

화재발생지점의 도로요건이 출동소요시간에 미치는 영향 연구 : 서울특별시 사례를 중심으로

변전일, 박인선

To cite this article : 변전일, 박인선 (2026) 화재발생지점의 도로요건이 출동소요시간에 미치는 영향 연구 : 서울특별시 사례를 중심으로, 한국재난정보학회논문집, 22:1, 205-222

① earticle에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 학술교육원은 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다.

② earticle에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포, 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우, 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

www.earticle.net

화재발생지점의 도로요건이 출동소요시간에 미치는 영향 연구: 서울특별시 사례를 중심으로

A Study on the Effect of Road Requirements at Fire Point on Fire Response: Based on the case of Seoul Metropolitan Government

변전일¹ · 박인선^{2*}

Jeon-Il Byun¹, In-Seon Park^{2*}

¹Graduate Student, Department of ICT Convergence Safety, The Graduate School of Chung-Ang University, Seoul, Republic of Korea

²Professor, Department of ICT Convergence Safety, The Graduate School of Chung-Ang University, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: In-Seon Park, isp@cau.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: This study aims to investigate the effect of road and space characteristics at the point of fire on fire dispatch time. **Method:** Multiple regression analysis was performed using the time required for dispatch as a dependent variable by linking the city's fire and dispatch records with GIS-based road and land use data. **Result:** Only 30% of the dispatch was made within the golden time (300 seconds), and network distance from fire stations and 119 safety centers, access to upper roads, and blind spots and slopes had a significant impact on the dispatch time. **Conclusion:** The road and space structure at the point of fire occurrence is the key to securing golden time, and it is necessary to reflect the fire response perspective in the relocation of fire infrastructure, road networks, and maintenance of old residential areas.

Keywords: Fire Dispatch Time, Road Conditions, Gis-Based Spatial Analysis, Golden Time, Fire Station Accessibility, Multiple Regression Model

요약

연구목적: 본 연구는 화재발생지점의 도로·공간 특성이 소방 출동소요시간에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있다. **연구방법:** 서울시 화재·출동기록과 GIS 기반 도로·토지이용 자료를 연계해 출동소요시간을 종속변수로 한 다중회귀분석을 수행하였다. **연구결과:** 골든타임(300초) 이내 출동은 30%에 그쳤으며, 소방서·119안전센터와의 네트워크 거리, 상위도로 접근성, 맹지·경사지 여부 등이 출동소요시간에 유의한 영향을 미쳤다. **결론:** 화재발생지점의 도로·공간 구조가 골든타임 확보의 핵심이며 소방 인프라 재배치와 도로·가로망, 노후 주거지 정비에 화재대응 관점 반영이 필요함을 시사한다.

핵심용어: 화재 출동소요시간, 도로 조건, GIS 기반 공간분석, 골든 타임, 소방서 접근성, 다중회귀모형

Received | 14 January, 2026
Revised | 26 February, 2026
Accepted | 27 February, 2026

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

도시가 고층·고밀화 될수록 화재 발생 시 인명 및 재산 피해는 확대될 수 있다. 특히 대도시에서는 복잡한 도로망과 교통 혼잡, 노후 주거지, 고밀화된 토지이용 등으로 소방차의 현

장 접근이 지연되는 경우가 빈번하게 발생한다. 골든타임 내에 소방차가 도착하지 못하면 화재의 확대와 인명피해가 증가한다. 그럼에도 불구하고 소방정책 및 선행연구는 대부분 소방인력 및 장비의 확보, 소방시설의 의무설치, 건축물 내 피난 경로 확보 및 방화 구조 개선 등에 집중되어 왔으며 화재발생지점의 도로 접근성 특성과 토지이용 특성이 출동소요시간에 미치는 영향에 대한 연구는 미미하다.

특히, 서울특별시는 인구와 시설의 밀도가 매우 높고 도심부와 외곽부의 도로망 구조가 다르며 노후 저층 주거지와 고층 업무·상업지역, 산지·경사지가 혼재하는 등 복합적인 도시공간구조 형태를 보인다. 이러한 조건은 화재 발생 시 출동 경로와 도착시간에 영향을 미친다. 통계에 따르면 상당수 화재가 골든타임을 초과하여 화재발생지점에 도착하고 있으며 도로 혼잡·불법 주정차 등으로 인한 도착 지연 사례도 확인된다. 이에 화재발생지점의 도로 접근성 특성과 토지이용 특성을 파악하고 출동소요시간과의 관계를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구는 서울특별시를 사례로 하여 화재발생지점의 도로 접근성 특성이 소방 출동소요시간에 미치는 영향을 실증 분석하는 것을 목적으로 한다.

연구 대상지는 서울특별시 전역이며 분석 기간은 2023년 화재 발생사례 중 소방 출동기록과 공간정보를 연계할 수 있는 건수를 대상으로 한다. 자료는 서울특별시 화재 발생·출동 데이터와 도로망, 용도지역·토지이용·건축물용도 등 공간자료를 활용하였다.

연구는 관련 법령 및 규정 등의 제도와 관련 선행연구를 검토하여 화재대응과 도로·토지이용 특성 간의 관계를 도출한 후 출동소요시간을 종속변수로 하고 화재발생지점 특성·토지이용 특성·도로 접근성 특성을 독립변수로 한 다중회귀분석을 실시하여 출동소요시간에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과를 토대로 정책적 시사점을 제시하였다.

이론 고찰

관련 규정 검토

소방 관련 규정에서 도로 접근성과 관련이 있는 법률은 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」과 「소방기본법」이다. 소방력 기준, 소방용수, 소방대 활동 공간을 규정하고 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙」 등에서는 소방차 진입로 폭, 회차 공간, 소방자동차 전용구역 설치 기준 등을 제시한다. 특히 「지방소방기관 설치에 관한 규정」의 소방력 기준에서는 관할구역 설정과 출동거리와 응답시간에 관한 권고 기준을 제시하고 있으나 도로망 구조나 용도지역·지형·맹지 여부 등 토지이용, 도로망 등 도시공간요소의 계량적 반영은 체계화되지 못한 한계가 있다.

도로는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서 도시·군관리계획을 통해 도시계획시설로 위치와 규모를 결정하도록 규정하고 있으며 용도지역·지구·구역의 토지이용 밀도 등을 고려하여 도로의 기능을 배분한다. 한편 「도시·군관리계획 수립지침」에서는 도로의 기능과 규모에 따라 유형을 구분하고 설치 기준 등을 제시하고 있으나 소방차 진입 및 출동소요시간 등을 고려한 성능지표 제시는 미흡하며 일반적인 교통소통과 토지이용 지원 차원에서 도로망 구성을 규정하고 있는 한계가 있다.

한편 「건축법」에서는 개별 필지의 접도 요건을 규정하고 있다. 일정 규모 이상의 건축물은 폭 4m 이상의 도로에 일정 길이 이상 접해야 하고 건축선 후퇴를 통해 유효 도로폭을 확보하도록 규정함으로써 소방차를 포함한 긴급차량의 원활한 접근을 유도한다. 또한 공동주택, 판매시설, 집회시설 등 다중이용 건축물에 대해서는 소방차 진입로, 피난 및 방화계단 설치, 방화구획 등을 의무화하여 건축물 내부의 피난 및 진압 활동을 지원한다. 그러나 이러한 규정은 건축물 내부 구조에 초점을 두고 있어 화재발생지점까지 접근 환경 관점에서는 여전히 불충분하다.

아울러 화재 관련 소방분야 통계 또한 용도별·지역별 화재 특성과 소방력 배치 현황을 보여주지만 출동소요시간과 도로요건을 직접적으로 연결해 분석할 수 있는 형태로 구성되어 있지 않다. 즉 현행 법·제도는 최소한의 접도 및 소방활동 공간을 확보하도록 규정하고 있으나 도로·지형·토지이용 조건에서 출동소요시간지연에 대해서는 근거가 부족하다. 따라서 본 연구는 이러한 제도적 틀 위에서 개별 화재지점의 도로요건과 출동소요시간 간 관계를 정량적으로 검증함으로써 현행 규정의 한계와 개선 방안 제언을 위한 분석 방법을 제공하고자 한다.

선행연구 고찰

소방 출동소요시간과 공간구조의 관계에 대한 선행연구는 먼저 출동소요시간 자체의 공간적 패턴에 주목한 연구로 Oh et al.(2012)은 GIS 네트워크 분석을 통해 경상북도 119 구조구급서비스의 도착지체와 출동배치 특성을 분석하였다. 이 연구는 네트워크 거리와 실제 도착시간 간의 관계, 관할 구역별 공간적 불균형을 제시함으로써 소방·구급 출동체계 평가에 GIS 기반 네트워크 분석을 도입한 초기 연구로 평가된다. Lee et al.(2011)는 GIS 중첩기법을 활용하여 소방서비스 취약지역을 도출하였으며 인구, 소방시설, 도로 접근성 등을 종합하여 시가지 내 취약권역을 유형화하였다. Jang et al.(2021) 역시 중구를 대상으로 GIS 네트워크 분석을 적용해 화재취약지역을 도출함으로써 도시 내부의 미시적 취약공간을 파악하는 방법론을 제시하였다.

다음으로 응급·소방 서비스 권역 및 공간적 재편에 관한 연구로 Kwon et al.(2015)은 대전광역시 응급의료서비스(EMS) 권역을 네트워크 분석을 활용하여 재설정하는 모형을 제시하였다. 이들은 기존 행정구역 중심의 서비스 권역이 실제 도로망·소요시간과 괴리를 보인다는 점을 지적하고 네트워크 기반 등 시간권을 활용한 권역 재편의 필요성을 강조하였다. Choi et al.(2014)는 소방취약지역 모델을 구축하여 취약지 유형을 발굴하는 사례를 제시하였다. Lee et al.(2021)은 소규모 노후 건축물이 밀집된 지역을 대상으로 공간정보 융합기술을 활용해 주요 화재위험 평가항목을 도출하였다. 이들 연구는 노후·불량 주거지 밀집지역, 다세대주택 등의 주거 형태가 화재위험과 밀접한 관련이 있음을 보여주며 토지이용·건축특성과 소방 위험도 간의 연관성을 강조하였다.

종합하면 기존 선행연구는 응급·소방 서비스의 출동소요시간과 취약지역 등을 분석하여 노후 건축물, 토지이용 패턴과 화재위험의 연관성이 있음을 보여주고 있다. 그럼에도 불구하고 출동소요시간을 소방서 거리, 네트워크 거리, 서비스권역 수준에서 다루며 개별 화재발생 필지의 특성과 도로 접근성 특성, 토지이용 및 지형 특성을 동시에 모형에 포함하여 출동소요시간에 미치는 영향을 정량적으로 분석한 사례는 매우 미흡하다. 또한 국내 대도시를 대상으로 실제 화재발생지점에 대한 출동 기록과 도시계획·지적·도로망 자료를 연계해 골든타임 확보 관점에서 도로구조 및 공간구조를 분석한 연구 역시 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 서울시 화재사례를 대상으로 출동소요시간을 종속변수로 하고 화재발생지점 특성, 토지이용 특성, 도로 접근성 특성을 독립변수로 한 다중회귀분석을 통해 도로 접근성 특성과 화재대응 간의 영향관계를 규명하고자 한다.

분석모형의 설계

분석의 틀 및 모형의 설계

본 연구는 화재발생 지점에 대한 출동소요시간이 화재 발생 특성, 토지이용 및 공간적 특성, 도로 접근성 특성 및 소방 인프라 접근성에 의해 복합적으로 결정된다는 가정을 전제로 한다. 화재발생지점의 도로 접근성 특성이 화재 대응에 미치는 영향을 분석하기 위하여 출동소요시간을 종속변수로 설정하고 화재 특성, 토지이용·지형·필지 특성, 도로 접근성 특성 등의 변수

를 독립변수로 하는 다중회귀모델(multiple regression model)을 식 (1)과 같이 설정하였다. 다중회귀분석은 여러 독립변수가 동시에 종속변수에 미치는 영향을 추정할 수 있기 때문에 독립변수 간에 서로 얽혀 있는 상황을 분석하는 데 적합하다.

$$T_i = \delta_i + \sum_{i=1}^k \alpha_i \chi_{1i} + \sum_{i=1}^k \beta_i \chi_{2i} + \sum_{i=1}^k \gamma_i \chi_{3i} + \epsilon_i \quad (1)$$

T_i : i 번째 화재발생 지점의 출동시간(초)
 δ_i : i 번째 화재발생 지점의 상수항
 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$: i 번째 화재발생 지점의 회귀계수
 χ_{1i} : i 번째 화재발생 지점의 특성
 χ_{2i} : i 번째 화재발생 지점의 토지이용 특성
 χ_{3i} : i 번째 화재발생 지점의 도로조건
 ϵ_i : i 번째 화재발생 지점의 오차항

3.2 분석자료의 구성

실증분석은 서울특별시를 대상으로 2023년 발생한 화재에 대하여 위치 정보와 출동기록, 피해기록 등이 정리된 소방방재청에서 제공하는 ‘2023년 서울특별시 화재발생현황’ 자료와 국가공간정보포털(V-World)에서 제공하는 공간자료를 사용하였다. 화재발생현황의 위치정보를 기반으로 공간자료로 전환하고 토지이용과 도로망자료를 결합하여 통계분석을 위한 기초자료를 구성하였다. 이와 같은 GIS 처리 과정을 통해 각 화재 사건별로 토지이용, 지형, 도로 조건, 소방인프라 접근성 등 주요 공간변수를 정량화하였다.

2023년 서울시의 화재발생 건수는 5,671건이며 Gis 공간작업에서 누락된 것을 제외한 5,643건은 화재발생 특성을 분석하는데 사용하였으며 이 중 결측값 및 극단값을 제거한 3,713 건의 화재 사례를 다중회귀분석에 사용하였다.

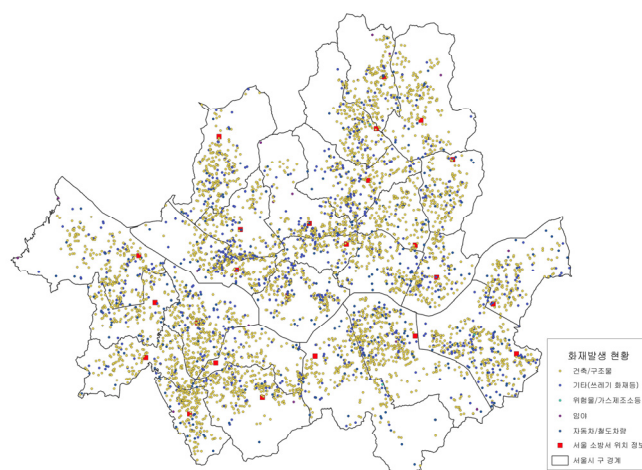


Fig 1. The spatial scope of the study

분석변수의 선정

본 연구의 종속변수인 출동소요시간은 화재 대응의 적정성을 평가하는 지표로서 많이 사용되고 있으며 출동소요시간이란

화재사건 접수 후 모든 준비를 완료하고 소방진압장비와 인력이 소방관서를 출발한 시간부터 현장에 도착한 시간을 말한다.

다중회귀분석을 위한 독립변수는 크게 화재발생지점 특성, 토지이용 특성, 도로 접근성 특성의 세 가지로 분류하였다. 범주형 변수는 회귀분석에 적합하도록 Table 1과 같이 더미변수로 변환하고 참조항목을 설정하였다. 대부분의 선행연구에서는 소방서까지의 거리, 소방서·안전센터의 배치, 도로망 밀도, 도로 폭, 소방차 진입 곤란지역 여부 등을 주요 독립변수로 사용해 왔다. 응급의료·구급 분야 연구들 역시 출동소요시간을 설명하기 위해 병원·소방서 거리, 최단 경로 시간, 도로 등급을 주요 독립변수로 설정하였다.

Table 1. Categorization of items by variable

변수	구분	구분
FT_DM (화재발생유형)	건축물/구조물	참조항목
	위험물/가스제조소등, 기타(쓰레기화재 등), 임야, 자동차/철도차량	-
	주거	참조항목
Fac_DM (화재발생 시설유형)	상업업무	교육시설, 기타서비스, 생활서비스, 운수자동차시설, 의료/복지시설, 집합시설, 판매/업무시설
	산업	산업시설, 위험물/가스제조소
	기타	임야, 자동차/철도차량, 기타
Zoning_DM (화재발생지점 용도지역)	주거지역	제1종전용주거지역, 제2종전용주거지역, 제1종일반주거지역, 제2종일반주거지역, 준주거지역
	상업지역	근린상업지역, 일반상업지역, 중심상업지역, 유통상업지역
	공업지역	준공업지역
	녹지지역	개발제한구역, 생산녹지지역, 자연녹지지역
	주거용	다세대, 단독, 아파트, 연립, 주거기타, 주거나지
Landuse_DM (화재발생지점 토지이용)	상업용	상업용, 업무용, 상업기타, 상업나지
	공업용	공업용, 위험시설, 유해·험오시설, 공업기타, 공업나지
	기타	공항, 기타, 공원등, 도로등, 운동장 등, 임야 기타, 자연림, 전, 전 기타, 조립, 주차장 등, 토지임야, 하천 등
Geo_DM (지형특성)	평지	고지, 저지, 평지
	경사지	급경사지, 완경사지
LShape_DM (토지형상)	정형	가로장방, 사다리형, 세로장방, 정방형
	부정형	부정형, 자루형
AbutR_DM (화재발생 필지 접도요건)	접도	광대로한면, 광대세각, 광대소각, 세로각지(가), 세로한면(가), 소로각지, 소로한면, 중로각지, 중로한면
	맹지	맹지, 세로각지(불), 세로한면(불)
OSPS_DM (도로특성)	일방	일방통행
	양방	양방통행
MVRoad_DM (도로유형)	자동차	자동차전용도로
	일반	일반도로

1) 출동소요시간의 산정은 소방관서에 화재사건이 접수될 경우 모든 장비와 인력의 준비를 완료하고 차량이 차고지를 출발하면 센서를 통해 출발시간이 적용되며 현장 도착시간을 기록하여 작성

이에 비해 본 연구는 기존 연구에서 설정한 거리 및 위치 변수와 더불어 화재발생지점 특성을 화재발생 시설의 특성과 화재발생 필지의 토지이용 특성으로 구체화하고 도로 접근성 특성을 접도 여부, 최 인접 도로의 일방통행 여부, 자동차전용도로 여부 등을 고려하여 Table 2와 같이 세분하였다.

Table 2. Setting analytical variables

분류	변수명	변수 설명	내용
종속변수	dsp_regre	출동소요시간	출동지점_화재발생지점 도착시간(초)
	prprty_dmg	재산피해금액	재산피해금액(천원)
화재 발생 지점 특성	발생	FT_DM1	화재발생지점 유형
	특성	FT_Area	연면적
	시설	Fac_DM1	상업업무시설 dummy
	사용	Fac_DM2	산업시설 dummy
	유형	Fac_DM3	기타시설 dummy
	대응	spt_frstt	소방서 거리
	접근	spt_safe_c	안전센터 거리
			119 안전센터와 화재발생지점 거리(km)
토지 이용 특성	용도	Zone_DM1	상업지역 Dummy
	지역	Zone_DM2	공업지역 Dummy
		Zone_DM3	녹지지역 Dummy
	토지	Luse_DM1	상업업무용 토지 Dummy
	이용	Luse_DM2	공업용 토지 Dummy
	유형	Luse_DM3	기타용 토지 Dummy
		Land_Area	토지면적
	토지	Geo_DM1	지형 Dummy
	특성	Lshape_DM1	토지형상 Dummy
			정형=0, 부정형=1
도로 접근성 특성		LINK_DIS	인접 도로와의 거리
	접근성	LINK_12m_d	12m 이상 도로 거리
		NODE_3C_DI	교차점 거리
	접근성	AbutR_DM1	접도 Dummy
	특성	ROAD_BT	인접 도로 폭
	도로	Osps_DM1	일방통행 Dummy
	요건	MVR_DM	자동차전용도로 Dummy

도로 접근성에 따른 화재 대응 출동 시간 영향

화재 발생 특성

화재 발생지점 특성

Table 3은 2023년 서울특별시에서 발생한 전체 화재 5,671건에 대한 화재유형을 구분하였다. 이 중 건축물/구조물 화재가 4,334건(76.4%)으로 가장 큰 비중을 차지한다. 기타 화재는 16.7%, 차량·철도 화재는 6.6% 순이다.

자치구별로 보면 강남구가 422건, 송파구 382건, 영등포구 348건 순으로 화재 발생이 많다. 반면 중구, 동대문구, 양천구 등은 상대적으로 낮은 화재 발생 건수를 보인다. 강남구·송파구·영등포구 등 일부 자치구에서 화재가 상대적으로 집중되는 데 이는 업무·상업 기능과 고밀 주거지역의 집중이 화재 발생에 영향이 있는 것으로 해석할 수 있다.

또한 대다수 자치구에서 건물/구조물 화재가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 기타·차량/철도 화재가 그 뒤를 잇는 유사한 패턴을 보인다. 이는 서울시 화재 위험이 주로 주거·상업 건축물과 도심 생활공간에서 발생하고 있음을 보여주고 있다.

Table 3. Status of fire occurrence type in Seoul Metropolitan Government

구분	화재 유형										전체	
	건물/구조물		기타		위험물		임야		차량/철도			
	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)	건수	비율(%)
서울시	4,334	6.4	945	16.7	3	0.1	16	0.3	373	6.6	5,671	100.0
강남	328	5.8	61	1.1	-	-	2	0.0	31	0.5	422	7.4
강동	126	2.2	31	0.5	-	-	1	0.0	13	0.2	171	3.0
강북	157	2.8	35	0.6	1	0.0	-	-	7	0.1	200	3.5
강서	210	3.7	46	0.8	-	-	2	0.0	16	0.3	274	4.8
관악	226	4.0	45	0.8	-	-	1	0.0	9	0.2	281	5.0
광진	146	2.6	35	0.6	-	-	-	-	12	0.2	193	3.4
구로	168	3.0	17	0.3	-	-	-	-	15	0.3	200	3.5
금천	162	2.9	13	0.2	-	-	1	0.0	16	0.3	192	3.4
노원	167	2.9	18	0.3	-	-	1	0.0	12	0.2	198	3.5
도봉	150	2.6	18	0.3	-	-	3	0.1	8	0.1	179	3.2
동대문	133	2.3	12	0.2	-	-	-	-	13	0.2	158	2.8
동작	135	2.4	24	0.4	-	-	-	-	8	0.1	167	2.9
마포	197	3.5	59	1.0	-	-	1	0.0	14	0.2	271	4.8
서대문	152	2.7	46	0.8	-	-	-	-	11	0.2	209	3.7
서초	182	3.2	32	0.6	1	0.0	-	-	24	0.4	239	4.2
성동	151	2.7	29	0.5	-	-	-	-	19	0.3	199	3.5
성북	172	3.0	62	1.1	-	-	-	-	12	0.2	246	4.3
송파	266	4.7	86	1.5	1	0.0	-	-	29	0.5	382	6.7
양천	124	2.2	21	0.4	-	-	-	-	17	0.3	162	2.9
영등포	276	4.9	48	0.8	-	-	1	0.0	23	0.4	348	6.1
용산	148	2.6	56	1.0	-	-	-	-	15	0.3	219	3.9
은평	188	3.3	46	0.8	-	-	-	-	14	0.2	248	4.4
종로	142	2.5	44	0.8	-	-	3	0.1	12	0.2	201	3.5
중	90	1.6	41	0.7	-	-	-	-	6	0.1	137	2.4
중랑	138	2.4	20	0.4	-	-	-	-	17	0.3	175	3.1

Table 4는 화재 대상물을 건축물/구조물과 건축물/구조물 이외로 구분하여 골든타임(300초) 이내·이후 출동 여부에 따라 화재 건수와 재산피해액을 비교한 것이다. 전체 5,643건 중 건축물/구조물 화재는 4,316건을 차지하며 재산피해액은 140억

원으로 전체의 85.1%에 해당한다. 서울시 화재 피해의 대부분이 건축물/구조물에서 발생하고 있음을 보여주고 있다.

골든타임 300초 이내 출동 사례를 보면 이 중 75.1%가 건축물/구조물 화재이고 24.9%가 비건축물 화재이다. 재산피해액은 총 41.7억원으로 건축물/구조물이 89.2%이며 건축물 이외는 10.8%에 그친다.

반면 300초 초과 출동 사례에서는 발생건수 비율은 골든타임 이내와 크게 다르지 않지만 재산피해액 측면에서 비건축물 피해 비율이 10.8%에서 16.3%로 증가하였다. 이는 골든타임을 넘길 경우 화재에 의한 피해 규모가 확대됨을 보여주고 있다. 특히 비건축물 화재의 경우 골든타임 이내 대비 건당 평균 피해액이 2배 이상 증가하는 것으로 나타나 야외·차량·임야 화재에서도 초기 대응이 중요함을 시사하고 있다.

Table 4. Dispatch status and damage scale by fire occurrence type

구분		합계		건축물/구조물		건축물/구조물 이외	
		값	비율	값	비율	값	비율
300초 이하	건	1712	100	1285	75.1	427	24.9
	천원	4166106	100	3715530	89.2	450576	10.8
300초 초과	건	3931	100	3031	77.1	900	22.9
	천원	12329545	100	10318109	83.7	2011436	16.3
총합계	건수	5643	100	4316	76.5	1327	23.5
	천원	16495651	100	14033639	85.1	2462012	14.9

Table 5는 화재발생 시설 용도별로 화재 건수와 재산피해액을 제시한 것이다.

시설 용도별 구성을 보면 골든타임 내에 출동한 1,712건 중 상업·업무용 시설이 40.1%로 가장 큰 비중을 차지하며 다음으로 주거용 32.7%순이다. 재산피해액 역시 상업·업무용이 17.6억원으로 가장 많고 주거용이 16.7억원으로 뒤를 잇는다. 상업·업무용과 주거용이 건수·피해액 모두에서 핵심 비중을 차지하며 산업용과 기타용은 상대적으로 비중이 작다.

반면, 골든타임을 초과한 출동 사례 총 3,931건 중 주거용이 42.8%로 비율이 가장 높고 상업·업무용이 31.7% 순이다. 주거용 비중이 상대적으로 높아지고 상업·업무용 비중은 낮아지는 양상을 보인다. 재산피해액을 보면 주거용이 47.3억원, 상업·업무용이 39.6억원, 산업용이 16.3억원으로 나타났다. 특히 산업용의 경우 건수는 2.6%에 불과하지만 피해액은 13.2%에 달해 골든타임을 넘긴 산업용 화재가 상대적으로 큰 피해가 발생하였다.

Table 5. Dispatch status and damage scale by type of fire occurrence facility

구분		합계		주거용		상업·업무용		산업용		기타용	
		값	비율	값	비율	값	비율	값	비율	값	비율
300초 이하	건	1,712	100	559	32.7	687	40.1	41	2.4	425	24.8
	천원	4,166,106	100	1,671,145	40.1	1,763,880	42.3	280,565	6.7	450,516	10.8
300초 초과	건	3,931	100	1,681	42.8	1,248	31.7	103	2.6	899	22.9
	천원	12,329,545	100	4,728,251	38.3	3,959,202	32.1	1,630,859	13.2	2,011,233	16.3
총합계	건수	5,643	100	2,240	39.7	1,935	34.3	144	2.6	1,324	23.5
	천원	16,495,651	100	6,399,396	38.8	5,723,082	34.7	1,911,424	11.6	2,461,749	14.9

토지이용 특성

Table 6은 서울특별시 화재를 용도지역별로 구분하여 골든타임 이내·이후 출동 여부에 따라 건수와 재산피해액을 비교한 것이다. 전체 5,643건 중 주거지역에서 발생한 화재는 4,345건으로 전체의 77.0%를 차지하며 상업지역 13.3%, 공업지역 5.8%, 녹지지역 3.6% 순으로 나타났다. 재산피해액 기준으로는 총 165억원 중 주거지역이 106.9억원으로 약 3분의 2를 차지하고 있으며 상업지역 15.3%, 공업지역 10.9%, 녹지지역 8.3%로 뒤를 잇는다. 즉, 화재 발생 건수와 피해액 모두 주거지역에 압도적으로 집중되어 있다.

골든타임 이내 출동 사례에서도 화재의 다수는 주거지역에서 발생하지만 피해액 기준으로는 상업지역·녹지지역의 비중도 상대적으로 높게 나타나 이들 지역에서 발생하는 화재가 건당 피해 규모가 큰 경우가 적지 않다. 반면, 300초 초과 출동 사례에서는 건수 비중은 골든타임 이내와 비슷한 구조를 보이나 공업지역의 경우 건수는 5.6%에 불과하지만 피해액은 13.0%에 달해 골든타임을 넘긴 공업지역 화재가 재산 피해가 크다.

Table 6. Dispatch status and damage scale of fire occurrence site by use area

구분		합계		주거지역		상업지역		공업지역		녹지지역		기타	
		값	비율	값	비율	값	비율	값	비율	값	비율	값	비율
300초 이하	건	1,712	100	1,308	76.4	267	15.6	107	6.3	27	1.6	3	0.2
	천원	4,166,106	100	2,513,677	60.3	854,657	20.5	197,028	4.7	599,339	14.4	1,405	0.0
300초 초과	건	3,931	100	3,037	77.3	484	12.3	221	5.6	176	4.5	13	0.3
	천원	12,329,545	100	8,180,295	66.3	1,666,678	13.5	1,599,968	13.0	765,702	6.2	116,902	0.9
총합계	건	5,643	100	4,345	77.0	751	13.3	328	5.8	203	3.6	16	0.3
	천원	16,495,651	100	10,693,972	64.8	2,521,335	15.3	1,796,996	10.9	1,365,041	8.3	118,307	0.7

Table 7는 화재발생 지점의 토지용도를 주거용·상업용·공업용·기타로 구분하여 화재 건수와 재산피해액을 비교한 것이다. 전체 5,643건 중 전체 피해액 측면에서는 주거용과 상업용이 합쳐 약 78%를 차지하여 도시 화재 피해의 대부분이 이 두 용도에서 발생하고 있다.

골든타임 이내에 출동이 이루어진 사례에서는 건수 기준으로는 주거용이 크지만 피해액 기준으로는 상업용 화재가 전체 피해의 거의 절반을 차지하고 있어 상업용 시설 화재의 건당 피해규모가 상대적으로 크다. 반면, 300초를 초과하여 출동한 사례에서는 주거용 화재의 건수와 재산피해액이 더 커지는 경향을 보인다.

Table 7. Dispatch status and damage scale by land use at fire occurrence point

구분		합계		주거용		상업용		공업용		기타	
		값	비율	값	비율	값	비율	값	비율	값	비율
300초 이하	건	1712	100.0	841	49.1	714	41.7	21	1.2	136	7.9
	천원	4,166,106	100.0	1,505,857	36.1	2,013,354	48.3	46,035	1.1	600,860	14.4
300초 초과	건	3931	100.0	2315	58.9	1212	30.8	65	1.7	339	8.6
	천원	12,329,545	100.0	4,833,777	39.2	4,483,363	36.4	628,489	5.1	2,383,916	19.3
총합계	건	5643	100.0	3156	55.9	1926	34.1	86	1.5	475	8.4
	천원	16,495,651	100.0	6,339,634	38.4	6,496,717	39.4	674,524	4.1	2,984,776	18.1

Table 8은 화재발생 지점의 지형 및 형상에 따른 화재 특성 및 소방 대응력을 분석하였다.

먼저 지형별 현황을 보면, 전체 5,643건의 화재 중 평지에서 발생한 사례가 4,617건으로 전체의 81.8%를 차지하며 경사지에서 발생한 사례는 729건, 12.9%이다. 재산피해액 역시 평지에서 135.9억이 발생하여 화재 발생건수와 재산피해액 모두 평지에 집중되어 있다.

골든타임 300초 이내 출동 사례만 보면 평지에서 발생한 비율은 85.9%로 전체 평균 81.8%보다 높고 경사지에서 발생 비율은 8.9%로 낮다. 피해액 측면에서도 평지에서 87.0%, 경사지에서 8.7%가 발생하여 골든타임 내 출동의 상당 부분이 평지에서 이루어지고 있다. 반대로 300초 초과 출동 사례에서는 평지에서 화재발생 건수가 낮아지고 경사지에서 상승하는데 피해액 역시 평지 80.8%, 경사지 11.8%로 비슷하다. 즉, 경사지에서 발생한 화재의 경우 발생 건수는 많지 않지만 출동이 지연된 사례에서 상대적인 비율이 높아지는 경향이 있다. 이는 화재발생지점의 지형이 소방차 접근성과 동선에 제약 요인으로 작용하고 있음을 보여주고 있다.

토지 형상별로 보면 정형 필지에서 발생한 화재가 4,253건으로 전체의 75.4%를 차지하고 부정형 필지는 19.1%이다. 피해액은 정형 필지에서 119.3억원, 부정형 필지에서 34.6억원이 발생하여 부정형 필지의 피해 비율이 발생 건수보다 높게 나타났다. 골든타임 이내 출동 사례에서는 정형·부정형 간 구성비가 전체와 크게 다르지 않다.

그러나 300초 초과 출동 사례에서는 차이가 뚜렷해진다. 화재 발생 건수는 유사하지만 피해액은 정형 70.5%, 부정형 21.9%로 300초 이내 출동한 사례보다 부정형 필지의 비율이 상승하였다. 이는 출동이 지연된 경우 부정형 필지에서 피해 확장 정도가 상대적으로 크며 필지 형상이 복잡할수록 소방차 진입 경로, 진압 위치 선정, 장비 전개 등이 비효율적으로 이루어질 가능성이 크다.

Table 8. Dispatch status and damage scale according to land characteristics at fire occurrence point

구분			총합계		300초 이하		300초초과		
			건	천원	건	천원	건	천원	
지형	총합계	값	5643	16,495,651	1712	4,166,106	3931	12,329,545	
		비율	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
	평지	값	4617	13,586,460	1471	3,622,996	3146	9,963,464	
		비율	81.8	82.4	85.9	87.0	80.0	80.8	
	경사지	값	729	1,813,612	152	363,490	577	1,450,122	
		비율	12.9	11.0	8.9	8.7	14.7	11.8	
	절측	값	297	1,095,579	89	179,620	208	915,959	
		비율	5.3	6.6	5.2	4.3	5.3	7.4	
	토지형상	총합계	값	5643	16,495,651	1712	4,166,106	3931	12,329,545
			비율	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
정형		값	4253	11,927,409	1313	3,229,137	2940	8,698,272	
		비율	75.4	72.3	76.7	77.5	74.8	70.5	
부정형		값	1079	3,458,476	306	756,318	773	2,702,158	
		비율	19.1	21.0	17.9	18.2	19.7	21.9	
절측		값	311	1,109,766	93	180,651	218	929,115	
		비율	5.5	6.7	5.4	4.3	5.5	7.5	

도로 접근성 특성

Table 9은 화재발생 지점의 도로 관련 특성을 구분하여 출동 현황과 재산피해액을 함께 제시하였다.

먼저 접도 여부를 보면, 전체 화재 중 접도 필지가 5,035건으로 전체의 89.2%를 차지하고 맹지는 5.0%이다. 재산피해액 기준으로는 접도 필지가 87.0%, 맹지가 5.8%로 대부분 접도 필지에서 발생하였다. 골든타임 이내 출동 사례에서는 접도 필지의 비중이 전체보다 높게 나타나는 점을 고려하면 도로에 접한 건축물일수록 소방차 접근이 용이하여 골든타임 내 도착 가능성이 높다. 반면 골든타임 초과 출동 사례에서는 접도가 88.7%, 맹지가 5.4%로 맹지의 화재발생건수와 피해액 비율이 상승하는데 이는 맹지 여부가 출동 지연에 영향이 있음을 보여주고 있다.

Table 9. Dispatch status and damage scale according to road characteristics at fire occurrence point

구분			총합계		300초 이하		300초초과	
			건	천원	건	천원	건	천원
접도여부	합계	값	5,643	16,495,651	1,712	4,166,106	3,931	12,329,545
		비율	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	접도	값	5,035	14,354,143	1,547	3,734,289	3,488	10,619,854
		비율	89.2	87.0	90.4	89.6	88.7	86.1
	맹지	값	282	954,245	68	206,855	214	747,390
		비율	5.0	5.8	4.0	5.0	5.4	6.1
	결측	값	326	1,187,263	97	224,962	229	962,301
		비율	5.8	7.2	5.7	5.4	5.8	7.8
통행 유형	총합계	값	5,643	16,495,651	1,712	4,166,106	3,931	12,329,545
		비율	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	일방통행	값	917	2,541,270	279	617,166	638	1,924,104
		비율	16.3	15.4	16.3	14.8	16.2	15.6
	양방통행	값	4,725	13,954,375	1,432	3,548,934	3,293	10,405,441
		비율	83.7	84.6	83.6	85.2	83.8	84.4
	결측	값	1	6	1	6	-	-
		비율	0.0	0.0	0.1	0.0	-	-
도로 유형	총합계	값	5,643	16,495,651	1,712	4,166,106	3,931	12,329,545
		비율	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	자동차 전용도로	값	59	461,986	3	3,585	56	458,401
		비율	1.0	2.8	0.2	0.1	1.4	3.7
	일반도로	값	5,584	16,033,665	1,709	4,162,521	3,875	11,871,144
		비율	99.0	97.2	99.8	99.9	98.6	96.3

통행유형별로 보면 전체 화재 중 일방통행도로는 917건, 16.3%, 양방통행도로는 4,725건, 83.7%이며 피해액은 각각 15.4%, 84.6%로 건수와 거의 유사한 비율을 보인다. 골든타임 이내이후 출동 사례는 발생건수와 피해액이 전체와 큰 차이가 없다. 이는 일방·양방통행 여부 자체가 출동소요시간에 직접적인 영향 요인이라기보다는 도로 폭, 교차로 구조, 상위도로와의 연계성 등 다른 도로 특성과 결합되어 발생하는 등 간접적인 영향이 클 것으로 판단된다.

도로 유형별로 보면 전체 5,643건 중 자동차전용도로 인접은 59건에 불과하고 나머지 5,584건 일반도로 인접 지역에서 발생하였다. 전용도로 인접 화재는 매우 드물지만 건수 대비 피해액 비율은 자동차전용도로에서 다소 높게 나타났다. 골든타임 이내 출동 사례에서는 자동차전용도로 인접 화재가 3건에 불과하다. 그러나 골든타임 초과 출동 사례를 보면 자동차전용도로 인접 지역은 56건이지만 피해액은 4.6억원으로 3.7%를 차지한다. 즉, 건수에 비해 피해액이 상대적으로 크며 골든타임을 넘긴 전용도로 인근 화재에서 피해 수준이 크다. 자동차 전용도로는 진입과 진출 지점이 제한되고 램프 구조가 복잡하기 때문에 소방차가 실제 화재지점까지 도달하는 경로가 길어지거나 우회가 불가피할 수 있다. 이러한 구조적 제약이 출동 지연 및 피해 확대에 영향이 있을 것으로 판단된다.

출동 시간 영향 분석

출동소요시간 영향 분석

Table 10은 출동소요시간을 종속변수로 하고 도로·토지·건축물·접근성 변수를 모두 포함했을 때 각 요인이 출동소요시간에 미치는 방향과 크기, 통계적 유의성을 보여준다. 전반적으로 유의확률($p < 0.05$) 기준에서 중요한 변수로는 지상층수, 소방서거리, 안전센터거리, 토지면적, 인접 12m 도로와의 거리, 네트워크_화재지점 거리, 네트워크 거리, 상업업무용 토지이용 더미, 지형 더미, 대로 이상 접한 필지 더미, 맹지 필지 더미, 자동차전용도로 더미 등이 확인된다. VIF가 변수 모두 3 이하 수준으로 나타나 다중공선성은 모형 안정성을 저해할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

분석결과 상수항은 203.067초이며 유의수준은 $p < 0.001$ 로 유의하다. 이는 모든 독립변수가 기준값일 때 서울시 화재 출동의 기본적인 시간 규모가 약 200초이며 독립변수의 효과로 실제 출동소요시간이 결정된다고 볼 수 있다.

건축물 특성 가운데 지상층수는 양(+)의 영향을 미친다. 지상층수가 한 층 증가할 때마다 출동소요시간이 평균 약 0.75초 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 고층 건축물일수록 진입 위치 선정, 주소·호수 확인, 현장 진입 과정이 복잡해져 출동소요시간에 영향이 있는 것으로 분석되었다.

거리·접근성 변수 중에서는 안전센터 거리와 네트워크 거리의 영향력이 크다. 안전센터거리는 $B = 48.496$ 으로 가장 큰 표준화 계수를 보인다. 이는 화재 발생지점과 가장 근접한 안전센터와의 거리가 1km 멀어질수록 출동소요시간이 약 48.5초씩 증가하는 것을 의미하며 근접 안전센터와의 공간적 배치가 골든타임 확보에 매우 중요한 요인임을 보여준다. 네트워크 거리는 도시계획시설로 결정된 도로의 거리를 나타낸 값으로 Gis Network Analysis를 사용하여 화재발생지점으로부터 최단거리 안전센터까지와의 거리를 계산하였다. 회귀분석 결과 $B = 0.048$ ($\beta = 0.294$, $p < 0.001$)로 안전센터에서 화재지점까지의 실제 도로망 기준 이동거리가 길어질수록 출동소요시간이 증가하며 그 영향이 다른 변수들에 비해 크다. 소방서와의 거리도 유의한 양의 효과를 보여 소방서 위치와 도로망 구조를 고려한 접근 경로 관리가 필요하다.

토지·필지 특성 중에서는 토지면적과 지형, 일부 토지이용, 접도 변수가 유의하게 나타났다. 토지 면적이 클수록 출동소요시간은 증가한다. 표준화계수가 0.067로 비교적 의미 있는 수준이며 대형 부지의 경우 진입 위치와 출입구가 다수 존재하여 현장 접근이 복잡해질 수 있다. 또한, 경사지에 위치한 화재지점은 평지에 비해 평균 약 15.6초 출동소요시간이 증가하는 것으로 분석되었다.

상업업무용 토지이용 더미는 $B = -7.891$ 로 음(-)의 효과를 보여주고 있다. 기준 범주인 주거용 토지이용에 비해 상업업무용 토지이용에서는 출동소요시간이 약 7.9초 짧다. 이는 상업·업무용 토지이용 지역이 상대적으로 양호한 도로망과 접도 조건으로 출동소요시간이 줄어든 것으로 판단된다.

Table 10. Multiple regression results

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	공선성 통계량	
	B	표준화 오류	베타			공차	VIF
(상수)	203.067	8.700		23.340	.000		
지상층수	.752	.240	.052	3.135	.002	.548	1.824
연면적	-2.937E-6	.000	-.015	-1.176	.240	.972	1.029
바닥면적	1.096E-5	.000	.004	.305	.761	.977	1.024
소방서거리	2.609	.809	.042	3.225	.001	.901	1.110
안전센터거리	48.496	1.926	.388	25.186	.000	.637	1.569
토지면적	7.951E-5	.000	.067	4.459	.000	.677	1.478
인접도로 폭	-.318	.249	-.026	-1.273	.203	.371	2.692
인접도로와의 거리	.014	.125	.002	.114	.909	.334	2.997
인접 12m 도로와의 거리	.075	.024	.047	3.069	.002	.657	1.523
3지 교차로와의 거리	-.010	.073	-.003	-.136	.892	.343	2.919
네트워크_화재지점 거리	-.039	.019	-.025	-1.986	.047	.916	1.092
네트워크 거리	.048	.002	.294	19.412	.000	.658	1.519
센터_네트워크 거리	-.020	.021	-.012	-.979	.328	.967	1.034
건축물 상태 Dummy	-24.915	12.966	-.024	-1.922	.055	.974	1.027
상업업무 건축물 Dummy	-5.256	3.543	-.026	-1.483	.138	.481	2.080
산업 건축물 Dummy	3.261	7.497	.006	.435	.664	.754	1.326
녹지지역 Dummy	-21.891	15.540	-.022	-1.409	.159	.640	1.562
상업지역 Dummy	6.256	4.163	.022	1.503	.133	.736	1.358
공업지역 Dummy	-2.868	6.030	-.007	-.476	.634	.720	1.388
상업업무용 토지이용 Dummy	-7.891	3.614	-.040	-2.183	.029	.455	2.198
공업용 토지이용 Dummy	2.068	12.384	.003	.167	.867	.664	1.507
야외 기타용 토지이용 Dummy	8.904	13.948	.009	.638	.523	.716	1.396
지형 Dummy	15.552	3.971	.054	3.916	.000	.795	1.258
가로세로 장방형 토지 Dummy	3.989	4.194	.019	.951	.342	.363	2.758
사다리형 토지 Dummy	5.737	4.314	.027	1.330	.184	.361	2.773
부정형 토지 Dummy	4.133	4.848	.016	.852	.394	.412	2.430
도로 각접 토지 Dummy	.673	2.829	.003	.238	.812	.743	1.346
대로이상 접한 필지 Dummy	-12.441	4.082	-.053	-3.048	.002	.502	1.992
소로 접한 필지 Dummy	6.420	4.119	.032	1.559	.119	.353	2.835
맹지 필지 Dummy	21.232	6.918	.048	3.069	.002	.630	1.588
일방통행 Dummy	-.669	3.519	-.002	-.190	.849	.929	1.076
자동차전용도로 Dummy	112.394	23.391	.062	4.805	.000	.919	1.088
출동_근접 센터 동일 여부 Dummy	3.468	2.675	.017	1.296	.195	.865	1.156
인접 차로 2차선 이상 Dummy	-1.537	4.752	-.006	-.324	.746	.395	2.530

도로·접도 관련 변수들 중에서는 인접 12m 도로와의 거리, 대로 이상과 접한 필지 여부, 맹지 필지 여부, 자동차전용도로 여부가 특히 중요하게 나타난다. 인접 12m 도로와의 거리는 접근 거리가 길어질수록 출동소요시간이 증가하는 것으로 분석

되었다. 이는 소방차 통행이 원활한 도로까지 도달시간이 출동소요시간에 직접적인 영향이 있음을 보여준다. 또한 대로²⁾에 직접 접한 필지는 그렇지 않은 필지에 비해 출동소요시간이 약 12.4초 짧다. 이는 소방차가 상위 등급 도로를 이용하여 건물 전면에서 접근할 수 있는 경우 골든타임 확보에 유리하다는 것을 보여준다.

맹지 필지 여부는 $B=21.232$ 로 화재발생지점이 맹지일 경우 맹지가 아닌 지역에 비해 출동소요시간이 평균 약 21.2초 더 길어지는 것으로 나타났다. 이는 도로에 직접 접하지 못하고 골목이나 통로를 통해서만 접근 가능한 필지가 소방차 진입에 장애요인이 된다는 점을 보여준다.

자동차전용도로 여부는 $B=112.394$ 로 전용도로 인근 화재의 경우 다른 조건이 같을 때 일반도로와 비교하여 출동소요시간이 약 112초 더 소요되는 것으로 추정되었다. 이는 자동차전용도로의 특성상 출입구와 램프가 제한되어 실제 화재지점까지 진입 경로가 복잡하기 때문에 우회경로 선택을 반영한 것으로 해석할 수 있다.

정리하면 출동소요시간에 유의미한 영향을 보이는 주요 변수는 첫째, 안전센터와의 거리와 네트워크 거리, 소방서거리 등 접근성 변수이다. 둘째, 경사지 여부와 토지면적, 상업업무용 토지이용과 토지의 형태 등의 특성 변수이다. 셋째, 12m 이상 도로까지의 거리, 대로 접도 여부, 맹지 여부, 자동차전용도로 여부 등 도로 접근성 변수들이다. 특히 안전센터거리와 네트워크 거리는 표준화계수가 가장 큰 변수로 소방 인프라와 도로망의 공간 배치가 출동소요시간을 결정하는 중요 변수임을 보여준다. 동시에 맹지·경사지·자동차전용도로 인근과 같이 불리한 도로 및 지형 조건에 놓인 화재지점에서 출동소요시간이 유의하게 증가하는 것으로 분석되었다.

회귀모형의 적합성 검증

출동소요시간을 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시한 결과 모형의 적합도는 Table 11, Table 12와 같다. 모형의 상관계수 R 은 0.667로 나타났으며 출동소요시간과 독립변수간에 관련성이 존재함을 의미한다. R 제곱값은 0.445로 독립변수가 출동소요시간 영향을 약 44.5% 설명하고 있다. F 변화량이 86.611로 나타난 것은 상수항만 포함된 모형에 비해 본 연구에서 설정한 독립변수를 추가했을 때 출동소요시간 예측력이 통계적으로 매우 유의미하게 향상되었음을 의미한다.

추정값의 표준오차는 74.254로서 회귀모형의 예측결과와 실제 출동소요시간 사이에 약 74초 정도의 오차가 존재한다. 출동소요시간이 수십 초에서 수백 초 단위로 측정된다는 점을 고려하면 오차 수준은 도로 교통상황, 시간대별 혼잡, 현장 접근시의 미세한 경로 차이 등 모형에 반영하기 어려운 요인들이 일정 부분 영향이 있는 것으로 판단된다.

Table 11. Analytical model summary

구분	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차	통계량 변화량				
					R 제곱 변화량	F 변화량	자유도1	자유도2	유의확률 F 변화량
모형	.667	.445	.440	74.254	.445	86.611	34	3678	.000

2) 대로는 「도시군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 상 폭 25미터~40미터 미만의 도로로 규정하고 있다.

Table 12. ANOVA

	구분	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
모형	회귀	16236538.492	34	477545.250	86.611	.000b
	잔차	20279315.905	3678	5513.680		
	전체	36515854.398	3712			

Table 13은 회귀모형의 적합성을 점검하기 위한 잔차 통계량을 보여주고 있다. 예측값의 분포를 보면 출동소요시간에 대한 회귀모형의 예측값은 최소 191.20초, 최대 719.71초 범위에 분포하고 있으며 평균은 348.74초이다. 표준편차는 66.137초로서 본 연구에서 분석 대상으로 삼은 화재 출동 사례들의 전반적인 시간 규모와 대체로 부합한다.

잔차의 분포를 보면 잔차의 평균이 사실상 0에 가까우며 잔차의 표준편차는 73.913초로 앞서 제시된 추정값의 표준오차 약 74.254초와 거의 동일한 수준이므로 편향(bias)은 크지 않다. 종합하면 본 연구에서 구축한 도로 접근성 특성·토지이용·건축물·접근성 변수에 기반한 출동소요시간 회귀모형이 통계적으로 적합한 모형임을 설명하고 있다.

Table 13. Residual statistics

	최소값	최대값	평균	표준화 편차	N
예측값	191.20	719.71	348.74	66.137	3713
잔차	-168.400	163.061	.000	73.913	3713
표준화 예측값	-2.382	5.609	.000	1.000	3713
표준화 잔차	-2.268	2.196	.000	.995	3713

분석의 종합

출동소요시간을 종속변수로 설정하고 도로요건, 토지이용 특성, 건축물 특성, 소방시설 접근성 변수를 동시에 투입하여 다중회귀분석을 실시한 결과 독립변수들이 출동소요시간을 유의미하게 설명하고 있음을 통계적으로 확인하였다.

잔차 통계량과 표준화 잔차를 통해 모형의 적합성을 추가로 검토한 결과 정규분포 가정을 충족하고 있으며 회귀분석의 기본 가정을 크게 위배하지 않는 수준에서 출동소요시간을 안정적으로 설명하고 있으며 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 출동소요시간에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 소방 인프라와 도로망의 공간적 거리 변수들이다. 이는 출동거점과 화재지점 사이의 도로망 거리, 실제 소방대의 이동경로가 골든타임 확보에 결정적인 요인임을 보여주고 있다.

둘째, 도로 접근성 변수들 가운데서는 상위 등급 도로 접근성과 접도 여부, 도로 유형이 특히 중요하게 나타났다. 이는 넓은 도로에 바로 접한 건축물이 그렇지 않은 필지에 비해 소방차가 신속하게 접근할 수 있음을 의미하며 도로폭과 접도 조건이 초기 대응에 실질적인 차이를 만든다는 점을 보여준다.

셋째, 맹지의 경우 맹지가 아닌 화재발생 지점에 비해 출동소요시간이 평균 20초 이상 더 소요되는 것으로 분석되었다. 이는 맹지나 골목형 필지가 소방차 진입을 지연시키는 요인임을 시사한다. 또한 인접 도로가 자동차전용도로일 경우 화재 출동 소요시간이 다른 조건이 같을 때 평균 2분가량 더 길게 나타났는데 진출입 지점이 제한된 고속도로나 자동차전용도로 주변에서 화재지점까지 접근경로가 우회적일 수밖에 없으므로 도시 고속도로 또는 자동차전용도로 주변의 소방 접근성 개선이

필요함을 시사한다.

넷째, 토지이용 및 지형 특성 측면에서는 필지 규모가 클수록 출동소요시간이 증가하는데 대형 부지에서 복수의 출입구로 인한 진입 위치 선정이 복잡해지고 소방차의 현장 이동 거리도 길어질 수 있음을 반영한 것으로 해석된다. 또한 경사지에 위치한 화재의 출동소요시간이 평지에 비해 15초 이상 더 소요되는 것으로 분석되었는데 경사가 있는 지역에서의 접근성이 실제 대응 시간에 불리하게 작용함을 보여준다.

다섯째, 토지이용 및 시설 특성 중에서는 주거용 토지이용에 비해 상업·업무용 토지이용이 집적된 지역에서 출동소요시간이 8초 정도 짧게 나타났는데 상업·업무지역의 경우 상대적으로 도로망이 치밀하고 폭이 넓어 접근성이 양호하기 때문인 것으로 판단된다.

여섯째, 건축물 특성 중에서는 고층 건축물일수록 주소 확인 및 접근 경로 설정 등 초기 대응 어려움으로 출동소요시간이 다소 늘어날 가능성이 있다. 반면 연면적, 바닥면적, 산업·상업업무 건축물 더미 등은 통계적으로 유의하지 않아 출동소요시간 자체를 설명하는 데에는 토지이용 특성과 도로 접근성 특성 변수가 상대적으로 중요한 것으로 확인되었다.

이러한 결과는 향후 서울시 및 유사 대도시에서 소방 인프라 재배치, 도로망 개선, 맹지 또는 골목형 주거지 정비, 자동차 전용도로 주변 접근성 확보 등 구체적 정책 수단을 설계하는 데 중요한 근거를 제공할 수 있을 것이다.

결론

본 연구는 서울특별시를 대상으로 화재발생지점의 도로접근성 특성이 화재대응에 미치는 영향을 분석하였다.

분석 결과, 화재발생지역에 대한 출동 소요시간은 소방서·119안전센터와 화재지점 간 네트워크 거리, 안전센터 거리, 소방서 거리 등 접근성 변수가 출동소요시간에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 도출되었으며 12m 이상 상위도로까지의 거리, 대로 접도 여부, 맹지 여부, 자동차전용도로 인근 여부 등 도로 접근성 특성 변수 역시 영향이 있는 것으로 분석되었다. 경사지 여부와 토지면적, 상업업무용 토지이용 등도 출동소요시간에 유의한 영향을 미쳤다.

분석결과를 토대로 정책적 시사점을 도출하였다.

첫째, 소방서·119안전센터의 공간 배치와 도로망 구조를 함께 고려한 접근성 기반의 소방 인프라 재배치 전략이 필요하다. 본 연구에서 안전센터거리와 네트워크 거리는 가장 영향력이 큰 변수로 나타났으며 이는 단순한 직선거리보다 실제 도로망을 따라 이동하는 네트워크 거리와 상위도로 접근성이 출동소요시간을 좌우함을 의미한다. 따라서 향후 소방서·안전센터 신·증설 및 관할구역 조정 시 도로망 구조와 네트워크 거리 기반의 서비스권 분석을 병행할 필요가 있다. 다만 출동시 교통혼잡 여부, 주말 또는 평일 해당 여부 등 출동시간대의 동태적 요인을 추가적으로 고려할 필요가 있다.

둘째, 화재대응을 고려한 도로계획을 통해 상위등급 도로와의 연결성과 대로 접근성을 강화해야 한다. 상위도로까지의 거리가 멀수록 출동소요시간이 증가하고 대로에 접한 필지는 그렇지 않은 필지에 비해 출동소요시간이 짧은 것으로 분석되었다. 이는 도시계획·건축분야에서 다중이용시설 등 주요 소방대상시설에 대하여 일정 폭 이상의 도로 접도와 상위도로 접근성을 의무적으로 확보하는 기준을 마련하고 각종 개발계획 수립 시 소방 접근성을 핵심 평가항목으로 반영해야 한다.

셋째, 맹지나 골목형 주거지, 경사지 등 구조적으로 취약한 지역에 대한 개선이 요구된다. 맹지 필지와 경사지의 출동소요시간은 증가하며 골든타임 확보 여부를 가르는 중요한 요인이 될 수 있다. 노후 저층주거지, 달동네 등에서는 소방차가 접근할 수 있는 최소 폭 이상의 진입로 확보와 소방활동을 위한 소규모 광장, 차량 회차 공간 등을 조성하여 소방활동 동선과 연계

하는 등 공간 재편이 필요하다.

넷째, 자동차전용도로 및 광역교통축 주변의 화재대응 체계를 재검토할 필요가 있다. 전용도로 인근 화재의 출동소요시간 지연은 제한된 램프 구조와 우회 동선 때문으로 해석된다. 향후 자동차전용도로 신설·개량 시 소방차·구급차를 위한 별도의 진입 및 회차 동선, 비상 게이트, 우회로 확보를 제도화하고 이미 조성된 전용도로의 경우 인근 지역을 대상으로 한 추가 소방 거점 설치, 램프구간 진입방안 마련 등을 검토할 필요가 있다.

다섯째, 도시계획·건축 인허가 단계에서 화재대응 관점의 사전 검토 절차를 진행할 필요가 있다. 현재도 관련 법률과 규정 등을 통해 일정 수준의 접도 요건과 소방시설 설치가 제도화 되어 있으나 실제 출동소요시간은 도로 폭 및 접도 여부뿐 아니라 상위도로 접근성, 네트워크 거리, 지형 및 필지형태 등 복합적인 요인에 의해 결정된다. 따라서 대규모 개발사업 및 주요 시설 인허가 시 소방서·안전센터와의 네트워크 기반 접근성, 상위도로 연결성, 해당 토지의 맹지·경사지 여부 등에 대한 검토를 의무화하고 종합적인 평가 체계를 구축할 필요가 있다.

본 연구는 분석 대상이 서울특별시에 한정되어 있어 타 지역과는 도로망 구조, 소방 인프라 수준, 토지이용 패턴이 상이할 수 있음에 따라 연구의 결과를 일반화하는 데에는 한계가 있고 출동소요시간은 동일한 거리라도 교통혼잡시간 여부, 도로 지·정체 상황, 평일 또는 주말 여부 등에 따라 달라질 수 있으므로 향후 연구에서는 시간 가중 네트워크 분석, 실시간 교통자료 연계 등 보다 정교한 모형을 개발할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 개별 화재발생지점의 도로 접근성 특성·토지이용 특성·화재 발생지점 특성을 정량화하고 이를 회귀모형에 반영함으로써 도시공간요인이 출동소요시간에 미치는 영향을 검증하고 소방 출동 자료와 도시공간자료(GIS)를 연계하여 통계분석을 실시한 점은 향후 재난·안전 분야 공간통계 연구의 방법론적 틀을 제시한 것으로서 큰 의의가 있다. 향후 보다 다양한 동태적 데이터를 활용한 후속 연구를 통해 화재대응에 효율적인 도시공간 구조를 설계하고 재난 대응력을 강화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Choi, D.J., Park, J.H. (2018). "Analysis of dispatch strongpoint for the fire accidents based on spatial location-allocation model in the Chungnam province, South Korea." *Region and Geography*, Vol. 24, No. 2, pp. 267-278.
- [2] Choi, G.-Y., Chang, E.-M., Kim, S.-G., Cho, K.-H. (2014). "Utilization and excavation practices of fire-fighting vulnerable zone model." *Spatial Information Research*, Vol. 22, No. 3, pp. 79-87.
- [3] Government of the Republic of Korea (2023). Regulations on the Establishment of Local Fire Protection Agencies (Presidential Decree No. 33309). Government of the Republic of Korea, Sejong, Korea.
- [4] Jang, K.-E., Jung, U.-M., Park, C.-R., Lee, J.-H., Sohn, D.-W. (2021). "Analysis of fire-vulnerable areas in Jung-gu using GIS network analysis." *KIEAE Journal*, Vol. 21, No. 6, pp. 79-86.
- [5] Kim, G.-Y., Kang, S.-I. (2002). "The study for the optimal location of fire stations in Seoul." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 2, No. 1, pp. 153-160.
- [6] Kwon, P., Lee, Y.-M., Heo, Y., Yoo, K.-Y. (2015). "Rearranging emergency medical service regions using GIS network analysis: A case study of Daejeon metropolitan city." *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23, No. 3, pp. 11-21.
- [7] Lee, H.-J., Park, S.-W., Roh, S., Ryu, J.-R., Son, B.-H., Ryu, S.-R., Lee, S.-Y., Park, W.-J. (2021). "Deriving major fire risk evaluation items utilizing spatial information convergence technology in dense areas of small obsolete buildings." *Sustainability*, Vol. 13, No. 22, 12593.

- [8] Lee, S.-J., Lee, J.-Y. (2011). "Vulnerability analysis on fire service zone using map overlay method in GIS." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 29, No. 1, pp. 91-100.
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021). *National Land Planning and Utilization Act Commentary*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, Korea.
- [10] National Fire Agency (2021). *Act on Installation and Management of Fire Protection Facilities (Law No. 18522 and subsequent amendments)*. Government of the Republic of Korea, Sejong, Korea.
- [11] National Fire Agency (2024). *Fire Statistical Yearbook*. National Fire Agency, Sejong, Korea.
- [12] Oh, C.-S., Lee, S.-W., Lee, I.-M., Kho, S.-Y. (2012). "A spatial analysis about arrival delay and dispatch distribution of the 119 rescue-aid service utilizing GIS: Gyeongsangbuk-Do case study." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 32, No. 1, pp. 13-22.
- [13] Seoul Metropolitan Government Fire and Disaster Headquarters (2025). *Fire Statistical Yearbook. 2024*. Seoul, Korea.
- [14] Yoon, H.-G. (2008). *Commentary on the National Land Planning and Utilization Act*. Gimundang, Seoul, Korea.