

# 바람직한 도시환경 관리 전략 마련을 위한 보행밀도의 시공간적 특성의 이해

이해령<sup>1</sup>, 김명조<sup>1</sup>, 이정민<sup>1</sup>, 이혜진<sup>1,2</sup>, 조유나<sup>1</sup>

[<sup>1</sup>서울대학교 환경대학원 박사과정, <sup>2</sup>한국문화관광연구원 연구원]

## 1. 서론

20세기의 자동차 중심적 교통정책 패러다임이 21세기에 들어서며 보행자 중심으로 전환되면서, 도시 활성화를 위한 보행환경 개선 및 보행자 안전 증진에 대한 논의가 활발히 전개되고 있다. 서울시는 1990년대 말부터 '걷고 싶은 도시 만들기' 사업을 선제적으로 추진해왔으며, 2012년에는 행정안전부가 보행안전법을 제정하여 보행자 친화적 교통정책의 제도적 기반을 마련하는 등 보행환경 개선을 위한 정책적 노력이 지속되고 있다. 그러나 생활권 내 보행공간의 대다수를 차지하는 이면도로(생활도로)는 여전히 쾌적성과 안전성 측면에서 취약한 실정이다. 특히 2022년 이태원 사고는 보행 편의성과 쾌적성을 넘어 보행밀도 관리의 중요성을 부각시켰지만, 여전히 보도가 미설치된 협소 생활도로에서 도로 폭을 고려한 보행밀도 관점의 학술적 연구는 미흡하다.

본 연구는 기존의 보행량 중심 접근방식에서 벗어나, 생활도로의 보행밀도를 심층적으로 분석하고, 지속가능한 도시발전을 위한 보행환경 개선 및 보행밀도의 효율적 관리방안을 제시하고자 한다.

연구의 구성은 다음과 같다. 2~3장에서는 보행 친화 정책의 변천 과정을 고찰하고, 보행자 이동 흐름 및 패턴의 시공간적 분석에 관한 선행연구를 검토함으로써 보행교통 분야의 정책 기초와 분석기법을 파악한다. 특히 현행 보행환경 개선정책이 도로폭 대비 보행밀도가 아닌 절대적 보행량을 기준으로 정책대상 지역을 선정하고 있음을 확인하며, 이를 바탕으로 보행밀도 분석의 필요성을 제기한다. 4~6장에서는 그간 간과되어온 보행밀도를 실증적으로 분석하고, 이를 바탕으로 시간 탄력적 보행자우선도로 운영방안을 제안한다. 이때 통신데이터의 가용성 증대로 미시적 단위의 보행자 흐름 파악이 가능해진 점을 활용하여, 시간대별 보행밀도의 변화와 고밀도 지역의 사례를 분석한다. 이후, 종합하여 탄력적 보행자우선도로 운영방안을 제시함으로써 보행정책에서의 보행밀도에 대한 이해에 기반한 시사점을 도출한다.

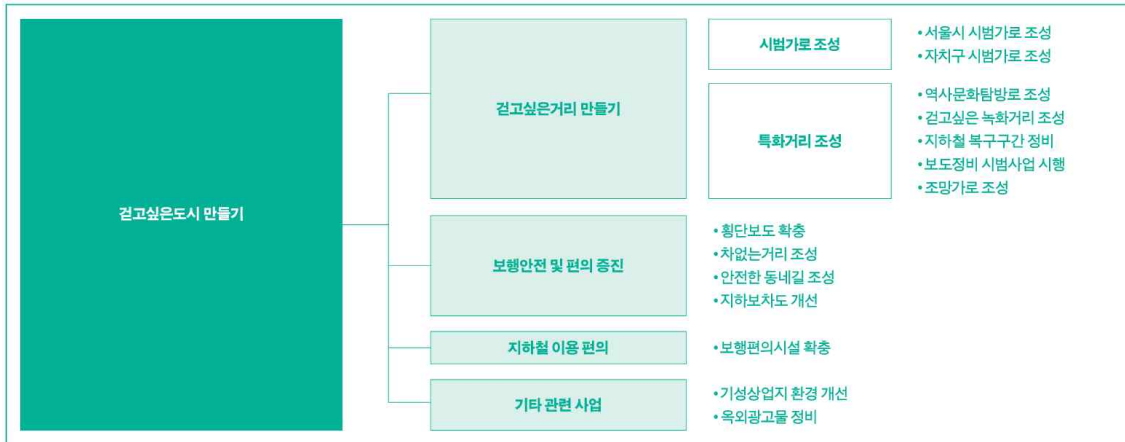
## 2. 걷기 좋은 도시를 위한 공공의 노력

### 1) 2000년대: 보행환경의 중요성 대두

1990년대 초반부터 통학로, 주택가, 골목길의 안전문제에 대한 보행권 운동이 전개되었고, 열악한 보행환경을 개선하고자 하는 노력이 있었다. 2000년대 초반에는 보행환경 개선에 대한 논의가 시작되었지만, 아직 이 시기에는 주로 자동차 중심의 교통정책이 우세했다. 당시에는 보행자 안전보다 자동차 흐름의 효율성에 더 중점을 두었으나, 점차 도시 공간에서의 보행권에 대한 중요성이 제기되면서 보행 중심의 도시 계획 필요성이 대두되었다.

서울시의 경우 1998년 '서울시 보행환경 기본계획의 수립'과 '걷고싶은도시 만들기 사업'을 시작으로 보행친화도시 조성을 추진하였다. 인사동길, 명동길, 관철동길을 시작으로 차 없는 거리 조성을 점차 확대하였으며, 2024년 1월말 기준으로 요일제·시간제·전일제 유형으로 141개소가 운영 중이다.

이후 2004년 서울시청 앞 광장조성과 2005년 청계천 복원 사업으로 대규모 자동차 도로를 없애고 보행공간을 조성하였다. 2007~2011년에는 거리 공공시설물 디자인을 통일하고 보도블록을 개선하는 '디자인 서울거리', '거리 르네상스' 사업이 추진된 바 있다(고준호, 2017; 한상진, 2016).



<그림 1> 2001년 걷고싶은도시 만들기 관련 사업 내용  
자료: 한상진(2016)



<그림 2> 서울시 차 없는 거리  
자료: 서울사랑 홈페이지

## 2) 2010년대: 보행안전법 제정을 시작으로 보행 중심 환경 조성에 대한 관심 증대

### (1) 보행안전법 제정

2012년은 한국 보행정책에 큰 전환점이 된 해로, 「보행안전 및 편의 증진에 관한 법률」(약칭: 보행안전법)이 제정되었다(2012년 2월 22일 제정). 이는 보행자 권리와 안전을 보장하기 위한 법적 근거로, 보행자 중심의 도시환경 조성을 촉진하는 중요한 법률이다. 이 법률은 보행 안전을 강화하고, 보행 친화적인 도시환경을 만들기 위한 다양한 정책적 노력을 가능하게 했다. 이 법의 제정은 당시 정부의 지속가능한 교통정책을 확대하기 위한 노력과 맞물려 있다. 보행안전법의 일부 내용은 다음과 같다.

#### 「보행안전 및 편의 증진에 관한 법률」

##### ■ 제1조(목적)

이 법은 보행자가 안전하고 편리하게 걸을 수 있는 쾌적한 보행환경을 조성하여 각종 위험으로부터 국민의 생명과 신체를 보호하고, 국민의 삶의 질을 향상시킴으로써 공공의 복리 증진에 이바지함을 목적으로 한다.

##### ■ 제3조(보행권의 보장)

① 국가와 지방자치단체는 이 법 또는 다른 법률에서 정하는 바에 따라 공공의 안전 보장, 질서 유지 및 복리 증진을 저해하지 아니하는 범위에서 국민이 쾌적한 보행환경에서 안전하고 편리하게 보행할 권리를 최대한 보장하고 진흥하여야 한다.

##### ■ 제6조(보행안전 및 편의증진 실행조치)

1. 보행자길에 설치된 안전시설 및 관리 현황
2. 보행자길에서 통행을 방해하거나 보행자의 안전을 위협하는 시설물 및 적치물(積置物) 등의 현황 ...

##### ■ 제7조(국가보행안전 및 편의증진 기본계획의 수립)

① 행정안전부장관은 보행자의 안전 및 편의증진을 촉진하기 위하여 5년마다 국가보행안전 및 편의증진 기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ...

##### ■ 제9조(보행환경개선지구의 지정)

1. 보행자의 안전확보 및 편의증진을 위한 정책의 기본방향 및 목표 ...
- 제10조(보행환경개선사업의 시행)
1. 보행자길 신설, 단절된 보행자길의 연결 등 보행자길 조성 ...
- 제17조(보행자전용길의 지정 등)
- 제17조의2(보행자우선도로의 지정 등)
- ...

(2) 보행 중심 도시 개념 및 보행 친화 환경 개념 발전

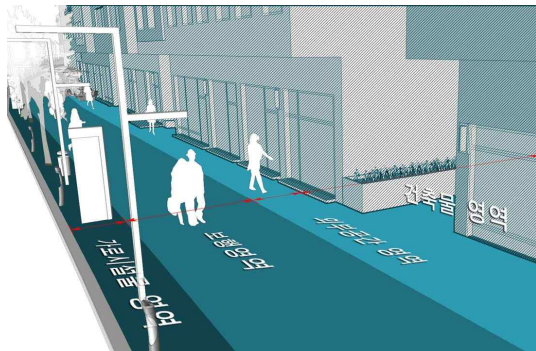
“보행중심도시 조성정책 및 제도 연구”(건축공간연구원, 2013)와 같은 보행 중심 도시에 대한 개념이 등장하며 보행환경을 고려한 도시설계의 중요성이 강조되었다, 관련 연구에서는 보행 중심의 도시 구조를 구축하기 위한 구체적인 정책 방향과 설계 기준을 제시했다. 이 시기부터 보행권 설정, 보행권역 내 대중교통 연계 등의 개념이 본격적으로 도입되었으며, 이를 통해 각 도시에서 보행환경을 중심으로 한 정책이 추진되기 시작했다.

서울시에서는 2014년에 보행자 안전과 편의 증진을 목적으로 「서울특별시 보행안전 및 편의증진」에 관한 조례를 제정했다. 보행자의 안전을 위해 보행환경을 조성하고 관리하는 규정이 포함되었다. 서울시의 보행정책이 본격적으로 강화되기 시작한 시점으로 볼 수 있다.

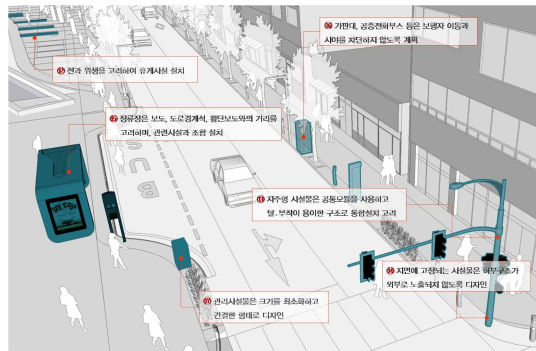
국토교통부에서는 보행 친화적인 가로환경을 조성하기 위한 구체적인 지침을 담은 “보행자 중심의 가로경관 가이드라인”을 발표했다. 보행자의 시각에서 보이는 가로경관을 대상으로 하며, 보행자에게 쾌적하고 편안한 보행환경을 제공하고 통합적인 도시경관을 창출하기 위한 사항을 제시하여 보행 친화적 가로환경 조성에 기여했다.

또한, 2016년에는 “보행정책 성과 평가체계”가 도입되며 전국 지자체에서 보행 관련 정책을 정량적으로 평가할 수 있는 시스템을 갖추게 되었다. 이 평가체계는 정책의 성과를 객관적으로 측정하고, 평가할 수 있는 도구가 부족하다는 의견에서 출발해 지자체 간 경쟁을 촉발해 보행정책의 자발적 확산을 유도하기 위해 개발되었다. 이는 당시 박근혜 정부의 도시재생 정책과 연계되어 보행환경 개선이 도시재생의 중요한 축으로 자리를 잡게 된 배경과 맞물려 있다.

가로경관의 영역 구분



가로시설물 가이드라인



<그림 3> 보행자 중심의 가로경관 가이드라인  
자료: 국토교통부(2014)

(3) 보행자우선도로 도입

보행자우선도로 조성사업은 ‘서울교통비전 2030’을 통해 2013년에 서울시의 정책사업으로서 최초로 등장하였다. 이 계획은 기존의 교통정책을 사람 중심으로 전환하는 것을 주요 목적으로 하였으며, 그 일환으로 보행자우선도로 사업이 시작되었다(김승남 외, 2015). 이는 2012년에 개정된 국토교통부 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」(이하 도시계획시설규칙)에 근거한 전국 최초의 보행자우선도로 조성사업으로, 해당 법규에는 ‘보행자우선도로’ 관련 조항이 포함되어 있다. 보행자우선도로는 기존에 차량과 보행자가 혼재하여 이용하는 일반도로(이면도로)에 Shared Street 개념을 도입한 것으로 보행자가 전보다 더 배려받고 우선될 수 있는 환경을 조성함으로써 안전하고 쾌적한 보행을 보장하는 것이 기본적인 목적이다(Lee & Kim, 2019). Shared Street은 1970년대 네덜란드의 교통공학자인 한스 몬더만(Hans Monderman)에 의해 처음 제시된 개념으로, 물리적인 공간분리나 시설물, 교통규제에 의존하지 않고 다양한 도로이용주체들 간의 자율적

인 배려와 상호작용에 의해 작동하는 도로를 의미한다(Clarke, 2006; Hamilton-Baillie, 2008). 도시계획시설규칙에서는 다음과 같이 보행자우선도로를 정의하고 있다.

<도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙 (약칭: 도시계획시설규칙)>  
[시행 2023. 12. 22.] [국토교통부령 제1288호, 2023. 12. 22., 일부개정]

제9조(도로의 구분)  
1. 사용 및 형태별 구분  
라. 보행자우선도로: 폭 20미터 미만의 도로로서 보행자와 차량이 혼합하여 이용하되 보행자의 안전과 편의를 우선적으로 고려하여 설치하는 도로

서울시는 2013년 구로구 개봉로3길과 중랑구 면목로48길에 실시된 시범사업을 시작으로 매년 사업규모를 확대해나갔으며, 시범사업 과정에서 발견된 한계를 보완하기 위하여 2014년부터 사업의 기본방향을 새로이 설정하고 보다 바람직한 방향으로 사업을 추진하고자 하였다(김승남 외, 2015). 2024년 9월 기준 서울시 보행자우선도로는 126개소이다(서울시 홈페이지, 2024.11.04.). 2014년 당시 제시된 보행자우선도로 사업의 기본방향은 아래와 같다.

<보행자우선도로 사업의 기본방향>

1. 도로 전체 폭원에 스텝포장 기법을 활용한 포장패턴 도입을 적극적으로 활용할 것
2. 가로 특성에 따라 보차공존이 이루어질 수 있는 차별화된 설계를 도입할 것
3. 설계의도를 올바르게 구현하기 위하여 물리적 개선뿐 아니라 주민협의 등을 통한 노상주차 및 적치물의 제거를 위해 대안을 마련할 것

자료: 김승남 외, 2015, 2014 보행자우선도로 현황과 평가, 건축공간연구원

2019년에는 행정안전부의 공모사업을 통해 전국 단위로 보행자우선도로 개념이 확대 도입되기 시작하였다(2019~2021년 시범사업, 2022년 본격 시행). 서울시에서 2013년 시작될 당시 폭 10m 미만의 도로로 제한하였으나, 2019년 도시계획시설규칙에서 보행자우선도로를 폭 20m 미만의 도로로 확대하며 차량과 보행자가 공존할 수 있는 도로 환경을 조성하려는 노력은 더욱 넓은 범위에서 지역 특성에 맞게 활성화될 수 있었다.

이후 도로교통법의 개정을 통해(2022년 1월 11일 개정, 2022년 7월 12일 시행) 보행자우선도로가 더욱 구체화되었다. 이를 통해 보행자우선도로는 도로의 한 종류로서 법적으로 인정되었으며, 보행자우선도로에서의 보행자의 보행 권리가 법적으로 강화되었다고 할 수 있다. 더불어 보행자우선도로에서 차량의 속도를 제한할 수 있는 조항이 신설됨으로써 보행자의 안전이 보장될 수 있는 여건이 조성되었다. 이는 보행자를 도로의 이용자로써 보다 존중하는 방향으로 변화하고 있음을 보여주는 중요한 전환점의 의미를 가진다.

<도로교통법> [시행 2024. 10. 25.] [법률 제20155호, 2024. 1. 30., 일부개정]

제2조(정의)  
31의2. “보행자우선도로”란 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」 제2조제3호에 따른 보행자우선도로를 말한다.

제8조(보행자의 통행)  
③ 보행자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 곳에서는 도로의 전 부분으로 통행할 수 있다. 이 경우 보행자는 고의로 차마의 진행을 방해하여서는 아니 된다. <개정 2022. 1. 11.>  
1. 보도와 차도가 구분되지 아니한 도로 중 중앙선이 없는 도로(일방통행인 경우에는 차선으로 구분되지 아니한 도로에 한정한다. 이하 같다)  
2. 보행자우선도로

제27조(보행자의 보호)  
⑥ 모든 차의 운전자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 곳에서 보행자의 옆을 지나는 경우에는 안전한 거리를 두고 서행하여야 하며, 보행자의 통행에 방해가 될 때에는 서행하거나 일시정지하여 보행자가 안전하게 통행할 수 있도록 하여야 한다. <2022. 1. 11.>  
1. 보도와 차도가 구분되지 아니한 도로 중 중앙선이 없는 도로  
2. 보행자우선도로  
3. 도로 외의 곳

제28조의2(보행자우선도로) 시·도경찰청장이나 경찰서장은 보행자우선도로에서 보행자를 보호하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 차마의 통행속도를 시속 20킬로미터 이내로 제한할 수 있다. [본조신설 2022. 1. 11.]

< 보행자 우선도로 결정기준 >

1. 도시지역 내 간선도로의 이면도로로서 차량통행과 보행자의 통행을 구분하기 어려운 지역 중 보행자의 통행이 많거나 집회·공연 등 각종 행사로 인하여 보행자 통행량이 일시적으로 급증할 수 있는 지역에 설치할 것
2. 보행자의 안전을 위하여 경사가 심한 곳에는 설치하지 아니할 것
3. 보행자우선도로는 차량속도, 차량통행량 및 보행자의 통행량을 고려한 사전검토계획을 수립하여 설치할 것. 이 경우 차량속도는 시속 30킬로미터 이하로 계획할 것
4. 안전하고 쾌적한 보행을 위하여 보행자전용도로 및 녹지체계 등과 최단거리로 연결되도록 할 것

자료: 국가법령정보센터 홈페이지(2024.11.04.) 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙

< 보행자 우선도로 지정절차 >

대상지 선정 (시공모사업, 자치구 직접 선정)	▶	관계 행정기관 협의	▶	지역주민 및 전문가 의견 청취	▶	지정고시 요청	▶	지정 고시 및 서울시 홈페이지 게시
시, 자치구		자치구		자치구		자치구 →시		시

자료: 서울시 홈페이지(2024.11.04.), '보행자우선도로 지정'을 참고하여 작성

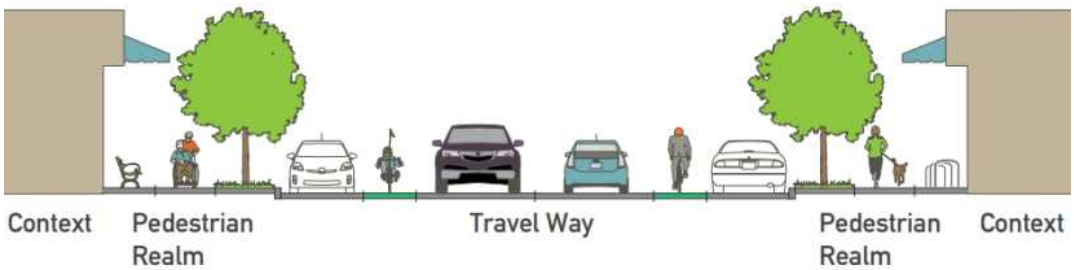
<표 1> 보행자 공간 개념

<b>보도(보차분리도로)</b>	<b>보행자우선도로</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로에서 연석이나 기타 인공구조물을 통해 보차 공간을 분리함으로써 보행자의 안전과 편리한 통행을 보장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로의 폭이 충분치 않은 이면도로에서 보도 설치 대신 보행자우선도로 설치</li> </ul>
<b>보행자전용도로</b>	<b>보행자전용길</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보행자만 이용 가능</li> <li>• 지방경찰청장·경찰서장이 보행자 보호가 필요한 '도로'에 설치</li> <li>• 보행자전용길과 중첩하여 지정할 수 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보행자만 이용 가능</li> <li>• 특별시장 등이 보행자의 안전과 쾌적한 보행 환경을 확보하기 위해 필요하다고 인정되는 '보행자길'에 설치</li> </ul>

자료: 김승남(2015)

3) 2020년대: 지속가능한 보행환경과 스마트 보행환경 조성

최근에는 보행환경 개선이 지속가능한 도시정책의 중요한 부분으로 자리 잡고 있다. 2023년에는 "보행환경개선사업의 도시정책 연계방안 연구"(오성훈 외, 2023)에서, 기존 보행환경개선사업의 한계를 지적하며, 더 통합적이고 정책 지향적인 사업 기획의 필요성을 강조했다. 이는 세계적인 트렌드인 미국의 완전도로(Complete Streets) 정책<sup>1)</sup>과 EU의 차 없는 도시(Car-Free Cities)와 같은 사례를 분석하면서, 도시환경에서 자동차 의존을 줄이고 보행과 자전거 중심의 교통환경 조성이 필요하다고 언급하였다.



<그림 4> 일반적인 완전도로의 기본 구역 구성요소 단면

자료: 오성훈 외(2023)

1) 미교통국(USDOT)에 따르면 완전도로(Complete Streets)란 모든 사용자가 안전하게 이용할 수 있고 이동성을 보장해줄 수 있도록 설계, 운영되는 도로 또는 가로이다.

최근에는 스마트 보행환경 조성사업이 주요한 정책으로 주목받기 시작하였다. 이는 보행 관련 빅데이터 활용 및 기술개발 활성화의 일환으로 AI와 IoT 기술을 접목하여 보행 관련 정책사업에 적용한다. 빅데이터를 이용하여 보행자 위험도로 예측 시스템 개발 등 데이터 기반 정책 추진기반을 마련하고, 보호구역 내 단속 통합 시스템 보행 정보 플랫폼 구축, IT 기술을 이용한 보행자 배려 신호시스템, 스마트 횡단보도 등 보행 관련 기술개발을 추진하는 사례가 등장하였다. 교통 신호 제어, 보행자 안전 센서 등을 도입하여 보행자의 안전을 실시간으로 모니터링하는 시스템도 확산시킬 계획에 있다.

「제1차 국가보행안전 및 편의증진 기본계획(2022~2026)」(행정안전부)에서는 안전하고 걷기 좋은 보행 중심 사회 실현을 위한 5개년 계획을 수립하였다. 추진 전략은 교통안전 관련 제도, 인프라, 문화 전반을 보행자 중심으로 패러다임 전환하는 것이고 세부 목표로 다음의 5가지를 추진과제로 삼고 있다. - (1) 사고 데이터에 기반한 보행자 안전 위해 요소 제거 (2) 보행 약자 맞춤형 제도 정비 및 인프라 확충 (3) 보행 활성화를 위한 보행자 중심 도시공간 조성 (4) 보행 중심 정책 추진기반 강화 (5) 보행 안전문화 활성화 및 보행자 중심 인식 정착

#### 4) 보행환경에 대한 국내·외 연구 종합

보행밀도와 관련한 연구에 있어 국내에서는 주로 물리적 보행환경요소, 지역 간 비교(대학가, 서울시 생활권역 등), 도시재생, 보행만족도의 측면에서 다루지고 있다. 해외에서는 보행상황에서의 군중 밀집 정도에 따른 위험성을 분석하거나 주변 구조적 환경(건축물 등)이 보행에 미치는 영향, 구체적인 사례 지역에 대한 보행친화도시화 연구 등이 이뤄지고 있다. 자세한 내용은 아래 정리한 자료에서 확인할 수 있다.

#### < 국내 연구 종합 >

##### 1. 보행친화적, 보행자 우선 가로환경에 관한 연구

- 건강과 안전, 삶의 질에 대한 관심이 높아지면서 수준 높은 도시환경에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 도시교통 측면에서는 이러한 변화가 '보행친화적인 가로환경'에 대한 관심과 요구로 나타나고 있다(김승남 외, 2016).'

##### 2. 생활도로 보행자 교통사고(차 대 사람)에 관한 연구

- 보행자 우선 구역 및 지역사회 도로의 시설 개선과 같은 조치를 확일적으로 시행하는 대신 다양한 동적 요소를 고려한 다양한 전략을 개발하는 것이 고려되어야 한다(김선정 외, 2023)
- 최근 아파트단지, 주차장 등에서 발생한 어린이 사망사고로 인하여 교통안전 문제가 심각하게 제기되면서, 생활도로 내 위험상황(비보호 좌회전, 불법주정차, 일방통행도로 역주행)에서 위험 상태를 신속히 제공해주는 교통안전기술이 개발되고 있다. 획득 정보를 바탕으로 객체 간 충돌 등 위험 상황을 분석하고 다양한 표시물에 정보를 제공할 수 있다(서명국 외, 2022).
- 우리나라 교통사고 전체 사망자 중 보행자가 차지하는 비율은 약 40%이며, OECD 평균의 2배보다 높은 수준이다. 특히, '도로 외 구역'으로 분류되는 생활도로는 보행자의 통행량이 많음에도 불구하고, 보차분리가 되어있지 않은 환경에서 불법주정차 문제가 제기되고 있으며, 그로 인해 보행자의 교통안전 확보가 시급한 상황이다(윤정인 외, 2022).
- 보행자 안전증진을 위해 안전속도 5030 정책을 시행하고 있으나, 도로시설 및 차량 관점에서의 속도를 설정하고 있어 보행자 관점에서의 세분화된 속도 설정 기준은 부재한 실정이다. 생활권도로는 생활권 내에 보행자의 이동성이 중요시되는 구간으로 보행 비율이 상대적으로 많기 때문에 다양한 통행수단과의 상충으로부터 보행자가 안전할 수 있도록 ... 필요하다(강민지 외, 2022).

##### 3. 교통약자, 주거약자 등 취약계층의 보행환경 관리에 대한 연구

- 어떤 보행 환경요소가 교통약자별로 영향력이 있는지, 혹은 어떤 환경요소를 우선적으로 개선해야 하는지에 대해 개선방향을 제시할 수 있는 진단 혹은 평가 관련 내용은 부족한 실정이다(김보성 외, 2015).
- 교통약자들도 인사동에서 편히 걷고, 불편 없이 상점에 드나들 수 있을까?"이와 같은 의문에서 시작된 이 논문은 인사동길의 보행환경을 교통약자, 특히 휠체어 이용자의 관점에서 평가하고, 이와 관련된 인사동 지구단위계획지침의 문제점과 개선방안을 찾는 것을 목적으로 한다(장민경 외, 2010).
- 사회적 이슈로서 매체 보도를 통해 자주 언급되고 있지만 학문적 대상으로 크게 관심받지 못했던 보행약자인 유모차 동반 여성보행자에 대한 보행환경 연구가 필요하다(김묘정, 2017)

#### < 해외 연구 종합 >

##### 1. 보행 상황에서 군중 밀집에 따른 위험성을 분석한 연구

- 군중 밀집 정도에 따라 위험 정도가 다르게 적용된다. 실시간 비디오, 소프트웨어 및 군중 행성을 모니터링할 수 있는 전문가를 활용해 온라인 상황을 주시하는 것이 필요하다(The Straits Times, 2022).

- \* 5명/sq: 답답하게 느껴지지만 관리가능함, 8~9명/sq: 위험한 상황
- Data Envelopment Analysis (DEA)를 활용해 지하철역에서 군중 압사 및 짓밟힘 사고의 위험을 평가하였다(Yan., et al. 2012).
- \* 위험수준을 3단계로 나눠 가중치를 주는 방식 (Yan., et al. 2012, Table1)

Level	Crowd Density (p: persons/m <sup>2</sup> )	Weight
I	$p \geq 5$	0.7
II	$3 \leq p < 5$	0.2
III	$2 \leq p < 3$	0.1

- 대도시 고밀도 군중은 압사 사고(군중 현성에 의한 재난)와 같은 높은 위험과 관련이 있다. 따라서 고밀도 군중의 역학을 이해하는 것이 중요하다. 특히 다리, 교차로 등의 병목 현상이 일어나는 지역에 대한 관리가 필요하다(Jin, C., et al. 2019).

- 대도시의 인구가 증가함에 따라 매우 많은 사람들을 끌어모으는 대규모 행사와 활동이 흔해지며, 이는 고밀도 군중의 형성으로 이어지고 있다.
- 군중 밀집은 보행 효율성을 감소시키고 심지어 안전을 위협할 수 있으며, 이는 보행자 흐름 연구의 중요한 주제이다.
- Hajj(이슬람 성지순례 기간) 동안, Mina/Mecca에서 발생한 군중 재난으로 1990년 1426명, 1994년 270명, 1998년 118명, 2004년 251명, 2006년 345명, 2015년 최소 2262명이 사망
- 2010년 독일의 Duisburg에서 열린 Love Parade에서는 군중 재난으로 21명이 사망하고 500명 이상이 부상
- 2013년 인도 Daria 구역의 한 사원에서 발생한 압사 사고로 115명이 사망
- 2014년 중국 상하이에서는 압사 사고로 36명이 사망하고 42명이 부상
- 따라서 고밀도 군중의 특성과 행동에 대한 더 나은 이해는 군중 관리 및 대피를 위한 첨단 경고 시스템 및 보행자 내비게이션 시스템과 같은 신기술의 개발에 필수적이며, 이는 군중 내 병목 현상을 최대한 제거하여 압사 위험을 줄이는 데 도움이 된다.
- 최근 연구에서는 군중 재난의 요인으로 초고밀도를 지적함
- 예를 들어, Hajj 기간 동안 최대 10명/제곱미터의 밀도가 관찰됨 (Helbing et al., 2007; Johansson and Helbing, 2008). Love Parade 재난에서는 최대 밀도가 11명/제곱미터에 달함 (Ma et al., 2013). Helbing과 Mukerji (2012)는 "군중 밀도가 제곱미터당 4명 또는 5명을 초과하면 혼잡이 빠르게 쌓여 넘어지거나 떨어질 위험이 높아진다. 따라서 부상이 쉽게 발생할 수 있다"고 언급함. Fruin (1993)은 "제곱미터당 약 7명의 점유 밀도에서는 군중이 거의 유체 덩어리가 된다. 사람들은 신발에서 실제로 벗겨질 수 있고, 옷이 찢길 수 있다. 불안에 의해 악화된 강한 군중 압력은 호흡을 어렵게 만들어 압박성 질식으로 이어질 수 있다"고 지적함.

- 대규모 이벤트의 크기와 빈도가 증가함에 따라 군중 재해의 연구와 보행자 흐름의 시뮬레이션은 중요한 연구 분야가 되었다(Moussaïd, M., et al. 2011).
- 밀집 또는 혼잡한 지역에서의 보행자 흐름은 일반적으로 개별 보행자들의 경쟁적 행동으로 인해 불규칙하거나 난동 상태를 보이며, 이는 흐름 효율을 저하시키고 군중 사고의 위험을 증가시킨다(Jiang, C., et al. 2019).

## 2. 주변 구조적 환경이 보행에 미치는 영향에 관한 연구

- 교통 정류장 주변의 보행자 안전은 대중 교통을 오가는 활발한 이동을 촉진하는 데 중요한 역할을 한다. 연구에서는 보행자-차량 충돌에 대한 여러 관점(예: 보도, 도로 연결성, 도로 유형 및 토지 이용)의 건축 환경의 영향을 조사했다(Yu, C. Y. 2022).
- 보행자를 위한 효율적이고 편안한 상업 지구를 구축하기 위해서는 보행자의 보행 행동과 건축 환경의 복잡한 요소 간의 상호 작용을 이해해야 한다. 연구에서는 상업 환경의 형태, 시각적 인식, 기능 및 거리 구성 특징이 보행 활동에 영향을 미친다고 밝혔다(Yang, C., et al. 2024).

## 3. 보행친화도시에 관한 연구

- 다양한 도시 건물 밀도의 맥락에서 보행자 친화적인 도시를 만드는 것은 지속 가능한 개발을 위해 매우 중요하다. 이 연구에서는 RF + PDP 모델을 적용하여 건물 밀도와 보행자 수 간의 비선형 관계와 건축 환경 요인과 보행자 수 간의 관계에 대한 건물 밀도의 상호 작용 효과를 탐구했다(Zeng, Q., et al. 2024).
- 차량과 보행이 같이 이루어지는 보행공간에서 기존 설계가 성인 중심이기 때문에 어린이에게 위험을 초래한다는 문제가 있다. 아동 친화적 보행자 통로(지능형 CFPP)를 계획하는 것이 필요하다(Fang, K., et al. 2024).
- 공간적 제약과 급증하는 인구 증가에 직면하여 말레에서 보행자 친화적인 공간을 찾는 것이 어려워졌고, 연구에서는 말레의 아열대적 도시적 맥락에 맞춰지면서 보행자, 자전거 이용자, 대중교통 사용자의 요구와 선호를 수용하는 패러다임에서의 포괄적인 보행성 설계 접근 방식을 탐구했다(Ibrahim, A. M., et al. 2024).

## 3. 도시 활동의 시공간적 패턴을 분석한 기존 연구

### 1) PLOS 척도를 활용한 연구

보행자서비스수준(PLOS, Pedestrian Level of Service)은 보행자들이 특정 공간에서 경험하는 편안함과 안전 수준을 평가하는 척도이다. 보행자 시설별 주요 효과 척도는 다음과 같다(도로용량편람, 2013).

#### <보행자 시설별 주요 효과 척도>

- 보행자도로 : 보행교통류율, 보행점유공간, 보행밀도, 보행속도
- 계단 : 보행교통류율
- 대기공간 : 보행점유공간
- 신호횡단보도 : 평균 보행자 지체, 보행점유공간

#### <용어에 대한 설명>

- 보행교통류율: 대상지역의 보행교통량을 단위시간(1분)동안 단위길이(1m)를 통과한 보행자의 수로 환산한 것으로 단위는 인/분/m
- 보행점유공간: 보행자 1인이 이용 가능한 공간의 크기를 의미하며 단위는 m<sup>2</sup>/인
- 보행밀도: 특정 공간에서 보행자가 얼마나 밀집되어 있는지를 나타내는 지표이며 단위는 인/m<sup>2</sup>
- 보행속도: 보행자가 이동하는 평균 속도를 의미하며 단위는 m/분
- 보행자 평균지체 : 보행자가 차로를 횡단하기 위해 신호횡단보도에서 신호에 의해 겪게 되는 평균 지체를 의미

보행교통류율, 보행점유공간, 보행밀도, 보행속도에 따른 보행자 서비스수준은 다음과 같다.

<표 2> 보행자 서비스수준

서비스수준	보행교통류율(인/분/m)	점유공간(m <sup>2</sup> /인)	밀도(인/m <sup>2</sup> )	속도(m/분)
A	≤ 20	≥ 3.3	≤ 0.3	≥ 75
B	≤ 30	≥ 2.0	≤ 0.5	≥ 72
C	≤ 46	≥ 1.4	≤ 0.7	≥ 69
D	≤ 70	≥ 0.9	≤ 1.1	≥ 62
E	≤ 106	≥ 0.38	≤ 2.6	≥ 40
F	-	< 0.38	> 2.6	< 40

자료: 국토해양부(2013). 도로용량편람

국내 보행자 평가 방법은 보행자도로, 계단, 대기공간, 횡단보도 등을 대상으로 하며, 보행교통류율과 보행점유공간 같은 평가지표를 사용하고 있으나 이러한 평가지표는 보행자 유형을 단일화하여 다양한 보행 행태를 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 또한, 보행자도로에서 대기 중인 사람과 대기 공간에서 이동하는 보행자를 구분하지 않고 평가하기 때문에 실제 보행자 특성을 반영하지 못할 수 있다. 이에 김대진 외(2001)의 연구에서는 다양한 보행자 특성을 반영할 수 있는 지표를 개발하기 위해 기존 연구를 분석하고, 시공간점유량(TSOV) 개념을 적용한 평가지표와 보행속도 간의 관계를 도출하여 새로운 보행자 서비스 수준을 제안했다.

전성욱 외(2016)는 보행자도로의 서비스 수준을 산정하는 방식을 개선하기 위해, 보행 점유공간을 핵심 척도로 삼고 기존 방식에서 다루지 않았던 양방향 보행 흐름에 따른 상충 개념을 새롭게 도입했다. 이를 통해 보행 상충 공간을 계산하고, 각 방향의 보행자 수에 따른 상충 공간과 평균 보행 시간을 측정했다. 또한, 시간 변화에 따른 유효 보도 면적을 활용하여 시공간적 개념의 보행 점유공간으로 서비스 수준을 재조정했다. 결과적으로, 보행 점유공간이 0.68일 때 용량 상태에 도달했으며, 이때 보행 교통류율은 80인/분/m로 나타났다. 나아가 보행 점유공간 크기에 따라 기울기 변화 지점을 기준으로 서비스 수준을 분류했으며, 유의수준 5%에서 각 서비스 수준 범주 간 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 확인했다.

## 2) 공간구문론(Space Syntax)을 활용한 연구

공간구문론(Space Syntax)이란 도시 공간의 구조를 분석하여 보행 흐름, 상업적 활동, 사회적 상호작용 등 다양한 공간적 현상을 설명하고 예측하는 이론적 및 분석적 방법론이다. 영국 건축가이자 도시계획가인 빌 힐리어(Bill Hillier)가 1980년대에 제안했으며, 도시 계획, 상권 배치, 관광특구 개발 등에서 보행 패턴을 예측하고, 공간적 효율성을 높이기 위한 전략 수립에 유용하게 활용된다.

공간구문론은 공간을 구성하는 각 요소가 서로 어떻게 연결되어 있는지를 네트워크 형태로 표현하고, 이를 수학적 지표로 분석하여 공간의 특성과 기능을 이해할 수 있다. 대표적인 지표로는 통합도(integration)와 통과도(choice)가 있다. 이 외에도 가시도 분석(VGA, Visibility Graph Analysis), 이해성(intelligibility), 접근성(accessibility) 등의 개념이 공간구문론에 포함된다.

- 통합도(Integration): 특정 지점이 전체 공간과 얼마나 잘 연결되어 있는지를 측정함. 통합도가 높으면 사람들이 쉽게 접근할 수 있는 공간으로, 보행 흐름이 많고 활발한 사회적, 상업적 활동이 발생할 가능성이 높음
- 통과도(Choice): 특정 지점이 다른 지점으로 이동하는 경로상에 얼마나 자주 위치하는지를 나타내며, 경유지 역할을 얼마나 하는지 측정함. 통과도가 높은 공간은 많은 보행자들이 경유하는 곳으로, 보행량이 많아 상업적, 문화적 장소로 활용하기 좋음.

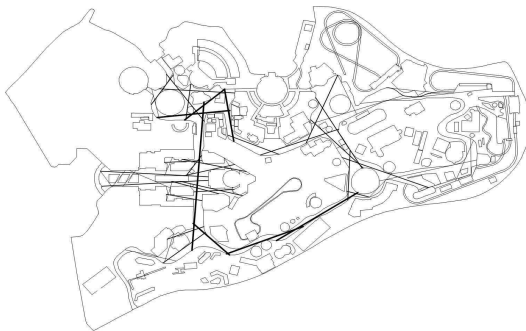
공간구문론을 활용한 연구 사례는 다음과 같다. 정대영(2015)의 연구에서는 테마파크를 공간적 대상으

로 하여 방문객의 이동 패턴과 보행환경이 공간 경험과 소비에 미치는 영향을 분석했다. Gibson(1986)의 생태학적 지각이론에 따라, 인간은 환경을 지속적으로 인지하고 이에 반응하며, 이를 통해 테마파크에서 보행 패턴이 방문객의 공간 경험에 중요한 단서가 될 수 있음을 강조한다. 기존의 테마파크 연구가 소비자 사후태도에 집중했다면, 이 연구는 방문객의 실시간 보행 데이터를 통해 공간과 인간의 상호작용을 분석했다. 서울랜드를 대상으로 공간구문론과 시각적 분석 모델(VGA, EVA)을 적용해 보행 패턴을 정량적으로 분석하고, GPS 애플리케이션으로 보행 데이터를 수집해 시공간적 보행 집중 구간을 확인했다. 분석 결과, 테마파크 구조에 따라 시설 배치 전략이 달라지며, 루프형 구조는 보행 순환이 원활해 공간 활성화에 유리함을 확인했다.

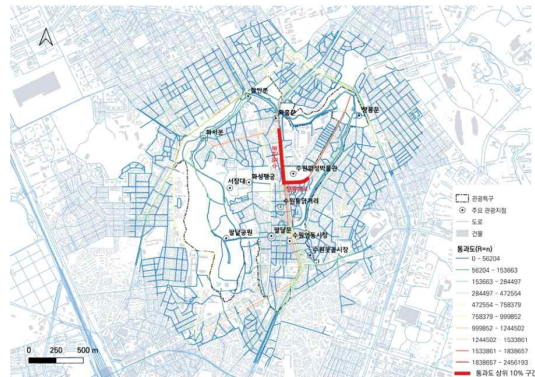
정대영 외(2020)의 연구에서는 외국인 관광객 유치에 기여하는 도시형 관광특구의 보행 특성을 파악하기 위해 수원화성 관광특구를 대상으로 공간구문론의 통합도와 통과도 지표를 활용해 공간구조를 분석하고 관광객 유동인구 데이터를 비교했다. 분석 결과, 화성 성곽 내부의 통합도가 높아 활발한 보행이 예상되었으며, ‘화성행궁’ 주변 도로는 통과도가 높아 차량 통행이 잦을 것으로 나타났다. ‘팔달문’은 높은 보행 집중이 예측된 반면, 관광 안내시설의 낮은 접근성은 정보 제공의 불편을 초래할 수 있다는 문제점 등의 시사점을 제공한다. 2019년 관광객 데이터를 보면 내국인 중장년층의 비중이 높았으며, 주로 오후 시간대에 방문하는 경향이 있었다. 그러나 야간 관광과 외국인 관광객 유치 비중이 작아 이를 활성화하기 위한 전략이 필요하다.

Miura et al.(2024)의 연구에서는 베트남 다낭과 태국 콘캔의 중앙 업무지구에서 보행 활동의 공간적 및 시간대별 분포를 분석하였다. 선택적 활동이 밤에 더 많이 증가하며, 상업용 지상층의 사용 비율이 높은 거리 구간에서 활동 밀도가 가장 높다는 결과를 도출했다. 또한, 각 도시의 공간적 특이성에 따라 다낭은 강과 같은 개방 공간의 존재로 인해 선택적 및 사회적 활동을 유도하여 상대적으로 분산된 반면, 콘캔은 주요 도로를 따라 집중되어 있다는 사실을 확인하였다.

서울랜드 공간구문론 전체통합도



수원화성 관광특구 통과도(R=n) 분포



<그림 5> 공간구문론 분석결과의 예시  
자료: 좌-정대영 외(2020), 우-정대영(2015)

### 3) 일상적 공간에서의 보행패턴 연구

일상적으로 시민들이 이용하는 공간인 가로에서의 보행패턴을 연구한 사례도 있다. 이 연구들에서는 도시의 보행 환경과 유동인구 분포를 다양한 데이터 분석기법으로 연구하여 보행량과 물리적 환경의 연관성을 밝히고자 했다.

이정우 외(2015) 연구에서는 서울시 가로를 요일과 시간대별 인구 흐름을 기반으로 5가지 유형으로 세분화하고, 가로유형별 보행 영향요인을 분석하고자 했다. 다중 회귀분석 결과, 가로 유형에 따라 보행량에 영향을 미치는 요소가 다르게 나타났으며, 예를 들어, 업무 위주 상업가로는 대중교통 접근성과 보차분리가 보행량에 중요한 요소로 작용했다. 또한, 주거 밀도가 높은 가로에서는 저층부 용도와 토지이용 혼합도가 주요한 영향요인으로 확인되었다. 이 연구는 신시가지 개발이나 재개발 시 보행환경 계획의 기초자료로 활용될 수 있다.

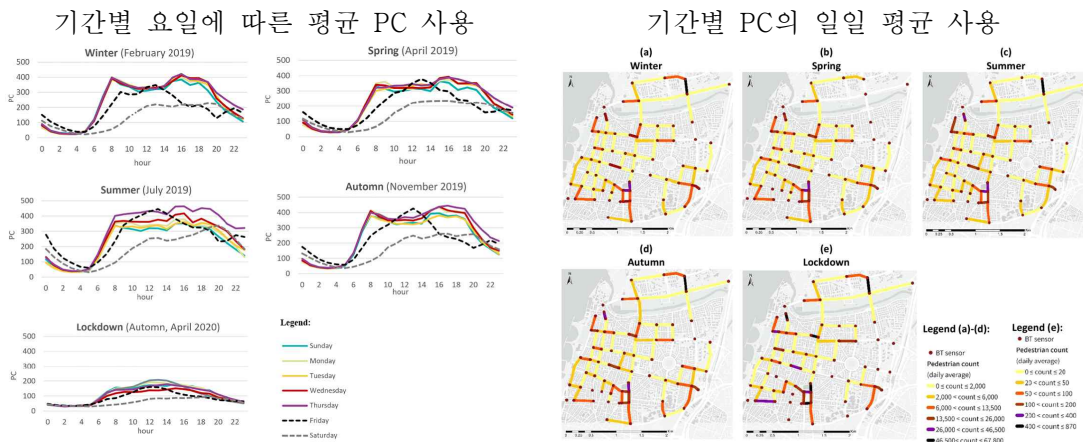
임수명 외(2019)는 다중회귀 분석을 통해 유동인구를 예측하는 방법론을 개발하였다. 강남과 서초구의 보행가로를 대상으로 회귀모형을 도출하고, 이를 서울시 유동인구 조사자료와 비교하여 검증했다. 분석 결과, 물리적 환경, 교통환경, 토지이용 특성으로 구성된 회귀모형이 만들어졌으며, 추정값의 오차율은 약 16.67%로

나타났다. 이는 각 보행가로의 특성과 시간대별 유동인구 차이에 기인한 것으로 확인되었다. 연구 결과는 향후 개선된 유동인구 예측을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 지역경제 활성화와 상권 분석에 유용한 정보를 제공할 수 있다.

이유진 외(2018) 연구에서는 서울시 생활인구 빅데이터를 활용해 주·야간 및 평일·주말의 노인 인구 밀집 지역의 시공간 분포를 확인하고, 그 결정요인을 분석하고자 하였다. 핫스팟 분석 결과, 만 65세 이상 고령 인구는 평일 주간에 강북 도심과 강남-서초구에서 밀집해 있으며, 이 지역은 주거와 상업-업무 기능이 혼합되어 있다. 야간에는 고령 인구가 더 분산된 분포를 보이며, 주택환경이 열악하고 접근성이 낮은 지역이 확인되었다. 이러한 지역의 노인이 사회적 배제를 겪지 않도록 주요 시설과 서비스 접근성을 높이는 정책이 필요하다.

이현우(2015)의 연구에서는 잠실지역 거주민의 생활영역을 모바일 애플리케이션 WalkOn 사용자의 보행 경로 데이터와 Kernel Method를 활용해 측정하고 분석하였다. 생활권은 주민의 일상활동이 이루어지는 공간으로, 다양한 개발 사례가 존재하지만 그 기능에 대한 실증적 검토는 부족한 상황이다. 연구를 통해 이동성과 시간성에 기반하여 생활영역을 네 가지 유형으로 분류하였으며, 거주지와 중심지 간 거리가 가까울수록 생활영역 면적이 커지는 경향이 발견되었다. 이 연구는 모바일 빅데이터를 활용하여 생활영역을 구체적으로 측정하는 방법론을 제시하며, 기존 연구의 한계를 극복하는 데 기여하고 있다.

Angel et al.(2024)의 연구에서 블루투스 센서를 활용하여 보행 행동의 시공간 역학을 분석하는 것을 목표로 한다. 이스라엘 텔아비브(Tel-Aviv)의 83개 도로 구간에서 5개월 동안 수집된 5천3백만 건 이상의 보행 기록을 분석하였으며 연구 결과 보행량과 패턴의 변화, 상업 지역과 주거 지역의 보행 트래픽 차이, 인기 있는 도로 구간 및 용도에 대해 유의미한 차이를 보였다. 이 연구는 실시간 보행자 행동 및 선호를 파악할 수 있는 기술의 발전 가능성을 보여주며 보행 모니터링 및 도시 네트워크 연구에 활용될 수 있다.



<그림 6> 시공간적 보행패턴 분석 결과 예시  
자료: Angel et al.(2024)

## 4. 연구내용 개괄

### 1) 개요

원활한 도시운영과 관리를 위해 보행자 흐름에 대한 다각적인 검토와 이해가 필요함에 따라 본 연구 모임 활동을 통해 앞에서 서술한 관련 문헌의 검토와 함께 보행밀도의 시공간적 특성을 이해하는 탐색적 분석을 수행하였다. 이때, 사람들의 ‘활동’을 ‘보행량/도로면적’, 즉 ‘보행밀도’로 변환하여 사용함으로써 도로의 물리적 수용력을 고려한 보행자의 양적 흐름을 파악하고자 하였다.

탐색하는 접근방법은 크게 세 가지로 나뉜다. 먼저, 시차에 의한 보행의 양적 격차의 관점으로 지표를 구축하고 행정동 단위로 적용하였다. 보행자들은 밀물과 썰물처럼 시간에 따라 도로 위에 존재하는 양적 정도가 다르고, 이러한 역동성이 하루하루 축적되어 일 년간의 고유한 패턴을 만들어낸다. 이때 단순히 많고 적음을 통해 보행밀도의 강도(Intensity)를 살펴볼 수도 있지만, 격차의 수준을 살펴봄으로써 보행밀도의 집중도(Concentration)를 확인하고자 하였다. 다음으로, 보행밀도의 자체 값이 만들어내는 역동적인 흐름 그 자체를 이용하여 패턴을 유형화하는 것이다. 앞의 접근과는 달리 더 세밀한 공간 단위인 가로단위로 분석을 적용하고,

수많은 가로의 패턴을 읽기 위해 시계열 클러스터링 기법을 도입하였다. 마지막으로 앞의 분석 결과와 연계하여, 시계열적 보행밀도의 패턴 유형의 대표적인 사례를 공간적으로 살펴보았다. 이를 통해 어떤 요인이 이러한 패턴을 만들었는지 고찰하고, 보행 관련 정책을 적용할 때의 주안점을 짚고자 하였다.

세 가지의 접근방식에 따른 구체적인 분석방법과 결과는 다음 장에서부터 순서대로 설명하였다.

## 2) 연구대상

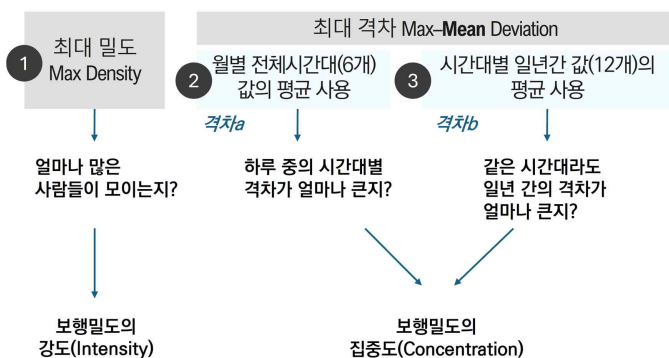
세 가지 분석의 연구대상은 공통적이다. 연구의 공간적 범위는 서울시이며, 서울시의 전체 도로 중 12m 미만의 소로, 그리고 그중에서도 보차혼용도로 운영되고 있는 도로로 연구의 대상을 설정하였다. 도로의 규모와 보도의 여부에 따라 보행자와 차량의 상호작용 특성 그리고 개별적 도로 이용자들의 활동 유형이 상이함에 따라 이를 구분 지어 살펴볼 필요가 있다. 따라서 본 연구모임에서는 좁은 폭의 보차혼용도로로 한정하였는데, 자연발생적 도로가 대부분인 서울시의 특성상 이러한 좁은 보차혼용도로는 서울시 전체 도로 중 76.3%로 생활권의 대부분을 차지하고 있는 만큼 중요한 보행공간 중 하나이기 때문이다(서울시 열린데이터 광장, 2022). 경험적으로도 사람들이 많이 몰려드는 지역을 보면 좁은 폭의 보차혼용도로를 따라 이어지는 상업가로의 모습을 흔하게 발견할 수 있다.

주요 연구자료는 통신사 데이터 기반의 ‘길 단위 유동인구(보행량)’ 데이터를 활용하였다. 해당 자료는 KT에서 생성한 생활인구 데이터를 서울신용보증재단에서 자체 로직을 활용하여 가공한 자료이다. 생활인구 데이터는 기지국 단위로 수집된 통신데이터에 가입자 및 주민등록인구를 고려한 로직을 적용하여 생산되며, 이를 집계시설과 배분 로직을 통해 길 단위로 배분한 것이다.<sup>2)</sup> 시간적 범위는 2022년 1월부터 12월까지이며 데이터의 시간적 구분은 월별, 주중 및 주말, 그리고 시간대별 평균값이다. 이때, 임의의 6개 시간대<sup>3)</sup>로 구분된 것의 월평균 값이므로 하루의 연속적인 흐름이 아니라는 점을 결과의 해석에서 유의할 필요가 있다.

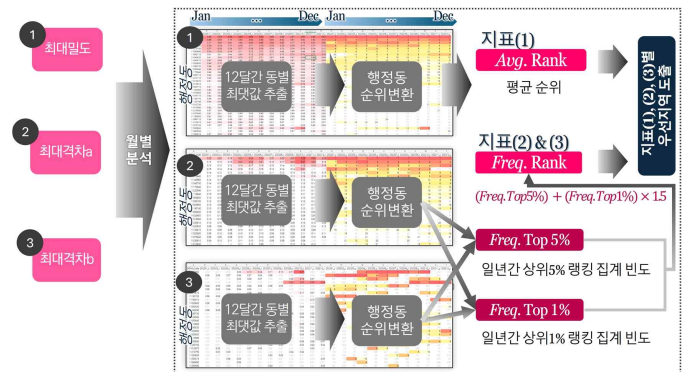
## 5. 시간 흐름에 따른 행정동별 보행밀도의 격차 탐색

### 1) 지표의 구축 과정

지역 또는 가로의 특성에 따라 사람들이 몰려드는 시간과 주기 등이 다르게 나타나는데, 항상 사람들이 많은 지역이 아닐지라도 각 가로에서 보행 활동량은 마치 맥박처럼 패턴을 그리게 된다. 그리고 그 패턴 속에서 관찰되는 보행량의 격차는 거리에 또 하나의 속성을 설명할 수 있는 변수로 작용한다. 이러한 관점에서 평균적인 보행밀도 대비 매 시점의 보행밀도의 차이를 측정하여 보행밀도의 집중도(Concentration)를 살펴 보았으며, 월별 최대 격차를 나열하여 순위화하였다. 물론, 보행밀도의 강도(Intensity)를 직관적으로 알 수 있는 밀도 값 그 자체를 이용하여 밀도 최댓값도 지표에 포함하였다.



<그림 7> 보행밀도 시간적 특성의 지표화 개념



<그림 8> 지표 값의 산출 방법

지표는 총 세 개로 구성하였는데, 첫 번째는 최대 밀도 값을 활용한 것이고, 두 번째와 세 번째는 최대 격차 값을 사용하였다. 두 번째와 세 번째 지표의 차이는 ‘평균적인 보행밀도’를 산출하는 방식에 있다. 두

2) 서울특별시, 서울시 상권 분석 서비스 ‘상권정보 주요 DB 현황’ - ‘길단위 유동인구’, <https://golmok.seoul.go.kr/source.do>  
3) 0~6시, 6~11시, 11~14시, 14~17시, 17~21시, 21~24시

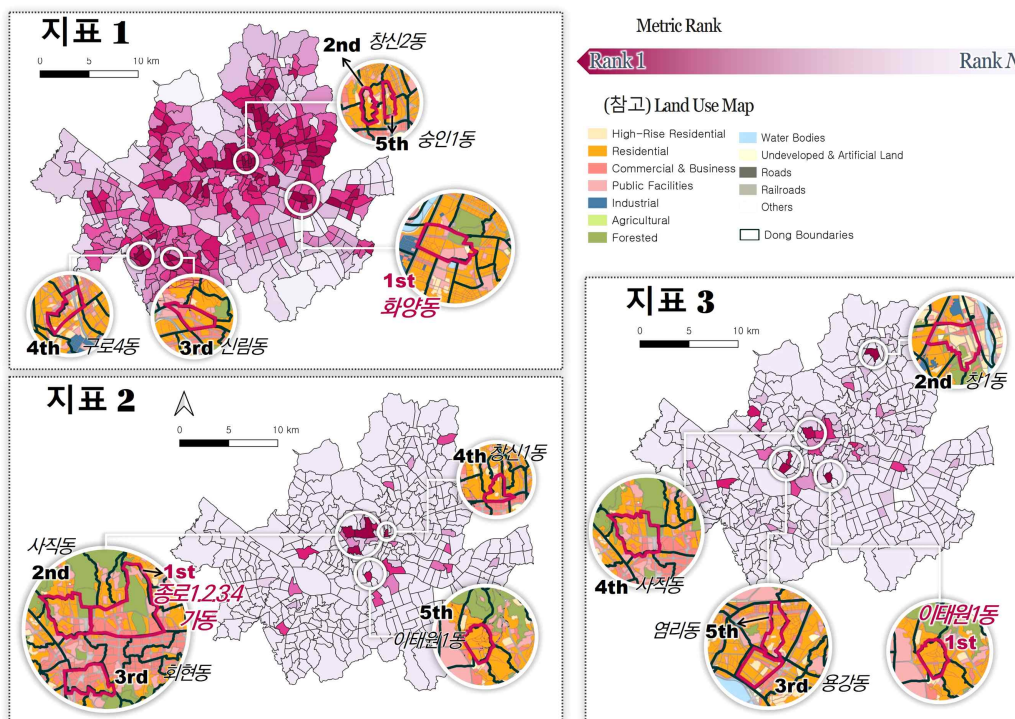
번째 지표(격차a)에서는 같은 월 내의 값들의 평균을 사용하였는데, 쉽게 말하면 하루 동안의 평균적인 보행밀도를 격차의 기준으로 사용하였다. 짧은 기간 내에 같은 장소에서 발생하는 보행밀도의 격차를 살펴보기 위함이다. 세 번째 지표(격차b)에서는 특정 시간대마다 일 년간의 평균을 산출하여 이용하였다. 이는 같은 시간대 이더라도 월마다 또는 일 년간 변동성이 얼마나 큰지 살펴보기 위함이다. 2022년의 열두 달에 대해 행정동별 값을 도출하고 이를 기반으로 순위 표준화를 진행함으로써 지역 간 비교에 적합하도록 가공하였다. 첫 번째 지표는 평균 순위를 이용하여, 그리고 두 번째, 세 번째 지표의 경우에는 상위 랭킹 빈도를 집계하여 한 번 더 가공함으로써 최종적으로 보행밀도 강도가 강하거나 집중도가 높은 지역들을 선별하였다.

이 분석에서는 월별 변화가 뚜렷하게 나타나는 주말 데이터만 사용하였으며, 직장 및 학교생활로 인한 필수적인 통행 및 활동이 비교적 규칙적으로 반복되는 주중 데이터는 제외하였다.

## 2) 지표별 상위 지역의 보행밀도 양상

지표별 순위를 나열했을 때, 공간적인 분포는 <그림9>와 같다. 지표1의 경우 월별 최대 밀도 값을 순위 변환한 값을 단순 평균하였기 때문에 순서대로 색깔의 짙은 정도가 다르게 표시되었다. 색이 진할수록, 해당 지역은 가장 사람이 밀집한 수준이 다른 행정동과 비교하여 높은 빈도가 많았다고 해석할 수 있다. 월평균 밀도 격차를 이용하였던 지표2와 지표3의 경우, 일 년간의 모든 순위를 단순 평균하지 않고 일 년간의 상위 순위 빈도수를 이용하여 재계산하여 최종적인 순위를 도출하였는데, 이 과정에서 최상위권에 속하지 않았었던 수많은 행정동은 모두 같은 순위로 표준화되었다. 이로 인해 지표1의 결과와 비교하여 점진적인 색상 변화가 관찰되지 않고, 최상위권에 여러 번 속했던 일부 지역들이 진한 색상으로 나타났다.

서울시의 3도심에 해당하는 강남구의 도심, 영등포구의 비즈니스 중심 도심의 경우에는 대형상권으로 고층 빌딩과 폭이 넓은 도로와 보도가 포함되어 있을 가능성이 크다. 이러한 이유로 영등포구와 강남구에서는 다만, 마찬가지로 3도심에 속하는 한양도성(종로구 및 중구) 역사 도심의 경우에는 역사문화 자원이 분포함에 따라 자연발생적인 구불구불하고 좁은 도로가 그대로 보존된 경우가 많은데, 이러한 이유로 창신2동과 송인1동이 상위권에 속한 것을 확인할 수 있다. 최대 보행밀도가 지속적으로 가장 높았던 곳은 화양동으로, 이곳은 인구 유발 요인으로 건대입구역뿐 아니라 건국대학교의 유동인구 그리고 대학 근처에 분포한 조밀한 저층 주택가와 골목마다 발달한 상권이 종합적으로 작용하여 그곳의 도로 규모에 비교하여 많은 인구가 상시로 분포하는 것으로 추측할 수 있다.



<그림 9> 지표별 순위의 공간적 분포

<표 3> 지표별 상위 행정동

Rank	지표1	지표2	지표3
1	광진구 화양동	종로구 종로1,2,3,4가동	용산구 이태원1동
2	종로구 창신2동	종로구 사직동	도봉구 창1동
3	관악구 신림동	중구 회현동	마포구 용강동
4	구로구 구로4동	종로구 창신1동	종로구 사직동
5	종로구 숭인1동	용산구 이태원1동	마포구 염리동

위 결과에서(표3) 지표별 1위에 해당하는 화양동, 종로1,2,3,4가동, 이태원1동만 선별하여 아래에서 조금 더 자세히 살펴보았다. <표4>를 보면, 보행밀도가 상시로 높거나, 보행밀도가 급증하여 평소 대비 격차가 발생하는 일이 종종 있는 세 지역에는 전체 도로 중 70% 이상, 즉 대부분이 좁은 보차혼용도로에 해당함을 알 수 있고 특히 광진구 화양동에 조밀한 형태의 도로가 더 많이 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 본 연구에는 12m 미만의 좁은 도로만 포함하였지만, 그중에서도 세 지역에는 평균적으로 4~5m 내외의 매우 좁은 도로가 분포함을 알 수 있다. 개별도로 주변의 건물 용도별 비율을 살펴보면, 최대 보행밀도가 빈번하게 상대적으로 높게 나타난 지역인 화양동은 조밀한 도로 주변에 주로 주거 지역 특성으로 나타나고 있다. 상업용도 비중도 28%로 주거 지역 내 상업가로가 어느 정도 형성되어 있어 밤낮으로 사람들이 모여들 가능성이 큰 지역임을 알 수 있다. 하루 중 격차가 종종 크게 나타나는 종로1,2,3,4가동은 상업 및 업무 용도가 각각 63.17%, 19.82%로 상당히 많이 분포하는 지역인데, 특히 업무 비중은 다른 두 행정동과 비교하여 압도적으로 높은 만큼 본 연구에서는 주중 데이터를 살펴보지는 않았지만, 주중의 격차도 규칙적으로 크게 발생할 가능성이 클 것으로 추측해볼 수 있다. 일 년 중 특정 시기에 유독 보행밀도가 급증하는 모습이 두드러지는 이태원1동은 화양동과 유사하게 주거용도 비중이 높지만, 화양동보다 상업 용도의 건물이 좁은 도로 주변에 더 많이 분포하는 곳임을 알 수 있으며, 특정 시기에 집중하는 이유에 대해서는 사회문화적인 측면과 함께 살펴볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

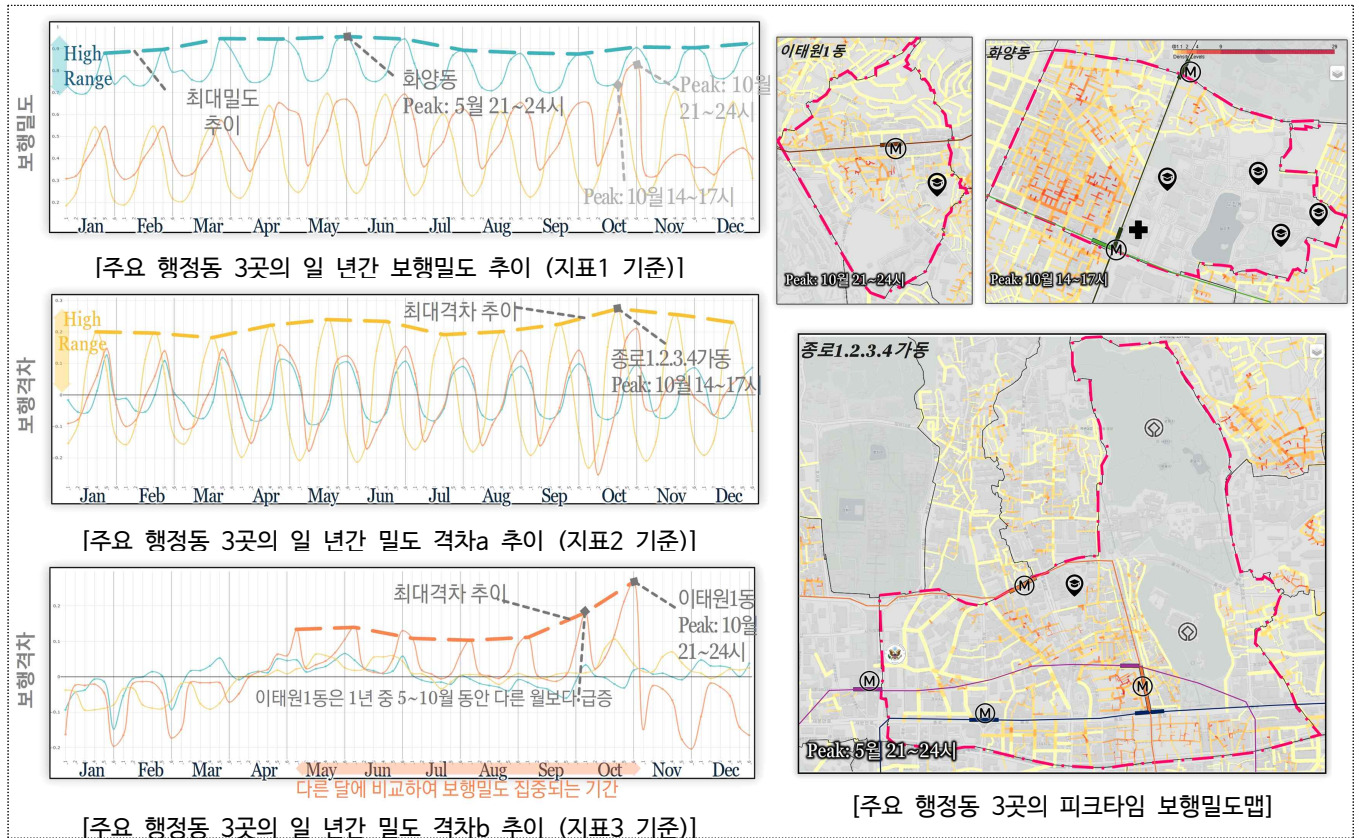
<표 4> 지표별 최상위 행정동의 주요 특성

구분	(지표1)	(지표2)	(지표3)
	광진구 화양동	종로구 종로1,2,3,4가동	용산구 이태원1동
도로 샘플 수	569	811	314
연구대상 도로연장 (a)	21.2km	33.3km	12.4km
전체 도로연장 (b)	24.5km	46.5km	15.9km
전체 중 연구대상 비중 (a/b)	86.53%	71.61%	77.99%
연구대상 도로의 평균폭원	5.56m	4.55m	4.24m
도로 주변 지역의 건물 용도별 비율 (100m*100m grids)			
주거용도	62.91%	7.44%	57.35%
상업용도	28.50%	63.17%	38.29%
업무용도	6.58%	19.82%	2.83%
기타용도	2.01%	9.57%	1.53%

아래 <그림10>의 좌측의 세 그래프는 각 지표에서 가장 높은 종합 순위로 나타난 세 지역(행정동)에 대하여 일 년간의 보행밀도와 보행격차를 시간 흐름에 따라 그린 것이다. <그림10>의 좌측 그래프 중 상단의 그래프('지표1 기준')를 보면, 종로1,2,3,4가동(노랑선)과 이태원1동(주황선)의 경우 화양동(파랑선)과 달리 봄부터 최대밀도 수준이 증가하다가 가을에 급증하는 것을 확인할 수 있다. 이태원1동은 하단 그래프('지표3 기준')를 보면 다른 두 행정동과 비교하여 특히 여름부터 가을까지의 보행밀도가 다른 계절에 비해 특히 급증하여 평균 대비 격차가 벌어지는 것을 관찰할 수 있다.

<그림10>의 우측 이미지에서는 각 행정동의 도로 형상과 함께 보행밀도가 가장 높았던 시점의 거리별 밀도 분포를 확인할 수 있다. 우선 상시로 보행밀도가 높은 화양동의 경우에는 교차로가 많고 각각의 도로가 비교적 촘촘하게 연결된 것으로 보이며, 이러한 경우 비록 보행밀도가 높더라도 전체 영역에 골고루 퍼질 수 있는 여건이 마련되어 특정 지점에 과하게 집중되는 위험성은 낮을 것으로 판단된다. 실제로 지도에서 붉을수록 보행밀도가 높은 지점인데, 그러한 지역이 북쪽과 남쪽 지역에 퍼져서 분포하고 있는 것으로 확인되었

다. 반면 이태원1동의 도로 형상은 도로 간 연결되는 지점이 비교적 적어 보이며, 일단 도로에 진입하였을 때 우회하거나 빠져나갈 경로의 경우의 수가 적을 것으로 판단된다. 이러한 형상은 해당 지역에 보행밀도가 급증할 때 특정 도로에 한정되게 만들 가능성이 클 것으로 추측되는데, 그러한 측면이 실제로 작동하는지에 대한 향후 연구가 필요할 것으로 판단된다.



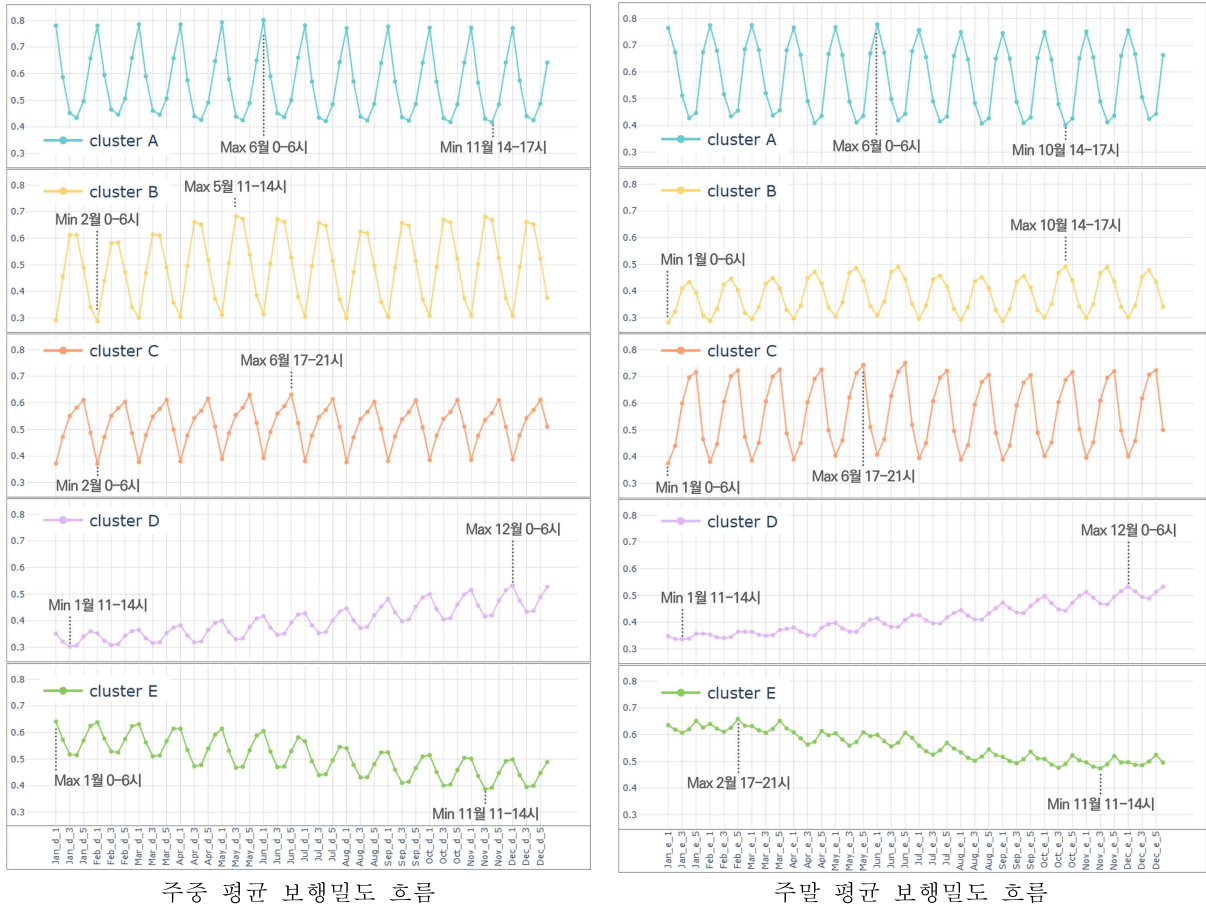
<그림 10> 지표별 상위 지역의 시공간적 보행밀도 양상

## 6. 보행밀도 역동성의 유형화

서울시 보도가 없는 도로의 시간대별 보행밀도가 어떤 변화 패턴을 보이는지 유형화를 하기 위하여 시계열 클러스터링을 수행하였다. 총 132,379개 도로링크를 대상으로 12개월의 주중과 주말 각 6개 시간대 지점을 고려한 총 144개 시간대 시점의 보행밀도 데이터에 시계열 평균분산 표준화(Time Series Scaler Mean Variance)를 실시한 후, 시계열 k-means 클러스터링을 수행하여 다섯 개의 클러스터로 분류되었다<sup>4)</sup>. 시간 흐름에 따른 클러스터별 보행밀도 역동성 추이는 <그림 11>과 같다. 이때의 보행밀도 값은 주중과 주말을 구분한 도로 링크 단위의 평균값을 나타낸다.

Time-series clustering 결과, 가로 단위 보행밀도는 총 5가지 패턴으로 분류되었다: 1) 주중 주말 일관 패턴(시간대와 관계없이 일관되며, 예측 가능한 패턴) 2) 주중(weekday) 낮 피크 패턴: 주말보다는 주중, 특히 11~14시에 보행밀도가 높아지는 지역, 3) 주말(weekend) 저녁 피크 패턴: 주중보다는 주말, 특히 17~21시에 보행밀도가 높아지는 지역, 4) 점진적 증가 패턴: 시간의 흐름에 따라 계속해서 보행밀도 증가하는 지역, 5) 점진적 감소 패턴: 시간의 흐름에 따라 계속해서 보행밀도 감소하는 지역으로 분류된다.

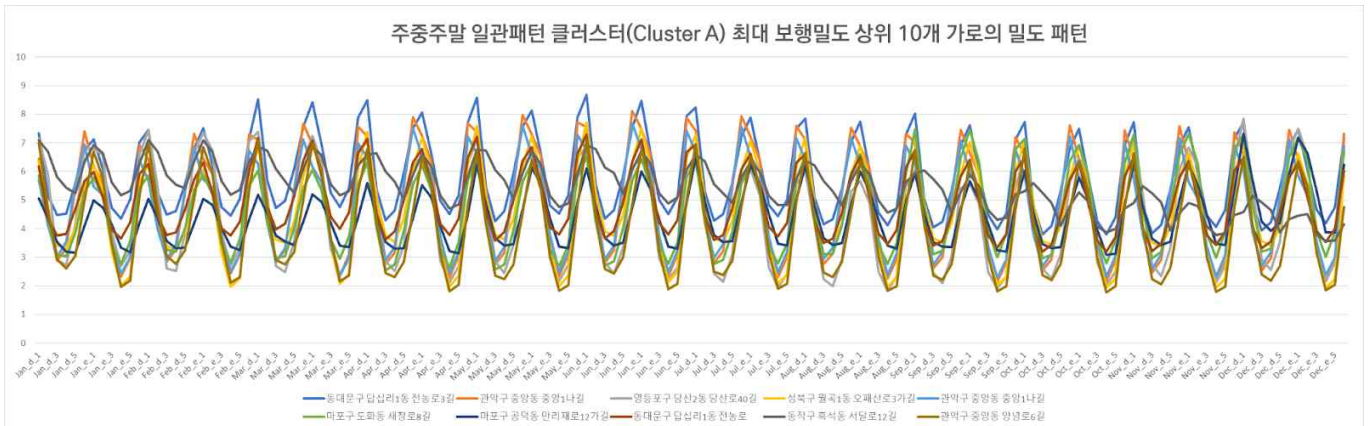
4) 보행밀도 패턴 클러스터링 기법과 과정에 대한 자세한 설명은 서울 데이터 펠로우십 보고서의 '보행과밀 관리를 위한 서울시 생활도로 보행밀도 시공간 패턴 분석' (pp.32~83)에서 확인할 수 있다.



<그림 11> 클러스터별 일 년간 링크 단위 평균 보행밀도

### 1) 주중주말 일관 패턴(Cluster A)의 보행밀도 패턴 특징

주중주말 일관 패턴(Cluster A)은 주중과 주말의 보행밀도 패턴 경향이 유사하게 나타난다(그림12). 특히 시간대별 변화를 보았을 때, 0~6시에 가장 높은 보행밀도가 관찰되며, 6~17시까지 지속적으로 보행밀도가 감소하다가 17시 이후부터 다시 증가하는 패턴이 나타난다. 이는 주간보다 야간에 통행이 집중되는 지역의 특성을 명확히 보여주며, 주거 지역에서의 생활인구(건물 내 인구나 포함하여 추정된 인구) 시간대별 변화 패턴과 유사한 경향이다. 이러한 시간대별 보행밀도의 평균적 경향성은 '주중주말 일관 패턴'에 속한 연중 최대 보행밀도 10개 가로의 개별 분석에서도 동일하게 확인되었다. 또한, 평일과 주말의 보행밀도 패턴의 차이가 크지 않고 유사한 경향성을 보인다. 따라서 이 클러스터는 평일과 주말 모두 야간 통행 밀집이 두드러지는 지역의 전형적인 보행밀도 패턴을 대표한다고 할 수 있다.

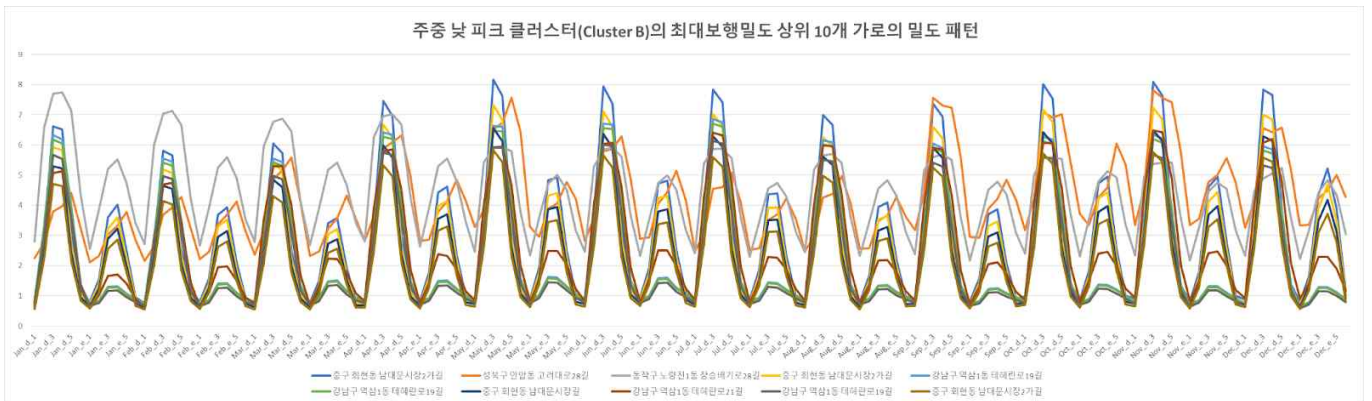


<그림 12> 주중주말 일관 패턴 클러스터(Cluster A) 최대 보행밀도 상위 10개 가로의 밀도 패턴

## 2) 주중 낮 피크(Cluster B)의 보행밀도 패턴 특징

주중 낮 피크(Cluster B)의 경우, 주말보다 주중에 보행밀도의 변동 폭이 더 크게 나타난다(그림13). 이 클러스터에 속하는 가로의 평균 보행밀도 변화 패턴을 살펴보면, 최저 보행밀도는 약 0.3(인/m<sup>2</sup>)이며 최고 보행밀도는 약 0.7(인/m<sup>2</sup>)로, 최고점과 최저점이 2배 이상의 차이를 보인다. 반면 주말의 경우 최저점(0.3인/m<sup>2</sup>)과 최고점(0.4~0.5인/m<sup>2</sup>) 간 차이가 1.5배 이내로, 이는 해당 가로들이 주중 낮 시간대에 특히 높은 밀도를 보인다. 시간대별로 상세히 살펴보면, 주중 11~14시 시간대에 가장 높은 보행밀도를 보인다. 주중과 주말 모두 0~6시에 가장 낮은 보행밀도를 보이다가 11~17시에 걸쳐 점차 증가하며, 17시 이후에는 다시 감소하는 패턴을 보인다. 이러한 특성은 주로 낮과 오후 시간대에 유동인구를 집중적으로 유인하는 상업 및 업무지구 내 좁은 도로에서 주로 관찰된다.

이러한 시간대별 보행밀도의 평균적 경향성은 '주중 낮 피크 클러스터'에 속한 연중 최대 보행밀도 상위 10개 가로의 개별 보행밀도 패턴에서도 유사하게 나타난다. 일부 가로의 경우 주중 11~14시가 아닌 주중 14~17시에 가장 높은 보행밀도를 보이지만 그 차이가 크지 않다.

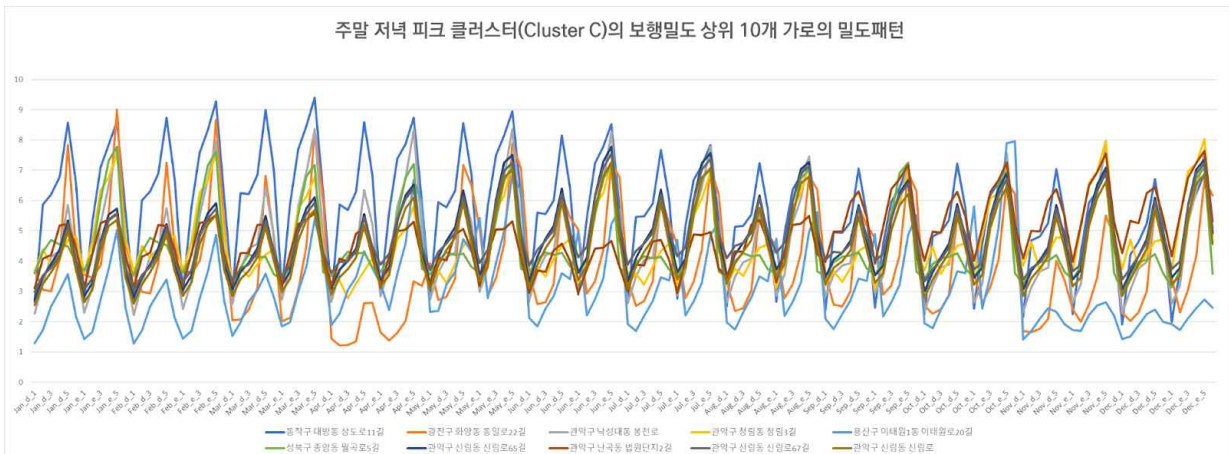


<그림 13> 주중 낮 피크 클러스터(Cluster B) 최대 보행밀도 상위 10개 가로의 밀도 패턴

## 3) 주말 저녁 피크(Cluster C)의 보행밀도 패턴 특징

주말 저녁 피크 클러스터(Cluster C)의 경우(그림14), 평균 보행밀도 패턴을 보면 주중보다 주말에 보행밀도 변동 폭이 더 크게 나타나지만, 그 변동 폭이 주중 낮 피크(Cluster B)의 주중-주말의 보행밀도 차이보다는 작게 나타난다. 주말 저녁 피크 클러스터에서 주중 시간대 보행밀도 최저점과 최고점은 약 0.2인/m<sup>2</sup> 정도 차이를 보이며, 주말에는 시간대 보행밀도 최저점과 최고점이 0.3인/m<sup>2</sup>로, 약간 더 큰 변동 폭임을 확인할 수 있다.

시간대별로 보면, 주중과 주말 모두 0시에서 21시로 갈수록 보행밀도가 점차 높아지고, 21시 이후에는 가파르게 보행밀도가 낮아진다. 연중 최대 보행밀도 상위 10개 가로의 밀도 패턴을 보면, '주중주말 일관 패턴(A)'과 '주중 낮 피크 패턴(B)'의 상위 10개 가로 밀도 변동성 추이와 비교하면 가로별 추이 간에는 차이가 다소 존재한다. 하지만 대체로 주중보다는 주말에 더 높은 보행밀도를 경향성은 확인할 수 있으며, 주말 17~21시 시간대에 가장 높은 보행밀도를 보인다.

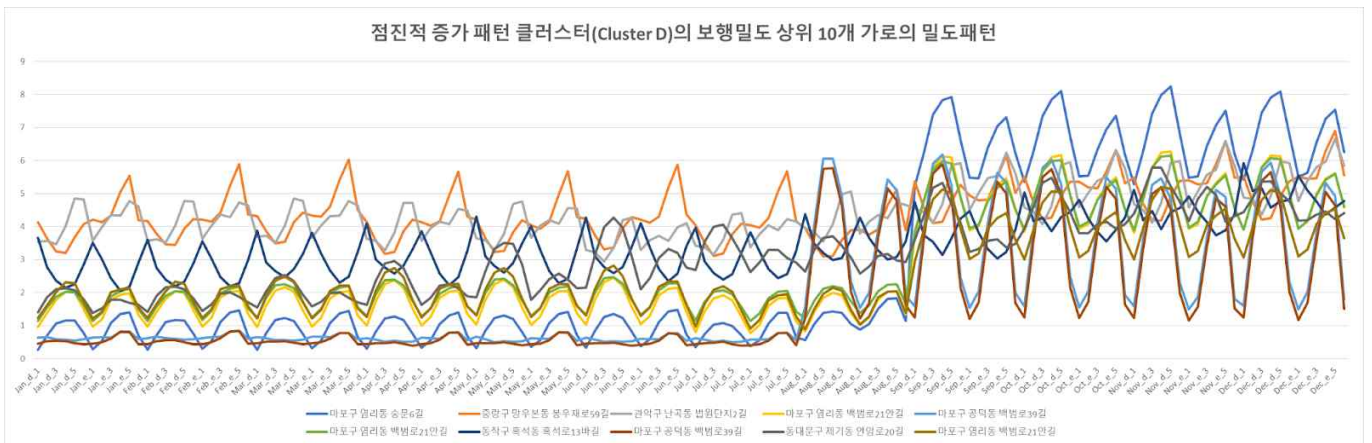


<그림 14> 주말 저녁 피크 클러스터(Cluster C) 최대 보행밀도 상위 10개 가로의 밀도 패턴

#### 4) 점진적 증가 패턴(Cluster D)의 보행밀도 패턴 특징

점진적 증가 패턴 클러스터(Cluster D)는 시간이 지날수록 보행밀도가 증가하는 특성을 보이며, 특히 시간이 지남에 따라, 월별로 모든 시간대에서 전반적인 보행밀도 상승이 관찰된다(그림15).

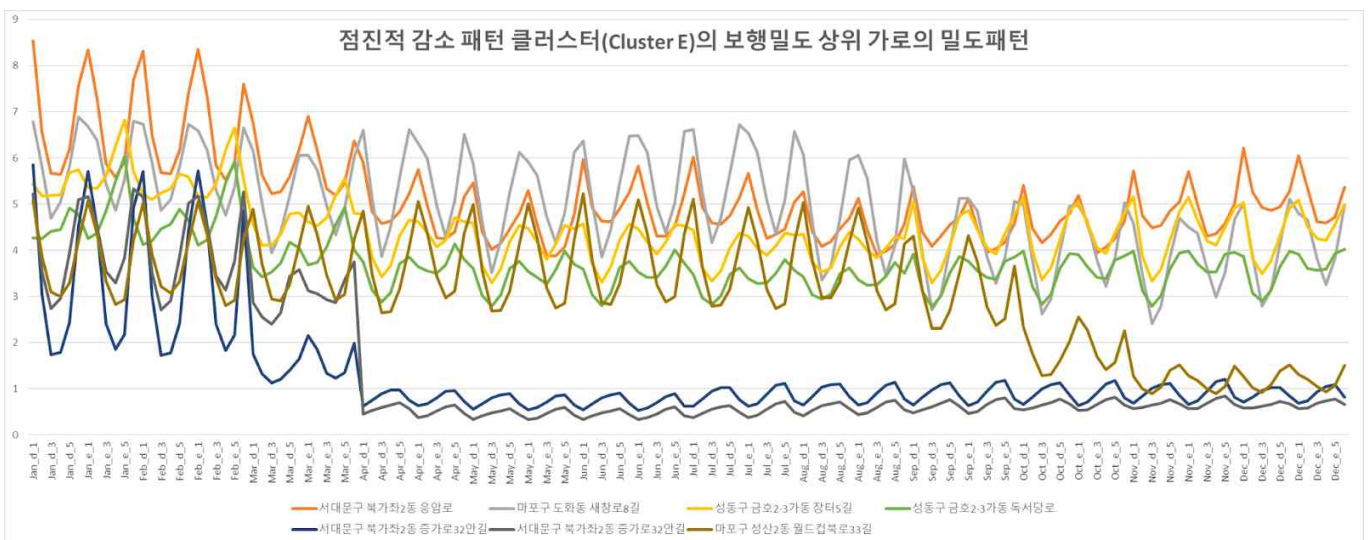
시간별 보행밀도 상위 10개 가로 중 주목할 만한 사례를 살펴보면, 마포구 공덕동 백범로 39는 8월부터, 마포구 염리동 송문6길과 마포구 염리동 백범로 21안길은 9월부터 보행밀도가 급격히 증가하는 양상을 보인다. 그 외의 가로의 경우에는 점차 보행밀도가 증가하는 추세를 나타낸다. 이처럼 보행밀도 증가세를 보이는 특징을 보인다는 점에서, 해당 클러스터는 보행밀도 추이에서 주기적인 패턴을 파악하기 위해서는 다년도에 걸친 분석이 필요하다. 증가 패턴이 연초 낮은 밀도에서 연말 높은 밀도로 이어지는 연간 순환적 특성인지, 혹은 지속적인 보행밀도 상승 추세인지를 정확히 파악하기 위해서는 단일 연도가 아닌 다년간의 데이터 분석이 요구된다.



<그림 15> 점진적 증가 패턴 클러스터(Cluster D)의 보행밀도 상위 10개 가로의 밀도 패턴

#### 5) 점진적 감소 패턴(Cluster E)의 보행밀도 패턴 특징

점진적 감소 패턴 클러스터(Cluster E)는 시간이 지날수록 보행밀도가 감소하는 특성을 보이며, 특히 시간이 지남에 따라, 월별로 모든 시간대에서 전반적인 보행밀도 감소하는 경향이 관찰된다(그림16). 시간별 보행밀도 상위 가로 중 주목할 만한 사례를 살펴보았을 때도, 점차 보행밀도가 감소하는 추세가 나타난다. 하지만, 점진적 증가 패턴 클러스터(Cluster D)에서 짚었던 유의사항과 같이, 이 클러스터에서도 보행밀도 패턴의 주기성을 파악하기 위해서는 다년도 분석이 필요하다. 감소 패턴이 연초 높은 밀도에서 연말 낮은 밀도로 이어지는 연마다 반복되는 특성인지, 혹은 지속하는 보행밀도 감소 추세인지를 다년간의 데이터 분석이 이루어져야 파악이 가능할 것이다.



<그림 16> 점진적 감소 패턴 클러스터(Cluster E)의 보행밀도 상위 가로의 밀도 패턴

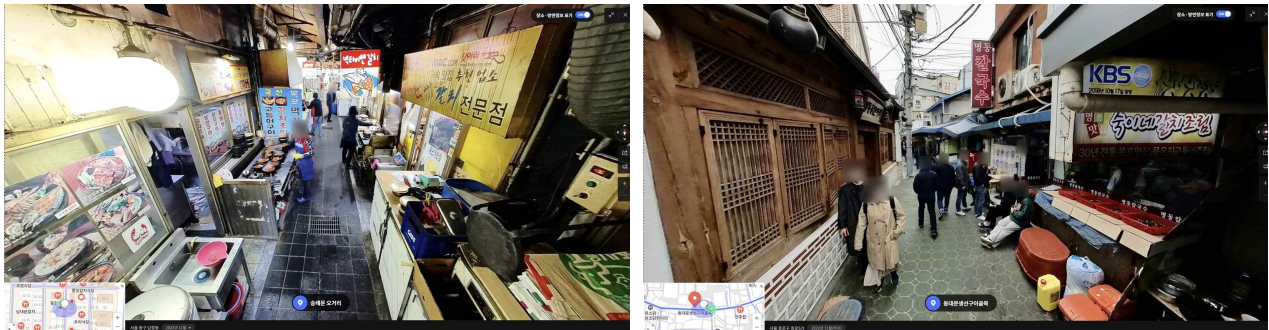
## 7. 사례로 살펴보는 보행자우선도로 탄력적 운영 방식 제안

본 장에서는 앞서 수행한 보행밀도 유형화 결과를 실제 도시정책에 적용하기 위한 구체적인 사례 분석을 진행한다. 특히 클러스터별로 도출된 보행밀도 패턴을 바탕으로, 보행자우선도로 정책의 탄력적 적용 방안을 제시하고자 한다. 분석 대상은 보도가 없는 보차혼용도로를 중심으로 하는 보행자우선도로에 초점을 맞추었다.

사례 분석은 앞서 도출한 클러스터별 특성을 반영하여 특정 시간대에 집중적으로 높은 보행밀도를 보이는 구간을 중심으로 선정하였다. 사례 선정을 위한 구체적인 기준과 과정은 다음과 같다. 우선 1년간의 최대 보행밀도를 기준으로 하되, 해당 클러스터의 피크타임 평균 밀도보다 높은 수치를 보이는 도로만을 일차적으로 선별하였다. 예를 들어 클러스터 B의 경우, 주중 11~14시에 최고 보행밀도를 보이므로, 이 시간대의 클러스터 평균 밀도를 상회하는 도로 구간만을 대상으로 하였다.

이후 물리적 환경을 고려한 2차 필터링을 실시하였다. 차량 통행이 사실상 불가능한 도로폭 4m 미만 구간은(그림17) 제외하였다. 또한, 도로길이가 짧은 가로에서는 보행 흐름의 연속성이 떨어지므로 정책적 실효성을 고려하여 도로길이가 10m 미만인 가로는 선정대상에서 제외하였다. 로드뷰를 통해 실제 도로 환경을 확인한 후, 현재 보행자우선도로로 지정되지 않은 곳을 우선적으로 검토하였다. 추가적으로 보행자 사고다발지역 여부도 고려 대상에 포함하였다.

이러한 사례 분석을 통해 본 연구는 두 가지 측면에서 정책적 제안을 도출하고자 한다. 첫째, 시간대별 보행밀도 변화가 큰 구간에 대한 탄력적 운영방안, 둘째, 현재 전용·우선도로로 지정되어 있으나 실제 보행 패턴과 운영시간이 일치하지 않는 구간에 대한 개선방안이다. 이들은 모두 본 연구에서 도출한 클러스터링 결과를 직접적으로 활용할 수 있는 부분으로, 시간대별 보행 특성을 반영한 탄력적 보행자우선도로 운영 정책의 토대가 될 것으로 기대된다.



<그림 17> 도로폭 4m 미만의 이면도로 (좌: 남대문시장길, 우: 종로40가길(동대문생선구이골목))  
자료: 네이버 지도 스트리트뷰

### 1) 보행자 우선도로의 탄력적 운영 사례 제안

#### (1) 주중 낮(14시~17시) 보행자 우선도로

주중 낮 시간대에 높은 보행밀도를 보이는 도로 구간들을 분석한 결과, 다음과 같은 주요 특성이 도출되었다. 첫째, 이들 도로는 대표적인 상업 및 업무 중심지에 위치하고 있다. 테헤란로 일대(테헤란로19길, 테헤란로21길, 테헤란로81길), 종로·인사동 일대(종로56길, 인사동8길, 인사동10길), 강남역·역삼역 부근(역삼로81길, 봉은사로29길), 남대문시장 일대(남대문시장길, 남대문시장2가길) 등 서울의 주요 상권이 이에 해당한다. 둘째, 도로 유형의 측면에서 살펴보면, 대부분 대로변의 이면도로이며 주요 상권 내 골목길의 성격을 띠고 있다. 특히 폭이 좁은 보차혼용도로가 다수를 차지하며, 상업 시설 진출입로로서의 성격이 강하다. 셋째, 주변 시설의 특성을 보면, 오피스 밀집 지역(테헤란로, 종로 일대), 관광특구(인사동, 종로), 상업·업무 복합지역(강남, 역삼), 도매상가 밀집 지역(남대문시장 일대), 전통시장 인근(남대문시장, 창신시장) 등 다양한 업종이 혼재되어 있다. 이를 통해 해당 도로들은 업무 목적 통행, 상업·쇼핑 목적 통행, 관광 목적 통행이 복합적으로 나타나며, 특히 점심 시간대에 보행이 집중되는 특징을 보임을 알 수 있다. 넷째, 지리적 특성으로는 주요 지하철역과 버스정류장 인근에 위치하고 있으며, 대로와 이면도로의 연결지점이자 주요 상권 내부 도로라는 공통점이 있다. 토지이용 측면에서는 상업 지역과 업무지역이 혼재되어 있으며, 도소매상가, 음식점, 오피스 건물이

밀집해 있다는 특징을 보인다.

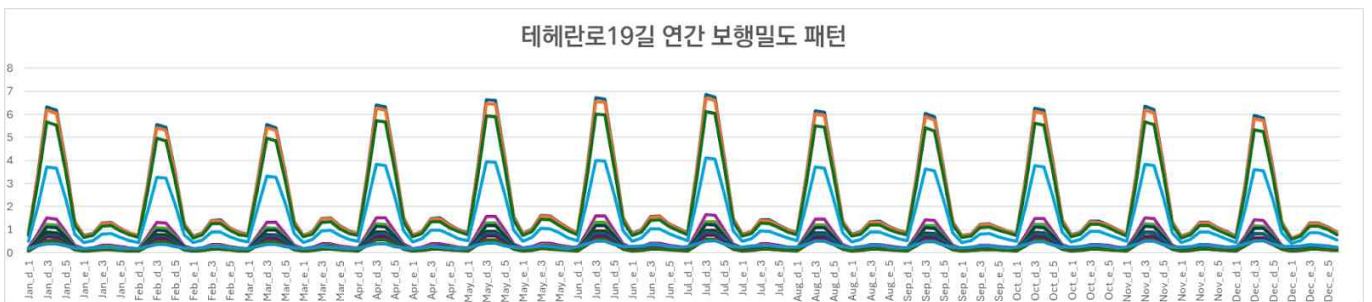
이러한 특성들은 주중 낮 시간대 업무·상업 활동이 활발한 도심지역의 전형적인 특징을 보여준다. 특히 도매상가, 오피스 밀집 지역, 관광특구 등 주간 활동이 집중되는 지역의 이면도로라는 공통점이 있으며, 업무·상업 활동에 따른 일상적이고 정기적인 보행패턴을 보이는 것이 특징이다. 이와 같은 특징을 살펴 아래와 같이 주중 낮(14시~17시) 보행자우선도로를 선정하였다.

① 테헤란로19길

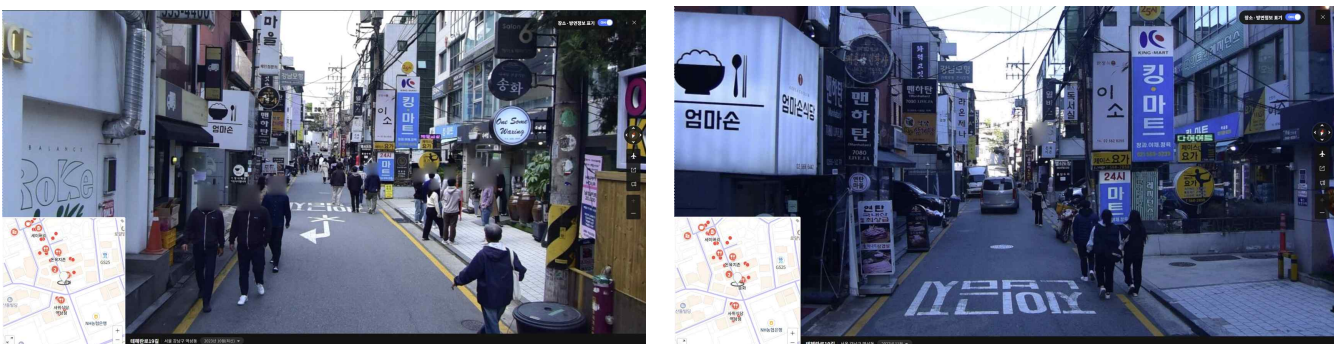
테헤란로19길은 서울의 대표적인 업무·상업 중심지인 강남역 일대에 있는 도로로, 다수의 오피스 빌딩과 상업 시설이 밀집해 있어 직장인들의 유동인구가 매우 높은 지역이다. 테헤란로19길의 보행 패턴은 업무지구의 전형적인 특성을 보이며, 주중-주말, 시간대별 변동이 매우 뚜렷하게 나타난다. 보행밀도 패턴 분석 결과, 뚜렷한 '주중 낮 피크' 보행 패턴을 보이는 것으로 나타났다(그림18, 그림13). 특히 평일 점심 시간대(11:00~14:00)와 오후 시간대(14:00~17:00)에 보행밀도가 급증하여 최대 6인/m<sup>2</sup>까지 상승하는 특성을 보인다. 월별 패턴은 거의 비슷하며, 주기적인 패턴을 보이지만, 5~7월에 보행밀도가 상대적으로 높게 나타나며, 이는 봄에서 여름 기간 직장인들의 외부 활동 증가와 관련이 있는 것으로 보인다.

또한, 테헤란로19길은 폭 6m 내외의 이면도로로, 강남대로와 테헤란로를 연결하는 주요 보행축 역할을 하고 있다. 도로 양측으로는 각종 음식점, 카페, 편의점 등 생활밀착형 상업 시설들이 즐비해 있어 직장인들의 점심 식사 및 회식 장소로 많이 이용되고 있다. 또한 강남역과 역삼역을 잇는 중간 지점에 위치하여 대중교통 이용객들의 주요 이동 경로로도 활용되고 있다. 이러한 지역적 특성으로 인해 주중 업무 시간대의 보행량이 집중되는 현상이 발생하며, 특히 점심 시간대에는 인근 직장인들의 통행이 급증하여 보행밀도가 크게 증가하는 특징을 보인다.

따라서, 보행자우선도로의 공간적 범위는 테헤란로19길 전 구간을 대상으로 하며, 주요 진입부에서 차량 통행을 제한적으로 허용하되 보행자 통행을 우선시하는 방식으로 운영한다. 운영시간은 보행밀도가 가장 높은 평일 11시부터 18시까지로 설정한다. 강남대로와 테헤란로라는 대로변 사이에 위치한 이면도로의 특성을 고려할 때, 대로의 높은 보행밀도를 분산시키고 안전한 보행환경을 제공하는 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.



<그림 18> 테헤란로19길 연간 보행밀도 추이



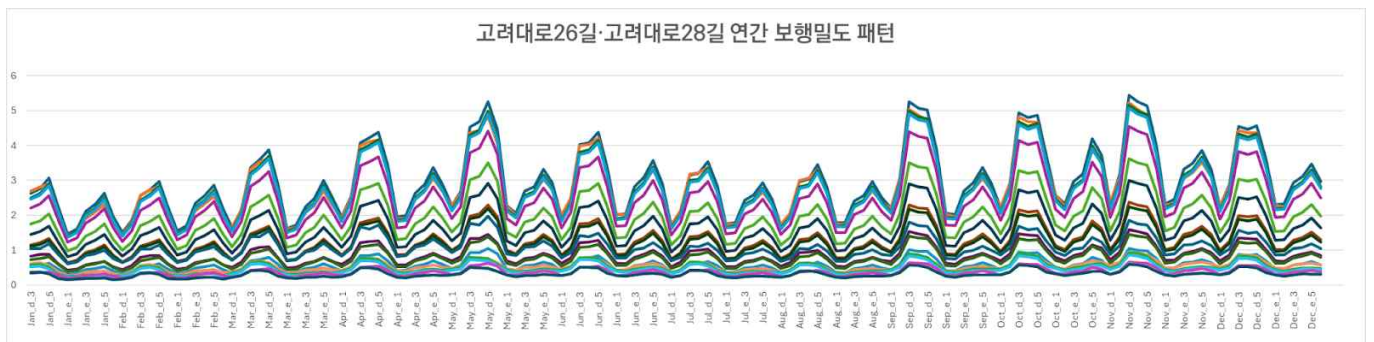
<그림 19> 테헤란로19길  
자료: 네이버 지도 스트리트뷰

### ② 고려대로28길 및 고려대로26길

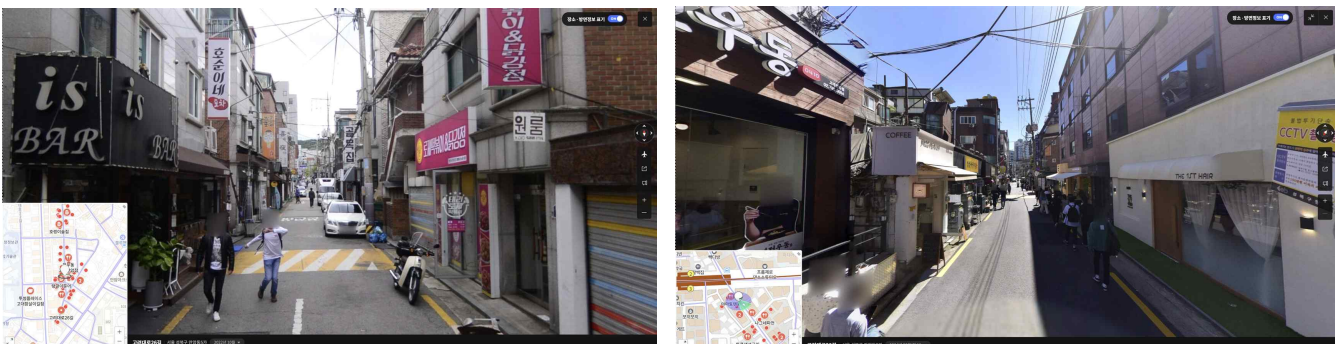
고려대로26길과 28길은 고려대학교 정문 앞 상권의 핵심 도로로, 대학가의 특성과 상업 시설이 복합적으로 어우러진 지역이다. 이 지역의 보행 패턴은 대학가의 전형적인 특성을 보이며, 학기-방학, 주간-야간의 변동이 뚜렷하게 나타난다. 보행밀도 패턴 분석 결과, '주중 낮 피크' 보행 패턴이 나타났다(그림20, 그림13). 특히 학기 중에는 수업 시작 전인 오전 시간대와 점심시간, 그리고 수업이 끝난 후인 저녁 시간대(17:00~21:00)에 보행밀도가 증가하여 최대 5인/m<sup>2</sup> 이상까지 상승하는 특성을 보인다. 월별 패턴을 살펴보면 개강 시기인 3월과 9월, 그리고 대학 축제 기간인 4~5월, 10~11월에 보행밀도가 높게 나타나는 반면, 방학 기간인 7~8월과 1~2월에는 상대적으로 낮은 보행밀도를 보인다.

고려대로26길과 28길은 각각 폭 4~7m의 이면도로로, 안암로와 고려대로를 연결하는 주요 보행축 역할을 하고 있다. 도로 양측으로는 식당, 카페, 서점 등 대학생들의 생활과 밀접한 상업 시설들이 밀집해 있으며, 특히 저녁 시간대에는 각종 음식점과 주점을 찾는 대학생들로 인해 보행밀도가 증가한다. 또한 안암역과 고려대학교를 연결하는 주요 통학로의 기능도 수행하고 있어, 등하교 시간대의 보행밀도 역시 높은 수준을 보인다.

따라서, 보행자우선도로의 공간적 범위는 고려대로26길과 28길 전 구간을 대상으로 하며, 운영시간은 보행밀도가 높은 평일 14시부터 21시까지로 설정하되, 학기 중과 방학 중의 운영시간을 차별화하여 단력적으로 운영할 필요가 있다. 특히 대학 정문 앞 상권이라는 특수성을 고려할 때, 학기 중에는 보다 강화된 보행자 보호 정책이 필요하며, 이는 대학생들의 보행 안전성 향상과 함께 지역의 상권 활성화에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.



<그림 20> 고려대로26길 및 고려대로28길 연간 보행밀도 추이



<그림 21> (좌) 고려대로26길, (우) 고려대로28길  
자료: 네이버 지도 스트리트뷰

### ③ 장승배기로30길

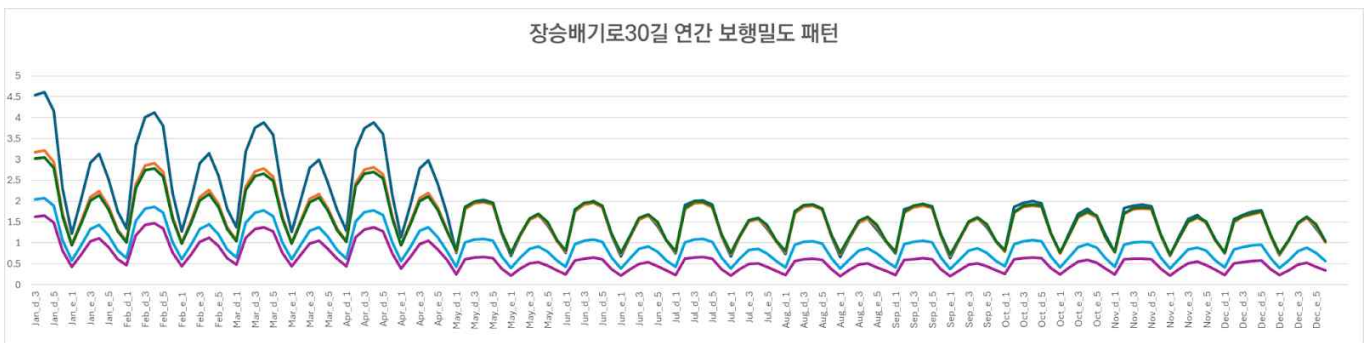
장승배기로30길은 노량진역 인근에 위치하며, 대학입시학원과 공무원시험 준비학원 등이 밀집해 있어 수험생들의 통행이 매우 잦은 지역이다. 보행밀도 패턴 분석 결과, '통원형' 보행 패턴이 뚜렷하게 나타났다(그림22, 그림13). 장승배기로30길의 보행 패턴은 입시 학원가의 특수성을 잘 반영하고 있으며, 일반적인 통근·통학 패턴과 유사하지만 보다 뚜렷한 시간대별 집중도를 보인다. 특히 연초의 높은 보행밀도는 입시 학원가만의 독특한 특징으로, 이 시기에 대한 집중관리방안이 필요하다.

특히 학원 수업 시작 시간대인 오전과 오후 수업 시작 시간대에 보행밀도가 급증하여 최대 4.5인/m<sup>2</sup> 까지 상승하는 특성을 보인다. 월별 패턴을 살펴보면 새 학기가 시작되는 1~2월에 신규 수험생들의 유입으로

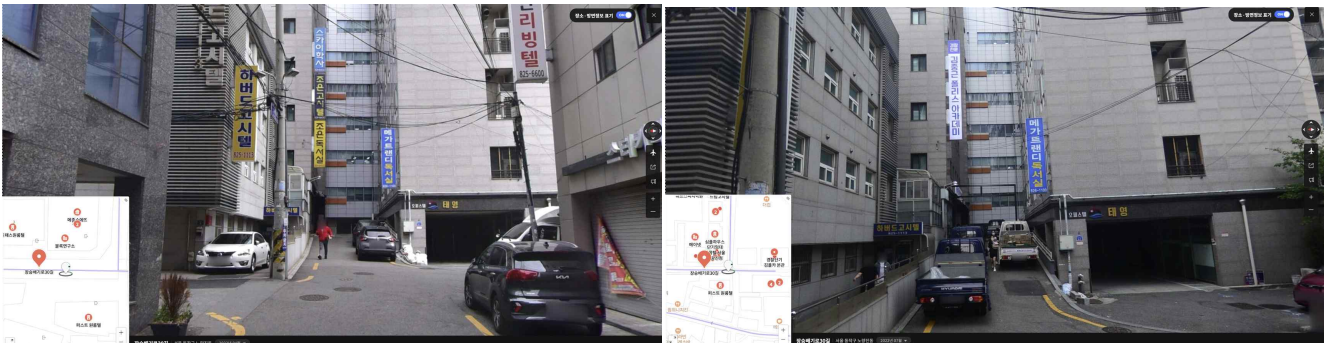
인해 연중 최고 보행밀도를 기록하며, 공무원시험 집중 시기인 상반기(1~4월)까지 보행밀도가 특히 높게 나타나는 것이 특징이다. 이는 재수생들의 새해 학원 등록과 공무원 수험생들의 연초 학습 시작이 집중되는 입시 학원가만의 독특한 특성을 보여준다.

장승배기로30길은 폭 4m의 이면도로로, 노량진역과 주요 학원가를 연결하는 보행축 역할을 담당한다. 도로 양측으로는 대형 입시학원들과 함께 식당, 카페 등 수험생들의 생활을 지원하는 각종 편의시설이 밀집해 있다. 또한 지하철 1호선과 9호선이 교차하는 노량진역과 인접해 있어 대중교통을 이용한 수험생들의 주요 통행로로 활용되고 있다. 이러한 지역적 특성으로 인해 평일 수업 시작 시간대의 보행량이 집중되는 현상이 발생하며, 특히 학원 등·하원 시간대에는 수험생들의 통행이 급증하여 보행밀도가 크게 증가하는 특징을 보인다.

따라서, 보행자우선도로의 공간적 범위는 장승배기로30길 전 구간을 대상으로 하며, 운영시간은 보행밀도가 가장 높은 평일 아침부터 오후 시간대까지 설정할 필요가 있다. 특히 연초 신규 수험생 유입 시기에는 운영시간을 확대하는 등 탄력적 운영이 필요하다. 이는 수험생들의 보행 안전성 향상과 학습 환경 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다. 이밖에도 수험생들의 학습 환경을 고려하여 소음 저감 등 정온한 보행환경 조성을 위한 추가적인 방안도 검토할 필요가 있다.



<그림 22> 장승배기로30길 연간 보행밀도 추이



<그림 23> 장승배기로30길  
자료: 네이버 지도 스트리트뷰

(2) 주말 저녁(17시~20시) 보행자 우선도로

주말 저녁 시간대에 높은 보행밀도를 보이는 도로 구간들의 공통적 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 특징을 보인다. 첫째, 도로 대부분이 상업 시설이 밀집한 지역에 위치한다. 특히 식당, 카페, 술집 등 여가 관련 시설이 집중된 이태원 상권(이태원로20길, 이태원로20가길, 신림·봉천 상권(신림로65길, 신림로67길, 봉천로), 대학로·동숭동 상권(대학로9길, 동숭2길) 등이 대표적이다. 둘째, 대중교통 접근성이 좋은 지역에 위치한다는 특징이 있다. 낙성대역, 신림역, 도봉역, 방학역 등 지하철역 인근에 위치한 도로가 다수이며, 남부순환로, 도봉로, 아차산로 등 주요 간선도로와 연결된 이면도로가 많다. 셋째, 도로 자체의 물리적 특성을 살펴보면, 대부분 폭이 좁은 이면도로이며 주요 상업가로 와 연결된 골목길 성격을 띠고 있다. 또한 보차혼용도로가 많아 보행자와 차량 간의 상충이 발생할 가능성이 높다. 주변 환경적 측면에서는 주거 지역과 상업 지역이 혼재되어 있다는 특징이 있다. 특히 유흥 및 식당가와 주거 지역이 인접해 있는 형태가 많이 관찰된다. 넷째, 이들 도로는 신림·봉천 지역, 이태원 지역, 대학로 지역 등 특정 상권을 중심으로 군집을 이루는 특징을 보인다. 해당 지역들은 주말 저녁 시간대에 여가 및 외식 활동이 집중되는 지역의 전형적인 특징을 보여준다.

이들 도로는 특히 주거지역과 인접한 상업지구, 대중교통 접근성이 좋은 이면도로라는 공통점이 두드러진다. 이러한 특성을 고려할 때, 해당 도로들에 대해서는 주말 저녁 시간대 차량 통행 제한 등 시간대별 탄력적 운영 등의 정책적 접근을 고려할 수 있다.

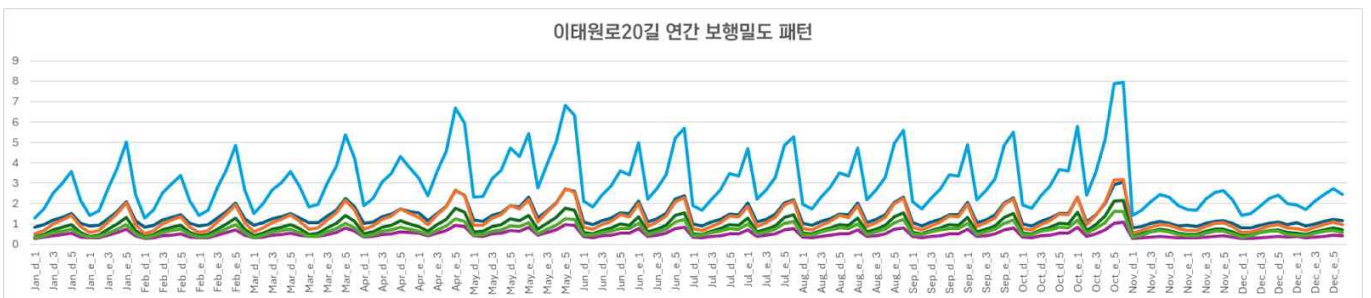
① 이태원로20길

이태원은 서울의 대표적인 상업·문화 지역으로, 각국의 음식점과 클럽, 바(bar) 등 다양한 유흥시설이 밀집해 있어 내·외국인의 방문이 잦은 서울의 대표적인 야간문화 중심지이다. 보행밀도 패턴 분석 결과 뚜렷한 '주말 저녁 피크' 보행 패턴을 보이는 것으로 나타났다(그림24, 그림14). 특히 주중과 주말의 뚜렷한 보행량 차이가 발생하며, 주말 저녁(18:00~24:00) 시간대에 보행밀도가 급증하여 평일 대비 최대 2~3배까지 증가하는 특성을 보인다. 계절적으로는 10월 할로윈 시즌에 보행밀도가 연중 최고치를 기록하여 최대 8인/m<sup>2</sup>까지 상승하며, 봄·가을에도 보행밀도가 상승하는 패턴을 보인다. 한편, 분석에 활용된 데이터는 2022년 보행량 데이터로, 10월 29일 할로윈 축제 당시 발생한 압사 사고 이후 11월과 12월의 보행밀도는 급격히 감소한 것으로 나타났다.

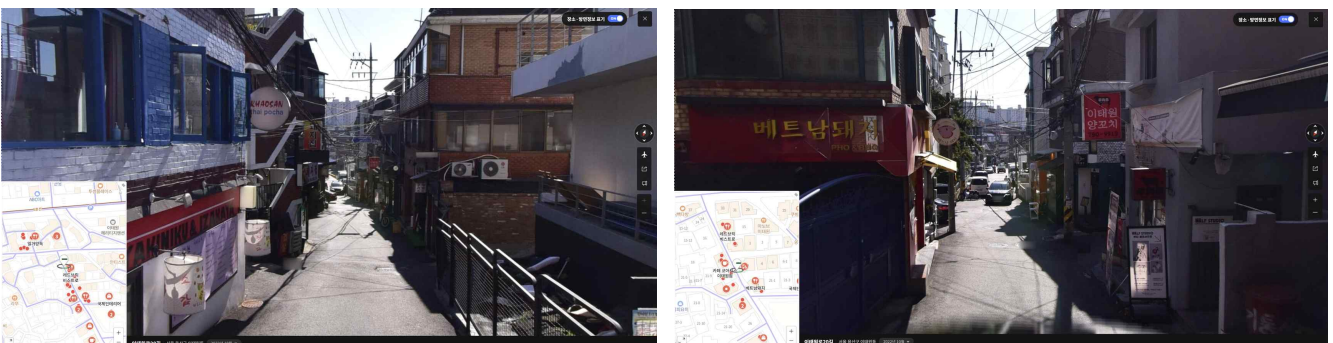
이태원로20길은 폭 5m 내외의 좁은 도로폭을 가진 이면도로임에도 불구하고, 도로 양쪽에 위치한 상업 시설로 인해 보행밀도가 매우 높은 특징을 보인다. 또한 세계음식문화거리와 이태원 관광특구의 핵심 상권을 연결하는 주요 보행축 역할을 담당하고 있다. 이러한 지역적 특성으로 인해 주말 야간시간대의 보행량이 집중되는 현상이 발생하며, 특히 할로윈 기간에는 청년층의 방문이 급증하여 보행밀도가 크게 증가하는 특징을 보인다.

따라서, 보행자우선도로의 공간적 범위는 이태원로20길 전 구간을 대상으로 하며, 주요 교차로 진입부의 차량을 통제하며, 할로윈 기간에는 보행자우선도로 영역 또한 확대 운영한다. 운영 방식으로는 보행자 통행 우선권을 부여하고, 긴급차량을 제외한 차량 진입을 제한하며, 노상 주차를 제한할 필요가 있다.

이태원로20길의 보행 패턴은 요일과 시간대에 따른 변동성이 매우 큰 특징을 보이며, 이는 해당 거리의 상업·문화적 특성을 반영한다. 따라서 이태원의 경우, 계절별·요일별 보행량에 따른 유연한 운영시간 조정과 함께 특히, 특별 행사 기간 맞춤형 운영방안 수립 등 탄력적 운영이 필요하며, 실시간 보행량 모니터링 시스템을 구축하고 운영 효과를 정기적으로 평가하여 피드백하는 체계도 구축되어야 할 필요가 있다.



<그림 24> 이태원로20길 연간 보행밀도 추이



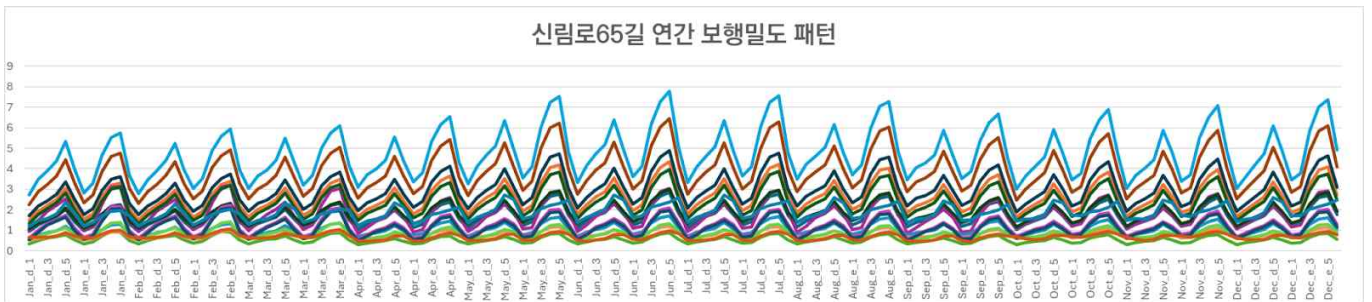
<그림 25> 이태원로20길  
자료: 네이버 지도 스트리트뷰

② 신림로67길

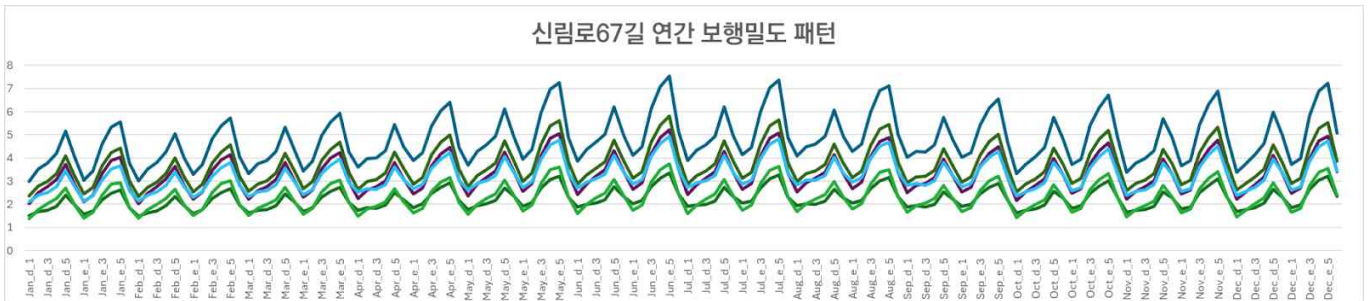
신림로67길은 서울의 대표적인 상업지구인 신림동 별빛거리 내에 위치한 도로로, 다양한 음식점과 카페, 소매점이 밀집해 있어 청년층의 방문이 잦은 지역이다. 보행밀도 패턴 분석 결과 '주말 저녁 피크' 보행 패턴을 보이는 것으로 나타났다(그림26, 그림14). 특히 주중과 주말의 뚜렷한 보행량 차이가 발생하며, 6월 주말 저녁(17:00~21:00) 시간대에 보행밀도가 최고치를 기록하여 평상시 대비 최대 2배까지 증가하는 특성을 보인다.

신림로67길은 인접한 신림로65길과 함께 별빛거리의 핵심 상권을 형성하고 있다. 현재 신림로65길은 보행자우선도로로 지정되어 전일 운영되고 있으나, 보행밀도 수요에 대응하고 지역 상권의 활성화를 위해 신림로67길까지 보행자우선도로 확대 지정이 필요한 상황이다. 한편, 신림로65길의 경우, 현재의 전일 운영에서 저녁 시간대 중심의 탄력적 운영으로 전환하여 낮 시간대 차량 소통을 원활히 할 필요가 있다.

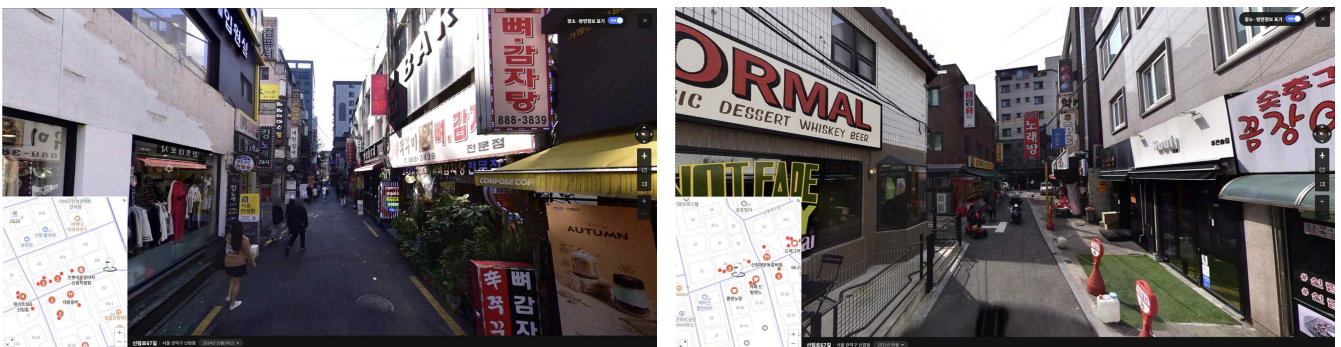
이러한 보행 특성을 고려하여 신림로67길의 보행자우선도로 운영을 제안할 때, 운영시간은 금요일·토요일·일요일 17:00~21:00로 설정하되, 보행수요가 증가하는 하절기(6~8월)에는 운영시간을 24:00까지로 조정할 필요가 있다. 공간적 범위는 신림로67길 전 구간을 대상으로 하며, 주요 교차로 진입부의 차량을 우회하도록 유도하는 방안이 필요하다.



<그림 26> 신림로65길 연간 보행밀도 추이



<그림 27> 신림로67길 연간 보행밀도 추이



<그림 28 > 신림로67길

자료: 네이버 지도 스트리트뷰

보행밀도 패턴에 대응하여 보행자우선도로를 탄력적으로 운영함으로써 기대되는 효과는 다음과 같다. 첫째, 보행밀도 집중 시간대의 차량 간섭을 최소화하고 보행자-차량 상충을 예방하여 보행 안전성이 향상될 것으로 예상된다. 둘째, 보행친화적 환경 조성으로 체류 시간이 증가하고 상업 시설 접근성이 향상되어 지역 상권이 활성화될 것으로 기대된다. 셋째, 보행자 중심의 문화공간을 조성하고 지역 축제 및 이벤트 활성화 기반을 마련하여 문화거리로서의 정체성이 강화될 것으로 전망된다.

## 8. 결론

본 연구는 기존의 보행량 중심 접근방식에서 벗어나 보행밀도를 중심으로 서울시 생활도로를 심층적으로 분석하고, 지속가능한 도시를 위한 보행밀도의 효율적 관리 및 보행환경 개선방안을 제시하고자 하였다. 이에 보행밀도의 시공간적 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 보행자우선도로의 탄력적 운영방안을 제안하였다. 연구모임 활동을 수행하며 정리한 각 장의 분석결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

“5. 시간 흐름에 따른 행정동별 보행밀도의 격차 탐색” 장에서는 시차에 의한 보행의 양적 격차의 관점으로 지표표를 구축하고 행정동 단위로 적용하여 보행밀도의 절대적인 강도와 순간적인 집중도를 함께 살펴보았다. 이를 위하여 생활도로의 특성을 파악하기 위해 세 가지 방식으로 접근한 지표(최대 밀도값, 일간 평균 대비 격차, 연간 시간대별 평균 대비 격차)를 구축하여 분석하였으며, 이를 통해 행정동별 보행밀도의 강도(intensity)와 집중도(concentration)를 정량적으로 비교할 수 있었다. 특히 세 지표를 통해 화양동과 같이 상시 보행밀도가 높은 지역, 종로 1·2·3·4가동과 같이 일간 격차가 큰 지역, 이태원1동과 같이 연간 특정 시기에 보행밀도가 급증하는 지역의 특성을 효과적으로 구분할 수 있었다.

“6. 보행밀도 역동성의 유형화” 장에서는 보행밀도의 역동적인 흐름 그 자체를 이용하여 시간에 따른 패턴을 k-means 클러스터링 기법을 활용하여 유형화하였다. 도로별 보행밀도 패턴을 군집화하여 보행밀도 패턴의 5가지 유형(주중 주말 일관 패턴, 주중 낮 피크 패턴, 주말 저녁 피크 패턴, 점진적 증가 패턴, 점진적 감소 패턴)을 도출하였다. 생활도로의 보행밀도는 시간대와 공간적 특성에 따라 뚜렷한 패턴 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 특히 주중 낮 시간대에 보행밀도가 집중되는 도심 업무지역과 주말 저녁 시간대에 보행밀도가 급증하는 지역은 주거지역 대비 뚜렷한 특징을 보이는 것을 파악할 수 있었다.

“7. 사례로 살펴보는 보행자우선도로 탄력적 운영 방식 제안” 장에서는 앞의 클러스터링 분석 결과와 연계하여 시계열적 보행밀도의 패턴 유형의 대표적인 사례를 공간적으로 살펴보고, 보행밀도의 시간적 변동성을 고려한 탄력적 보행자우선도로 운영방안을 제안하였다. 구체적으로, 테헤란로19길과 고려대로28길 등 업무·교육 중심지역은 주중 낮 시간대(14시~17시)에, 이태원로20길과 신림로67길 등 상업·문화 중심지역은 주말 저녁 시간대(17시~20시)에 보행자우선도로로 운영하는 방안을 제안하였다. 보행자우선도로의 탄력적 운영을 통해 보행 안전성 향상, 지역 상권 활성화, 문화거리 정체성 강화 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 몇 가지 의의를 지닌다. 먼저, 다양한 관점에서 보행밀도의 시공간적 측면을 파악하려는 시도는 기존에 거의 이루어지지 않은 만큼 탐색적인 기초연구로서 의미가 있다. 정확한 진단이 선행된 후에 문제를 이해할 수 있고 그에 대한 적절한 처방이 내려질 수 있듯이, 마치 유기체처럼 변화하는 도시 내의 사람들의 활동 패턴을 파악하는 과정은 향후 도시의 운영과 관리에 대한 올바른 정책 방향을 제시하기 위해 기본적인 토대가 될 수 있다. 다음으로, 시간에 따라 달라지는 보행밀도의 추이를 하나의 역동성으로 인식하고, 가로라는 정밀한 공간 단위를 사용하여 유형화함으로써 보이지 않지만 존재하는 유형별 특성을 찾아낼 수 있었다. 이때 빅데이터를 활용함으로써 서울시 전역을 대상으로 넓은 공간 범위를 포함함으로써, 기존의 연구가 한정된 공간 범위만을 다루어 일반화가 어려웠던 점을 극복할 수 있었다. 마지막으로, 보행밀도의 시공간적 특성에 대한 분석 결과를 바탕으로 구체적인 정책의 방향성을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 특히 보행밀도의 시간대별 패턴을 고려한 탄력적 운영방안은 한정된 도로 공간의 효율적 활용과 보행 안전성 향상이라는 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있는 대안이 될 것으로 기대된다.

한편, 본 연구는 보행밀도 데이터는 기지국 기반의 통신사 데이터를 활용하여 아주 미시적인 공간 단위로 추정하고 있는 만큼 작은 공간 단위로 추정할 때 발생할 수 있는 데이터 추정 오차가 반영되었을 가능성이 존재하는 한계를 지닌다. 따라서, 향후 연구에서는 다양한 공간 단위에서 보행밀도를 추정하고, 실제 관측 데이터와의 비교 검증을 통해 데이터의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 하지만 이는 최근 도시 활동에 관하여 빅데이터를 활용한 대부분의 연구에서도 발견되는 한계점이며, 동시에 전반적인 도시활동의 경향성을 파악하는 측면에서는 실질적으로 매우 유용한 데이터로 인정받고 있다. 더불어, 이 연구에서는 시간대별 운영의 필요성과 방향성을 제시하였으나, 실제 도입을 위해서는 교통 체계, 주차 관리, 상인들과의 협의 등 종합적이고 현실적인 실행계획이 필요하다고 판단된다. 그러므로 향후 본 연구를 시작으로, 다양한 측면이 함께 고려된 데이터 기반의 보행활동 연구가 활성화되고, 이러한 연구들에 기반하여 보다 안전하고 쾌적한 도시환경이 조성되는 데에 기여할 수 있기를 기대한다.

## 참고문헌

### 국내문헌

- 강민지, 강지우, & 박신형. (2022). 보행자 안전 증진을 위한 생활권 도로의 제한속도 기준 마련 연구. 대한교통학회 학술대회지, 517-522.
- 고준호. (2017). 자동차도시에서 보행친화도시로의 전환. 서울연구원.
- 국토교통부. (2014). 보행자 중심의 가로경관 가이드라인.
- 국토교통부. (2024). 제4차 스마트도시 종합계획(안)(2024~2028).
- 국토해양부. (2013). 도로용량편람.
- 김묘정. (2017). 주거지 보행환경과 유모차 동반 여성보행자의 외출특성 및 보행심리와의 관계. 한국주거학회논문집, 28(1), 45-54.
- 김보성, & 서원호. (2015). 교통약자 보행환경 진단 방법론 고찰. 대한교통학회 학술대회지, 73, 491-495.
- 김선정, 김동기, 이수범, & 임준범. (2023). 생활도로 보행자 교통사고 영향요인 분석. 한국도로학회논문집, 25(5), 213-219.
- 김승남. (2015). 보행친화도시 조성 정책 현황. 건축공간연구원.
- 김승남, 오성훈, & 박예솔. (2015). 2014 보행자우선도로 현황과 평가. 건축공간연구원
- 김승남, 이소민. (2016). 가로단위 보행환경 평가체계 개발 연구. 건축공간연구원.
- 김대진, & 이영인. (2011). 보행자도로 서비스수준 산정에 관한 연구. 대한교통학회 학술대회지, 65, 485-490.
- 서명국, 신희영, 정황훈, & 채준성. (2022). 생활도로에서의 충돌사고 예방을 위한 객체 충돌 감지 알고리즘 개발. 드라이브·컨트롤, 19(3), 23-31.
- 오성훈, 남궁지희, 김영지, & 변혜영. (2023). 보행환경개선사업의 도시정책 연계방안 연구. 건축공간연구원.
- 윤정인, 서명국, & 이진우. (2022). 생활도로 내 위험상황 판단을 통한 정보제공 서비스의 안전성 향상 효과 연구. In 대한교통학회 제 86회 학술발표회. 대한교통학회.
- 이유진, & 최명섭. (2018). 노인 인구 밀집지역의 시공간적 분포와 결정요인 분석: 서울 생활인구 빅데이터의 활용. 서울시연구, 19(4), 149-168.
- 이정우, 김혜영, & 전철민. (2015). 가로유형별 물리적 환경특성과 보행량간의 연관성 분석. 한국도시계획학회지 도시설계, 16(2), 123-140.
- 이현우. (2018). 보행 빅데이터를 통해 본 거주민 생활영역의 특성 연구: 잠실지역 WalkOn 데이터의 생활영역 추정을 기반으로. 서울대학교 대학원.
- 임수명, 김현철, 김동준, & 안영수. (2019). 다중회귀모형을 이용한 보행가로별 유동인구의 추정에 관한 연구-서울 강남·서초구를 중심으로. 서울시연구, 20(2), 121-139.
- 장민경, & 정석. (2010). 인사동길의 교통약자 보행환경 평가: 휠체어 이용자의 상점 진입구 접근성을 중심으로. 한국도시계획학회지 도시설계, 11(4), 129-144.
- 전성욱, & 손영태. (2016). 보행 점유공간을 이용한 보행자도로 서비스수준 분석방법론 개선 연구. 대한교통학회지, 34(2), 168-179.
- 정대영. (2015). 테마파크의 공간구조에 따른 보행패턴예측 및 방문객의 시공간이동행태분석.
- 정대영, & 한석호. (2020). 도시형 관광특구의 보행특성 연구: 수원화성 관광특구를 중심으로. 경기연구원 기본연구, 1-119.
- 한상진. (2016). 모두가 안전한 보행환경 조성을 위한 정책과 동향. 한국교통연구원.
- 행정안전부. (2023). 제1차 국가보행안전 및 편의증진 기본계획(2022~2026).

### 국외문헌

- Angel, A., & Plaut, P. (2024). Tempo-spatial analysis of pedestrian movement in the built environment based on crowdsourced big data. *Cities*, 149, 104917.
- Clarke, E., (2006), Shared Space - the alternative approach to calming traffic, *Traffic Engineering & Control*, 47(8), 290-292.
- Fang, K., Azizan, S. A., & Huang, H. (2024). GIS-based intelligent planning approach of child-friendly pedestrian pathway to promote a child-friendly city. *Scientific reports*, 14(1), 8139.
- Hamilton-Baillie, B., (2008), Shared space: Reconciling people, places and traffic, *Built Environment*, 34(2), 161-181.
- Ibrahim, A. M., Thoha, M. T., & Elgezary, S. A. (2024, August). From concrete jungle to pedestrian paradise: The transformation of urban spaces in Malé to walkable cities. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3245, No. 1). AIP Publishing.
- Jiang, C., Ni, Z., Guo, Y., & He, H. (2019). Pedestrian flow optimization to reduce the risk of crowd disasters through human-robot interaction. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 4(3), 298-311.
- Jin, C. J., Jiang, R., Wong, S. C., Xie, S., Li, D., Guo, N., & Wang, W. (2019). Observational characteristics of pedestrian flows under high-density conditions based on controlled experiments. *Transportation research part C: emerging technologies*, 109, 137-154.
- Lee, H. R., & Kim, S.-N., (2019), Shared Space and Pedestrian Safety: Empirical Evidence from Pedestrian Priority Street Projects in Seoul, Korea, *Sustainability*, 11(17), 4645, <https://doi.org/10.3390/su11174645>
- Miura, S., Yoshida, M., Nakamura, F., Wongwiriyaya, P., Tanaka, S., & Ariyoshi, R. (2024). Spatial and timeframe distribution of diverse pedestrian activities in the street network of southeast asian developing cities. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 23(1), 386-404.
- Moussaïd, M., Helbing, D., & Theraulaz, G. (2011). How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(17), 6884-6888.
- Yan, Liu & Tong, Wang & Hui, Ding & Zongzhi, Wu. (2012). Research and Application on Risk Assessment DEA Model of

- Crowd Crushing and Trampling Accidents in Subway Stations. *Procedia Engineering*. 43. 494 - 498. 10.1016/j.proeng.2012.08.085.
- Yang, C., Lo, S. M., Ma, R., & Fang, H. (2024). The effect of the perceptible built environment on pedestrians' walking behaviors in commercial districts: Evidence from Hong Kong. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 51(2), 329-346.
  - Yu, C. Y. (2022). The impact of built environments on pedestrian safety around bus stops. *Journal of Urban Affairs*, 46(2), 267 - 280. <https://doi.org/10.1080/07352166.2022.2049447>
  - Zeng, Q., Wu, H., Zhou, L., Huang, G., Li, Y., & Dewancker, B. J. (2024). Toward pedestrian-friendly cities: Nonlinear and interaction effects of building density on pedestrian volume. *Journal of Transport Geography*, 119, 103954.

## 신문기사

- "Crowd density seen as likely cause of South Korea tragedy", *The Straits Times*, 2022년 11월 2일

## 인터넷 자료

- "국가법령정보센터 홈페이지", 국토교통부령 제1288호. 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙. 제19조2 <개정 2023. 8. 1.> <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsId=009453&ancYnChk=0#0000>, (2024년 11월 4일)
- "네이버 지도 스트리트뷰", <https://map.naver.com>, (2024년 11월 4일)
- "숲과나눔재단 환경학술포럼 연구논문 공모전", <http://www.koreashe.org>, (2020년 8월 3일)
- "서울시 열린데이터 광장", 서울시 도로 현황 (폭원별) 통계(2022년), <https://data.seoul.go.kr/dataList/259/S/2/datasetView.do> (2024.년 11월 4일)
- "서울사랑 홈페이지", <https://love.seoul.go.kr/>, (2024년 11월 4일)
- "서울시 홈페이지", 보행자우선도로 지정, <https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/508779>, (2024년 11월 4일)