

휴리스틱 P-Median 알고리즘을 이용한 자전거주차장 최적입지선정

박보라* · 이규진** · 최기주***

Park, Bora*, Lee, Kyu Jin**, Choi, Keechoo***

Optimum Location Choice for Bike Parking Lots Using Heuristic P-Median Algorithm

ABSTRACT

As the importance of 'bike revitalization' has been emphasized in our society, many cities around the world put enormous efforts to create a bike-oriented transportation system. None the less, the results were not much productive and effective. In this study, to decide the location and number of the bike-parking facilities, the heuristic P-median algorithm has been applied with and without budget constraints. A test network with 30 candidate locations (centroids) were employed. The results show that the optimum number of bike parking lots with and without the budget limits are 9 and 20, respectively. Since the optimum locations determined in this study were congruous with the actual bike parking lots with high utilization rates, it is expected that the proposed methods can be applied for determining the optimum locations of the bike parking facilities elsewhere. Some limitations and future research agenda have also been discussed.

Key words : Bike parking lot, Selecting locations, P-median algorithm

초 록

최근 '자전거이용 활성화'가 서서히 사회적으로 중요성이 부각되면서 자전거 중심의 교통체계로의 전환을 위한 다양한 노력이 있어 왔으나 그 효과는 부진한 면이 있다. 본 연구에서는 자전거 주차장 등의 시설을 구축하는 데 있어서 필요한 주차장입지선정을 공학적 분석을 통해서 구현하여 보자는데 있다. 즉, 자전거 주차장의 최적 개수 및 위치를 찾는 방법을 제안하는 것이 목적인 바, 구축 모형은 Heuristic P-Median 알고리즘을 이용하였으며, 예산제약의 유무에 따라 모형을 각각 제시하였다. 모형의 적용을 위하여 시험 네트워크를 구축하고 30개의 예비 주차장 (센트로이드-수요지)을 구성하였다. 분석 결과 자전거 주차장의 입지점은 예산제약이 있는 경우 9개, 예산제약이 없는 경우 20개로 선정되었으며, 선정된 입지점들은 실제 자전거 주차장의 이용률이 높은 곳과 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 알고리즘은 실제 공용자전거 등의 대상지, 또는 신규 예상입지선정에 활용되어 질 수 있을 것으로 판단된다. 약간의 한계와 향후연구과제에 대해서도 논하였다.

검색어 : 자전거 주차장, 입지선정, P-median 알고리즘

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 승용차 중심의 수송체계로 인해 야기된 교통 혼잡문제와 환경문제가 이미 오래전부터 문제시되어 왔으며, 이를 해결하기

* 국토연구원 국토인프라연구본부 도로정책연구센터 (brpark@krihs.re.kr)

** 정희원 · 교신저자 · 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터

(Corresponding Author · TOD-based Sustainable City Transportation Research Center · transjin@ajou.ac.kr)

*** 정희원 · 아주대학교 교통시스템공학과 (keechoo@ajou.ac.kr)

Received May 25, 2012/ revised January 26, 2013/ accepted April 9, 2013

위한 여러 방안들 중 최근 ‘자전거이용 활성화’의 중요성이 크게 부각되었다.

자전거 이용활성화 정책들을 시행함에 있어 체계적이고 교통공학적인 분석이 수반되어야 함은 필수적이지만, 그동안 자전거 도로, 자전거 주차장 등의 자전거 인프라 시설을 구축하는 데 있어 공학적 분석이 수반되지 않았던 것이 사실이다. 이는 최근 몇 년간 자전거 인프라는 증가하였음에도 오히려 자전거 수단분담률은 감소하였으며, 잘못 설치된 자전거 기반시설들로 인하여 발생하는 문제점들이 입증해주고 있다. 지리적으로 부적절한 곳에 설치된 자전거 주차장은 자연스레 이용률이 매우 낮아지게 되는데, 이러한 자전거 주차장들은 도시 미관을 훼손시킬 뿐만 아니라 예산 낭비의 대표적인 사례로 손꼽힌다.

기본적으로 자전거 주차장은 이용자 측면에서 접근이 쉽고 수요를 효과적으로 포함할 수 있는 지점에 위치되어야 한다. 여러 공공시설물의 입지선정문제에 대한 연구가 수행되고 있으나 자전거 주차장의 위치선정에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 자전거 주차장의 위치선정시 보다 공학적으로 접근하기 위하여 Heuristic P-Median 모형을 적용하여 자전거 주차장의 위치를 결정할 수 있는 방법론을 제시하고, 이를 활용한 자전거 주차장의 효율적인 공급을 통해 자전거 이용 활성화가 실질적으로 이루어질 수 있는 토대를 마련하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 연구방법 및 절차

본 연구는 그동안 공학적 분석기반 없이 자전거 주차장 설치 위치를 결정해왔던 것에 대한 문제점을 지적하고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 입지선정문제와 관련된 국내·외 연구 및 이론들을 검토한다.

본 연구에서 사용한 자전거 주차장의 위치선정방법은 P-Median Algorithm과 포함문제가 근간을 이루고 있어 이에 대한 적용의 근거 및 방법을 기술한다. 자전거 주차장의 위치선정 방법은 먼저

적정한 총 설치개수를 찾고, 찾아낸 적정 설치개수에 대하여 자전거 주차장의 적정 위치를 선정하는 단계로 수행되며 이에 대한 모형을 제시하도록 한다.

제시한 모형의 적용을 위하여 간단한 시험네트워크를 구축하고 자전거 주차장 적정 위치를 선정하는 분석을 수행하도록 한다.

2. 기존 연구 고찰

2.1 이론적 고찰

입지선정문제는 일반적으로 목적함수와 제약식의 다양한 형태에 따라 제한용량이 없는 입지선정문제(Uncapacitated Facility Location Problem : UFLP), 제한용량이 있는 입지선정문제(Capacitated Facility Location Problem : CFLP), P-센터 문제(P-Center Problem), P-Median 문제(P-Median Problem) 등으로 구분되어진다. 특히 P-Median 문제는 공장, 창고, 물류센터 또는 공공시설 등을 설치할 수 있는 후보입지가 주어져 있다고 가정하고 각 후보입지는 소비자 수요 발생지역을 나타내며 각 시설로부터 각 소비자에게 제품을 수송할 때 소요되는 단위 당 수송비와 수송거리가 주어져 있다고 가정할 때, 최소의 수송비용으로 모든 소비자의 수요를 충족시킬 수 있는 p개 이하의 시설 설치 입지를 결정하는 문제로써, 경찰서, 소방서, 전화국, 공공의료시설, 환경처리시설 등과 같은 공공시설이나 백화점, 대형할인매장, 자동차영업소 등과 같이 경쟁사들과의 경쟁이 치열한 민간시설의 입지선정 문제나 통신 및 전력수송 집선장치 위치선정 문제, 파이프라인 시스템 설계문제 등과 같은 많은 응용분야에서 자주 발생하는 문제이다(조건, 2004)

자전거 주차장은 공공시설로서 누구나 접근이 용이하고 편리한 곳에 위치해야 하며, 따라서 본 연구에서는 시설물(여기에서는 자전거 주차장)을 이용하는 수요자(여기에서는 자전거 주차장 이용자)를 위해 시설물의 위치에서 평균거리 또는 평균 통행시간, 평균 통행비용이 최소화되도록 위치를 선정하는 알고리즘인 P-Median Algorithm을 적용함이 적합하다고 판단하였다. 본 연구의 이론적 근간을 이루고 있는 P-Median Algorithm의 기본 모형은 다음과 같다.

Inputs:

h_i = 수요지 i 의 수요량

d_{ij} = 수요지 i 와 시설물의 입지점 j 의 거리

p = 시설물의 수

Decision variables:

$x_j = 1$, 만약 노드 j 에 시설물이 설치되면,

0, 그렇지 않으면.

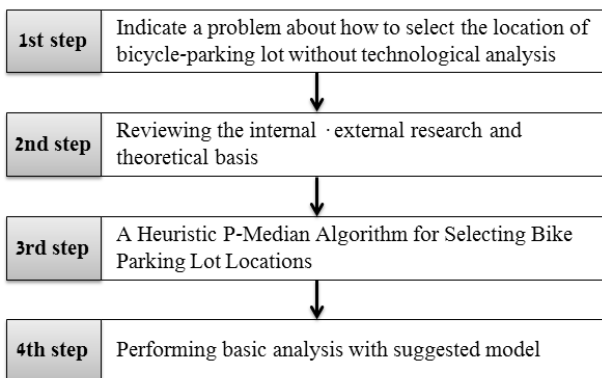


Fig. 1. Research Procedure

$y_{ij} = 1$, 만약 노드 j 에 시설물이 노드 i 의
 총수요를 충족시키면,
 0 , 그렇지 않으면.

Subject to $Min \sum_i \sum_j h_i d_{ij} y_{ij}$ (1-1)

$\sum_j y_{ij} = 1$ (for all i) (1-2)

$\sum_j x_j = p$ (1-3)

$y_{ij} \leq x_j$ (for all i, j) (1-4)

$y_{ij} \in 0, 1$ (for all i, j) (1-5)

$x_j \in 0, 1$ (for all j) (1-6)

Eq. (1-1)에 나타난 목적함수는 시설물과 수요자간의 총 통행거리를 나타내는 것이며, 수요지 i 와 시설물의 입지점 j 의 거리 d_{ij} 는 네트워크상에서 결절점 사이의 최단경로를 나타낸다. Eq. (1-2)의 제약조건은 각 수요지, 즉 수요발생지점은 반드시 하나의 시설물에 의해 서비스를 받음을 의미하며, 중복 서비스나 서비스 부재지역이 존재하지 않음을 나타내는 것이다. Eq. (1-3)의 제약조건은 자신의 지역에 있는 시설물에 의해 서비스를 받는 지역(수요지)의 수는 시설물의 수와 같음을 나타낸다. Eq. (1-4)의 제약조건은 만약 $x_j = 0$ 이면 j 지역에 시설물이 존재하지 않으며 i 지역 이용자는 j 지역의 시설에 할당되지 않으므로 $y_{ij} = 0$ 이 되고, 만약 $x_j = 1$ 이면 j 지역에 시설물이 존재함을 의미하므로 y_{ij} 는 0 혹은 1의 값을 가지게 되는 두 가지 경우를 동시에 고려하여 나타낸 것이다. (1-5)과 (1-6)은 결정변수 y_{ij}, x_j 가 0 혹은 1의 값을 가질 수 있도록 하는 제약조건들이다.

2.2 기존 연구 검토

입지선정문제에 관한 국내·외 연구는 다음과 같다.

Son, M. C.(1986)은 도청까지 이동하는 소요되는 최소비용 지점을 확인하기 위해 접근도 분석으로 Location-Allocation 모델을 사용하였고, 거리개념에 따른 접근도를 산출한 후 이 값을 z-score로 변환하여 상호관련성을 검토하였다.

Kim, K. S.(1991)은 인접지역에서 여러 가지 공공 서비스를 받고 있는 시흥시를 대상으로 청사시설 위치 결정에 관한 연구를 하였다. Werber모형과 Rawls모형을 채택하여 공간형태를 유클리드 평면으로 시설이용자 수는 인구크기에 비례하도록, 최적입지점은 어느 곳도 후보지가 될 수 있다고 가정하고 인구자료와 각종 중심지의 공간좌표를 구하여 모형에 입력하여 분석하였다.

Kim, K. S. and Hwang(1992)은 대구시 구청을 대상으로 Werber모형과 Rawls모형을 채택하여 이를 프로그램화한 Locator를 개발하여 최적 입지를 분석하였으며 이는 각 지역에 대한 인구규모와 존별 중심지 좌표를 입력하면 최적 입지를 제시하여 주는

것으로 되어 있다.

Seo, M. A.(2000)는 안양시 시청을 대상으로 최적입지를 위한 기준으로 지형, 인구, 도로, 지가, 토지이용을 설정하여 인구 Potential model과 GIS 기법을 활용하여 여러 가지 입지기준에 대한 중첩분석을 시도하였다.

Choi, G. J. et al.(2001)은 유투저장탱크를 대상으로 GIS와 OR의 통합적용기법을 이용한 휴리스틱 알고리즘을 활용하여 적지 분석을 수행하고, 제시된 방법에 따른 결과의 비교검증을 위하여 혼합정수계획법을 이용한 풀이결과를 제시하였다.

Joo, S. A.(2007)는 GIS환경에서 입자-배분 문제 해결을 사례로 주어진 연구 지역을 목적에 적합한 공간 단위로 조직한 뒤 이를 기초로 수요 데이터를 구축하고, 공간 단위의 설정이 분석의 결과에 미치는 중요성을 지리적 관점에서 살펴보았다. 시설물의 입자-배분 분석을 위해 점형으로 통합된 수요 데이터 이용 방법론 및 데이터를 구축하기 위한 공간 단위 설정 방법을 개발하였다. 또한 개발된 방법론을 경상남도 창원시의 사례에 적용하여 검토하였다.

Yoo, J. H. et al.(2008)은 천연가스버스 충전소 입지선정을 위해 천연가스 수요지점과 공급지점간의 공간적 분석과 충전에 소요되는 통행비용 최적화를 활용한 계량적 분석을 통해 객관적이고 합리적인 충전소 설치의 판단 근거를 제시하였다.

3. 모형의 구축

3.1 전제 및 기준

본 연구에서는 대중교통 정거장을 이용하기 위해 받아들여질 만한 보행 접근거리의 임계치(약 400m-500m)를 넘어서게 되면 대중교통 이용률이 급격히 감소한다는 국내·외 연구결과를 바탕으로, 자전거 주차장의 이용여부는 자전거 주차장까지의 보행통행 접근거리가 가장 중요한 결정변수라고 판단함에 따라 자전거 주차장의 위치선정 시 이를 중점적으로 고려하였다. 또한 시설물의 설치 시 해당 시설물에 대한 이용수요를 고려하는 것은 필수적이므로, 자전거 주차장 이용수요는 자전거 주차장의 위치선정시 반드시 고려해야 할 변수라고 판단하였다.

본 연구에서는 Tables 1 and 2와 같이 자전거 통행목적에 따라 업무/비업무 통행목적지로 구분하여 각 목적에 부합한 보행통행의 표준 시간가치를 모형에 반영하였다. 보행통행의 표준 시간가치는 대중교통 이용자의 차내 시간가치와 차외 시간가치 중 도보접근 시간가치의 상대적 가중치로 정의하였으며, 이를 기반으로 보행의 업무통행과 비업무통행의 시간가치는 각각 약 18,626원/인·시간, 4,885원/인·시간으로 추정되었다. 업무통행과 비업무통행의 비율을 기반으로 업무통행과 비업무통행의 시간가치를 가중 평균한 보행한 통행의 평균 시간가치는 약 5,183원/인·시간으로 추정되었다.

Table 1. Standard of Trip Purpose According to the Destination of Bicycle-Trip

Destination	Trip Purpose
Subway / Train station	Business use/ Non-Business use
Bus stop	
Apartment-House (living accommodation)	
Public office	Business use
Company (office facility)	
Elementary·Middle·High school	
University	
Discount store·Department store (commercial facility)	Non-Business use
Culture center / Lyceum	
Hospital (medical facility)	
Library	
Community institution	
Park / Square	
Stream / Amusement park	

Table 2. The Value of Time for Trip Purpose

Trip Purpose	Time Value (won/person·time)
Business use	18,626
Non-Business use	4,885
Average(business/ Non-business)	5,183

3.2 예산제약이 있는 조건의 모형 구축

특정 지역의 자전거 주차장 설계 시 예산제약이 존재하는 경우, 자전거 주차장 총 설치개수에 제약이 따르게 된다. 일반적으로 자전거 주차장의 설치개수가 많아질수록 좁은 간격으로 자전거 주차장을 설치하는 것이 가능하며, 이에 따라 보행 접근거리가 짧아지고 보행 일반화비용 역시 감소하게 된다. 즉, 보행 일반화비용을 최소화하는 방법은 최대한 많은 개수의 자전거 주차장을 적정 위치에 설치하는 것이라고 볼 수 있다.

그러나 자전거 주차장의 설치개수의 증가에 따라 비용 또한 증가하게 되는데, 이는 음의 효용(-)을 의미하며 보행 일반화비용으로 얻게 되는 양(+의 효용)을 상쇄시켜 결과적으로 총 효용을 감소시킬 수 있다. 따라서 보행 일반화비용(G_{ij})과 설치비용($x_{ij} \times C$)을 모두 고려하여 총 비용을 최소화하는 설치개수 및 위치를 찾아내야 한다.

이를 P-Median Algorithm의 기본 모형을 변형하여 새로운 목적함수로 나타낸 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=1} G_{ij} + \sum_{j=1} (x_j \times C) \\ & = \text{Min} \sum_{i=1} (H_i \times t_{ij}) + \sum_{j=1} (x_j \times C) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 수요지 i 가 업무통행목적지인 경우:

$$H_i = h_i \times VOT_{\text{업무보행통행}}$$

수요지 i 가 비업무통행목적지인 경우:

$$H_i = h_i \times VOT_{\text{비업무보행통행}}$$

i : 통행의 출발점

j : 자전거 주차장 설치지점

h_i : 수요지 i 의 수요량(인)

VOT : 보행통행 시간가치(원/hr)

t_{ij} : i 에서 j 까지의 보행통행시간(hr)

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{3600s}$$

d_{ij} : i 에서 j 까지의 거리(m)

s : 보행속도(m/sec)

x_j : j 에 설치된 자전거 주차장(개소)

C : 자전거 주차장 평균 설치비용(원/개소)

P-Median Algorithm은 수요량과 최단경로 매트릭스 데이터를 고려하여 최적입지를 선정할 수 있으나, 결정하여야 할 최종후보지수가 다수인 경우 단일의 시설물을 선정하는 것과는 조금 차이가 있다. 본 연구에서는 다수의 자전거 주차장의 위치를 선정하고자 하는 것이 목적이므로, 휴리스틱(Heuristic)한 방법을 이용하였다. Heuristic P-Median Algorithm은 먼저 하나의 시설물을 선정하는 일반적인 1-Median 알고리즘을 통해 선정한 후 휴리스틱하게 최소의 비용을 가지는 지점을 적정 위치로 선정하는 흐름을 가지고 있다.

아래는 Myopic Algorithm으로 자전거 주차장의 최적 개수 및 위치를 찾기 위한 휴리스틱 P-Median Algorithm은 아래와 같은 절차로 풀이된다.

- Step 1) $m = 0$ 으로 초기화함. $n(x_m) = 0$ 으로 x_m 을 공집합으로 정의함. m 은 현재까지 자전거 주차장으로 선정된 입지점들의 수를 계산(count)한 것이며, x_m 은 알고리즘의 각 단계에서 자전거 주차장 위치로 선정된 m 개의 자전거 주차장이다.
- Step 2) m 을 증가시킴. 자전거 주차장으로 선정된 노드들의 수를 계산함.
- Step 3) x_{m-1} 의 집합에 들어 있지 않는 각 후보노드 j 에 대해 $\sum_{i=1} G_{ij}$ 을 계산함. 노드 j 에서 m 번째 자전거 주차장으로 먼저 $m-1$ 개의 자전거 주차장이 주어진다면,

x_{m-1} 의 집합은 먼저 선정된 시설물이며, P-Median 1차 목적함수의 값으로 $\sum_{i=1} G_{ij}$ 가 주어짐을 나타낸다.

Step 4) 1차 목적함수 $\sum_{i=1} G_{ij}$ 를 최소화하는 노드 $j^*(m)$ 를 찾는다.

즉, $j^*(m) = \operatorname{argmin} \left\{ \sum_{i=1} G_{ij} \right\}$ 이다. 먼저 $m-1$ 개의 자전거 주차장들이 선정되어지고, m 번째 시설물에 대한 최적의 입지로 $j^*(m)$ 가 주어짐을 나타낸다. 집합 x_m 을 얻기 위해 x_{m-1} 집합에 노드 $j^*(m)$ 을 추가함. 즉, $x_m = x_{m-1} \cup j^*(m)$ 로 설정한다.

Step 5) 2차 목적함수

$Z_j^m = \left(\sum_{i=1} G_{ij} \right)^* + \sum_j (x_j \times C)$ 를 계산함. 이때, $\left(\sum_{i=1} G_{ij} \right)^*$ 는 1차 목적함수의 해로, 보행통행 일반화비용의 최소값을 의미한다.

Step 6) 2차 목적함수 Z_j^m 가 $Z_j^m < Z_j^{m-1}$ 이면 <Step 2>로 돌아감.

$Z_j^m > Z_j^{m-1}$ 이면 stop. 이때, $m-1=p$ 이며 선정된 p 개의 자전거 주차장은 목적함수 Z_j^m 를 최소화하는 자전거 주차장의 최적 총 개수이다. $p+1$ 이후부터는 자전거 주차장의 추가설치로 인한 보행 일반화비용의 감소보다, 설치비용의 증가분이 더 커서 총 비용이

감소하게 됨을 의미한다. x_p 의 집합이 Myopic Algorithm의 해이다.

3.3 예산제약이 없는 조건의 모형 구축

지역 내 자전거 주차장의 설치개수가 많아질수록 좁은 간격으로 자전거 주차장을 설치하는 것이 가능하다. 이에 따라 보행통행 접근거리가 짧아지며 보행통행의 일반화비용 역시 감소하게 된다. 즉, 자전거 주차장의 설치개수가 증가할수록 보행통행 일반화비용은 최소값을 갖게 되는데, 예산제약이 없는 경우 설치할 수 있는 자전거 주차장의 개수는 무한대($=\infty$)라고 가정할 수 있으므로 보행통행 일반화비용을 최소화하는 목적함수를 만족시키는 해 역시 무한대($=\infty$)가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 자전거 주차장의 최적 개수를 구하기 위하여 포함문제(Coverage Problem)를 적용하였다. 포함문제에서는 이용자가 자전거 주차장이 커버할 수 있는 주어진 거리 내에 있다면 보행접근을 통해 자전거 주차장을 이용하게 되며, 거리가 어떤 임계치를 초과한다면 자전거 주차장을 이용하지 않는다고 간주되어진다. 이를 기본으로 포함문제의 수식을 이끌어내기 위하여 수요지 i , 자전거 주차장의 입지점 j 에 위치한 자전거 주차장은 x_j , x_j 가 커버하는 i 의 부분집합(Subset)은 S_i 으로 설정하였다. 이 집합은 이진상수 a_{ij} 로 정의될 수 있는데, 입지점 j 에 위치한 한 자전거 주차장 x_j 에서 수요지 i 의 이용자들을 커버할 수 있다면 1의 값을 가지고, 그렇지 않으면 0의 값을 가진다. 즉, 수요지와 자전거 주차장간의 최단거리가 영향권 거리(보행통행 임계거리)보다 작거나 같다면 해당 수요지는 자전거 주차장에 의해 커버되어진다고 말할 수 있으며, 그렇지 않으면 수요지는 자전거 주차장의 영향권 내에 포함되지 못하고 서비스를 제공받을 수 없다고 말할 수 있다.

보행통행 접근거리의 임계치를 설정하기 위하여 국내·외 연구를 검토한 결과, 대중교통수단으로의 보행 접근거리 임계치는 약 500m 내외인 것으로 나타났으며 자전거 주차장을 이용하기 위한 보행 접근거리 임계치 역시 이와 유사한 수준일 것으로 판단된다. 따라서 자전거 주차장의 영향권 임계거리 d_{ij}^* 는 500m로 설정하였다.

이를 통해 자전거 이용대상 권역에서 자전거 주차장을 이용할 수 있도록 하기 위해 반드시 필요한 자전거 주차장의 수, 즉 자전거 주차장 설치 개수의 최소값(Lower Bound)과 보행통행 일반화비용을 최소화하는 최적 입지점이 구해진다. 보행통행 일반화비용을 최소화하는 자전거 주차장의 입지점 및 포함문제의 해를 구하기 위한 Heuristic P-Median algorithm의 기본 모형을 변형하여 새로운 목적함수로 나타낸 수식은 다음과 같다.

$$\operatorname{Min} \sum_{i=1} G_{ij} = \operatorname{Min} \sum_{i=1} (H_i \times t_{ij}) \quad (3)$$

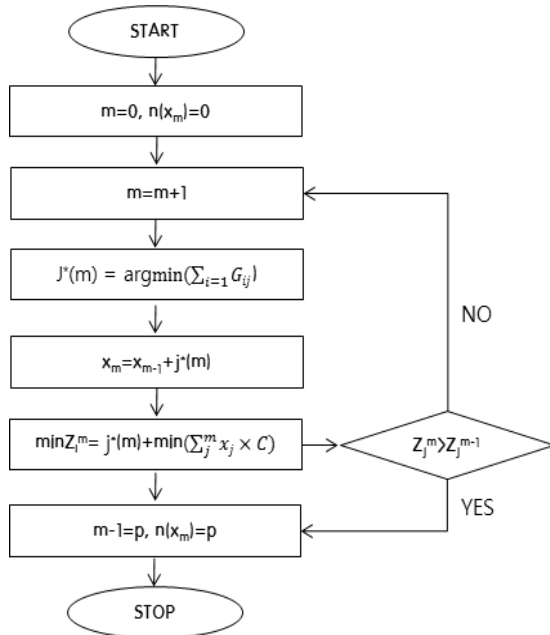


Fig. 2. Algorithm Flow Chart for Positioning of Bike-Parking Lot on Condition of Budget Constraint

여기서, 수요지 i 가 업무통행목적지인 경우:

$$H_i = h_i \times VOT_{\text{업무보행통행}}$$

수요지 i 가 비업무통행목적지인 경우:

$$H_i = h_i \times VOT_{\text{비업무보행통행}}$$

i : 통행의 출발점

j : 자전거 주차장 설치지점

h_i : 수요지 i 의 수요량(인)

VOT : 보행통행 시간가치(원/hr)

t_{ij} : i 에서 j 까지의 보행통행시간(hr)

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{3600s}$$

d_{ij} : i 에서 j 까지의 거리(m)

s : 보행속도(m/sec)

보행통행 일반화비용을 최소화하는 자전거 주차장의 입지점 및 포함문제의 해를 구하기 위한 휴리스틱 P-Median Algorithm은 아래와 같은 절차로 풀이된다.

Step 1) $m = 0$ 으로 초기화함. $n(x_m) = 0$ 으로 x_m 을 공집합으로 정의함. m 은 현재까지 자전거 주차장으로 선정된 입지점들의 수를 계산(count)한 것이며, x_m 은 알고리즘의 각 단계에서 자전거 주차장 위치로 선정된 m 개의 자전거 주차장이다. 또한, 자전거 주차장의 영향권 임계 거리 d_{ij}^* 에 대한 G_{ij}^* 를 계산함.

Step 2) m 을 증가시킴. 자전거 주차장으로 선정된 노드들의 수를 계산함.

Step 3) x_{m-1} 의 집합에 들어 있지 않는 각 후보노드 j 에 대해 $Z_j^m = \sum_{i=1} G_{ij}$ 을 계산함. 노드 j 에서 m 번째 자전거 주차장으로 먼저 $m-1$ 개의 자전거 주차장이 주어진다 면, x_{m-1} 의 집합은 먼저 선정된 시설물이며, P-Median 목적함수의 값으로 Z_j^m 가 주어짐을 나타낸다.

Step 4) 목적함수 Z_j^m 를 최소화하는 노드 $j^*(m)$ 를 찾는다. 즉, $j^*(m) = \operatorname{argmin}\{Z_j^m\}$ 이다. 먼저 $m-1$ 개의 자전거 주차장들이 선정되어지고, m 번째 시설물에 대한 최적의 입지로 $j^*(m)$ 가 주어짐을 나타냄. 집합 x_m 을 얻기 위해 x_{m-1} 집합에 노드 $j^*(m)$ 을 추가함. 즉, $x_m = x_{m-1} \cup j^*(m)$ 로 설정함.

Step 5) 자전거 주차장의 영향권 내 포함되는 수요지 i 의 부분집합(Subset) S_i 를 구축함. $S_i = \{i | G_{ij} < G^*\}$.

Step 6) 선정된 S_i 에 속한 수요지 i 는 자전거 주차장 영향권 내 포함대상에서 제외한다. 즉, S_i 에 속한 수요지 i 는 <Step 4> 에서 선정된 자전거 주차장을 이용할 수

있으므로 자전거 주차장 영향권 내 포함대상에서 제외한다.

Step 7) 남은 수요지 i 가 있다면($U_i - S_i \neq \emptyset$) <Step 2> 로 돌아감. 남은 수요지 i 가 없다면($U_i - S_i = \emptyset$) Stop. 이때, $m = p$ 이며 선정된 p 개의 자전거 주차장은 목적함수 Z_j^m 를 최소화하며 포함문제를 만족시키는 자전거 주차장의 최적 총 개수이다. x_p 의 집합이 Myopic Algorithm의 해이다.

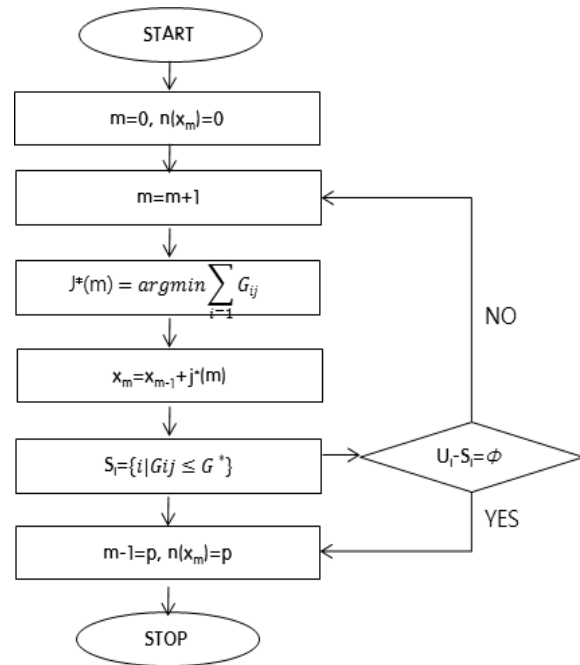


Fig. 3. Algorithm Flow Chart for Positioning of Bike-Parking Lot Without Budget Constraint Condition

4. 모형의 적용

4.1 분석전제

자전거 주차장의 입지선정문제는 다른 시설물들의 입지선정문제와는 몇 가지 차이점을 갖는다. 첫째, 자전거 주차장은 입지후보지가 시설물에만 국한되는 것이 아니라 보도, 공터 등에도 설치가 가능하다. 둘째, 자전거 주차장까지의 접근 시 발생하는 보행통행은 건물 내부 또는 주차장과 같이 도로가 아닌 공간이나 네트워크상에 나타나지 않는 협소한 골목길 등을 통행경로로 이용하는 것이 가능하다. 따라서 자전거 주차장의 입지선정문제에서는 이러한 특성들을 반영하는 것이 타당하며, 본 연구에서는 격자망의 네트워크가 보행통행의 경로를 가장 유사하게 재현할 수 있다고 판단하였다. 이에 따라 시험 네트워크는 50m단위로 90×90의 격자망 네트워크

워크를 구성하였으며 이를 바탕으로 기본 도로망을 구축하고, 수요지는 30개의 센트로이드로 구성하였다.

이때 30개소 수요지의 속성은 Table 3과 같이 가정하고 모형을 적용하였다. 자전거 발생량 h_i 는 총 수단 발생량에 주거유형별/통행 목적지별 자전거 수단분담율을 각각 적용하여 구한 값을 사용하였다.

Table 3. Bicycle Traffic and Value of Time According to the Demand Area

ID	Origin Destination	Trips	Trips for Bike h_i	H_i
1	Residence (single)	370	6	31,813
2	Residence (coalition)	1,270	59	307,646
3	Residence (apartment 1)	2,700	35	179,684
4	Residence (apartment 2)	2,500	32	166,374
5	Residence (apartment 3)	7,000	90	465,848
6	Subway 1	30,000	270	1,399,410
7	Subway 2	40,000	360	1,865,880
8	Bus stop 1	10,000	90	466,470
9	Bus stop 2	5,000	45	233,235
10	Bus stop 3	4,000	36	186,588
11	Elementary school	2,400	68	1,273,659
12	Middle school 1	2,000	57	1,061,382
13	Middle school 2	2,000	57	1,061,382
14	High school	2,100	60	1,114,452
15	Department store	2,000	55	269,083
16	Discount store 1	2,000	55	269,083
17	Discount store 2	3,000	83	403,625
18	Public office 1	400	5	95,663
19	Public office 2	6,000	77	1,434,947
20	Public office 3	2,000	26	478,316
21	Lyceum 1	600	21	104,585
22	Lyceum 2	500	18	87,154
23	Church	400	11	53,817
24	Park 1	2,000	55	269,083
25	Park 2	1,500	41	201,813
26	Hospital	5,000	64	313,617
27	Library	8,000	103	501,787
28	Community institution 1	2,300	30	144,264
29	Community institution 2	2,300	30	144,264
30	Community institution 3	1,300	17	81,540

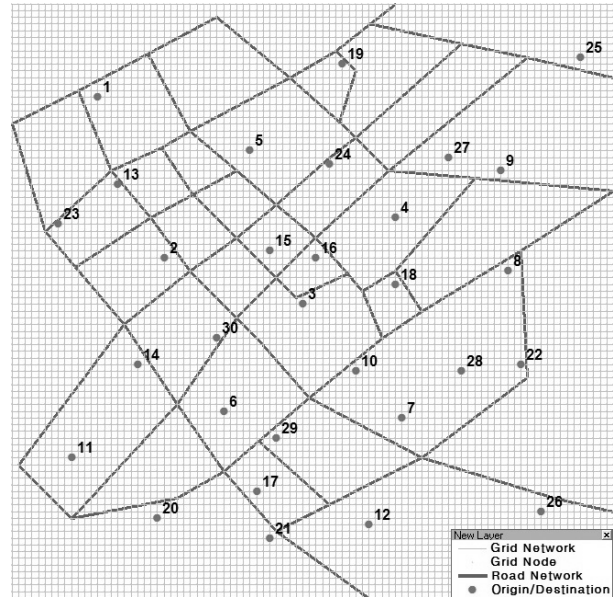


Fig. 4. Construction of Testing-Network

4.2 모형의 적용 결과

4.2.1 예산제약이 있는 경우

목적함수를 최소화하는 자전거 주차장의 적정 개수 및 위치를 찾기 위하여 자전거 주차장의 설치비용은 1개소당 평균 20만원¹⁾으로 설정하였다. 휴리스틱한 방법을 이용하여 자전거 주차장의 최적 개수와 그에 따른 총 비용을 분석한 결과는 Table 4와 같다.

자전거 주차장 최적 입지에 대한 분석 결과는 Table 5, Fig. 5와 같으며, 지하철역(2개소), 초·중·고등학교(4개소), 관공서(1개소), 도로 주변(1개소), 버스정류장 주변(1개소)으로 나타났다. 이는 비용제약 하에서 보행통행비용을 최소화하는 지점들을 우선적으로 선정할 결과이며, 선정된 입지점은 자전거 주차장을 이용

Table 4. The Result From Heuristic Analysis for Optimal Number of Bicycle Parking Lot

A number of Bike-Parking Lots	Walking Generalization Cost(won)	Installation Cost(won)	Total Cost(won)
1	6,782,706	200,000	6,982,706
⋮	⋮	⋮	⋮
8	1,568,873	1,600,000	3,168,873
9	1,283,943	1,800,000	3,083,943
10	1,148,211	2,000,000	3,148,211

1) 나라장터(<http://www.g2b.go.kr/>)에서 자전거 보관대 가격을 참고하여 설정하였음

하는 수요량이 많고, 학교 및 관공서와 같이 업무통행목적지로 분류되어 높은 보행통행 시간가치가 적용된 지점들이므로 나타났다.

Table 5. An Analysis Result of Walking-Generalize Cost for Bicycle Parking Lots

ID	Origin Destination	Identical area of influences	The least expense	Parking lots Selection
1	Residence(single)	1	7,512	X
2	Residence(coalition)	1	72,639	X
3	Residence (apartment 1)	2	43,024	X
4	Residence (apartment 2)	2	46,215	X
5	Residence (apartment 3)	2	77,641	X
6	Subway 1	3	19,436	O
7	Subway 2	4	25,915	O
8	Bus stop 1	5	116,618	X
9	Bus stop 2	5	6,479	O
10	Bus stop 3	4	33,690	X
11	Elementary school	6	17,690	O
12	Middle school 1	7	14,741	O
13	Middle school 2	1	14,741	O
14	High school	8	15,478	O
15	Department store	2	29,898	X
16	Discount store 1	2	40,363	X
17	Discount store 2	3	89,694	X
18	Public office 1	4	26,573	X
19	Public office 2	9	19,930	O
20	Public office 3	6	139,509	X
21	Lyceum 1	7	26,146	X
22	Lyceum 2	4	30,262	X
23	Church	1	10,464	X
24	Park 1	2	43,427	X
25	Park 2	5	75,680	X
26	Hospital	7	117,606	X
27	Library	5	55,754	X
28	Community institution 1	4	30,055	X
29	Community institution 2	3	22,040	X
30	Community institution 3	3	14,723	X

Note 1) When the figures in bike-parking lots influence area are same, it means they use the same place.

Note 2) The bike-parking lot that doesn't mark on table is located among the No.5, 15 and 24 network roads

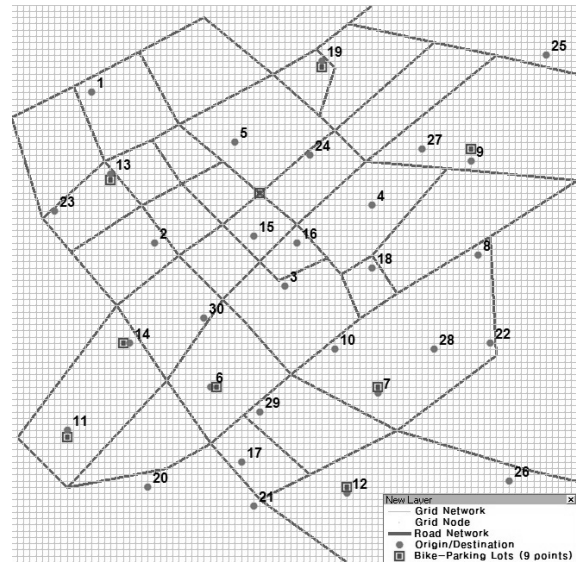


Fig. 5. Result for Positioning 9 Bicycle-Parking Lots

4.2.2 예산제약이 없는 경우

포함문제를 만족시키는 자전거 주차장의 적정 개수 및 목적함수를 최소화하는 위치를 찾는 분석을 수행하였다. 포함문제 만족조건은 영향권 내 수요지의 90% 이상을 포함시킨다면 자전거 주차장을 충분히 공급했다고 간주하였으며, 휴리스틱한 방법을 이용하여 자전거 주차장의 최적 설치 개수와 총 비용을 분석한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. The Result From Heuristic Analysis for Optimal Number of Bicycle Parking Lot

A number of Bike Parking Lots	Walking Generalization Cost(won)	Installation Cost(won)	Total Cost(won)
1	6,782,706	1	3.3
⋮	⋮	⋮	⋮
19	378,069	25	83.3
20	342,755	27	90.0
21	322,827	27	90.0

자전거 주차장 영향권 내 수요지의 90% 이상을 포함시키는 자전거 주차장의 최소 개수는 20개인 것으로 나타났다. 20개의 자전거 주차장에 대하여 보행 일반화비용의 최소 비용과 입계비용을 분석한 결과는 Table 7과 같으며, 그 일반화 비용을 최소화하는 적정 위치는 Fig. 6과 같다.

자전거 주차장의 적정 위치를 분석한 결과, 자전거 주차장의 입지점은 교회, 학원 등과 같이 수요량이 적은 지점을 제외하고

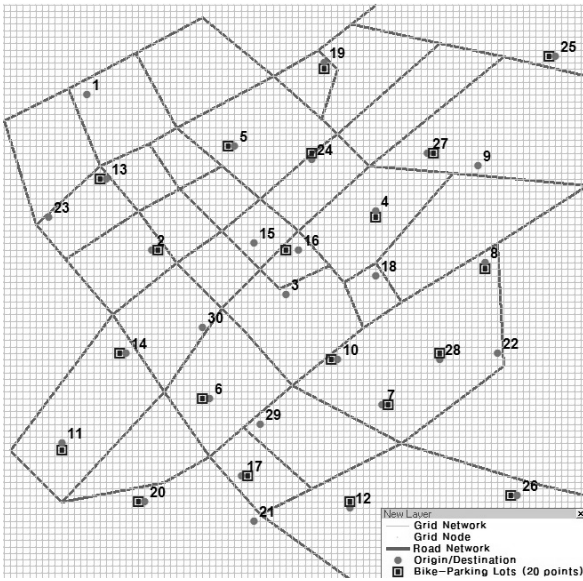


Fig. 6. Result for Positioning 20 Bicycle Parking Lots

다양하게 선정되었다. 이는 보행통행비용을 최소화하는 지점들을 우선적으로 선정하면서 포함문제를 만족시키는 해를 구한 결과이며, 선정된 입지점은 자전거 주차장을 이용하는 수요량이 많은 대중교통 정거장, 학교, 관공서, 할인점 주변 등으로 나타났다.

Korea Environment Institute(2007)의 연구보고서에서 자전거 주차장의 주이용 장소에 대한 설문조사 결과, 할인점, 지하철역 주변, 버스정류장 주변, 학교 등의 순으로 이용률이 높은 것으로 나타난 바 있다. 이러한 대규모 수요유발시설물(할인점 등)과 대중교통수단과 연계되는 지하철역, 버스정류장 주변은 자전거 주차장이 반드시 설치되어야 하는 지점들이라고 볼 수 있다. 시험 네트워크 분석 결과 선정된 자전거 주차장의 입지점들은 실제 이용률이 높은 곳과 일치한다고 할 수 있으며, 따라서 본 연구에서 제시한 자전거 주차장의 위치선정방법은 합리적인 결과를 도출한다고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

다양한 공공시설물의 입지선정문제에 대한 연구가 수행되어 왔으나 자전거 주차장의 위치선정에 대한 연구는 미비한 실정이다. 자전거 주차장은 접근이 쉽고 수요를 효과적으로 포함할 수 있는 지점에 위치해야 하지만 이러한 지점이 몇 개이며 어디인지 찾을 수 있는 판단의 근거는 명확하지 않다. 이에 본 연구에서는 자전거 주차장의 위치선정 시 Heuristic P-Median 모형을 적용하여, 예산 제약이 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 각각에 대한 방법을 제시하였다. 먼저 예산제약이 있는 경우에는 보행통행 일반화비용

Table 7. An Analysis Result of Walking-Generalize Cost for Bicycle Parking Lots

ID	Classification	The least Expense	Critical Expense	Inclusion in the Influences Area	Parking Lots Selection
1	Residence (single))	6,628	4,419	X	X
2	Residence (coalition)	4,273	42,729	O	O
3	Residence (apartment 1)	17,469	24,956	O	X
4	Residence (apartment 2)	2,311	23,108	O	O
5	Residence (apartment 3)	6,470	64,701	O	O
6	Subway 1	19,436	194,363	O	O
7	Subway 2	25,915	259,150	O	O
8	Bus stop 1	6,479	64,788	O	O
9	Bus stop 2	29,154	32,394	O	X
10	Bus stop 3	2,592	25,915	O	O
11	Elementary school	17,690	176,897	O	O
12	Middle school 1	14,741	147,414	O	O
13	Middle school 2	14,741	147,414	O	O
14	High school	15,478	154,785	O	O
15	Department store	22,424	37,373	O	X
16	Discount store 1	7,475	37,373	O	O
17	Discount store 2	5,606	56,059	O	O
18	Public office 1	11,958	13,287	O	X
19	Public office 2	19,930	199,298	O	O
20	Public office 3	6,643	66,433	O	O
21	Lyceum 1	11,621	14,526	O	X
22	Lyceum 2	10,894	12,105	O	X
23	Church	10,464	7,475	X	X
24	Park 1	3,737	37,373	O	O
25	Park 2	2,803	28,030	O	O
26	Hospital	4,356	43,558	O	O
27	Library	6,969	69,693	O	O
28	Community institution 1	2,004	20,037	O	O
29	Community institution 2	20,037	20,037	O	X
30	Community institution 3	12,458	11,325	X	X

및 설치비용을 최소화하는 목적함수를 만족시키는 해를 구하는 알고리즘을, 예산제약이 없는 경우에는 보행통행 일반화비용을 최소화하고 포함문제를 만족시키는 해를 구하는 알고리즘을 개발

하였다. 모형에서 사용되는 변수들의 입력값을 구할 시에는 자전거 주차장을 이용하기 위한 통행목적에 반영하는 것이 타당하다고 판단하여 보행통행 시간가치를 통행목적에 따라 다르게 적용하도록 하였다. 이를 위하여 자전거 통행의 기종점을 분류하고 이를 통행목적에 따라 업무/비업무 통행목적지로 구분하여 자전거 통행의 기종점 분류 기준을 제시하였다.

모형의 적용을 위하여 시험 네트워크를 50m단위로 90×90의 격자망으로 구축하였으며, 이를 바탕으로 기본 도로망을 구축하고 30개의 수요지를 설정하여 센트로이드로 구성하였다. 분석 결과, 자전거 주차장의 입지점은 예산제약이 있는 경우 9개, 예산제약이 없는 경우 20개로 선정되었으며 선정된 입지점들은 실제 자전거 주차장의 이용률이 높은 곳과 일치하는 것으로 나타났다. 본 연구는 1개 도시나 1개 지역에서 자전거 주차장 설계 시, 자전거 주차장의 최적 개수 및 입지점을 결정하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 예산제약이 있는 경우, 본 연구에서는 보행통행비용과 함께 자전거 주차장의 설치비용을 고려하였는데 실제 모형의 적용 시에 자전거 주차장 1개소의 평균설치비용을 20만원으로 설정하여 분석하였다. 이 때 자전거 보관대 형태 및 재질에 따라 비용은 몇 배 이상으로 증가 혹은 감소될 수 있기 때문에 본 분석 시 자전거 주차장의 평균설치비용을 사용함으로써 비용측면에서 오차가 발생할 수 있다는 한계를 갖는다. 또한 자전거 주차장 설치 지점별 주차면 개수에 따라 그 산출 비용과 분석 결과는 본 분석과 달리 나타날 수 있기 때문에 추후 제안 모형에 주차면 개수를 포함할 수 있어야 하겠다. 마지막으로 본 연구에서는 자전거 통행의 기종점들을 통행목적에 따라 업무/비업무 통행 목적지로 구분하여 보행통행 시간가치를 적용하였는데, 향후에는 통행목적에 세분화하여 이에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것이다. 그리고 자전거 주차장을 이용하게 될 수요량을 예측하는 것이 매우 중요하나 수요예측과 관련해서는 본 연구에서 연구범위로 다루지 않았으므로, 자전거 주차장의 이용수요 예측기법에 대한 향후 연구가 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029446).

References

Kim, K. S. (1991). "Locational analysis of public service facilities for a newly designated city : The Case of Sihung." *Asian pacific Planning Review*, Korean Planner Association, Vol. 26, No. 2, pp. 125-140 (in Korean).

Choi, G. J., Kim, S. H. and Shin, G. W. (2001). "Oil tank location problem solving with mixed integer programming & GIS." *The Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 19, No. 5, pp. 99-108 (in Korean).

Dick Buursink. (2006). "Continuous and integral : The Cycling Policies of Groningen and Other European Cycling Cities." *Fietsberaad Publication No. 7*, Fietsberaad (in Netherland).

Han, H. J., et al. (2007). "A study on establish the environmental bike culture settlement." *Korea Environment Institute* (in Korean).

Han, S. J. and Jang S. E. (2009). "Evaluation of social values for walking to promote to green growth." *The Korea Transport Institute* (in Korean).

Jo, G. (2004). "A study on developing an efficient algorithm for the p-median problem on a tree network." *International Journal of Management Science*, Management Science/Operations Research, Vol. 29, No. 1, pp. 57-70 (in Korean).

Joo, S. A. (2007). *Study on The use of demand data and The zoning problem*, Master Thesis, Korea National University of Education (in Korean).

Kevin J. Krizek., et al. (2006). "Guidelines for analysis of investments in bicycle facilities." NCHRP Report 552, *Transportation Research Board*.

Kim, K. S. and Hwang (1992). "Locational analysis and evaluation of urban public service facility: The Case of Ku-Offices in Taegu." *Asian pacific Planning Review*, Korean Planner Association, Vol. 27, No. 3, pp.175-192 (in Korean).

Kim, S. H., Lee, C. M. and Ahn, G. H. (2001). "The influence of walking distance to a transit stop on modal choice." *Asian pacific Planning Review*, Korean Planner Association, Vol. 36, No. 7, pp. 297-307 (in Korean).

Lee, H. W., Joo, D. H., Hyun, C. S., Yeo, W. W. and Lee, C. G. (2009). "A study on method for estimating scale and requirements of bike parking lots." *The Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 8, No. 5, pp. 138-150 (in Korean).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Ministry of Security and Public Administration (2010). "Korea cycling design standards: Process and Contents." 11-1311000-000245-01 (in Korean).

Seo, M. A. (2000). *A Study on optimum location of Ahnyang city hall*, Master Thesis, Ewha Womans University (in Korean).

Son, M. C. (1986). *A Study of teh location - Allocation for a new administrative center in Kyung - Buk province using analysis of population potentials and nodal accessibilities*, Master Thesis, Seoul National University (in Korean).

Yoo, J. H., Lee, M. Y. and Oh, S. C. (2008). "A model of location decisions of natural gas filling station considering spatial coverage and travel cost." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 3, pp. 145-153 (in Korean).