

화재대응 취약지역에서의 소방특수차량 이동제약요인 분석 : 서울시의 진입곤란지역을 대상으로

윤여름¹ · 김태은² · 최민지³ · 황성주^{4†}

Analysis of Mobility Constraint Factors of Fire Engines in Vulnerable Areas : A Case Study of Difficult-to-access Areas in Seoul

Yeoreum Yoon¹ · Taeun Kim² · Minji Choi³ · Sungjoo Hwang^{4†}

†Corresponding Author

Sungjoo Hwang

Tel : +82-2-3277-6952

E-mail : hwangsj@ewha.ac.kr

Received : November 30, 2023

Revised : December 28, 2023

Accepted : January 2, 2024

Abstract : Ensuring swift on-site access to fire engines is crucial in preserving the golden time and minimizing damage. However, various mobility constraints in alleyways hinder the timely entry of fire engines to the fire scene, significantly impairing their initial response capabilities. Therefore, this study analyzed the significant mobility constraints of fire engines, focusing on Seoul, which has many old town areas. By leveraging survey responses from firefighting experts and actual observations, this study quantitatively assessed the frequency and severity of mobility constraint factors affecting the disaster responses of fire engines. Survey results revealed a consistent set of top five factors regarding the frequency and disturbance level, including illegally parked cars, narrow paths, motorcycles, poles, and awnings/banners. A comparison with actual road-view images showed notable consistency between the survey and observational results regarding the appearance frequency of mobility constraint factors in vulnerable areas in Seoul. Furthermore, the study emphasized the importance of tailored management strategies for each mobility constraint factor, considering its characteristics, such as dynamic or static. The findings of this study can serve as foundational data for creating more detailed fire safety maps and advancing technologies that monitor the mobility of fire engines through efficient vision-based inference using CCTVs in the future.

Key Words : fire engine, fire vulnerable area, mobility constraint, disaster responses

Copyright©2024 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

예기치 않은 순간에 발생하는 화재 위험성과 피해 규모를 줄이기 위해서는 초기 대응이 매우 중요하다. ‘골든타임’이라 불리는 화재 초기 단계에서의 신속한 대응은 화재의 확산을 제한하고 인명 및 재산 피해를 최소화한다. 서울연구원의 분석 결과에 따르면 화재상황에서 소방특수차량(펌프차, 물탱크차, 화학차, 인명구조차, 지휘차, 구급차, 고가사다리차 등 특수한 화재대응상황에 사용하는 소방차량)의 화재현장 도착시간

이 5분 지연되는 경우 평균 3배 이상의 인명 및 재산 피해가 발생할 것으로 추정되었다¹⁾. 그러나 현실에서는 다양한 이동제약요인들이 소방특수차량의 화재 현장 진입을 방해하여 초기 대응 능력을 크게 저하시킨다. 이동제약요인은 골목길 등에서 신속한 이동을 방해하는 환경적 요인으로 협소한 진입로, 전신주 등 반영구적으로 도로폭에 영향을 주는 요소부터 불법 주정차 차량, 오토바이 등 움직일 수 있지만 방치되는 경우 유효도로폭을 감소시키는 요인도 있다²⁾. 여기서 유효도로폭이란 통행을 위해 실제 사용 가능한 도로의 너

¹이화여자대학교 건축도시시스템공학전공 학생연구원 (Department of Architectural and Urban Systems Engineering, Ewha Womans University)

²이화여자대학교 건축도시시스템공학전공 석사과정 (Department of Architectural and Urban Systems Engineering, Ewha Womans University)

³인하대학교 건축학부 조교수 (Department of Architectural Engineering, Inha University)

⁴이화여자대학교 건축도시시스템공학전공 부교수 (Department of Architectural and Urban Systems Engineering, Ewha Womans University)

비를 나타내는 지표로 실제 도로폭에서 이동제약요인이 차지하는 부분의 너비를 제하여 산정되며, 펌프차와 같은 소방특수차량 재원(예: 차량에 따라 다르나 주로 폭 6 m 및 높이 4.2 m 내외)보다 넓어야 한다²⁾. 이러한 이동제약요인들은 구도심과 같이 좁은 골목길이 많아 소방특수차량의 신속한 진입이 어려운 화재대응 취약지역, 즉 출동 시간 및 접수 시간의 골든타임 대응 취약지역에서 더욱 큰 문제가 된다³⁾.

현재 서울시를 포함한 많은 도시에서는 빈번한 이동제약요인의 출현으로 어려운 진입이 예상되는 지역에 대한 사전 현장 조사를 실시 중이다. 그러나, 불법 주정차 차량, 가시설물 등 수시로 변화하는 도시 환경으로 인해 출동 시 실제 현장 상황과 사전 현장 조사 결과가 상이한 경우가 많다. 이에 최근에는 골목길 단위로 구축되어 있는 CCTV를 활용하여 이동제약요인을 신속히 파악하고자 시도되고 있다. AI를 이용한 영상 분석을 활용하여 실시간으로 제약요인을 감지할 수 있는 기술적 가능성도 높다^{4,5)}. 다만, 이동제약요인 감지를 위한 효과적인 기술개발은 이동로에 있는 수많은 환경요인에 대한 체계적인 선행연구에 의해 뒷받침되어야 한다. 어떠한 요인이 이동제약에 큰 영향을 미치는지, 그러한 요인이 얼마나 빈번하게 나타나는지에 대한 분석이 선행되어야 관련 데이터의 수집 및 감지 모델 학습이 용이하다. 그러나 현재까지 이동제약요인에 대한 연구는 미흡한 상태라고 볼 수 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 서울특별시 내 소방특수차량 진입 곤란 및 불가지역을 대상으로 소방특수차량의 이동제약요인의 출현 빈도 및 방해 정도를 정량화하고 이를 분석하고자 한다. 이는 소방전문가를 대상으로 한 설문조사와 로드뷰 기반 관측을 통한 분석을 포함하여 수행된다.

2. 현황 분석 및 문헌 고찰

2022년 소방청에 따르면 전국적으로 소방특수차량의 진입 곤란 및 불가지역은 약 800여곳에 이르는 것으로 확인되었다. 진입 곤란지역은 폭 3 m 이상 도로 중 장애물로 인해 이동 곤란 구간이 100 m 이상인 장소 또는 기타 장애물 때문에 상시 진입 및 활동이 어려운 지역이며, 진입 불가지역은 폭 2 m 이하 도로 또는 이동이 불가능한 구간이 100 m 이상인 장소이다. 전국 지자체에서 이러한 지역을 조사 및 관리하고자 노력하고 있다. 그러나 실무현황을 분석한 결과 체계적인 소방안전지도를 구축하고 있는 서울시에서도 진입 곤란 또는 불가지역은 길 단위가 아닌 구역 단위로 관리되고 있고, 비주거적인

현장조사 결과의 의존하고 있어 실시간으로 길 단위의 상세한 현황을 알기는 어려운 상황이다.

관련 연구동향을 살펴보면, 화재 시 소방특수차량의 화재현장 진입에 관한 연구는 공동주택 접근성 개선 및 골든타임 확보를 중심으로 이루어지고 있다. Hwang & Lee⁶⁾은 아파트 단지 내 소방특수차량의 접근 방안으로 모퉁이 회전 공간 확보, 소방특수차량의 진입 장애 개선 등을 제시하고, 진입 장애의 원인으로 조형물 및 불법 주정차 차량이 있음을 확인하였다. Hwang et al.⁷⁾은 국내 소방차의 골든타임 5분을 확보하기 위한 기준 및 문제점, 정책적 해결방안을 제시하였다. Lee et al.⁸⁾이 수행한 연구에서는 화재를 진압하는 데 장애가 되는 요인은 주택가 등 좁은 골목 지역과 불법 주정차된 차량이므로, 길이 좁은 주택가에 대한 감시가 더 강화되어야 한다고 분석되었다. 이처럼 신속한 현장대응을 위한 소방차의 진입에 관한 연구가 수행되어 왔지만, 인구밀도가 높고 구시가지가 많은 도시에서 큰 문제가 되는 골목길에서의 다양한 이동제약요인에 대한 고려는 부족한 실정이다.

효과적인 화재 대응 시스템에 관한 선행 연구들을 살펴보면 주로 기존 체계 개선과 새로운 시스템의 구조적인 포맷 개발에 중점을 두고 있다. Choi⁹⁾는 서울시 소방안전지도 시스템의 활용 과정에서의 문제점과 정보의 신뢰성 등을 지적하며, 시스템이 소방 구급대원들의 대응력 향상을 위한 쪽으로 개선되어야 함을 주장하였다. Jang et al.¹⁰⁾은 골든타임 확보를 위한 소방차의 통행시간을 예측하는 모형 개발 연구를 진행하였으나, 세부적인 이동제약요인에 대한 연구가 부족하다는 평가를 내렸다. 마찬가지로 기존 소방안전지도의 문제점을 개선하고 골든타임을 확보할 수 있는 기술을 제안한 Kim¹¹⁾의 연구에서도 구체적인 데이터 수집의 미흡이 문제로 분석되었다.

영상이나 이미지와 같은 빅데이터 및 AI를 활용하여 화재 등 위험상황 발생 시 현장의 상황을 분석하거나 예측하는 연구도 활발히 진행되고 있다. Qu et al.¹²⁾은 교통사고와 이에 따른 손실 감소, 사고 특성 파악을 위해 머신러닝 기반의 교통사고 특징 인식으로 사고 예방 조치를 수립하는 모델을 발전시켰다. 재난 발생 시 딥러닝 기반의 객체 인식 기술을 활용하여 현장의 위험도를 파악하고 재난 평가 도구를 제공하는 연구가 Guo¹³⁾에 의해 수행되었으나, 재난 발생 상황 및 위험물 종류가 건축물 실내로 한정되었다는 한계를 가진다. So¹⁴⁾은 선제적 소방현장 대응체계를 위한 상시 순찰출동에 관한 연구에서 빅데이터를 활용한 예방순찰 및 정보 수집이 골든타임 확보와 직결된다고 밝혔지만,

현실적인 장애 요인들로 인해 즉시 시행이 어렵다는 결론을 낸 바 있다. Lee¹⁵⁾의 연구에서는 기하학적 이미지 변환 기술을 활용해 비정형도로 CCTV 이미지를 수정하는 방식으로 불법 주정차를 탐지하고, 소방차의 골목길 진입 가능성을 예측하였으나, 이동제약요소를 불법 주정차 차량으로만 제한하였다는 한계점이 있다. 이처럼 소방특수차량의 화재 현장으로의 빠른 접근은 그 중요성이 강조되어 왔지만, 이를 방해하는 다양한 요인들에 대한 종합적인 사전 분석 및 관리 방안 모색은 상대적으로 부족하였다.

3. 연구 방법

본 연구의 공간적인 범위로는 골목길이 많고 인구밀도가 높아 소방 안전 차원에서 집중적인 관리를 요하는 서울특별시로 선정하였다. 서울시 대부분의 지역에는 CCTV가 구축되어 있어 향후 영향이 큰 제약요인에 대한 실시간 감지가 쉽게 구현될 수 있다는 점이 고려되었다. 먼저, 서울소방재난본부에 근무하는 소방 대응 전문가 대상 인터뷰를 통해 실제 출동 시 소방특수차량의 이동이 어려웠던 경험을 묻고, 관리 필요성이 있는 14개의 주요 제약요인을 파악하였다(Table 1). 다음으로 14개 제약 요인의 출현 빈도와 방해 정도를 정량화하기 위해 현직 서울시 소방공무원을 대상으로 설문 조사를 수행하였다. 설문조사는 2023년 9월 중 2주 동안 서울소방재난본부 내부 온라인시스템을 활용하여 관심 있는 소방공무원의 자발적인 참여로 진행되었으며, 총 197명이 참여하였다. Table 2와 같이 설문참가

자는 다양한 내, 외근 경력과 담당 업무를 가진 현직자를 포함하고 있다.

설문 문항은 실제 현장 출동 경험에 비춰보았을 때, 소방특수차량의 이동제약요인의 출현 빈도와 이동 방해 정도를 묻는 것으로 구성되었으며, 각 설문 응답은 리커트 5점 척도로 상대적인 인식 정도를 나타낼 수 있도록 설정하였다. 출현 빈도를 묻는 질문에서는 매우 빈번함 5점, 거의 없음 1점으로, 이동 방해 정도를 묻는 질문에서는(출현할 경우 이동이) 매우 곤란함 5점, 전혀 곤란하지 않음 1점의 척도로 하여, 점수가 커질수록 정도가 커지는 관계를 설정하였다. 본 설문문항은 특정한 위해요인에 대한 출현빈도(Frequency)와 방해정도(Impact 또는 disturbance)를 분석하는 관련 연구에서 차용하였다^{16,17)}.

다음으로, 서울시 25개의 구에 대해 각 구당 소방특수차량 진입 불가 및 곤란 지역 중 20개의 길을 선정하고, 한 길 당 2개 시점의 로드뷰 이미지 데이터를 수집하였다. 로드뷰는 지도와 결합하여 실제 도로의 모습을 보여주는 서비스이며, 다양한 지역의 거리 경관을 고화질의 사진을 통해 확인할 수 있어 이 연구에 적절하다^{2,18)}. 본 연구에서는 포털사이트 카카오의 지도 서비스인 카카오맵을 사용하였다. 한 개 시간대의 이미지 데이터만 존재하는 23개의 길을 포함한 총 977장의 로드뷰 이미지 데이터를 수집하였으며, 자료는 2021년부터 2023년을 시간적 범위로 한다. 해당 길들은 서울소방재난본부가 진입 불가 및 곤란 지역으로 관리하고 있는 345개소를 포함하도록 구성하였으며, 선정된 길의 적절성에 대해 서울소방재난본부와 검토하였다.

Table 1. Types of mobility constraints of fire engine















	Parked cars	Motorcycles	Bikes	Electric scooters	Debris
Dynamic factors					
Static factors	Street vendors	Bollards	Poles	Stairs and steps	Narrow paths
					
Other height-related factors	Overhanging walls	Trees and plants	Awnings and banners	Wires & Connecting lines	
					

Table 2. Survey samples information

Working years	under 5	5~10	10~15	over 15	none
Office work experience					
N (Percentage)	82 (44.32)	6 (3.24)	13 (7.03)	16 (8.65)	68 (36.76)
Field firefighting work experience					
N (Percentage)	45 (24.32)	37 (20.00)	40 (21.62)	59 (31.89)	4 (2.16)
Duties	Firefighter	Rescue personnel	Paramedic	Office staff	
N (Percentage)	134(72.43)	17(9.19)	22(11.89)	12(6.49)	

이를 기반으로 서울시의 소방차 이동 제약요인을 범주화하고 출현 빈도와 세부적인 방해 정도를 분석하며, 이를 소방 공무원 설문결과와 비교하였다.

4. 연구 결과

4.1 이동제약요인에 대한 설문조사 결과

서울시 소방공무원을 대상으로 다양한 이동제약요인의 출현 빈도와 방해 정도에 대해 설문한 결과는 다음 Fig. 1(출현빈도), Fig. 2(방해정도)와 같으며, 구체적인 기술통계는 Table 3에 제시되어 있다. 모든 항목은 리커트 5점 척도를 따르며, 점수가 높을수록 그 정도가 심한 것으로 설정하였다.

현장 출동 중 요인을 마주하는 정도를 파악하는 ‘출현

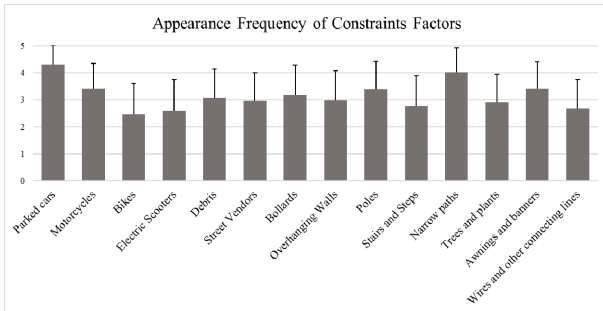


Fig. 1. Appearance frequency of constraints factors.

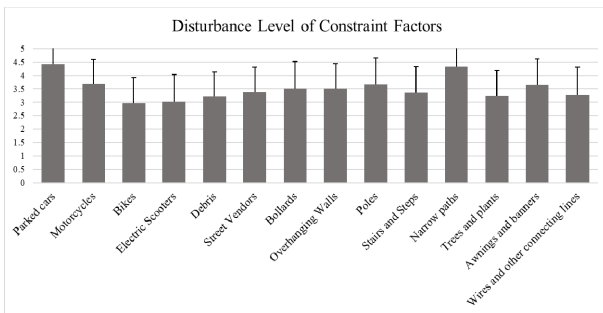


Fig. 2. Disturbance levels of constraints factors.

Table 3. Appearance frequency and disturbance of constraints

Factors	Appearance frequency		Disturbance level	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
Parked cars	4.3135	0.6987	4.4108	0.7618
Motorcycles	3.4162	0.9353	3.6919	0.9072
Bikes	2.4649	1.1326	2.9622	0.9519
Electric Scooters	2.5784	1.1821	3.0324	0.9940
Debris	3.0595	1.0843	3.2216	0.9026
Street Vendors	2.9676	1.0368	3.3784	0.9311
Bollards	3.1730	1.1143	3.5189	0.9951
Overhanging Walls	2.9838	1.0958	3.5027	0.9390
Poles	3.3892	1.0425	3.6703	0.9749
Stairs and Steps	2.7784	1.1130	3.3568	0.9681
Narrow Paths	4.0270	0.8934	4.3189	0.8082
Trees and Plants	2.9081	1.0359	3.2324	0.9584
Awnings and Banners	3.4054	1.0070	3.6541	0.9608
Wires and other Connecting lines	2.6865	1.0627	3.2703	1.0281

빈도’의 경우 상위 5개는 불법 주정차(Parked cars: 4.31 점), 협소한 이동로(Narrow path: 4.03점), 오토바이(Motorcycles: 3.42점), 차양막 및 현수막(Awnings and banners: 3.41점), 폴(Poles: 3.39점)이며, 하위 5개는 자전거(Bikes: 2.46점), 전동 키포드(Electric scooters: 2.58 점), 전선 및 연결선(Wires and other connecting lines: 2.69점), 계단 및 단차(Stairs and steps: 2.78점), 나무 및 식물(Tree and plants: 2.91점)으로 조사되었다. 출현 시 이동성을 저해하는 정도를 평가하는 ‘방해 정도’의 경우, 상위 5개 항목은 불법 주정차(4.41점), 협소한 이동로(4.32점), 오토바이(3.69점), 폴(3.67점), 차양막 및 현수막(3.65점)으로, 하위 5개 항목은 오토바이(2.96점), 전동 키포드(3.03점), 적치물(3.22점), 나무 및 식물(3.23 점), 전선 및 연결선(3.27점)으로 나타났다.

출현 빈도와 방해 정도를 분석한 결과, 상위 5개 항목에서 두 척도의 요소들이 동일한 순위를 가짐을 알 수 있었다. 요소 간 출현 빈도와 방해 정도 관계를 명확히 파악하고자 Importance Performance Analysis(IPA) 개념을 활용, Fig. 3의 Frequency Disturbance matrix의 형태로 표현하였다. IPA에서는 설정된 설문 항목에 대해 리커트 척도로 평가된 중요도(Importance)와 만족도(Performance)를 함께 측정해 표현한다. 이 정보는 2차원의 그래프에 표현되고, 평균값을 기준으로 매트릭스 내 사분면이 나뉜다.

본 연구에서는 그래프 X축을 출현 빈도(Frequency), y축을 방해 정도(Disturbance Level)로 설정하였으며, 굵은 추가선으로 각 축의 평균값을 표시하였다. 이에

따라 나뉘지는 네 개의 사분면을 살펴보면, 각 척도의 공통된 상위 5개 요인이었던 불법 주정차, 협소한 이동로, 오토바이, 차양막 및 현수막이 1사분면에 위치하고 있다. 또한, 불법 주정차와 협소한 이동로의 경우 그 등장 빈도와 방해도가 같은 사분면에 속하는 요인보다도 월등히 큰 편인 것을 알 수 있다. 이러한 시각적인 자료에서는 각 이동제약요인들의 출현 빈도와 방해 정도의 차이가 드러나며, 이에 따라 데이터셋을 구축하기 위해 제약요소를 분석하는 연구들이 초점을 맞추어야 할 방향 또한 파악할 수 있다. 1사분면에 위치하는 자료들은 출현 빈도와 방해 정도 모두 평균 이상의 높은 값을 기록하는 요소이며, 곧 '높은 중요도를 가진 요소'로 표현할 수 있다. 또한, 축의 경계에 위치하는 볼라드를 제외한 모든 요소들이 제 1,3사분면에 위치한다. 이는 높은 출현 빈도를 가지지만 방해 정도가 낮은 요인이나, 낮은 출현 빈도를 가지지만 방해 정도는 높은 요인은 드물다는 것을 말한다. 결론적으로, 출현 빈도와 방해 정도 사이 강한 양의 상관관계가 있으며, 통계적으로도 매우 유의미하다 ($r=0.9728, p<0.0001$).

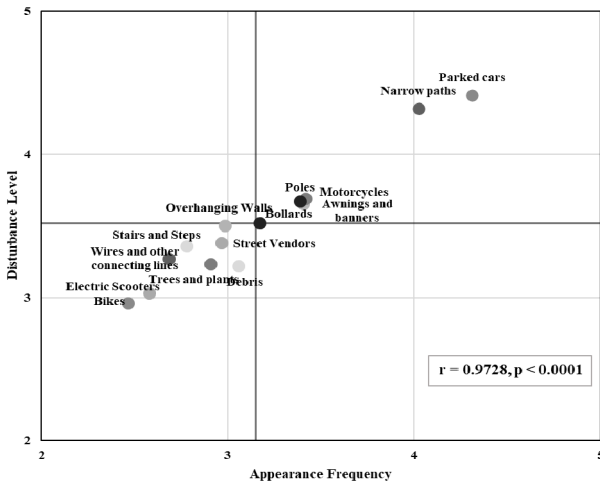


Fig. 3. Frequency-disturbance matrix of constraints factors.

4.2 서울시 취약지역 이동제약요인 조사 결과

설문에서 분석되었던 요인들의 출현 빈도와 로드뷰 이미지를 통해 직접 관측한 데이터에서 나타난 빈도를 비교한 결과는 다음 Fig. 4와 같다. 실제 사진에서 이동 가능한 유효도로 높이에 영향을 주는 나무 및 식물, 차양막 및 현수막, 전선 및 연결선은 그 개수가 매우 적어 기타 높이제약요인(Other Height Obstacles)로 묶어 분류하였고, 설문 기반 5점 척도 출현 빈도값은 3개 요인의 평균값으로 산정하였다. 앞서 설문 결과에서 각 요인들의 출현 빈도와 방해 정도는 강한 양의 상관관계를 보인 점, 로드뷰 이미지에서는 요인들의 방해 정도는 정량적으로 파악하기 어려운 점을 고려하여 본 분석에서는 출현 빈도만 비교하였다. 로드뷰 이미지에서의 출현 빈도는 소방특수차량의 이동성에 영향을 줄 만큼 유효도로폭 감소를 야기하는 요인만 산정하였다. 동적 요인인 불법 주정차 차량이 설문 조사와 실제 관측에서 모두 제약요인 중 가장 높은 비율을 차지하였으며, 정적 요인인 협소한 이동로 역시 두 영역 모두에서 높은 출현빈도를 보였다. 그 종류가 다양한 적치물을 제외하고는 높은 출현빈도를 보이는 요인들이 설문 조사와 실제 환경에서 모두 공통적으로 나타나 설문 결과의 타당성을 보여준다. 통계적으로도 설문 기반 출현빈도와 실제 환경에서의 출현빈도는 유의한 수준으로 상관관계가 높았다($r=0.8843, p=0.0001$).

다음으로, 위의 그래프들을 통해 파악한 높은 중요도의 요인인 불법 주정차, 협소한 이동로, 오토바이가 서울시에서 출현하는 공간적인 분포를 Figs. 5-7과 같이 GIS를 활용하여 시각화하였다. 분석 단위는 25개 구이며, 각 구별로 실제 관측을 통해 수집된 모든 사진 자료 중 특정 요인이 담긴 자료의 비율을 표현하였다. 각 구당 이미지 수는 연구 방법에서 설명한 바와 같이 소방특수차량 진입곤란지역 20여개의 길의 2개에 대한 이미지 40장 내외이다. 2개 시점 중 한 번이라도 이동

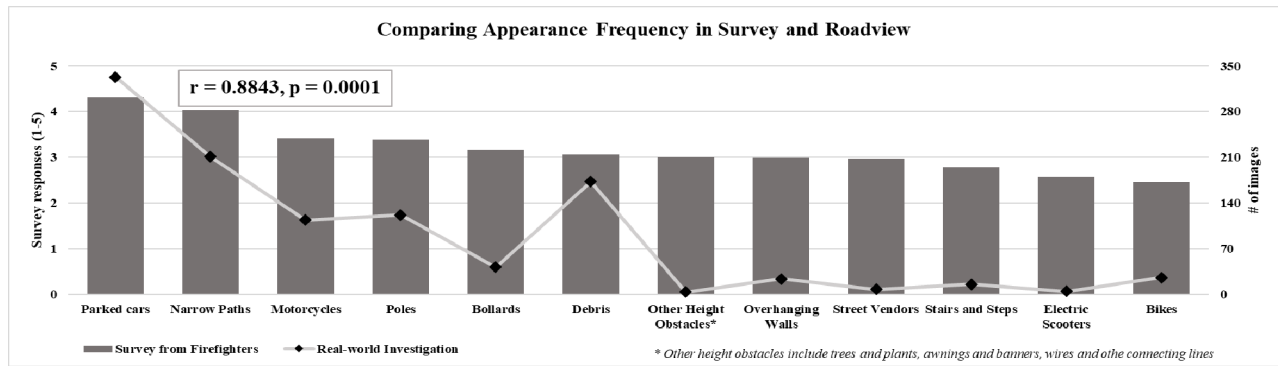


Fig. 4. Comparing appearance frequency in survey and roadview images.

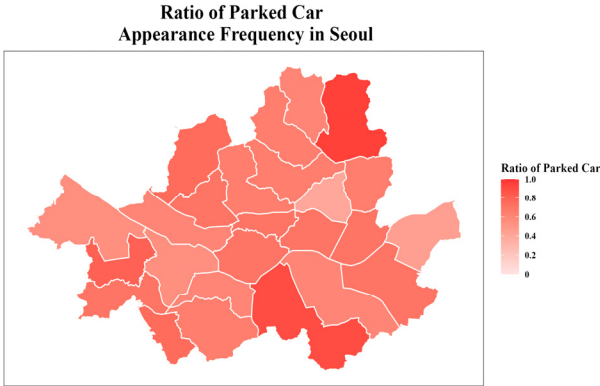


Fig. 5. Ratio of parked car appearance frequency in Seoul.

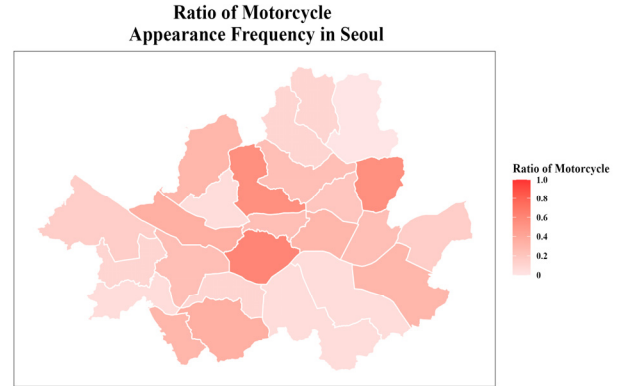


Fig. 7. Ratio of motorcycle appearance frequency in Seoul.

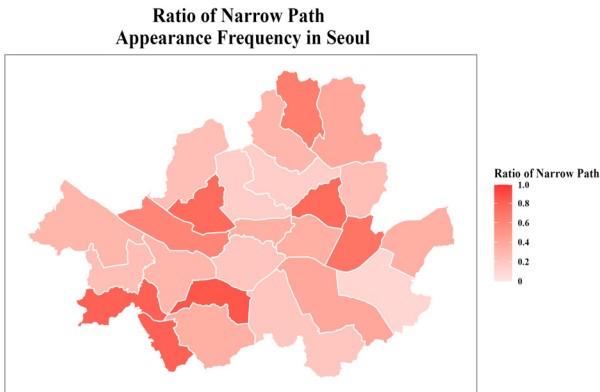


Fig. 6. Ratio of narrow-path appearance frequency in Seoul.

제약요인이 출현하면 진입 곤란 지역으로 산정하였다. 분석 결과를 활용하여, 이동제약요인으로 인한 출동 지연 위험이 큰 지역을 파악할 수 있다.

Fig. 5는 불법 주정차 요인에 대해 서울 내 실제 출현 빈도를 백분율로 나타낸 그래프이다. 각 구당 20여 구역 중 66.6%의 구역에서 불법 주정차가 소방특수차량의 이동에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 유효도로폭을 감소시키는 불법 주정차의 출현 빈도가 가장 높은 구는 노원구로 그 비율은 95%이며, 다음으로는 서초구가 90%, 양천구가 80%의 비율을 보였다.

Fig. 6에서는 소방특수차량의 이동을 방해하는 협소한 이동로의 출현 비율을 볼 수 있다. 조사 구역 중 평균 평균 42.2%의 구역에서 이동이 어려운 협소한 이동로가 확인되었다. 가장 출현 비율이 높았던 곳은 동작구로 85%를 차지했다. 다음으로는 구로구와 금천구가 동일하게 80%의 비율을 보였다. 이는 서울시의 구별 인구밀도와 연관하여 비교할 수 있다. 2022년 기준 서울시의 인구밀도는 제곱킬로미터 당 평균 15,974명이며, 동작구는 평균 23,870명으로 서울시에서 세 번째로 높은 인구밀도를 가지는 것으로 조사되었다. 그래프에서 공동으로 80%로 두 번째로 높은 비율을 가지는

구로구와 금천구 역시 각각 2022년 기준 평균 20,794명, 18,649명으로 평균을 초과하는 인구밀도를 가진다.

마지막으로 Fig. 7은 소방특수차량의 이동을 방해하는 오토바이의 출현비율을 표현한 그래프이며, 조사 구역 중 평균 22.8%의 구역에서 영향을 미쳤다. 출현 비율이 가장 높은 용산구에서는 60%, 다음으로 종로구와 중랑구에서 공동으로 55%의 백분율을 보이는 것으로 조사되었다. 이는 앞의 불법 주정차와 협소한 이동로보다는 전반적으로 낮은 수치이다. 그래프를 종합하면, 불법 주정차의 경우, 상위 3개 요인 중에서도 평균 및 최대와 최소 비율이 타 요인 대비 월등히 높은 수치를 확인할 수 있다.

5. 논의

연구 결과, 서울시 소방공무원을 대상으로 조사한 설문조사에서는 불법 주정차, 협소한 이동로, 오토바이, 풀, 차양막 및 현수막이 공통적으로 출현 빈도도 높고 방해 정도도 높은 이동제약요인 상위 5개로 분석되었다. 출현 빈도와 방해 정도를 IPA를 통해 분석한 결과에서도 이를 확인할 수 있으며, 위의 5개 요인 뿐 아니라 조사된 요인들에 대해 높은 출현 빈도를 가지는 요인은 그 방해 정도 역시 높다는 것을 알 수 있다. 즉, IPA 개념에 따라 해당 요인들은 중점 개선요인들이며, 화재대응 취약지역에 빈번하게 있을 뿐 아니라, 존재하는 경우 위급상황 특성상 종류에 무관하게 이동을 곤란하게 하는 방해요인이 된다. 결과적으로 출현 빈도가 높으면 화재대응 시 더 크게 방해를 주는 것으로 인식되는 바, 모든 요인들이 이동로에 최대한 없도록 종합적으로 관리해야 한다.

설문 조사에서의 출현 빈도를 로드뷰 기반 실제 환경 출현빈도와 비교한 결과, 상관성이 유의미하여 설문 조사 결과의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 협소한 이동로의

경우 설문 조사와 현장 조사 모두 출현 빈도가 높았으며, 2022년 11월 서울시에서 조사한 소방차 진입 곤란·불가 지역 사유 중 1위를 차지한 결과와 일치한다. 실제 환경조사를 통한 출현빈도를 보면 협소한 이동로는 인구밀도가 높은 구도심지역이나 행정구에 밀집되어 있기 때문에 해당 지역 대한 집중 조사 및 골목길 환경 개선 사업이 필요함을 시사한다. 불법주정차의 경우 2022년 서울시 조사결과에서는 진입 곤란 및 불가 사유 중 그 비중이 크지 않았으나 길 단위까지 분석한 본 연구 결과에서는 지역과 상관없이 가장 큰 영향을 미치는 요소였다. 관련 담당자 인터뷰 결과, 현재 진입 곤란 및 불가 지역은 관할서 조사대원들이 1년에 수차례 직접 조사하고 있는데, 조사에 필요한 시간과 노력으로 인해 길 단위 대신 넓은 구역 단위로 데이터화하고 진입 곤란 및 불가 사유는 잘 변하지 않는 대표적인 1-2개의 사유만 기록하고 있었다^{2),9),11)}. 그럼에도 불법주정차의 경우 대부분의 진입 곤란 및 불가 지역에서 도로 협소를 야기하는 세부 사유로 인지되고 있음을 확인하였다. 결과적으로 길 단위에서 불법 주정차와 같이 시시각각 변화하는 요인들이 더욱 체계적으로 관리될 필요성을 확인할 수 있었다. 특히, 이러한 요인들의 경우 조사자에 의한 현장 조사 내용과 실제 현장 출동 시 상황이 다른 경우가 많다. 따라서 골목길 CCTV를 활용한 실시간 감지 및 신속한 관리기술의 활용성이 매우 높을 것이다. 이와 관련하여, 최근 딥러닝 기반 객체감지 모델의 성능은 매우 높으며, CCTV 영상을 활용하여 앞서 제시된 대부분의 이동제한 요인을 감지할 수 있음이 확인되고 있다. 자동차, 오토바이 뿐 아니라 자전거 등의 동적 특성을 갖는 요인들이 CCTV에서 실시간 감지된다면 소방특수차량 도착 전에 이동 등의 조치가 취해질 수 있으며, 이동이 어려운 경우 우회 경로 탐색 등 신속한 대응 방법 마련에 도움을 줄 수 있다. 협소한 이동로, 벽, 블라드 등의 정적요인의 경우에는 이동할 수는 없지만 CCTV에서 감지하고 이를 소방안전지도에 표출하여 사전에 조사된 실제 도로폭 정보와 결합하여 유효도로폭을 추정, 진입 곤란이나 불가 여부를 판단하는 데 활용할 수 있다. 최근에는 해당 요인들의 감지 모델을 학습할 수 있는 개방 데이터셋이 잘 구축되어 있다. 예를 들면 최근 널리 사용되는 개방형 객체 인식 데이터셋인 COCO¹⁹⁾, KITTI²⁰⁾, Cityscape³⁾, BDD100K²¹⁾ 등에서 자동차, 오토바이, 자전거, 블라드, 벽, 폴, 협소한 이동로 등의 객체인식 학습 데이터를 확인할 수 있고, 개방 데이터셋인 만큼 이에 대한 성능이 우수한 감지 모델들이 지속적으로 개발되고 있다. 최근 예야 많이 등장하는 전동 킥보드나 형태가 제각각인 적치물들은 우수한 감지 성능을 보이는 학습 데이터가 많

지는 않지만 최근 UPI-CSRC Pedestrian Situated Intent²²⁾, Taco²³⁾, V6+²⁴⁾ 등의 관련 데이터셋들이 지속적으로 구축되고 있어 후속연구의 전망이 밝다

6. 결론

본 연구에서는 서울시에 근무하는 소방공무원을 대상으로 소방특수차량 이동제한요인 14개의 출현 빈도와 방해 정도를 묻고 그 결과를 정량적으로 분석하였다. 그 결과 빈도와 방해도의 상위 5개 요인이 일치하였으며, 이는 높은 순서대로 불법 주정차, 협소한 이동로, 오토바이, 폴, 차양막 및 현수막으로 조사되었다. 또한, 결과를 현실과 비교하기 위하여, 로드뷰 데이터를 이용해 실제 관찰을 통한 출현 빈도를 조사하였다. 상위 5개 요인은 불법 주정차, 협소한 이동로, 적치물, 오토바이, 폴 순이었으며, 설문조사 결과와 유사하게 나타났다. 세부 요인별로 살펴보면 불법 주정차의 경우 모든 지역에 걸쳐 문제 해결이 시급함을 알 수 있으며, 인구밀도가 높은 구도심 지역에서 협소한 이동로를 체계적으로 조사·관리하고 개선하기 위한 정책적 노력이 필요함을 알 수 있다. 기타 유효도로폭 뿐 아니라 현수막 등 높이에 영향을 주는 다양한 이동제한요인의 특성별로 차별적인 모니터링 및 관리 방안을 논의할 수 있을 것이다.

본 연구는 추후 신속한 소방특수차량의 화재현장 접근을 위한 모니터링 및 지원 기술의 기반이 된다는 데 그 의미가 있다. 본 연구결과는 이후 영상 기반 AI 추론을 통해 CCTV를 활용한 효율적인 골목길 이동제한 요인 모니터링 기술 개발 뿐 아니라 소방특수차량의 이동성을 개선하는 기술을 발전시키기 위한 기초 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement: This research was supported by a grant (20019382, AI Technology for Analyzing Fire Engines' Accessibility to Fire Site) of Regional Customized Disaster-Safety R&D Program funded by Ministry of the Interior and Safety (MOIS, Korea) and the Seoul Metropolitan Government. This work was also supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2023-00210164).

References

- 1) J. S. Won, "Enhancing Fire Response Capabilities in Seoul: Policy Report" Seoul Institute, Vol. 239, pp. 1-21, 2017.

- 2) Y. J. Kim, T. E. Kim, S. Y. Kim and S. J. Hwang, "A Study on the Analysis of Constraints on the Mobility of Fire Engine in Fire Vulnerable Areas and Analysis of the Dataset for AI Inference" Proceedings of the Architectural Institute of Korea Annual Conference, Vol. 42, No. 2, pp. 883-886, 2022.
- 3) Y. H. Lee, M. S. Kim and H.Y. Kim, "Location Selection for Installation of Emergency Firefighting Devices to Resolve Vulnerable Areas to Fire Response" Fire Science and Engineering, Vol. 36, No. 5, pp. 106-113, 2022.
- 4) M. Cordts et al., "The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding" Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3213-3223, 2016.
- 5) K. Horak and R. Sablatnig, "Deep Learning Concepts and Datasets for Image Recognition: Overview" Proceedings Volume 11179, Eleventh International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2019), SPIE, 11179, pp. 484-491, 2019.
- 6) Y. K. Hwang and S. C. Lee, "A Study On Approach of the Fire Engines in the Apartment House" Proceedings of Annual Conference, Korea Institute of Fire Science & Engineering, pp. 65-66, 2019.
- 7) E. H. Hwang, J. H. Choi and D. M. Choi, "A Study on the Effective Methods of Securing the Golden Time of Fire Engine Move Out" Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 18, No. 5, pp. 119-126, 2018.
- 8) S. M., Lee, J. W. Lee, G. J. Choi and Y. J. Kim "Establishment of Emergency Vehicle Flow Planning in Chungju, Fire-Weak Area" Proceedings of the Architectural Institute of Korea Annual Conference, Vol. 38, No. 2, pp. 702-706, 2018.
- 9) M. J. Choi, "Advancement Planning of Disaster Response Assistant System in Seoul: Focusing on Seoul Fire Safety Map" Proceedings of the Architectural Institute of Korea Annual Conference, Vol. 41, No. 1, pp. 739-740, 2021.
- 10) K.Jang, S. B. Cho, Y. S. Cho and S. Son, "Development of Fire Engine Travel Time Estimation Model for Securing Golden Time" The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 19, No. 6, pp. 1-13, 2020.
- 11) H. S. Kim, "Estimating Accessibility of Fire Engines to Secure Golden Time" Review of Architecture and Building Science, Architectural Institute of Korea, Vol. 67, No. 4, 32-35, 2023.
- 12) Y. Qu, Z. Lin, H. Li and X. Zhang, "Feature Recognition of Urban Road Traffic Accidents Based on GA-XGBoost in the Context of Big Data" IEEE Access, 7, 170106-170115, 2019.
- 13) Z. Guo, Indoor Risk Assessment through Deep Learning-based Object Identification in Disaster Situations, Thesis, Kyungpook National University, 2022.
- 14) C. H. So, A Study on Dispatch of Continuous Patrol for System of Preemptive Response to Fire Scene, Thesis, Wonkwang University, 2020.
- 15) G. E. Lee, Prediction of the Possibility of Entering a Fire Engine in an Alleyway Based on the Detection Results of Illegal Parking Based on Deep Learning, Thesis, Hanyang University, 2023.
- 16) J. A. Martilla and J. C. James, "Importance-Performance Analysis." Journal of Marketing, Vol. 41, No. 1, p. 77, 1977.
- 17) C. J. Van Westen, D. Alkema, M. C. J. Damen, N. Kerle and N. C. Kingma, Multi-hazard Risk Assessment, United Nations University-ITC School on Disaster Geoinformation Management, 2011.
- 18) H. Kim and J. Yun, "Analysis of Streetscape Characteristics utilizing Road-View Images of Portal Sites in Urban Rehabilitation" GRI Review, Vol. 14, No. 1, pp. 279-304, 2012.
- 19) T. Y. Linet et al., "Microsoft COCO: Common objects in context" Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), Springer, Cham, 8693, pp. 740-755, 2014.
- 20) M. Menze and A. Geiger, "Object Scene Flow for Autonomous Vehicles" Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3061-3070, 2015.
- 21) F. Yu, W. Xian, Y. Chen, F. Liu, M. Liao, V. Madhavan and T. Darrell, "Bdd100k: A Diverse Driving Video Database with Scalable Annotation Tooling" arXiv preprint arXiv:1805.04687, Vol. 2, No. 5, p. 6, 2018.
- 22) T. Chen et al., "PSI: A Pedestrian Behavior Dataset for Socially Intelligent Autonomous Car", arXiv Preprint arXiv:2112.02604, 2021.
- 23) P. F. Proenca and P. Simoes, "Taco: Trash Annotations in Context for Litter Detection", arXiv Preprint arXiv:2003.06975, 2020.
- 24) A. Kuznetsova et al., "The Open Images Dataset V4: Unified Image Classification, Object Detection, and Visual Relationship Detection at Scale" International Journal of Computer Vision, Vol. 128, No. 7, pp. 1956-1981, 2020.