

# 최적 경로 탐색을 이용한 자전거 경로 선정에 관한 연구

## A Study on Bicycle Route Selection Using Optimal Path Search

백승헌<sup>1)</sup> · 한동엽<sup>2)</sup>

Baik, Seung Heon · Han, Dong Yeob

### Abstract

Dijkstra's algorithm is one of well-known methods to find shortest paths over a network. However, more research on A\* algorithm is necessary to discover the shortest route to a goal point with the heuristic information rather than Dijkstra's algorithm which aims to find a path considering only the shortest distance to any point for an optimal path search. Therefore, in this paper, we compared Dijkstra's algorithm and A\* algorithm for bicycle route selection. For this purpose, the horizontal distance according to slope angle and average speed were calculated based on factors which influence bicycle route selection. And bicycle routes were selected considering the shortest distance or time-dependent shortest path using Dijkstra's or A\* algorithm. The result indicated that the A\* algorithm performs faster than Dijkstra's algorithm on processing time in large study areas. For the future, optimal path selection algorithm can be used for bicycle route plan or a real-time mobile services.

Keywords : GIS, route selection, bicycle, Dijkstra, A-star

### 초 록

다익스트라 알고리즘은 네트워크 상에서 최단경로를 찾는 것으로 널리 알려져 있다. 그러나, 최적 경로 탐색을 위하여 임의점과의 최단거리만 고려해서 선택하는 다익스트라 알고리즘보다 목표점까지 휴리스틱 요소를 고려하여 판단하는 A\* 알고리즘에 대한 연구가 더 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 자전거 경로 선정을 위한 다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘의 성능을 비교하였다. 이를 위하여, 자전거 경로 선정 요소를 이용하여 경사에 따른 수평거리와 평균 속도를 계산하였다. 그리고 다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘을 적용해 최단거리와 최단 시간에 따른 자전거 경로 선정을 수행하였다. 실험 결과 대규모 지역에서 A\* 알고리즘이 다익스트라 알고리즘보다 경로 선정 처리 시간이 빠르게 나타났다. 향후 최적 경로선정 알고리즘은 자전거 노선 계획이나 자전거 실시간 모바일 앱에 활용될 수 있다.

핵심어 : 지리정보시스템, 노선 선정, 자전거, 다익스트라, A\*

## 1. 서 론

자전거는 대표적인 녹색 교통수단으로 유럽, 미국, 일본 등 주요 선진국에서는 이미 주요 교통수단의 하나로서 자리 잡고 있다. 시간, 건강, 레저 등의 목적에 따라서 적절한 경로를 선택하여 자전거를 이용하면 자전거의 효율적인 활용으로 이어질 수 있다. 일반적으로 자전거를 타고 목적

지까지 이동할 때 경험적으로 선택한 경로를 이용하여 이동한다. 그러나 자전거 도로가 많이 건설되고 있는 현재 상황에서, 정량적 분석에 의한 효과적 자전거 경로를 선택할 수 있도록 경로선정 연구가 필요하다.

최단경로 선정 연구는 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘이 일반적으로 적용되고 있다(abboud, 2004). 다익스트라 알고리즘은 최단경로를 찾는 알고리즘이지만 특정한 목적지

1) 정희원 · 전남대학교 대학원 건설환경공학과 석사(E-mail : kindtmdgjs@naver.com)

2) 교신저자 · 정희원 · 전남대학교 공학대학 해양토목공학과 교수(E-mail : hozilla@chonnam.ac.kr)

하나를 명시하지 않고 하나의 시작점만 주면 다른 모든 정점에 이르는 최단거리를 구하는 알고리즘이다. 그러나, 하나의 목적지까지 최단거리로 경로를 찾을 경우 다익스트라 알고리즘은 연산량의 낭비가 있을 수 있다(문병로, 2007). 이에 비하여, 단방향 A\* (A-star) 알고리즘은 최적 경로를 보장하고 다른 단방향 탐색 방법에 비하여 매우 우수한 것으로 알려져 있다(dechter, 1985; 방수남 등, 2006).

국내에서도 최적경로 선정 알고리즘에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 강환일 등(2008)은 그래프의 출발점과 도착점으로부터 다익스트라 알고리즘을 이용하여 최소비용 최적 경로를 산출하였다. 안진호 등(2010)은 최단 경로를 고속으로 찾기 위하여 A\* 알고리즘과 하드웨어의 구조를 개선하였다. A\* 기반의 경로 탐색에서 가장 시간이 많이 걸리는 오픈리스트구조를 우선순위 큐로 구현하여 노드 정보 탐색과 정보처리 기능을 분산 처리하는 기술을 제시하였다. 무인자동차 주행 분야에서도 최단경로 선정 알고리즘이 다양하게 연구되고 있다. 나정훈 등(2009)은 무인자동차량의 항법시스템 개발을 위해 GPS와 경유점을 이용한 글로벌 경로계획 알고리즘을 개발하였다. 우훈제 등(2009)은 다익스트라,를 포함하여 A\*, D\*, RRTs(Rapidly-Exploring Random Trees) 알고리즘을 이용한 무인자동차의 최적 경로 계획방안을 연구하였다.

GIS 분야의 입지 선정, 노선 선정, 경로 탐색에 대한 연구는 1990년대부터 추진되어 왔으며, 2000년대에 들어와 활발하게 연구가 진행되고 있다. 최재화 등(1991)은 GIS를 이용하여 최적경로 선정을 위한 공간자료를 정규형 격자로 생성하고, 각 정규형격자에 토지이용현황, 지가, 경사도 등을 고려하여 얻은 가중치를 적용하였다. 이를 GIS의 속성 데이터로 사용하고 세 개의 노선을 선정하여 실제 노선의 선정과정에서 GIS의 활용가능성을 제시하였다. 이신준 등(1999)은 노드를 이용해 거리를 계산하고, 방향성을 갖는 깊이우선탐색방법과 너비우선탐색방법을 사용하여, 경로 탐색 분석 시스템을 구현하였다. 이종출 등(2005)은 GIS 기반의 계층분석과정으로 선정된 평면선형을 분석하고, 이를 기반으로 중단선형의 설계를 중단경사 변화에 의한 다각적인 방법으로 분석하여 합리적이고 신속한 노선 선정의 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 자전거 최적 경로 분석을 위하여 대표적으로 사용되는 다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘을 적용하여 비교하고 자전거 최적 경로 선정을 하였다. 연구대상지역은 여수시 일대로 국토해양부의 “자전거 이용시설의 구조·시설기준에 관한 규칙”, “자전거도로 시설 기준

및 관리 지침”, “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙” 등 관련지침을 파악하고, 자전거도로의 최적 경로 선정을 위해 다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘의 최적 경로 선정 알고리즘을 적용하였다. 자전거도로 네트워크는 경사에 따른 거리와 평균 운행 속도를 계산하고, 절점 및 경계선과 네트워크 모델을 구축하였다. 최적 경로 탐색을 이용하여 알고리즘의 선정 경로를 살펴보고, 연산시간을 평가하였다. 상세한 실험 방법의 연구흐름은 그림 1과 같다.



그림 1. 연구 흐름도

## 2. 자전거 경로 선택 알고리즘

최적경로탐색은 출발지 또는 경유지와 목적지와의 경로에서 가장 효과적인 비용을 갖는 경로를 찾는 것이다. 최적경로탐색은 1950년대 Ford(1956)와 Bellman(1958)의 알고리즘 “Bellman-Ford”을 기반으로 하여 Moore(1959)의 “Moore-Bellman-Ford” 알고리즘과 Dijkstra(1959)에 의해 그 기틀이 마련되었으며, 그 이후 많은 알고리즘들이 제안되고 있다.

### 2.1 다익스트라 알고리즘

다익스트라 알고리즘은 출발점 하나를 고정하여 그 출발점으로부터 다른 모든 정점들 사이의 경로 중 최단경로를 구하는 단일 출발점 최단경로탐색 문제를 위한 알고리즘이다. 즉, 한 출발점에서 다른 모든 정점으로의 최단경로를 구하는 알고리즘이다. 다익스트라 알고리즘의 과정은 다음과 같다(Kurose 등, 2005).

$D(v)$ : 출발점  $u$ 에서 노드  $v$ 까지 최소비용

$N'$ : 만약 출발점에서 노드  $v$ 까지 가는 경로가 최소비용이라는 것을 알면 노드  $v$ 는  $N'$ 에 속한다. 노드의 전체집합은  $N$ 이고,  $N'$ 는 이미 처리된 부분집합

$p(v)$ : 출발점에서 노드  $v$ 까지 가는 최소비용 경로에서 노드  $v$ 의 바로전의 노드

(a) 초기화

-  $N' = \{u\}$

- 모든 노드  $v$ 에 관하여, 만약 노드  $v$ 가 노드  $u$ 의 이웃 노드이면  $D(v) = c(u, v)$  아니면  $D(v) = \infty$ 이다.

(b) 반복시작

-  $D(w)$ 가 최소가 되는  $N'$ 에 없는 노드  $w$ 를 찾는다.

-  $N'$ 에 노드  $w$ 를 추가한다.

-  $N'$ 에 없는 노드  $w$ 의 모든 이웃 노드  $v$ 에 관하여  $D(v)$ 를 갱신한다.

$$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v)) \quad (1)$$

-  $N' = N$ 이 될 때까지 반복한다.

## 2.2 A\* 알고리즘

A\* 알고리즘은 Hart 등(1968)이 처음 A 알고리즘이라고 기술하였다. 각 노드에 우선 순위를 부여하는 휴리스틱을 사용하여 이 알고리즘을 사용하면 최적이 되므로 A\* 알고리즘이라고 불린다. 알고리즘의 기본 개념은 조사하지 않은 state들 중 가장 유용한 state을 반복 조사하는 것이고, 목표에 도달하지 않으면 계속 인접 state을 조사한다. A\* 알고리즘은 추정 방향으로의 경로탐색으로 전체적인 탐색횟수가 적고 적은 메모리 사용으로 알고리즘의 수행시간이 단축될 수 있다. 이를 위한 평가 함수  $f(n)$ 은 식(2)와 같이 두 개의 경로비용 함수로 이루어진다.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (2)$$

$g(n)$ : 출발 노드로부터 노드  $n$ 까지의 경로비용으로, 지나온 노드들의 누적탐지확률

$h(n)$ : 노드  $n$ 으로부터 목표 노드까지의 경로비용

## 2.3 자전거도로 경로 선정의 비용 요소

자전거도로의 최적경로를 찾기 위한 비용으로 자전거 이동거리와 소요시간을 선정하였다. 비용함수의 주요 인자인 이동거리는 자전거도로의 공간데이터로부터 추출하였다. 소요 시간의 경우 자전거도로 공간자료의 노드간 경사도를 계산하고, 이에 따른 자전거 이동속도를 고려하여 이동 시

간을 계산하였다(이광원, 2011). 도로경사도는 그림 2와 식(3)에서와 같이 수평거리와 수직거리로 계산할 수 있다.

$$\text{경사도}(\%) = \frac{B(\text{높이})}{A(\text{수평거리})} \times 100 \quad (3)$$

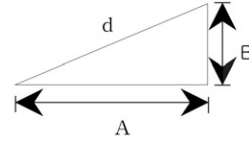


그림 2. 경사도 개념

평지에서의 자전거 이동 속도는 평균 18km/h로 하였다. Mike(2009)는 오르막과 내리막에서의 경사에 따른 속도 증감을 모델식으로 표현하였으며, 모델식의 단위를 meter로 단위변환 후 근사식으로 정리하면 식(4)와 같다(이광원, 2011).

$$\begin{aligned} \text{오르막 속도} &= 5 - [(+slope) * (40)] \text{ m/sec} \\ \text{내리막 속도} &= 5 - [(-slope) * (150)] \text{ m/sec} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $slope$ : 경사도(%)

5: 평지에서의 평균 이동속도

자전거의 평균 이용속도는 지형의 경사에 따라 다르지만, 표 1과 같이 기존 자료를 참고하여 평지에서의 평균 속도, 오르막 도로에서의 최저 속도와 내리막 도로에서의 최고 속도를 한계 속도로 활용하였다.

표 1. 지형에 따른 자전거의 속도(이광원, 2011)

지형 유형	구 분	이동 속도		참고기준
		m/s	km/h	
평지	평균 속도	5	18	자전거 평균 이동 속도
내리막 도로	최고 속도	8.33	30	설계기준에 의한 자전거안전 속도
오르막 도로	최저 속도	0.83	3	오르막에서의 평균 걷는 속도

## 3. 최적 경로 선정 실험 및 분석

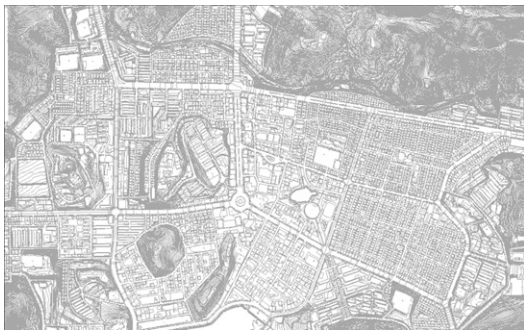
### 3.1 GIS 데이터베이스 구축

본 연구에서는 여수시와 산업단지 권역을 연구 대상지역으로 선정하고, GIS 데이터베이스 구축방법 및 경로 선

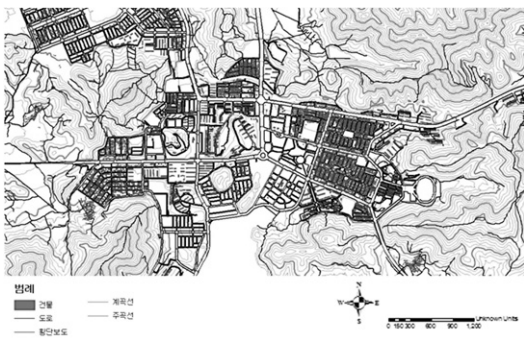
정 알고리즘을 적용 분석하였다. 연구대상 지역은 주거지역, 상업지역과 학교들이 분포되어 있어 자전거 이용이 많을 것으로 예상되며 출퇴근으로 인한 대중교통과의 연계가 가능한 지역이다.

자전거도로의 최적 경로 선정을 위해 필요한 공간데이터는 1:1,000 수치지형도에서 추출할 수 있다. 표 2와 그림 3은 1:1,000 수치지형도와 추출된 공간분석용 레이어, 구축된 공간정보를 나타내고 있다. 공간정보 구축 및 노선 선정은 ArcGIS 10.0을 이용하였다. 네트워크 분석 과정에서 일부 알고리즘 처리를 위하여 스크립트 코드를 작성하였다.

수치지형도로부터 추출된 공간정보는 GIS 데이터베이스화를 통하여 그림 3(b)와 같이 GIS 데이터베이스로 구축된다.



(a) 1:1000 수치지형도



(b) GIS DB

그림 3. 수치지형도로부터 추출된 공간정보

자전거도로의 네트워크는 수치지형도로부터 추출된 차도 경계선과 횡단보도 레이어를 이용하여 경계와 정점으로 구축하고, 일정한 정밀도의 거리와 경사를 구하기 위해, 그림 4와 같이 최소 10m에서 최대 20m 까지 일정한 구간거리가 되도록 정점을 추가 또는 삭제하여 구축하였다.

표 2. 1:1,000 지형도의 노선분석용 레이어

구분	지형지물명	객체형태
도로	일반국도, 지방도 등	선
	횡단보도	면
기타	주택, 아파트, 빌딩 등 건물	면



그림 4. LiDAR 표고 데이터와 구간 정점

경사 자료를 구하기 위한 표고값은 항공 LiDAR 데이터를 이용하였다. 자전거도로에 대한 GIS 데이터베이스에서 경사도를 계산하고, 경사에 따른 운행속도, 횡단보도 대기 시간을 이용하여 구간별 소요시간을 얻는다. 본 연구에서 구축한 GIS 데이터베이스의 필드는 이동거리, 경사도, 이동시간, 이동속도 등이다. 그림 5는 구간별 경사도 및 이동시간을 나타내는 테이블이다.

RANGE_RAST	meters	slope	upminutes	upveloci_1	doveteci_1	dominute_1
0.06	7577	0	1.5	5	5	1.5
0	4586	6	1.02	2.6	14	0.26
0.28	0.755	27	0.12	-5.8	45.5	0.02
0.19	6438	0	1.29	5	5	1.29
0.02	8431	1	1.4	4.6	6.5	0.69
0.09	5689	6	3.06	2.6	14	0.57
0.51	3973	1	0.66	4.6	6.5	0.61
0.02	9743	5	3.55	3	32.5	0.78
0.52	4145	8	2.28	1.8	17	0.24
0.33	3269	0	0.64	5	5	0.64
0.000999	2137	2	0.57	4.2	9	0.27
0.040999	0.375	0	0.06	5	5	0.06
0	4917	4	1.45	3.4	11	0.45
0.210001	1459	0	0.29	5	5	0.29
0	2629	1	0.57	4.6	6.5	0.4
0.02	6836	4	2.01	3.4	11	0.62
0.200999	9224	2	2.2	4.2	9	1.15
0.18	2559	1	0.64	4.6	6.5	0.45
0.000001	5706	2	1.36	1.96	0.71	1.69
0.1	9665	1	1	2.1	14.9	0.44
0.09	0.153	0	0.02			0.02
0.040001	8156	2				1.02
0.199999	4887	4				0.44
0.000001	4523	4				0.44
0.310001	4364					

그림 5. 자전거도로망의 구간속성 테이블

### 3.2 최적 경로 선정

본 연구에서는 여수시 일대를 10구역으로 나누어 각 구역별 시점과 종점을 지정하여 최적 경로 선정을 하였다. 표 3은 여수시를 권역별로 구분한 것이다.

표 4는 각 권역내에서 출발지와 목적지 한쌍을 선택하여 경로선정 결과에 대하여 시간과 거리의 차이를 나타낸 것

표 3. 여수시 권역별 구분

구분	구역	시점	종점
1구역	학동구역	1청사	신동아파밀리에 아파트
2구역	무선구역	주공 3단지 아파트	성산공원
3구역	미평구역	선경 2차	충무고등학교
4구역	여문구역	부영 9차 아파트	이마트
5구역	충무구역	여수시외버스터미널	여수교동시장
6구역	대교구역	진남관	돌산대교 팔각정
7구역	신월구역	전남대 국동캠퍼스	돌산대교 팔각정
8구역	중앙구역	여수관광호텔	진남관
9구역	엑스포 구역	여수시외버스터미널	엑스포
10구역	돌산구역	돌산 청솔 1차 아파트	돌산공원

이다. 최단거리, 최단시간, 2개 알고리즘의 조합으로 4가지의 결과를 얻는다.

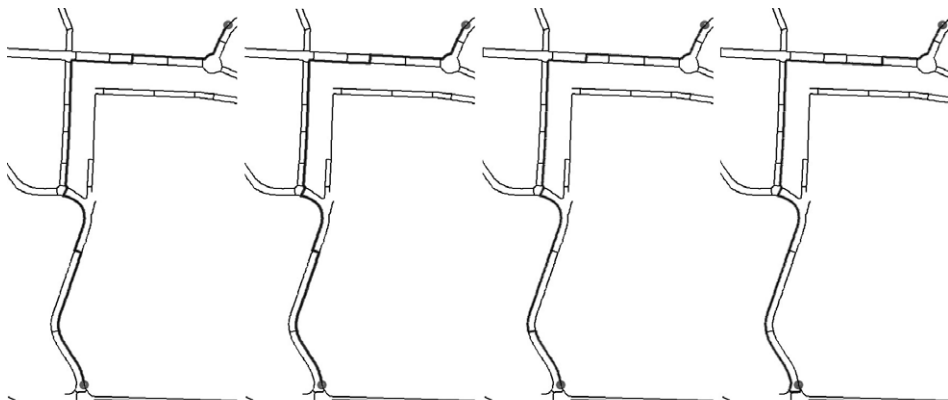
4개의 노선이 같은 경우 이동시간과 이동거리가 동일하기 때문에 감소율, 즉 효율성은 0이 된다. 10권역의 경우 다익스트라와 A\*의 알고리즘 여부와는 무관하고, 최단시간과 최단거리 기준에 따라 노선이 다르게 나타난 경우이다. 감소율은 산출하는 방법은 최단시간의 경우 최단거리 기준에 의한 결과보다 시간이 감소한 정도를 나타낸다. 최단거리의 경우 최단시간 기준에 의한 결과보다 거리가 감소한 정도를 나타낸다.

시간과 거리의 다른 단위를 직접 비교하기 어렵기 때문에 감소율로 전체적인 양상을 분석하였다. 10개 권역의 10개 경우를 볼 때, 이동거리 기준에 의한 거리 감소율보다 이동시간 기준에 의한 시간 감소율이 크게 나타났다.

10개 권역 중에서 6구역인 대교구역의 경로선정 결과는 그림 6과 같다. 6구역은 수평인 도로(그림의 상단 부분)와 경사가 완만하게 상승하는 도로(그림의 하단 부분)로 이루어져 있다.

표 4. 권역별 이동거리 및 이동시간 감소율

구분	알고리즘	감소율 (%)	권역별										권역평균
			1권역	2권역	3권역	4권역	5권역	6권역	7권역	8권역	9권역	10권역	
다익스트라	이동거리	0	1.14	0	0	1.06	0.72	0.54	0	3.59	0.01	1.18	
	이동시간	0	0.2	0	0	0.91	12.33	3.17	0	3.78	0.61	3.5	
A*	이동거리	0	0.96	0	0	1.06	3.42	2.01	0	3.59	0.01	1.84	
	이동시간	0	0.16	0	0	0.9	9.75	17.13	0	3.78	0.61	5.39	



(a) 최단거리 기준의 다익스트라 알고리즘

(b) 최단거리 기준의 A\* 알고리즘

(c) 최단시간 기준의 다익스트라 알고리즘

(d) 최단시간 기준의 A\* 알고리즘

그림 6. 6구역인 대교구역의 경로 선정 결과

최단거리 기준에서 다익스트라와 A\*의 알고리즘의 경로 선정 결과는 같게 나왔다. 최단시간 기준의 결과는 최단거리 기준의 결과와 다르게 나타났으며, 수평인 도로 부분보다 경사지역에서 더 다르게 나타났다.

이는 경사지역에서 시간에 대한 효율성이 더 고려되었다고 볼 수 있다. 다익스트라는 최단거리 기준으로 이동할 경우 최단시간을 기준으로 이동한 거리보다 전체 길이의 0.72%인 11.77m를 단축할 수 있고, A\*는 3.42%인 57.76m를 단축할 수 있다.

다익스트라는 최단시간 기준으로 이동할 경우 최단거리 기준으로 이동한 시간보다 전체 시간의 12.33%인 76.32초를 단축할 수 있고, A\*는 9.75%인 60.34초를 단축할 수 있다.

A\* 알고리즘의 최단시간 노선 선정 결과는 최단거리 선정결과보다 소요시간 감소율이 5.39%로 가장 크다. 그림 7은 표 4의 결과를 그래프로 표현한 것으로 그래프에서 일정한 경향을 찾기는 어렵다. 대상지역의 노선 구조에 따라 감소율에 차이가 있다고 볼 수 있다.

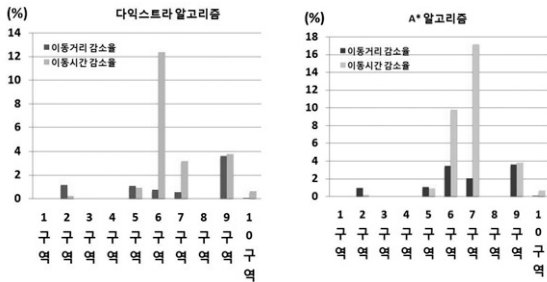


그림 7. 권역별 이동거리 및 이동시간 비교

## 4. 처리 및 분석

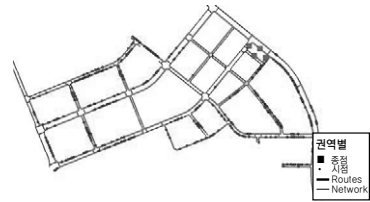
### 4.1 소규모지역 자전거 경로 분석

소규모지역은 자전거를 여가에 이용할 경우, 본 실험에서는 여수 무선지역 주택지에서 롯데마트까지 자전거를 타고 가고자 할 경우, 이동 거리 및 시간을 기준으로 경로를 찾았다. 출발점은 롯데마트 주변 주택지 485곳이며, 도착점은 롯데마트 4점으로 선정하였다. 실험 대상지역은 도로의 경사가 완만한 지역으로 최단 경로를 선정한 결과 1940개의 노선이 탐색되었고, 탐색된 노선은 그림 8 및 그림 9와 같다. 그림에는 485개의 겹쳐진 노선과 출발점 485점, 도착점 4점이 표현되어 있다.

다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘에 의한 경로 탐색 결과는 표 5와 같다. 다익스트라 알고리즘을 이용하여 최단거리



(a) 최단거리

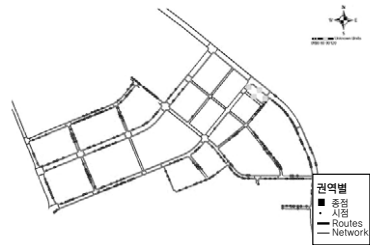


(b) 최단시간

그림 8. 소규모지역의 다익스트라



(a) 최단거리



(b) 최단시간

그림 9. 소규모지역의 A\*

표 5. 소규모지역 탐색 노선 현황 비교

구 분	감소율(%)		수행 시간 (sec)
	크기	전체 노선 중 비율	
다익스트라 알고리즘	이동거리	1.1~1.5	23.71
	이동시간	0.3~1.6	23.09
A* 알고리즘	이동거리	1.7~2.3	20.57
	이동시간	0.1~2.0	28.41

기반에 의해 결정된 노선과 최단시간 기반에 의하여 결정된 노선 간 이동거리의 차이가 1.1~1.5%인 노선은 전체의 23.71%이고, 나머지 76.29%는 이동거리 차이가 없다. 이동시간의 차이가 0.3~1.6%인 노선은 전체의 23.09%이고 나머지 76.91%는 이동시간 차이가 없다. 이동거리에 따른 경로선정 연산은 2분 56초가 소요되었고, 이동시간은 3분 12초가 소요되었다.

A\* 알고리즘을 이용하여 최단거리 기반에 의해 결정된 노선과 최단시간 기반에 의하여 결정된 노선 간 이동거리의 차이가 1.7%~2.3%인 노선은 전체의 20.57%이고, 이동시간의 차이가 0.1~2.0%인 노선은 전체의 28.41%이었다. 이동거리에 따른 경로선정 연산은 2분 41초가 소요되었고, 이동시간은 3분 6초가 소요되었다. 소규모지역으로 실험된 대상 지역의 특성, 직각의 단순한 도로망 구조가 반영되어 감소율 0인 비율이 높고, 시간과 거리 감소비율도 크지 않았다.

### 4.2 대규모지역 자전거 경로 분석

대규모 지역은 자전거를 출·퇴근에 이용할 경우, 본 실험

에서는 여수 도심 주택가에서 여수 국가 산업단지까지 자전거를 타고 이동하고자 할 경우를 가정하여, 이동 거리 및 시간을 기준으로 최단 경로를 선정하였다. 여수시는 도로의 경사가 급격히 변화하는 지형이 많기 때문에 표 6에서와 같이, 이동 거리 및 이동 시간을 기준으로 최단 경로를 선정할 결과 감소율이 크게 나타났다. 그림 10과 그림 11에는 여러 개의 출발점과 도착점, 선정된 노선이 중첩되어 표시되어 있다.

표 6. 대규모지역 탐색 노선 현황 비교

구 분	감소율(%)		수행 시간 (sec)	
	크기	전체 노선 중 비율		
다익스트라 알고리즘	이동거리	10.4~25.9	74.84	2,984
	이동시간	20.3~43.6	71.14	1,601
A* 알고리즘	이동거리	18.7~23.3	73.89	3,761
	이동시간	34.1~50.8	84.35	2,844

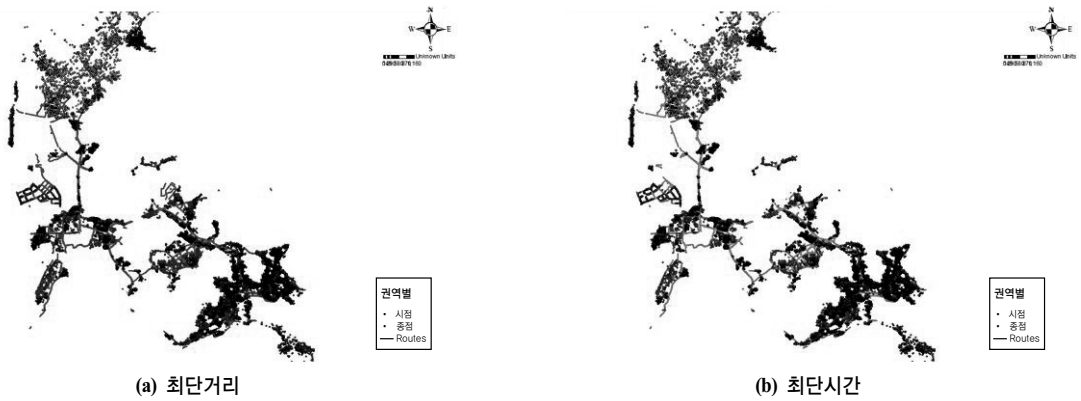


그림 10. 대규모지역의 다익스트라



그림 11. 대규모지역의 A\*

우선, 다익스트라 알고리즘을 이용한 최단 거리 기준과 최단 시간기준에 의하여 결정된 노선은 그림 10과 같이 나타났다. 두 기준에 의하여 선정된 노선 간 이동거리의 차이가 10.4~25.9%인 노선은 전체의 74.84%이고, 이동시간의 차이가 20.3~43.6%인 노선은 전체의 71.14%이었다. 나머지 약 25%, 29%는 감소율이 0이다. 이동거리에 따른 경로 선정은 약 50분이 소요되었고, 이동시간 경로 선정은 약 27분이 소요되었다.

A\* 알고리즘을 이용하여 최단 거리기준과 최단 시간기준에 의하여 결정된 노선은 그림 11과 같이 나타났다. 선정된 노선 중 이동 거리의 차이가 18.7%~23.3%인 노선은 전체의 73.89%이고, 이동시간의 차이가 34.1~50.8%인 노선은 전체의 84.35%이었다. 이동거리에 따른 경로 선정은 약 62분이 소요되었고, 이동시간에 의한 경로 선정은 약 47분이 소요되었다.

### 4.3 결과분석

알고리즘을 비교하기 위해 소규모와 대규모 지역으로 구분하였고, 이동거리 기준과 이동시간 기준에 따른 수행시간이 표 7과 같이 나타났다. 이동거리 기준에서 다익스트라 알고리즘은 소규모지역에서 2분 56초, A\* 알고리즘은 3분 12초로 약간 다익스트라 알고리즘이 적게 소요되었다.

표 7. 규모별 알고리즘의 수행시간

구 분		소요시간(sec)	
		소규모	대규모
이동거리	다익스트라 알고리즘	176	2,984
	A* 알고리즘	192	1,601
이동시간	다익스트라 알고리즘	161	3,761
	A* 알고리즘	186	2,244

그러나, 대규모지역에서 다익스트라 알고리즘의 소요시간은 약 50분의 경과시간이 걸렸고, A\* 알고리즘의 결과는 다익스트라 알고리즘의 절반인 약 27분 정도가 소요됐다. 그리고 이동시간을 기반으로 수행했을 시에도 약 25분이 단축되었다.

A\* 알고리즘이 다익스트라 알고리즘에 비해서 수행시간이 감소됨을 알 수 있다. 즉, 대상지역이 소규모이고 자료의 처리양이 적을 경우에는 다익스트라 알고리즘을 사용하는 것이 적절하지만, 대상지역이 크고 공간해상도를

증가하여 정밀 분석할 경우 수행시간을 고려하여 A\* 알고리즘을 사용하는 것이 대안이 될 수 있음을 보여준다.

## 5. 결론

GIS 네트워크 분석 기법을 이용하여 지형공간에 최적 경로 탐색을 적용하여 자전거 경로 선정 방법에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 권역별 자전거 노선 선정 결과 다익스트라와 A\* 알고리즘은 이동거리 감소율이 3.5%, 이동시간 감소율이 3.5~5.4%가 단축되었다. 즉 감소율 측면에서, 출발지에서 목적지까지의 경로 선정 기준 선택시에 최단거리 기준보다 최단시간 기준으로 경로를 잡을 때 더 효과적일 수 있다는 것이다.

둘째, 다익스트라와 A\* 알고리즘의 자전거 경로 탐색 처리시간이 소규모지역에선 2~3분대로 비슷한 결과가 나왔다. 반면, 대구모지역은 A\* 알고리즘으로 처리시에 약 50%의 처리시간이 단축되었다. 이는 대상지역이 크게 확대되어 대규모 데이터로 경로 선정 분석을 수행할 경우 A\* 알고리즘에 의한 처리는 다익스트라 알고리즘보다 처리 시간을 크게 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

본 연구에서는 다익스트라 알고리즘과 A\* 알고리즘을 통하여 자전거 경로 선정 방법에 대하여 비교하였으며, 향후 경로 선정시에 자전거 이용자 의견 수렴, 대중교통과의 연계성을 고려한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구과제는 환경부지정 전남녹색환경지원센터의 연구비 지원에 의해 수행한 연구과제입니다.

## 참고문헌

강환일, 이병희, 장우석 (2008), 입자 군집 최적화와 개선된 Dijkstra 알고리즘을 이용한 경로 계획 기법, 한국지능시스템학회 논문지, 한국지능시스템학회, 제 18권, 제 2호, pp. 212-215.  
 나정훈 (2009), DGPS 기반의 무인자율차량을 위한 항법 알고리즘 개발, 석사학위논문, 국민대학교, pp. 55-56.  
 문병로 (2007), 쉽게 배우는 알고리즘: 관계 중심의 사



- 고법, 한빛미디어, pp. 302-326.
- 방수남, 허준, 손홍규, 이용웅 (2006), 지형공간정보 및 최적탐색기법을 이용한 최적침투경로 분석, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제 26권, 제 1D호, pp. 195-202.
- 안진호, 박민지, 강성호, 문병인 (2010), 우선순위 큐를 이용한 A\* 기반 최단경로 탐색 기법, *한국정보기술학회지*, 한국정보기술학회, 제 8권, 제 8호, pp. 1-7.
- 우훈제, 박상배, 조정환, 김병우 (2009), 무인자율주행차량의 최적 경로 계획 연구, *한국자동차공학회 부문종합 학술대회*, 한국자동차공학회, pp. 988-992.
- 이광원 (2011), GIS에 의한 이용자의 이동특성을 고려한 자전거 노선 선정 방법에 관한 연구, 박사학위논문, 인천대학교, pp. 1-121.
- 이신준, 양성봉, 최윤철 (1999), 경로탐색을 위한 GIS 네트워크 분석 시스템의 구현, *논문집-연세대학교 산업기술연구소*, 연세대학교 산업기술연구소, 제 31권, 제 2호, pp. 79-82.
- 이종출, 노태호, 강윤성, 김세준 (2005), 의사결정 시스템을 이용한 GIS 기반의 노선선정, 2005 GIS/RS 공동 춘계학술대회, 한국지형공간정보학회, pp. 407-412.
- 최재화, 서용운, 이석배 (1991), GIS기법을 활용한 최적노선 선정에 관한 연구, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 9권, 제 2호, pp. 127-138.
- Abboud, M., Abou Jaoude L.M. and Kerbage, Z. (2004), Real time GPS navigation system, *American University of Beirut*, <http://webfea.fea.aub.edu.lb/proceedings/2004/SRC-ECE-27.pdf>
- Bellman, R. (1958), On a routing problem, *Quarterly of Applied Mathematics*, American Mathematical Society, Vol. 16, No. 1, pp. 87-90.
- Dechter, R. and Pearl, J. (1985), Generalized best-first search strategies and the optimality of A\*, *Journal of the ACM*, ACM, Vol. 32, No. 3, pp. 505-536.
- Dijkstra, E. W. (1959), A note on two problems in connection with graphs, *Numerische Mathematik*, Springer, Vol. 1, pp. 269-271.
- Ford, L. R. (1956), Network flow theory, Technical Report P-923, RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J. and Raphael, B. (1968), A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths, *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, IEEE, Vol. SSC4, No. 2, pp. 100-107.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2005), *Computer networking: A top-down approach featuring the internet*, 3rd Edition, Pearson Addison-Wesley, Boston, pp. 262-279.
- Mike, M. (2009), *Alternative impedances for shortest path network analysis for cycling*, GIS-T Symposium summary report, AASHTO, Oklahoma, pp. 49-61.
- Moore, E. F. (1959), The shortest path through a maze, *In proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching*, Part II, Bell Telephone System, pp. 285-292.

---

(접수일 2012. 10. 03, 심사일 2012. 10. 12, 심사완료일 2012. 10. 17)