할 경우에는 터미널에 반납할 공간이 있다면, 이용했던 자전거를 반납한다. 만약 터미널에 반납할 공간이 없다면 터미널의 보조 반납대에 정차 후 구비된 체인을 감아 결속시켜 반납이 가능하다[4].

### 2.2 누비자 터미널

본 논문에서 실험을 진행하는 창원시의 2022년 터미널은 그림 1부터 5와 같이 성산구 120개, 의창구 80개, 진해구 59개, 마산회원구 35개, 마산합포구 20개가 존재한다[6].



그림 1. 성산구 터미널  
Fig. 1. Seongsan-gu Terminal

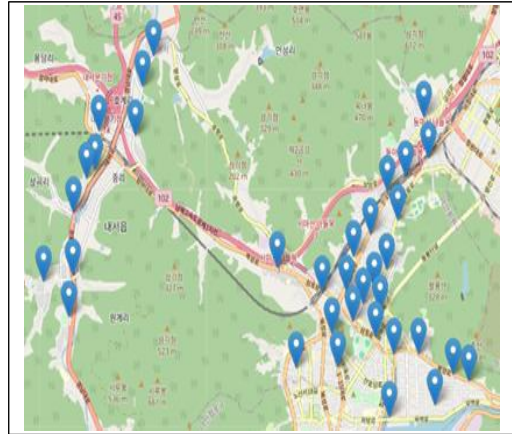


그림 4. 마산회원구 터미널  
Fig. 4. Masanhoewon-gu Terminal

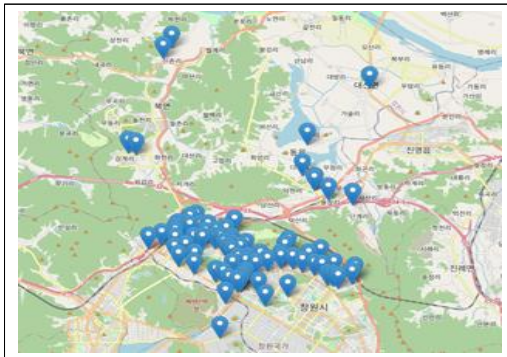


그림 2. 의창구 터미널  
Fig. 2. Uichang-gu Terminal

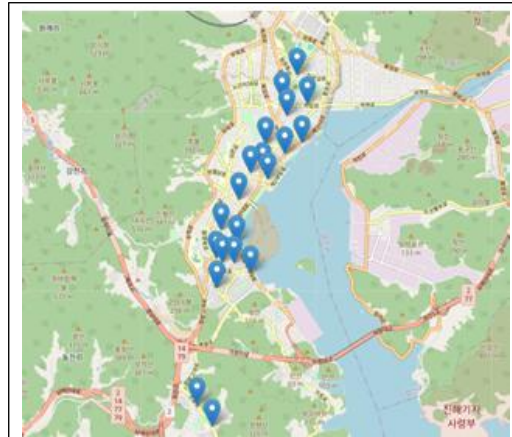


그림 5. 마산합포구 터미널  
Fig. 5. Masanhappo-gu Terminal

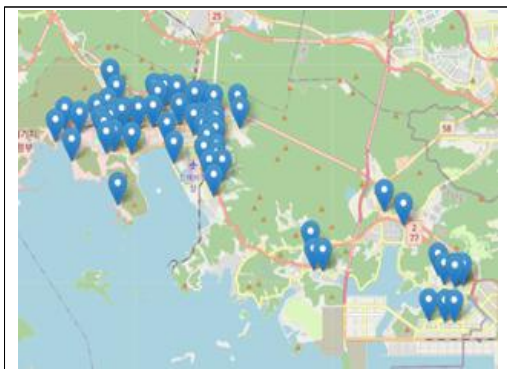


그림 3. 진해구 터미널  
Fig. 3. Jinhae-gu Terminal

### 2.3 선행 연구

공공 자전거에 대한 연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 공공자전거의 수요 예측과 공공자전거의 재배치 방법이다.

먼저 수요에 따른 연구는 시간대별, 지역별, 터미널 주변 환경, 인구수 등의 이용특성에 따라 머신러닝, 딥러닝, 통계 기법들을 다양하게 활용하여 이용 수요를 추정한다. 이러한 이용 수요를 통해 터미널의 과대여, 과반납 등의 문제를 파악해낼 수 있고 나아가 터미널의 쏠림을 해결하기 위한 자전거 재배치를

통해 문제 해결 방안을 제시한다[7].

재배치 연구는 정적 재배치, 동적 재배치의 방법이 있다. 정적 재배치는 하루에 한 번 재배치가 이루어지고 동적 재배치는 하루에 여러 번 재배치가 이루어진다. 재배치 연구에서는 재배치 예산, 재배치 시간, 재배치 이동 거리 등을 고려하여 가장 효율적으로 자전거를 재배분 할 수 있는 방법을 모색한다[8].

자전거 이용에 의해 적정 재고 수준을 벗어나는 상황을 최소화하는 것을 고려한 모델을 실험했다. 그러나 실제 모델에서는 터미널이 많고 재배치 차량이 많을 수 있다는 한계를 내포한다[8]. 네트워크 효율성을 높일 수 있도록 터미널 간 쏠림 현상을 반영한 동적 재배치 모형을 제안한다. 하지만 예측 시간 단위를 1일 단위가 아닌 세분화 하는 것으로 개선이 필요하며 주변 환경의 특성 등의 요소를 고려하지 않은 한계가 있다[9]. 그리고 재고 및 라우팅에 대한 결정을 내리기 위해 미래의 요청을 고려한 목표 보충 수준을 사용하거나, 안전 버퍼를 사용하여 터미널의 긴급성을 고려하는 전략을 제안한다[10].

따라서, 본 논문에서는 시간 단위로 특정 구역의 자전거를 재배치하여 터미널 간 자전거를 효율적으로 균등하게 배분할 수 있는 방법을 연구하여 설명한다.

### 3. 재배치 알고리즘

자전거를 재배치하는 알고리즘으로는 무작위 알고리즘(Random Terminal Selection Algorithm), 단기 재배치 전략(Short-term Relocation)[11], 그리고 HDPRA를 적용할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 자전거를 효율적으로 재배치하기 위해서 최단 경로로 리스트를 만들어 자전거를 재배치한다. 이를 통하여 다른 알고리즘들에 비해, 더 적은 비용으로 더 빠르고 효율적으로 자전거를 재배치할 수 있다.

#### 3.1 무작위 알고리즘

무작위 알고리즘(Random Terminal Selection

Algorithm)은 트럭이 자전거 재배치를 위해 이동하는 모든 터미널들을 무작위(Random)로 선정한다. 임의로 선정된 터미널에 트럭이 방문하여 재배치를 수행하고 다음 터미널로 이동한다. 이 때 다음 터미널도 무작위로 선정된다. 재배치는 수요량을 정의하고 이 수요량이 0보다 크거나 0보다 작은 경우에 이루어진다. 만약 트럭에 실을 수 있는 공간이 없거나 트럭이 보유한 자전거가 없다면 터미널을 건너뛴다. 이 동작을 반복하여 모든 터미널의 수요량이 0이 될 때까지 동작한다.

표 1. 무작위 알고리즘

Table. 1. Random Terminal Selection Algorithm

Random Terminal Selection Algorithm	
Function	RTSA
WHILE	terminal_demand is not 0
SELECTION	<- random one of the (not demand = 0) terminals
WHILE	select terminal_demand is not 0
IF	demand>0 and truck_bike<20 THEN
truck_bike	add 1
terminal_demand	subtract 1
ELSEIF	demand<0 and truck_bike>20 THEN
truck_bike	subtract 1
terminal_demand	demand 1
ELSEIF	truck_bike=20 or truck_bike=0
break;	
ENDIF	
ENDWHILE	
ENDWHILE	
END	Function

#### 3.2 단기 재배치 전략

단기 재배치 전략(Short-term Relocation)은 터미널들을 수요량의 절댓값 순으로 정렬한다. 현재 위치에서 가장 가까우면서 절댓값이 가장 큰 터미널부터 방문한다. 방문한 트럭은 재배치를 수행하는데, 자전거를 보충하는 경우에는 터미널에 부족한 값과 트럭 적재량 중 더 작은 값을 배치하고 자전거를 가져가는 경우는 수요량과 트럭 용량 중 더 큰 값을 가져온다. 트럭에 실을 수 있는 공간이 없거나 보유한 자전거가 없다면 해당 터미널은 건너뛴다. 해당 동작들을 반복하여 모든 터미널의 수요량이 0이 될 때까지 동작한다.

표 2. 단기 재배치 전략

Table. 2. Short-term Relocation

```

Short -term Relocation
=====
Function STR
  WHILE terminal_demand is not 0
    SELECTION <- random one of the (not
demand =0) terminals and
shortest_distance_terminal
    WHILE selection_terminal_demand is not 0
      IF demand>0 and truck_bike<20 THEN
        truck_bike add 1
        terminal_demand subtract 1
      ELSEIF demand<0 Then truck_bike>0
        truck_bike subtract 1
        terminal_demand add 1
      ELSEIF truck_bike=20 or truck_bike=0
        break
      ENDIF
    ENDWHILE
  ENDWHILE
End Function
=====
    
```

### 3.3 최우선 재배치 방법 알고리즘

본 논문에서 제안하는 최우선 재배치 방법 알고리즘(Highest on-Demand Priority Reallocation Algorithm)은 주위 터미널 중 수요량이 가장 높으며 가까운 터미널부터 방문하는 알고리즘이다. 그림 6의 (1)과 같이 현재 위치한 터미널에서 다른 터미널들로 가는 간선들이 존재한다. 그 중 수요량이 0이 아닌 터미널들을 거리(km)별로 분류하여 각각의 리스트에 저장한다. 리스트에 들어 있는 터미널들을 수요량의 절댓값으로 내림차순 정렬한다. 가장 거리가 짧은 리스트부터 탐색하여 그림 6의 (2)와 같이 해당 리스트에서 수요량의 절댓값이 가장 큰 터미널을 선정한다. 트럭이 보유한 자전거 수가 최대거나 없다면 다음 우선순위의 터미널을 선택한다. 수요량이 0보다 크다면 수요량의 값만큼 트럭에 싣고 0보다 작다면 수요량의 값만큼 자전거를 배치하는 동작을 하고 현재 터미널의 값은 트럭으로 실은 값 또는 트럭에서 배치한 값만큼을 더하거나 빼서 해당하는 값으로 초기화한다. 그림 6의 (3), (4)와 같이 방문할 터미널을 결정하기 위한 탐색과 정렬을 모든 터미널의 수요량이 0이 될 때까지 반복한다.

표 3. 최우선 재배치 방법 알고리즘

Table. 3. Highest on-Demand Priority Reallocation Algorithm

```

Highest on-Demand Priority Reallocation
Algorithm
=====
Function HDPRA
  FOR terminal
    i=0, add 1 <-i
    IF terminal_demand is not 0 and terminal
distance>i-1 and distance<=i
      add terminal <- listi
    IFEND
  FOREND
  distance convert to absolute value and sort
descending order
  FOR list
    i=0, add 1 <-i
    WHILE find max terminal_demand in listi
      SELECTION <- max terminal_demand
      IF terminal_demand is not 0 or
truck_bike = 20 THEN continue
    ENDIF
    WHILE selection_terminal_demand is not 0
      IF demand>0 and truck_bike<20 THEN
        truck_bike add 1
        terminal_demand subtract 1
      ELSEIF demand<0 Then truck_bike>0
        truck_bike subtract 1
        terminal_demand add 1
      ELSEIF truck_bike=20 or truck_bike=0
        THEN break
      ENDIF
    ENDWHILE
  ENDWHILE
  FOREND
End Function
=====
    
```

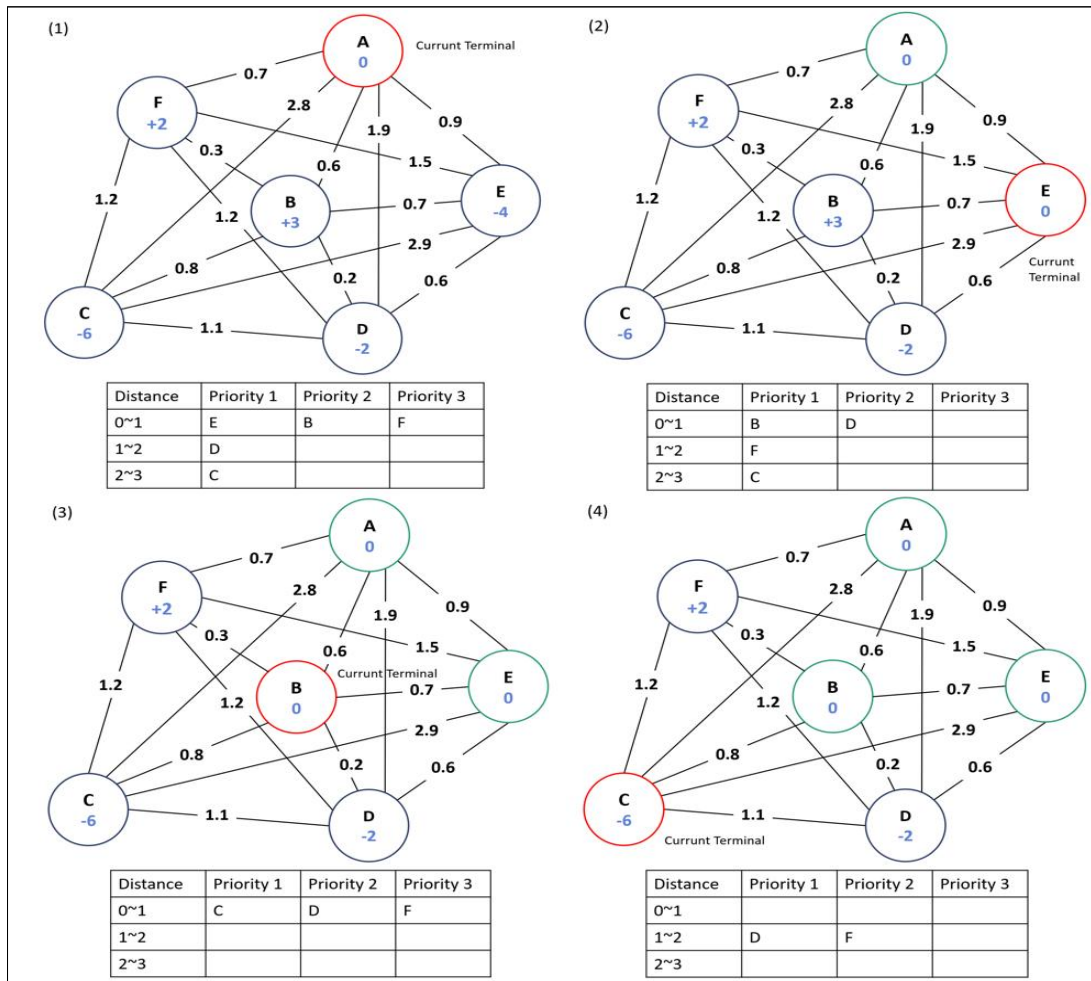


그림 6. 터미널 선택 예시  
Fig. 6. Terminal selection example

## 4. 실험 및 실험결과

### 4.1 실험 환경

본 연구의 실험에 사용된 시스템은 CentOS7 기반 Visual Studio Code IDE를 사용하였으며 Python 언어를 사용하여 진행되었다. 자세한 실험 환경은 표 4와 같다.

시뮬레이션의 조건은 다음과 같다. 자전거 대여는 오전 4시부터 다음날 오전 1시까지이며 자전거 반납은 언제든지 가능하나 터미널이 가득 차면 반납이

불가하다. 2022년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지의 성산구 터미널과 면적 89km<sup>2</sup>와 24만명의 성산구 인구[12]로 이루어진 성산구의 자전거 대여/반납 데이터를 사용하였다. 출발 지점은 ‘창원시청’ 터미널이다. 재배치 동작을 하는 트럭은 1대이며 용량은 20대, 트럭이 처음 가지고 있는 자전거는 5대이고 트럭의 속력은 60km/h이다. 2022년 1월 1일 시작 시 모든 터미널은 최대 보유 가능한 자전거 수의 60%로 시작한다. 트럭은 모든 터미널의 수요량이 0이 아닌 경우 계속해서 운행한다. 터미널의 거리는 터미널 간 좌표를 기준으로 하버사인 거리(km)

를 계산하여 적용한다[9]

표 4. 실험 환경  
Table. 4. Experimental environment

	Specifications
OS	CentOS 7
CPU	Intel(R) Xeon(R) Silver 4208 CPU @ 2.10GHz
Memory	128GB
IDE	Visual Studio Code 1.76.2
Program Language	Python 3.11.5
Module	Numpy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Networkx, Folium, Haversine, Collections,

### 4.2 성능 평가

본 연구에서는 1년 간의 하루 당 트럭이 총 운행한 거리의 평균, 대여 성공 평균, 대여 실패 평균, 반납 성공 평균, 반납 실패 평균, 트럭이 방문한 터미널 개수를 측정하여 평균으로 성능을 평가한다.

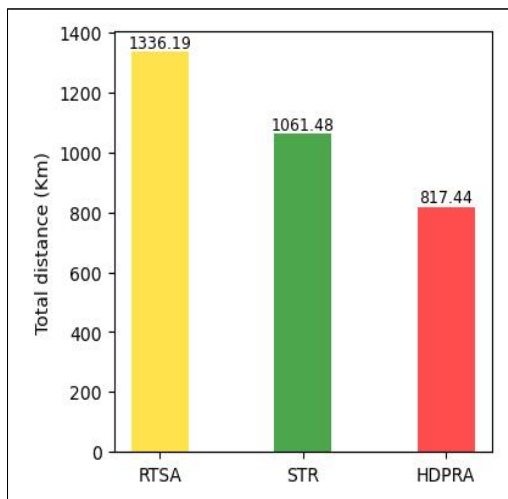


그림 7. 트럭의 총 운행 거리  
Fig. 7. Total distance of the truck

#### 4.2.1 운행 거리

운행 거리는 트럭이 운행한 총 거리의 평균은 재배치 비용을 보여주는 지표이다. 그림 7과 같이 RTSA가 1336.19km로 가장 많은 거리를 운행하였으며 STR은 1061.48km로 다음으로 긴 거리를 운행하였다. HDPRA은 817.44km로 가장 적은 거리를 운행한다. 이는 가장 적은 비용으로 터미널 간의 자전거 재배치를 효과적으로 수행할 수 있음을 뜻한다.

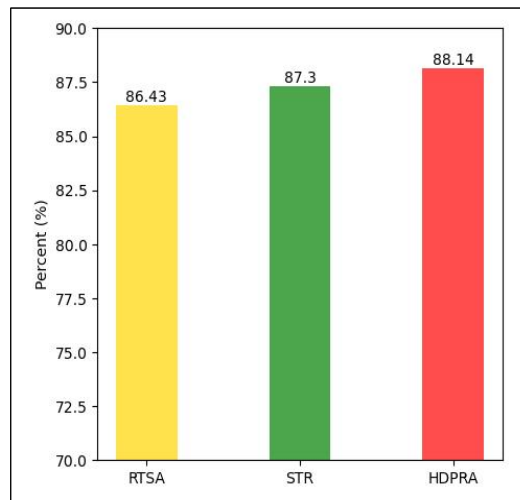


그림 8. 대여 성공 평균의 백분율  
Fig. 8. Average successful rental rate

#### 4.2.2 대여 성공/실패 확률

대여 성공/실패 횟수는 자전거 이용자가 터미널에 접근했을 때 언제든지 자전거를 대여하여 이용할 수 있음을 보여주는 지표이다. RTSA는 대여 성공의 평균 횟수 6205.12회로 가장 낮고 대여 실패의 평균 횟수 974.12회로 가장 높은 것을 볼 수 있다. 본 연구에서 제안한 HDPRA는 대여 성공의 평균 횟수 6347.45회로 가장 높고 대여 실패 평균 횟수가 831.8회로 가장 낮았다. 이를 백분율로 표현하면 그림 8, 9와 같이 RTSA는 86.43%와 13.57%, STR은 87.3%와 12.7%, HDPRA는 88.14%와 11.86%로 확인할 수 있다. 이는 본 논문에서 제안하는 알고리

증이 이용자가 터미널 방문 시 자전거 대여가 가능할 수 있도록 가장 높은 성공률로 재배치를 수행함을 의미한다.

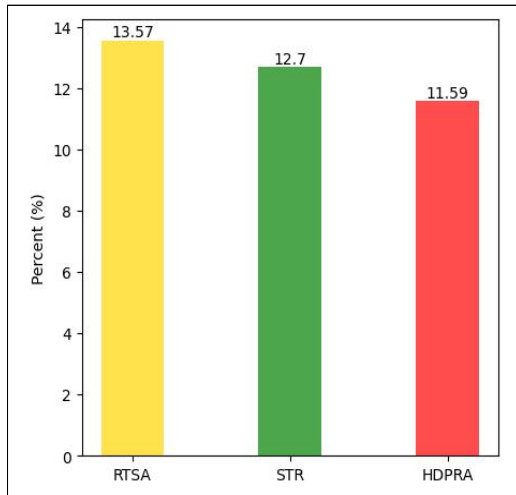


그림 9. 대여 실패 평균의 백분율  
Fig. 9. Average failure rental rate

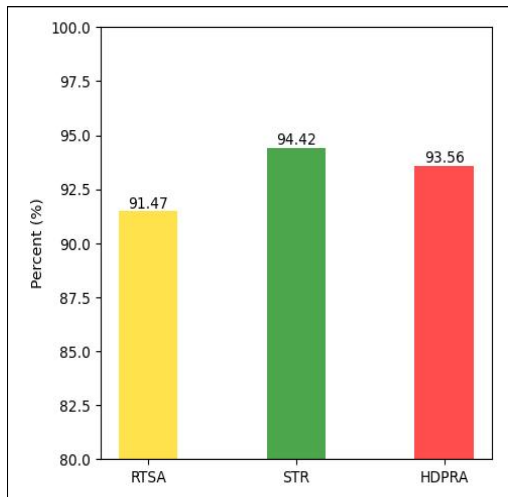


그림 10. 반납 성공 평균의 백분율  
Fig. 10. Average successful return rate

#### 4.2.3 반납 성공/실패 확률

반납 성공/실패 평균은 자전거를 대여했던 이용자가 터미널이 꼭 차 반납을 못하는 경우에 대한 확률

이다. 단순 횟수로는 RTSA는 반납 성공의 평균이 5675.51회로 가장 낮고 다음으로 STR이 5917.71회, HDPRA가 5938.96회로 가장 높았다.

그리고 반납 실패 평균은 RTSA가 529.59회로 가장 높았고 STR과 HDPRA는 각각 349.91회, 408.46회로 STR이 반납 실패 평균이 가장 낮았다. 그림 10, 11과 같이 백분율로 표현 시 RTSA가 91.47%와 8.53%의 각각 성공과 실패 확률을, STR은 94.47%와 5.53%의 확률을, 마지막으로 HDPRA는 93.56%와 6.44%의 확률을 보인다. 이는 STR이 각각 0.9% 더 우수해 보이나 그림 7의 트럭 총 운행 거리와 같이 고려하면 실제로는 HDPRA가 더 효율적임을 알 수 있다.

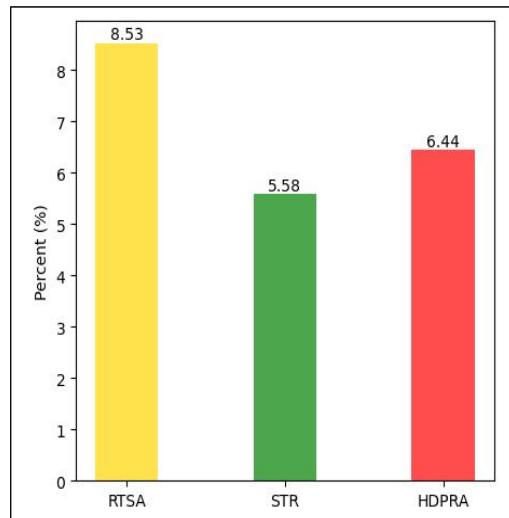


그림 11. 반납 실패 평균의 백분율  
Fig. 11. Average failure return rate

#### 4.2.4 방문한 터미널 개수

트럭이 방문한 터미널 개수의 평균은 원활한 대여 또는 반납을 위한 재배치를 시행한 횟수를 나타내는 지표이다. 그림 12와 같이 RTSA가 513.51회로 가장 낮고 다음으로 STR이 1395.86회로 가장 높았다. HDPRA는 692.57회이다. 해당 지표에서는 RTSA가 가장 효율적으로 보이지만 앞서 그림 7의 운행 거리와 그림 8, 9의 대여 성공과 실패 확률을 같이 고려



해 보았을 때 HDPRA가 방문 횟수도 적고 대여 시의 성능과 운행 거리 측면에서도 보다 우수하므로 실제로 효율적인 재배치 알고리즘임을 확인할 수 있다.

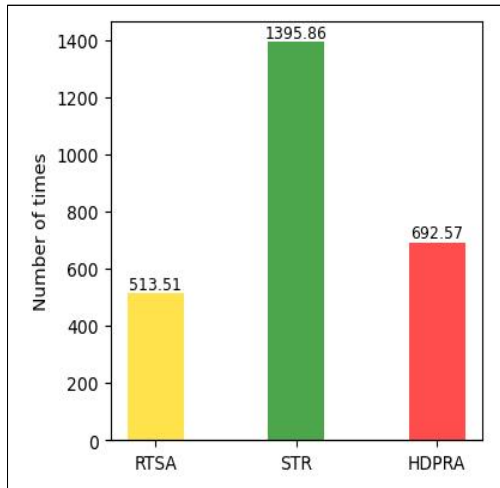


그림 12. 트럭이 방문한 터미널 개수  
Fig. 12. Visited number of terminals by truck

### 5. 결론

2008년부터 서비스가 시작된 ‘누비자’는 대여를 하는 터미널과 반납을 하는 터미널이 다른 One Way 방식의 자전거 대여 서비스이다. 누비자 서비스는 연도가 늘어날수록 터미널의 수와 자전거의 수는 증가하고 있다. 하지만 지역적 특성에 의해서 특정 시간대와 장소에 여러 곳의 자전거가 몰리는 경우가 발생하기도 하고, 반대의 경우로 한 터미널의 수요가 많아 자전거가 부족한 경우도 발생한다. 따라서, 자전거가 많이 몰려 과포화 상태의 자전거를 트럭을 이용하여 자전거가 부족한 터미널에 재배치시키는 일이 필요하다. 현재의 경우 운송 관리자가 실시간으로 모니터링하며, 관리자의 판단으로 업무가 이루어진다.

본 논문에서는 이러한 자전거 재배치가 더 체계적이고 효율적으로 이루어지도록 하는 알고리즘을 제시한다. 본 논문이 제시한 최우선 재배치 방법(Highest Priority Reallocation Scheme)을 무작위 알고리즘(Random Terminal Selection

Algorithm), 단기 재배치 전략(Short-term Relocation)과 비교하여 성능을 측정했다. 각각의 알고리즘이 트럭이 총 운행한 거리, 대여 성공 평균, 대여 실패 평균, 반납 성공 평균, 반납 실패 평균, 트럭이 방문한 터미널 개수를 1년간 측정하는 것으로 평가를 한다. 실험에서 가장 최적의 방법의 기준은 이용자가 언제 어디서나 대여, 반납이 가능하게 하며 적은 비용을 통해 재배치를 하는 것이다.

본 논문에서 제시한 최우선 재배치 알고리즘(HDPRA)이 총 운행 거리 평균 817.44km로 가장 낮은 비용을 보였으며 대여 성공 평균 횟수 6347.45회, 백분율 88.14%로 가장 높은 성능을 보여줌으로써 무작위 알고리즘(RTSA)과 단기 재배치 전략(STR)보다 우수함을 보여준다.

### REFERENCES

- [1] S. Ha, "The Current Situation of Public Bike Rental System 'NUBIJA' in Changwon," Korean Society of Transportation, vol. 7, no. 3, pp. 59-70, 2010.
- [2] Nubija vision, Changwon Cycle Racing Cooperation <https://nubija.com/v1/vision.do>
- [3] Y. Kim, "Demand Forecasting Model for Bike Relocation of Sharing Stations", Journal of Internet Computing and Services, vol.24, no. 5, pp107-120, 2023
- [4] Precautions, Changwon Cycle Racing Cooperation <https://www.nubija.com/info/aboutCaution.v>m
- [5] S. Park, "A study on measuring the level of inventory imbalance of Seoul's Bike Sharing System using Queuing Theory", Ewha Womans University Thesis Master, 2022.
- [6] Changwon-si, Gyeongsangnam-do\_Public bicycle quilt rental return history, <https://www.data.go.kr/data/15126280/fileData.do>
- [7] E. Lee and B. Son, "Optimal Rebalancing Strategy for Public Bike-sharing System in Seoul," Journal of Korean Society of Transportation, vol. 37, no. 1, pp. 27-38, 2019, doi: 10.7470/jkst.2019.37.1.027

[8] I. Jung, H. Uhm, and Y. Lee, "Demand Driven Reallocation in Bike Sharing System," Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society, vol. 43, no. 4, pp. 17-31, 2018, doi: 10.7737/JKORMS.2018.43.4.017

[9] H. Jeong, T. Lee, J. Kim, O. Kim, and C. Kim, "A dynamic relocation routing model for mitigating the hot-spot congestion of public bike: A case of Nubija in Changwon city," Journal of the Korean Data And Information Science Society, vol. 32, no. 1, pp. 75-95, 2021, doi: 10.7465/jkdi.2021.32.1.75

[10] J. Brinkmann, M. Ulmer, and D. Mattfeld, "Short-term strategies for stochastic inventory routing in bikesharing systems," Transportation Research Procedia, vol. 10, pp.364-373, 2015, doi:10.1016/j.trpro.2015.09.086

[11] S. Kim, J. Jang, C. Park, H. Lee, and J. Lee, "Shared mobility, utilization analysis and relocation methods to increase efficiency of Ddareungi," Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference , vol. 29, no. 1, pp. 91-93, 2021.

[12] Introduction to Seongsan-gu, <https://www.changwon.go.kr/cwportal/gu/11098/11606/11619.web>

---

저자약력

---

**윤 은 옥 (Bun-Ok Yun)**

[학생회원]



- 2020년 3월 ~ 현재: 창원대학교 학부 과정

〈관심분야〉 유무선 네트워크, IoT, 스마트팩토리

**김 강 민 (Kang-Min Kim)**

[학생회원]



- 2020년 3월 ~ 현재: 창원대학교 학부 과정

〈관심분야〉 IoT, 데이터 분석, 머신러닝

**박 혜 성 (Hye-Sung Park)**

[학생회원]



- 2020년 3월 ~ 2024년 2월: 창원대학교 학부 졸업
- 2024년 3월 ~ 현재: 창원대학교 석사 과정

〈관심분야〉 AI, 머신러닝, 데이터 분석

**정 성 옥 (Sung-Wook Chung)**

[중신회원]



- 2010년 8월: CISE dept. Univ. of Florida, USA, (Ph.D)
- 2010년 10월 ~ 2012년 2월: KT 종합기술원 중앙연구소 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재: 창원대학교 컴퓨터공학과 정교수

〈관심분야〉 IoT, 스마트모빌리티, HPC, 실시간 분산 멀티미디어 시스템