

대중교통 분담률 제고를 위한 공공자전거 무인대여소 입지 결정

Location Decision for Public Bicycle Sharing Stations to Maximize Transit Mode Share

저자 (Authors)	이은호, 김동규, 조미정, 고승영 Lee, Eunho, Kim, Dong-Gyu, Jo, Mi-Jeong, KHO, Seung-Young
출처 (Source)	대한교통학회 학술대회지 69 , 2013.10, 449-453(5 pages) Proceedings of the KOR-KST Conference 69 , 2013.10, 449-453(5 pages)
발행처 (Publisher)	대한교통학회 Korean Society Of Transportation
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07499360
APA Style	이은호, 김동규, 조미정, 고승영 (2013). 대중교통 분담률 제고를 위한 공공자전거 무인대여소 입지 결정. 대한교통학회 학술대회지, 69, 449-453
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.182.*** 2020/10/27 10:03 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

대중교통 분담률 제고를 위한 공공자전거 무인대여소 입지 결정

이은호^{1*} · 김동규² · 조미정² · 고승영¹

¹서울대학교 건설환경공학부, ²서울대학교 건설환경종합연구소

Location Decision for Public Bicycle Sharing Stations to Maximize Transit Mode Share

LEE, Eunho^{1*} · KIM, Dong-Kyu² · Jo, Mi-Jeong² · KHO, Seung-Young¹

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

²Integrated Research Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

Abstract

본 연구는 공공자전거제도를 활용하여 대중교통의 접근성을 개선함으로써 대중교통 수단 분담률을 제고하는 방안을 제시한다. 일정한 예산 제약 하에서 대중교통 분담률을 극대화할 수 있는 공공자전거의 무인대여소 입지를 결정하는 문제를 구성하기 위하여 잘 알려진 maximum covering model의 구조를 활용한다. 목적함수는 접근시간의 개선을 통한 대중교통 수요의 증가를 반영하기 위하여 승용차와 대중교통을 대안으로 하는 이항로짓모형으로 반영한다. 구축된 모형은 혼합정수비선형문제로서 branch and bound를 이용하여 최적해를 계산한다. 예제 네트워크를 통해 분석한 결과 본 모형에서 도출된 최적 입지의 경우 공공자전거제도를 도입하기 전에 비해 대중교통으로의 전체 평균 접근시간이 40 % 이상 감소하는 것으로 나타났으며, 약 4.4 %의 수요가 승용차로부터 대중교통으로 전환된 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 가정을 완화하기 위한 상세 자료의 구축과 효율적인 해법 알고리즘의 개발을 통하여 공공자전거제도의 신규 도입지역 및 기 운영지역의 대중교통 분담률 제고에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

Key Words

공공자전거제도, maximum covering model, 이항로짓모형, 혼합정수비선형문제, branch and bound

I. 서론

정부에서는 도로의 혼잡 완화 및 자동차의 온실가스 배출 저감을 위하여 대중교통 이용을 장려하고 있으며, 버스 중앙 차로 제도나 수단간 환승 제도과 같은 대중교통 활성화 방안을 마련하고 있다(국토해양부, 2011). 이러한 대중교통 활성화 방안의 목적은 승용차 이용 수요를 대중교통 수요로 전환시키는 것이다. 정부의 이러한 노력에도 불구하고 대중교통의 수단 분담률을 높이는 데에는 한계가 발생한다. 이러한 한계의 하나의 원인은 대중교통으로의 접근성이 승용차에 비해 떨어져 대중교통으로의 수단전환에 큰 걸림돌로 작용하기 때문이다. 따라서 대중교통 수요를 높이기 위하여 대중교통 정류장으로서의 접근 시간 및 환경을 개선할 필요가 있다.

대중교통으로의 접근성을 향상시키기 위한 하나의 방안으로 공공자전거제도(Public bicycle sharing system)가 있다. 공공자전거제도는 자전거 무인대여소가 시내 곳곳에 위치하여 대여한 곳에 다시 자전거를 반납할 필요 없이 원하는 장소에 반납이 가능하도록 운영되는 시스템이다. 이는 단거리 통행에 큰 효과가 있으며, 특히 대중교통으로의 접근성을 높일 수 있는 연계 수단으로 평가받고 있다(Demalio, 2009). 또한 공공자전거제도는 그 자체로도 통행 수단이 될 수 있으며, 탄소 배출이 거의 없는 '녹색 수단'이라고 할 수 있다.

공공자전거 무인대여소가 주거 지역 또는 업무지역과 대중교통 정류장 근처에 위치하게 되면, 대중교통을 이용하려는 사람들의 접근시간을 줄일 수 있을 것이다. 공공자전거제도 도입을 통해 대중교통 수요를 증대하기 위해서는 공공자전거 무인대여소의 입지를 결정하는 것이 중요하다. 이는 예산 제약으로 인하여 모든 장소에 자전거 무인대여소를 설치 할 수는 없기 때문에, 대중교통 수요를 최대화할 수 있는 위치에 공공자전거 무인대여소를 입지시켜야 하기 때문이다. 하지만 대부분의 공공자전거제도

에 관한 연구는 무인대여소의 시스템적인 측면이나 정책 자체에 관한 연구였으며, 무인대여소의 입지에 관한 연구는 많지 않은 실정이다. 이는 공공자전거 무인대여소의 입지가 외생적으로 결정되는 경우가 많은 것에 기인한다고 유추할 수 있다.

앞서 살펴본 바와 같이, 공공자전거제도가 대중교통 이용을 활성화시킨다는 평가를 받고 있긴 하지만 대중교통 수단 분담률을 최대화시키기 위한 입지선정 연구는 아직 미비하므로, 본 연구에서는 일정한 예산 제약 하에서 대중교통 이용수요를 최대화시키는 공공자전거 무인대여소의 입지선정에 관한 연구를 수행하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 maximum covering location의 구조를 활용하여 공공자전거 무인대여소의 입지수를 고정시킨 상태에서 대중교통수요를 최대화하는 입지모형을 제시하고, 예제 네트워크를 통하여 모형을 적용해 봄으로써 모형의 의미를 해석해 보고자 한다.

II. 기존연구 고찰

Beimborn et al.(2003)의 연구에서는 대중교통의 접근성과 연결성이 수단 선택과 수단 의존성(mode captivity)에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 해당 연구에서는 승용차와 대중교통의 통행시간보다 수단으로의 접근성, 대기시간 및 환승시간 등이 수단 선택에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 이를 통해 대중교통 활성화를 위해서 대중교통 수단으로의 접근성을 향상시키는 것이 필요함을 도출할 수 있었다. 본 연구에서는 대중교통 수단의 접근성 향상을 위한 다양한 방안 중에서 공공자전거제도를 도입하였으며, 자전거 관련 연구에 대해서 살펴보기로 한다.

Krizek et al.(2009)의 연구에서는 자전거 시설이 자전거 통근 통행에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 연구결과 새로운 자전거 시설이 설치된 인근지역에서는 자전거 수단을 이용한 통근통행이 증가하는 것으로 나타났다. Bachand-Marleau et al.(2011)의 연구에서는 공공자전거제도의 이용과 이용 빈도에

* : 책임저자: assariba@snu.ac.kr, Phone: +82-2-880-7372, Fax: +82-2-873-2684

영향을 미치는 요인들을 분석하였으며, 자전거 대여소의 위치에 따라 공공자전거 사용에 상당히 큰 영향을 미친다는 사실을 밝혀 내었다. 특히, 주거지역 주변에 자전거 대여소가 입지하게 되면 자전거 수단을 이용하는 수요가 크게 높아지는 것으로 분석되었다. 이처럼 자전거시설의 입지에 따라 자전거 이용수준에 커다란 영향을 미치는 것으로 분석되는 바, 성공적인 공공자전거제도의 정착을 위해서는 시설의 위치를 선정하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

공공자전거 무인대여소의 입지를 네트워크설계와 관련지어 연구한 것은 Lin and Yang(2011)의 연구가 시초라고 볼 수 있다. 해당 연구에서는 자전거 무인대여소의 입지 및 각 무인대여소간의 자전거 도로의 구조, 각 통행자의 통행 경로를 결정하기 위하여 이용자비용과 운영자비용 등을 고려한 총 비용을 최소화시키는 모형을 제시하였다. Guo et al.(2012)의 연구에서는 관광지에서의 공공자전거 무인대여소 입지를 결정하기 위하여 RP/SP 결합 설문조사를 통해 관광 통행의 특징을 파악하고, 무인대여소 후보지들을 군집화(clustering)하여 전체 자전거 이동 경로와 군집간의 중첩을 최소화하는 모형을 이용하여 중국의 관광지인 Xuanwo Lake에서의 자전거 무인대여소 입지를 선정하였다. 앞서 살펴본 자전거 입지관련 연구들은 자전거 수단에만 한정하여 연구를 수행하고 있어 유기적으로 연계되는 교통수단의 특성을 반영하지 못하고 있다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 대중교통 수단 분담율의 증대를 위하여 공공자전거제도 도입을 통해 대중교통으로의 접근성을 개선시키고자 한다. 그리고 자전거이용률을 향상시키기 위하여 대중교통과의 연계에 고려한 자전거 시설입지모형연구를 제시함으로써 승용차수요를 대중교통으로 전환시켜 대중교통수요 최대화를 도모하고자 한다.

III. 공공자전거 무인대여소 최적입지 모형

1. 모형의 개념 및 전제

본 모형의 기본 개념은 다음과 같다. 일반적으로 공공자전거 제도를 운영하지 않는다면 각 통행자는 기점에서 대중교통 정류

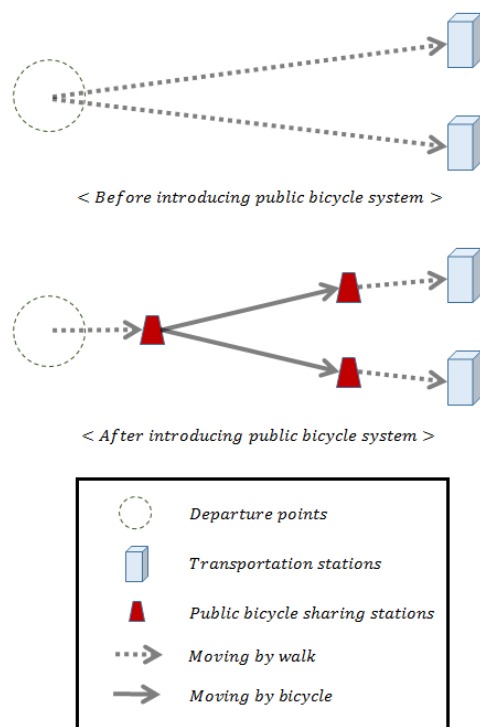


Figure 1. Moving patterns before and after introducing public bicycle sharing systems

장까지 도보로 이동하게 되지만, 자전거 무인대여소를 이용자 출발지 주변과 대중교통 정류장 인근에 입지시킨다면 각 통행자는 출발지에서 출발지 주변의 자전거 무인대여소까지 도보로 이동한 후 자전거 수단을 대여하여 대중교통 정류장 근처의 자전거 무인대여소까지 이용한 후 자전거를 반납하고 대중교통 정류장까지 도보로 이동함으로써 출발지에서 대중교통 정류장으로의 접근시간을 줄일 수 있게 된다. 앞서 언급한 본 연구의 통행 형태를 도식화하면 Figure 1과 같다.

즉, 공공자전거제도를 도입함에 따라 대중교통 정류장으로의 접근시간이 감소하여 대중교통 수단의 효율이 변화하고, 이에 따라 수단 분담율이 변화하면서 대중교통수요가 증가되는 것이다.

본 연구의 전제사항은 다음과 같다.

첫째, 통행자들은 출발지에서 대중교통 정류장까지의 접근시간이 단축될 수 있는 경우 모두 자전거를 이용한다.

둘째, 자전거 무인대여소에서의 자전거 채고 및 저장용량은 고려하지 않는다. 즉, 자전거를 대여하고자 하는 이용자는 모두 대여가능하며, 자전거 무인대여소에서의 저장 공간이 항상 충분하므로 언제든지 반납가능하게 된다.

셋째, 각각의 대중교통 정류장은 독립적이다. 따라서 각각의 대중교통 정류장에서의 수단을 개별적인 것으로 판단하며, 각 정류장 선택 시 정류장에 따른 효용은 고정한다.

넷째, 각 통행은 출발지에서 대중교통 정류장으로의 통행만을 고려한다. 즉, 수요는 출발지에서 대중교통 정류장 별로 이동하는 통행으로 구성되며, 각 통행은 승용차를 이용하는 수요와 대중교통을 이용하는 수요로 구분된다. 또한 승용차와 대중교통을 선택하는 수요는 대중교통 정류장으로의 접근시간에 따른 효용에 의거해 변화하며 총 수요는 고정된다.

앞서 제시한 모형의 개념과 전제를 바탕으로 수리모형을 구축한다.

2. 모형 구축

본 연구에서는 잘 알려진 시설입지모형인 maximum covering location의 구조를 활용하며, 수단선택모형으로 이항 로짓모형을 사용한다.

Maximum covering location 모형은 Church and Reville(1974)의 연구에서 처음 제시된 모형으로, 입지개소 수를 고정시킨 후 수요를 최대화 시키는 입지를 선택하는 모형이다(Daskin, 1995). 본 연구는 예산 제약 하에서 이용자의 통행기점 및 대중교통 정류장인근 공공자전거 무인대여소 후보지를 토대로 대중교통 수요를 최대화시키는 최적입지를 선택하고자 하므로 앞서 제시한 모형을 근간으로 구축한다.

이항로짓모형은 확률효용모형을 기본으로 하는 모형으로 확률효용함수의 확률적 효용의 분포가 로지스틱 분포를 따르며 독립적이고 동일하게 분포되어있다고 가정되어 있다. 이러한 이항 로짓모형의 가정은 통계적으로 다소 엄격하지만, 프로빗모형에 비해 계산이 용이하다는 장점이 있으므로(Ben-Akiva, 1985) 본 연구에서의 수단선택모형으로 적용한다.

본 연구의 표기법은 다음과 같다.

- I : 출발지 집합 ($i \in I$)
- M : 대중교통 정류장 집합 ($m \in M$)
- N : 자전거 무인대여소 후보지 집합
- k : 출발지 주변의 자전거 무인대여소 후보지 ($k \in N$)
- l : 대중교통 정류장 주변의 자전거 무인대여소 후보지 ($l \in N$)
- O_{im} : 출발지 i 에서 대중교통 정류장 m 으로 대중교통을 이용하기 위하여 이동하는 수요 및 승용차를 이용하여 이동하는 수요

- U^a : 승용차의 결정적 효용
 V_m : 대중교통 정류장 m 의 결정적 효용
 U_{im} : 출발지 i 에서 대중교통 정류장 m 의 효용
 S^w, S^b : 도보 속도 및 자전거 속도
 D_{ik}, D_{ml} : 출발지 i 에서 출발지인근 자전거 무인대여소 후보지 k 간의 거리, 대중교통 정류장 m 과 자전거 무인대여소 후보지 l 간의 거리
 D_{kl} : 출발지 인근 자전거 무인대여소 후보지 k 와 대중교통 정류장 주변의 자전거 무인대여소 후보지 l 간의 거리
 D_{im} : 출발지 i 와 대중교통 정류장 m 간의 거리
 T_{ik}^w : 출발지 i 에서 출발지 인근 자전거 무인대여소 후보지 k 까지의 도보 통행시간 (D_{ik}/S^w)
 T_{kl}^b : 자전거 무인대여소 후보지 k, l 간의 자전거 통행시간 (D_{kl}/S^b)
 T_{lm}^w : 자전거 무인대여소 후보지 l 에서 대중교통 정류장 m 까지의 도보 통행시간 (D_{lm}/S^w)
 T_{im}^w : 출발지 i 에서 대중교통 정류장 m 까지의 도보 통행시간 (D_{im}/S^w)
 t_{im} : 출발지 i 에서 대중교통 정류장 m 으로의 접근시간
 ρ : 접근시간 모수 값
 R : 대여/반납 소요시간 상수
 P : 입지할 총 자전거 무인대여소 개수
 X_k : k 에 자전거 무인대여소를 세우면 1, 아니면 0
 Y_l : l 에 자전거 무인대여소를 세우면 1, 아니면 0
 C_{im}^{kl} : 출발지 i , 자전거 무인대여소 k, l , 대중교통 정류장 m 을 경유하는 경로를 선택할 경우 1, 아니면 0

본 연구에서 제시하는 모형은 혼합정수비선형문제(MINLP, Mixed Integer Non-Linear Program)로서, 대중교통수요를 최대화시키기 위하여 정해진 개수의 공공자전거 무인대여소를 어느 후보지에 위치시킬 것인지를 결정한다. 이 때, 자전거 무인대여소의 위치에 따라 전체 경로의 접근시간이 결정되며, 이에 따라 수단 분담률을 결정하는 효용이 접근시간에 따라 변화하게 된다. 본 연구에서 제시하는 모형식은 다음과 같다.

MAXIMIZE 대중교통수요

$$= \sum_i \sum_m O_{im} \frac{e^{U_{im}}}{e^{U_{im}} + e^{U^a}} \quad (1)$$

제약조건

$$\sum_k X_k + \sum_l Y_l \leq P \quad (2)$$

$$C_{im}^{kl} \leq \frac{X_k + Y_l}{2} \quad (\forall i, m, k, l) \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_l C_{im}^{kl} \leq 1 \quad (\forall i, m) \quad (4)$$

$$t_{im} = \sum_k \sum_l \{ C_{im}^{kl} (T_{ik}^w + T_{kl}^b + T_{lm}^w + R) \} + T_{im}^w (1 - \sum_k \sum_l C_{im}^{kl}) \quad (\forall i, m) \quad (5)$$

$$U_{im} = V_m + \rho t_{im} \quad (\forall i, m) \quad (6)$$

$$X_k, Y_l, C_{im}^{kl} = \{0, 1\} \quad (\forall i, m, k, l) \quad (7)$$

식 (1)은 본 연구의 목적함수로서 대중교통 수요를 최대화시키는 것을 의미한다. 식 (2)는 입지할 자전거 무인대여소의 최대 개수를 제약하는 것으로, 출발지 주변의 자전거 무인대여소 후보지와 대중교통 정류장 인근의 자전거 무인대여소 후보지는 전체 후보지 중에서 P 개 이하의 후보지에 자전거 무인대여소를 설치할 수 있다. 식 (3)은 출발지에서 대중교통 정류장으로 이동 시, 자전거를 이용하기 위해서는 출발지 주변의 자전거 무인대여소 후보지 k 와 대중교통 정류장 인근 자전거 무인대여소 후보지 l 둘 모두에 자전거 무인대여소가 입지해야 한다는 것을 나타낸다. 즉, $X_k = 1, Y_l = 1$ 인 경우에만 $C_{im}^{kl} = 1$ 이 될 수 있다. 식 (4)는 출발지에서 대중교통 정류장으로 이동할 때 자전거를 이용하는 경우에는 자전거 정류장간의 경로가 하나 이상이 될 수 없다는 것을 의미한다. 식 (5)는 출발지에서 대중교통 정류장까지 이동할 때의 접근시간을 나타내는 것으로, 자전거를 이용하는 경우 ($C_{im}^{kl} = 1$ 인 경우)의 대중교통 정류장으로의 접근시간은 출발지에서 자전거 무인대여소까지의 도보시간(T_{ik}^w), 자전거 무인대여소 간에 자전거로 이동하는 시간(T_{kl}^b), 자전거 반납 후 대중교통 정류장까지의 도보시간(T_{lm}^w), 그리고 대여/반납 시간(R)으로 구성되며, 자전거를 이용하지 않는 경우($C_{im}^{kl} = 0$ 인 경우)의 대중교통 정류장으로의 접근시간은 출발지에서 대중교통 정류장으로의 도보시간(T_{im}^w)으로 구성하였다. 식 (6)은 출발지 i 에서 대중교통 정류장 m 간을 대중교통을 이용하기 위하여 이동하는 총 효용으로, 해당 효용은 대중교통 정류장 m 의 결정적 효용(V_m)에 접근시간으로 인한 효용(ρt_{im})의 합으로 구성된다. 식 (7)은 결정변수들의 이진조건을 의미한다.

IV. 모형의 적용

앞서 제시한 모형의 적용을 위해 Figure 2와 같은 예제 네트워크를 설정하였다. 예제 네트워크는 5개의 출발지, 5개의 대중교통 정류장, 8개의 공공자전거 무인대여소 후보지를 포함한다. 보행속도는 분당 60m, 자전거속도는 분당 336m, 대여/반납에 소요되는 시간은 3분으로 가정하며, 각 출발지에서 각 대중교통 정류장 혹은 승용차를 이용하는 총 수요와, 파라미터 및 각 수단의 결정적 효용 값, 각 요소간의 거리 등은 Table 1, Table 2, Table 3과 같다.

Table 1. Travel demand from departure points to transportations stations

Travel demand (trip)					
$i \backslash m$	1	2	3	4	5
1	300	350	500	80	-
2	250	400	600	100	-
3	50	320	450	200	-
4	110	230	300	180	170
5	-	-	470	220	350

Table 2. Parameter values and fixed utility of each mode

Parameter values					
U_a	ρ	R	S^w	S^b	P
-1.1	-0.03	3 min.	60 m/min.	336 m/min.	5 sites
Fixed utility of each mode (V_m)					
m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	
-1.3	-1.5	-1.6	-1.5	-1.6	

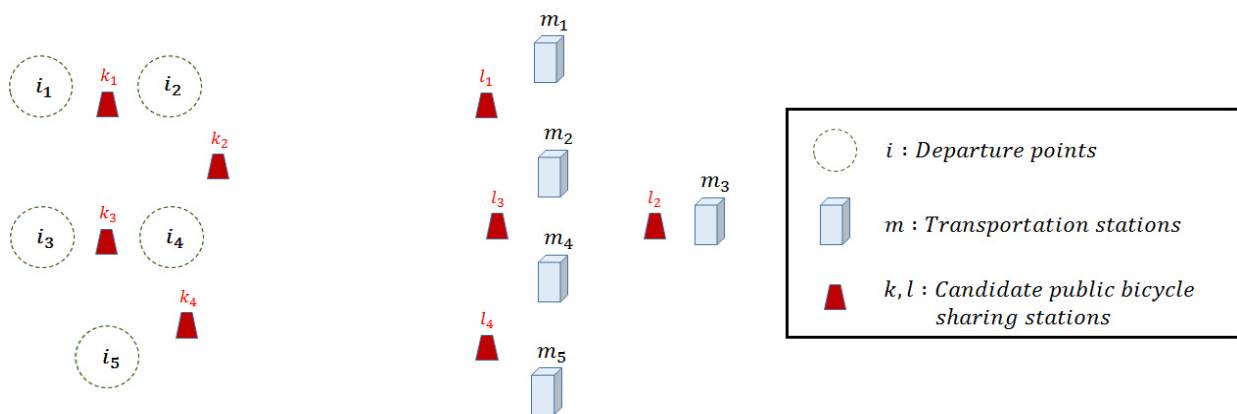


Figure 2. Example network

Table 3. The distance matrix of each element

Trip generation sites i - Transportation stations m (m)						Trip generation sites i - Bicycle stations k (m)				
$i \backslash m$	1	2	3	4	5	$i \backslash k$	1	2	3	4
1	895	953	1186	894	1033	1	100	249	241	389
2	732	792	1028	743	891	2	63	116	227	338
3	922	949	1160	846	952	3	238	261	102	230
4	764	786	997	684	796	4	225	140	61	123
5	924	915	1094	771	835	5	434	371	217	152
Bicycle stations l - Transportation stations m (m)						Bicycle stations k - Bicycle stations l (m)				
$l \backslash m$	1	2	3	4	5	$k \backslash l$	1	2	3	4
1	70	108	353	246	423	1	765	1024	808	857
2	310	183	65	267	309	2	634	878	661	699
3	196	86	281	120	289	3	777	996	783	781
4	395	272	327	89	103	4	722	907	703	670

본 모형은 혼합정수비선형문제로서 최적화 프로그램 패키지인 GAMS의 SCIP Solver를 이용하며, 풀이 알고리즘으로 branch and bound를 적용하여 문제를 해결한다.

예제네트워크 분석결과, 전체 8개의 공공자전거 무인대여소 후보지 중에서 5개의 무인대여소를 설치하고자 할 때, 출발지 주변 자전거 무인대여소 k_1 과 k_4 에, 대중교통 정류장 부근의 자전거 무인대여소 l_1, l_2, l_4 에 입지시키는 것이 대중교통의 수요를 최대화시키는 것으로 나타났다.

자전거 무인대여소가 입지한 후 출발지에서 대중교통 정류장까지의 통행 흐름은 Figure 3과 같다. 예를 들어, 출발지 i_1 에서 대중교통 정류장 m_3 로 가는 통행자는 i_1 에서 자전거 무인대여소 k_1 까지 도보로 이동한 후 자전거를 타고 자전거 무인대여소 l_2 로 이동하여 자전거를 반납한 후 다시 정류장 m_3 로 도보로 이동하

게 된다. 이 때, 자전거 무인대여소가 생기기 전에는 출발지 i_1 에서 대중교통 정류장 m_3 로 접근 시 이동하려면 도보로 약 20분 정도가 걸리게 되지만, 자전거 무인대여소를 설치 한 후에는 대중교통 정류장으로의 접근시간이 약 8.7분으로 11분이 단축된다. 전체 평균 접근시간은 자전거 무인대여소를 설치하기 전 약 15.7분에서 설치 후 약 8.9분으로 감소하게 된다.

자전거 무인대여소를 설치하기 전과 설치한 후의 각 수단의 부담률을 비교한 결과는 다음 Table 4와 Figure 4와 같다. 자전거 무인대여소를 세우기 전에는 대중교통의 수단 부담률이 29.1%, 승용차의 수단 부담률이 70.9%이었으나, 자전거 무인대여소를 설치한 후에는 대중교통 및 승용차의 수단 부담률은 각각 33.5%와 66.5%로 대중교통 수단 부담률이 약 4.4% 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

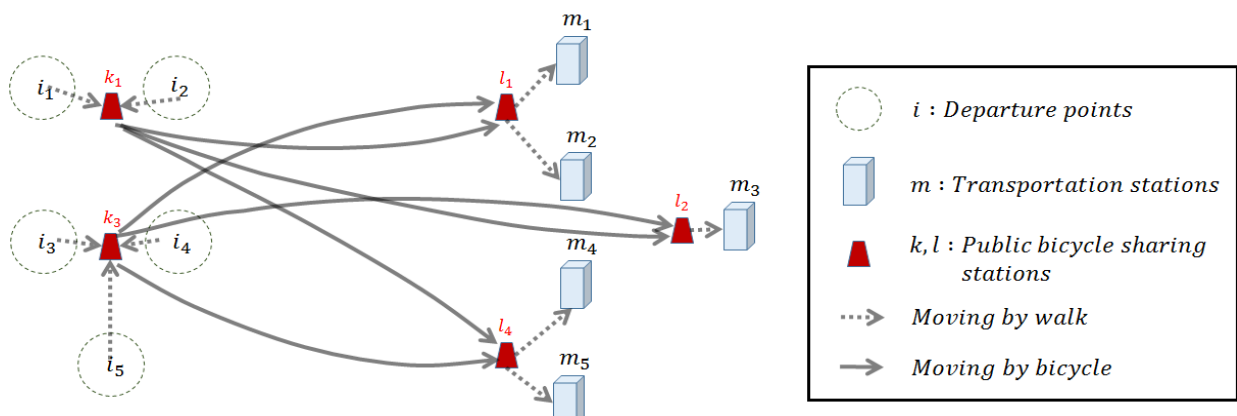


Figure 3. Trip flow after locating public bicycle sharing stations

자전거 무인대여소 l_2 는 대중교통 정류장 m_3 를 이용하는 통행자들에 의해서만 이용되지만, 대중교통 정류장 m_3 의 이용자 수가 다른 정류장에 비해 높기 때문에 l_2 에 자전거 무인대여소가 입지하게 되었다. 해당 예제 분석을 통하여 각 대중교통 정류장을 이용하는 수요가 자전거 무인대여소의 입지결정에 큰 영향을 미칠 것으로 유추할 수 있다. 이는 앞서 기존문헌 고찰에서 살펴본 자전거 무인대여소 입지선정모형인 자전거 무인대여소 간의 거리최소화모형 및 통행 비용최소화모형과의 차이점이라고 할 수 있다.

Table 4. Travel demand before and after introducing the public bicycle sharing stations

Before introducing public bicycle sharing systems (trip)					
Transit					Auto
m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	
250	393	602	244	149	3,992
1,638 (29.1 %)					(70.9 %)
After introducing public bicycle sharing systems (trip)					
Transit					Auto
m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	
279	445	736	265	162	3,744
1,886 (33.5 %)					(66.5 %)

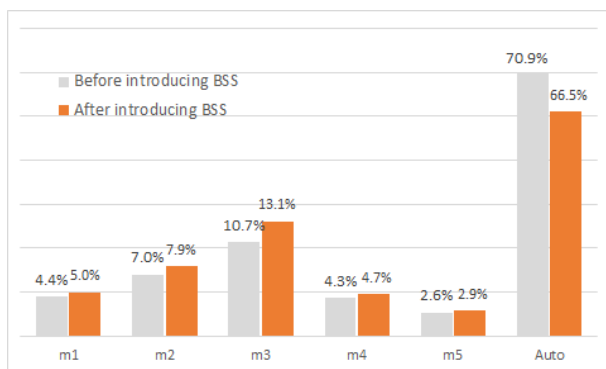


Figure 4. Mode share before and after introducing public bicycle sharing systems

V. 결론 및 향후과제

본 연구는 공공자전거제도를 활용하여 대중교통의 접근성을 개선함으로써 대중교통 수단 분담률을 제고하는 방안을 제시하였다.

정부에서는 도로혼잡을 완화시키기 위하여 대중교통의 이용을 장려하고 있으나 승용차에 비하여 대중교통의 접근성이 떨어져 승용차 이용자들의 수단 전환에 한계가 발생하고 있다. 대중교통의 접근성을 향상시키는 하나의 방안으로 공공자전거제도를 도입할 수 있으며, 공공자전거제도가 성공적으로 운영되기 위해서는 공공자전거 무인대여소의 위치가 중요한 요소로 작용하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 maximum covering location의 구조를 활용하여 자전거 무인대여소 최적입지모형을 구축하였으며, 접근시간의 개선을 통한 대중교통 수요의 증가를 반영하기 위하여 승용차와 대중교통을 대안으로 하는 이항로짓모형을 사용하였다.

예제 네트워크를 통하여 분석한 결과 8개의 자전거 무인대여소 후보지 중에서 5개의 입지를 선정하게 되면, 대중교통 정류장으로의 전체 평균 접근 시간이 약 15.7분에서 8.9분으로 40 % 이상이 감소하고, 대중교통 수단 분담률이 29.1 %에서 33.5 %로 4.4 % 정도 증가한 것으로 나타났다. 해당 결과는 자료구득

의 어려움으로 인하여 실측자료를 이용하지 못하였으나 본 연구에서 제시한 모형에 의하여 자전거의 무인대여소의 위치가 결정되고 수단 분담률이 전환되는 과정을 보여준다는 데 의의가 있다.

향후 효용함수의 변화에 따른 민감도 분석을 통하여 목적함수의 영향정도를 분석할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 제시한 모형식은 혼합정수비선형문제이기 때문에 대형 네트워크에 적용하기 위해서는 이항로짓모형을 부분 선형화하는 기법 등을 통하여 계산의 복잡도(Complexity)를 낮춰야 할 것이다. 그리고 본 연구에서 제시한 모형식은 자전거 무인대여소의 재고 및 대여 용량과 사용자 비용, 운영자 비용 등을 고려하지 않고 있으며 접근시간이 개선될 경우 모든 통행자들이 자전거를 이용한다고 가정하였으나, 현실적인 적용을 위해서는 용량 제약과 비용 제약을 추가하고 세분화된 통행 자료를 통해 모형을 구축하여야 할 것이다. 효율적인 해법 알고리즘 개발과 상세 자료 구득을 통해 이러한 가정 사항들을 완화하여 향후 공공자전거제도를 도입하고자 계획 중인 지역이나 기 운영지역에 활용되어 대중교통 분담률 제고에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 국토해양부(2011), “제2차 대중교통기본계획”, p.24.
- Bachand-Marleau J., Lee B. H., El-Geneidy A. M. (2012), Toward a Better Understanding of Factors Influencing Likelihood of Using Shared Bicycle Systems and Frequency of Use, TRB 2012 Annual Meeting, CD-ROM 12-0892.
- Beimborn E., Greenwald M., Lin X. (2003), Transit Accessibility and Connectivity Impacts on Transit Choice and Captivity, TRR, No.1835, TRB, pp.1-9.
- Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985), Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, The MIT press, pp.70-74.
- Church R., Velle C. R. (1974), The Maximal Covering Location Problem, Paper in Regional Science, Vol.32, No.1, pp.101-118.
- Daskin M. S. (1995), Network and Discrete Location Models, Algorithms, and Applications, Wiley-Interscience, New York, pp.110-130.
- Demailo P. (2009), Bike-Sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future, Journal of Public Transportation, Vol.12, No.4, Center for Urban Transportation Research, pp.41-56.
- Guo T., Liu J., Hu Q., Ye M. (2013), Allocation Optimization of Bicycle-Sharing System at Scenic Spots: A case Study, TRB 2012 Annual Meeting, CD-ROM 13-3792.
- Krizek K. J., Barnes G., Thompson K. (2009), Analyzing the Effect of Bicycle Facilities on Commute Mode Share Over Time, Journal of Urban Planning and Development, Vol.135, No.2, pp.66-73.
- Lin J. R., Yang T. H. (2011), Strategic Design of Public Bicycle Sharing Systems with Service Level Constraints, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.47, pp.284-294.
- Raviv T., Tzur M., Forma I. A. (2012), Static Repositioning in a Bike-Sharing Systems: Models and Solution Approaches, EURO Journal on Transportation and Logistics, pp.1-43.
- Vogel P., Mattfeld D. C. (2010), Modeling of Repositioning Activities in Bike-Sharing Systems, Proceeding of the 12th world conference on transport research, pp.11-15.