

TOD 계획 요소의 통합적 접근을 통한 친보행 환경의 평가 방안

An Empirical Evaluation Scheme for Pedestrian Environment by Integrated Approach to TOD Planning Elements

주 용 진* 하 은 지** 전 철 민***
Yong Jin Joo Eun Ji Ha Chul Min Jun

요약 최근 우리나라는 교통 혼잡, 대기오염과 같은 다양한 문제점을 일으키는 자동차 중심의 교통 체계 문제점을 해결하기 위해 대중교통 수요를 증가시키는 대중교통중심 개발(Transit Oriented Development, TOD)과 에너지 절약적인 도시개발에 초점을 맞추고 있다. 이러한 배경 하에 녹색 교통수단의 이용 활성화를 위한 보행 환경 및 시설에 관한 차별화된 평가 지표와 이를 측정할 수 있는 객관적 평가 방안의 개발이 요구된다. 이에 본 연구의 목적은 TOD의 주요 계획요소(토지이용 밀도 및 다양성, 보행 친화적 도시설계, 대중교통시설 유형 및 공급수준 등)에 대한 효과 분석을 통해 다위계 보행 환경 평가 지표 설계와 측정 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 TOD의 주요 계획요소를 GIS로 정량화 할 수 있는 지표를 반영하고 계층분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 활용하여 종로3가역과 한강진역에 보행 환경 평가를 실시하였다. 본 연구에서는 개별적인 TOD 계획 요소들의 보행 관련성을 종합하여 통행 패턴과의 영향관계를 규명하였으며 연구에서 제시된 보행 환경 평가 지표는 실제 물리적인 보행공간을 기반으로 한 역세권 및 환승센터 등에 적용되어 보행 접근성과 대중교통 편의성 복합토지이용 패턴의 가시화에 평가 도구로 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 대중교통 중심개발, 계층분석법, 보행 환경, 친환경 도시개발, 탄소 배출저감

Abstract In order to resolve transportation system focused on vehicles which have led to all sorts of problems such as traffic congestion, air pollution and so on, Korea recently have tended to center around Transit Oriented Development(TOD) which is capable of initiating public traffic demands. It is imperative to develop objective evaluation method which is able to measure pedestrian environment and amenity in order to facilitate green transit. The purpose of this paper is to present evaluation indices and measurement framework of pedestrian environment by analyzing effect on TOD major planning factors such as diversity, density, design, and supply etc. For this, we applied evaluation index with regard to TOD planning factors, investigating connection to pedestrian and employed AHP (Analytic Hierarchy Process) so as to quantify the result of measurement in Jongro 3ga and Hangangjin station. As a result, we presented relationship between travel patterns of pedestrian and each TOD planning factor. More importantly, the proposed framework is expected to make the best of the visualization as well as evaluation method for the pedestrian accessibility, convenience of public transportation, and the mixed land-use patterns in subway area and transit center.

Keywords : Transit Oriented Development(TOD), AHP(Analytic Hierarchy Process), Pedestrian Environment, Eco-friendly Urban Development, CO₂ Emission Reduction

† 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. 2011-0009601)

* 인하공업전문대학 항공지리정보과 조교수 jjy@inhac.ac.kr

** 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정 ejha86@gmail.com

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 교수 cmjun@uos.ac.kr(교신저자)

1. 서론

지속가능한 개발(Sustainable Development)이라는 새로운 계획 패러다임에서 보행자 위주의 고밀 도시공간 조성을 목표로 하는 신도시계획기법과 연계한 역세권 개발을 위한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 최근 우리나라는 교통 혼잡, 대기오염과 같은 다양한 문제점을 일으키는 자동차 중심의 교통체계 문제점을 해결하기 위해 대중교통 수요를 증가시키는 대중교통중심 개발(Transit Oriented Development, 이하 TOD)과 에너지 절약적인 도시개발에 초점을 맞추고 있다.

TOD란 대중교통 결절점을 중심으로 고밀 복합적 토지이용, 중심 기능의 집중배치, 보행 환경의 개선 등을 통해 녹색·대중교통이용 활성화 및 환경친화적 도시개발전략을 말하며, 도시 공간의 고밀 복합 개발이 자동차 이동거리 감소와 에너지 소비 절감에 기여한다는 것들이 입증되고 있다. 특히 녹색 교통수단인 보행은 모든 교통의 시작과 끝을 구성하며 교통체계 전반의 연계성과 효율성을 좌우하는 매우 기본적인 이동수단이라 할 수 있다. 이에 지속가능한 개발이라는 새로운 계획 패러다임의 보행자 위주의 고밀도시공간 조성을 목표로 하는 뉴어바니즘¹⁾(New Urbanism), 압축도시(Compact City) 등과 연계되어 역세권 개발에 대한 이념으로 자리매김하고 있다. 시공간에서의 역은 접근성 등의 이유로 주거, 상업, 업무기능에 지대한 영향을 미치고 있으며 교통의 중심지이고, 보행자 통행의 결절점이 되는 역세권은 토지이용의 형태와 인간의 행동패턴에 다양한 영향을 준다.

이러한 배경 하에 녹색 교통수단의 이용 활성화를 위한 보행 환경 및 시설에 관한 차별화된 평가 지표와 이를 측정할 수 있는 객관적 평가 방안의 개발이 요구된다. 이에 본 연구에서는 TOD의 주요 계획요소²⁾(토지이용 밀도 및 다양성, 보행 친화적 도시설계, 대중교통시설 유형 및 공급수준 등)에 대한 효과 분석을 통해 다위계 보행 환경 평가 지표 설계와 측정 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해

본 연구에서는 우선 정성적 지표를 활용한 측정방법에 대한 한계점을 기초로 연구의 방향을 설정하고, 보행 환경 평가관련 국내외 선행연구 고찰을 통해 TOD 계획 요소에 대해 GIS로 정량화 가능한 측정지표를 설계하였다. 이때 TOD 계획 요소들에 대한 선행 연구를 검토하고 보행 환경을 정량적으로 평가할 수 있고 활용빈도가 높은 지표들을 고려하였다. 둘째, 설계된 측정 지표를 토대로 변수를 가공하여 분석의 틀을 위한 GIS DB를 구축하였다. 셋째, 보행 환경 측정항목 간의 중요도를 고려하기 위하여 전문가 설문조사를 활용한 계층분석법³⁾(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 적용하여 평가 지표를 제시하였다. 선정된 지표들에 대해 수도권 지하철역 중 종로3가역과 한강진역의 역세권에 적용하고 그 결과를 비교, 분석하였다. 마지막으로 사례지역에 본 연구에서 설계한 보행 환경 지표를 적용한 분석 결과를 통해 시사점을 제시하였다. 본 연구 내용을 절차별로 도식화하면 그림 1과 같다.

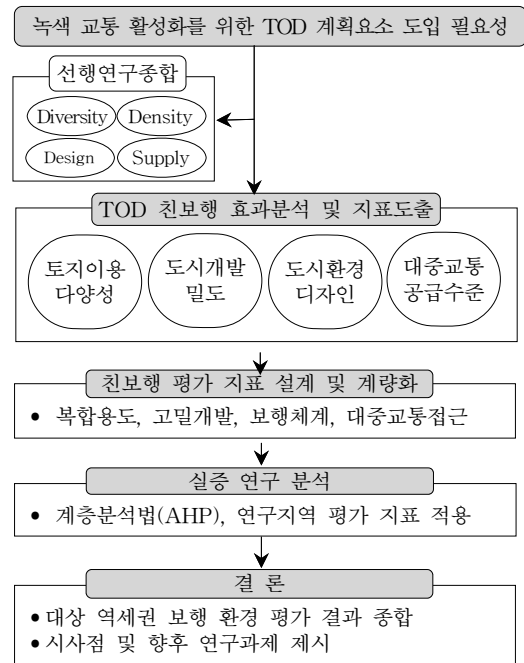


그림 1. 연구 내용 및 흐름도 (Flowchart)

- 1) 직주근접에 의한 걸을 수 있는(walkable) 컴팩트한 도시 계획을 추구함으로써 도시에 생명력과 지속가능성을 부여할 수 있다는 개념
- 2) 교통-토지이용 상호연계체계 위해 Certero [1]는 고밀개발(Density), 복합용도 (Diversity), 그리고 보행 친화적이고 쾌적한 도시, 대중교통 보행체계의 설계 (Design) 등 '3-Ds'를 규정함.
- 3) 복잡한 문제(다수의 속성)를 계층적으로 분류하여 주요 요인과 세부 요인들로 나누고, 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 각 속성(요인)들에 대한 중요도 산출, 최적 대안을 선정 하는 기법임.

2. TOD 계획요소 유형화

2.1 대중교통 중심 개발(TOD) 개념

TOD는 무분별한 외연적 확산을 억제하고 차량 의존형 도시(Automobile-Oriented City)에서 대중교통 결절점(A Transit Center)을 중심으로 개선하기 위해 도보로 접근 가능한 범위 내에서 고밀도 복합 토지이용과 보행 친화적인 가로망 구성을 통해 대중교통중심 생활권을 구현하는 도시계획기법이다. 이러한 TOD는 환경적으로 고밀개발과 직주근접의 토지이용형태를 구축하여 공공공간과 오픈스페이스를 확보하고 보행자 도로의 설치 및 이용을 촉진한다. 철도역, LRT·BRT역 등 대중교통 결절점에서 도보 및 자전거로 5~10분 내 이동 가능한 반경(600~800m) 면적의 근린지역을 개발 단위로 한다. 또한 입지와 기능별로 도시형과 근린형, 대중교통수단에 따라 철도형, 경전철형, 간선버스형 등으로 구분된다[18].

2.2 대중교통 중심 개발의 계획 요소

TOD는 복합용도, 대중교통위주의 보행개발 가능한 개발을 추구한다. 이를 위해 대상지를 대중교통 중심으로 개발하고 대중교통 정류장으로부터 보행거리 내에 상업, 주거, 업무, 공공시설 등을 혼합 배치한다. 또한 지역 내 목적지간 보행 친화적 가로망을 구축하는 것을 주요 계획 요소로 한다.

2.2.1 토지이용 다양성 : Diversity

다양성은 토지이용의 복합화 즉, 공간에서 일어나는 경제활동시설의 다양성을 의미하고, 비동력 교통수단 및 대중교통의 이용 촉진 효과가 있다. 토지혼합도는 소매, 주거, 사무실, 위락 그리고 다른 사용자들의 혼합도를 말하며 주요활동 시간대가 다른 상업과 소매시설의 복합화, 주거와 소매시설의 복합화, 주거, 소매, 상업 그리고 공공시설의 복합화 등으로 정의될 수 있다. 다양성 측면에서의 보행 관련 연구로 우선, 신행우[11]는 공간네트워크와 보행 통행간의 상관관계 분석을 통해 업무지역이나 상업지역은 공간네트워크, 주거지역은 보행 환경이 중요하다는 것을 도출하였고 커뮤니티의 물리적 환경과 업무·상업지역의 상관관계를 제시하였다. 박지형[17]은 서울시 역세권을 대상으로 대중교통의 증가가 12개 용도 구분에 대한 토지이용복합지수, 상업·업무복합지수, 직주근접지수와 같은 토지이용특성

에 영향을 받으며, 대중교통 수요 증가에 영향을 미치는 것을 도출하였다. 박세훈[15]은 토지이용의 복합성을 여러 목적 통행을 유발하는 토지이용시설의 수평적, 수직적 근접화 하는 것으로 정의하였으며, 이는 일정한 도보이용 가능거리에서 고용시설의 공간적 근접화는 파생되는 통행을 연결시킴으로써 통행발생의 빈도를 줄일 수 있기 때문에 우리나라 도시의 경우 고밀화 전략 보다는 기능의 적절한 배치가 효과적일 수 있다는 것을 강조하였다.

Lawrence[5]는 밀도와 토지용도혼합이 높으면 해당 지역의 보행량이 더 많다는 것을 검증하였으며, 토지밀도와 혼합 등과 같은 도시형태요인과 소득, 성별, 서비스와 같은 비도시형태요인들의 통행형태에서의 중요성을 제시하였다. Rodriguez[7]은 North Carlina 지역 내 교외주거지와 뉴어바니즘 주거지를 비교 분석하여 뉴어바니즘 주거지에 거주하는 주민들이 보행량이 많고 자동차 이용이 적음을 밝혀냈다. 또한 워싱턴 지역 내 16개 커뮤니티를 대상으로 한 연구에서는 지역의 walkability 지표 (거주밀도, 교차로 수, 상업지역 비율)가 주민들의 보행 활동에 영향을 미침을 제시하였다.

2.2.2 도시개발밀도 : Density

개발밀도는 토지이용의 강도 또는 집약도를 나타내는 개념으로서 개발용량을 결정하는데 중요한 요소이다. 대중교통 결절점 주변지역의 토지이용을 고밀화하면 총 통행거리를 감소시킴으로서 차량 이용을 감소시키고 보행을 증진시킨다. Mitch[6]에서는 보행과 토지이용복합지수의 관계를 분석하기 위해 기본 LUM score(Original LUM score), 소매업면적(net retail area), 교차로 밀도(intersection density), 주거밀도(dwelling density)의 표준화 한 값의 합계로 보행지수를 제시하였다.

황기연[28]은 도시개발밀도와 교통시설용량 간의 영향관계를 분석하기 위해 용적률이 미치는 정도를 연구하여 대중교통접근성이 가장 뛰어난 도심의 고밀개발이 서울시 교통문제를 완화시키는데 부분적으로 기여할 수 있음을 언급하였다. 박지형[16]은 대중교통지향형 도시개발 시 고려되어야 할 요소들 중에 밀도특성 관련변수로 총 개발밀도와 용도별개발밀도를 적용하여 고밀도 일수록 대중교통이용이 증가하고 혼잡이 완화되며, 통행량이나 총 차량주행거리가 감소함을 제시하였다. 김진[13]은 역세권 도시구조 특성 변수로 용적률을 사용하여 고밀개발이

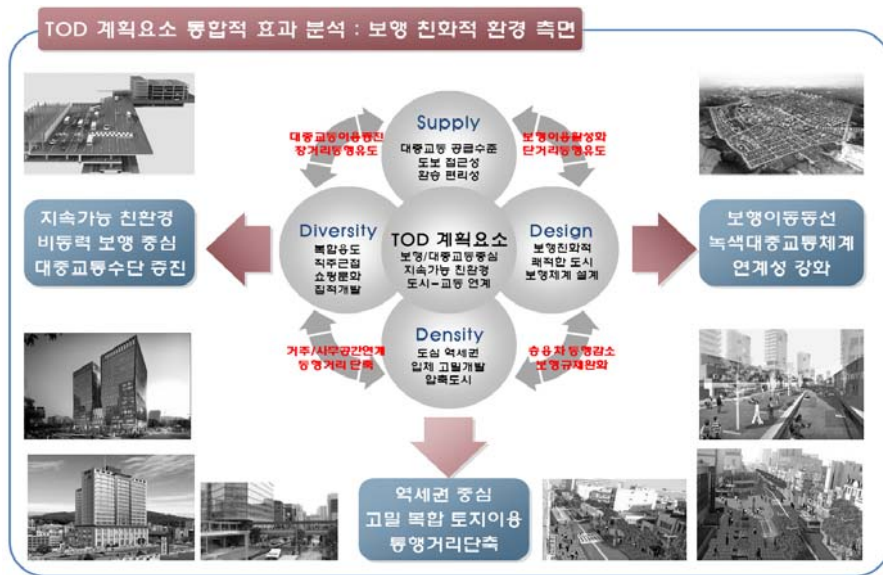


그림 2. TOD 계획 요소의 통합적 효과 분석 : 보행 친화적 환경 측면

실제 대중교통 이용률 상승을 유도하는데 효과적임을 증명하였다.

2.2.3 가로 환경 및 도시 설계 : Design

디자인은 보행의 목적이 되는 시설과 장소가 풍부하고 연계가 수월하며 걷기 편한 환경을 말한다. 즉, 보행 환경은 보도의 유무나 폭과 같은 가로의 물리적 환경 뿐 아니라, 보행유발 시설의 유무와 질, 가로의 네트워크 환경을 다 포함하는 환경을 뜻한다. 주용진 [26, 27]은 친화적 거리디자인 요소를 안전성, 쾌적성, 편의성과 환경성 등으로 구분하여 서비스 수준별 평가 지표를 제시하고 사당 역세권역을 대상으로 실증분석을 실시하였다. 김경환[9]은 퍼지근사추론을 이용하여 정성적인 보행자 서비스 수준 영향요인을 규명하였으며, 김용석[12]은 토지이용 및 보행, 차량특성을 종합한 보도 설계 제안 및 서비스 수준 종합지표를 제시하였다. Thambiah[8]는 정량적인 지표에 대한 설문조사를 실시하여 사용자 조사 결과와 정량적인 변수들의 영향관계를 규명하였다. Jonathan[2]는 정성 및 정량적 지표의 종합적 평가의 중요성을 강조하고 보행자 서비스수준모형 제시하였다.

2.2.4 대중교통 운영 및 공급수준 : Supply

보행에서는 산책과 같이 걷는 것 자체가 목적이 될 수도 있지만 보행은 일정한 목적을 가지고 있다.

특정 지역으로 이동하기 위해서는 대중교통을 이용하게 되는데 이때 전후와 사이사이에 보행도 포함하게 된다. 김성희[10]는 통행수단선택 영향 요인 중 대중교통수단으로의 접근거리와 대중교통이용률과의 관계 분석 및 적정 보행접근거리를 제시하였다. 이경환[21]은 설문조사를 통해 지역 주민의 보행 활동에 영향을 미치는 근린 환경 특성을 분석하였다. 이수일 [22]은 보행 환경 특성 및 대중교통의 특성을 나타내는 요소로 역세권 주변 공급노선 수와 공급정류장수를 고려한 역세권 보행자 만족지수를 개발하였다. 성현곤[20]은 이용자변수(일일교통카드자료)와 공급변수(노선수, 정류장수, 환승여부 등)를 이용하여 대중교통 공급시설이 대중교통 이용수요에 밀접한 연관성이 있음을 규명하였다. 주용진[25]은 지하철 노선 계획과 승객수요변화를 분석하였다.

3. 대중교통지향 친보행 평가지표 설계

3.1 TOD 계획요소의 친보행 효과 분석

선행연구 고찰 결과, 개발밀도(연상면적, 대지면적 등)를 활용하여 토지이용 유형 및 입지특성이 통행패턴에 미치는 정성적 효과에 초점을 맞춘 연구들이 주를 이루고 있음을 알 수 있다. 또한, 주용진[26], 성현곤[20]등 일부 물리적인 가로 환경과 대중교통 이용수요 영향측면에 대한 실증 분석 연구만이 진행

되었다. 하지만, 대중교통 결절점에서의 종합적인 친보행 효과 분석을 위해 교통축면의 다양한 대중교통 공급 요소와 도시축면의 개발밀도, 토지이용 복합도 등을 동시에 고려하는 것이 요구된다.

이에 따라 본 연구에서는 역세권 등 대중교통 결절점에서의 다양한 토지이용, 가로특성, 대중교통특성(버스, 지하철) 등 TOD 계획요소에 대해 통합적 관점에서 접근하고자 한다. 즉, 단순히 토지이용 입지 특성과 연계한 기존 연구와 달리 본 연구에서는 개별적인 TOD 계획 요소들의 보행 관련성을 종합하여 통행 패턴과의 영향관계를 규명하고자 하였다. 그림2는 이러한 TOD 계획 요소의 보행 환경 측면에서의 통합 개선 효과들을 나타낸다. 우선, 고밀도 복합용도의 토지이용은 직장과 주거, 쇼핑과 문화를 집적함으로써 거주지와 사무공간을 상호 연계되어 통행거리 자체를 단축시킬 수 있다. 또한, 강력한 대중교통 공급수준을 가진 복합 토지 이용은 도보 접근성을 향상시키고 대중교통 환승 편리성을 극대화할 수 있다. 따라서 경쟁력 있는 비동력 녹색 교통을 중심으로 장거리 통행은 대중교통수단이, 단거리 통행은 보행 또는 자전거가 등을 통해 자동차 통행을 감소시키는 효과가 있게 될 것이다.

3.2 TOD 계획 요소의 친 보행 통합 평가 지표

3.2.1 평가 지표 설계

기존 보행 환경 평가 지표 및 평가 모형은 대부분

녹색 교통 환경의 다양한 특성인 이동성, 접근성, 편의성, 환경성 등 지표들을 계량화하여 선정하였다. 반면 본 연구에서는 이러한 도시 설계적 측면에 대중교통 결절점을 중심으로 교통 시설의 유형 및 공급수준, 토지 이용의 밀도 및 다양성으로 확장한 대중교통 중심 도시 개발 기반의 새로운 보행 환경 평가 지표를 설계하였다. 이를 위해 우선 보행자를 위한 보행 환경에 대한 서비스 수준을 종합 평가하기 위해 보행로 및 도로 등의 디자인 요소와 토지의 상업적 사용을 측정하기 위해 도시 계획과 밀도에 관한 요소를 지표로 선정하였다. 또한 공간에서의 경제활동시설의 다양성과 보행을 유발하는 시설의 증대로 인해 보행 활동 및 대중교통의 이용 촉진 효과를 가진 토지이용의 복합화에 관한 요소를 지표로 선정하였다. 또한, 평가 지표 사이에 가중치의 관계를 규명하기 위해 전문가 설문조사를 통한 AHP기법을 적용하였다(그림 3).

표 1은 보행 친화적 환경에 영향을 미치는 TOD 계획 요인들의 평가 항목과 가중치를 보여준다. 즉, 가로환경 및 도시 설계 요인이 40% 로 1위, 대중교통공급수준이 30%로 2위, 토지이용다양성이 20%로 3위, 도시개발밀도 10%로 4위로 분석되었다.

3.2.2 평가 지표 측정 방안

설계된 평가 지표들의 계량화를 위한 구체적인 측정 방안은 다음과 같다.

표 1. TOD 계획 요소를 이용한 친보행 통합 평가 지표 설계

| TOD 계획요소 | 친 보행 평가 지표 | 지표 측정 항목 | 가중치 |
|--|---|---|------|
| 토지이용 다양성 (0.2) | <ul style="list-style-type: none"> 용도별 토지이용의 혼합 비율 : 토지이용시설, 건물, 블록 복합 정도 측정 토지이용의 복합적 정도가 높을수록 보행자의 통행목적별 수요 균등 분포 | • 토지이용복합지수 : LUM (Land-Use Mix) | 0.20 |
| | | • 주거용도 : 주거지역 면적/셀 별 면적 | 0.30 |
| | | • 상업용도 : 상업지역 면적/셀 별 면적 | 0.50 |
| 도시개발 밀도 (0.1) | <ul style="list-style-type: none"> 단위면적당 총 개발 밀도 측정 고층화에 따른 가구 수와 통행량 증가 보행 활동의 밀집 정도 평가 | • 교차로밀도 : 교차로 수/ 분석 지역 면적(km ²) | 0.25 |
| | | • 주거개발밀도 : 연상면적/셀 별 면적 | 0.35 |
| | | • 상업개발밀도 : 연상면적/셀 별 면적 | 0.40 |
| 가로 환경 및 도시 설계 (0.4) | <ul style="list-style-type: none"> 도로 및 주차, 보도설계, 그리고 친환경적인 교통수단의 이용 편리성 측정 보행 통행 안전성, 쾌적성, 이동성, 접근성 평가 | • 차량교통(이동성) : 차선수, 속도 | 0.21 |
| | | • 보행접근성 : 격자형 도로망 | 0.23 |
| | | • 교차로(안전성) : 횡단보도, 보행신호 | 0.27 |
| • 보도설계(쾌적성) : 보도폭, 정온화, 주차, 가로수, 화단, 완충시설, 장애물 | 0.29 | | |
| 대중교통 공급수준 (0.3) | <ul style="list-style-type: none"> 공급형태와 운영수준(환승연계) 측정 보행 접근 수단의 대중교통시설 및 결절점에 대한 연계성과 접근 기능 평가 | • 대중교통서비스용량 : 버스 정류장 수와 통과 노선 수 | 1 |

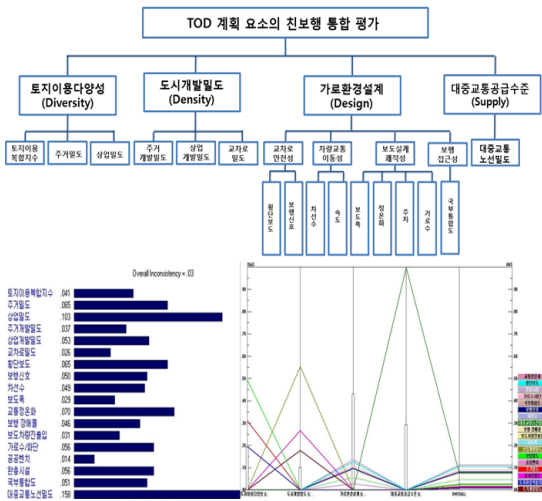


그림 3. AHP분석 : TOD계획요소 대안별 중요도

(1) 토지이용 다양성

일반적으로 TOD 관련 연구에서 역세권 내 국지적 접근성 측정과 토지이용 다양성 정도를 파악하기 위하여 토지이용복합지수(Land-Use Mix, LUM)를 사용한다[3, 4]. LUM의 범위는 0에서 1까지의 값을 가지며, 0에 가까울수록 토지이용이 특정 용도에 집중되었음을, 1에 가까울수록 모든 토지이용이 완벽하게 고루 분포되어 있음을 의미한다.

$$LUM = - \sum_{u=1}^n \frac{p_u \ln(p_u)}{\ln(n)}$$

(단, p_u : 용도 u 별 면적비율, n : 용도개수, u : 용도구분)

또한, LUM은 용도별 토지이용 비율의 혼합만을 제시할 뿐 그 강도를 파악할 수 없으므로 주거와 사업 밀도를 이용하여 주거지와 상업 시설의 분포를 측정한다. 상업 시설의 경우 불특정 다수의 보행자를 대상으로 구매를 위한 목적이나 의도를 통해 보행통행에 높은 영향을 미칠 수 있다.

(2) 도시개발 밀도

도시개발 밀도는 다른 지역과 대비해 해당 지역의

토지이용강도를 상대적으로 비교하는 지표가 되며, 인구와 공공편익시설간의 조화를 도모하는 지표로서 기능을 한다. 개발밀도의 경우 분석 역세권 면적에서 연상면적 비율로 산정하여 개발밀도가 높을수록 고층화에 따른 가구 수와 통행량의 증가를 의미한다. 또한, 교차로 밀도5)를 통해 해당 지역 토지이용강도에 따른 보행 활동 밀집의 정도를 상대적으로 나타낼 수 있다. 즉, 교차로 수 밀도가 높아져 가로의 연결성이 좋을수록 평균 블록 크기는 작으며 보행자를 위한 다양한 경로와 접근성이 향상됨을 평가 할 수 있다.

(3) 가로 환경 및 도시 설계

가로 환경 및 도시 설계는 안전성, 이동성, 쾌적성과 보행 접근성 측면에서 정량화 할 수 있는 변수6)들을 선정하였다. 우선 교차로에 대한 평가는 신호에 의해 방해를 받는 주요 횡단 지점 중심의 시설에 따른 평가 점수를 부여하고, 차량과 사람의 흐름을 고려하여 가로 축(Street segment)에 대해 차량 교통, 보도설계, 보행접근성 지표를 나누어 측정한다. 이를 위해 첫째, 교차로 안전은 횡단보도에서 보행자에게 다가오는 차량 인식, 접근성과 이동성을 주는 교차로 기능을 평가하며, 횡단보도, 보행 신호 등과 같이 차량 속도 감소와 가시성을 좋게 하는 교차로보행 편의 시설을 측정한다. 둘째, 차량 교통 지표는 보행자가 차량에 노출되는 거리와 차량 속도와 차선수를 측정한다. 보도 설계 지표는 보도폭, 정온화, 주차, 가로수 등 통행권과 지역 보행 환경 평가를 위해 중요한 요소이며 올바르게 만들어지고 유지되면 보행자에게 인지적인 쾌적성을 제공하고 안전 보행을 가능하게 한다. 마지막으로 보행 접근성 지표는 보행 축선이 가지는 공간 구조 특성을 공간구문론(Space syntax)의 국부 통합도를 이용하여 가로망 형성패턴(격자형 도로망)에 대한 보행 접근정도7)를 측정한다.

(4) 대중교통 운영 및 공급 수준

대중교통 결절점에서 대중교통 서비스 수준이 높

4) 본 연구에서 다양성 측면의 상업 시설은 보행자들의 움직임에 가장 많은 영향을 미치는 1층 점포로 한정함.
 5) 교차 노드에 3개 이상의 링크와 연결되어 있는 교차로 비율
 6) 주용진[26]의 연구에서 제시한 역세권 보행 환경 측정 지표에 접근성 지표를 추가하여 새로이 재구성함.
 7) 네트워크의 접근성을 정량화하기위해 공간구문론의 대표적인 효과적도인 국부통합도가 제시되고 있음. 즉, 특정 단위 공간까지 접근하기 위한 상대적 깊이를 나타내는 지표로 공간구조상에서 가지는 위계정도, 접근성 정도를 알 수 있음 [24]

을수록 대중교통의 이용이 촉진되고 자동차 이용이 감소되는 효과를 거둘 수 있다. 또한, 보행을 통해 특정 지역으로 이동하기 위해서는 대중교통 수단까지의 접근성이 확보되어야함을 뜻한다. 보행 접근 수단의 대중교통시설 및 결절점에 대한 연계성과 접근 기능을 평가하기 위해 역세권 주변에 대중교통 통과 노선수를 이용하여 대중교통 공급수준을 측정한다.

4. 대중교통지향 친보행 평가지표 적용

4.1 연구 사례 지역 선정

4.1.1 역세권 유형화 연구 분석

평가지표 적용 대상 지역은 기존의 역세권 유형에 관한 문헌고찰을 통해 선정하였다. 성현곤[19]은 지하철역의 요일별 시간별 이용형태를 이용해 서울시 역세권의 유형화를 시도하였고 실제 토지이용현황과 연관성을 분석하였다. 다수의 요인분석을 통해 지하철역을 주거중심, 상업 및 여가중심, 고용중심, 주거 및 고용의 복합적 이용중심, 주거 및 상업·여가의 복합적 이용중심, 고용 및 상업·여가의 복합적 이용중심, 모든 주거 고용 상업 및 여가의 복합적 이용중심으로 유형화하였다. 이연수[23]는 역세권의 공간적 범위를 세력권으로 역세권의 특징에 따른 유형을 분류하고 역세권의 세력권을 세분화하여 설정하였다. 서울시 도시계획관리 현황에서의 용도지역과 지하철 승차차 인원으로 역세권의 유형을 크게 주거위주 상업혼재형, 주거위주 타용도 혼재형, 상업중심형, 준공업중심형, 녹지중심형의 5가지로 유형화하였다.

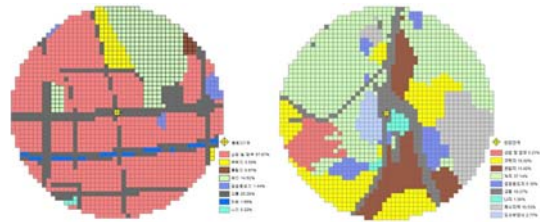
4.1.2 적용 대상 역세권 선정

선행연구를 통해 토지이용 형태를 기반으로 역세권 유형을 구분하고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 TOD 계획 요소들 중 토지이용다양성과 도시개발밀도가 지표로 활용되고 있음을 고려하였을 때 본 연구의 역세권 유형 구분에 활용 가능할 것으로 판단하였다. 선행연구를 바탕으로 토지이용현황도 분석을 통해 역세권 유형을 주거지역, 상업지역, 혼합지역, 녹지지역으로 나누었으며 주거지역의 대표적인 역인 한강진역과 상업지역의 대표적인

역인 종로3가역을 평가지표 적용 대상으로 선정하였다.

4.2 분석 개요

‘친보행 환경’에 역점을 두고 토지이용의 중심성과 보행 접근성 관점에서 TOD 계획 요소별로 선정한 평가 지표를 종로3가역과 한강진역을 대상으로 적용하였다(그림 4).



(가) 종로3가역

(나) 한강진역

그림 4. 연구 지역 : 토지이용 분포

연구 대상지는 중심지 위계와 입지적 특성, 토지이용의 특성⁸⁾을 함께 고려하여 선정하였다. 즉, 종로3가역의 경우 1호선, 3호선, 5호선의 환승역으로 주변에는 상업시설과 종묘, 청계천, 인사동 등 대규모 인구 유발 시설이 많은 곳이다. 반면 한강진역의 경우 6호선 단일 노선의 역이며 주변엔 학교와 주택들이 분포해 있다. 분석에 사용한 데이터로는 토지이용현황도, 건축물대장, 한국교통연구원 레벨2 도로망 데이터, 대중교통 노선데이터, 대중교통 정류소 데이터 등이 있다. 또한, 보행권역과 관련된 선행연구 검토결과 역세권을 중심으로 도보권을 설정하고 있으며, 분석 범위 한정을 위해 평균 600m를 도보권(완충지역 100m포함)으로 설정하였다.

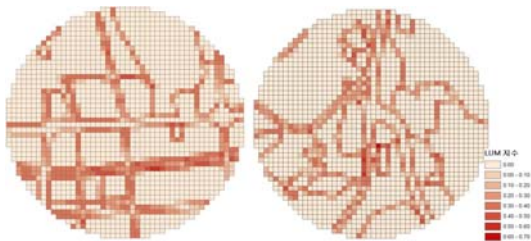
4.3 평가 지표의 적용

4.3.1 토지이용 다양성

토지이용 다양성 측면에서 용도별 토지이용의 혼합 비율을 비교를 위해 종로3가역과 한강진역 반경 600m내의 주거지역밀도와 상업지역밀도, 토지이용복합지수를 분석하였다. 주거지역이 많은 한강진역이 주거지역밀도가 27.44%였고 종로3가역의 경우

8) 2011년 1월부터 9월까지의 종로3가역 이용객 수를 분석한 결과 하루 평균 119,543명으로 전체 지하철역의 이용객 수 12위로 확인됨. 반면 한강진역의 이용객 수는 일평균 8,944명으로 전체 지하철역의 이용객 수 하위권에 속함

3.66%로 매우 낮게 나타났다. 반면 상업지역 밀도의 경우 종로3가역이 58.2% 매우 높은 수치를 나타냈으며 한강진역 주변에서는 16.6%로 나타났다. 토지이용정도를 나타내는 토지이용복합지수(LUM)는 종로 3가역이 0.57, 한강진역이 0.78로 한강진역이 보다 다양한 토지이용을 나타내고 있는 것으로 나타났다. 이 지표들 값을 가중치를 이용해 점수를 종합하면 종로3가역이 0.083 값을 보였으며 한강진역의 경우 0.064 값을 보여 종로3가역이 더 높은 점수를 보였다(그림 5).



(가) 종로3가역 (나)한강진역
그림 5. 토지 이용 다양성 분석 결과

4.3.2 도시개발 밀도

종로3가역과 한강진역의 용적률과 개발밀도를 분석하기위해 용도별 건물에 대해 층수를 고려한 연면적을 구하고 이를 통해 역세권내 주거용도 건물과 상업 및 업무용도 건물의 밀도를 구하였다. 혼합지에 포함된 건물의 경우 30%는 주거 용도와 상업 및 업무용도 건물로 포함하였다.

그 결과 종로3가역의 경우 상업 및 업무용도 건물의 연면적은 1028,875m²으로 밀도는 91%로 나타났다. 반면 주거용도 건물의 연면적은 67,061m²으로

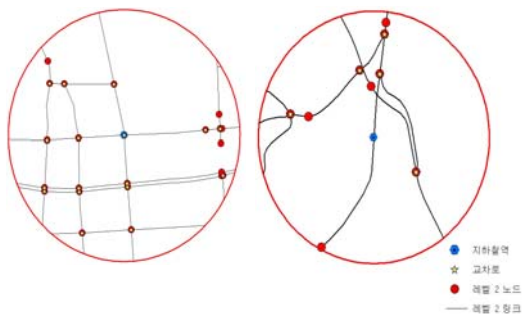
밀도는 약 6%로 매우 낮게 나타났다. 상업 및 업무용도 건물의 연면적은 한강진역의 경우 74,751m²으로 밀도는 6.6%로 나타났다. 반면 주거용도 건물의 연면적은 124,272m²으로 밀도는 11%로 전체적인 밀도는 낮았으나, 상업 및 업무용도 건물보다 주거용도 건물의 밀도가 높은 것으로 나타났다(그림 6). 한강진역 주변 주거용 고층 아파트가 많아 나타난 것으로 판단된다. 또한, 교차로 수는 교차점을 기준으로 연결 교차로 수가 3개 이상인 것을 대상으로 하였으며 종로3가역이 16개로 한강진역의 5개 보다 높은 것으로 나타났다. 주거 및 상업 개발밀도와 교차로 수 밀도 지표 값에 대해 점수화하면 종로3가역이 0.785로 나타났고 한강진역은 0.234로 분석되었다.

4.3.3 가로 환경 및 도시 설계

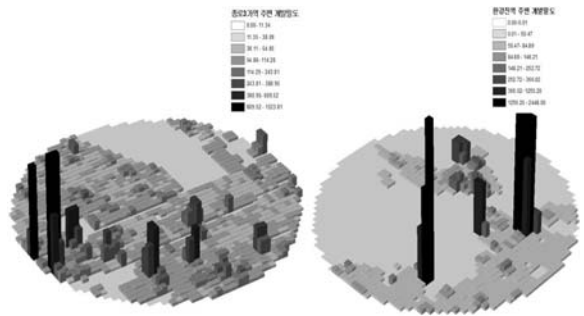
종로3가역과 한강진역 보행권역에 대해 교차로 안전, 차량 교통, 보도설계, 보행접근성에 따른 가로 환경 및 도시설계 지표들을 분석해보았다. 접근성을 나타내는 국부 통합도 값은 종로3가역의 경우 2.71로 나타났고 한강진역은 1.89로 종로3가역이 보행 접근성이 더 좋은 것으로 나타났다. 지표들의 점수를 종합하여 보면 종로3가역은 0.357로, 한강진역은 0.301 값을 보여 종로3가역의 보행 환경이 한강진역 보다 높은 것으로 나타났다. 측정값을 합산하여 구간별 종합 점수를 산정하여 도로 네트워크에 시각화하여 표현할 수 있으며 그 결과는 그림 7과 같다.

4.3.4 대중교통 운영 및 공급 수준

대중교통 요소에서는 버스정류장 수와 버스노선 수를 평가 지표로 선정하였고 종로3가역과 한강진역 역세권을 중심으로 살펴보았다. 종로3가역의 경



(가) 교차로 밀도



(나) 개발 밀도 (주거 / 상업)

그림 6. 도시 개발 밀도 분석 결과

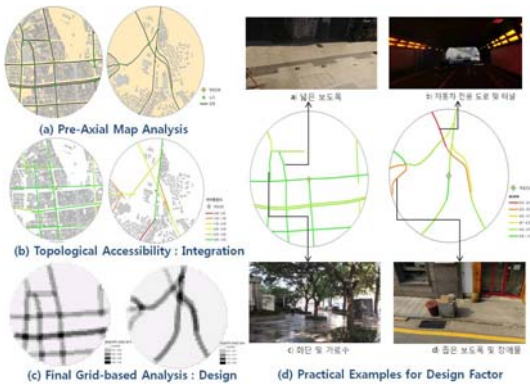


그림 7. 가로 환경 및 도시 설계 분석



그림 8. 대중교통 공급 수준 분석

우 버스정류장 수는 21개이고 한강진역은 9개로 종로3가역 주변에 많은 버스정류장이 분포한다. 통과 버스노선 수의 경우 종로3가역 주변에는 38개로 한강진역의 11개 노선으로 조사되었다. 개별 정류장 노선수에 따라 표준화한 값에 상대적인 가중치를 부여하여 계산된 결과로서, 종로3가역의 경우 0.09로 한강진역의 0.07 보다 높으며 환승 연계를 위한 보다 편리한 공급 수준을 가짐을 알 수 있다(그림 8).

(Low Carbon, Green Growth) 도시가 이슈화 되면서 보행자의 이동권 확보에 대한 효율적인 설계가 정부의 주요 정책과제로 등장하고 있다. 기존 연구들의 경우 TOD 기반 시설에 대한 평가 지표에 관한 정성적측면만이 강조되어 왔다. 이에, 본 연구에서는 TOD 계획 요소들을 토지이용과 접근 특성이 통행 패턴에 미치는 영향성을 정량적으로 고려하는 통합평가 지표를 제시하고자 하였다. 표 2는 TOD 계획 요소들의 지표들마다 산정된 가중치를 이용해 점수화한 후 중요도에 다른 가중치를 합산한 결과이며 종로3가역의 경우 1.315로 한강진역 0.669보다 높게 나타났다. 본 연구에서 제시하고 있는 평가 지

5. 결론

최근 들어 녹색 교통 중심의 저탄소 녹색성장

표 2. 대상 역세권역 별 평가 결과 종합

| 평가 지표 | 평가 항목 | Calculated Score | | Weighted Score | |
|------------------------|---------|------------------|-------|----------------|-------|
| | | 종로3가역 | 한강진역 | 종로3가역 | 한강진역 |
| 토지이용 다양성 | LUM | 0.57 | 0.78 | 0.023 | 0.031 |
| | 주거밀도 | 0.036 | 0.274 | 0.002 | 0.016 |
| | 상업밀도 | 0.582 | 0.166 | 0.058 | 0.017 |
| | Σ | 1.19 | 1.22 | 0.083 | 0.064 |
| 도시개발 밀도 | 교차로밀도 | 14.15 | 4.42 | 0.708 | 0.221 |
| | 주거개발밀도 | 0.06 | 0.11 | 0.004 | 0.008 |
| | 상업개발밀도 | 0.91 | 0.06 | 0.073 | 0.005 |
| | Σ | 15.12 | 4.59 | 0.785 | 0.234 |
| 가로 환경 및 도시 설계 | 차량 이동성 | 0.38 | 0.29 | 0.032 | 0.024 |
| | 보행접근성 | 1.96 | 1.65 | 0.180 | 0.152 |
| | 교차로 안전성 | 0.63 | 0.52 | 0.068 | 0.056 |
| | 보행 쾌적성 | 0.66 | 0.59 | 0.077 | 0.068 |
| | Σ | 3.63 | 3.05 | 0.357 | 0.301 |
| 대중교통공급수준 | 대중교통 | 0.30 | 0.25 | 0.09 | 0.07 |
| Σ total weighted score | | | | 1.315 | 0.669 |

표를 통해 1, 3, 5 호선의 트리플 역세권인 종로3가 역의 보행 환경 특성을 토지이용, 상권 형성, 대중교통 접근성, 보행가로망의 연결성 등 유형별로 정량화하여 평가할 수 있다. 이를 통해 대상 역세권에 대해 업종의 점포들이 상가 등을 형성하여 밀집되어있는 정도와 교통중심지, 업무중심지 등 유동인구를 집중시킬 수 영향력을 정량화된 지수로서 제시할 수 있다. 결론적으로 본 연구의 의의는 개별적인 TOD 계획 요소들의 보행 관련성을 종합하여 통행패턴과의 영향관계를 규명할 수 있었으며, 제시된 보행 환경 평가 지표는 실제 물리적인 보행공간을 기반으로 한 역세권 및 환승센터 등에 적용되어 보행 접근성과 대중교통 편의성 복합토지이용 패턴의 가시화에 평가 도구로 활용될 수 있을 것이다. 향후에는 본 연구를 바탕으로 서울시 전역의 역세권에 대한 분석과 선정된 보행 환경 평가 지표들에 대한 표준 점수화 방법에 대한 심층적인 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Cervero, K. Kockelman, 1997, Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, Design, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3), pp. 199-219.
- [2] B. Jonathan, P. S. Virginia, 2006, "Comparison of Level of Service Methodologies for Pedestrian Sidewalks", TRB Annual Meeting.
- [3] K. Krizek, 2003, "Residential relocation and changes in urban travel: Does neighborhood-scale urban form matter?", Journal of the American Planning Association 69, pp. 265-281.
- [4] D. F. Lawrence, A. A. Martin, L. S. Thomas, 2004, "Obesity Relationship with Community Design, Physical Activity, and Time Spent in Cars", American Journal of Preventive Medicine, Volume 27(2), pp. 87-96.
- [5] D. F. Lawrence, O. E. Peter, L. S. Thomas, 2003, "The impact of the built environment on physical activity", Health and Community Design, pp. 253.
- [6] J. D. Mitch, E. Winkler, S. Takemi, E. Cerin, L. D. Toit, E. Leslie, N. Owen, 2010, "Relationships of land use mix with walking for transport : Do land uses and Geographical scale matter?", Journal of Urban Health : Bulletin of the New York Academy of Medicine, 87, No.5, pp.82-95.
- [7] D. A. Rodríguez, A. J. Khattak, K. R. Evenson, 2006, "Can New Urbanism Encourage Physical Activity?: Comparing a New Urbanist Neighborhood with Conventional Suburbs", Journal of the American Planning Association, Volume 72, Issue 1, pp. 43-54.
- [8] M. Thambiah, T. Adachi, T. Hagiwara, S. Kagaya, S. Kawamura, 2004, "Method to Determine Overall Level-of-Service of Pedestrian on Sidewalks and Crosswalks based on Total Utility Value", TRB Annual Meeting, pp. 4-24.
- [9] 김경환, 박상훈, 김대현, 2006, "퍼지근사추론을 이용한 보행 서비스수준 산정", 대한토목학회논문집, 제26권, 제2D호, pp.241-250.
- [10] 김성희, 이창무, 안건혁, 2001, "대중교통으로의 보행거리가 통행수단선택에 미치는 영향", 대한국토도시계획학회지, 제36권, 제7호, pp.297-307.
- [11] 김영욱, 신행우, 2007, "토지이용에 따른 보행특성에 관한 연구-Space Syntax를 활용한 보행네트워크 분석과 보행량의 상호관련성을 중심으로", 한국도시계획학회지, 제8권, 제3호, pp. 83-94.
- [12] 김용석, 최재성, 2006, "보행자와 자동차를 동시에 고려한 도시 가로의 균형적 계획 및 설계에 관한 연구", 대한교통학회지, 제24호, 제6호, pp.55-64.
- [13] 김진, 이민석, 2010, "지하철 이용수요와 역세권도시구조특성과의 관계분석연구", 대한건축학회논문집, 제26권, 제10호, pp.305-312.
- [14] 류인곤, 최기주, 2011, "TOD 구현을 위한 철도위계별 역세권 토지이용밀도 분석 (수도권 광역급행철도 역사를 중심으로)", 도시정책연구 제2권, 제1호, pp. 5-16.
- [15] 박세훈, 손동욱, 이진희, 2009, "대중교통중심형 도시로의 개편을 위한 역세권 도시공간구조 분석", 대한토목학회논문집, pp.111-120.
- [16] 박지형, 노정현, 성현곤, 2008, "구조방정식모형을 활용한 TOD 계획요소의 대중교통 이용효과 분석 -서울시 역세권을 중심으로", 대한국토도시계획학회지, 제43권, 제5호, pp.135-151.

- [17] 박지형, 성현근, 2008, “서울시 역세권 대중교통 이용수요에 미치는 TOD 계획요소별 영향분석-토지이용 및 대중교통 공급 특성을 중심으로”, 교통연구, 제15권, 제2호, pp. 27-42.
- [18] 서민호, 2011, 대중교통을 활용한 저탄소, 녹색도시 구현전략, 국토정책 Brief, 제324호, pp. 1-8.
- [19] 성현근, 김태현, 2005, “서울시 역세권의 유형화에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제23권, 제8호, pp.19-29.
- [20] 성현근, 박지형, 김동준, 2007, “대중교통지향형 도시개발의 효과분석 및 유도기법 적용방안”, 한국교통연구원, 연구총서 2007-3.
- [21] 이경환, 안건혁, 2008, “지역 주민의 보행 활동에 영향을 미치는 근린 환경 특성에 관한 실증 분석-서울시 12개 행정동을 대상으로-”, 대한건축학회 논문집, 제24권, 제6호, pp.293-302.
- [22] 이수일, 이승재, 손혁준, 김태호, 2010, “역세권 보행자 만족지수(PSI) 개발에 관한 연구”, 서울도시연구, 제11권, 제4호, pp.51-66.
- [23] 이연수, 추상호, 강준모, 2011, “서울시 지하철 역세권의 공간적 범위 설정과 특성분석”, 대한국토·도시계획학회지, 제46권, 제7호, pp.57-72.
- [24] 주용진, 2011, “토지이용-교통 통합적 분석을 통한 도로 기반 도시 형태학적 변화에 관한 연구”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제3호, pp.63-72.
- [25] 주용진, 2011, “도시 철도 개통에 따른 대중교통이용 편익측정을 위한 대안적 평가모델 : 지하철 9호선을 사례로”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제4호, pp.11-20.
- [26] 주용진, 이수일, 김태호, 2011, “계층분석법을 이용한 웹 기반 GIS 보행 환경 측정 시스템 개발”, 한국지형공간정보학회지, 제19권, 제1호, pp. 3-11
- [27] 주용진, 이수일, 하은지, 전철민, 2010, “그린스코어 : 지속가능 친보행 환경을 위한 측정 모형 개발”, 한국공간정보학회 추계학술대회 논문집, pp.147-148.
- [28] 황기연, 신상영, 강준모, 2006, “교통혼잡을 고려한 서울 도심부 개발가능밀도 추정”, 대한토목학회논문집, 제26권, 제1D호, pp. 49-58.



주 용 진

2001년 인하대학교 지리정보 공학사
2003년 인하대학교 지리정보 공학석사
2004년 한국교통연구원 연구원
2009년 인하대학교 지리정보 공학박사
2009년~2012년 서울시립대 연구교수
2012년~현재 인하공업전문대학 항공지리정보과 조교수
관심분야는 LBS, 공간 DBMS, 공간추론 및 온톨로지



하 은 지

2010년 경기대학교 도시·교통공학공학사
2010년 서울시립대학교 도시과학연구원
2010년~현재 서울시립대학교 공간정보공학 석사과정
관심분야는 GIS, 공간 데이터베이스, 교통



전 철 민

1988년 서울대학교 도시공학 공학사
1990년 서울대학교 도시공학 공학석사
1997년 Texas A&M University 도시 및 지역계획학 박사
1997년~1999년 North Carolina RTI GIS 전문요원
1999년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수
2008년~2010년 서울시립대학교 공간정보연구센터 센터장
관심분야는 GIS, 공간 데이터베이스, 3차원 모델, Network Algorithm