

운행부하를 고려한 자전거 최적 경로탐색 기법 Bicycle Optimal Path Finding Considering Moving Loads

양정란* · 김혜영** · 전철민***

Yang, Jung Lan · Kim, Hye Young · Jun, Chul Min

요 旨

최근 자전거 이용 활성화를 위한 계획들은 다른 연구들에 비해 비교적 낮다. 또한, 자전거 도로의 접근성 측면의 연구들이 활발히 진행되고 있으나, 지형적 요소와 이용자의 특성을 고려한 연구는 부족하다. 자전거 이용자는 지형적 요소로 경사도와 교차로의 영향을 많이 받으며, 최적 거리의 노선을 요구한다. 본 연구는 자전거 활용에 있어서 통학에서 경로선택을 할 때 지형적 요소를 고려한 최적 노선을 선택하는 경로기법을 제시한다. 이를 위해 최적 경로의 연산에 있어서 경사도와 교차로를 고려한 식을 도출하였다. 제시된 변형식은 송파 일대에 적용하여 편도와 왕복으로 실험하였으며, 일반적인 최적경로와 비교하여 제시하였다.

핵심용어 : 자전거 도로, 최적 경로탐색, 경사도, 교차로, 다익스트라 알고리즘

Abstract

Recent planning for bicycle use is relatively low compared to other studies. Although studies for the bicycle roads accessibility are actively underway, those considering topographical elements and characteristics of the user behaviors are very limited. Choosing paths of cyclists is typically influenced by slopes and intersections as well as optimal distance. This study presents a method to find optimal paths considering topographical elements in case of choosing paths for school commuting using bicycles. Conversion formulae suggested here are tested on a Songpa area using round-trip directions and compared with traditional optimal path computation.

Keywords : Bikeway, Optimal Path Finding, Slope, Intersection, Dijkstra Algorithm

1. 서 론

자전거 경로를 선정하는데 있어 접근성은 중요한 요소이다. 도로의 접근성은 노드간의 상호연결성에 대한 거리의 이용으로 자전거 이용이 편리하도록 하기 때문이다(Kwang-Sik Kim, 1987; Hyun-Ji Seo et al, 2008). 자전거를 통한 접근 유형은 통근-통학을 목적으로 이용하는 생활형, 여가 및 운동을 목적으로 이용하는 레저형으로 구분되어있다(Ministry of Public Administration and Security; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010). 최근 자전거 도로 활성화를 위한 다양한 대안들이 나오고 있지만 주로 레저 중심으로 자전거 도로가 설계되어왔다. 이에 생활교통 자전거 도로의 연속성이 결여된 도로가 많은

상황이다(Ji-Eun Kim, 2010). 이러한 결과 생활교통으로의 자전거 이용은 15%로 레저에 비해 활용성이 적음을 보여준다(Jong-ho Kim, 2011). 따라서 생활교통 자전거 도로에 대한 연구와 관심이 필요하다.

기존의 자전거 도로 경로선택 관련연구들을 살펴보면 대부분 경사도를 고려하지 않고 2차원적인 평면상에서의 최단거리를 고려하여 경로를 연구하였다. 또한 이용자 관점에서 교차로 등 자전거 도로의 연속성에 대한 연구들은 부족한 것으로 보인다. 자전거 이용을 활성화시키기 위해서 경로선택은 지형적 요소와 이용자의 심리적·육체적·시간적 특성을 고려한 연구들로 진행되어야한다(Kwang-won Lee, 2011).

따라서 본 연구의 목적은 자전거 도로의 편리한 접근성과 연속성을 위해 지형적 요소를 고려한 최적의 노선

2012년 11월 5일 접수, 2012년 11월 22일 수정, 2012년 12월 5일 채택

* 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(Member, Master Course, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, yjl0607@uos.ac.kr)

** 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(The Doctor's Course, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, lucykhy@uos.ac.kr)

*** 교신저자 · 정회원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Corresponding author, Member, Corresponding author, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, cmjun@uos.ac.kr)

으로 경로를 선택하는 것이다. 또한 자전거 이용에 있어서 생활교통으로의 접근이 활성화되도록 통학에 초점을 두었다. 이에 최적경로의 연산에 있어서 3차원적인 지형적 요소를 반영하기 위해 경사도와 교차로를 고려한 식을 도출하였다. 여기서 경사도는 자전거가 오르막과 내리막에 따라 속도가 달라지기 때문에 이 둘을 고려한 식을 구분하였다. 또한 교차로는 교차로의 수에 따라 대기시간을 다르게 고려하였다. 그리고 도출한 식을 송파구의 자전거 시범학교가 진행된 고등학교를 중심으로 반경 1km에 적용하였다. 경로선택에 있어서 도로망은 자전거 전용 도로망을 사용하게 될 경우 도로 구간별 끊김과 총 연장길이가 짧아 경로 탐색을 하는데 제한이 되어 일반도로망을 이용하였다. 또한 등·하교를 분리한 편도일 때와 평균적인 왕복거리로 실험하였으며, 이를 일반적인 최적경로와 비교하였다.

2. 선행 연구

본 연구와 관련된 선행연구들을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 자전거 도로의 접근성을 위한 연구로 지형적 요소를 강조하고 고려하는 연구들이 시도되고 있다. Chang-Yong Song et all(1994)는 자전거 도로 설계시 종단구배는 중요한 경로선택 요소로 사용되어, 구배는 자전거 이용자들의 경로선택에 영향을 미칠 뿐만 아니라 주행 중 자전거 이용자들의 핸들조작과 주행 안전성에 영향을 미치기 때문에 최소구배 기준을 고려하여 노선 설계를 하여야 한다고 경사도에 대한 중요성을 언급하였다. Eun-Ji Ha(2012)는 보행에 관한 연구로 단순한 평면상의 네트워크 거리는 보행에 영향을 주는 지형적 특성이 반영되지 않기 때문에 지역에 따라 비슷한 결과 값을 나타낼 수 있다는 한계점이 있어, 구배 기반 가중 접근성을 이용하여 지형특성을 고려하여 보행자가 체감하는 이동거리의 차이가 있다는 것을 밝혔다. 이처럼 보행에서도 지형적인 특성을 고려한 접근성은 중요한 의미를 가진다. 또한 Seung-Heon Back(2012)은 기존 자전거 도로가 지형상황을 고려하여 개설되었는지, 종단경사 기준을 고려하여 연결 가능한 자전거 도로를 제시하였으며, 추가요소로 차선수와 도로 폭을 포함시켜 개설 가능한 자전거 도로 노선을 산출하였다. Jae-Hwa Choi et all(1991)는 GIS를 이용하여 최적 경로선택을 위한 요소의 공간 자료를 정규형 격자로 구분하고, 각 격자에서 토지이용, 지가, 경사도 등을 고려하여 얻어진 가중치를 적용하였다. Jong-Chool Lee et all(2005)는 이전까지의 연구가 평면선형을 기반으로 하여 경로선택을 중심으로 했다는 것을 지적하고, 계층분

석과정으로 선정된 평면선형을 분석하고 그것을 기반으로 종단선형의 설계를 종단경사 변화에 의한 다각적인 방법으로 분석하여 합리적인 경로선택을 도출하여 평가하였다. 이러한 연구들은 자전거 도로를 설계함에 있어 접근성이 가장 중요한 요소이며, 지형적 특성인 경사도를 고려해야 한다고 주장한다. 본 연구에서도 분석 지역에 따라 실질적인 경로선택을 하기 위해 지형적 특성인 경사도를 고려하여 접근성을 분석하였다. 또한 다른 연구와 차이를 두기 위해 자전거 도로 노선은 편도와 왕복 거리를 적용하였고, 더 나아가 교차로까지 고려해 식을 도출하고 비교하였다.

둘째, Dijkstra 알고리즘을 활용하여 변형한 연구들은 다음과 같다. Sang-won Yoon; Sang-hoon Bae(2007)은 기존의 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 거리의 최소비용을 산정하고, 여기서 이동시간, 피로감, 쾌적도와 대기시간 등의 요소를 산출하는 방법 등을 적용하여 객관성을 부여하였다. 또한 Hwan-Il Kang et all(2008)는 기존의 최적경로에서 개선된 Dijkstra 경로를 입자군집 최적화를 적용하여 새로운 최적의 경로를 도출해냈다. Hye-Sook Park(2011)은 Dijkstra 알고리즘에서 회전제한이나 회전금지 등을 입력 자료로 사용했던 부분을 개선하고, 교차로의 통행특성을 고려하여 지속성을 적용할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이에 본 연구는 지형적 요소를 고려한 최적경로 연산을 위해 일반적인 Dijkstra 알고리즘에 경사도와 교차로 요소를 부여하여 변형하였다.

3. 연구방법

3.1 경사도 산정식

경사도를 고려하여 식을 도출하기 위해 Martello(2009)는 네트워크 분석에서 사용되는 기본적인 저항을 이동시간, 이동거리, 이동비용 또는 비용합수를 통해 몇 가지 유형으로 표현하였다. 이러한 매개변수들은 비슷한 지형의 도로라도 자전거 이용자에 따라 소요되는 힘을 고려하지 않으면 자전거 도로로 사용하기에 적합하지 않다고 보았다. 그래서 자전거 이용자를 위해 자전거 도로의 소요되는 힘을 추정하는 작업이 필요하다고 언급하였다. 예를 들어, 45kg(100파운드)의 무게를 들어 올리는 것은 수직으로 45kg의 무게를 약 3m(10피트)만큼 작업하는 것과 같은 힘이 필요하다. 만약, 자전거를 타고 비탈길을 올라가려고 하면 경사만큼 수직으로 작용하는 힘이 더해져 이용자가 느끼는 무게가 더해질 것이다. 따라서 자전거 도로를 설계할 때 그 지역의 지형적인 특성과 자전거 이용자에 따른 특성을 고

려해야 한다고 보았다. Martello(2009)가 사용한 속도 모델식의 기본속도는 4.5m/sec로 가정하였으며, 경사는 십진수로 표현하였다. 또한 오르막, 내리막의 자전거 속도가 다르기 때문에 다음 식 1과 같이 분리하여 언급하였다.

$$\begin{aligned} & \text{오르막 속도(Uphill Velocity)} & (1) \\ & = 4.5 - [(+slope) * (125)] (m/sec) \\ & \cdot \text{최소 } 0.9 \text{ m/sec (걸는 속도)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{내리막 속도(Downhill Velocity)} \\ & = 4.5 - [(-slope) * (500)] (m/sec) \\ & \cdot \text{최대 } 11.1 \text{ m/sec} \\ & slope : \text{경사도 } (\%) \end{aligned}$$

이를 우리나라의 자전거 이용자 특성에 맞게 고려하여 Kwang-won Lee(2011)은 현장 검증을 통해 식 2를 도출하였다. 여기서, 숫자 5는 평지에서의 평균 이동속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \text{오르막 속도(Uphill Velocity)} & (2) \\ & = 5 - [(+slope) * (40)] (m/sec) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{내리막 속도(Downhill Velocity)} \\ & = 5 - [(-slope) * (150)] (m/sec) \end{aligned}$$

앞에서 제시한 경사도에 따른 자전거의 이동속도 계산식을 검증하기 위해 그림 1과 같이 평지인 지역과 경사지역에서의 노선을 시범지역으로 선정하였다. 시범지역에서의 수평거리 및 수직거리를 측정하고 자전거를 이용한 이동시간을 측정하고 계산식에 의한 이동시

간과 실제 이동 시간을 비교·분석하였다.

위의 실험 결과, 평지에서는 실제속도가 약 4.72m/sec로 도출식에 의한 속도 4.98m/sec와 약 0.26m/sec의 차이로 느린 것을 보였다. 오르막 경사에서는 실제속도가 2.82m/sec로 도출식에 의한 속도 4.37m/sec와 약 1.55m/sec의 차이로 느린 것을 보였다. 이는 횡단보도에서의 대기시간이 약 1분에서 길게는 3분까지로 이동하지 않고 대기하였기 때문인 것으로 판단하였다. 이에 횡단보도에서의 평균 대기시간을 약 1분으로 계산할 경우 제안한 식과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 선행연구를 토대로 우리나라의 이동특성에 맞게 경사도에 대해 도출한 식 2를 적용하였다.

3.2 교차로 대기시간 산정식

자전거 도로의 경사도뿐만 아니라 연결성을 고려하기 위해 교차로 요소를 함께 적용하였다. 교차로는 서울시 도로 데이터를 활용하였으며, 그림 2는 송파구의 도로 데이터에 교차로를 입력한 모습이다. 교차로에 대한 신호대기 시간을 가정하는데 Jong-Hoon Lim; Dong-Nyong Kim(2000)은 조사지점에 대한 접근도로의 폭원 등을 고려하여 짧게는 120초에서 길게는 160초까지 신호주기를 가정하였다. 또한 Kwang-won Lee(2011)은 현장실험과 제시한 식을 비교하여 신호대기 시간을 평균 1분으로 가정하였다. Gye-Hyeong Ahn et al(2006)은 보행신호시간에 대한 국내·외 사례를 분석하고, 보행신호시간 산정식을 제안하여 실제 현장자료를 이용해 이를 비교·분석하였다. 대로, 중로, 소로마다 횡단시간이 조금씩 차이가 있었지만 평균적으로 60초 내외로 하였다. 본 연구에서는 선행연구를 토대로 1교차로 당 평균 1분으로 가정하여 교차로 대기시간을 식 3과 같이 제시하였다.

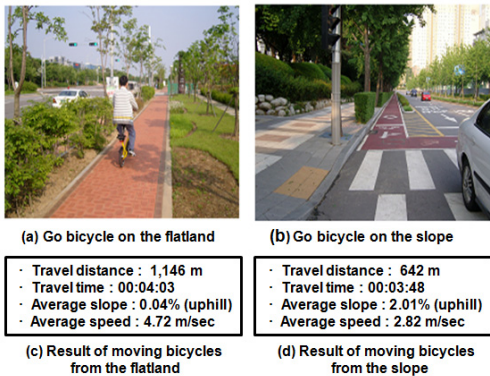


Figure 1. The bicycle moving speed according to the slope verification(Kwang-won Lee, 2011)



Figure 2. Intersection data

$$\begin{aligned} & \text{교차로 속도(Intersection Velocity)} & (3) \\ & = (I/60) \text{ (line/sec)} \\ & I : \text{교차로의 수} \end{aligned}$$

3.3 적용식

식 4는 경사도의 오르막, 내리막 길이에 대한 속도를 고려하고 교차로 수에 따른 속도모델 식을 변형해 최종적으로 제시한 것이다. 여기서, 숫자 5는 평지에서의 평균 이동속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \text{오르막 교차로 속도} & (4) \\ & \text{(Uphill Intersection Velocity)} \\ & = (5 \times 60) - [(+slope) \times (40)] \text{ (m/sec)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{내리막 교차로 속도} \\ & \text{(Downhill Intersection Velocity)} \\ & = (5 \times 60) - [(-slope) \times (150)] \text{ (m/sec)} \end{aligned}$$

4. 대상지역 선정

4.1 대상지역 현황

본 연구의 분석범위는 자전거 도로 이용이 가장 활발하고 자료의 취득이 용이한 서울시 송파구로 정하였다. 송파구는 2003년 서울시 최초로 자전거 교통부서가 신설되었으며, 자전거 도로·보관대·대여소 등의 인프라가 서울시 전체의 25%정도로 주민과 함께 자전거 이용활성화에 노력하였고 꾸준히 프로그램을 개발하고 있다. 또한 송파구 도로는 1980년 지하철 2호선의 개통과 구전역이 바둑판식으로 잘 정리된 넓은 도로망의 건설로 자전거 도로의 이용을 활성화하는데 다른 지역에 비해 잘 구성되어 있다.

송파구는 자전거 이용 활성화를 위해 35개의 자전거 시범학교를 지정하였다. 이는 학교 내에 자전거 주차시설, 공기주압기 설치, 자전거 안전교육 등이 이루어진다.

4.2 데이터 구축 및 적용

데이터는 2012년 4월을 기준으로 조사된 송파구 자전거 도로 현황자료를 참고하여 수집하였다. 또한 경사도 데이터는 20m 서울시 등고선 데이터를 활용하여 그림 3과 같이 구축하였다. 서울시 등고선 데이터를 가지고 ArcGIS기법을 이용하여 등고선과 표고점을 TIN(Triangled Irregular Network)으로 생성하였다. 생성한 TIN 데이터를 이용해 DEM 데이터를 생성하였으며, 완성된 DEM 데이터로부터 경사각을 구하였다.

통학을 목적으로 O-D는 시범학교 중 하나인 오금 고

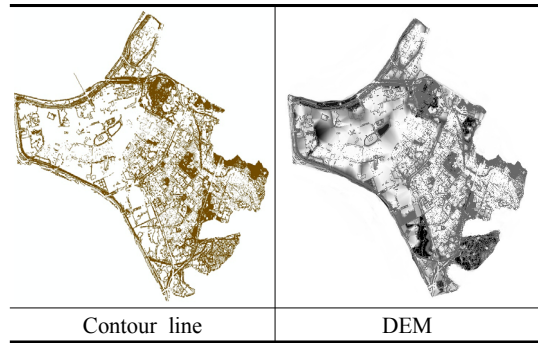


Figure 3. Generating slope maps

등학교와 주거지로 설정하였다. 자전거 이용자 밀도는 설문조사를 실시한 결과 1km~1.2km 구간이 가장 높게 나타났기 때문에(Ha-na Park, 2011), 오금 고등학교를 중심으로 1km 범위의 주거 건물들을 추출하였다. 이 데이터들을 토대로 일반적인 Dijkstra 알고리즘에 지형적 요소를 고려하여 경사도와 교차로 요소를 부여하여 변형한 식을 적용하였다.

5. 실험 및 결과분석

앞에서 지형적 요소를 고려하여 도출한 최적경로로 연산식을 일반적인 최적경로와 비교하였다. 비교한 방법은 등·하교를 분리한 편도일 때와 평균적인 왕복거리로 경사도와 교차로 식의 적용여부로 구분된다. 일반적으로 최적경로를 제시할 때 노선을 편도만 적용한 연구가 대부분이다. 본 연구는 편도뿐만 아니라 왕복거리까지 고려하여 실험하였다. 먼저 그림 4는 오금 고등학교와 주거지를 대상으로 적용하여 경로가 선택된 결과 모습이다. 전반적으로 도로의 경사도는 오금 고등학교가 주거지보다 약 4~5% 높게 나타났다. 그림에서 (a)는 지형적 요소를 고려하지 않고 일반적인 최적경로를 도출한 모습이다. (b)는 등교의 모습으로 경사도를 고려하여 변형식 2를 적용한 결과이다. 주거지에서 오금 고등학교로 올라가고 있는 오르막을 의미하며, 도로의 경사도는 평균 5%로 나타났다. (c)는 하교의 모습으로 오금 고등학교에서 주거지로 내려가고 있는 내리막이 적용되었으며, 도로의 경사도는 평균 4%로 나타났다. (d)는 변형식을 이용하여 (b)와 (c)를 고려한 왕복거리로 적용하였으며, 도로의 경사도는 평균 4.5%로 나타났다. 마지막으로 (e)는 경사도를 고려한 왕복거리에 교차로를 적용한 변형식 4를 이용하여 도출해내었다. 도로의 경사도는 평균 5%로 나타났다. 실험결과, 지형적 요소를 고려하지 않은 (a)와 경사도 및 교차로를 적용한 (e)

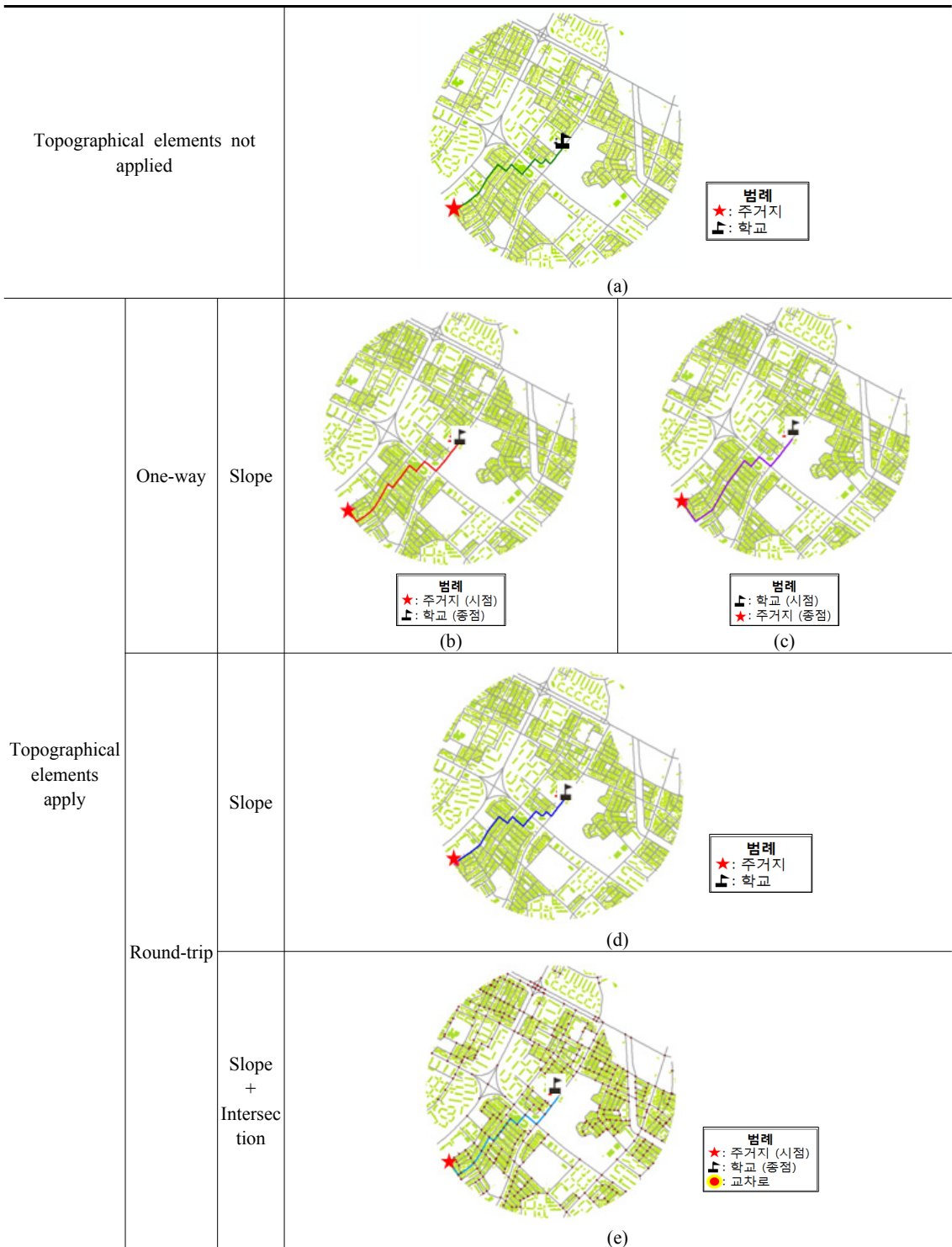


Figure 4. The result of an experiment

Table 1. Comparison of the analysis result

Item	Average slope (%)	Optimal distance (m)	Optimal speed		Intersection
			(m/min)	(m/sec)	
Topographical elements not applied	-	1283.607	317.205	5.287	18
Go to school (uphill)	5.0	1526.393	567.849	9.464	16
Return home from school (downhill)	4.0	1526.405	568.949	9.482	17
Round-trip	4.5	1527.309	567.991	9.467	16
Round-trip and intersection	5.0	1536.341	550.991	9.183	17

가 서로 다른 경로선택을 나타냈다. 또한 전반적으로 오르막길을 의미하는 (b)와 내리막을 의미하는 (c)의 경우, 도로의 경사도는 약 1%의 차이가 났으며, 서로 다른 경로가 선택된 것을 볼 수 있다.

Table 1은 앞의 Figure 4에 대해 정량적으로 보여준 것이다. 첫 번째, 지형적 요소를 고려하지 않은 경우와 경사도 및 교차로를 적용한 경우를 비교해보면 최적거리가 252.734m로 큰 차이를 보인다. 두 번째, 경사도를 고려하여 주거지에서 학교로 등교하는 경우와 학교에서 주거지로 하교하는 경우는 큰 차이는 없지만 하교의 경우가 내리막으로 최적속도가 조금 더 빠른 것을 알 수 있다. 세 번째, 경사도를 고려한 왕복의 경우와 경사도 및 교차로를 고려한 경우는 같은 왕복거리를 적용했지만, 교차로의 반영으로 최적속도가 약 0.284m/sec의 차이가 났다. 교차로는 3차로 11개, 4차로 6개로 총 17개를 통과하였다. 이처럼 일반적인 최적 경로탐색 기법을 이용한 것과 본 연구에서 제시한 경사도와 교차로를 고려하여 도출한 변형식을 이용한 결과 값이 확연히 다른 것을 볼 수 있다.

6. 결론

본 연구는 자전거 이용에 있어서 통학으로의 자전거 접근성을 지형적 요소를 고려한 최적의 노선 경로를 선택하였다. 이를 위해 최적경로의 연산에 있어서 3차원적인 지형적 요소를 반영하기 위해 경사도와 교차로를 고려한 식을 도출하였다. 또한 도출한 변형식을 송파구의 자전거 시범학교가 진행된 오금 고등학교를 중심으로 반경 1km에 적용하였다. 경로선택에 있어서 노선은 편도일 때와 평균적인 왕복거리로 실험하였으며, 이를 일반적인 최적경로와 비교하였다. 그 결과 지형적 요소를 적용하지 않은 경우와 지형적 요소를 고려한 경우의 경로선택이 서로 다르게 나타났으며, 결과 값 또한 큰 차이를 보였다. 본 연구는 변형식에 대한 검증이 이루어지지 않아 한계가 있었지만, 향후 자전거 도로 경로

선택에 있어서 지형적 특성을 반영하고 자전거 이용자의 움직임을 고려한 최적경로 분석 방법론으로 활용될 것을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 공간정보 전문인력 양성사업과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF-2009-413-D00001).

참고문헌

1. Ahn Gye-Hyeong, Kim Eun-Jung, Lee Yong-Il, Jung Jun-Ha, Kim Young-Chan, 2006, A study on the estimation of pedestrian signal timing, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 24, No. 5=No. 91, pp. 57-66.
2. Back Seung-Heon, 2012, (A) Study on bicycle route selection using optimal path search, Master's Degree Thesis, Chonnam National University.
3. Choi Jae-Hwa, Suh Young-Woon, Lee Suk-Bae, 1991, A study on the selection of the optimum route using geographic information system, Journal of the Korean Society of Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Vol. 9, No. 2, pp. 127-138.
4. Ha Eun-Ji, 2012, Assessing pedestrian networks using weighted accessibility based on road slope, Master's Degree Thesis, University of Seoul.
5. Kang Hwan-Il, Lee Byung-Hee, Jang Woo-Seok, 2008, Path planning method using the particle swarm optimization and the improved dijkstra algorithm, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 18, No. 2, pp. 212-215.
6. Kim Kwang-Sik, 1987, Concepts and measures of accessibility, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 5, No. 1, pp. 33-46.

7. Kim Ji-Eun, 2010, The development of pre-evaluation criteria for leisure purpose bicycle route plans in an urban area context, Master's Degree Thesis, Hanyang University.
8. Kim Jong-ho, 2011, The service quality evaluation of community bicycle road on a view of user, Master's Degree Thesis, Hanyang University.
9. Park Ha-na, 2011, A study on the utilization of bicycle for commuting to school, Master's Degree Thesis, University of Seoul.
10. Park Hye-Sook, 2011, An improvement of a heuristic path search technique based on traffic characteristics at the Intersection, Master's Degree Thesis, Sogang University.
11. Lim Jong-Hoon, Kim Dong-Nyong, 2000, Comparison of pedestrian walking characteristics between highway crosswalk and pedestrian underpass, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 18, No. 5, pp. 17-29.
12. Lee Kwang-won, 2011, Bike route selection methods considering user characteristics using gis, Doctoral Thesis, University of Incheon.
13. Lee Jong-Chool, Rho Tae-Ho, Kang Yoon-Sung, Kim Se-Jun, 2005, Route location based on gis using decision support system, Journal of Korea Spatial Information System Society.
14. Mike Martello, 2009, Alternative impedances for shortest path network analysis for cycling, AASHTO GIS-T Conference.
15. Ministry of Public Administration and Security, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010, Korea cycling design standards(전거 이용시설 설치 및 관리 지침).
16. Seo Hyun-Ji, Chang Hoon, Lee Se-Hyung, 2008, Econnectivity and accessibility measurement of facilities in a residential complex, Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System, Vol. 16, No. 4, pp. 65-71.
17. Song Chang-Yong, Chang Myung-Soon, Ha Dong-Ik, 1994, Guideline for vertical length by grade for bikeway, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 12, No. 4, pp. 21-33.
18. Yoon Sang-won, Bae Sang-hoon, 2007, Computation of optimal path for pedestrian reflected on mode choice of public transportation in transfer station, The journal of the Korea institute of intelligent transport systems Vol. 6, No. 2, pp. 45-56.