



도로형태에 따른 아파트 단지 내 교통사고 예방을 위한 단지계획 방안

Strategies for Apartment Complex Planning to Prevent Traffic Accidents within Complexes Based on Spatial Configuration of Roads

권형준* · 안용진**

Hyeong-Jun Kwon* · Yong-Jin Ahn**

* Master's Course Student, School of Architecture, Seoul National Univ., of Science and Technology, South Korea (ksh05292@naver.com)

** Corresponding author, Associate Professor, School of Architecture, Seoul National Univ., of Science and Technology, South Korea (dadaist21@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to mitigate traffic accidents within apartment complexes. The existing body of research on traffic accidents in apartment complexes primarily consists of qualitative studies such as on-site investigations and policy research. Consequently the objective was to derive quantitative indicators for the spatial structure of apartment complexes and comprehend their correlation with accidents within these complexes. Subsequently, the study endeavors to validate an efficient road system based on significant spatial structure indicators through correlation analysis with environmental factors in apartment complexes. **Method:** The focus of this study is on apartment complexes in Seoul with more than 1,200 households, excluding newly constructed complexes approved within the last 10 years. Publicly available data was utilized, and Space Syntax indicators were collected and computed for the sampled complexes and spaces using the Depthmap X program. Logistic regression analysis was then applied to discern the association between Space Syntax indicators and the incidence of accidents within apartment complexes. Then new determinants were classified into road structure characteristics, complex characteristics, and traffic characteristics. Ordinary Least Squares (OLS) regression analysis was subsequently conducted. **Result:** The logistic regression analysis revealed that the specific Space Syntax indicator, RRA, exhibited a negative impact on traffic accidents within the complexes. Further analysis of RRA, road structure attributes, complex characteristics, and traffic characteristics identified significant factors. This study is significant in providing insights for the evaluation of road systems within apartment complexes using spatial syntax and analyzing meaningful factors related to spatial indicators.

KEYWORD

아파트 단지
도로형태
단지 내 교통사고
공간구문론
로지스틱 회귀 분석

Apartment Complex
Spatial Configuration of Roads
Traffic Accidents within Complex
Space Syntax
Logistic Regression Analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 4, 2024
Final revision received Mar. 26, 2024
Accepted Apr. 1, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2021년 통계청 인구주택 총조사에 따르면, 국내 보편적인 주거유형인 아파트는 총 주택 1,881만 호 중 63.5%를 차지하고 있으며, 전체 2,096만 6,546가구 중 60.3%가 아파트에 거주하고 해당 비율은 지속적인 증가 추세를 보인다[1]. 다수 인구가 아파트에 거주하고 있지만, 아파트 단지 내에서 발생하는 교통사고는 일반도로에서 발생하는 교통사고에 비해 심각성에 대한 문제인식과 학문적 관심이 상대적으로 낮은 편이다. 아파트 단지 내 도로는 현행 도로교통법상 도로에 해당하지 않아 일종의 교통안전 사각지대에 해당한다. 삼성교통안전문화연구소 분석에 따르면 전국에서 발생하는 교통사고는 도로에서 78.2%, 도로 외 구역 16.4%, 기타 불확실 장소 5.3%이다. 도로 외 구역 사고 중 48.7%가 아파트 단지 내 사고에 해당해 전국 인구 중 60% 이상이 거주하는 아파트 단지 내에서 전체 교통사고 약 8%가 발생하고 있다[2]. 실제 아파트 단지 내 교통사고로 인한 아동의 사망 사건들과 그에 따른 후속 처리 과정에서 도로교통법상 제도

가 문제가 되어 아파트 단지 내 도로에 관한 법률 및 물리적 환경 개선에 대한 요구가 제기된 바 있다. 이에 각 지방 정부에서 2020년 11월 '교통안전법' 개정 시행 이후 단지 내 교통안전 확보를 위해 자문단을 운영, 개별 아파트 단지의 신청을 통해 도로 환경 점검 및 자문 제공 등을 무료로 지원하고 있으며, 국가 전체 노후도 20년 이상 주택 비율이 50.2%에 해당[1]하기 때문에 이미 조성된 아파트 단지 내 환경 개선과 더불어 차후 신축 아파트 단지 계획·공급 차원에서 단지 내 교통사고 발생을 저감하기 위한 도로 환경 및 체계에 관한 연구가 필요한 실정이다.

이러한 배경하에 본 연구는 도로형태를 포함한 단지 내 공간 특성을 공간구문론(Space Syntax)을 활용해 분석하고, 해당 공간 특성이 단지 내 교통사고 발생 여부에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 통계적 유의성을 실증적으로 규명함으로써 보다 실효적으로 아파트 단지 내 교통사고를 저감하기 위한 근거 기반의 기초정보를 제시하는데 초점을 두었다. 이를 통해 기존 아파트 단지 내 도로 환경 개선 및 신축 아파트 단지 도로형태와 체계를 마련하는데 보다 객관적인 단지계획 측면의 시사점을 도출하는데 그 목적이 있다.

1.2. 연구범위 및 연구방법

1) 연구범위

본 연구에서 아파트 단지 내 교통사고 관련 요인을 살펴보기 위해 선정된 연구범위인 서울특별시내 과거부터 활발한 아파트의 양적 공급이 이뤄졌으며, 현재에도 단지 신축이 진행되어 연도별로 다양한 아파트 단지 유형 표본을 구성할 수 있는 지역이다. 이에 도심권, 동북권, 서북권, 서남권, 동남권 등 서울 시내 5개 권역, 25개 행정구역 내 아파트 중 1,200세대 이상이 거주 중인 288개 대형 단지를 대상으로 1차 연구 자료를 수집했다. 이 중에서 사용승인 기간이 10년 미만인 55개 신축 단지들은 전체 주차공간이 지하에 배치되어 실증 연구 대상 표본에서 제외되었다. 이는 도로교통공단이 운영 중인 교통사고분석 시스템(TAAS: Traffic Accident Analysis System)의 경우 지하 주차장에서 교통사고 집계자료를 제공하지 않아 본 연구에서 제시된 접근방식으로는 실증분석이 불가능하고, 도면과 위성 사진 등을 통해 확인할 수 있는 부분이 아파트 지상 공간에 한정되어 일반 차량 진출입과 주차가 지하에 설계된 신축 아파트 단지의 경우 차량 동선에 대한 정보 취득이 불가능하기 때문이다.

표본 수집·신축 아파트 단지들을 제외한 결과 Fig. 1.과 같이 서울시 5개 권역에 표본이 분포하고 있으며, 세부 분포사항은 Table 1.과 같이 230단지 중 동북권 내 아파트 단지가 104단지로 5개 권역 중 가장 많은 표본이 존재하였다. 다음으로 서남권 66단지, 동남권 44단지, 서북권 9단지, 도심권 7단지 순으로 표본을 수집했다.

2) 연구방법

본 연구의 연구 흐름은 Fig. 2.와 같으며, 실증분석에 활용된 아파트 단지의 물리적 특성은 K-apt 공동주택관리시스템, 국토지리정보원, K-GEO 플랫폼 등 공공 데이터를 활용해 구축되었다.

이후 TAAS 교통사고 분석시스템을 활용해 2019년부터 2022년까지 표본 단지 내·입구에서 교통사고 발생 건수를 집계하고 국토지리정보원이 제공하는 수치지도를 통해 표본 아파트 단지들의 물리

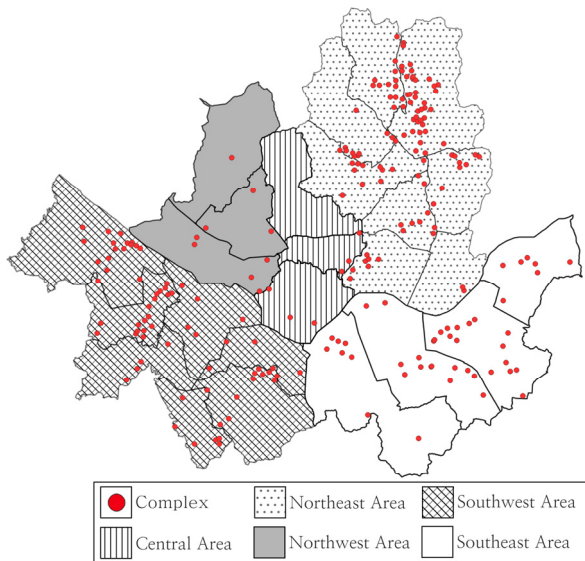


Fig. 1. Study area & sample distribution in Seoul

Table 1. Study area & sample distribution by administrative area

Area classification	Administrative area	Complex sample more than 1,200 households	Frequency
Central area	Jongno-gu	0	0.0
	Jung-gu	4	1.7
	Yongsan-gu	3	1.3
Northeast area	Seongdong-gu	7	3.0
	Gwangjin-gu	2	0.9
	Dongdaemun-gu	9	3.9
	Jungnang-gu	9	3.9
	Seongbuk-gu	12	5.2
	Gangbuk-gu	11	4.8
	Dobong-gu	14	6.1
Northwest area	Nowon-gu	40	17.4
	Eunpyeong-gu	1	0.4
	Seodaemun-gu	3	1.3
Southwest area	Mapo-gu	5	2.2
	Yangcheon-gu	18	7.8
	Gangseo-gu	17	7.4
	Guro-gu	4	1.7
	Geumcheon-gu	6	2.6
	Yeongdeungpo-gu	5	2.2
	Dongjak-gu	4	1.7
Southeast area	Gwanak-gu	12	5.2
	Seocho-gu	8	3.5
	Gangnam-gu	13	5.7
	Songpa-gu	16	7.0
Total	Gangdong-gu	7	3.0
		25	230

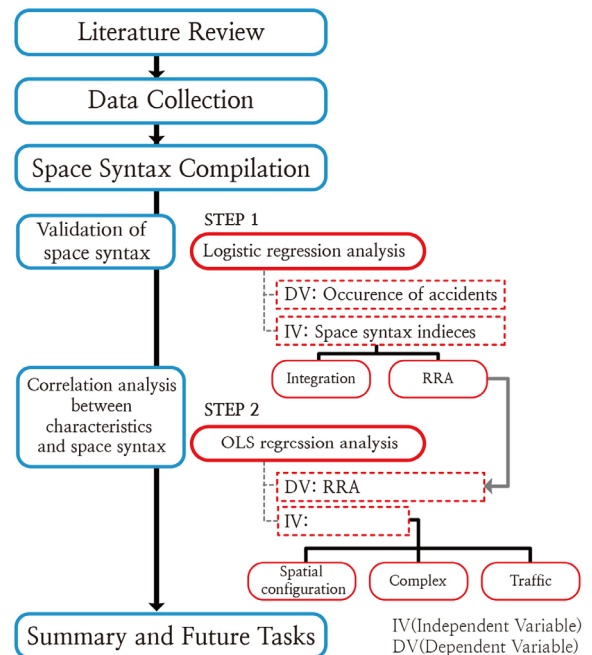


Fig. 2. Research flowchart

적 공간에 대한 도면 정보를 구축하여 아파트 단지 내 도로를 대상으로 공간구문론 공간 속성인 통합도(Integration)와 실질적 상대 비대칭성(RRA: Real Relative Asymmetry)를 정량적 변수로 설정하였다. 구축된 변수에 기반한 1단계 실증분석으로 로지스틱 회귀분석을 활용하여 Integration, RRA와 단지 내 교통사고와의 연관성을 규명하였으며, 2단계로 단지 내 교통사고에 유의미한 결과를 보인 공간속성 변수인 RRA와 아파트 단지의 물리 환경 요인들의 통계적 연관성 파악을 위해 OLS 회귀분석을 진행했다.

1.3. 선행연구 고찰

본 연구의 핵심 연구 질문은 공간구문론을 통한 아파트 단지 내 도로형태와 교통사고의 연관성 규명, 도로형태와 아파트의 물리·교통 요인 상관관계 파악이다. 이와 관련된 주요 선행연구는 크게 아파트 단지 내부 환경 특성, 도로교통법상 도로에서 발생한 교통사고 특성, 아파트 단지 내 교통사고 현황 및 특성, 연구방법론으로 공간구문론을 활용한 주거단지 공간 특성으로 구분될 수 있다.

우선 아파트 내부 환경 특성 관련 선행연구로 오수호, 양동양(1998)은 1987년부터 1996년 10년간 주택공사에서 계획한 단지 내 도로 패턴을 6개로 분류하고 유형별 도로 패턴 계획 비율, 주변 도로의 유형, 층수, 단지 규모 등을 연도별로 비교 분석하였다[3]. 손세관, 강경호(2001)는 단지의 외부공간의 변화를 관찰하기 위해서 1970년 이후 대한주택공사와 도시개발 공사에서 개발한 아파트 단지 215개를 대상으로 아파트 단지 규모 및 계획 요인들을 구분하여 아파트 특성의 연대기별 변화를 수행하였다[4].

교통사고 발생 요인 분석에 로지스틱 회귀모형을 활용한 실증연구로 박병호(2009)는 청주시의 4지 신호교차로의 사고예측모형 구축을 위해 유입부, 유출부, 교차로 내 그리고 횡단보도의 4개 사고위험 로지스틱 회귀 교통사고 모형을 적용했으며, 그 결과 교통량, 횡단거리 및 자회전 전용차로 등 유의미한 사고 요인이 나타났다[5]. 강종호(2014)는 창원시내 3지, 4지 신호교차로의 유턴 교통사고 자료의 특성을 정리하고 로지스틱 회귀분석을 이용한 사고 예측 모형을 개발했다. 분석 결과 상충교통량, 대향차로 등의 공통요인과 공통영향 이외의 특정변수를 규명했다[6]. 김강현(2022)은 2007년부터 2020년까지 발생한 위험물 수송차량 사고의 특징을 분석하고 어떠한 환경조건에서 사고가 발생하는지 로지스틱 회귀를 이용해 모형화했다. 회귀분석 결과 인적 피해, 운전자 요인, 램프 구간, 야간시간대 요인 모두 사고 확률에 영향을 주는 요인으로 도출되었다[7].

아파트 단지 내 교통사고에 윤호정, 염성진(2019)은 국내 문헌조사를 통해 단지 내 사고사례가 단지 출입구, 스쿨존, 차량통행로 등에서 집중적으로 발생했다고 분석하고, 사고의 원인을 과속방지, 시인성 확보, 정보인지 능력, 주행 경로 유도로 지적했다. 이후 단지 출입구와 교차로에 보행 안전을 위한 음성신호 시스템 설치와 협م형 진입차로 조성, 스쿨존에 어린이 새색 정류장 도입과 픽업 차선 추가 등 각각 장소별로 필요한 교통 안전물의 설치를 제안했다[8]. 김신혜, 임동균(2020)은 단지 내 교통사고 취약계층인 아동의 단지 내 교통사고 저감을 위해 단지 내 시설물, 주차문제, 안전인식 문제, 법적 도적 문제와 관련한 선행연구들을 대상으로 질적 분석을 진행하고, 개선방안으로 캠페인 진행을 통한 운전자·보행자의 안전인식 향상

과 같이 아파트 단지 내 주민들이 자발해서 실시할 수 있는 실질적 방안을 제시했다. 또한, 독일의 아파트 단지 내 ‘교통완화지역’ 제도를 한국 실정에 맞게 수정 적용하는 등 정부·지자체 차원에서 실행되어야 할 제도적 방안을 제시했다[9]. 김현진(2018)은 한국교통안전공단이 단지 교통안전점검으로 얻은 점검결과를 정리해 과속, 운전자 시인성 불량, 보도 및 횡단보도 부재, 불법주정차, 잘못된 시설물 설치 등을 문제점으로 도출했다. 이에 근거하여 교통안전성 강화를 위한 방안으로 단지 내 교통사고 야기에 대한 운전자 형사 처벌 강화, 단지 내 최고속도 제한 및 정지선 설치, 교통규칙 논의의 필요성 등 안전시설 설치 관리 주체를 고려한 사례 위주의 메뉴얼 제공을 제시했다[2].

공간구문론을 활용한 주거단지 내 보행공간 특성분석 선행연구로 이규인(1994)은 거주민들의 경제력이 비슷한 상계단지를 연구범위로 방사형, 격자형, 수목형 도로형태를 가진 단지를 선정해, 내부도로에 축선도를 그리고 실측한 보행량과 연관성을 분석했다. 그 결과 통합성이 높은 도로에서 많은 보행량이 유발되었으며, 통행량을 가장 많이 유발시설은 상가, 교통, 공공시설 순이었다. 이를 통해 공간구문 모델의 동선 분석 및 계획 시 효용성을 입증할 수 있었다[10]. 또한, 류세미, 현창용 (2023)은 아파트 단지 야외공간에 형태학적 접근으로 시대별 유형화를 시도하고, 정량적 분석을 위해 공간구문론을 활용했다[11]. 공간속성과 교통사고와의 연관성을 파악하는 연구로 김창수(2006)는 2005년 전주시의 도로망을 연구범위로 공간의 구조 및 이용 패턴을 객관적이고 거시적으로 분석해 교통량과 차로수 등 도로환경 요인과 공간구조의 상관관계를 밝히고자 했다. 그 결과 도로의 교통량에 따라 유의미한 공간 속성값을 도출했다. 교통량 2000대 이하와 이상에서 모두 도로의 전체통합도가 증가할수록 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다[12]. 김미송 (2017)은 2012년부터 2014년까지 울산광역시 내 안전운전 불이행, 신호위반, 안전거리미확보, 교차로 운행방해, 중앙선 침범 등 5개 법규위반 원인의 교통사고 분포특성을 도출하고, 토지이용도와 공간속성 변수를 통해 상관분석을 진행했다. 해당 연구에서 역시 연결도 및 국부통합도가 높은 행정동이 교통사고와 높은 상관관계를 보이고 실제 교통사고 발생 건수가 높았다[13].

1.4. 선행연구와 본 연구의 차별점

아파트 단지 내부 교통 환경 계획을 다루는 연구들은 연구 시점이 약 20년 정도 시간이 지났으나 일반적인 아파트 단지에 대한 이해를 돕고 그 당시까지의 연대기적 변화를 살펴볼 수 있다. 다만 표본이 당시 공영 아파트 단지들에 한정되고 현시점에서 지하주차장 확대 등 새로운 유형의 아파트 단지들에서 보이는 환경 변화에 대한 추가적인 반영이 필요할 것이다. 아파트 단지 내 교통사고에 관한 선행연구는 대부분 단지 교통 환경 개선을 위한 현장방문과 그에 따른 안전장치 도입 등 개선 사항 집계, 법률 연구를 통한 교통법 개선 촉구 등 질적 연구들이 주를 이루고 있음을 알 수 있다. 그렇기에 아파트 단지 내 물리적 환경과 단지 내 교통사고 발생 사이의 연관성에 관한 실증적 연구가 부족한 한계가 존재한다. 이는 도로교통법상 도로 환경에서 다수의 실증적 연구가 진행된 것과는 대조되는 결과이다.

본 연구에서는 아파트 단지내 교통사고 모형을 개발을 위한 객관

적인 지표 확보에 공간구문론을 활용했다. 공간구문론 선행연구로 아파트 단지·주택가 내부의 보행량 등 특성과 공간속성 지표가 연관성이 있음을 보인 연구가 존재하며, 교통사고에 관한 선행연구로는 도로에서 발생한 사고 요인과 공간구조의 연관성을 보인 연구들이 존재했다. 다만 공간구문론을 활용해 아파트 단지내 도로와 단지내 발생한 교통사고의 연관성을 규명한 연구는 발표된 바 없다.

따라서 본 연구는 1단계로 서울시 아파트 단지 내 도로의 구조에 대한 정량적인 지표를 산정·구축하고 이를 바탕으로 도출한 공간지표(Integration, RRA)를 독립변수로 아파트 단지 내 교통사고를 종속변수로 로지스틱 회귀모형을 사용해 분석했다. 이후 이전 1단계의 실증분석에서 유의성을 검증한 공간지표와 유의미한 상관성을 갖는 요인을 도출하기 위해 OLS(최소자승법) 회귀 분석모형으로 단지 내 물리 환경에 영향을 미치는 단지 특성 변수들, 지하주차장 등 교통 환경변수들을 추가해 시대적인 변화를 반영하도록 했다. 이를 통해 본 연구는 차후 아파트 공급자들이 아파트 단지 계획 시 안전한 도로체계 계획을 위해 공간구문론을 사용할 수 있음을 검증하고, 과거부터 최근 아파트 단지 정보까지 반영한 상세한 방향성으로 단지내 도로 안전성을 향상·개선할 수 있는 실증연구를 진행한다.

2. 연구방법론 및 변수 설정

2.1. 연구방법론

1) 공간구문론

본 연구에서는 각 아파트 단지 내 차도에 대한 지표를 얻기 위한 객관적이고 정량적인 연구방법론으로 공간구문론(Space Syntax)을 채택하였다. 공간구문론을 활용해 가장 많이 사용되는 방법은 건축물 내부공간구조 분석에 활용되는 가시장분석(VGA, Visibility Graph Analysis)과 도시 차원에서 광범위한 가로망 분석 등 외부공간구조 분석에 주로 사용되는 동선구조 연구가 있다[11]. 가시장분석을 통해 아파트 단지 내 운전자와 보행자의 시선에서 공간 접근 용이성과 시각적 연결성에 대한 분석을 진행할 수 있을 것이나, 단지 내 수목과 설치물 등에 의한 전방 시거 상황, 건축물의 내부 구조와는 다른 대규모 면적을 가진 단지의 지형 상황 등에 대한 고려가 어려워 본 연구에서는 가시장분석을 선택하지 않았다.

따라서 본 연구에서 사용한 동선구조 연구방법은 크게 동선구조 표현, 동선특성의 분석, 통행량 및 통행 패턴의 분석, 동선특성과 이용 패턴과의 상관성 분석 순으로 진행된다. 여기서 동선구조는 공간축도로 표현되며 몇 가지 정량적인 지표로 측정된 뒤 축선도(Axial map)를 이용함으로써 도시적 차원의 가로망 분석, 도로체계 분석 등 외부공간 구조 분석을 수행할 수 있다. Depthmap X 프로그램을 통해 아파트 단지 내 차도에 대한 축선도 분석을 진행 후 도출할 수 있는 첫 정량적 지표는 Integration(위상통합도)으로 통합도는 축선도에 대한 정량적 위상을 산출한 뒤, 평균을 구한다. 축선도는 위상이 높을수록 붉은색, 낮은 곳일수록 파란색으로 나타나며, 평균 위상값이 높으면 방향을 찾기 쉬운 구조, 낮으면 복잡하고 은폐된 구조로 해석한다[11].

$$RA = \frac{2(MD-1)}{K-2} \quad (Eq. 1)$$

$$(0 < RA < 1)$$

MD: 평균 깊이

K: no. of space in the system

$$RRA = RA/Di \quad (Eq. 2)$$

Di: i개의 공간에 대한 D의 값

두 번째 정량적 공간지표는 공간 깊이에 의해 산출되는 RRA(실질적 상대 비대칭성)이다. RRA를 구하는데 필요한 지표는 RA(Relative Asymmetry)로 공간의 상대적 깊이를 정량적으로 표현한 RA는(Eq. 1)과 같이 측정할 수 있다. 이후 일정 대상지 내 개개의 공간 값을 의미하는 RA에 대치 규모 및 형상에 대한 차이를 보정한 값이 RRA이다. RRA를 구하는 과정은 식(Eq. 2)과 같다. 여기서 i개의 공간에 대한 D의 값은 일정 공간 내 i개의 공간에 대한 D의 값은 일정 공간내 각 단위축 공간의 RA값을 다이아몬드 형태공간에서 일정공간에 대한 RA 값으로 변환시켜주는 역할을 한다[12]. 즉 RRA는 각 공간이 국부적인 이웃 공간 및 전체공간과 어떻게 관계하는지 나타내는 지표로써 다른 공간에 접근하기 위해 횡단해야 하는 공간 수의 평균값이다.

통상 통합성이 강하고 집중된 공간의 RRA 값은 0.6 이하이며, 통합성이 약하고 분리·분절된 공간의 RRA 값은 1.0 이상으로 해당 공간에서 타 공간에 도달하기 위해 횡단해야 하는 공간의 수가 많은 것으로 판단한다. 그렇기에 공간 통합도와 RRA는 반비례한다[10].

2) OLS·로지스틱 회귀분석

① OLS 최소자승법 회귀분석

변수 간 선형관계의 강도를 알아내는 방법으로는 상관분석이 있다. 선형강도를 넘어 변수 간의 선형적인 관계를 알기 위해서는 회귀분석을 통해 회귀선과 이를 나타내는 선형회귀모델 방정식을 구해야 한다. 이를 위해 사용되는 OLS 회귀분석은 한 개의 종속변수와 한 개의 독립변수의 상호관련성을 분석하는데 사용되는 단순 회귀분석과 한 개의 종속변수와 여러 개 독립변수의 상호관련성에 대해 분석하는 다항 회귀분석을 모두 포함하는 분석법이다. 일반적인 회귀분석 모형은 독립변수 (x_1, x_2, \dots, x_k) 에서 종속변수의 평균이 독립변수에 대한 선형식으로(Eq. 3)와 같이 표현한다[14].

$$E(yx) = B_0 + B_1x_1 + \dots + B_kx_k \quad (Eq. 3)$$

일반적인 선형 회귀분석은 독립변수들에 의해 종속변수의 변화가 선형적으로 변한다고 가정하기 때문에 단지 내 교통사고 발생과 같이 종속변수가 발생 유무인 이항적인 사건을 다루는 데 적합하지 않다[14]. 그러나 이러한 선형회귀 분석은 종속변수인 공간지표 RRA에 통계적으로 유의미한 영향력을 갖는 변수를 분석하기 위해

서 사용될 수 있다.

② 로지스틱 회귀모형

이에 반해 로지스틱 회귀분석은 종속변수와 독립변수와의 관계를 비선형이라 가정하여 로지스틱 회귀계수를 추정하는 과정에서 '0'(교통사고 미발생)과 '1'(교통사고 발생) 두 개의 값만 가지는 종속변수와 독립변수들의 관련성을 분석할 수 있다[14]. 로지스틱 회귀분석을 통해 이분형 종속변수인 단지 내 교통사고 여부를 확률 변환시킬 수 있으며 아래 (Eq. 4)의 로지스틱 함수로 쓸 수 있다. 로지스틱회귀분석의 장점은 교통사고모형에 자주 사용되는 포아송 회귀분석과 음이항 회귀모형보다 높은 설명력이다. 또한, 정규성과 등분산성이 가정되는 판별분석과 달리 이러한 가정이 엄격히 적용될 필요가 없다[5].

$$E(yx) = \frac{\exp(B_0 + B_1x)}{1 + \exp(B_0 + B_1x)} \quad (\text{Eq. 4})$$

2.2. 변수 설정

본 연구에 사용된 변수 정의는 Table 2.와 같다. 로지스틱 회귀분석의 종속변수는 2019년부터 2022년까지 4년간 단지 내부·입구에서 발생한 사고를 수집 집계한 자료를 통해 도출한 변수인 '단지 내 교통사고 발생 여부 (Y)'이며, 독립변수는 Integration(X_{SS1})과

RRA(X_{SS2})이다. OLS 회귀분석의 종속변수는 Integration과 RRA 중 유의미한 통계적 결과가 도출된 변수인 RRA로 하며, 독립변수는 선행연구와 논문들을 참고하여 재구성했다. 크게 도로형태 특성, 단지 특성, 교통 특성 세 가지로 구분했다.

1) 도로형태 특성

도로형태 특성은 교통 특성과 연관성이 높은 변수들이나 단지 외부 주변 대지와와의 관계 및 연결, 내부도로 패턴을 자세히 살펴보고자 따로 설정 분류했다. 주변 도로 유형(X_{A1})과 내부도로 패턴 변수(X_{A2})를 설정했다. 주변 도로 유형(X_{A1})은 단지 외부 몇 면이 도로에 접하는지 구분했다[3]. 단지 주변 도로 유형은 Table 3.과 같이 1면 도로, 2면 도로, 3면 도로, 4면 도로로 나뉘며, 각각 예시는 1면 LH 강남 힐스테이트 아파트, 2면 벽산 라이브 파크, 3면 등촌주공 1단지, 4면 압구정 신현대 아파트이다. 주변 도로의 유형은 국토지리정보원의 수치 도면을 통해 단지 기본정보를 수집한 후 위성 사진, S-Map(서울시의 지형과 60만 동에 이르는 시설물을 3D로 구현한 시스템) 상의 지형정보를 통해 인도 설치가 불가능해 보행자 접근이 차단되는 대로, 방음벽, 심한 경사도 등의 이유로 차량 접근과 출입구 설치가 불가능한 도로의 경우 주변 도로에서 제외 후 산정했다. 단지의 주변 도로 유형은 단지 내부의 도로 패턴을 결정짓는 중요한 요인 중 하나이며 2면 도로의 경우 단지 내 통과교통이 허용되면 차량 통행속도가 높아 차 사고의 위험이 가장 크고[3], 외부로부터 차량진입로를 설정하는데 자유도가 낮아 응집된 도로체계를 보일 것

Table 2. Definition of variables

			Variable		
Methods of statistical analysis: logistic regression					
Dependent variable			Y	Occurrence of traffic accident	
Independent variable			X_{SS1}	Integration	
			X_{SS2}	RRA	
Methods of statistical analysis: OLS regression analysis				Data source	
Dependent variable			Variables X_{SS1} (Integration), X_{SS2} (RRA), which showed statistically significant results in the logistic regression analysis		
Independent variable	Spatial configuration	X_{A1}	Peripheral road type	Single-side = 1 Two-side = 2 Three-side = 3 Four-side = 4	NGII, NSM
		X_{A2}	Internal Road Pattern	Branch type=1 Circulation type=2 Grid type = 3 Mixed type = 4 Underground access = 5	NGII, S-MAP
	Complex	X_{B1}	Complex area	unit: m ²	K-apt
		X_{B2}	Complex road area	unit: m ²	K-apt
		X_{B3}	Road ratio	ratio	K-apt
		X_{B4}	Number of buildings	unit: Num	K-apt, K-geo
		X_{B5}	Number of households	unit: HH	K-apt
	Traffic	X_{C1}	Number of parking spaces	unit: Num	K-apt
		X_{C2}	Underground parking ratio	unit: ratio	K-apt
		X_{C3}	Parking spaces per household	unit: Num	K-apt
		X_{C4}	3-way intersection	unit: Num	NGII, NSM
		X_{C5}	4-way or more intersection	unit: Num	NGII, NSM
X_{C6}		Number of vehicle entrances	unit: Num	NGII, NSM	

NGII; National Geographic Information Institute
NSM; Naver Map

으로 판단했다.

3면 또는 4면이 외부 도로에 접하는 경우는 외부 도로에 대한 차량진입로와 이후 내부도로 패턴을 자유롭게 계획해 차량의 속도를 감속시켜 분산된 도로체계가 되기 쉬울 것으로 보였다. 따라서 주변 도로 유형과 단지 내 도로체계의 통합성 간에 유의미한 분석 결과를 예상했다. 내부도로 패턴(X_{A2})은 주거단지의 골격을 형성하고 동시에 각 주거동에 각종 서비스를 제공하는 매우 중요한 역할이다. 주요한 기능으로 주민과 차량의 흐름을 통제, 유도할 수 있다[4].

분석단지의 내부도로 패턴은 가지형, 순환형, 격자형, 혼합형, 지하진입형으로 구분했으며 세부적인 도로체계는 Table 4.와 같다. 각각 도로 패턴의 예시로 가지형 도로 패턴의 아파트는 수서 까치 마을, 순환형 도로 패턴 서울주택도시공사 수서 6단지, 격자형 대치 미

Table 3. Peripheral road types

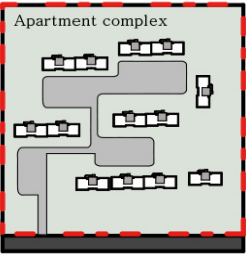

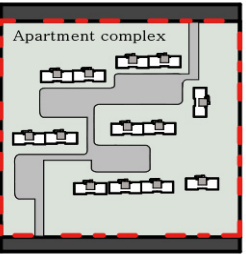

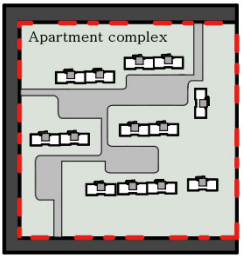
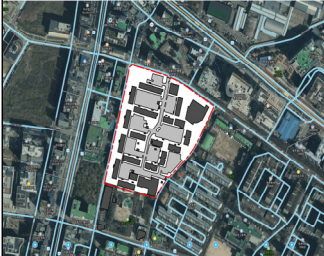
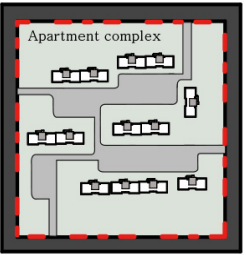

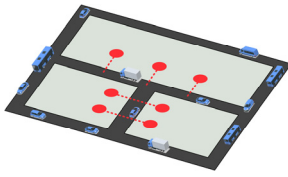

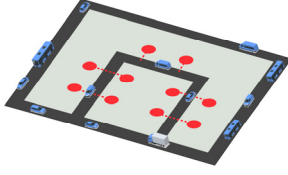

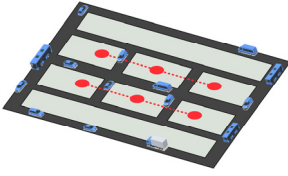
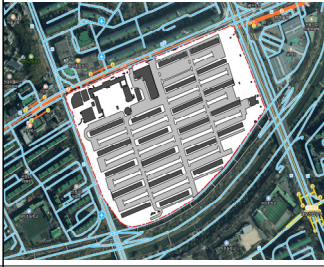
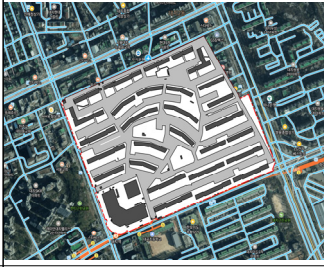

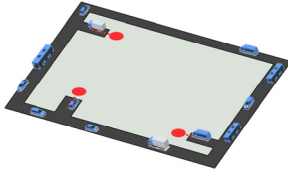
Road Types	Complex
 <p>A) Single-Side adjacent to road</p>	 <p>LH Gangnam Hillstate (source: Naver map)</p>
 <p>B) Two-Side adjacent to roads</p>	 <p>Byucksan LivePark (source: Naver map)</p>
 <p>C) Three-Side adjacent to roads</p>	 <p>Deungchon-Jugong 1st Complex (source: Naver map)</p>
 <p>D) Four-Side adjacent to roads</p>	 <p>Apgujeong Shin Hyundai (source: Naver map)</p>

Table 4. Internal road pattern

Road types	Complex
 <p>Branch type: blocked type and through type Installation methods: —, ㄱ, T-shaped</p>	 <p>Suseo Kkachi Village (source: Naver map)</p>
 <p>Circulation type Installation methods: □, □-shaped</p>	 <p>Seoul Housing & Urban Corporation Suseo 6th Complex (source: Naver map)</p>
 <p>Grid type Installation method: interconnected form</p>	 <p>Daechi Mido Mansion (source: Naver map)</p>
<p>Various types are mixed</p>	 <p>Eunma Apartment (source: Naver map)</p>
<p>Mixed type</p>	 <p>Magok Emvellie 6th Complex (source: Naver map)</p>
 <p>Underground access</p>	<p>Magok Emvellie 6th Complex (source: Naver map)</p>

도 멘션, 혼합형 은마 아파트, 지하진입 방식 마곡엠벨리 6단지이다. 도로 패턴의 유형에 따른 유의미한 공간속성 차이가 존재할 것으로 예상했으며, 단지 내 교통사고 저감에 가장 유리한 도로 패턴을 확인하고자 했다.

2) 단지 특성

단지 특성은 단지 면적(X_{B1}), 단지 내 도로 면적(X_{B2}), 도로 비율(X_{B3}), 동 수(X_{B4}), 가구 수(X_{B5})로 구분했다. 단지 면적 변수(X_{B1})를 통해 단지의 절대적인 크기와 공간지표의 연관성을 파악하고자 하였으며, 단지 내 도로 면적(X_{B2}) 변수를 통해 단지 내 도로의 면적과 RRA의 연관성을 파악하고자 하였다. 도로 비율(X_{B3})을 통해 아파트 단지의 전체 대지 면적 중 도로가 차지하는 비율과 공간지표의 연관성을 파악하고자 했다. 아파트 동수(X_{B4}) 변수는 아파트 동 수와 단지 내 동 배치 과정에서 저층 다동 배치, 고층 타워형 소수 동 배치 차이가 도로체계를 결정짓는 큰 요소이기 때문에 통합도와 분산 정도를 나타내는 공간지표 값에 미치는 영향 역시 클 것으로 예상했다. 가구 수 (X_{B5})를 통해 거주민의 숫자와 공간지표와의 관계를 파악하고자 했다.

3) 교통 특성

교통 특성은 주차대수(X_{C1}), 지하 주차 비율(X_{C2}), 가구당 주차 면수(X_{C3}), 3지 교차로(X_{C4}), 4지·4지 이상 다지 교차로(X_{C5}), 차량 출입구 개수(X_{C6})로 분류했다. 교통 특성에서는 단지 내 교통 환경과 관련된 변수들을 설정해 단지 내부의 총 주차대수(X_{C1}) 변수와 지하주차장의 비율(X_{C2}) 변수를 통해 지상과 지하주차장의 비율과 공간지표와 연관성을 파악해 특정 유형의 주차장 비율에 따른 도로의 통합성 변화 여부를 확인하고자 했다. 가구당 주차 면수(X_{C3})는 아파트 단지 계획 운영 차원에서 구획된 가구당 주차 면수의 규모와 공간지표의 연관성을 규명한다. 3지 교차로(X_{C4})와 4지·4지 이상 다지 교차로 (X_{C5})는 단지 내 도로의 분기점으로 작동하는 교차로 숫자가 공간지표에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 했다. 차량 출입구 개수(X_{C6}) 변수는 단지를 출입하는 차량 출입구의 개수에 따른 공간지표 값, 즉 단지 내 도로체계의 통합도와 분산성에 유의미한 결과를 갖는지 파악하고자 했다.

4) 변수의 기초 통계량

본 분석에서 사용된 변수의 기초 통계량은 Table 5.에 정리되어있다. 먼저 종속변수인 단지 내 교통사고 발생 여부(Y)의 경우 사고 미발생 단지가 73단지, 사고가 발생한 단지가 157단지로 사고 발생 단지가 약 2배가량 많았다. 로지스틱 회귀 분석의 독립변수인 Integration(X_{SS1})은 평균 4.97의 위상값을 가지고 있었으며 RRA(X_{SS2})의 평균은 0.638이었다. 연속형 변수 중 단지 특성의 기초 통계량으로 단지 면적(X_{B1})의 평균은 488,206m² 단지 내 도로면적 (X_{B2})평균은 150,227m²로 집계됐다. 도로 비율(X_{B3})은 평균 0.312로 표본 단지들의 경우 단지 면적의 31%가 도로로 구성되어 있었다. 아파트 동수 (X_{B4})는 평균 20.86동이었다. 아파트 가구 수 (X_{B5})는 평균 2006.81세대로 집계되었다. 교통 특성의 기초 통계량으로 주차대수(X_{C1})의 평균은 1844.72대였으며, 지하 주차의 비율(X_{C2})은 평균 45.1%였다. 지하 주차 비율은 사용승인 10년 미만 신축 단지들

을 제외한 표본을 구성해 이뤄진 값이므로, 본 연구에서 제외된 신축 단지들을 포함할 경우 54%로 상승한다. 가구당 주차 면수(X_{C3})의 경우 1.064대가 구획되어 있었다. 단지 내부 3지 교차로(X_{C4})의 평균 개수는 16.86개였으며, 4지·4지 이상 다지 교차로(X_{C5})의 평균은 2.34 개였다. 표본 단지의 차량 출입구 개수(X_{C6})의 경우 평균 3.6개의 차량 출입구가 계획되어 있었다.

범주형 변수의 기초 통계량으로 주변 도로 유형(X_{A1})은 1면 도로 6.9%, 2면 도로 30.4%, 3면 도로 35.6%, 4면 도로 26.9%로 나뉘어 약 60%의 단지가 외부 3면 또는 4면이 도로에 접하는 환경에 있었다. 내부도로 패턴(X_{A2})은 가지형 도로 36.5%, 순환형 도로 26%, 격자형 도로 16.9%, 혼합형 도로 13.4%, 지하진입형 도로 6.9%로 나뉘어 가지형 도로가 가장 많이 사용됨을 알 수 있다.

Table 5. Basic statistics of variables

Basic statistics of continuous variables					
Variable	N	Min	Max	Average	S.D.
X_{SS1} Integration	229	1.517	98.472	4.970	9.556
X_{SS2} RRA	229	-0.332	0.638	0.337	0.132
X_{B1} Complex area	230	11933.200	488206.800	89879.242	60228.277
X_{B2} Complex road area	230	1074.801	150227.121	25895.173	20864.973
X_{B3} Road ratio	230	0.013	2.319	0.312	0.212
X_{B4} Number of buildings	230	4	122	20.86	13.419
X_{B5} Number of households	230	1200	6864	2006.81	870.699
X_{C1} Number of parking spaces	230	276	9486	1844.72	1386.309
X_{C2} Underground parking ratio	230	0.000	1.000	0.451	0.409
X_{C3} Parking spaces per household	230	0.182	4.730	1.064	0.720
X_{C4} 3-way intersection	230	0	129	16.86	13.325
X_{C5} 4-way or more intersection	230	0	14	2.34	2.390
X_{C6} Number of vehicle entrances	230	1	12	3.60	2.373
Basic statistics of categorical variables					
		N	%		
Y	Occurrence of traffic accident	0	73	31.8	
		1	157	68.2	
		Total	230	100	
X_{A1}	Peripheral road type	1	16	6.957	
		2	70	30.435	
		3	82	35.652	
		4	62	26.957	
		Total	230	100	
X_{A2}	Internal road pattern	1	84	36.522	
		2	60	26.087	
		3	39	16.957	
		4	31	13.478	
		5	16	6.957	
		Total	230	100	

3. 분석 결과

3.1. 로지스틱 회귀 분석 결과

Table 6.은 아파트 단지 내 사고와 공간지표 Integration과 RRA 를 로지스틱 회귀를 통해 분석한 결과이다. 분석 결과의 유의성을 판단하기 위한 Hosmer - Lemeshow 검증 결과 χ^2 값이 3.628이며 대응되는 유의확률이 0.05 이상인 0.889로 추정된 모형이 표본을 적절히 적합시키지 못한다는 귀무가설을 기각한다. 이는 관측빈도와 예측빈도 사이 차이가 없으며, 로지스틱 회귀모델이 사고가 발생한 단지과 사고가 발생하지 않은 단지를 유의하게 분류하고 있음을 의미한다.

공간 통합성 Integration(X_{SS1})은 단지 내 교통사고 발생에 신뢰수준 95%에서 유의미한 통계 결과를 보이지 않았다. 반면 RRA(X_{SS2})의 경우 통계적으로 유의미한 수준에서 단지 내 교통사고 발생에 대해 부(-)의 영향을 미쳤다. 이는 통합성과 역수 관계를 이루는 RRA가 회귀모형에서 교통사고와 유의미한 상관관계를 가짐을 나타낸 것이다. RRA는 그 값이 클수록 통합도가 약하고 분산된 공간을 의미한다. 따라서 강하게 도로구조가 통합된 단지에서 교통사고의 발생확률이 강하며, 약하게 통합되어있는 단지 내 도로체계일수록 단지 내 교통사고 발생 가능성이 감소하는 것으로 해석된다. 즉, RRA 값이 1만큼 증가할 때 사고 발생확률의 증산비가 96.9% 감소한다. 그러나 RRA는 통상 0에서 1 사이의 값을 가지며, 1 이상의 값은 매우 분산된 공간을 의미한다. 단지 계획 적용 용이성을 위해 RRA값이 0.1 증가할 때 사고 발생확률 증산비가 9.69% 감소한다고 해석해 차후 Depthmap X 프로그램을 활용한 단지 내 도로체계 계획에 사용할 수 있다.

3.2. OLS 회귀분석 결과

로지스틱 회귀분석을 통해 단지 교통사고 발생 여부와 RRA의 연관성을 밝힌 뒤 도로의 구조, 단지, 교통 특성 변수들이 RRA에 미치는 영향을 알아보고, 단지 계획 차원에서 유의미한 시사점을 도출하기 위해 다항 회귀분석을 실시하였다.

1) 도로구조 특성분석 결과

첫 번째 도로의 구조 특성을 분석한 결과는 Table 7.이다. 분석 결과 F값이 0.001 미만으로 본 회귀모형이 적합함을 알 수 있다. 수정된 $R^2 = 0.301$ 로 30.1%의 설명력을 보였다. 주변 도로 유형(X_{A1})은 1면 도로와 2면 도로가 RRA 값에 유의한 영향을 미치는 것으로 나

타났다. 1면 도로의 경우 4면 도로보다 RRA값이 0.085 높았으며, 2면 도로의 경우 4면 도로보다 RRA값이 0.055만큼 높았다. 즉 1면 도로와 2면 도로가 4면 도로보다 분산된 도로체계를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 이는 4면 도로체계가 가장 분산된 도로체계를 구성하기 쉽고, 차량 통행 경로가 한정되는 1면과 2면 주변 도로 유형에서 내부 도로체계가 더 통합·집중되어 있을 것이라는 예상과 달랐다. 이에 주변 도로 유형에 따른 단지 면적 평균을 계산한 결과 Table 8.과 같이 4면 도로, 3면 도로, 1면 도로, 2면 도로 순으로 단지 면적 평균이 계산되어, 단지 면적에 의한 매개 효과가 의심되었다. 이에 Table 9.와 같이 단지 면적의 매개효과 분석을 진행했다. Baron&Kenny가 제시한 3단계 절차에 따라 독립변수(주변 도로 유형)가 매개변수(단지 면적)에 미치는 영향, 독립변수가 종속변수(RRA)에 미치는 영향, 독립변수와 매개변수가 종속변수에 미치는 영향을 확인하고자 위계적으로 회귀분석을 진행했다. 분석 결과, 모든 단계가 유의미한 통계적 결과를 보여 단지 면적이 주변 도로 유형과 RRA를 부분적으로 매개함을 알 수 있었다. 따라서 주변 도로 유형과 RRA의 상관관계는 결론의 종합적인 단지 계획 측면에서 다시 해석했다. 단지 내부도로 패턴(X_{A2})의 경우 가지형, 순환형, 격자형, 혼합형, 지하진입 모두 통계적으로 유의하게 나타났다. 단지 내부도로 패턴의 경우 순환형, 혼합형, 격자형, 가지형, 지하진입 순으로 분산된 도로체계를 보일 확률이 높았다. 유형별 단지 면적의 평균 크기는 Table 10.과 같다. 단지 면적 평균은 격자형, 지하진입형, 순환형, 혼합형, 가지형 순으로 상관분석 결과와 유사한 흐름을 관측할 수 없었다. 표본에 근거했을 때 서울시 내 대형 단지 내에서 가장 많이 사용되는 도로 패턴인 가지형 도로가 사고 발생 가능성이 가장 큼을 예상할 수 있었다. 주변 도로 유형과 단지 내부도로 패턴의 RRA에 대한 상대적 영향력을 파악하기 위해 표준화 계수의 β 값을 비교하면 내부도로 패턴의 β 값이 더 커 주변 도로 유형보다 RRA에 상대적으로 더 큰 영향을 주고 있음을 확인했다.

Table 6. Result of logistic regression analysis

Independent variable	B	SE	Wald	p	OR
(Intercept)	1.747	0.786	4.936	1.747	0.786
X_{SS1} Integration	0.056	0.080	0.493	0.483	1.058
X_{SS2} RRA	-3.488	1.560	4.999	0.025	0.031
Hosmer-lemeshow test					
Step	Chi-square	Df	P-value		
1	3.628	8	0.889		

Table 7. Regression analysis results of spatial structure characteristics

Variable	Coef					TOL	VIF
	B	SE	β	t value	P value		
(Intercept)	0.080	0.029		2.766			
Single-side	0.085	0.028	0.182	3.037	0.003**	0.858	1.165
Two-side	0.055	0.020	0.180	2.801	0.006**	0.746	1.340
Three-side	0.005	0.018	0.019	0.293	0.770	0.714	1.400
Branch type	0.216	0.030	0.785	7.125	0.000***	0.252	3.961
Circulation type	0.281	0.032	0.937	8.902	0.000***	0.277	3.614
Grid type	0.264	0.033	0.752	7.948	0.000***	0.342	2.921
Mixed type	0.273	0.034	0.719	8.010	0.000***	0.381	2.625

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

F(p)	<.001***
adj. R^2	0.301

Table 8. Average area of the complex according to the peripheral road type

Peripheral road type			
Single-side	Two-side	Three-side	Four-side
Average complex area			
75,747.4m ²	75,332.89m ²	86,249.39m ²	108,867.6m ²

Table 9. Mediating effect of complex area on the relationship between peripheral road type and RRA







Model Relationship	F Value	P value
The effect of the independent variable on the mediator	4.065	0.008
The effect of the independent variable on the dependent variable	4.8	0.003
The effect of both the independent variable and the mediator on the dependent variable	3.287	0.012

Table 10. Average area of the complex according to internal road pattern

Internal road pattern				
Branch type	Circulation type	Grid type	Mixed type	Underground access
Average complex area				
78,827.34m ²	91,663.51m ²	116,414.7m ²	80,012.52m ²	95,647.26m ²

Table 11.은 주변 도로 유형 단지별, 내부도로 패턴 유형별로 RRA 값이 가장 큰 단지들을 정리했다. 즉 해당 유형에서 가장 분산된 도로체계를 갖는 단지들이다. 주변 도로 유형으로 1면 도로의 경우 신림 푸르지오의 RRA 값이 0.54, 2면 도로의 경우 월계 그랑빌의 RRA가 0.638, 3면 도로 유형은 신도림 대림 1, 2차 아파트의 RRA가 0.626, 4면 도로 유형에서는 중암 SK의 RRA가 0.613으로 가장 분산된 도로체계를 보였다. 내부도로 패턴 유형으로 가지형 도로 패턴 단지는 신도림 대림 1, 2차 아파트, 순환형 도로 패턴은 중암 SK,

Table 11. Complex with maximum RRA index by peripheral road type · internal road pattern

			
A) Sinrim Prugio		B) Wolgye Grandville	
Single-side	RRA: 0.54	Two-side	RRA: 0.638
-		Mixed	
			
C) Sindorim Daerim 1st and 2nd Complex		D) Jongam SK	
Three-side	RRA: 0.626	Four-side	RRA: 0.613
Branch		Circulation	
			
E) Wolgok Doosan Weve		F) Namseoul Hillstate	
-	RRA: 0.622	-	RRA: 0.434
Grid		Underground Access	

격자형 도로 패턴은 월곡 두산 위브 아파트 RRA 값 0.622, 혼합형 도로 패턴의 경우 월계 그랑빌 RRA 값이 가장 커 분산된 도로형태를 보였다. 지하진입형 도로 패턴의 경우 남서울 힐스테이트 아파트의 RRA 값이 0.434로 가장 분산된 도로체계를 가지고 있다. 따라서 추후 분산된 도로를 계획하는 경우 유형별로 본 단지들의 도로체계를 참고삼을 수 있을 것이다.

2) 단지 특성 분석 결과

두 번째 단지 특성의 분석 결과는 Table 12.이다. 분석 결과 F값이 0.01 미만으로 본 회귀모형이 적합함을 알 수 있었다. 수정된 R² = 0.066, 6.6%로 세 가지 특성에 대한 OLS 분석 결과 중 가장 낮은 설명력을 가지고 있다. 도로 비율(X_{B3}), 가구 수(X_{B5})는 유의미한 통계 결과를 보이지 않았다. 그러나 단지 면적(X_{B1})은 RRA에 대해 (-)의 영향을 미쳤으며, 단지 내 도로면적(X_{B2})과 단지 내 아파트 동수(X_{B4})의 경우 RRA에 대해 정(+)의 영향을 보였다. 이를 통해 단지 면적이 넓을수록 분산된 도로체계보다 통합성이 높은 도로체계가 사용되었음을 알 수 있다. 이는 넓은 단지일수록 대규모 단지이기 때문에 단지 내부 주거동에 쉽게 접근할 수 있는 효율적인 동행체계를 만

들어야 하기 때문에 판단된다. 또한, 단지 내 도로면적이 넓고 아파트 동수가 많을수록 도로체계가 분산될 것으로 예상할 수 있다. 아파트 동수의 경우 단지 계획 측면에서 고층 타워형 소수 동으로 구성된 단지과 저층 다동 배치 사이의 선택과 그로 인한 도로체계의 통합도 변화에 대한 참고사항이 될 수 있을 것이다.

3) 교통 특성 분석 결과

세 번째 교통 특성의 분석 결과는 Table 13.과 같다. 분석 결과 F값이 0.01 미만으로 본 회귀모형이 적합함을 알 수 있었으며, 수정된 R² = 0.113으로 11.3%의 설명력을 가지고 있다. 주차대수(X_{C1})와 가구당 주차면 수(X_{C3}), 4차·4차 이상 다차 교차로의 개수(X_{C5})는 RRA에 대하여 유의미한 영향을 미치지 않았다. 반면 지하 주차 비율(X_{C2})은 RRA에 대해 정(+)의 영향을 미치고 있었으며, 3차 교차로(X_{C4}) 역시 RRA에 대해 정(+)의 영향을 보였다. 반면 차량 출입구 개수(X_{C6})의 경우 RRA에 대해 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이는 지하 주차 비율이 높고 3차 교차로를 많이 사용할수록 분산된 도로체계일 가능성이 큼을 나타낸다. 또한, 차량 출입구 개수가 많을수록 통합된 도로체계를 가진 단지일 가능성이 큼을 알 수 있다.

Table 12. Regression analysis results of complex characteristics

Variable	Coef					TOL	VIF
	B	SE	β	t value	P value		
(Intercept)	0.300	0.026		11.386			
X _{B1}	-7.797 E-07	0.000	-0.356	-2.279	0.024**	0.168	5.956
X _{B2}	1.659E -06	0.000	0.262	2.367	0.019*	0.333	3.000
X _{B3}	0.062	0.052	0.100	1.207	0.229	0.595	1.681
X _{B4}	0.004	0.001	0.357	3.076	0.002**	0.304	3.294
X _{B5}	-1.446 E-05	0.000	-0.095	-0.843	0.400	0.319	3.133
F(p)					<.001**		
adj. R²					0.066		

Table 13. Regression analysis results of traffic characteristics

Variable	Coef					TOL	VIF
	B	SE	β	t value	P value		
(Intercept)	0.275	0.026		10.555			
X _{C1}	-4.220 E-07	0.000	-0.004	-0.055	0.956	0.597	1.675
X _{C2}	0.053	0.026	0.163	1.992	0.048*	0.581	1.722
X _{C3}	0.012	0.012	0.064	1.008	0.315	0.976	1.024
X _{C4}	0.003	0.001	0.288	3.781	0.000***	0.671	1.490
X _{C5}	0.005	0.004	0.099	1.314	0.190	0.689	1.452
X _{C6}	-0.010	0.004	-0.174	-2.588	0.010***	0.863	1.159
F(p)					<.001***		
adj. R²					0.113		

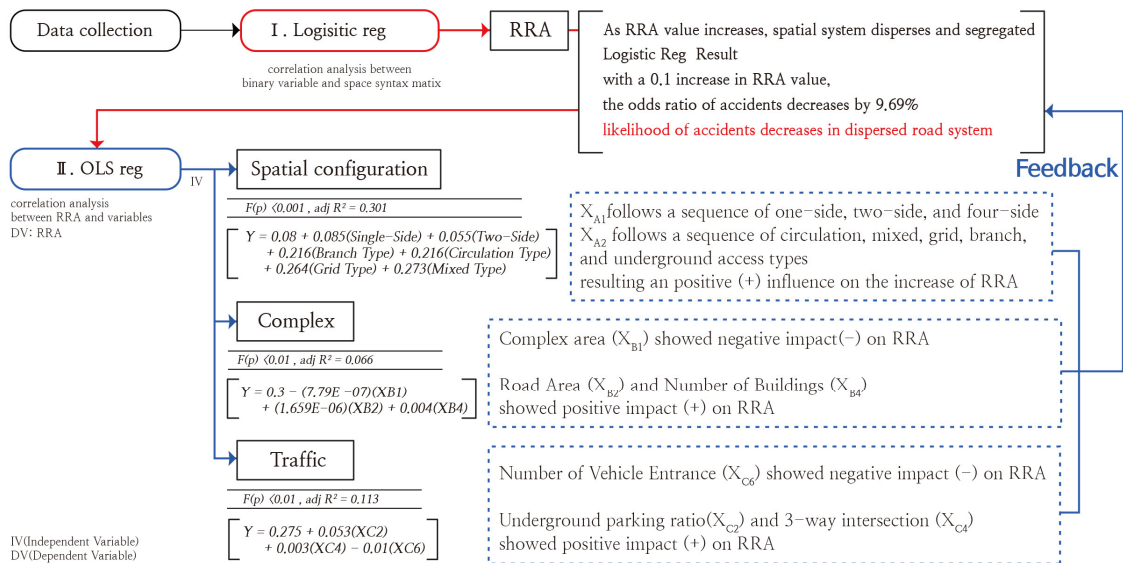


Fig. 3. Summary of research flow and overview of findings

4. 결론

본 연구의 전체적인 흐름과 발견은 Fig. 3.과 같다. 공간구문론 지표를 활용해 서울시 내 1,200세대 이상이 거주하는 아파트 단지 내 도로에 대한 객관적인 지표를 수집했으며 Integration, RRA 두 가지 공간지표와 단지 내 교통사고 발생에 대한 로지스틱 회귀분석을 진행했다. 이를 통해 RRA가 단지 내 교통사고 발생에 대해 부(-)의 영향을 끼침을 확인했다.

이는 단지 내 도로가 분산되어 있을수록 단지 내 교통사고의 발생 확률이 감소한다고 해석된다. 이후 2차 회귀분석으로 이러한 RRA에 영향을 미치는 요인들에 대해 OLS를 통한 회귀분석을 진행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

도로구조특성에서 주변 도로 유형의 경우 4면 도로 대비 1면 도로와 2면 도로가 분산되어 있을 확률이 높았다. 1면 도로, 2면 도로, 4면 도로 순으로 분산된 도로체계를 가지고 있었다. 단지 내부도로 패턴의 경우 순환형, 혼합형, 격자형, 가지형, 지하진입 순으로 분산된 도로체계일 가능성이 크다. 단지 특성에서는 단지 면적이 커질수록 분산된 도로형태일 가능성이 감소하는 결과가 도출되었으며 이로 인해 교통사고 발생확률 증산비가 증가할 것임을 예상할 수 있었다. 반면 단지 내 도로면적이 넓고 아파트 동수가 많을수록 분산된 도로형태일 가능성이 크고, 이로 인해 단지 내 교통사고의 발생확률이 감소할 것임을 알 수 있었다. 교통 특성에서는 지하 주차 비율이 높고, 3지 교차로를 많이 사용할수록 분산된 도로형태일 가능성이 증가하며, 차량 출입구가 많을수록 도로체계가 통합된 단지일 가능성이 커진다는 결과를 얻었다. 세 가지 특성에 대한 선형 회귀분석으로 회귀식을 도출한 결과 회귀식의 설명력 크기는 도로구조, 교통 특성, 단지 특성 순이었음을 참고할 필요가 있다.

각 특성의 회귀분석 결과를 종합해 도출할 수 있는 단지 계획 측면에서의 시사점은 다음과 같다. 많은 차량 통행량을 내포하는 차량 출입구 개소의 증가가 실제 단지 내 통행량이 집중되는 통합된 도로체계 가능성 증가로 이어졌으며, 대규모 세대가 거주할 가능성이 큰 넓은 단지일수록 단지 내부까지 효율적인 접근을 위해 많은 통행량과 빠른 차량 통행을 수용하는 통합도가 높은 도로체계를 사용하는 것으로 판단된다. 이 경우 높은 통행량이 집중되는 도로와 구간에서 발생하는 사고를 방지하기 위한 대책으로 단지 내부 신호등, 과속방지턱 등의 안전설비를 설치하여 차량의 과속을 막고 그에 따른 사고를 예방할 수 있을 것이다. 또한, 아파트 등의 증가가 분산된 도로체계와 연관성을 보였기에 3지 교차로 등 다수의 분기점이 사용되어 단지 동 전체에 이르는 도로체계를 계획해 단지 내 일부 도로 또는 구간에서 빠른 속도의 차량과 통행량이 집중되는 현상을 예방할 필요가 있다.

도로 계획단계에서 선택할 수 있는 가장 유리한 내부도로 패턴은 순환형 도로, 혼합형 도로, 격자형 도로, 가지형 도로, 지하진입형 도로 순이었다. 이는 순환형 도로의 특성상 통행량이 집중되는 주도로가 있더라도 지속적인 차량 분기점이 생기며 전체적 이동 차량의 과속을 방지하고 통행량을 조절하기 때문으로 예상할 수 있다. 반면 가지형 도로의 경우 주도로를 통한 단지 진입부터 단계적으로 도로가 분기되는 체계이기에 주도로에 차량의 통행이 집중되고, 그로 인해

Table 14. Guideline for preventing traffic accidents

No.	Item
1	Circulation and mixed type road planning
	Establish circulation or mixed road plans incorporating numerous branching points to control vehicle speed and manage traffic volume effectively.
2	Prioritize circulatory road design
	Consider circulatory road designs that continuously create vehicle branching points, regulating overall speed and traffic flow.
3	Diverse vehicle entry and exit routes
	For large complexes, arrange multiple vehicle entry and exit points to set up various pathways and prevent traffic concentration.
4	Considerations for underground parking pathways
	In cases of high underground parking ratios, plan the approach and ramp placement to the parking to ensure vehicle ingress and egress pathways are sufficiently dispersed, preventing accidents.
5	Installation of safety facilities
	Install internal traffic lights, speed bumps, and other safety infrastructure within the complex to prevent speeding and enhance accident prevention.

높은 통합성을 보이는 것으로 해석된다. 적절한 내부도로 패턴의 선택은 한정된 주변 도로로 인한 한계를 극복할 수 있는 통계적 영향력을 가지고 있었다. 다만 그 중 지하진입형 도로의 경우 현재 연구에서 파악할 수 있는 지상까지의 도로만 자료에 반영되었기 때문에 램프를 통한 지하진입 전 통합된 도로만이 공간구조 도출에 사용되었음을 유의할 필요가 있다.

Table 14.는 분석 결과를 종합하여 단지계획 시 참조 가능한 다섯 가지 핵심 가이드라인을 제시한다. 첫 번째 '순환형 및 혼합형 도로 계획'은 차량의 과속방지과 통행량 조절을 위해 다수의 분기점을 포함하는 순환형 또는 혼합형 도로계획을 수립한다. 두 번째 '순환형 도로 우선 고려'는 차량 분기점을 다수 배치하여 전체적인 속도와 통행량을 조절할 수 있는 순환형 도로를 우선 고려한다. 세 번째 '다양한 출입구 배치'는 대규모 단지 내 다양한 차량 출입구를 배치하여 여러 출입 경로를 설정하고 차량 통행의 집중을 방지한다. 네 번째 '지하 주차 동선 고려'는 지하 주차비율이 높은 경우 지하주차장 진입 동선과 차량 진입 램프가 충분히 분산되도록 계획하여 차량의 진출입 과정에서 사고 발생을 예방한다. 마지막 항목인 '안전 시설물 설치'는 단지 내부에 신호등, 과속방지턱 등 안전 시설물을 설치하여 과속을 방지하고 교통사고 예방을 강화한다.

본 연구는 도시적 차원에서 공간구문론을 이용한 교통사고 요인 분석 등 선형연구와 같이 단지 내 도로형태 역시 높은 통합성을 보이는 도로체계에서 사고 발생확률이 높음을 실증적으로 확인했다. 이를 통해 내부 보행자 특성뿐 아니라 단지 내 교통사고 예방을 위한 교통모형 구축에도 공간구문론의 효용성을 입증했다. 또한, RRA에 대한 회귀분석을 실시해 단지계획 측면의 시사점을 도출했다.

그러나 본 연구의 한계점으로 단지 내 발생사고 표본 수집의 한계로 인해 단지 내부의 전체통합도 외 사고 발생 구역의 국부통합도와 사고 다발 구간에 대한 분석은 진행되지 않았다. 이에 후속 연구로

단지 선정을 통한 연구범위 한정과 단지 내 도로의 국부통합도와 교통사고 발생 간 연관성을 분석할 필요가 있다. 또한, 지하 공간에 대한 도면확보 어려움으로 전면 지하주차장을 제외한 지상 주차장, 지하-지상 혼용 주차장에 그 적용 범위가 한정된다. 추후 공공 데이터를 통해 공간분석이 불가능했던 지하 공간 정보를 확보해 도로체계에 포함하고 공간구문론을 활용해 추가적인 실증분석 연구를 진행할 수 있을 것으로 예상된다.

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회 논문집에 게재된 내용을 수정 보완하여 작성되었으며 2023년도 한국연구재단 연구비 지원 (2021R1A2C1014274)에 의해 수행되었습니다.

References

[1] 통계청, 2021년 인구주택총조사, 2021. // (Statistics Korea, Population and housing census 2021, 2021.)

[2] 김현진, 아파트 단지내 도로 안전성 강화방안, 도로학회지, 제20권 제2호, 2018.01, pp.42-44. // (H.J. Kim, Enhancement measures for road safety within apartment complexes, International Journal of Highway Engineering, 20(2), 2018.01, pp.42-44.)

[3] 오수호, 양동양, 공공아파트 단지 내 도로 패턴의 계획특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제14권 제7호, 1998.07, pp.135-142. // (S.H. Oh, D.Y. Yang, A study on the characteristics of street patterns in public multi-family housing estates, Journal of the Architectural Institute of Korea, 14(7), 1998.07, pp.135-142.)

[4] 손세관, 강경호, 우리나라 공영 아파트 단지의 외부공간의 특성 변천에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 제12권 제4호, 2001.11, pp.1-8. // (S.K. Sohn, G.H. Kang, A study on the change in the characteristic of outdoor planning of Korean public apartment project, Journal of the Korean Housing Association, 12(4), 2001.11, pp.1-8.)

[5] 박병호, 양정모, 김준용, 사고위치별 로지스틱 회귀 교통사고 모형 -청주시 4지 신호교차로를 중심으로-, 한국도로학회 논문집, 제11권 제2호, 2009.06, pp.17-25. // (B.H. Park, J.M. Yang, J.Y. Kim, Logistic regression accident models by location in the case of Cheong-ju 4-legged signalized intersections, International Journal of Highway Engineering, 11(2), 2009.06, pp.17-25.)

[6] 강종호, 김경환, 김성문, 로지스틱 회귀분석에 의한 도시부 신호교차로 유턴 사고모형 개발, 대한토목학회논문지, 제34권 제4호, 2014.08, pp.1279-1287. // (J.H. Kang, K.W. Kim, S.M. Kim, Development of the U-turn accident model at signalized intersections in urban areas by logistic regression analysis, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 34(4), 2014.08, pp.1279-1287.)

[7] 김강현, 문정훈, 홍정열, 로지스틱 회귀모형을 이용한 위험물수송차량 교통사고확률 분석 연구, 한국위험물학회지, 제10권 제1호, 2022.06, pp.7-16. // (K.H. Kim, J.H. Moon, J.Y. Hong, Analysis of crash probability for hazardous materials transportation using a logistic regression model, Korean Journal of Hazardous Materials, 10(1), 2022.06, pp.7-16.)

[8] 윤호정, 엄성진, 공동주택 단지 내 보행공간 안전문제에 대한 기초연구, 한국조경학회 추계학술발표논문집, 2019.11, pp.34-35. // (H.J. Yoon, S.J. Yeom, A preliminary study on pedestrian safety problems within residential complexes, Korean Institute of Landscape Architecture Conference, 2019.11, pp.34-35.)

[9] 김신혜, 임동균, 아동 교통사고 사례분석을 통한 교통안전 문제점과 개선방안, 한국콘텐츠학회논문지, 제20권 제5호, 2020.05, pp.629-632. // (S.H. Kim, D.K. Yim, Traffic safety problems and improvement measures through child traffic, Journal of the Korea Contents Association, 20(5), 2020.05, pp.629-632.)

[10] 이규인, 공동주택단지 동선의 사회적 특성과 통행량의 상관성에 관한

연구, 대한건축학회 논문집, 제11권 제1호, 1995.01, pp.113-120. // (K.I. Lee, A study on the relationship between the spatial configuration of streets and the number of pedestrians in multi-family housing estates, Journal of the Architectural Institute of Korea, 11(1), 1995.01, pp.113-120.)

[11] 류세미, 현창용, 시대별 아파트 보행환경의 변화에 따른 외부공간 공간구조 분석, 생태환경건축학회지, 제23권 제4호, 2023.08, pp.77-83. // (S.M. Ryu, C.Y. Hyun, Analysis of spatial structure for outdoor space according to the changes of pedestrian environment in the apartment complex by period, KIEAE Journal, 23(4), 2023.08, pp.77-83.)

[12] 김장수 외 3인, 공간구조와 교통사고의 상관관계 분석, 대한교통학회 학술대회지, 2007.10, pp.329-338. // (C.S. Kim et al., An analysis of the relationship between spatial configuration and traffic accidents using space syntax, Conference of Korean Society of Transportation, 2007.10, pp.329-338.)

[13] 김미송 외 3인, 울산광역시 범규위반별 교통사고 공간적 분포 특성 분석, 대한공간정보학회지, 제25권 제3권, 2017.09, pp.13-22. // (M.S. Kim et al., Geospatial characteristics analysis of traffic accidents in Ulsan, Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, 25(3), 2017.09, pp. 13-22.)

[14] 이용준, 박근애, 김성준, 로지스틱 회귀 분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석, 대한토목학회논문집 D, 제25권 제5호, 2006.09, pp.861-867. // (Y.J. Lee, G.A. Park, S.J. Kim, Analysis of landslide hazard area using logistic regression analysis and AHP (Analytical Hierarchy Process) approach, KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research D, 25(5), 2006.09, pp.861-867.)