

공공자전거 네트워크 구축 및 대여소 입지 결정 방법론

Network design and hub selection method for public bicycle sharing system

저자 (Authors)	권오현, 김명현, 이성모 Gwon, O-Hyeon, 김명현, Sung Mo Rhee
출처 (Source)	대한교통학회 학술대회지 65 , 2011.10, 480-484(5 pages) Proceedings of the KOR-KST Conference 65 , 2011.10, 480-484(5 pages)
발행처 (Publisher)	대한교통학회 Korean Society Of Transportation
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07498928
APA Style	권오현, 김명현, 이성모 (2011). 공공자전거 네트워크 구축 및 대여소 입지 결정 방법론. 대한교통학회 학술대회지, 65, 480-484
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.182.*** 2020/10/27 10:04 (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.

공공자전거 네트워크 구축 및 대여소 입지 결정 방법론

Network design and hub selection method for public bicycle sharing system

권 오 현

김 명 현

(서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

(서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

이 성 모

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경
2. 기존 문헌 조사

II. 모형 구축

1. 네트워크 개요
2. 목적함수 및 제약조건

III. 예제 네트워크

1. 예제 네트워크 개요

2. 풀이 알고리즘

3. 결과

IV. 결론

1. 결론
2. 향후 연구과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경

공공자전거는 시내 주요 지점에 설치된 대여 스테이션으로부터 자전거를 빌려 일정 시간 이용한 후 반납하는 형태로 운영되는 자전거 공유 시스템을 말한다. 1960년대 암스테르담의 White bicycle plan에서 처음 소개됐으며, 파리, 바르셀로나, 베를린, 몬트리올, 솔트레이크 등 도시에서 활성화되어 있다.

특히 최근 세계적으로 환경에 대한 중요성이 부각되면서 각 국가 및 도시들은 대중교통 이용 시 접근성 문제를 보완 또는 대체할 수 있는 교통수단으로서 공공자전거의 가능성을 주목하고 있다. 우리나라에서도 서울특별시의 Seoul Bike, 대전광역시의 타슈, 고양시의 Fifteen, 창원시의 누비자 등 공공자전거 시스템의 구축 사례가 점차 확대되고 있는 추세이다.

그러나 국내에서의 구축 사례는 대여 스테이션의 입지 선정 시 실제 도시 전체의 자전거

및 도보 네트워크 측면에서 접근하기보다는 시범 서비스의 개념으로서 유동인구가 많은 주요 지역·지점을 경험적으로 선정하고 있어, 공공자전거 서비스의 최적 운영 전략 수립 및 일반 보급을 위해서는 대여 스테이션의 객관적인 입지 최적화 방법론을 준비할 필요성이 대두되고 있다.

2. 기존 문헌 조사

공공자전거 서비스는 일반적으로 스테이션 간 대여와 반납이 자유로운 서비스로 운영되며, 이를 감안하였을 때 공공자전거 시스템을 대여 스테이션을 Hub로 하는 Hub-and-Spoke 네트워크로 분류할 수 있다. 이와 관련한 연구는 O'Kelly(1986)가 처음 제시한 이후 많은 네트워크 및 알고리즘 연구가 진행되고 있다.

특히 Lin 등(2010)은 도시철도 정거장과 주변 빌딩 사이의 O/D를 구축하여 총 시스템 비용(통행비용, 대여소건설비용, 자전거 재고비용, 커버되지 않는 지역에 대한 패널티 등 포함)을

최소화하는 네트워크 전략을 구성하는 연구를 진행하였다. 다만 이 연구에서는 일반적으로 노드-아크 연결구조로 표현되는 네트워크에 대한 모델링은 생략되고, 대신 통행비용을 구하기 위해 노드 i ~ j 간 거리 값으로만 구성된 거리 행렬(matrix)을 사용하고 있다.

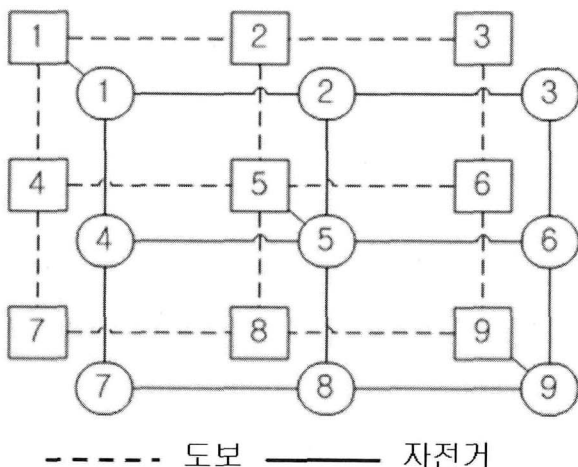
II. 모형 구축

1. 네트워크 개요

본 연구에서는 도시철도 정거장 및 주변 빌딩 사이의 O/D가 구축되어 있을 때의 Hub and Spoke 네트워크 전략으로서, Hub 노드인 대여 스테이션의 최적 입지 선택 문제에 적용하기 위해 도보-자전거 네트워크를 구현하는 방법론에 대한 아이디어를 제시하고자 한다.

구체적으로, 실제 가로망과 동일한 형태를 가진 도보 네트워크 레이어와 자전거 네트워크 레이어를 각각 구축한 뒤, 대여 스테이션의 입지에 해당하는 노드에서는 더미 링크가 활성화되어 레이어 간 상호 이동이 가능하도록 구현하였다.

이를 통해 노드 간 통행이 기본적으로 도보를 통해 이루어지지만, 대여 스테이션이 있는 곳, 즉 도보-자전거 더미링크가 연결 및 활성화된 곳에서는 자전거로 수단을 변경하여 기존 가로망을 따라 다른 자전거 대여 스테이션이 있는 곳으로 이동하는 현상을 모사할 수 있다.



<그림 1> 네트워크 구현의 기본 개념도

예를 들어, 그림 1의 네트워크에서는 노드 1, 5, 9번에 두 레이어를 연결하는 더미 링크가 활성화되어 있어, 각각이 대여 스테이션이 입지한 곳임을 나타낸다.

2. 목적함수 및 제약조건

본 연구에서는 대여소 최적 입지의 탐색을 위해 모든 통행자의 시간가치비용과 대여소 총 구축비용의 합을 총 시스템 비용으로 보고, 이를 최소화하는 목적함수를 가진 모형식을 사용하였다.

제약조건으로는 모든 통행은 최소 비용 경로로만 이루어진다는 최소통행시간 제약(2)과 최대 대여소 개수 제약 조건(3)을 적용하였다. 대여 스테이션이 이미 입지하고 있는 노드 또는 정책적으로 사전에 입지가 결정된 노드(도시철도 정거장 등)의 입력(4)도 제약조건에서 이루어진다. 노드 i 가 대여 스테이션인지 여부, 즉 해당 노드에서 두 레이어를 연결하는 더미 링크의 활성화 여부를 결정하는 결정변수 X_i 는 0과 1의 정수로 표현되는 Binary Set이다(5)

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} V_{ij} + \sum_{i \in N} \alpha_i X_i \quad (1)$$

subject to

$$t_{ij} = \min(tp_{ij}, tv_{ij}) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} X_i \leq p \quad (3)$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 = 1 \quad (4)$$

$$X_i \in \{0, 1\} \quad (5)$$

이 모형에 사용된 변수는 다음과 같다.

t_{ij} : 노드 i ~ j 간 소요시간

tp_{ij} : 노드 i ~ j 간 도보 소요시간

tv_{ij} : 노드 i ~ j 간 도보·자전거 소요시간

V_{ij} : 노드 i ~ j 간 수요(교통량)

α_i : 노드 i 에 대여 스테이션 설치 시 비용

X_i : 노드 i 가 1 - 대여소, 0 - 대여소 아님

p : 대여소 총 개수의 제약

N : 노드 집합

III. 예제 네트워크

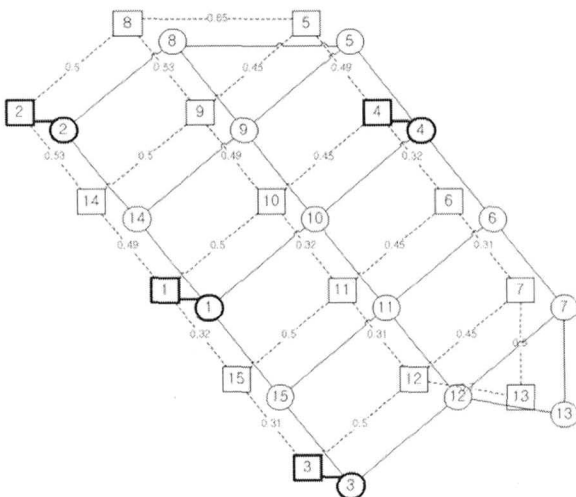
1. 예제 네트워크 개요

제안된 네트워크 구현 방법론 및 이를 적용한 모형을 시험하기 위하여 예제 네트워크를 사용하였다. 예제 네트워크로는 현재 서울특별시의 공공자전거 서비스가 시험 운영 중인 여의도를 모사한 가상의 네트워크를 구축해 사용하였다.

가상 네트워크의 노드로는 도시철도 정거장, 주요 교차로, 공원입구 등 총 15개 노드를 선정하였다. 특히 네트워크 내 4곳의 도시철도 정거장은 기본적으로 대여 스테이션이 이미 입지 또는 사전에 입지가 결정된 것으로 간주하고 무조건 대여소가 입지하도록 제약 조건에 반영하였다.



<그림 2> 여의도 현황 지도



<그림 3> 구축된 가상 예제 네트워크

OD간 수요는 도시철도 정거장 노드(노드1~노드4)와 비 도시철도 정거장 노드(노드5~노드15) 간에만 발생한다고 가정하여 다음과 같은 OD 테이블을 사용하였다.

	1	2	3	4
5	16	87	42	83
6	32	35	34	69
7	99	70	99	56
8	39	38	99	27
9	96	5	69	23
10	13	85	80	64
11	67	22	6	79
12	43	5	22	85
13	62	21	93	6
14	82	23	44	94
15	18	37	58	45

<표 1> 사용된 OD 테이블

모형에 사용된 상수는 다음과 같다. 사용된 값은 모형의 작동 여부를 확인하고자 임의의 값을 사용하였으며 조정 가능하다.

Station 설치 비용		300,000원/개소
시간가치 비용		3,600원/시간
이동속도	도보	3.6km/h
	자전거	14.4km/h
	환승시간	60초

주) 위 값은 예시로서 조정 가능함

<표 2> 모형의 상수

아무것도 수행하지 않았을 때, 즉 사전에 결정된 스테이션 외에 다른 스테이션을 아무 것도 설치하지 않았을 때의 목적식 값(총 시스템 비용)은 3,864,036원이다.

2. 풀이 알고리즘

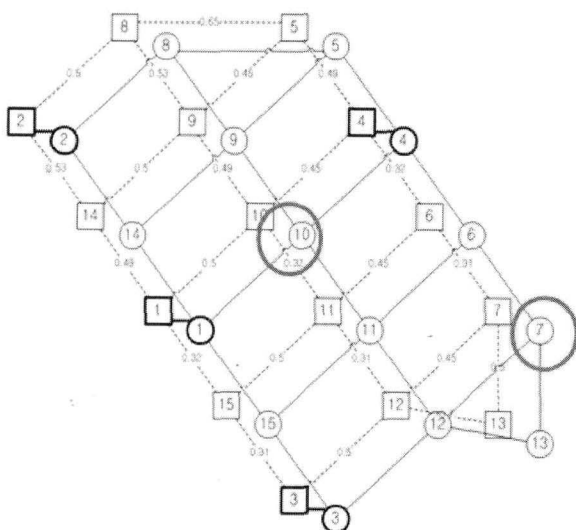
결정변수 X_i 는 0과 1의 정수로 표현되는 Binary Set이므로, 이 문제는 복잡도가 2^n (n =노드 개수)인 IP문제이다. 따라서 이 문제는 노드의 개수가 늘어날수록 풀이 시간이 기하급수적으로 늘어나는 NP-hard 문제가 된다.

따라서, 향후 모형 확장이 용이하도록 유전자 알고리즘(GA)을 이용한 Heuristic 풀이 방안을

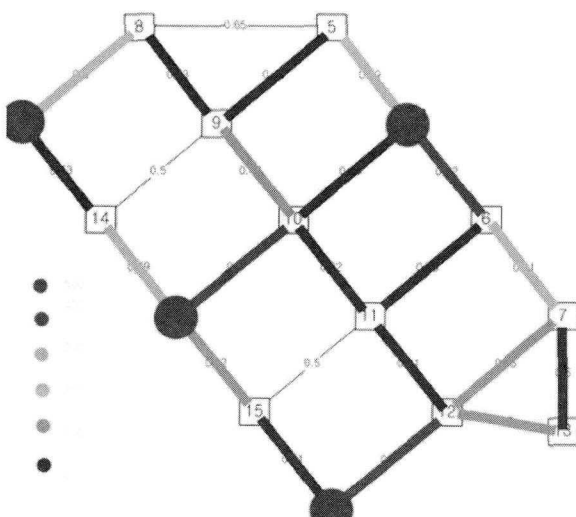
제시하였다. 모뎀단 50개, 돌연변이 발생 확률을 0.05, 적합도는 목적식 값으로 설정하였으며, 선택 확률은 Rank 방식을 적용하였다. 적합도 연산 과정에서 사용되는 최단 경로 선택 알고리즘으로는 모든 노드에서 다른 모든 노드로의 최단경로를 구하는 알고리즘인 Floyd 알고리즘을 사용하였다.

3. 결과

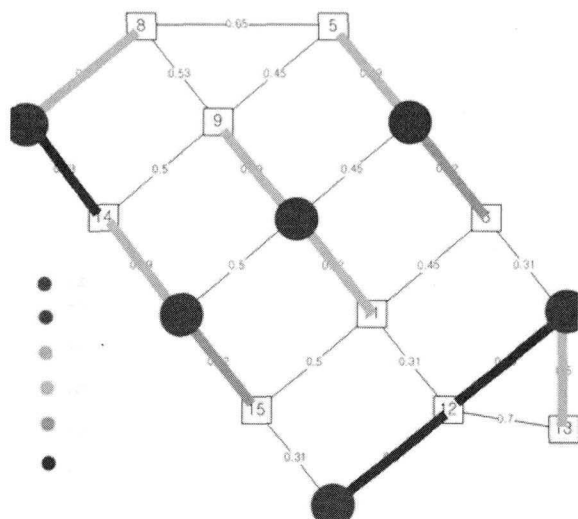
연산을 수행한 결과 노드7, 노드10에 대여 스테이션을 추가하는 전략이 도출되었다. 이 때의 목적식 값은 3,586,152 원으로 Do-nothing 시나리오 대비 277,884 원의 편익이 발생하였다.



<그림 4> 연산 결과 선택된 대여 스테이션



<그림 5> 스테이션 추가 전 보행자 흐름



<그림 6> 스테이션 추가 후 보행자 흐름

특히 대여 스테이션을 추가하자 대여 스테이션을 중심으로 보행자 레이어의 교통 흐름이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

1. 결론

수단별 레이어 형태의 구조 및 더미 링크의 활성화 여부를 대여 스테이션의 입지 선택 여부로 사용하는 방법을 통해, 최적화 모형 문제를 풀기 위해 필요한 자전거 네트워크 구축이 가능함을 확인하였다.

또한 예제 네트워크의 풀이 사례를 통해, 적절한 위치에 대여 스테이션을 구축함으로써 보행자 교통 흐름을 자전거 네트워크 중심으로 재편할 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 이는 실제 보행자 교통량을 고려한 대여 스테이션 입지 설정을 통해 접근 교통수단으로서 자전거가 역활을 극대화할 수 있음을 시사한다.

2. 향후 연구과제

향후 연구과제로는, 도시철도 또는 자전거전용도로의 레이어를 추가하여 전체 대중교통 범위의 확장 가능성을 검토할 수 있으며, 대여소의 자전거 재고비용 및 재배치에 관한 제약조건을 추가함으로써 실제 현실적인 운영전략 도출에 이용하는 방안을 연구할 수 있다.

참고문헌

- O'Kelly, M.E., 1986. The locating of interacting hub facilities. Transportation Science 20 (2), 92 - 106.
- Lin, J.-R. and Yang, T.-H. (2010), "Strategic Design of Public Bicycle Sharing Systems with Service Level Constraints", Transportation Research Part E 47 (2011) 284 - 294
- 권오현 (2009), KTDB 월별 지하철 수송실적 (역간OD) 자료를 활용한 수도권 광역·도시철도 네트워크 모델 구축, 2009년 한국ITS학회 추계 학술대회