

골든타임 확보를 위한 소방차 통행시간 예측모형 개발

Development of Fire Engine Travel Time Estimation Model for Securing Golden Time

장기훈* · 조성범** · 조용성*** · 손승녀****

* 주저자 : (사)한국지능형교통체계협회 R&BD센터 선임연구원
 ** 교신저자 : (주)건화 도로공학부 부사장
 *** 공저자 : (사)한국지능형교통체계협회 R&BD센터 센터장
 **** 공저자 : (사)한국지능형교통체계협회 R&BD센터 실장

Ki-hun Jang* · Seong-Beom Cho** · Yong-Sung Cho*** · Seung-neo Son****

* R&BD Center, ITS KOREA
 ** Kunhwa Engineering & Consulting Co. Ltd.
 *** R&BD Center, ITS KOREA
 **** R&BD Center, ITS KOREA
 † Corresponding author : Seong-Beom Cho, bham2007@naver.com

Vol.19 No.6(2020)

December, 2020

pp.1~13

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.6.1>

2020.19.6.1

Received 14 October 2020

Revised 16 October 2020

Accepted 20 October 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

화재 발생 시 골든타임 내 화재를 진압해야 인명 및 재산 피해를 최소화할 수 있다. 이를 위해 소방차의 신속한 현장 도착이 필요하다. 본 연구에서는 화재발생 자료와 교통 GIS DB 자료를 융합하여 화재발생 시 소방차 통행시간에 영향을 주는 도로 및 환경요인을 모색하고, 골든타임을 확보하기 위한 소방차 통행시간 예측 모형을 구축하고자 한다. 상관분석과 더미변수를 이용한 회귀분석을 적용하여 소방차 통행시간 예측 통합 모형(모형1)과 화재발생지 토지이용형태별로 분석한 소방차 통행시간 예측 모형(모형 2, 3, 4)을 구축하였다. 분석 결과, 모형 1에서는 유의성이 있는 독립변수 17개를 도출하였으며, 토지이용형태에 따라 소방차 통행시간에 주는 영향이 차이가 있는 것으로 분석되었다. 4가지 모형에서 공통 핵심 변수(통행거리, 차로 수, 도로등급)를 도출하였다. 본 연구를 통해 긴급차량 통행시간 관련 연구에서 지표로써 변수를 활용할 수 있으며, 긴급차량 골든타임 확보에 기여할 것으로 사료된다.

핵심어 : 골든타임, 소방차 통행시간, 예측 모형, 상관분석, 더미변수 다중회귀분석

ABSTRACT

In the event of fire, it is necessary to put out the fire within a golden time to minimize personal and property damages. To this end, it is necessary for fire engines to arrive at the site quickly. This study established a fire engine travel time estimation model to secure the golden time by identifying road and environmental factors that influence fire engine travel time in the case of fire by examining data on fire occurrence with GIS DB. The study model for the estimation of fire engine travel time (model 1) covers variables by applying correlation analysis and regression analysis with dummy variables and predicts travel time for different types of places where fire may occur (models 2, 3, 4). Analysis results showed that 17 significant independent variables are derived in model 1 and the fire engine travel time differs depending on the types of places where fire occurs. Key variables(travel distance, number of lane, type of road) that are included commonly in the 4 models were identified. Variables identified in this study can be utilized as indicators for research related to travel time of emergency vehicles and contribute to securing the golden time for emergency vehicles.

Key words : Golden time, Fire engine Travel time, Estimation model, Correlation Analysis, Multiple Regression Analysis with Dummy Variable

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

화재 발생 시 골든타임¹⁾ 내 화재 진압을 위해서는 소방차의 신속한 현장 도착이 필요하다. 소방차 도착이 지연될 경우, 도시 내 인구 밀집에 따라 많은 재산과 인명의 피해를 유발할 우려가 있다. 경기도는 매년 9천~1만여 건(2010-2019년)의 화재가 발생하고 있으며, 2019년 2,098억 원의 재산피해가 발생하였다(National Fire Agency, 2020). 또한, 소방차량의 골든타임 확보율은 57.4%(2017~2018년)로 골든타임을 초과한 사례가 42.6%이다(YONHAP NEWS, 2020). 화재 진압을 신속하게 하여 인적 및 재산 피해를 최소화하기 위해서는 소방차의 골든타임 확보가 필요하다. 국내에서는 골든타임 확보를 위해 긴급차량 우선 신호시스템 도입 연구를 수행하고 있으며, 시범사업을 추진하고 있다. 그러나 골든타임 확보를 위해 긴급차량의 통행시간에 영향을 미치는 도로요인, 환경요인 등 근본적인 원인에 대한 영향을 분석한 연구는 전무한 실정이다. 소방차의 통행시간은 토지이용행태(주거, 상업, 산업 등), 도로등급, 차로 수, 일방통행, 버스전용차로 등 도로교통 특성과 요일, 시간대, 기상 등 환경적 특성에 따라 영향을 받는다.

본 연구에서는 소방청에서 제공한 화재발생자료와 KTDB에서 제공하는 교통DB 자료를 융합·분석하여, 소방차 통행시간에 영향을 주는 주요 요인을 도출하고, 소방차 통행시간 예측 모형을 구축하였다. 본 연구를 통해 소방차 통행시간 단축을 위한 주요 요인을 모색할 수 있으며, 소방차 골든타임 확보에 기여할 수 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공공데이터포털을 통해 소방청으로부터 제공받은 2018~2019년 경기도 화재발생지 상세 현황 자료(소방차 출동이력자료 포함)와 국가교통DB센터에서 제공하는 2018년 기준 지리정보시스템 데이터베이스(이하, GIS DB) 설명 자료의 교통망 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 분석 대상은 화재 진압을 위한 소방차에 한정하여 연구를 진행하였다.

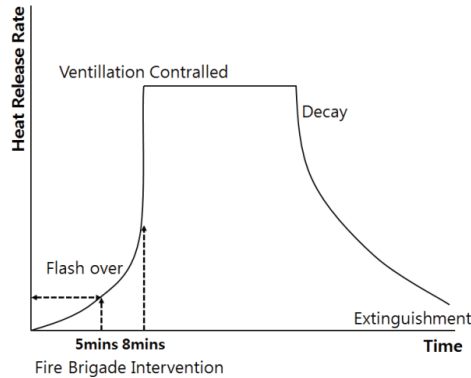
본 연구는 골든타임의 정의, 통행시간 예측기법 등 이론 고찰을 수행하고, 통행시간 영향요인 관련 연구와 통행시간 예측 모형에 관한 연구를 분석하여 기존 연구의 한계점 및 시사점을 제시하였다. 다음으로 화재발생지 상세 자료와 GIS DB 자료를 융합하기 위해 Q-GIS를 활용하여 좌표 기반으로 화재발생지와 해당 도로망 링크 매칭을 수행하였다. 융합자료에서 소방차 통행시간에 영향을 줄 것으로 예상되는 자료를 분류하고, SPSS를 활용하여 데이터 클리닝과 변수들 간의 상관관계 분석을 수행하였다. 마지막으로 더미변수를 활용한 다중회귀 분석을 수행하여 소방차 통행시간 통합 예측모형과 토지이용행태별 소방차 통행시간 예측모형을 개발하였다.

II. 관련 이론 및 기존 연구 고찰

1. 골든타임 정의 및 기준

국내에서 화재성장곡선은 해당 건물을 화재로부터 보호할 수 있다는 전제하에 119 신고접수로 인지한 상황에서 소방차가 차고를 나간 시간(국가화재분류체계 매뉴얼에서 출동시간으로 정의)부터 현장 도착 시간까지의 총소요시간이 5분 이내로 권고하고 있다.(Koreatech, 2015)

1) 소방차가 차고를 나간 시간부터 현장 도착 시간까지의 총소요시간이 5분 이내로 권고(Hwang, 2018)



<Fig. 1> Fire Growth Curve

2. 통행시간 예측 기법

통행시간을 예측 기법으로 지수평활법, MA모형, AR모형, ARMA모형, ARIMA모형, 칼만필터모형, KNN (K-Nearest Neighbors algorithm), 패턴을 이용한 기법, 회귀모형 등이 있다. 이중 몇 가지 모형을 살펴보면, 지수 평활법은 모든 시계열 자료를 사용하여 평균을 산출하고, 최근 관측치와 이전 예측치에 가중치를 부여한 합계로 예측 값을 산출한다. 칼만필터 모형은 새로운 관측 값을 활용하여 통행시간 상태 변수를 지속적으로 업데이트 하는 모형으로 오차 공분산을 최소화하는 방식이다. 회귀모형은 독립변수와 종속변수 간의 선형 상관관계를 이용한 방법으로, 하나의 종속변수와 여러 독립변수 사이의 관계를 규명하고자 할 경우 다중회귀분석을 한다. 회귀분석에서 범주형 변수는 독립변수로 사용할 수 없으므로, 종속변수에 영향을 주는 범주형 변수를 더미화하여 연속형 변수로 전환하고, 종속변수와 독립변수 간의 관계를 규명할 때 더미변수 회귀분석을 한다.

3. 국내외 선행연구 검토

1) 긴급차량 통행시간 예측 모형에 관한 연구

Kolesar(1975)는 뉴욕시 브롱크스 지역을 대상으로 소방차(사다리차) 평균 통행시간 예측 모형을 회귀분석을 수행하여 제시하였다. 지역면적, 시간당 수신되는 경보 수, 경보에 따른 소방차 출동까지 소요되는 시간 등을 변수로 적용하여 분석하였다. 다만, 통행시간에 직접 영향을 미치는 도로 환경 요인을 적용하지 않은 한계가 있다. WANG(2013)은 BPR식 기반 긴급차량 우선 신호 적용 시 긴급차량 통행시간 예측 모형을 제시하였으며, 주요 변수로 교통량, 평균통행속도(일반, 긴급), 차로 수, 통행거리를 적용하여 모델을 구현하고 검증하였다. 다만, 긴급차량 우선 신호 적용과 긴급차량 통과를 위한 전용도로를 만들어주는 것으로 가정하여 통행시간을 예측함으로써 일반 교통상황일 경우, 긴급차량 통행시간을 예측하는데 한계가 있다.

2) 통행시간 예측 모형 관련 연구

John(2004)은 고속도로의 특정 구간을 통행하는데 필요한 시간을 예측하는 방법을 제안하였으며, 현재 통행시간과 장래 통행시간의 선형 관계를 기반으로 회귀모형을 적용하여 통행시간을 예측하였다. Yu(2008)는 지점(VDS)과 구간(AVI) 검지 이력자료를 기반으로 다항회귀모형을 적용하여 실시간 통행시간 추정모형을 제시하였다. Xuegnag(2010)은 검지기로부터 수집된 이력자료를 기반으로 통행시간 상대오차와 정확도 지수에 대한 변수를 회귀모형으로 추정하여 통행시간을 예측하였다.

3) 긴급차량 우선 신호 시스템 관한 연구

Sung(2016)은 서울시 출동현황자료를 활용하여 긴급차량 우선 신호제어 시스템 도입지역 선정절차를 제시하고, 시뮬레이션 분석을 통해 도입 효과 분석을 수행하였다. 출동여건, 교통상황, 기하구조, 네트워크 토폴로지 등을 입력변수로 활용한 도입경로 선정방안 연구가 추가적으로 필요하다고 제시하였다. 또한, 소방차 통행시간과 골든타임 달성률은 신호교차로로 인한 지연뿐만 아니라 다양한 원인에 의해 영향을 받는다고 언급하면서 인과관계 파악을 위한 통행시간에 영향을 주는 요인분석이 필요하다고 제시하였다.

4. 시사점 도출

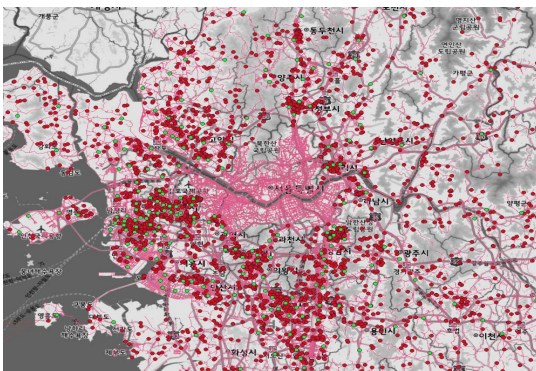
선행 연구 검토 결과, 국내에서는 통행시간 예측 연구와 긴급차량 우선 신호 제어 관련 연구에 대해 다양하게 시도되었으며, 교통량, 지체, 통행시간 등 기본적인 교통변수와 연속류 위주의 변수만을 활용하였을 뿐 도심이 주 이동로인 소방차 통행시간에 영향을 주는 영향 요인에 대한 연구는 미진한 실정이다. 반면, 국외에서는 소방차 통행시간 영향요인에 대한 연구를 수행하여 단순 통행시간 감소가 아닌 근본적으로 미치는 영향에 대해 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 경기도를 대상으로 실제 화재발생 데이터와 교통 데이터를 융합 분석하여, 화재발생 시 소방차에 미치는 주요 도로 및 환경 영향 요인에 대하여 도출하고, 골든타임 확보를 위한 소방차 통행시간 예측 모형을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 소방차 출동 현황 분석

1. 자료 수집

화재 발생 시 소방차 통행시간에 영향을 주는 변수를 찾아내기 위해 2018~2019년도 경기도에서 발생한 화재 발생연월일, 출동-도착시간 등 화재 상세 내용 자료를 공공데이터 포털을 통해 수집하였다. 그리고 도로 교통시설 정보를 수집하기 위해 국가교통DB센터로부터 요청한 KTDB 링크망 자료를 수집하였다. Q-GIS를 이용해 수집된 자료들을 맵 매칭하여 정보를 융합하였고, 융합된 자료를 기반으로 분석을 수행하였다.



· The location of fire : Red dot, KTDB Lnk : Pink line, 119 Fire emergency center : Green dot

<Fig. 2> Map matching using QGIS

2. 특성별 소방차 통행시간 현황 분석

경기도 내 2018~2019년 화재 발생건수는 총 18,843건이다. 이 중 이상치 제거 기준(Ki, 2010)을 적용하여 이상치($V > 140\text{km/h}$ or $V < 5\text{km/h}$)를 제거한 후 17,937행의 데이터(약 28.7만개)를 대상으로 분석하였다.

1) 소방차 통행시간별 비교

경기도의 긴급차량 평균 출동소요시간을 분석한 결과, 전체 418.31초이며 5분 이내가 6,505건(36.3%)로 골든타임 내 소방차가 도착하는 비율이 낮으며, 5-10분 이내가 8,306건(46.3%)로 가장 높게 나타났다. 10분 이상의 소방차 도착시간은 3,126건(17.4%)을 보였다.

<Table 1> Number of Arrival of fire engines to the location of the fire by travel times

Total(%)	< 5min	5-10min	10-15min	15-20min	20-25min	25-30min	< 30min
17,937 (100%)	6,505 (36.3%)	8,306 (46.3%)	2,412 (13.4%)	519 (2.9%)	125 (0.7%)	39 (0.2%)	31 (0.2%)

2) 통행거리별 화재발생 장소별 비교

소방차 통행거리에 따른 화재발생 장소별 소방차 통행시간을 비교 분석한 결과, 산업시설을 제외한 모든 시설에서 3km 이내의 통행거리에서는 소방차 통행시간이 5분 이내 인 것으로 분석 되었으며, 이후 통행거리가 길어질수록 통행시간도 길어져 골든타임을 확보하지 못한 것으로 분석되었다.

기본적으로 통행거리가 멀수록 통행시간이 증가하는데, 상업지역과 산업지역의 경우 주변 교통상황과 도로 여건에 따라 통행시간에 영향을 미칠 것으로 판단됨에 따라 통행거리가 멀더라도 통행시간은 더 빠르게 도착 할 수도 있는 것으로 분석된다. 교통수단 요인은 불특정 도로 상의 자동차 화재가 대부분이며, 화재로 인한 도로 혼잡이 발생하여 통행거리가 장거리일수록 혼잡 영향을 크게 받아 통행시간이 증가하는 것으로 분석된다. 기타지역의 경우는 임야, 산불, 들불, 위험물(가스제조소), 기타서비스 지역을 그룹핑한 것으로, 도심지 외곽에 위치하고 있고, 산업지역과 마찬가지로 통행거리가 길어 통행시간 소요가 높은 것으로 나타난다.

<Table 2> Average fire engine travel time for travel distances by the location of the fire(sec)

Travel Distance (km) / Facility	Total Average	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	30~
Residential area	371.95s	285.59s	456.60s	581.46s	675.76s	728.88s	751.76s	734.45s	828.31s	956.33s	1,060.5s
Commercial area	320.47s	262.71s	417.60s	577.47s	662.90s	832.75s	696.33s	866.30s	770.00s	948.33s	-
Industrial area	482.13s	316.88s	491.50s	612.79s	635.33s	702.57s	698.68s	1,116.00s	908.25s	1,056.50s	1,552.00s
means of Transportation	448.33s	277.49s	462.67s	594.03s	716.21s	804.16s	824.02s	939.50s	978.42s	1,234.00s	1,497.67s
ETC	474.26s	300.88s	498.16s	638.99s	712.32s	758.78s	795.80s	910.88s	947.86s	1,050.45s	-

3) 도로등급별 비교

본 연구에서는 화재발생지 인근 도로 등급별 소방차 통행시간의 차이에 대해 분석하였다. 고속도로 구간에 서는 진입로가 한정되어 있어 소방차 평균 통행시간 617.76초로 다른 도로에 비해 높은 것으로 분석 되었다.

국지도로의 경우 주거지역과 직접 접근되는 도로로 보행자 통행이 차량보다 우선인 도로로써, 통과교통 및 버스 통행이 불가함에 따라 보조간선도로(513.07초) 및 집산도로(528.15초)보다 통행량이 적어 소방차 통행시간이 391.12초로 낮게 나타난 것으로 분석된다. 또한, 지구 내 교통을 주로 담당하는 집산도로의 경우 불법주정차 등 교통 혼잡에 따라 소방차 통행시간이 높게 나타난 것으로 분석된다.

<Table 3> Average travel time of the fire engines by the type of the road (sec)

Total (Case)	express way	main arterial road	minor arterial road	collector road	local road	ramp
418.31s (17,937)	617.76s (610)	447.78s (1,258)	513.07s (652)	528.15s (1,163)	391.12s (14,040)	575.01s (214)

4) 요일별 비교

요일별 소방차 통행시간 분석한 결과, 주중 소방차 평균통행시간은 주말 소방차 평균 통행시간 보다 약 10초 높은 것으로 분석된다.

<Table 4> Average travel time of the fire engines by the day of the week(sec)

Total (Case)	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
418.31s (17,937)	421.79s (2,507)	419.98s (2,506)	419.18s (2,517)	416.23s (2,584)	426.35s (2,697)	416.26s (2,709)	407.62s (2,417)
	average : 420.71s					average : 411.94s	

5) 교통시설물별 비교

교통시설물은 일반도로, 고가도로, 터널, 교량으로 구분하여 소방차 통행시간을 분석한 결과는 <Table 5>와 같이 터널이 736.72초로 가장 높게 분석되었다. 터널 및 터널 인근에서 화재 발생 시, 소방차의 접근 및 교통 처리에 있어 어려움이 존재하기 때문에 일반도로, 고가도로 소방차 통행시간과는 많은 차이를 보이고 있다.

<Table 5> Average travel time of fire engines by transportation facility(sec)

Total (Case)	Road	Overpass	Tunnel	Bridge
418.31s (17,937)	416.90s (17,667)	342.45s (65)	736.72s (25)	539.53s (180)

IV. 자료 구축 및 통계 분석

1. 자료의 변수화

다음의 <Table 6>은 소방차 통행시간 예측 모형 구축을 위해 변수들을 종합 정리한 자료이다. 종속변수는 화재 발생 시 소방차 통행시간이며, 이와 관련하여 다양한 독립변수 자료를 구축하였다. 독립변수는 크게 토지이용행태, 도로요인, 환경요인으로 구성하였다. 본 연구에서는 화재발생지 토지이용행태별로 소방차 통행

시간 예측 모형을 각각 구축하여 비교 검토를 수행하고자 한다. 도로요인 변수는 도로등급, 교통시설물, 일방통행 등 소방차 통행시간에 영향을 줄 것으로 판단되는 변수를 채택하였다. 환경요인은 요일(주중과 주말), 침두시간대, 기상 상태, 주야간 구분 등의 변수를 채택하였다.

<Table 6> Variables for modeling

Variable		Processing of Variable
Dependent variable	Fire engine Travel Time	- Travel time from fire station(or 119 fire emergency center) to the location of the fire (sec)
Land Use Pattern	Type of the location of the fire	- Type of the location of the fire 1 : Residential area 2 : Commercial area(included edu., medical, etc.) 3 : Industrial area 4 : Means of transportation 5 : ETC
Road Factor	Travel Distance	- Travel Distance from fire station(or 119 fire emergency center) to the location of the fire (km)
	Type of Road	1 : Expressway, 2 : Main arterial road, 3 : Minor arterial road, 4 : Collector road, 5 : Local road, 6 : Expressway Ramp
	Traffic Facility	1 : Road, 2 : Overpass, 3 : Tunnel, 4 : Bridge
	Presence of One-way street	1 : Two-way, 2 : One-way
	The Number of Lanes	- The number of lanes by the location of the fire
	Presence of Bus Lane	1 : Nonexistence, 2 : Existence
	Traffic Light Density	- The number of the traffic lights between nodes with traffic light per length of the road
Environment Factor	Presence of Central reservation	1 : Nonexistence, 2 : Existence
	The day of the week	1 : Weekday, 2 : Weekend
	Time of the day	1 : Peak hour(06-09, 18-20), 2 : Non-Peak hour
	Weather	1: Sunny(including cloudy), 2 : Snow, 3 : Rain
	Day and Night	1 : Day, 2 : Night

2. 상관 분석

독립변수와 종속변수(소방차 통행시간) 간의 상관관계 분석을 수행하였다. 독립변수는 비연속형 변수(범주형)와 연속형 변수(척도형)로 구분할 수 있으며, 각 변수 유형별 상관 분석을 수행하였다. 연속형 변수는 Pearson 상관분석을, 비연속형 변수(범주형)는 종속변수에 대한 T-test와 ANOVA 분석을 수행하였다.

1) 연속형 변수

연속형 변수 간의 상관관계 파악을 위해 Pearson 상관분석을 실시하였으며, 결과는 다음의 <Table 7>과 같다. 일반적으로 상관계수(R)가 0.4 미만이면 상관성이 낮고, 0.4 이상이면 상관성이 있다고 분석한다. 분석 결과, 종속변수인 소방차 통행시간은 통행거리의 상관계수(R=0.650) 외에 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 이의 독립변수 간에도 다중공선성이 발견되지 않은 것으로 분석된다.

<Table 7> Results of Correlation Analysis (Pearson Coefficient)

Variable	Travel Time	Travel Distance	Traffic Light Density
Travel Time	1		
Travel Distance	.650** (0.000)	1	
Traffic Light Density	-.167** (0.000)	-.181** (0.000)	1

* means p<0.05, ** means p<0.01

() : Significance Level

2) 비연속형 변수

도로등급 등 독립변수는 요인이 3개 이상으로 ANOVA 분석을 통해 독립변수와 종속변수 간에 통계적 차이 분석을 수행한다. 분석 결과, <Table 8>과 같으며 유의수준 0.05를 기준으로 통계적으로 유의하게 나타난다. 변수 내 요인 간 통계적 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

<Table 8> Chi-squares value of ANOVA(Analysis of Variance) Tests

(N=17,937)

Classification		Travel Time of Fire Engine				
		n	Average	Standard Deviation	F	p
Type of the location of the fire	Residential area	4,534	371.95	202.17	337.911	0.000***
	Commercial area	3,306	320.47	177.93		
	Industrial area	3,457	482.13	232.99		
	Means of transportation	2,254	448.33	259.09		
	ETC	4,386	474.26	268.58		
Type of Road	Expressway	610	617.76	284.67	228.511	0.000***
	Main arterial road	1,258	447.78	251.56		
	Minor arterial road	652	513.07	263.76		
	Collector road	1,163	528.15	269.40		
	Local road	14,040	391.12	220.10		
	Expressway Ramp	214	575.01	280.76		
Traffic Facility	Road	17,667	416.90	236.65	33.053	0.000***
	Overpass	65	342.45	150.69		
	Tunnel	25	736.72	280.48		
	Bridge	180	539.53	317.75		
Weather	Sunny(including cloudy)	16,519	417.64	238.58	3.009	0.049*
	Snow	119	469.71	281.30		
	Rain	1,299	422.14	226.23		

* means p<0.05, ** means p<0.01, *** means p<0.001

요인이 2개인 독립변수는 T-test를 통하여 변수 간 통행시간의 통계적 차이 분석을 수행하였다. 분석 결과, <Table 9>와 같으며 통행시간의 차이를 보이는 변수로는 일방통행, 중앙분리대, 요일구분, 주야간에서 통계적 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

<Table 9> t-values of T-test

(N=17,937)

Variable	Element	N	Average	Standard Deviation	t-value (p-value)
Presence of One-way street	Two-way	16,012	411.62	232.987	-9.701 (0.000***)
	One-way	1,925	473.98	270.237	
Presence of Bus Lane	Existence	254	423.82	237.384	-0.316 (0.752)
	Nonexistence	17,683	418.23	280.469	
Presence of Central reservation	Existence	2,387	388.63	199.945	7.552 (0.000***)
	Nonexistence	15,550	422.87	243.046	
The day of the week	Weekday	12,811	420.76	242.092	2.181 (0.029*)
	Weekend	5,126	412.18	227.508	
Peak/Non-Peak	Peak	3,294	418.72	238.592	0.109 (0.913)
	Non-Peak	14,643	418.22	237.924	
Day/Night	Day	14,150	421.28	239.958	3.310 (0.001**)
	Night	3,787	407.20	230.427	

* means p<0.05, ** means p<0.01, *** means p<0.001

V. 모형 개발 및 해석

회귀분석은 시간에 따라 변화하는 데이터나 어떤 영향을 가설적 실험, 인과 관계의 모델링 등의 통계적 예측에 이용할 수 있다. 본 연구에서는 여러 개의 독립변수를 이용해 하나의 종속변수(소방차 통행시간)를 예측하기 위해 다중회귀모형식을 사용하며, 범주형 변수를 연속형 변수로 전환하기 위해 더미변수를 사용하여 회귀분석을 수행하였다. 더미변수를 이용한 다중회귀모형의 기본 형식은 다음 식(1)과 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \beta_{p+1} d_1 + \beta_{p+2} d_2 + \dots + \epsilon_i \dots \dots \dots (1)$$

여기서, 종속변수 Y는 소방차 통행시간(초), 독립변수 X_1, X_2, \dots, X_n 은 소방차 통행시간 영향, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ 는 회귀계수, d는 더미변수이다.

소방차 통행시간 예측 통합 모형 결과는 <Table 10>과 같다. 모형의 설명력을 나타내는 수정 결정계수 (adj.R²)는 0.443으로 도출되었는데, 화재발생지 현황 자료가 개별 단위 조사 자료를 활용하여 분석한 점을 고려하면, 양호한 설명력을 나타내는 것으로 판단된다.(Koo, 2018) 또한, Durbin-Watson 값은 1.484로 2 근처의 값으로 자기 상관관계가 없는 것으로 분석되며, VIF(Variance Inflation Factor) 값이 최대 2.442로 산출되어 변수 간 다중공선성은 없는 것으로 분석된다.

통합 모형에서 유의성(신뢰도 90% 이상)이 있는 독립변수는 17개이며, 화재발생지역 토지이용행태에 따라 소방차 통행시간에 주는 영향은 차이가 있는 것으로 분석된다.

또한, 도로 등급 변수가 소방차 통행시간에 영향을 주는데, 진입로가 한정되어 있는 고속도로와 연결램프에서 화재가 발생 시 소방차 통행시간 증가에 영향을 주는 것으로 나타난다.

터널 인근에서 화재 발생 시 소방차 접근 및 교통처리가 어려워 소방차 통행시간이 많이 소요되는 것으로 분석된다. 반면, 도로가 일방통행이고, 차로 수가 많을 경우 차량 통행이 원활해짐에 따라 소방차의 통행시

간도 단축되는 것으로 판단된다. 중앙분리대가 있을 경우, 소방차량 접근로 맞은편에 화재 발생 시 우회해야 하는 상황이 발생함에 따라 통행시간에 영향을 주는 것으로 분석된다.

<Table 10> Estimation Results of Multiple Linear Regression Models (Model 1)

(N=17,937)

Variable		Non-Standardization Coefficient (B)	Standardization Coefficient (β)	t-value	p-value	VIF
Constant		291.680	-	37.122	0.000**	-
Type of the location of the fire	Residential area	-3.037	-0.006	-0.637	0.524	2.442
	Commercial area	-22.613	-0.037	-4.498	0.000**	2.160
	Industrial area	33.510	0.056	6.804	0.000**	2.145
	ETC	37.921	0.068	8.079	0.000**	2.314
Travel Distance		39.089	0.598	97.647	0.000**	1.207
Type of Road	Expressway	97.921	0.075	10.194	0.000**	1.724
	Main arterial road	14.880	0.016	2.520	0.012*	1.293
	Minor arterial road	10.469	0.008	1.446	0.148	1.044
	Collector road	15.975	0.017	2.874	0.004**	1.065
	Expressway Ramp	101.766	0.046	7.592	0.000**	1.204
Traffic Facility	Overpass	-19.403	-0.005	-0.877	0.380	1.005
	Tunnel	192.038	0.030	5.379	0.000**	1.009
	Bridge	52.456	0.022	3.895	0.000**	1.024
Presence of One-way street (0 : Two-way, 1 : One-way)		-27.511	-0.036	-4.728	0.000**	1.844
The Number of Lanes		-10.364	-0.060	-8.095	0.000**	1.757
Presence of Central reservation (Nonexistence : 0, Existence : 1)		9.253	0.013	1.808	0.071***	1.718
The day of the week (Weekday : 0, Weekend : 1)		-7.823	-0.015	-2.658	0.008**	1.005
Weather	Sunny	-15.681	-0.018	-3.033	0.002**	1.107
	Snow	30.241	0.010	1.765	0.078***	1.100
Day & Night (Day : 0, Night : 1)		5.798	0.010	1.754	0.079***	1.035
Number of Samples(N)				17,937		
R ² / adj.R ²				0.444 / 0.443		

* means p<0.05, ** means p<0.01, *** means p<0.1

1. 화재발생지역 토지이용행태별 모형(모형 2,3,4)

화재발생지역 토지이용행태별 모형은 주거시설, 상업시설, 산업시설에 대한 자료를 구분하여 각각의 개별 모형을 구축하였다. 교통수단 요인은 통계모형에서 유의하지 않은 값으로 분석되어 변수에서 제거됨에 따라 개별 모형구축에서 제외하였으며, 기타 지역은 임야, 산불, 들불 등 불특정 지역이고 범위가 광범위하여 모형 구축에서 제외하였다.

주거시설 화재발생 시 소방차 통행시간 예측모형(모형 2)은 adj.R²가 0.432로 앞서 모형 1과 마찬가지로 양호한 설명력을 나타내는 것으로 판단된다. 그리고 모형2에서 변수는 도로등급, 교량, 기상상태(비)에서 정(+)
의 부호로 분석되었다. 주거시설이 야간 화재발생 시 거리가 멀면서 교량을 통과해야하며, 기상상태는 우천
(비)일 경우, 소방차 통행시간이 많이 소요되는 것으로 분석되었다.

<Table 11> Estimation Results of Multiple Linear Regression Models (Model 2,3,4)

Variable		Residential area (Model 2)			Commercial area (Model 3)			Industrial area (Model 4)		
		Non-Standardizati on Coefficient (B)	t-value	p-value	Non-Standardizati on Coefficient (B)	t-value	p-value	Non-Standardizati on Coefficient (B)	t-value	p-value
Constant		267.973	35.226	0.000**	187.452	5.024	0.000**	383.446	21.985	0.000**
Travel Distance		37.078	50.663	0.000**	45.108	43.810	0.000**	37.394	38.005	0.000**
Type of Road	Main arterial road	31.896	2.489	0.013*	-22.031	-2.076	0.038*	2.773	0.197	0.844
	Minor arterial road	44.135	2.943	0.003**	-5.471	-0.331	0.741	-22.471	-1.458	0.145
	Collector road	58.972	5.10	0.000**	21.912	1.616	0.006**	-22.567	-2.034	0.042*
	Expressway Ramp	53.052	1.340	0.180	10.294	0.255	0.799	136.403	4.182	0.000**
Traffic Facility	Road	-	-	-	26.640	0.726	0.468	-	-	-
	Overpass	-20.635	-0.383	0.702	-	-	-	-51.967	-0.667	0.505
	Tunnel	36.755	0.581	0.561	322.799	3.703	0.000**	270.519	2.836	0.005**
	Bridge	93.895	2.800	0.005**	64.967	1.176	0.240	10.515	0.405	0.685
Presence of One-way street		-16.600	-1.481	0.139	-6.742	-0.794	0.427	-49.036	-2.739	0.006**
The Number of Lanes		-9.457	-4.006	0.000**	-2.899	-1.521	0.028*	-15.334	-3.851	0.000**
Presence of Central reservation		15.655	1.603	0.109	9.279	1.167	0.243	12.987	0.924	0.356
The day of the week		-2.556	-0.516	0.606	-6.080	-1.152	0.249	-18.152	-2.448	0.014*
Weather	Sunny	-	-	-	-	-	-	-44.738	-3.525	0.000**
	Snow	15.235	0.516	0.606	51.648	1.591	0.112	55.062	1.587	0.113
	Rain	20.084	2.464	0.014*	4.901	0.576	0.565	-	-	-
Day & Night		11.674	2.125	0.034*	-8.147	-1.466	0.143	17.863	2.302	0.021*
Number of Samples(N)		4,534			3,306			3,457		
R ² / adj.R ²		0.434 / 0.432			0.413 / 0.410			0.340 / 0.337		

* means p<0.05, ** means p<0.01, *** means p<0.1

상업시설 지역에서 화재발생 시 소방차 통행시간 예측모형(모형 3)은 adj.R²가 0.410으로 모형 1, 2와 마찬가지로 양호한 설명력을 나타내는 것으로 판단된다. 모형 3에서 통행거리, 도로등급(주간선도로, 집산도로), 교통시설물(터널), 차로 수에 대해서 유의한 것으로 분석되었으며, 정(+)
의 부호는 통행거리, 집산도로, 터널 3가지 변수로 분석되었다. 상업시설의 경우, 집산도로 계수가 58.972로 높은 값을 가지는데, 불법 주정차, 작업활동 차량, 배회차량 등으로 교통 혼잡이 발생한 것으로 추정되며, 소방차 통행시간 예측모형의 변수에 이를 반영하고 있는 것으로 판단된다.

산업시설 지역에서 화재발생 시 소방차 통행시간 예측모형(모형 4)은 $adj.R^2$ 가 0.337로 앞서 모형들 보다는 설명력이 다소 낮은 것으로 분석된다. 이는 산업시설 지역에서의 소방차 통행시간에 영향을 미치는 주요 변수가 반영되지 않은 것으로 판단된다. 모형 4는 분석한 변수 이외에 신호시간, 교통량 등 추가 독립변수를 고려한다면, 설명력을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 분석 데이터 자료 구득의 한계로 인해 향후 연구 수행을 통해 모형의 보완이 필요하다. 다소 설명력이 부족하지만 모형 4에 대해 분석해보면, 정(+)의 부호는 통행거리, 고속도로 연결램프, 터널, 주야간 4가지 변수로 분석되었다. 산업시설의 경우 창고, 공장 등의 시설로 도심 외곽지역에 주로 위치하고 있는 시설로 모형 4에서의 상수 값이 383.446으로 다른 모형에 비해 높은 수치를 나타내고 있다.

3가지 모형을 종합적으로 살펴보면 소방차 통행시간에 영향을 미치는 공통 변수로 통행거리와 집산도로, 차로 수가 채택되었다. 소방차 통행시간 단축을 위해서는 소방권역 재설정 및 소방관서 확충을 통해 소방차 통행거리를 단축하고, 긴급차량 통행을 위한 차로 확보(길 터주기), 교통량 분산 등의 효과로 소방차가 빠르게 통행이 가능하여 소방차 도착시간을 감소시킬 수 있을 것으로 보인다. 또한, 집산도로 내 교통관리를 통해 소방차 도착시간을 단축할 수 있다는 소견을 내릴 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 화재발생 시 소방차의 골든타임 확보를 위해 소방차 통행시간에 영향을 주는 도로 및 환경 요인을 모색하는 것을 목적으로 수행하였다. 이를 위해 화재발생자료와 교통망 GIS DB 자료를 융합하여 통계 분석(상관분석, 더미변수를 이용한 회귀분석)을 수행하였다. 이후, 소방차 통행시간 예측 통합 모형 및 화재발생지역 토지이용행태별 세부 모형을 구축하여 통행시간에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 수행하였다.

본 연구를 통해 도출된 종합적인 결론은 다음과 같다.

첫째, 모형에 포함된 변수들의 상관 분석을 통해 변수 내 요인 간 통계적 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 이는, 화재발생지역 토지이용행태 변수의 요인인 주거지역, 상업지역, 산업지역, 교통수단, 기타지역이 종속변수인 소방차 통행시간에 미치는 영향이 차이가 있음을 의미한다. (모형1 참조)

둘째, 모형별 공통적인 변수로 통행거리, 집산도로, 차로 수가 채택되었다. 소방차 통행시간 단축을 위해서는 화재발생지까지의 통행거리를 단축하거나 긴급차량 통과를 위한 우선차로 또는 전용차로 확보 등 통행시간 영향 요인을 최소화해야 한다. 화재발생지와 소방관서 통행거리 단축을 위해서는 소방관서 확충과 같은 대책과 전용차로 확보 등 정책적·경제적 지원이 필요하다.

셋째, 상업지역과 같이 불법주정차 차량과 조업차량이 많아 도로가 혼잡한 지역에서는 여유 차로 확보 및 도로 관리가 필요함을 알 수 있었다. (모형3 참조)

본 연구에서는 약 28만개의 화재 및 교통 데이터를 분석함으로써 화재발생 시 소방차 통행시간에 영향을 주는 17개의 독립변수를 도출하였다. 국내에서 긴급차량 우선 신호 연구와 시범사업을 추진 중인데 신호와 통행시간, 교통량 이외에 차로 수, 도로등급, 골든타임 내 최대이동거리 등 추가 연구 지표로 활용이 가능할 것으로 보인다. 다만, 본 연구에서 도출한 변수 이외 소방차 통행시간과 연관이 있을 것으로 보이는 사고 및 공사 등 이벤트 현황, 지역면적, 소방차량 보유대수, 긴급차량 우선 신호시스템 적용구간, 역주행 및 신호 무시 여부 등 독립변수를 확장하여 연구를 수행한다면, 소방차 통행시간 예측모형을 한층 더 설명력이 높은 모형으로 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 19CTAP -C130225-03).

REFERENCES

- Ban X. J., Li Y., Skabardonis A. and Margulici J. D.(2010), "Performance evaluation of travel-time estimation methods for real-time traffic applications," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 2, pp.54-67.
- Hwang E. H., Choi J. H. and Choi D. M.(2018), "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.
- Ki Y. K., Ahn G. H., Kim E. J., Jeong J. H., Bae K. S. and Lee C. K.(2010), "Error Filtering Algorithm for Accurate Travel Speed Measurement Using UTIS," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 6, pp.33-42.
- Kolesar P.(1975), "A Model for Predicting Average Fire Engine Travel Times," *Operations Research*, vol. 23, no. 4, pp.603-613.
- Koo J. H. and Choo S. H.(2018), "Analysis of Factors Affecting Travel Time Change Using the Time Use Survey Data in Seoul," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 1, pp.1-16.
- Koreatech(2015), *Cities and provinces 119 general situation room improving situation management research service report*.
- National Fire Agency(2020), *2019 Fire Statistical Yearbook*, pp.41-62.
- Rice J. and Van Zwet E.(2004), "A Simple and Effective Method for Predicting Travel Times on Freeways," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, no. 3, pp.200-207.
- Sung J. G. and Ha D.(2016), "A Selection Method of implementation Area for Emergency Vehicle Preemption System Using Dispatch Data Analysis," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 2, pp.24-35.
- Wang J.(2013), "Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp.2147-2158.
- YONHAP NEWS(2020), <https://m.yna.co.kr/view/AKR20200627033100002>
- Yu J. W.(2008), "Real-time travel time estimation model using point based and link-based data," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 10, no. 1, pp.155-164.