

‘보행율’ 개념을 이용한 TOD 효과 평가

이상현, 방림*
명지대학교 건축대학 건축학부

An Evaluation of TOD Effect with the Concept of 'Pedestrian Traffic Ratio'

Sang-Hyun Lee, Lin Fang*

Division of Architecture, College of Architecture, Myongji University

요약 최근 TOD에 대한 지속적인 효과를 기대하고 실제 도시계획 및 설계에 적용되고 있다. 그러나 그것의 효과를 정량적으로 평가할 방법에 대한 연구는 미미한 실정이다. 그래서 본 연구의 목적은 TOD의 차량 통행 감소 효과를 도시계획 단계에서 토지이용계획도를 기반으로 정량적으로 평가하는 방법을 제안하는 것이다. 이를 위해서 토지이용계획도에 포함된 정보를 네트워크로 변환하는 방법과 네트워크를 기반으로 이동발생량을 추정하는 방법을 제안한다. 첫 번째 단계에서는 토지이용계획도의 도로망을 링크로, 도로의 교차점을 노드로 변환한다. 토지이용계획도에 포함된 구역의 면적과 구역별 높이는 인접 노드에 가중치로 변환된다. 두 번째 단계에서는 네트워크상의 노드 간에 가중치에 비례한 빈도로 이동이 발생하는 것을 가정하여 이동발생량을 보행과 차량으로 구분하여 추정한다. 그다음 TOD를 본격적으로 적용하지 않은 도시를 대상으로 현재 도시와 TOD를 적용하여 재설계한 도시를 비교하여 TOD의 효과를 분석한다. 본 연구에서는 이와 같은 방법을 1997년 계획 당시 분당과 TOD를 적용하여 재설계한 가상 대안에 적용한 결과, 39.94% 정도의 차량 통행 감소 효과가 발생함을 확인하였다. 또한, TOD를 적용한 대안의 보행율이 2.39%로 현황보다 증가하고 있음을 알 수 있다.

Abstract Recently, there is a great expectation for the sustainable effect of TOD and apply it to urban planning and design. However, there are few research on the quantitative evaluation method of the effect. The purpose of this study is to propose a quantitative way to assess the effectiveness of TOD(Transit Oriented Development)'s vehicle traffic reduction in the urban planning phase, based on the land-use plan. Firstly, it proposes a method to convert the information contained in the land-use plan into a network and secondly a method to estimate the travel distance based on the network. In the first phase, the roads in the land-use plan are converted into links and the intersection of the roads into nodes. The area and the height of the zones included in the land-use plan are converted into the weights on adjacent nodes. The second phase assumes the frequency at which travel occurs between nodes on the network is relative to the weights and estimates the travel distance by dividing it into a pedestrian and a vehicle. Then, taking the city without TOD as the object, through comparison present city and alternatively redesigned city to the analysis of TOD effect. In this study, the application of these methods to Bundang as of 1997 and alternatively redesigned Bundang showed that about 39.94 percent of the vehicle traffic reduction effects occurred. Furthermore, the pedestrian traffic ratio of alternatively redesigned Bundang increased to 2.39%.

Keywords : TOD, network, land use plan, vehicle traffic, pedestrian traffic

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(NRF-2016R1D1A1A09918332)

*Corresponding Author : Lin Fang(Myongji Univ.)

Tel: +82-10-9938-2019 email: fanglin2019@gmail.com

Received October 15, 2018

Revised (1st November 9, 2018, 2nd November 19, 2018, 3rd November 28, 2018)

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도시계획 및 설계 분야에서 대중교통지향개발(TOD; Transit Oriented Development, 이하 TOD) 개념이 적극적으로 도입되고 있다. TOD는 과거 개인 교통 기반의 도시와 달리 대중교통을 기반으로 하는 도시 공간 구조를 지향한다. 기존의 개인 교통 기반 도시는 개별 도시 내에서도 상업 용도가 주를 이루는 도시중심시설과 주거 용도가 주를 이루는 주거지역이 수평적으로 산재되는 경향을 보인다. 그뿐만 아니라 개별 도시 간의 관계에서도 개인 교통을 이용하여 접근하는 양상을 보인다. 이로써 개인 교통 기반 도시는 도시 내외에서의 개인 차량 이동량을 극대화하는 경향을 보였다.

반면 TOD는 개별 도시 간 이동에 대중교통을 도입한다. 또한 개별 도시 내부에서는 중심 업무 지역(CBD; Central Business District)에 대중교통의 결절점을 배치하는 한편 도시 중심에 가까운 곳일수록 고밀도로 개발하여 대중교통 결절점에 대한 보행접근성을 제고하여 개별 도시 내에서 발생하는 차량 교통량을 최소화 한다. TOD는 이와 같은 계획 결과물이 살만한 곳(livable place)이 되게 하기 위하여 도심 중심부에 보행광장을 제공하고, 보행 광장에서 공원과 같은 휴식공간으로의 접근을 원활하게 하며, 자전거 주차장과 같은 시설을 배치하여 대중교통 이용의 편의를 제고하고 있다.

TOD에서는 위와 같은 다양한 시도들이 일어나고 있지만 중심이 되는 개념은 자동차 통행 발생량을 최소화 하는 것이다. 자동차 통행 최소화는 에너지 사용량을 감소시키고 동시에 화석 연료 사용에 따른 환경오염을 최소화하는 효과를 가져온다. 이런 이유로 인하여 TOD는 지속적인 확산 추세에 있다고 볼 수 있다.

TOD는 이와 같은 명백한 효과를 기대하고 실제 도시 계획 및 설계에 적용되고 있지만 그것의 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 방법에 대한 연구는 미미한 실정이다. 경험적으로 볼 때 도시 중심부를 고밀도로 하고 외곽으로 나갈수록 저밀도로 함으로써 보행 통행량을 늘리고 자동차 통행량을 줄일 수 있다는 것은 당연하다고 할 수 있다. 그러나 그러한 방법, 즉 TOD를 도입함으로써 얼마나 많이 자동차 통행을 줄일 수 있는지를 평가할 수 있는 주목할 만한 방법은 눈에 띄지 않는다.

본 연구는 이 점에 착안하여 TOD의 효과를 정량적으

로 평가할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 내용

본 연구에서는 동일한 도로체계를 가지는 두 도시 개발 계획, 즉 TOD에 기반한 개발 계획과 TOD에 기반하지 않은 개발 계획을 비교하는 방법을 사용한다. 좀 더 구체적으로 말하자면, 두 종류의 개발 계획 결과물에서 발생 가능한 통행량을 정량적으로 추정하여 비교하는 방법이다. 이러한 방법을 적용하기 위해서는 다음과 같은 세부적인 연구 내용과 방법이 적용된다.

1) 네트워크를 이용한 도시 개발 계획의 추상화

도시 개발 계획을 표현하는 일반적인 방법인 토지이용계획도를 네트워크를 이용하여 추상화한다. 토지 이용 계획도에 표현되는 도로는 네트워크의 링크로 표현된다. 도로 간의 교차점은 노드로 표현되고 이는 토지 이용 계획도의 구역을 표현하게 된다.

2) 가중치를 부여한 네트워크 개발

공간구문론과 같은 일반적인 네트워크에서는 노드의 특성이 고려되지 않는다. 그러나 본 연구에서는 노드에 일정한 특성, 즉 밀도를 표현할 수 있는 가중치를 부여한다[1]. 토지이용계획도에서 구역으로 표현되는 개발면적과 높이(혹은 용적률)로 표현되는 개발 밀도, 예를 들어 중심상업지역과 근린 상업지역의 구분, 또는 고층 아파트 지역과 저층 연립주택 지역과 같은 밀도 차이는 노드의 가중치로 변환되어 표현된다.

3) 네트워크를 이용한 발생 통행량 계산

본 연구에서는 공간구문론에서 전체하는 것과 마찬가지로 네트워크 내 모든 노드 간에 이동이 발생한다고 가정한다. 이러한 가정 하에 대상 네트워크에서 발생하는 두 개의 노드 간의 이동의 거리를 계산하고 이를 총 합함으로써 네트워크 내 총 통행량을 추정할 수 있다. 그러나 이러한 추정은 밀도를 반영하지 못한다. 따라서 노드에 부여된 가중치를 이용하여 노드 간에 발생하는 통행의 빈도를 다르게 함으로써 밀도 차를 반영할 수 있도록 한다.

또한 두 개의 노드 간에 발생하는 통행에서 일정거리 이내, 예를 들어 800m 이내는 보행으로 접근하는 거리로 보아 총 통행량을 보행과 자동차로 구분하여 계산한

다. 이런 방법을 통해서 네트워크 내에서 발생하는 총 통행량에서 보행통행량을 제외하고 순수하게 차량에 의한 통행량을 추정할 수 있게 된다. 다시 말해서 발생 총 통행량 중에서 보행으로 이루어지는 비율, 즉 ‘보행율’을 고려함으로써 순수한 자동차 통행량을 추정할 수 있게 된다.

4) TOD 적용 계획과 TOD 비적용 계획의 총 통행량 비교

현재 분당(TOD가 적극적으로 적용되지 않은 계획)과 TOD로 재설계한 분당을 비교하여 양자 간의 자동차 통행 발생량을 비교함으로써 TOD의 효과를 평가한다.

2. 연구의 고찰 및 문제 틀의 설정

2.1 기존 연구 검토

본 연구의 목적이 TOD의 차량통행 발생 저감 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 개발하는 것임을 고려할 때, 본 연구와 관련한 배경적 연구는 TOD관련 연구이며, 유사한 기존 연구는 TOD의 자동차 통행 발생량 저감효과에 연구라 할 수 있다. 또한 좀 더 확장된 시각에서 보자면 특정한 도시 개발 방법이 차량통행 발생에 미치는 영향에 관한 연구들 또한 유사 연구에 해당한다고 볼 수 있다. 이런 부류의 유사 연구로는 압축도시(Compact City)에 관한 연구들이 다 수 존재한다. 이하에서는 기존 연구를 이와 같은 세 부류로 대별하여 검토한다.

1) TOD 관련 기존 연구

TOD 관련 연구는 TOD의 역사에 관한 연구, TOD의 일반적 효과에 대한 연구, TOD의 국내 도시 적용 가능성에 대한 연구, TOD와 토지이용 간의 연관성에 관한 연구, TOD 적용 설계 방법론에 관한 연구 등으로 나누어 볼 수 있다. TOD의 역사 및 일반적 효과에 대한 개괄적 연구로 주목할 만한 것은 Lee et al.(2013)의 연구가 있다[2]. 국내 도시 적용 가능성에 대한 연구로 특기할 만한 것으로는 Lee et al.(2006)의 연구가 있다[3]. 한편 TOD와 토지 이용 간의 연관성에 관한 주요 연구로 Kim et al.(2018)의 연구가 있으며[4], TOD적용 설계방법에 관한 연구로 Kim (2016)의 연구가 있다[5].

2) TOD의 자동차 통행 발생량 저감 효과에 관한 연구

대부분의 기존 연구들은 TOD의 자동차 통행 발생량 감소 효과를 당연한 전제로 하면서도 정량적으로 얼마나 많은 정도로 감소 효과가 있는지에 대해서는 초점을 맞추고 있는 연구는 매우 미미하다. 그러나 TOD의 자동차 통행 발생량과 관련성이 있는 연구들을 거론하자면 Sung et al.(2012), Park et al.(2008), Oh et al.(2013) 등이 있다[6-8]. 성현곤의 연구에서는 다중회귀분석을 통해서 TOD가 상당수의(설문 대상자 중 최대 35%에 달하는) 통근자의 통근태에 변화를 가져오고 있음을 보여준다. 박지형의 연구는 구조방정식모형을 활용하여 TOD 계획요소가 대중교통 이용에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 오은열의 연구는 회귀분석을 통하여 TOD 계획요소가 대중교통수요 변화에 영향을 미치고 있음을 보여준다. Kim et al.(2015)의 연구는 역세권 내 종사자 수, 거주인구가 많을수록 대중교통량이 많아짐을 밝힘으로써, TOD의 효과를 입증하고 있다[9].

3) 압축 도시 관련 차량 통행 발생량 감소에 관한 연구

압축도시(Compact City) 도시 관련 연구에서도 차량 교통 발생 감소 효과가 주요한 연구 주제를 구성하고 있다[10-13]. 김승남은 경로분석을 이용하여 압축도시 공간구조의 특성이 교통에너지 소비, 즉 차량 교통 발생량에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 송기욱은 다중회귀분석을 이용하여 압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 서승연은 한국 내 74개 중소도시를 분석 대상으로 다중회귀분석을 실시하여 도시 토지이용 및 도시 형태가 차량 주행거리에 영향을 미치고 있음을 실증적으로 보여준다. 이재영은 보조적 접근성 지표분석(Complementary Accessibility Index)을 통하여 도시의 집중이 에너지 효율성에 영향을 미치고 있음을 보여준다.

2.2 ‘보행율’을 이용한 TOD 효과 평가 연구의 필요성

적지 않은 수의 연구에서 TOD 혹은 압축도시와 같은 특정한 방식의 도시 공간 구조가 차량 교통 발생량에 영향을 미친다는 것을 입증하고 있다. 그러나 기존 연구들은 대부분 회귀분석이나 지표분석의 방법에 의존하고 있

으며, 분석 결과 또한 개발 방법의 효과를 정량적으로 파악할 수 있는 기회를 제공하지 못한다는 한계를 가진다. 또한 현황에 대한 실증적 분석에 그치고 있어서 개발 계획 수립을 위한 도구로 활용될 수 있는 기회 또한 제공하지 못하고 있다. 본 연구는 1) 네트워크 분석이라는 새로운 방법을 도입하고 있으며, 2) 개발 방식의 효과를 정량적으로 평가할 수 있으며, 또한 3) 현재 상황이 아닌 개발 계획을 평가할 수 있는 방법을 제공함으로써 개발 계획 수립을 위한 도구로 활용될 수 있다는 차별성과 의의를 가진다.

2.3 연구의 범위

TOD를 표현할 수 있는 방법은 다양하게 존재할 수 있지만 대표적인 사례는 토지이용계획도라 할 수 있다. 토지이용계획도는 개발 대상 지역을 다 수의 구역(블록)으로 나누고 구역 간을 연결하고 있는 도로망을 표현한다. 또한 구역의 용도 및 밀도를 지정한다.

이러한 토지이용계획도에는 존재하지만 네트워크에는 존재하지 않는 정보로는 구역의 용도가 있다[1]. 앞에서 구역의 용적을 고려하여 가중치를 조절한 것처럼, 구역의 용도를 고려하여 가중치를 조절해 주는 것이 실제 이동 발생 현상에 좀 더 근접하게 다가가는 방법이 될 것이다. 그러나 구역의 용도를 고려한 이동 발생 빈도 고려는 연구의 범위에 포함하지 않는다. 그 이유는 용도에 대한 고려 여부가 두 개의 대안(TOD 적용 계획과 TOD 비적용 계획)에 대해 동일하게 적용되고 있기에, 용도 고려 여부가 비교의 효과에 차이를 만들지는 않기 때문이다. 즉 두 개의 대안에서 구역의 용도를 고려한 이동 발생 빈도가 같은 데이터를 적용하여 총 통행량결과에 영향을 미치지 않는다.

3. 통행량 산출이 가능한 TOD 표현 방법 개발

TOD를 표현 방법 중에서 토지이용계획도는 향후 구체적인 도시설계를 진행할 수 있는 기초적인 의도를 전달하는데 효과적이라 할 수 있다.

그러나 TOD가 지향하고 있는 자동차 통행량 감소 효과를 측정하기 위한 도구로 사용하기에는 부적합하다. 따라서 특별하게 새로운 TOD 표현 방법, 즉 자동차 통

행 발생량을 계산해 낼 수 있는 표현 방법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 토지이용계획도에서 제공하고 있는 정보, 즉 대상 지역 내 다 수 구역(블록)의 위치와 연결 관계, 용도 및 밀도에 관한 정보를 제공할 수 있으며 동시에 이동량 추정을 가능하게 할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 아래와 같은 과정을 거쳐 통행량 산출이 가능한 TOD 표현 방법을 도출한다.

3.1 가중치 적용 네트워크

도시를 구축하는 방법을 제시하는 표현법은 다양하다. 이때 의도하는 도시를 있는 그대로의 전체를 포괄적으로 표현할 수 있는 방법은 그 도시 자체를 보여주는 것 이외에는 가능하지 않다. 모든 표현법은 어느 정도의 정보 변환 및 축소가 불가피하다. 도시의 모든 것을 드러내 보여주는 것이 아니라 특정 사안과 관련된 필요한 정보만을 드러내 보여주는 방식을 채택하게 된다는 의미이다. 흔히 말하는 약도라는 것이 대표적인 사례가 된다. 도시에서 길 찾기를 위한 도구로 흔히 사용되는 약도에서는 단선으로 사용되는 도로와 몇 개의 랜드마크 그리고 목적지가 매우 추상적으로 표현된다. 길 찾기에 필요한 정보만 남기고 여타 정보들은 삭제해서 표현을 간소화하여 전체 정보량을 축소하는 것이다. 약도를 살펴보면 도시에 대한 전체 정보 중의 일부가 삭제되어 전체적인 정보량에서 축소가 발생하는 것 이외에 또 하나 주목할 만한 사항이 있다. 정보의 일부가 변환된다는 점이다. 폭을 가지는 도로가 단선으로 변환되어 표시된다는 점이다. 랜드마크나 목적지 또한 그들의 생김새보다는 위치를 중심으로 정보가 변환된다. 이와 같은 정보의 축소와 변환이 도시를 추상화할 때 나타나는 일반적인 현상이다.

도시를 추상화하기 위한 방법으로 다양한 방법들, 약도나 지도 혹은 조감도와 같은 것들이 있지만 도시 분석에서 가장 유효하게 사용되는 것들 중 하나로 네트워크를 꼽을 수 있다. 도시를 추상화해서 표현할 때 전달해야 할 내용으로 가장 기본적인 것은 영역과 영역의 연결 관계라고 할 것이다. 약도에서 간략하게 표시되는 랜드마크와 목적지는 영역을 표현하는 것이고 단선으로 표현되는 길은 영역 간의 연결 관계를 표현하는 것이다.

1) 이동비용을 고려한 네트워크

네트워크는 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 노드와 링크

로 구성된다. 노드는 구역을 표현하는 것이고 링크는 구역 간의 연결 관계를 표현한다. 이러한 네트워크를 이용하여 TOD의 효과를 평가할 때 우리의 주 관심사가 되는 도시 내 이동을 추적할 수 있게 된다. 도시 내에서 발생하는 모든 이동은 특정 노드로부터 또 다른 특정 노드와의 연결 관계로 표현될 수 있기 때문이다. 이때 링크에 거리(이동비용) 정보가 담겨져 있다면, 즉 네트워크에서 노드의 상대적 위치 정보가 실제 위치 정보를 유지하고 있고, 그러한 상대적 위치 관계에 있는 노드 간의 거리 정보가 일정한 비율로 링크에 보유되어 있다면 특정 노드에서 또 다른 특정 노드로의 이동 거리를 계산할 수 있게 된다.

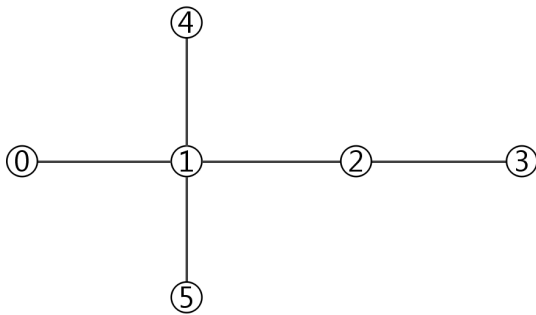


Fig. 1. Network representing Urban Spatial Structure

이와 같은 방식으로 토지이용계획도가 전달하는 정보들 중에서 개별 구역의 위치와 절대적(실제 거리가 반영되는) 연결 관계를 네트워크를 이용해서 표현할 수 있게 된다.

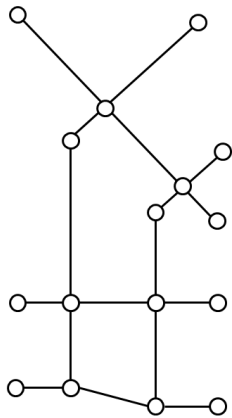


Fig. 2. Land Use Plan and Network

2) 이동비용 및 노드의 용적을 고려한 네트워크

Fig. 2의 우측과 같은 네트워크가 결여하고 있는 정보, 즉 Fig. 2의 좌측과 같은 토지이용계획도에는 있는데 네트워크에는 없는 정보는 구역의 면적과 구역의 높이(용적률)이다. 구역의 면적과 높이가 고려되어야 하는 이유는 면적과 높이에 의해서 결정되는 체적의 양은 그 지점을 이용하는 이용자의 수와 비례 관계를 형성하기 때문이다. 토지이용계획도에는 구역의 면적과 높이(용적률)가 표현되지만 네트워크에서는 노드라는 점과 같은 형식으로 위치만 표시된다. 따라서 토지이용계획도를 네트워크로 표현하여 TOD 효과 평가에 사용하고자 한다면 구역의 면적과 높이(용적률)에 관한 정보가 네트워크에 추가되어야 한다.

① 노드에 부여되는 면적의 산출

우선 구역의 면적을 표현하기 위해서는 도로의 교차점, 즉 링크의 교차점에 노드를 배치하고, 각각의 노드에 인접 구역의 면적을 배분하여 특정한 수치로 표현해 줄 필요가 있다. Fig. 3의 A 구역의 경우처럼 4개의 노드로 둘러싸인 구역이 있을 때 각각의 노드에는 내부 구역을 사분한 수치가 가중치로 배정되어야 한다. 또한 Fig. 3의 B 구역과 같이 6개의 노드로 둘러싸인 구역이 있을 때 각각의 노드에는 내부 구역을 육분한 수치가 가중치로 배정된다. 이를 일반화시켜 말하자면 n 개의 노드로 둘러싸인 구역이 있을 때 각각의 노드에는 내부 구역의 면적을 n으로 나눈 수치가 가중치로 배정된다.

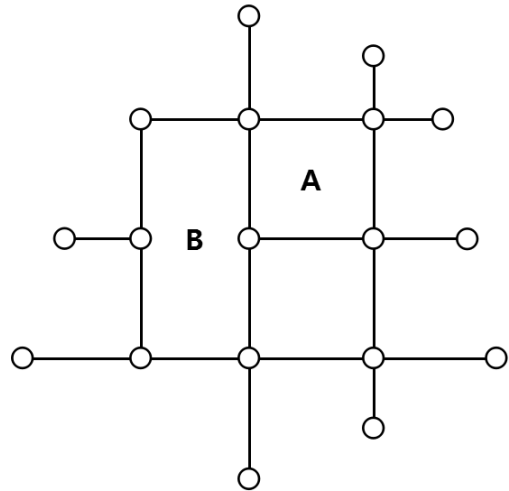


Fig. 3. Distribution of the Occupied Area of Each Node

② 노드에 부여되는 높이의 산출

네트워크로 추상화할 때 구역의 면적이 고려되어야 함은 물론이고 또한 구역의 높이(용적률)가 표현되어야 한다. 토지이용계획도에서는 건물의 높이 혹은 용적률이 직접적으로 표현될 수 있다. 때로는 분당 토지이용계획도에서 볼 수 있듯이 아파트 단지 혹은 연립 주택 단지 와 같은 모호한 표현을 사용하기도 한다. 하지만 여기서도 여전히 높이 개념이 적용되고 있는 것은 분명하다. 구역의 높이는 구역을 표현하는 노드에 표현되어야 하는데, 높이를 반영하는 수치를 노드에 고려함으로써 가능해진다.

특정 노드에 부여되는 높이 값은 노드를 둘러싸고 있는 구역들의 높이의 가중평균값을 사용한다. Fig. 4에서 빨간 점으로 표시되고 있는 노드의 높이는 (area1의 높이 * area1의 면적 + area2의 높이 * area2의 면적 + area3의 높이 * area3의 면적) / (area1의 면적 + area2의 면적 + area3의 면적) 이 된다. 이를 일반화하여 말하자면 특정 노드가 n개의 서로 다른 높이 구역 사이에 존재할 경우라면 (구역1의 높이 * 구역1의 면적 + ... + 구역n의 높이 * 구역n의 면적) / (구역1의 면적 + ... 구역n의 면적) 이 적용된다.

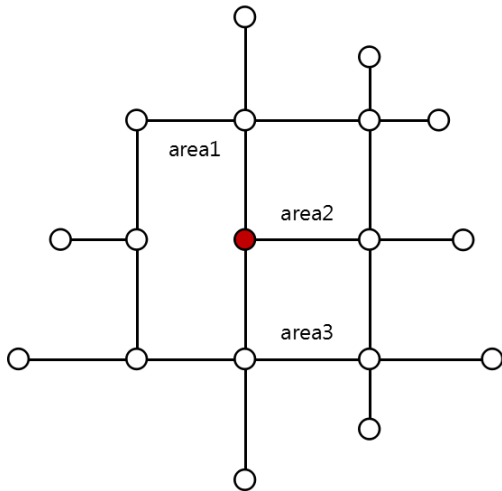


Fig. 4. Application of the Average Weighted Height to Each Node

③ 가중치 설정

Fig. 4에서 빨간 점으로 표시되는 노드의 가중치는 면적 * 가중평균높이가 되는데, 면적은 (area1의 면적 + area2의 면적 + area3의 면적)이고 가중평균높이는

(area1의 높이 * area1의 면적 + area2의 높이 * area2의 면적 + area3의 높이 * area3의 면적) / (area1의 면적 + area2의 면적 + area3의 면적)이다.

④ 가중치의 역할과 활용

가중치는 통행 발생량을 조절하는 수단으로 사용된다. 어느 한 노드의 가중치가 다른 하나의 노드의 가중치의 2배라는 것은 그 노드의 거주 용적이 2배라는 것을 의미한다. 이는 곧 2배의 거주자가 거주할 수 있다는 것을 의미하며 결과적으로 2배 빈도의 통행이 발생할 수 있다는 것을 의미하게 된다. 모든 이동에는 출발지와 목적지가 존재한다. 노드의 가중치는 출발지뿐만 아니라 목적지에도 적용된다. 목적지 노드에서 출발지 노드와 동일한 규칙이 적용된다. 즉 목적지 노드의 가중치가 2배라는 것은 그 노드의 거주 용적이 2배라는 것을 의미한다. 이는 곧 2배의 거주자가 거주할 수 있다는 것을 의미하며 결과적으로 2배 빈도의 통행이 발생할 수 있다는 것을 의미하게 된다. 출발지 노드의 가중치가 2배이고, 목적지 노드의 가중치가 2배라면 이들 간의 이동량은 출발지가 1배이고 목적지가 1배인 관계에 비해 4배(2배 * 2배)의 통행량이 발생한다.

따라서 가중치는 다음과 같이 사용된다. 특정 노드에서 또 다른 특정 노드로 이동이 발생하였고, 그것의 이동 거리가 산출되었다면, 그 값에 출발지 가중치 값과 목적지 가중치 값을 곱해서 최종적인 이동거리를 산출하게 된다.

3.2 '보행율' 개념

TOD의 핵심 목표는 계획 대상 지역 내 차량 통행을 감소시키는 일이다. 핵심 목표의 적절한 달성여부를 알기 위해서는 계획 대상 지역 내 차량 통행 발생량을 추정 계산할 수 있어야 한다. 네트워크를 이용하여 노드간의 이동을 기반으로 한 통행량 계산 시에는 보행통행과 차량통행이 동시에 포함된다. 이런 상황에서 TOD의 핵심목표인 차량 통행만을 파악하기 위해서는 전체 통행량에서 보행통행량을 제외해야할 필요가 생긴다.

하나의 네트워크에서 발생하는 전체 통행량 중에서 보행통행이 차지하는 비율을 '보행율'이라고 부를 수 있을 것이다. 이러한 '보행율'이 높다는 것은 차량통행이 상대적으로 낮다는 것을 의미하게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 '보행율' 개념을 이용하여 전체 통행량 중에

서 차량 통행량을 산출하고 이를 기반으로 TOD의 효과를 평가한다.

‘보행율’ 계산은 다음과 같은 방식으로 가능하다. 특정 네트워크에서 모든 개별 노드는 자기 자신을 제외한 모든 다른 노드로 이동이 발생한다고 가정한다. 이때 모든 이동을 보행이 가능한 기준 거리 이하와 이상으로 구분한다. 즉 보행 기준 거리를 800m라 전제한다면 특정 노드에서 또 다른 노드까지의 이동거리가 800m 이상인 경우는 차량 통행으로 간주하고, 그 이하인 경우는 보행 통행으로 간주한다. 보행 통행 거리와 차량 통행 거리의 합은 특정 노드에서 발생하는 총이동거리가 된다. 개별 노드별로 산출되는 보행 통행 거리, 차량 통행 거리 그리고 총이동거리를 각각 합산하면 전체 네트워크에서의 보행 통행 거리, 차량 통행 거리 그리고 총이동거리가 산출된다. 이때 보행 통행 이동거리를 총이동거리로 나눈 것이 ‘보행율’이 된다.

3.3 ‘보행율’을 적용한 네트워크 내 이동량 추정

위와 같이 특정 네트워크를 대상으로 ‘보행율’ 개념을 적용하여 순수한 차량 통행 이동거리를 산출할 수 있으며, 이 거리를 이용하여 TOD의 효과를 정량적으로 평가할 수 있다. 이때 주목할 점은 동일 대상지를 대상으로 한 다른 계획안의 비교라면 순수 차량 총 이동거리를 비교함으로써 차량 통행을 최소화한다는 TOD의 목표 효과를 평가할 수 있다는 것이다. 그러나 다른 지역, 즉 다른 네트워크를 대상으로 각각의 계획안을 비교한다면 순수 차량 총 이동거리를 비교하는 것은 무의미해진다. 대상 지역의 면적에 따라 달라질 것이기 때문이다. 이 경우라면 TOD의 효과는 ‘보행율’을 비교하여 평가하는 것이 효과적일 수 있을 것이다.

3.4 ‘보행율’을 적용한 네트워크 내 이동량 추정 예시

Fig. 5와 같은 네트워크에서 보행 기준거리 800m를 적용하여 이동거리를 분석한 결과는 Table 1과 같이 된다. 간략하게 요약하자면 네트워크 내의 모든 노드 간에 이동이 발생하며, 이러한 이동에 따른 이동거리에 노드별 가중치를 곱해줌으로써 노드별 이동거리를 산출한다. 노드별 이동거리를 총합함으로써 특정 네트워크의 전체 총이동거리를 산출할 수 있다. Table 1은 가중치를 달리 했을 때 이동거리에 변화가 발생함을 보여준다. 가중치

1을 적용한 결과 총 차량 통행 거리는 20,200m이고, 가중치 2를 적용할 경우 총 차량 통행 거리는 37,400m이 된다.

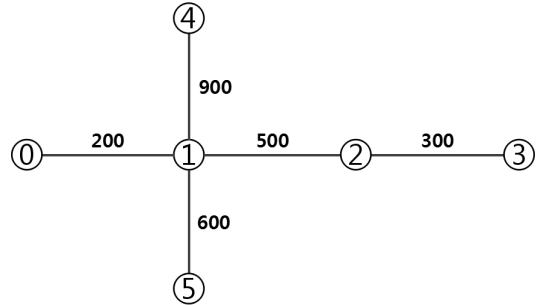


Fig. 5. A Network Composed of 6 Nodes with Travel Distance

Table 1. Travel Distance at Each Node

node	0	1	2	3	4	5
weight factor1	1	1	1	1	1	1
total travel distance	3800	3000	4000	5200	6600	5400
pedestrian travel distance	1700	2100	1500	1100	0	1400
vehicle travel distance	2100	900	2500	4100	6600	4000
weight factor2	1	5	3	1	1	1
total travel distance	6000	20000	18000	9000	13000	10000
pedestrian travel distance	3900	15500	10500	4900	0	3800
vehicle travel distance	2100	4500	7500	4100	13000	6200

4. 분당구를 대상으로 한 TOD 효과의 정량적 비교

4.1 분당 현황과 대안 작성

분당구를 대상으로 TOD를 본격적으로 적용하지 않은 분당과 TOD를 적용하여 재설계한 분당을 비교하여 TOD의 효과를 분석한다. TOD를 본격적으로 적용하지 않은 분당을 위해서는 최종 개발 계획으로 확정된 토지

이용계획도를 이용한다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 1997년에 확정된 분당의 최종 토지이용계획도를 기반으로 도로망과 수평적 블록 분할을 동일하게 유지하고, 구역(블럭)별로 용적률을 차등 적용하여 높이를 산출하였다[14]. Fig. 7과 같은 토지이용계획도에 용적률을 적용한 결과는 Fig. 8과 같다.

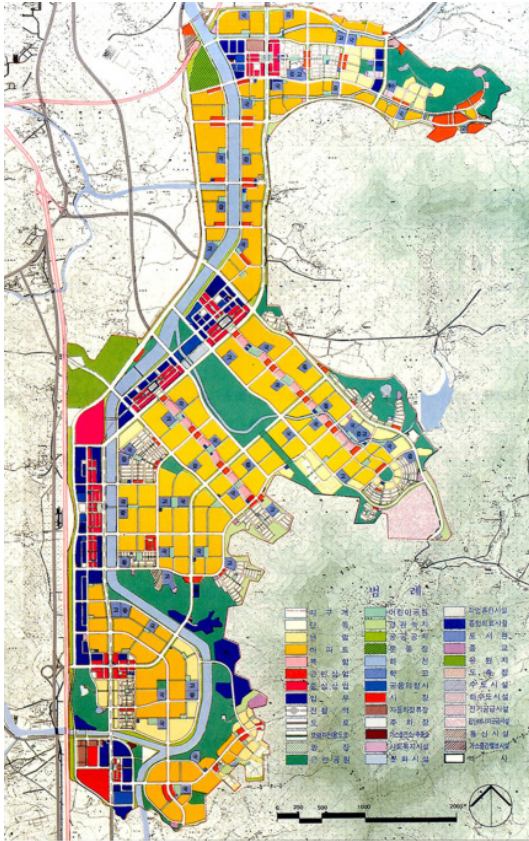


Fig. 6. Land use plan of Bundang (1997)

본 연구에서 TOD 효과의 실증적 비교 대상 지역으로 분당을 선정하고 있지만, 분당이 특수한 사례이어서 선정된 것은 아니다. TOD가 적용되지 않은 도시라면 TOD 적용 후 양자를 비교할 수 있을 것이며, TOD가 이미 적용된 도시라 하더라도 특정 지역의 집중도를 높여, 다시 말해서 밀도를 높여서 재설계한 후 효과를 비교할 수 있을 것이다.

현재 분당은 전체 토지이용계획 구역 중 아주 일부만 단독주택지로 설정되어 낮은 높이를 보이고 있으며, 또한 관련 아주 일부의 업무지역만이 별도로 고층이 허용되고

있을 뿐 거의 모든 지역에 유사한 높이가 적용되고 있다. 즉 TOD의 효과를 최대화하기 위한 특정 지점을 중심으로 한 고밀도 계획은 적용되고 있지 않다.

Fig. 7은 현재 분당의 높이(용적률) 적용 상황을 보여 준다[15]. 외곽 일부에 낮은 높이(용적률)가 적용되고 있으며 중심의 아주 일부에만 높은 높이(용적률)가 적용되고 있음을 확인할 수 있다.

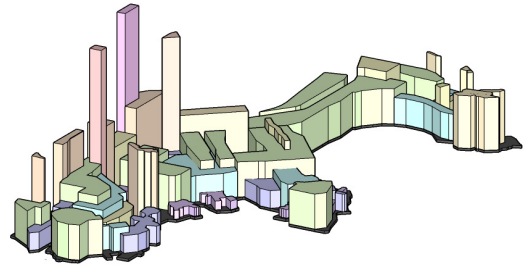


Fig. 7. 3D Visualization of land use plan(present condition)

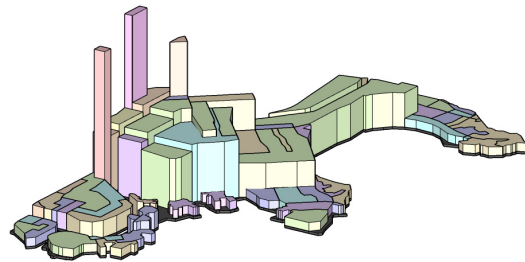


Fig. 8. 3D Visualization of land use plan(scheme1)

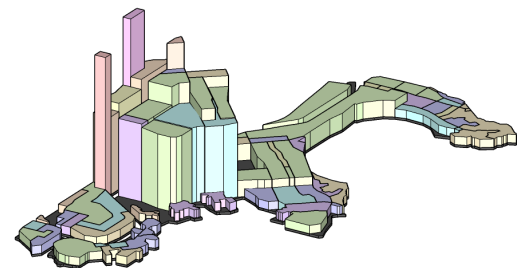


Fig. 9. 3D Visualization of land use plan(scheme2)

Fig. 8에서는 현재 토지이용계획에 TOD의 개념을 도입하여 분당 구 내 특정지역(분당선 수내역)을 중심으로 중심지역을 설정하고 그곳에 가까운 곳일수록 높은 높이(용적률)를 부여하는 방식으로 TOD를 적용하였다. 중심

지역으로부터의 거리에 따라 차등적으로 용적률을 적용하였지만, 중심 지역의 용적률은 상향한 반면 주변 지역의 용적률은 하향 조정하는 방식으로 분당 지역의 전체 용적 자체는 동일하게 유지하였다. 중심지역의 용적률은 현황 대비 1.77배, 이외 지역은 현황 대비 0.57배로 용적률을 조정하였다.

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 대안 1에 비해 더 높은 집중을 적용한 결과다. 중심지역의 용적률은 현황 대비 2.28배, 이외 지역은 현황 대비 0.4배로 용적률을 조정하였다.

4.2 ‘보행율’을 적용한 현황과 대안의 비교

네트워크상에 존재하는 모든 개별 노드에서 자신을 제외한 모든 다른 노드로 이동이 발생할 때, 이동거리가 800m 이내인 경우 보행이동거리로 800m 이상인 경우는 차량이동거리로 구분하여 계산한다. 이 때 보행이동거리의 합을 보행이동거리 합과 차량이동거리 합을 합산한 총 이동거리로 나눈 것이 보행율이 된다. ‘보행율’ 개념을 적용하여, 총 이동거리 중 보행이동거리를 제외한 순수 차량이동거리를 계산 한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Calculation of the travel distance

	present condition	scheme 1	scheme2
pedestrian travel distance	178,935,621	274,085,053	373,480,219
vehicle travel distance	25,446,802,003	18,958,943,127	15,283,717,211
total travel distance	25,526,737,624	19,233,028,180	15,657,197,431
pedestrian rate	0.7%	1.43%	2.39%

Table 2에서 보는 것과 같이 TOD를 적용한 대안 1의 차량이동거리가 현황에 비해 25.5%만큼 작은 것을 알 수 있다. 또한 중심지역으로의 집중도를 더욱 높인다면, 즉 중심지역에 가까운 지역의 용적률을 좀 더 상향한다면 차량이동거리가 줄어드는 효과는 더욱 커질 것임을 알 수 있다. 중심지역의 집중도를 더욱 높인 대안 2의 차량 이동거리는 현황 대비 39.9% 감소를 보인다. 차량이동거리가 줄어드는 것과 비례한 관계로 보행율에도 차이가 있음을 알 수 있다. TOD를 적용한 대안1, 2의 보행율이 각각 1.43%와 2.39%로 현황에 비해 증가하고 있음을 알 수 있다. 분석 결과에서 나타나는 차량이동거리 감

소와 보행율 증가로부터 TOD 방식의 유효함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 보행율 개념을 이용하여 TOD 방식의 유효성을 검토해보았다. 보행율이란 하나의 네트워크상에서 발생하는 총 이동행태 중 도보로 이루어지는 이동의 비율을 의미한다. 총 이동 중에서 보행 이동을 제외한 나머지는 차량을 이용한 통행이라고 볼 수 있다. 이 차량을 이용한 통행의 총 이동거리를 비교함으로써 특정한 하나의 네트워크에 적용한 서로 다른 대안, 특히 용적률 분포가 서로 다른 대안의 차량통행 감소 효과를 검증할 수 있을 것이다.

이와 같은 목적을 위해서 본 연구에서는 1) 보행율 개념을 제안하고 2) 보행율 개념에 기반한 총 차량이동거리 계산 방법을 제안하였다. 한편 1), 2)와 같은 계산이 적용될 수 있도록 3) 분석 대상지역의 토지이용계획을 네트워크 형식으로 추상화하는 방법을 제안하였다. 이를 위해서 토지이용계획도의 도로를 링크로 표현하고 링크의 교차점을 노드로 표현하였다. 각각의 노드에는 개별 노드가 담당하는 용적의 양을 가중치 형태로 부여하였다. 이를 위해서는 노드가 담당하는 2차원 면적을 산출하고, 이 면적 값에 높이(용적률)를 곱하여 용적 양을 산출하였다.

이상과 같은 방법과 절차를 현재의 분당(TOD를 적극적으로 적용하지 않은)과 TOD를 적용한 분당 대안1, 대안2와 비교를 실시하였다. 분당구를 대상으로 한 TOD 효과의 정량적 비교 결과는 TOD를 적용한 대안 1, 2의 차량 통행량이 각각 25.50%와 39.94%이 정도 현황에 비해 감소 효과가 발생한다. 또한 보행율은 각각 1.43%와 2.39%로 증가하고 있다. 비교 결과 TOD를 적용한 분당 대안이 차량이동통행량을 감소하는데 효과적임을 입증할 수 있었다. 또한 중심지역의 집중도를 더 높게 적용하여 분석을 실시한 결과는, 상대적으로 낮은 집중도에 비해 총 차량이동통행 거리 감소의 효과가 더 있음을 알 수 있었다. 이는 일반적으로 중심지역을 고밀도화 할수록 차량통행을 감소시킬 수 있다는 경험적 판단의 타당성을 강화하는 분석 결과이다.

References

- [1] S. Y. Lee, "Development of a Structural Indicator of Urban Spatial Network to Estimate Traffic Volume within the Urban Space", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol.27, No.7, pp.189-196, July, 2011.
- [2] J. H. Lee, H. R. Kim, D. Y. Hwang, "A Study On The Urban Design Method Based On TOD(Transit Oriented Development) Strategy For Sustainable Urban Regeneration In Case Of City Of Portland, U.S.A.", *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, Vol.14, No.1, pp.5-23, February, 2013.
- [3] S. H. Lee, J. H. Park, "Study on Possibility Region of TOD Application in Catchment Area of Seoul Subway using Trip Analysis", *Journal of The Korean Regional Development Association*, Vol.18, No.2, pp.125-144, June, 2006.
- [4] H. Y. Kim, S. Y. Lee, "An Empirical Analysis of the Effect of Transit-oriented Development (TOD) Policy on The Land Use Composition Change Around Light-rail Transit (LRT) Stations", *Journal of the Korean Urban Management Association*, Vol.31, No.2, pp.165-179, June, 2018.
- [5] Z. S. Kim, "Transit Oriented Development Guidelines in North America", *Gyeonggi Research Institute*, Vol.2016, No.30, pp.1-79, June, 2016.
- [6] H. G. Sung, B. H. Hwang, J. H. Park, "Empirical Analysis of Travel Behavior Change by TOD Planning Elements through Applying Multi-level Regression Modeling", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.47, No.3, pp.265-278, June, 2012.
- [7] J. H. Park, J. H. Rho, H. G. Sung, "Impact Analysis of TOD Planning Elements on Transit Ridership in Seoul Rail Station Areas by Using the Method of Structural Equational Modeling", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.43, No.5, pp.135-151, October, 2008.
- [8] E. Y. Oh, B. H. Jeong, "A Study on the Impact of TOD Planning actors on Transit Demand The ase of Subway Station Areas in Gwangju Metropolitan City", *Journal of the Korean Urban Management Association*, Vol.26, No.4 pp.219-239, December, 2013.
- [9] K. H. Kim, J. H. Lee, "A Study on the TOD Planning Elements Affecting the Number of Public Transportation Users - Focused on the Subway and Railway Station in Incheon", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.35, No.3, pp.647-662, June, 2015.
- [10] S. N. Kim, K. H. Lee, K. H. Ahn, "The Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption and Air Quality", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.44, No.2, pp.231-246, April, 2009.
- [11] K. W. Song, J. Nam, "An Analysis on the Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.44, No.5, pp.193-206, October, 2009.
- [12] S. Y. Seo, S. N. Kim, K. H. Lee, "Effects of Land Use and Urban Form on Vehicle Kilometer Traveled: Focused on the 74 Small and Medium-sized Cities in Korea", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.49,

No.8, pp.107-121, December, 2014.

- [13] J. Y. Lee, H. C. Kim, "Maximizing Energy Efficiency and Accessibility of Public Transportation in Compact City", *Journal of Korea Planning Association*, Vol.37, No.7, pp.231-244, December, 2002.
- [14] Korea Land Corporation, *The History of Bundang New City Development*, p.178, Seoul: Korea Land Corporation, 1997.
- [15] E. S. Cho, *Decision Drawing of Bundang District Unit Plan*, Seongnam Determination and Public notice, Vol.2009, No.122, p.6-348, 2009.

이 상 현(Sang-Hyun Lee)

[정회원]



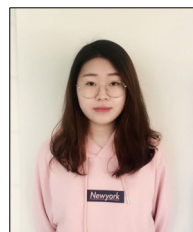
- 1986년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학사)
- 1995년 5월 : University of Michigan (M. Arch.)
- 1999년 5월 : Harvard University (Doctor of Design)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 건축대학 건축학부 교수

<관심분야>

건축도시 시뮬레이션, 복잡계

방 림(Lin Fang)

[정회원]



- 2017년 2월 ~ 현재 : 명지대학교 건축대학 대학원 건축학부 대학원생

<관심분야>

건축도시 시뮬레이션, 복잡계