

지속가능 녹색 도로 조성을 위한 ANP 모델 기반 자전거도로 환경 평가 방안

A Study on Environmental Assessment of Bikeway based on ANP Model for Sustainable Green Road

이 지 환* 주 용 진** 박 수 흥***
Ji Hwan Lee Yong Jin Joo Soo Hong Park

요약 최근 지속가능한 교통체계의 일환으로 자전거는 보행과 대중교통을 연계하는 근거리 녹색교통수단이자 현행 자동차 교통수단의 문제를 해결하기 위한 대안으로 각광 받고 있다. 이미 유럽이나 미국과 같은 선진국에서는 자전거 이용활성화를 위한 연구와 정책들이 나오고 있다. 국내외 대부분의 연구들은 자전거 도로 서비스 수준, 자전거 보관소나 휴게시설과 같은 인프라 선정 등 공급자 중심 자전거 이용 활성화 방안에 대한 내용이 대부분으로 되어 있다. 이에 본 연구에서는 인천시를 대상으로 자전거 이용자 만족도 수준에 초점을 맞추어 대중교통과의 연계성, 이용자 안전성, 자전거 도로 설치 적합성 등을 종합적으로 고려한 새로운 평가 모형을 개발하여 차별화하고자 하였다. 특히, 평가 모형의 신뢰도 향상을 위해 일반적인 다기준 의사결정의 계층화분석과정(AHP) 대신 분석방법 측면에서 평가 지표 간 다중공선성 상관관계를 고려할 수 있는 ANP(Analytic Network Process) 모델을 이용하였다. 결과적으로 인천시 남동구와 부평구에 자전거 도로의 유지관리와 시설물 개선 대상 도로를 사례별로 도출하고 이를 비교 분석할 수 있었다. 본 연구 결과를 통해 자전거 도로 이용의 유형과 목적에 따른 종합 평가 지수를 도출할 수 있었으며 향후 자전거 도로 선정과 개선을 위한 차별화된 정책 의사결정 수립에 활용 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 자전거도로, 네트워크 분석법(ANP), 지속가능교통체계, 녹색도로

Abstract As part of recent sustainable transport, bike has come into the spotlight as a green transport at close range to link between walking and public transit and also alternative to solve problems of existing vehicle travel. Some arguments on promotion of using bicycles have already been made in Europe, the U.S and other developed countries. To be sure, much has been written extensively in description of utilization of bike oriented by supplier, for examples, Level of Service with bike path, infrastructure such as bicycle racks and lounge etc. Therefore, our study has been differentiated in development of new evaluation model focused on level of bike user's satisfaction, comprehensively considering suitability for bikeway installation, connectivity of the public transportation system and stability in Incheon City. ANP(Analytic Network Process) analysis which is able to allow consideration of the interdependence of criteria has been hired due to multi-collinearity instead of AHP used in multi-criteria decision analysis. Last but not least, we drew bike route on a case-by-case for maintenance and improvement of its facility in Namdong-gu and Bupyeong-gu. To conclude, suggested finding has demonstrated the validity of evaluation scheme for bikeways which is appropriate for type and purpose and ultimately this can be used to establish policy decision making for improvement of bikeway.

Keywords : Bikeway, Analytic Network Process, Sustainable Transport, Green Road

[†]This work was researched by the supporting project to educate GIS experts

* Ji Hwan Lee, Master's Student, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. calmlee12@gmail.com

** Yong Jin Joo, Assistant Professor, Aerial GeoInformatics, Inha Technical College. yjj@inhac.ac.kr
(Corresponding Author)

*** Soo Hong Park, Professor, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. shpark@inha.ac.kr

1. 서론

매년 우리나라의 가구 당 차량 보유 대수가 증가하면서 교통체증이 심해지고 유가상승 등의 복합적인 문제들로 인하여 각종 사회적 비용이 불어나고 있는 가운데 기존 자동차 중심의 교통체계에 대한 문제점들이 제기되고 있다. 최근 친환경이라는 키워드와 함께 녹색교통 또는 저탄소 교통체계에 대한 관심이 높아지면서 여러 대안 중에서도 자전거는 보행자와 대중교통을 연계할 수 있는 대표적인 근거리 교통수단으로써 각광받고 있다. 이미 미국, 유럽, 일본과 같은 선진국에서는 자전거 이용자들을 위한 도로 및 인프라가 잘 구축되어 있을 뿐만 아니라 이러한 환경 덕분에 이용률도 높아 녹색교통체계의 일부분으로서 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 아직 국내에서는 자전거를 교통수단으로 인식하기보다는 레저·스포츠를 위한 운동기구로 생각하고 있으며 도로라든지 관련 인프라도 전자가 아닌 후자 중심으로 구축되어 있는 현실이다. 이는 대부분의 자전거도로가 강변, 공원 등을 중심으로 설치되어 있는 것만 보더라도 쉽게 알 수 있다.

자전거를 교통수단으로써 활성화시키기 위하여 사람들의 인식만큼이나 중요한 것이 자전거도로이다. 실제로 2007년에 자전거 이용자들을 대상으로 실시한 설문조사 결과에 따르면 자전거도로의 존재 유무가 자전거 이용에 영향을 미치는 중요한 요소로 분석된 바 있다[4]. 또한 Kim[9]의 연구에서도 자전거도로가 자전거 이용자의 경로선택에 있어서 중요한 영향을 미친다는 결론을 내렸다. 이러한 자전거도로는 일반적인 경우에 자동차도로를 근간으로 설치되지만 법률상으로 자동차와 동일하게 차·마로 간주 될 뿐 특성이 확연히 다르다. 따라서 이를 고려하지 않은 경우에는 이미 설치된 자전거도로가 이용률이 저조할 뿐만 아니라 자동차 교통흐름에도 방해가 되어 철거되는 사례가 빈번히 발생하고 있다.

이에 본 연구 목적은 자전거 이용자 만족도 수준에 초점을 맞추어 대중교통과의 연계성, 이용자 안전성, 자전거 도로 설치 적합성 등을 종합적으로 고려한 새로운 평가 모형을 제시하는 것이다. 이를 위한 연구의 내용으로 우선, 기존의 국·내외 자전거도로 관련 연구문헌과 자전거도로 설치 지침 등을 검토하여 먼저 자전거도로를 설치하기 위한 기준들과 각 기준을 평가하기 위한 지표들을 선정하였다. 선

정된 평가 지표 간 다중공선성이 존재할 가능성이 있어 일반적인 다기준 의사결정의 계층화분석과정¹⁾(AHP)대신 분석방법 측면에서 상관관계를 고려할 수 있는 ANP(Analytic Network Process) 모델을 이용하여 측정지표의 중요도를 고려하여 종합점수를 산정하였다. 마지막으로 인천광역시 내륙지역(강화군, 옹진군, 영종도와 같은 섬 지역은 제외)을 대상으로 GIS를 활용한 사례 연구를 통해 자전거도로 선정에 적합한 지표의 적용 가능성을 확인하고, 현재 운영 중인 자전거 도로와 비교 분석을 통해 시사점을 도출하였다.

2. 자전거 도로 설치 기준 선정

2.1 국내외 관련 문헌 고찰

Lee[12]은 자전거의 통근·통행이 도시의 토지이용 및 형태의 상관관계에 대한 연구를 진행하였으며, Kang[8]은 토지이용 특성을 고려한 자전거도로 설계에 대한 연구를 진행하였다. 또한 Kang[7]은 자전거가 대중교통과의 환승·연계의 중요성을 인지하여 GIS 기반의 자전거정보시스템 도입에 관한 연구를 진행하였으며, Ahn[1]은 자전거 이용의 활성화를 위하여 지형적 요소와 지하철과의 연계를 고려한 자전거 노선 선정 방법에 관한 연구를 하였다. 시설적인 측면에서는 Shin[19]의 연구에서 자전거도로를 설치하기 위한 도로 다이어트(Road Diet)가 자동차 교통흐름에 영향을 미친다고 하였고 불필요한 도로 다이어트가 자동차교통 흐름에 방해가 될 수 있다고 하였다. 그리고 차도의 일부 공간을 활용하여 자전거도로를 설치할 경우에 자전거와 자동차 사이에서 발생할 수 있는 충돌에 관한 연구도 Furth[3]에 의해서 수행된 바 있다. 이 밖에도 Moudon[15], Lee[11] 등의 자전거 이용활성화와 관련된 다양한 연구들을 검토한 결과 자전거도로는 기본적으로 안전성이 보장되어야 하며 대중교통연계 및 토지이용을 고려한 접근성, 시설적합성과 같은 특성들을 갖고 있으며 이를 GIS에 활용하기 위해서는 정량화된 지표들을 선정하여 평가에 이용하는 과정을 필요로 한다.

1) AHP: 의사결정의 목표, 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정지원기법임. 정성적(qualitative) 요소를 포함하는 다기준 의사결정(multi-criteria decision making)에 널리 사용됨[5, 6, 16]

2.2 자전거도로 설치 지침 분석

국·내외 선행연구와 더불어 자전거도로 설치지침과 도로교통법과 같은 현행 법률 등을 검토하여 자전거도로 설치를 위한 기준 및 지표들을 선정하고자 하였다. 우리나라의 경우 자전거는 도로교통법 상 차·마로 분류되기 때문에 자전거도로를 건설하기 위해서는 관련 지침을 따라야 한다. 다음 Table 1은 국토해양부 자전거도로 지침과 관련 시설 기준에 관한 규칙을 이용하여 자전거도로 설치에 필요한 법적·시설적 제약조건들을 정리한 것이다.

Table 1. Legal & Facility Constraints

| Element | Contents | Reference |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Slope | • Within 7% (recommend within 3%) | Rules based on the structure and facilities of Bicycle Facilities Article 9 |
| Lane | • more than 2 | Bicycle Facilities Installation and Management Guidelines[14] |
| Transportation Service | • Variation of car transportation service in accordance with Road-Diet | |
| Road Type | • Highway, Motorway • Tunnel, Bridge, Overpass, Underpass | Rules based on the decisions of the road plan, structure and facilities, Articles 9, 20, and 21 |

경사도는 자전거도로 설치를 위한 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 즉, 자전거는 구조적 특성 상 자동차와 달리 화석연료가 아닌 인체의 힘을 동력으로 사용하기 때문에 경사로 인한 오르막일 경우에 자전거 이용자가 불편함을 느낄 수 있고 이것은 곧 바로 자전거도로의 이용률과 직결될 수 있는 부분이기도 하다. 반대로 내리막 경사일 경우에는 자전거 이용자가 선호할 수도 있겠지만 안전사고의 위험이 있을 수 있다. 실제로 자전거 이용자들을 대상으로 한 설문조사 결과에서도 경사도가 자전거 이용에 미치는 영향이 높다고 나왔으며, 자전거도로 설치 지침에서는 경사도의 중요성을 언급하며 적정 수치를 제시하여 준수토록 하고 있다. 지침에 의하면 자전거도로 설치에 적합한 도로의 경사도는 3% 이내이며, 부득이한 경우에 최대 7%까지 제한적으로 허용하도록 되어 있다.

자동차도로의 차로 수는 시설적인 제약조건이라 할 수 있다. 신도시 건설의 경우를 제외하고 일반적

으로 자전거도로는 경제적, 지리적 요건에 의하여 주로 기존에 이용되고 있는 자동차도로를 기반으로 건설된다. 이 때, 자전거도로가 설치될 위치는 차로 중 맨 우측차로를 이용하게 되며 불가피하게 차로 수를 줄이거나 차로 폭을 조정하기 위한 도로 다이어트 과정을 필요로 한다[10]. 또한 도로 다이어트 이후에 자동차 교통서비스 수준이 낮아지는 정도를 최소화하기 위하여 충분히 넓은 도로를 이용하는 것이 바람직하며, 최소 편도 2차로 이상의 도로를 대상으로 한다. 이 연구에서는 교통서비스 수준을 측정하기 위한 간단한 방법으로 교통량 대 차로 수의 비율로 도로혼잡도를 나타내었으며 차로 수 감축 이전과 이후의 도로혼잡도 값을 비교하여 기존에 자전거도로 설치로 인하여 발생되었던 자동차 교통대란을 예방할 수 있도록 하였다. 마지막으로 특수도로는 자전거도로 설치가 불가능한 도로로 나머지 조건들이 모두 만족되어도 고속도로와 같은 자동차 전용도로나 터널, 지하차도와 같이 사고의 위험이 매우 높거나 설치가 어려운 교량, 고가도로 등이 포함된다[18].

2.3 연구 착안점 정리

국·내외의 자전거도로 관련 선행연구와 지침을 분석해본 결과 자전거 인프라의 적지선정이나 이미 구축된 자전거도로의 서비스 평가에 대한 내용 등 대부분으로 공급자 측면에서 법적·시설적 제약 조건이 강조되고 있다. 이는 실제 자전거 이용자 환경 측면에서의 이용 목적과 유형에 따른 서비스 수준을 평가하기에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 자전거 이용자 만족도 수준에 초점을 맞추어 대중교통과의 연계성, 이용자 안전성, 자전거 도로 설치 적합성을 GIS로 계량화 할 수 있는 지표의 선정과 이들 지표 간의 관계를 유형화하고 우선순위를 정하는데 적합한 다기준 의사결정기법을 제시하였다.

3. 자전거 도로를 위한 ANP 평가 지표 설계

3.1 ANP 분석 개요

지금까지 선행연구 및 관련 지침, 문헌 등을 참고하여 자전거도로 설치에 필요한 내용들을 검토해 보았다. 이러한 내용들을 실제로 GIS에 적용하고 실무에 활용하기 위해서는 정성적인 특성들을 정량적인 지표로 변환할 필요가 있으며 이 연구에서는 이를

위하여 다기준-공간의사결정기법 중 하나인 ANP (Analytic Network Process)를 사용하였다.

ANP는 1970년대 초 Pennsylvania 대학의 Satty 교수가 의사결정과정의 비능률을 개선하기 위한 대안의 일환으로 개발한 의사결정방법론인 AHP를 1996년에 발전시켜 고안한 것이다[17]. 기존의 AHP 방법에서는 각각의 지표들을 독립적인 개체로 간주하여 수평적인 위치에서 서로간의 관계가 없다고 간주하였으며 수직적인 관계만을 고려하여 계층적인 구조를 가졌었다. 하지만 이러한 관계 구조로는 현실적인 문제를 해결하는데 한계가 있기 때문에 이를 해결하기 위하여 단순히 수직적인 관계뿐만 아니라 지표들 간의 다양한 관계를 지원할 수 있는 네트워크 구조로 확장되었다. ANP에서는 이러한 네트워크 구조에서의 상관관계를 표현하기 위하여 Super Matrix를 이용하는데 각 행렬의 요소가 하위 레벨의 속성 간 관계를 표현한 행렬들로 이루어져 있다.

$$W_{ij} =$$

| | Alternatives 1 | A ₂ | ... | A _n |
|----------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|
| Alternatives 1 | W _{i1j1} | W _{i1j2} | ... | W _{i1jn} |
| A ₂ | W _{i2j1} | W _{i2j2} | ... | W _{i2jn} |
| ⋮ | ⋮ | ... | ... | ⋮ |
| A _n | W _{inj1} | W _{inj2} | ... | W _{injn} |

Figure 1. ANP Sub Super-Matrix

위 Figure 1은 어떤 특정 기준 또는 특성에 대한 평가지표들 간의 관계를 표현한 행렬로 각 요소는 i 번째 행의 지표가 j 번째 열의 지표에 미치는 영향력을 나타내며 행렬 크기는 지표 개수(n)에 따라 n×n을 가진다. Figure 1에서 표현된 W_{ij}에 대한 행렬은 그 상위레벨에서 각 특성들 간의 관계를 표현하기 위한 요소로써 대입되어 Figure 2와 같이 Main Super-Matrix를 작성할 수 있다. 그리고 최종적으로 이러한 W 값은 거듭제곱법이나 근사치를 구하는 등의 쌍대비교 방법을 통하여 수렴시켜 정규화 함으로써 속성 및 지표의 상대적 중요도를 산출할 수 있게 된다. 따라서 무엇보다도 올바른 결과를 도출하기 위해서는 분석자가 대상이 가지고 있는 특성과 특성별 평가지표들 간의 상호작용에 대한 충분한 이해와 관계설정을 필요로 한다.

| | Criteria 1 | Criteria 2 | ... | Criteria m |
|------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| Criteria 1 | W ₁₁ | W ₁₂ | ... | W _{1m} |
| Criteria 2 | W ₂₁ | W ₂₂ | ... | W _{2m} |
| ⋮ | ⋮ | ... | ... | ⋮ |
| Criteria m | W _{m1} | W _{m2} | ... | W _{mm} |

Figure 2. ANP Main Super-Matrix

3.2 자전거도로 특성 별 지표 설계

먼저 본 연구에서는 선행연구와 자전거도로 범용 및 설치지침, 설문조사 결과 등의 문헌 등을 토대로 자전거도로 설치를 위해 고려해야할 특성들에 대해 안전성, 접근성, 시설적합성 3가지로 분류하였다.

첫째, 자전거도로의 안전성이라 함은 자전거 이용자가 자전거도로를 이용하는데 있어서 별도의 장치가 없이도 외부로부터 위협을 받지 않는 것으로 Li [13]의 연구에 의하면 자전거 이용자는 지형적인 요소와 환경적인 요소, 그리고 주변 교통흐름에 의해서 안전에 대한 위협을 느낄 수 있다고 하였다. 이 연구에서는 안전성 평가를 위하여 지형적인 요소로는 경사도를 이용하였으며 나머지 환경적인 요소와 주변 교통흐름을 통합하여 자동차 교통에 의한 요소로 구분하였다.

전자의 경우 내리막일 때 과속이나 구조적 결함으로 제동장치가 작동하지 않을 경우 안전사고가 발생할 수 있으며 이를 예방하기 위하여 자전거도로 설치지침에서는 경사도 3% 이내의 도로에 건설하도록 권장하고 있으며 그 이상일 경우 7% 까지 기타 장치들을 보완하여 제한적으로 허용하고 있다. 후자의 경우에는 자전거가 상대적으로 자동차에 비해 교통약자이기 때문에 자전거도로로 완전히 차도와 분리되어 있다고 할지라도 인접한 자동차의 속도라든지 교통량에 의해서 자전거 이용자가 위협을 느낄 수 있으며, 차 대 차 교통사고에 의한 간접적 피해 및 사고발생 시 치명적인 사고가 발생할 확률이 높으므로 자전거도로의 안전성을 평가하기 위해서는 반드시 고려되어야 한다.

자전거도로의 두 번째 특성인 접근성은 토지이용 접근성과 대중교통연계성을 모두 고려한 것으로 먼

저 토지이용 접근성이라 함은 자전거의 주 이용목적에 따라 주거, 교육, 레저·스포츠, 상업으로 분류하여 각 목적에 적합한 요소들을 고려하였다. 예를 들어 교육이라는 지표는 각 도로링크에서 학교와의 접근성가지고 통학이라는 이용목적을 고려하였다. 서두에서도 언급했듯이 자전거는 보행자와 대중교통을 연계하는 근거리 교통수단이다. 따라서 자전거도로는 이러한 대중교통과의 연계가 용이하도록 버스정류장, 지하철역과 같은 장소와 접근성이 높은 도로가 우선시 되어야 한다.

마지막으로 시설적합성은 자전거도로 설치 이후에 이용활성화와 자동차 교통 흐름을 고려한 것으로 기존에 자전거도로 건설로 인하여 자동차 교통흐름이 악화되었던 사례들을 참고하였다. 대부분의 경우도로 다이어트를 적용한 도로에서 교통체증이 극심해지는 것으로 본 연구에서는 침두시의 교통량을 이용하여 도로혼잡도를 파악하여 도로 다이어트 적용가능성을 먼저 판단한 후 도로 다이어트 이후의 도로혼잡도를 다시 계산하여 그 수준과 변화율을 고려하였다. 그리고 경사도를 고려함으로써 자전거 이용자가 오르막에서 느낄 수 있는 불편함을 최소화함으로써 자전거도로의 이용을 활성화 할 수 있도록 하였다.

3.3 ANP 평가 구조 설계

ANP 분석기법은 그동안 다양한 연구 분야에서 여러 속성들 간의 관계를 분석하여 의사결정에 사용하기 위한 방법으로 주로 사용되어 왔던 AHP(Analytic Hierarchy Process)의 장점을 그대로 수용하면서 확장된 개념으로써 지표들 간의 수직관계 뿐만 아니라 네트워크 구조의 다양한 상관관계를 고려할 수 있어 보다 실증적인 의사결정기법이라 할 수 있다.

본 연구의 경우 자전거도로를 설치하기 위해 선정된 특성들과 각 특성을 평가하는 지표들이 단순히 수직적인 구조, 예를 들어 자전거도로의 안전성이라는 특성은 도로의 경사도, 자동차제한속도, 차로 수, 도로 폭, 교통량이라는 5가지 지표들에 의하여 평가될 수 있다고 할 때 기존 AHP 방법에서는 지표들 간의 수평적인 관계는 없다고 가정한 채 상위속성인 안전성과의 관계만을 고려하였다. 하지만 실제로는 Figure 3과 같이 이러한 지표들 간에도 특정한 관계가 존재할 수 있기 때문에 보다 현실적인 결과를 도출하기 위해 수직/수평 관계뿐만 아니라 경사도라는

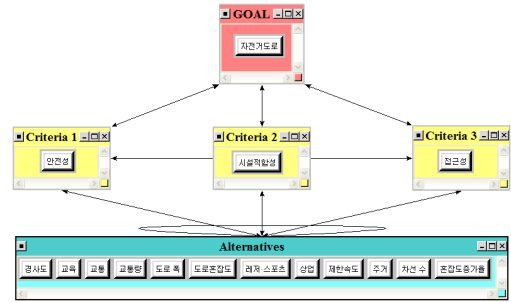


Figure 3. The Structure of Relationship between Criteria

지표가 안전성과 시설적합성 2개의 특성 모두에 영향을 주는 역수직 관계인 경우도 고려할 수 있는 ANP 분석방법이 더 적합하다고 판단하였다.

본 연구에서는 Table 2에서와 같이 자전거도로에 대한 총 3가지의 특성과 12개의 평가지표를 각종 문헌 고찰을 통하여 선정하였으며, ANP 분석을 위하

Table 2. Characteristics and Criteria of Bikeway

| Character | Criteria | Contents |
|----------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Safety | Slope | • Considering safety accidents that can occur on the downhill slope |
| | Speed Limit | • Elements that are indirect threat to cyclists and fatal accident probability increases |
| | Lane Width | • Improve safety through ensure sufficient width of the bike lane |
| | Traffic | • Affect on accident probability of car vs. bike |
| Accessibility | Residential Area | • Good accessibility with residential area as starting and arrival point |
| | Education | • Consider accessibility of educational environment such as school according to main purpose of bike usage |
| | Transportation | • Linkage of Public transportation such as bus or subway |
| | Leisure & Sports | • Main purpose of bike usage such as riverside, park, amusement park |
| Facility Suitability | Commercial | • Usage purpose of bicycle such as government office, cultural facilities, shopping, etc. |
| | Lane | • Space availability to install bike lanes |
| | Road Chaos | • Determine the level of transportation service through the ratio of traffic compared with lane |
| | Chaos Growth Rate | • Consider traffic flow through variation of road-chaos by road-diet |
| | Slope | • Consider convenience for cyclists on the uphill slope |

Table 3. Analysis of Correlation between Criteria

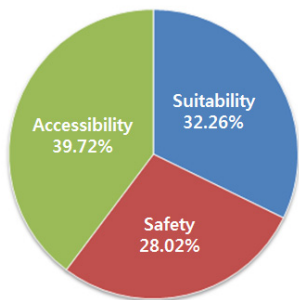
| Category | | Character | | | Criteria | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-------------|--------|---------------|----------|---------|-------|------|------------|-------------|-------------------|------------------|----------------|-----------|------------------|------------|
| | | Suitability | Safety | Accessability | Slope | Traffic | Width | Lane | Road Chaos | Speed Limit | Chaos Growth Rate | Residential Area | Transportation | Education | Leisure & Sports | Commercial |
| Character | Suitability | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Safety | ✓ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Accessability | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | |
| Criteria | Slope | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | |
| | Traffic | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | |
| | Width | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | | |
| | Lane | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | |
| | Road Chaos | ✓ | | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| | Speed Limit | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| | Chaos Growth Rate | ✓ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Residential Area | | | ✓ | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | |
| | Transportation | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Education | | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | | | |
| | Leisure&Sports | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | | | | |
| | Commercial | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | | | |

여 전문가의 자문을 얻어 속성들간의 상호관계를 규명하기 위한 설문조사를 진행하였다. Chung[2]이 진행한 자전거도로 서비스 평가모델에 관한 연구에서 설문조사 결과를 이용하여 평가지표 간의 상관관계를 파악하기 위하여 Table 3과 같이 행렬의 좌측 요소가 상단 요소에 영향을 줄 경우 '✓' 표시를 하여 나타내었다.

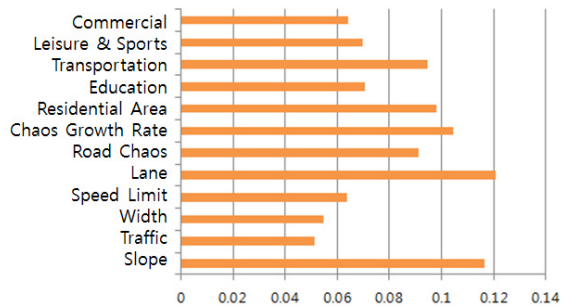
이러한 관계도를 바탕으로 ANP의 쌍대비교 분석을 통하여 12가지 평가지표들의 우선순위와 자전거도로에 있어서 3가지 특성들의 중요도를 산출하였다. 이 때, 주의해야할 점은 Consistency Index(CI)라고 하는 일관성 지표를 계산하여 설문 대상자가 일관성 있는 응답을 하였는지에 대한 검증을 필요로 한다. 보통 CI 값이 0.1 이하일 경우에 일관성이 있다고 판단을 하며 본 연구에서는 이 값을 초과한 설

문의 경우에는 신뢰도의 문제로 사용하지 않았다.

ANP를 활용하여 자전거도로에 대한 3가지 특성과 이를 평가하기 위한 12가지 지표들에 대한 우선순위 분석결과는 Figure 4와 같다. 특성 중에서는 접근성에 대한 중요도가 39.72%로 가장 높게 나왔으며 접근성에 대한 평가지표 중에서는 주거와 교통, 즉 자전거 이용의 출발점이자 최종 목적지인 주거지역과 대중교통 연계를 위한 버스정류장 및 지하철역과의 접근성이 가장 중요한 것으로 나타났다. 나머지 시설적합성과 안전성 측면에서는 도로의 차로 수와 경사도가 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며 전체 12개의 평가지표 사이에서도 이 두 지표가 가장 중요한 것으로 분석되었다. 이러한 분석을 통하여 산출된 값들은 자전거도로 선정을 위한 정량화된 지표로써 GIS에 적용하여 활용하였다.



(a) Attributes Importance



(b) Criteria Priority

Figure 4. Derived Weight through ANP Result

4. 자전거도로 선정을 위한 ANP 평가

4.1 ANP 평가 지표 계량화

본 연구에서는 ANP를 활용하여 정량화된 지표들이 실제로 적용될 수 있는지에 대해 확인하기 위하여 인천광역시를 연구 대상지역으로 GIS를 활용한 실험을 진행하였다. 실험은 행정구역도와 교통주제도, 토지이용 데이터, 버스노선 데이터, DEM과 같은 GIS 자료와 통계자료인 침두시 교통량 자료를 활용하였으며 각 지표에 적합한 데이터로 가공이 된 후에 ANP 분석 결과에 의한 우선순위 값을 가중치로 적용하여 각 도로 링크별 최종 스코어를 계산하고 실제 도로와 비교함으로써 해당 도로가 자전거도로 건설에 적합한지를 평가하였다.

Table 4. Attributes Associated with Criteria

| Raw Data | Attributes |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transportation Thematic Map | <ul style="list-style-type: none"> • Speed Limit • Lane • Road Width |
| DEM | <ul style="list-style-type: none"> • Slope |
| Land Use Data | <ul style="list-style-type: none"> • Residential Area • Transportation • Transportation • Leisure & Sports • Commercial |
| Bus Route Data | <ul style="list-style-type: none"> • Bus Stop / Route Information |
| Traffic Data (Peak Hour) | <ul style="list-style-type: none"> • Traffic of peak hour • Road Chaos / Growth Rate |

Table 4는 각 데이터들로부터 추출 가능한 속성정보를 정리한 것으로 기본적으로 교통주제도에서는 링크정보와 평가지표에 필요한 자동차제한속도, 차로 수, 도록 폭과 같은 정보들을 얻을 수 있다. 일반적으로 도로에서의 경사도는 중단구배라고도 하며 다음 수식과 같이 단위 구간에 대한 고저차를 중심선의 수평거리로 나누어 % 단위로 나타낼 수 있다.

$$I_{ij} = \frac{|DEM_i - DEM_j|}{L_{ij}} \times 100 \quad (1)$$

(i,j=Start/End Point)

본 연구에서는 경사도를 계산하기 위해 먼저 수치지형도의 등고선 레이어를 이용하여 30m 격자 크기의 DEM 데이터를 생성한 후에 교통주제도의 각 링

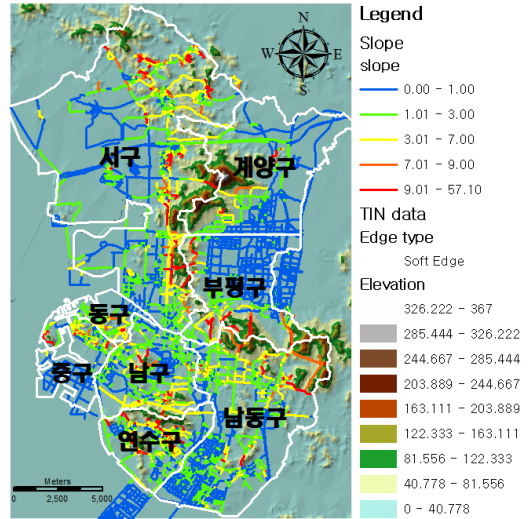


Figure 5. Road Slope (Incheon)

크의 버텍스들을 포인트 형태로 추출하고 DEM 데이터를 맵핑하여 모든 링크에 대한 인접 버텍스들 간의 경사도를 계산하였다. 버텍스 단위의 경사도는 원래 링크로 복원되는 과정에서 평균값으로 계산되어 저장되며 Figure 5와 같이 도로링크의 중간점들에 대한 높이를 고려한 경사도를 산정하였다.

토지이용 데이터의 경우에는 포인트 형태의 자료로써 매우 다양한 종류의 속성들을 가지고 있다. 이 중에서 접근성 평가지표와 관련이 있는 속성들을 추출하고 이를 정량적인 수치로 변환하기 위하여 각 도로링크로부터 반경 300m의 버퍼를 적용하여 버퍼 면적당 속한 포인트 개수의 비율로 나타내었다. 여기서 임의의 반경을 300m로 설정한 이유는 사람이 두발로 자연스럽게 걸었을 때 5분정도에 해당되는 거리이며 실제로 버스정류장 설치 시에 고려하는 최소거리로 자전거 이용 시 최종목적지까지 자전거도로가 설치되어 있지 않거나 진입이 불가능하여도 큰 불편 없이 도로로 이용이 가능하기 때문이다. 이를 고려한 각 접근성 평가지표 별 스코어를 계산하기 위한 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_k = \frac{V_k}{Max(V)} \times 100 \quad (2)$$

for k={1,2,3, ...,n}

위 수식에서 n은 전체 도로링크의 총 개수로서 각 도로링크의 평가지표 별 스코어 S_k 는 각 도로링크의 버퍼 면적 당 포인트의 개수 V_k 와 이들의 최대값을 이용하여 계산한다. 따라서 5가지 (주거, 교통, 교육,

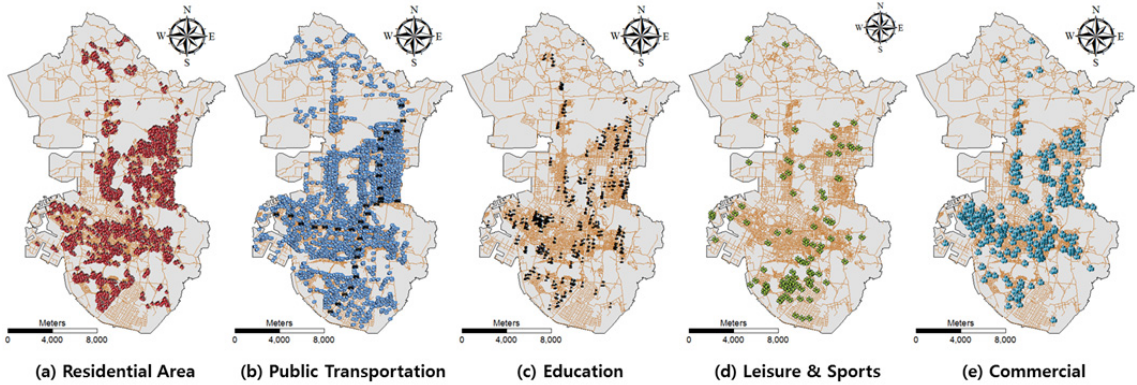


Figure 6. Land-Use Data for Accessibility Criteria

레저·스포츠, 상업) 접근성 지표에 대한 각 도로링크별 스코어를 계산할 수 있으며 이 값은 0~100 범위의 값을 가지며 100에 가까울수록 해당 지표에 대한 접근성이 높은 도로를 의미한다.

마지막으로 침두시 교통자료는 각 도로링크에서 교통량이 가장 많은 시간대의 데이터로써 교통량에 대한 평가지표로 그대로 활용될 수도 있으며 별도의 시뮬레이션 수행 없이 간단한 방법으로 도로혼잡도를 계산하여 이용하였다. Yeo[20]의 연구에 따르면 도로혼잡도 측정을 위한 방법으로는 교통량 대비 용량비(V/C)를 가장 대표적으로 많이 사용하고 있으며 다른 측정기준과 비교해 보았을 때 상대적으로 자료수집이 용이하며 현재까지 가장 널리 사용해온 전형적인 혼잡측정 기준이다. 본 연구에서는 이러한 기준을 이용하되 용량 대신 용량을 산출하는데 있어 가장 큰 영향을 미치는 차로 수를 이용하여 다음 수식과 같이 도로혼잡도를 계산하였다. 여기서 V는 침두시 교통량을 나타내며, N은 각 링크별 차로 수를 나타낸다.

$$RCI_k = V_k / N_k \quad \text{for } k=\{1,2,3, \dots, n\} \quad (3)$$

본 연구에서는 자전거도로 설치로 인하여 발생할 수 있는 자동차 교통 흐름의 영향을 고려하기 위하여 Figure 7과 같이 실제 도로에 대한 도로혼잡도와 1개 차로가 감축된 도로다이어트 이후의 도로혼잡도를 계산하고 이들 간의 증가율을 이용하였다. 즉, 도로혼잡도가 높거나 도로다이어트로 인한 도로혼잡도의 증가율이 클 경우에는 자전거도로 설치로 인하여 자동차 교통 흐름이 크게 방해 받을 수 있다는 것을 의미하므로 자전거도로 설치를 위한 후보지로

는 부적절한 도로라고 할 수 있다.

최종적으로 12가지 평가지표에 대한 스코어 값은 각각 0~100 범위의 정규화된 값을 가지며, 이전 단계에서 ANP 분석을 통해 산출된 가중치를 적용하여 모든 링크에 대해 자전거도로 선정을 위한 최종 스코어를 계산하였다.

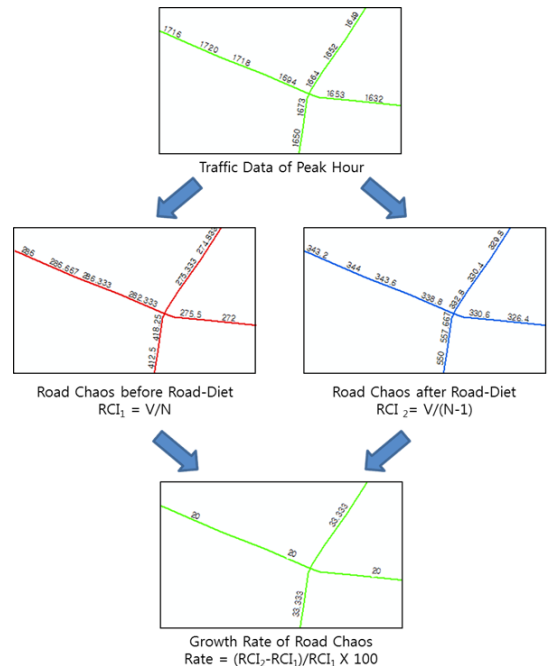


Figure 7. Road-Chaos Growth Rate

4.2 자전거 도로 선정 결과

자전거도로를 선정하기에 앞서 Table 1에서 제시되었던 법적·시설적 제약조건을 고려하여 교통주체

도로부터 제거시킨 후 실험을 진행하였다. 따라서 경사도가 7%를 초과하거나 일방통행을 포함한 편도 2차로 미만의 도로, 고속도로와 같은 자동차 전용도로, 그리고 자전거도로 설치가 불가능한 터널, 지하차도와 같은 특수도로에 해당되는 링크들을 제거하였으며 제거하는 과정에서 남겨진 불필요한 도로들도 교차로를 기점으로 하여 모두 제거하였다.

이렇게 가공된 교통주제도를 기본 데이터로 하여 각각의 도로링크에 평가지표 별 스코어를 속성값으로 저장하였다. 또한 가중치를 올바르게 적용하기 위해서 12가지의 평가지표에 대한 스코어가 나타내는 특성들을 파악하고 경사도, 도로혼잡도, 혼잡도증가율 등과 같이 값이 작을수록 긍정적인 영향을 미치는 지표에 대해서는 역가중치를 적용하였다.

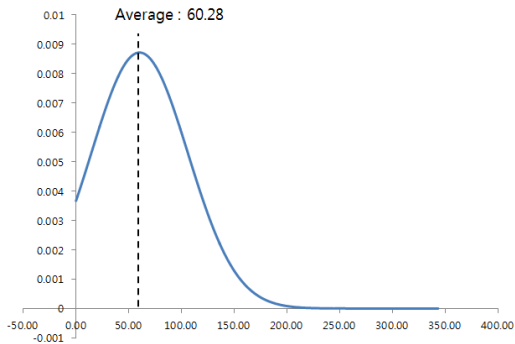


Figure 8. Final Score Distribution

가중치가 적용된 최종스코어는 Figure 8과 같은 정규분포를 보이며 평균값은 60.28로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 최종스코어가 평균을 기준으로 0에 가까울수록 자전거도로에는 부적합한 도로이며 평균보다 더 커질수록 자전거도로에 적합하다는 임의의 가정을 세워 현재 건설되어 운영 중인 자전거도로와 비교해 보았다.

비교대상은 남동구와 부평구 일대의 자전거도로이며 인천지역 중 유동인구가 많고, 지하철역과 버스 터미널 등과 같은 시설물로 인하여 대중교통 연계가 용이하며 쇼핑센터 및 관·공서 등 상권이 발달한 지역으로 다음 Table 5와 같이 총 4가지 경우를 설정하여 비교분석을 하였다.

먼저 Case 1과 Case 2는 본 연구에서의 실험결과 자전거도로 설치가 가능한 지역으로서 Case 1의 경우에는 현재 설치되어 운영 중인 자전거도로와 일치하는 지역을 나타내며 자전거도로의 주요특성이 잘

Table 5. Classification of Bikeway Selection Result

| Case | | Contents |
|------|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | Fitness | Experimental Result - Suitable and Bicycle Lane is installed |
| 2 | Candidate | Experimental Result - Suitable but Bicycle Lane is not installed |
| 3 | Faulty | Experimental Result - Unsuitable but Bicycle Lane is installed |
| 4 | Improper | Experimental Result - Unsuitable and Bicycle Lane is not installed |

반영되었다고 판단할 수 있다. Case 2의 경우에는 현재 자전거도로가 설치되지 않았지만 향후 추가적인 자전거도로 설치 시 유력한 후보지로 고려될 수 있는 지역이다. 반면 Case 3과 Case 4는 실험결과 자전거도로 설치가 불가능한 지역으로서 Case 3과 같이 이미 자전거도로가 설치된 경우에는 부족한 부분들을 보완하거나 불가피할 경우 철거를 고려해야 하며, Case 4의 경우에는 향후 자전거도로 설치를 계획하는데 있어 부적합한 도로로 판단하여 자전거도로 후보지에서 가장 먼저 제외시켜야 하는 지역이라 할 수 있다.

다음 Figure 9는 인천광역시 남동구와 부평구를 대상으로 자전거도로 선정 결과를 사례 별로 비교한 것으로 두 지역 모두 자전거도로로 적합한 도로와 부적합한 도로가 명확하게 구분되어 나타났다. 즉, 부분적으로 후보도로인 Case 2의 경우를 분석해보면 평가지표 측면에서 보았을 때 스코어가 우수하지만 주변 도로의 스코어가 낮거나 연결될만한 자전거도로가 존재하지 않은 경우가 대부분이다. 따라서 향후 자전거도로를 건설하고자 할 경우에 최우선 후보지가 될 수 있는 도로이기도 하다.

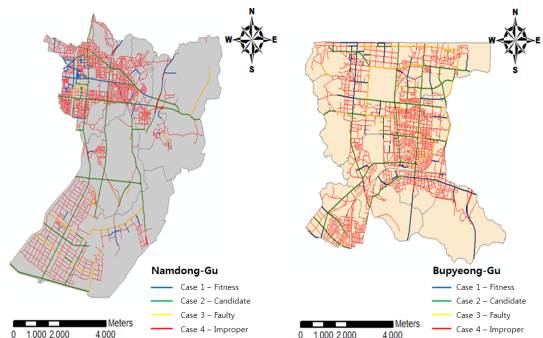


Figure 9. Result of Selection of Bicycle Lanes on Case Study

반면에 보완도로인 Case 3는 대부분 경사도나 교통량 그리고 접근성 측면에서는 긍정적이지만 시설 적합성 측면에서 차로 수라든지 도로혼잡도 증가율 등에서 기준치 이하의 낮은 스코어를 갖기 때문에 자동차 교통흐름에 방해를 주어 불편을 초래하거나 각종 민원이 제기될 수 있는 문제의 소지를 가질 수 있기 때문에 자전거도로를 위한 차로 이외의 새로운 공간을 만들거나 철거하여 자동차 교통 흐름이 원활할 수 있도록 하는 것이 바람직할 것이다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 자전거도로 선정에 필요한 지표들을 정량화하기 위하여 먼저 선행연구와 관련 문헌들을 고찰하여 자전거도로가 가져야할 특성과 이를 평가하기 위한 지표들을 정의하고, 각 지표들 간 복잡한 상호관계를 고려할 수 있는 ANP를 활용하여 분석하였다. 또한 정량화된 지표들을 실제로 자전거도로 선정을 위한 도로평가에 활용하고 그 결과를 현행 자전거도로와 비교해봄으로써 이 연구 결과가 자전거도로를 선정하는데 있어서 어느 정도 의사결정에 도움이 될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어 만약 새롭게 자전거도로를 설치할 경우 Case 4 (부적합)에 해당되는 도로는 자전거도로 후보지역에서 제외되어야 할 것이며 Case 2(후보)에 해당되는 도로가 우선시 될 수 있다. 이 뿐만 아니라 자전거도로 이용률이 저조할 경우 이에 대한 원인을 분석하기 위하여 자전거도로 환경평가를 실시하고 각 도로의 스코어를 통해서 해당 도로가 어떤 부분에 있어서 취약한지 알 수 있고 활성화 정책을 수립하는데 도움이 될 수 있다. 향후 연구방향으로는 GIS 데이터화 할 수 있는 다양한 평가지표들과 이들 간의 관계를 규명하기 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

References

[1] Ahn, S. M; Kim, J. Y; Choi, B. G; Na, Y. W. 2011, A Study Selection Methods of Bike Route in Conjunction with the Subway Line using GIS, Paper presented at the Conference of Geo-Spatial Information 2011 Fall, October 28.

[2] Chung, T. H; Cho, Y. S; Kang, K. W. 2011, An

Evaluation for the Investment Priority of Bicycle Road: A Case Study of Osan City, Gyeonggi Research Institute GRI Review, 13(1):234-252.

[3] Furth, P. G. 2009, Bicycle Priority Lanes: A Proposal for Marking Shared Lanes.

[4] Incheon, 2007, Incheon Basic Plan Overhaul about Bicycle Facilities.

[5] Joo, Y. J; Kim, S. H. 2011, A New Route Guidance Method Considering Pedestrian Level of Service using Multi-Criteria Decision Making Technique, Journal of Korea Spatial Information Society, 19(1):83-91.

[6] Joo, Y. J; Lee, S. I; Kim, T. H. 2011, Development of Web Based Walking Environmental Measurement System Using the Analytic Hierarchy Process Approach, Journal of The Korean Society for GeoSpatial Information System, 19(1):3-11.

[7] Kang, H. Y; Jang, Y. G; Kim S. S; Kang, I. J. 2007, A Study about Application of BiCycle Information System(BCIS) based on GIS for Transfer and Connectivity of Bicycle-User, Paper presented at the 33th Conference of Korean Society of Civil Engineers, October 10-13.

[8] Kang, K. M; Kim, E. C. 2011, Developing Bike Road Design Alternatives Considering Land Use Characteristics, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 13(3):93-102.

[9] Kim, S. S; Song, K. W; Jung, H. Y; Ha, S. W. 2011, A Study on the Effect of Bicycling Environment in the Route choice of Bicycle Commuters, Journal of The Korea Planners Association, 46(2):223-233.

[10] Kueper, D. A. 2007, Road Diet Treatment in Ocean City, New Jersey [USA], Accident Reconstruction Journal, 77(2):18-22.

[11] Lee, J. Y; Leem, Y. T. 2010, The Establishment of B-TOD Concept and Setting up Transit Access Distance by Cycling, Journal of The Korea Planners Association, 45(6):149-160.

[12] Lee, K. H; Kim, S. N; Ahn, K. H. 2008, Effects

of Land Use and Urban Form on Bicycle Commuting in Small and Medium-sized Cities, Journal of The Korea Planners Association, 43(5):49-61.

- [13] Li Z; Wang, W; Liu, P; Ragland, D. R. 2012, Physical Environments Influencing Bicyclists' Perception of Comfort on Separated and on-Street Bicycle Facilities, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(3):256-261.
- [14] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010, Bicycle Facilities Installation and Management Guidelines.
- [15] Moudon, A. V; Lee, C; Cheadle, A. D; Collier, C. W; Johnson, D; Schmid, T. L; Wearher, R. D. 2005, Cycling and the Built Environment, a US Perspective, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 10(3):245-261.
- [16] Park, S. H; Hong, S. E; Kim, H. S; Kim, J. Y. 2003, Automatic Methods for Selecting Comparative Standard Land Parcels Using Spatial Multicriteria Making Rules, The Journal of GIS Association of Korea, 11(1):1-11.
- [17] Saaty, T. L. 1996, Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, RWS Publication, Pittsburgh.
- [18] Seoul-Seoul Metropolitan Police Agency, 2009, Bike Lane Installation Instruction.
- [19] Shin, K; Kim, J. 2009, The Impact of Bike Lane Implementation via Road Diet Treatment on Vehicular Operation: Bike Lane Demonstration Program in Nam-Gu, Busan, Paper presented at the 11th Conference of Korean Society of Road Engineers, November 5-6.
- [20] Yeo, H. J; Chung, J. H; Kim, I. K. 2005, A Study on Congestion Index For The Metropolitan Areas In Korea, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 25(5D):635-642.



Ji Hwan Lee

2011 Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University Graduation (Bachelor of engineering) 2011~present Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University

Graduate school attending (Master's course)

Research Expertise

- Location Based Service
- Spatial Database



Yong Jin Joo

2001 Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University Graduation (Bachelor of engineering) 2003 Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University

Graduation (Master of engineering)

2009 Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University Graduation (Ph.D. GeoInformatic engineering)

2009~2011 Research Professor, Institute of Urban Science, University of Seoul

2011~present Assistant Professor, Dept. of Aerial GeoInformatics, Inha Technical College

Research Expertise

- Location Based Service
- Spatial Database
- Spatial Reasoning & Ontology
- Urban Growth Simulation Model



Soo Hong Park

1989 Dept. of Geography, Seoul National University Graduation (Bachelor)

1991 Dept. of Geography, Seoul National University Graduation

(Master)

1996 Dept. of Geography, Univ. of South Carolina at Columbia (Ph.D.)

1998~2000 Research Fellow, Seoul Development Institute

2000~present Professor, Dept. GeoInformatic Engineering, Inha University

Research Expertise

- U-GIS Service Model
- Spatial Database
- Spatial Data Models

논문접수 : 2012.07.20

수정일 : 1차 2012.11.16 / 2차 2012.11.20

심사완료 : 2012.12.14