

GIS기반의 계층분석기법(AHP)을 활용한 부산시 자전거도로망 선정에 관한 연구

손유진¹ · 황인식^{2*}

A GIS-Based Method for Bicycle Route Network Determination Using AHP Analysis in Busan

Eugene SON¹ · In-Sik HWANG^{2*}

요 약

자동차 보유대수 증가에 따른 교통 혼잡과 대기오염 및 에너지 과다사용 문제를 극복하기 위해 녹색교통수단인 자전거이용의 중요성이 현저하게 대두되고 있지만, 부산시는 지형적 특성과 대중교통 접근성의 한계 등으로 인해 자전거 이용률이 상대적으로 낮은 실정이다. 따라서 지리적 여건과 이용활성화를 고려한 자전거도로의 노선선정이 이루어져야 할 것이다. 본 연구는 계층분석법(AHP)을 이용하여 노선선정 인자의 가중치를 산정하고, GIS 소프트웨어를 이용하여 데이터베이스를 구축한 뒤, 산정된 가중치를 적용하여 노선을 도출하였다. GIS 기반에서 AHP 분석을 수행한 결과, 조사의 일관성을 검증함으로써 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있었고 임의로 선정된 노선보다 이용수요가 많은 곳으로 노선이 도출되었다. 따라서 향후 지역의 특수성을 반영한 노선선정이나 투자 우선순위 결정 등에 본 연구가 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 계층분석법(AHP), 노선선정, GIS, 자전거도로망

ABSTRACT

To solve the problems of traffic congestion, air pollution and energy derived from increased car consumption, people are in recognition of the importance of green mode, bicycle. Bicycle use rate in Busan is lower due to the terrain and limited public transportation accessibility. Therefore, geographical conditions and use activation should be initially considered in the bicycle route planning. We calculated a weight using AHP(Analytic Hierarchy Process), make a database using GIS tool and deduced the routes applying calculated weight in this study. The result of this study, We could get reliable data as inspecting consistency of the research. Routes are deduced in the place where using demand is higher than arbitrarily chosen routes. Therefore, the route planning through AHP is expected to be utilized in area-specialty-reflected route planning or bicycle road alternatives testing.

KEYWORDS : AHP, Route Planning, GIS, Bicycle Route Network

2009년 11월 12일 접수 Received on November 12, 2009 / 2009년 12월 15일 수정 Revised on December 15, 2009 / 2009년 12월 28일 심사완료 Accepted on December 28, 2009

1 부경대학교 위성정보과학과 석사과정 Master's course, Dept. of Satellite Information Science, Pukyong National University

2 우신기술단 부사장 Vice President, Traffic Planning Div. WOOSHIN Engineering & Consultant

* 연락처 E-mail: insikh@nate.com

서론

1. 연구배경 및 목적

지속적인 자동차 보유대수 증가에 따른 교통 혼잡, 주차난, 대기오염, 에너지의 과다사용 등의 문제가 심화되고 있다. 이를 극복하기 위해 인간 중심의 환경친화적 녹색교통수단인 자전거 이용의 중요성이 선진국은 물론이고 국내 주요 도시에서도 급격히 인식되고 있다. 또한 자전거는 단거리의 이동성과 접근성, 환경오염부하 저감을 위한 가장 효율적인 교통수단이 될 수 있다(부산광역시, 2009). 이에 유럽을 비롯한 선진국들은 오래전부터 자전거의 수단분담률을 높이는 방안에 대해 고심을 해 오고 있으며 다양한 정책들을 제시하고 있다.

부산시의 통행패턴을 보면, 자전거 수단분담률은 지형적 특성으로 고지대가 많아 자전거 이용의 한계와 전용도로가 미비하고, 대중교통 접근성의 한계로 환승이 불편하여 타 도시에 비해 상대적으로 자전거의 이용률이 낮은 실정이다. 이에 탄소배출규제라는 정책 트렌드에 부응하여 자전거의 수단분담률을 높이기 위한 근본적인 방안 모색이 필요한 시점이며, 지리적 여건과 이용 활성화를 충분히 고려한 자전거도로망 노선선정이 이루어져야 할 것이다.

양인태 외(2001)의 연구에서는 도로계획분야의 경우 노선선정을 위한 의사결정 과정이 복잡하고 어려우며, 의사결정을 위한 다양한 인자를 이용하는 폭넓은 분야이며, 도로의 최종 노선배치를 위해서는 넓은 분야의 인자 상호간의 우선순위와 보충관계를 기초로 하여 의사결정과 평가를 수행한다고 한다.

따라서 본 연구에서는 자전거 도로망을 선정할 경우 안전하고 이용하기 편리한 쾌적한 노선이 구축될 때 자전거 이용이 증가한다는 관점에 기초하여, 전문가 그룹에서 조사된 설문에서 계층분석법(AHP : Analytic Hierarchy Process)을 통하여 도출된 인자들 간의 가중치를 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System)

을 이용하여 구축된 수치지도에 적용하여 최적노선을 도출하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 AHP와 GIS를 이용한 노선 선정 관련연구에 대한 사례분석과 AHP에 대한 이론적 고찰을 하였다. 다음으로 부산시의 지형적 특성과 자전거 이용 활성화를 고려한 자전거도로 노선선정의 결정 요인을 조사하였다. 나아가서 전문가 그룹을 대상으로 설문조사를 시행하여, AHP를 이용한 요인별 가중치를 산정하였으며, 마지막으로 GIS 소프트웨어인 ArcMap ver. 9.2를 이용하여 위치정보와 특성정보로 나누어 데이터베이스를 구축하고 AHP를 통하여 산정된 가중치를 적용하여 노선을 도출하였다.

사례연구 및 이론적 고찰

1. 노선선정 관련연구

최재화 외(1991)는 GIS를 이용하여 연구대상지역을 정규형격자로 구분하고, 각 격자에서 토지이용도, 지가, 경사도 등을 고려하여 얻어진 가중치를 적용하였다. 이를 GIS의 속성데이터로 사용하여 최적노선선정에 적용하여 실제 노선의 선정과정에서 GIS의 활용가능성을 제시하였다. 양광식(2000)은 교통시설사업의 기본계획에 GIS를 활용한 공간분석을 이용하여 평가범위를 교통효율성, 환경영향, 국토 및 도시영향, 경제성의 4부분으로 구분하고 각 부분별 평가요소와 평가방법을 개발하였다. 평가결과를 각 평가목표를 달성하기 위한 최소비용경로의 선정방법과 선정된 노선대안을 비교·평가하는 방법론을 개발하여, 독일의 노이스와 그로벤브로히간의 도로건설을 위한 노선선정 프로젝트에 적용하여 방법론을 검증하였다.

이형식 외(2001)는 도시계획 시 결정하는 비교노선 선정 문제로서 갖추어야 하는 여러

가지 의사결정 요인들을 복합적으로 고려하여 최적 후보노선을 선정하기까지의 과정을 AHP 적용모듈로 개발하여 체계적으로 보여줌으로써 AHP의 문제해결 접근방식을 평가하고 그 유용성 및 활용 가능성을 제시하였다.

양인태 외(2001)는 AHP를 이용하여 인자 상호간의 평가기준을 설정하였으며, 설정된 인자들의 가중치를 토양도, 지질도, 임상도, 토지 피복도, 수치지형도, 지하수위 등의 자료에 적용하여 지형공간정보체계를 이용하여 구축하였으며, 구축된 데이터베이스는 ARC/INFO의 그리드 자료를 기반으로 분석하여 개략 노선 길이 등의 인자를 바탕으로 최적 노선을 제시하였다. 또한 양인태 외(2002)는 GIS를 이용한 노선선정 시 고려되는 다중인자들에 대해서 AHP를 통한 복합적인 고려와 노선선정 절차의 표준화를 시도하였다. 이 연구에서는 도로의 최적노선 선정 시 AHP기법을 이용하여 다중인자의 정량화를 시도함으로써 노선선정에 이용되는 자료가 효율적으로 제공되어 최적의 노선선정이 되도록 하였다.

이종출 외(2005)는 이전까지의 연구가 GIS를 이용하여 평면선형을 기반으로 한 노선선정을 중심으로 했다는 것을 지적하고, 계층분

석과정으로 선정된 평면선형을 분석하고 그것을 기반으로 종단선형의 설계를 종단경사 변화에 의한 다각적인 방법으로 분석하여 합리적인 노선선정을 도출하여 평가하였다.

사례연구 고찰 결과, AHP와 GIS를 이용한 노선선정은 새로운 도로를 건설하거나 절토 및 성토와 같은 지형학적 관점의 노선선정에 국한되어 연구가 진행되어 왔으며, AHP 분석 시 기술, 사회, 경제, 환경적 측면을 고려한 결정인자가 주를 이루었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 도로를 이용하고 인프라 연계에 중점을 두는 자전거도로의 특성을 고려하여, 지형·물리적 측면과 함께 자전거 이용활성화 측면을 고려하여 자전거 수단분담률을 증대시킬 수 있는 노선선정 방안에 대해 모색해 보았다.

2. 계층분석법(AHP:Analytic Hierarchy Process)

AHP는 1970년대 초 T. Saaty에 의해 개발되었으며, 다수의 대안에 대한 다면적인 평가 기준, 다수의 의사결정주체에 의한 의사결정을 위해 설계된 방법으로써, 의사결정자의 판단을 근거로 정량적인 요소와 정성적인 요소를 동시에 고려함으로써, 의사결정문제의 해결을 위한

TABLE 1. Summary of literature study

Author	Year	Subject
Choe, Jae Hwa, et al.	1991	The Optimum route is get attained on the weighted matrix table that based on land use status, land value, etc. And they suggest application possibility of geographic information system in the route planning.
Yang, Kwang Sik	2000	A GIS-based method of spatial analysis that can be applied to the line determination in traffic infrastructure projects.
Yang, In Tae, et al.	2001	Analyse the possibility to use the route plan for determining the optimum route of roads by applying the GIS technology and AHP Method.
Lee, Jong Chool, et al.	2005	This study developed the program that can be easily applied to this kind of road design, and built the decision support system for route location. They improved the technique of route location by applying the AHP with third-dimensional data, which considers even the vertical alignment plan, to the existing decision support system with second-dimension data.

TABLE 2. The fundamental scale

Definition	Intensity of Importance
Equal Importance	1
Moderate importance	3
Strong importance	5
Very Strong importance	7
Extreme importance	9
between of each importance	2, 4, 6, 8

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

포괄적인 틀을 제공한다.

AHP기법을 통해 다수기준 하에서 평가되는 다수 대안들의 우선순위를 선정하기 위해서는 먼저, 상위계층에 있는 평가항목을 기준으로 각 하위요소가 다른 하위요소에 비해 우수한 정도를 나타내 주는 수치로 구성되는 쌍대비교행렬(pairwise comparison matrix)을 작성하게 된다. 작성된 쌍대비교행렬 A는 식(1)과 같이 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하게 된다.

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n개 요소의 상대적인 중요도를 $w_i(i=1, \dots, n)$ 라 하면, 쌍대비교행렬에서의 상대적인 중요도 a_{ij} 는 식(2)로 나타낼 수 있다.

의사결정자의 의사를 반영한 가중치를 도출하되, 일관성을 검증하기 위해 식(3)과 같은 일관성비율(C.R)을 통하여 구한다.

$$C.R = C.I / R.I \quad (3)$$

여기서, C.R : 일관성비율(Consistency Ratio)

C. I : 일관성지수(Consistency Index)

R. I : 난수지수(Random Index)

일관성비율이 10% 이내에 들 경우, 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 규정한다. 즉, AHP 분석이 일관성 있게 수행되었다고 본다. (Saaty, 1990)

GIS기반의 계층분석법(AHP)을 이용한 노선 선정

1. AHP를 이용한 가중치 산정

본 연구에서는 자전거 이용률을 증가시키기 위한 노선선정 요인을 평가기준과 평가항목으로 구분하여, 평가기준을 지형적·물리적 측면과 이용 활성화 측면 2가지로 정의하였다.

지형적·물리적 측면을 평가하기 위한 하위 분류 평가항목으로는 시공가능성, 도로선형, 주행쾌적성, 주행의 연속성으로 선정하였고, 이용 활성화 측면을 평가하기 위한 평가항목으로는 환승편의성, 레저 및 관광제공, 내부 이동수단, 자전거 거치의 용이성 등으로 선정하였다.

AHP분석을 수행하기 위한 지표설정에서는 자전거 이용량을 증가시키기 위하여 지형적·물리적 측면과 이용 활성화 측면을 함께 고려하였다.

지형적·물리적 측면의 시공가능성 및 도로선형은 노선선정 시 기본적으로 고려하는 인자로써, 문헌고찰 결과 자전거 노선 또한 시공가능성과 도로선형이 중요하다고 사료되어 고려하였다. 주행쾌적성 및 주행의 연속성은 부산광역시 자전거이용시설 정비계획의 설문조사

TABLE 3. Criteria and alternatives for analysis

Criteria	Alternatives	Input Data
Topographical · Physical side	Construction Possibility	Road map
	Road Type	Road map
	Driving Comfortable	Topographic map, Altitude map
	Driving Continurity	Bike road map
Using Activation	Transfer Convenience	Subway station and Bus stop
	Sightseeing and Leisure	Buffer zone around river and beach
	Inside Transport	Population density and Number of students
	Comfortable of bike parking	Number of bikerack

결과, 자전거 주행이 편리하고 자전거 도로가 연속적으로 이어질수록 자전거 이용의 증대에 기여한다는 결과가 나왔기에 포함하였다. 또한 이용 활성화 측면의 지표설정의 근거는 위와 동일한 설문에서 부산시의 자전거 이용자들을 대상으로 수행한 설문조사 결과, 자전거 이용시 불편했던 점과 개선하여야 할 점을 이용하여 지표를 선정하였다(부산광역시, 2009).

부산시 교통 분야 실무자 및 교통공학 전공의 석사 이상으로 이뤄진 전문가 그룹 50명을 대상으로 일대일 면접조사를 통해 표 3에 대한 AHP 분석을 실시하였다.

분류된 항목은 쌍대비교를 통하여 각각의 항목에 대한 가중치를 부여하였으며 각각의

쌍대비교 값은 일관성비율(C.R)을 계산하여 일관성이 없는 값들은 제외하였다. AHP분석을 수행하기 위해 Excel 2007을 이용, 쌍대비교행렬을 작성하여 가중치와 신뢰도를 계산하였다. 의사결정그룹은 관련분야에 대한 상대적 차이가 없는 것으로 보고, 조사된 값들의 종합은 산술평균을 통해 산출하였다.

식(3)를 이용하여 C.R값을 산출하여 10%를 초과하여 일관성이 없는 값들을 제외한 결과, 지형적·물리적 측면의 평균이 3.54%, 이용 활성화 측면의 평균이 4.51%로 나타났다.

항목별 우선순위는 표 4와 같이 지형적·물리적 측면이 0.52, 이용활성화 측면이 0.48로

TABLE 4. Result of weighting factor

Criteria	C.R	Alternatives	Weights of Criteria	Weights of Alternatives	Rank
Topographical · Physical side	3.54%	Construction Possibility	0.52	0.13	(4)
		Road Type		0.21	(3)
		Driving Comfortable		0.30	(2)
		Driving Continurity		0.36	(1)
Using Activation	4.51%	Transfer Convenience	0.48	0.41	(1)
		Sightseeing and Leisure		0.15	(4)
		Inside Transport		0.27	(2)
		Comfortable of bike parking		0.16	(3)

나타났다. 평가항목을 살펴보면 지형적·물리적 측면의 평가항목은 주행의 연속성(0.36) > 주행쾌적성(0.30) > 도로선형(0.21) > 시공가능성(0.13) 순으로 나타났으며, 이용 활성화 측면의 평가항목은 환승편의성(0.41) > 내부 이동수단(0.27) > 자전거 거처의 용이(0.16) > 레저 및 관광제공(0.15) 순으로 나타났다. 즉, 지형적·물리적 측면에서는 주행의 연속성과 쾌적성이 중요하게 나타나고, 이용 활성화 측면에서는 환승편의성의 요인이 중요하다는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 자전거 주행의 연속성이 보장되고, 쾌적한 자전거 도로망의 확보가 우선 전제가 되어야 하고 동시에 다른 교통수단과의 환승이 편리해 질 때 자전거 이용률이 증대할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

2. AHP를 통해 도출된 가중치 적용

연구대상지역은 산지가 많은 지형적 특성으로 인해 자전거 이용의 많은 제약과 받고 있는 부산시 교통권역으로 설정하였다. 또한 가중치 적용을 위해 지형적·물리적 측면의 도로현황도, 자전거도로 구축현황도, 경사도, 표고도를 구축하였으며, 이용활성화 측면의 지하철 및 버스정류장 현황도, 강 및 바다 접근도, 주거인구 및 학생 수 현황에 대한 주제도를 구축하였다.

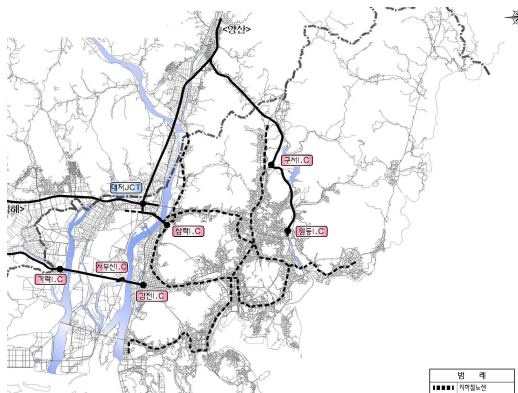


FIGURE 1. Road map

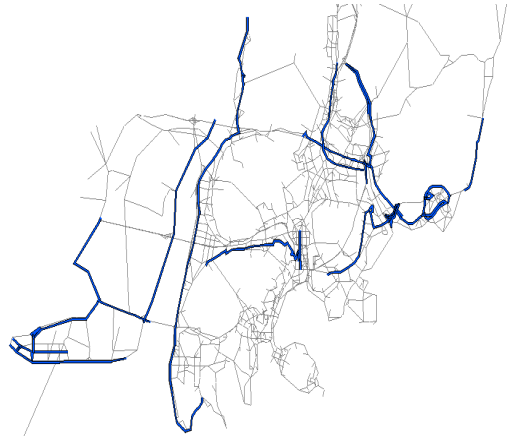


FIGURE 2. Bike road map

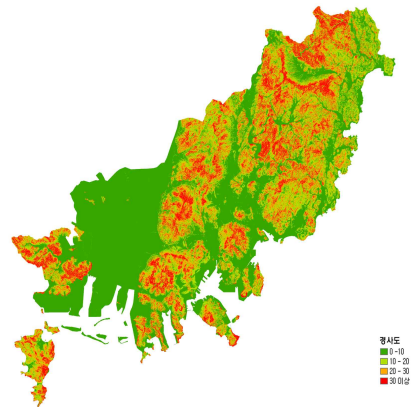


FIGURE 3. Topographic map

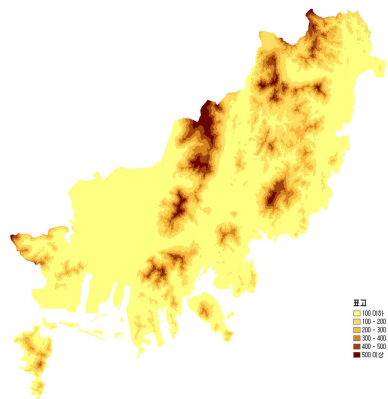


FIGURE 4. Altitude map

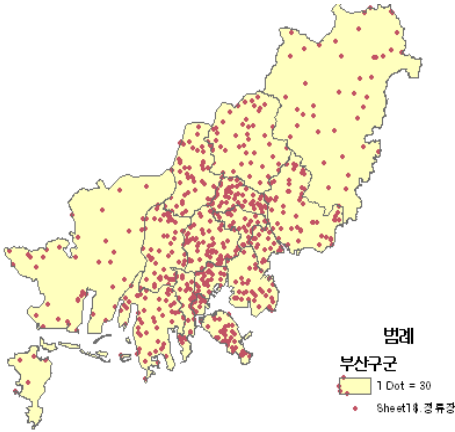


FIGURE 5. Subway station and bus stop

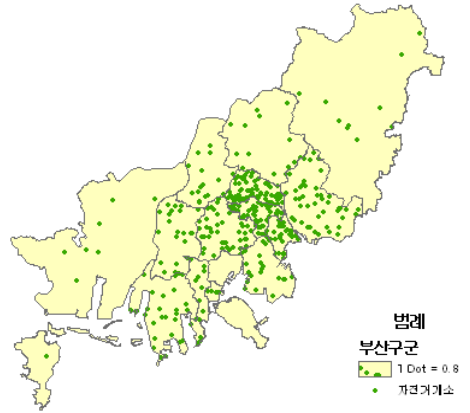


FIGURE 8. Number of bikerack

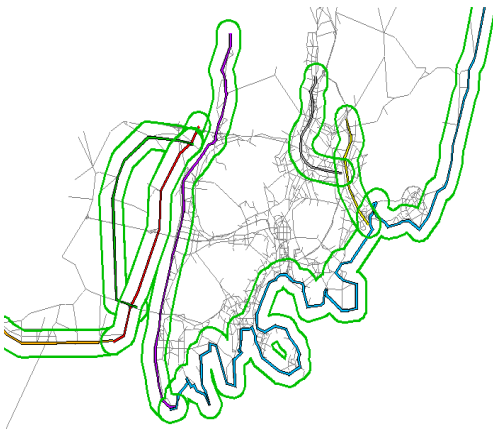


FIGURE 6. Buffer zone around river and beach

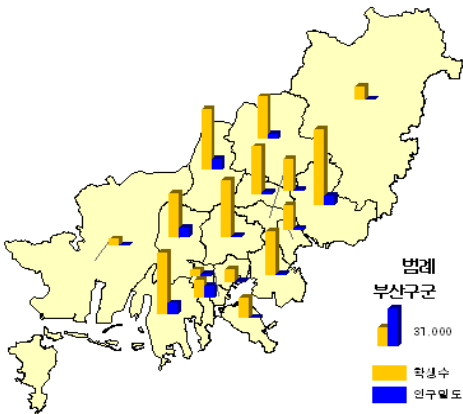


FIGURE 7. Population density and number of students

먼저 지형적·물리적 측면의 평가항목 중 그림 1은 도로현황도이며 도로의 차로수를 고려하여 가중치를 적용하였고, 그림 2는 2009년 6월 현재 부산시에 구축되어있는 자전거전용도로, 자전거·보행자겸용도로의 노선도이다. 그림 3과 그림 4는 경사도와 표고도로써, 경사도와 표고 정도에 따라 가중치를 적용하여 분류하였다.

이용 활성화 측면의 평가항목 중 그림 5는 지하철과 버스정류장의 위치도이다. 그림 6은 강, 바다의 접근도로써, 강과 바다와 100m이내의 지역을 추출하였다. 그림 7은 부산구군별 인구밀도와 학생 수를 나타냈으며 지역의 면적에 비해 인구밀도가 높고 등하교 통행을 하는 학생 수가 많을수록 자전거 이용이 활발하다고 가정하였다. 그림 8은 자전거 거치대 개소의 위치도이다. 조사결과 거치대는 환승편의성을 증진시키기 위해 도시철도역의 인근에 위치함을 알 수 있었다.

AHP 분석을 통해 도출된 가중치를 GIS 분석의 Map Calculator 기능과 버퍼링 기능을 이용하여 적용하였다. 먼저 식(4)를 통해서 지형적·물리적 측면의 가중치를 적용하여 'W지형·물리'를 도출하고, 식(5)를 통해서 'W이용활성'을 도출한 뒤, 식(6)을 이용하여 최종적인 값을 도출한다. 이렇게 도출된 값 'W'를 ArcMap ver. 9.2프로그램 내의 최단노선 선정 시, 기준 값

으로 선정하여 최종노선을 도출하였다.

$$W_{\text{지형·물리}} = 0.36(\text{연속성}) + 0.30(\text{쾌적성}) + 0.21(\text{도로선형}) + 0.13(\text{시공간가능성}) \quad (4)$$

$$W_{\text{이용활성}} = 0.41(\text{환승편의}) + 0.27(\text{내부이동수단}) + 0.16(\text{거치용이}) + 0.15(\text{관광}) \quad (5)$$

$$W = 0.52(\text{지형적·물리적측면}) + 0.48(\text{이용활성화측면}) \quad (6)$$

3. 노선 도출 결과

각 GIS 레이어 값을 통해 지형적·물리적 측면과 이용 활성화 측면을 고려하여 도출된 값을 적용한 결과, 그림 9와 같은 노선이 도출되었다. 푸른색 노선이 그림 2의 기존 자전거 도로이며, 붉은색 노선이 도출된 자전거 도로이다. 기존 자전거 노선과 비교하여 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

- 1) 기존의 자전거 노선은 각 구별로 자전거 노선에 대한 구축이 상이하게 진행되어 전체 노선에 대한 연속성이 떨어지고 도심지와 같은 일부 지역을 중심으로 구축되었다.

하지만 본 논문을 통해 도출된 자전거 노선은 지형적·물리적 측면의 주행의 연속성이 0.36, 주행의 쾌적성이 0.3으로 다른 인자에 비해 높게 반영되었다. 따라서 기존 자전거 노선을 연계하는 노선과 해안가 및 강가를 따른 노선이 도출되어, 이용자의 편의를 도모할 수 있다.

- 2) 기존의 자전거 노선은 지형적 측면만을 고려한 노선선정 위주로 이뤄졌다. 하지만 본 논문을 통해 이용활성화 측면을 반영함으로써 자전거 이용을 증가시킬 수 있는 노선을 선정하였다.

이용활성화 측면에서는 환승접근성이 0.41, 내부 이동수단이 0.27로 반영되어 도시철도역과 버스정류장 인근의 환승 접근성이 높은 지역과, 인구밀도 및 학생 수가 높은 지역을 중심으로 노선이 도출되었다.



FIGURE 9. Result of route analysis

결론

본 연구에서는 산지가 많은 지형적 특성과 대중교통 접근성의 한계, 전용도로의 미흡 등으로 인해 자전거 수단분담률이 낮은 부산시의 자전거이용률을 증대시키기 위한 목적으로 AHP를 이용하여 노선선정 요인들의 가중치를 산정하고, GIS 소프트웨어인 ArcMap ver. 9.2를 이용하여 데이터베이스를 구축한 뒤, 산정된 가중치를 적용하여 노선을 도출하였다.

AHP 분석을 위한 자전거 노선의 선정 요인들의 분류는 크게 지형적·물리적 측면과 이용활성화 측면으로 분류하였다. 지형적·물리적 측면의 평가항목은 주행의 연속성, 주행쾌적성, 도로선형, 시공간가능성으로 분류하였으며, 이용활성화 측면의 평가항목은 환승편의성, 내부이동수단, 자전거 거치의 용이, 레저 및 관광제공으로 분류하였다. AHP분석을 통해 조사의 일관성을 검증함으로써 신뢰성 있는 자료를 얻을 수 있었고 임의로 선정된 노선보다 이용수요가 많은 지역으로 노선이 도출되어 자전거 도로로 선정될 경우 자전거 이용률을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 지역의 특수성을 반영해야하는 노선선정에 있어, AHP를 이용하여 지역의 전문가 그룹에 의해 산정된 지표를 통한 노선선정은 보다 효율적인 노선결정수단이 될 수 있고, 투자 우선순위의 결정에

도 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 연구에서는 대중교통 이용자를 고려한 자전거 노선뿐만 아니라 자가용 운전자들의 전환수요를 유도할 수 있는 노선에 대한 선정이 고려되어야 할 것으로 보인다. 또한 교통전문가 대상이 아닌 일반 이용객들을 포함한 통근·통학용 도로, 주말 레저 및 관광용 도로, 자전거마니아 도로 등 자전거 도로를 기능별로 분류하여 설문조사를 시행함으로써, 정비우선도 선정에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 부산광역시. 2009. 자전거이용시설 정비기본계획. 5-30쪽.
- 양광식. 2000. GIS를 활용한 교통시설사업의 노선선정 방법 연구. The Journal of GIS Association of Korea 8(1):117.
- 양인태, 김동문, 유영길. 2001. 도로의 최적노선 결정을 위한 GIS와 AHP의 적용 연구. 대한토목학회지 21(2-D):247.
- 양인태, 김동문, 최승필. 2002. AHP 기법을 이용한 도로의 노선 선정시 다중인자의 정량화 연구. 한국측량학회지 20(2):199.
- 이종출, 노태호, 강윤성, 김세준. 2005. 의사결정 시스템을 이용한 GIS 기반의 노선선정. 2005 GIS/RS 공동 춘계학술대회. 407쪽.
- 이형석, 강준묵, 한승희. 2001. 계층분석과정을 이용한 효율적 노선선정. 대한토목학회지 21(1-D):145.
- 조근태, 조용근, 강현수. 2005. 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정. 동원출판사, 서울. 311쪽.
- 최재화, 서용운, 이석배. 1991. GIS기법을 활용한 최적노선에 관한 연구. 한국측지학회지 9(2):127.
- 황인식, 김수성, 배상훈, 고상선. 2006. 의사결정 그룹의 상대적 가중치 차이 평가에 관한 연구. Journal of The Korean Data Analysis Society 8(6):2483-2492.
- Thomas L. Saaty. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research 48(1):9-20. **KAGIS**