

이면도로 비신호교차로에서 AI 기반 엣지컴퓨팅 기술이 교통사고 감소에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Impact of AI Edge Computing Technology on Reducing Traffic Accidents at Non-signalized Intersections on Residential Road

장 영 규* · 김 경 석** · 김 혜 원*** · 조 원 호****

* 주저자 : ㈜유티정보 이사
** 교신저자 : 국립공주대학교 도시·교통공학과 교수
*** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 박사과정
**** 공저자 : ㈜유티정보 교통모빌리티 사업본부 과장

Young-Gyu Jang* · Gyeong-Seok Kim** · Hye-Weon Kim*** ·
Won-Ho Cho****

* Utopia Traffic Information Co., Ltd.
** Dept. of Urban and Transportation Eng., Kongju National Univ.
*** Graduate School of Environmental Studies, Seoul National Univ.
**** Utopia Traffic Information Co., Ltd.

† Corresponding author : Gyeong-Seok Kim, gskim23@kongju.ac.kr

Vol. 23 No.2(2024)

April, 2024

pp.79~88

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.2.79>

2024.23.2.79

Received 15 February 2024

Revised 24 February 2024

Accepted 26 March 2024

© 2024. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

교통사고에 가장 취약한 도로는 이면도로 비신호교차로이며, 이들 취약지점에 AI 및 엣지 컴퓨팅 융합 기술을 적용하여 교통사고를 예방하고자 하는 시도가 이루어졌다. 본 연구에서는 현장 데이터를 활용하여 AI 및 엣지컴퓨팅 기술이 어떻게 교통사고 감소에 영향을 미칠 수 있고 한계가 무엇인지 교통공학적 측면에서 분석하였다. AI 객체인식으로 20m 후방에서 객체 정보를 취득함으로써 운전자는 약 3.6초의 대응시간을 확보하게 되고, 엣지기술에 의해 0.5~0.8 초만에 정보가 표출되어 운전자는 교차로 상황에 대응할 수 있는 시간을 얻게 된다. 또한, 교차로 접근로 10m지점에서는 11~12km, 20m지점에서는 20km/h 수준으로 속도관리가 이루어질 때 교차로 진입 전 정지가 가능한 것으로 분석되었다. 따라서 이들 시스템 도입 후 실증 교차로의 데이터를 Taylor 모형에 적용하면 교통사고 확률이 약 40% 감소하는 것으로 분석되었다. 결과적으로 높은 AI 기술의 높은 객체인식률, 엣지기술의 실시간 정보제공 그리고 교차로 접근로의 적정 속도관리가 함께 이루어질 때 교통사고 감소가 가능한 것으로 나타났다.

핵심어 : 인공지능(AI), 엣지, 교통사고, 주행속도, 실시간

ABSTRACT

We used actual field data to analyze from a traffic engineering perspective how AI and edge computing technologies affect the reduction of traffic accidents. By providing object information from 20m behind with AI object recognition, the driver secures a response time of about 3.6 seconds, and with edge technology, information is displayed in 0.5 to 0.8 seconds, giving the driver time to respond to intersection situations. In addition, it was analyzed that stopping before entering the intersection is possible when speed is controlled at 11-12km at the 10m point of the intersection approach and 20km/h at the 20m point. As a result, it was shown that traffic accidents can be reduced when the high object recognition rate of AI technology, provision of real-time information by edge technology, and the appropriate speed management at intersection approaches are executed simultaneously.

Key words : AI, Edge, Traffic Accidents, Speed, Real Time

I. 서 론

1. 개요

교통사고에 가장 취약한 도로는 9m 미만의 이면도로¹⁾(Kim, 2012)와 교차로(TAAS 2024)²⁾를 들 수 있다. 특히 이면도로 교차로는 대부분 비신호교차로로서 각종 장애물로 인한 시야 확보가 어려워 각종 사고의 최대 취약지구로 인식되고 있다.

이들 이면도로 비신호교차로가 교통사고에 취약한 이유는 교차로내 혹은 교차로에 접근하는 차량이나 보행자를 적시에 인식하지 못하기 때문이다. 그 이유는 일단 이면도로에 정보수집 및 제공 인프라 구축이 미흡하고, 일부 CCTV 등이 있더라도 정보수집에서 센터를 경유하여 정보제공까지 최소 17초³⁾ 정도 소요되기 때문이며, 이는 실시간성이 확보되지 못해 사고예방에 효과가 없는 것으로 나타난다.

특히 이면도로는 교차로 상황 인지 범위가 20m 내외로 매우 짧으며, 그로 인해 평균 시속 15km⁴⁾ 정도의 주행시 4.8초 이내에 인지하고 반응(브레이크)하고 차량의 제동이 이루어져야 교차로 진입 전에 정지할 수 있다. 따라서 앞서 언급한 바와 같이 기존의 CCTV 등 정보수집 후 센터를 통한 정보제공으로 감속을 유도하여 교통사고를 예방하는 것은 어려운 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 첨단기술을 활용한 교통사고 예측 및 예방을 위한 연구가 진행되고 있는데, 두 가지 중요한 키워드가 “AI와 엣지(edge)컴퓨팅” 기술이다. AI는 딥러닝을 통해 도로상 검지영역내 객체(사람, 차량, 자전거, 오토바이, PM 등)를 스스로 인식하여 구별하고, 이들의 행태 분석을 통해 교통사고를 예측하는데 활용하고 있다. 엣지컴퓨팅은 수집된 데이터를 중앙 서버가 아닌 데이터가 발생하는 주변(edge)에서 처리하는 기술이며, 앞서 언급한 교통사고가 발생할 수 있는 짧은 시간 내에서 정보 수집-분석-제공을 실시간으로 이행하는 기술을 의미한다.

본 연구는 교통사고 취약지역인 이면도로 비신호교차로의 교통사고를 예방할 수 있는 현장단의 실시간 정보제공의 필요성과 다행히 최근 확산되고 있는 AI 및 엣지컴퓨팅 기술을 적용한 현장 데이터를 확보하는 데에서 시작되었다.

그간 AI 및 엣지컴퓨팅 기술을 교통사고 예측이나 예방에 사용하고자 하는 연구는 일부 진행되었으나, AI기반의 교통사고 예방대책(Park et al., 2022)이나 교통사고분석 및 예측을 위한 AI모델(Noh, 2021) 등 주로 교통사고 예측을 위한 모델링과 효과 중심의 연구가 주를 이루고 있다. 반면, 본 연구에서는 AI 및 엣지컴퓨팅 기술이 교통공학적 측면에서 교통사고 감소에 어떻게 영향을 미치고 있는지를 분석하고, 이들 분석을 통해 AI와 엣지컴퓨팅 기술의 한계와 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

연구 대상지는 제주시의 비신호교차로 중 교통사고가 잦고, 보도가 없으며, 교통약자 안전성 확보가 필요한 이면도로 비신호교차로 3개소⁵⁾에 시스템을 설치하고 데이터를 수집하였다. 주요 활용 데이터는 AI 성능 검증을 위해 사람, 자전거, 자동차, 오토바이, PM 등 5가지 객체를 대상으로 객체인식률을 분석하였다. 두 번째 엣지컴퓨팅 기술의 성능 검증을 위해 정보표출 지체도(delay)를 분석하여 교차로 접근 범위 내에서 사고 회피가 가능한지 검증하였다. 그리고 세 번째는 이들 시스템 도입으로 실제 정지거리와 직접적인 영향이 있

1) 과속교통사고의 61.8% 차지 (최근 자료 확보가 어려우나, 2007~2009년 3년간 과속교통사고 자료)

2) 과속사고의 32.9% 교차로에서 발생하고, 2022년 교통사고의 48.4%가 교차로(내 및 부근)와 횡단보도에서 발생한 것으로 나타남

3) 현장영상시 센터에 전송되는 시간 2초, 운영자 (일상)메시지 전송 10초, VMS 표출까지 5초 등 총 17초 정도 소요되는 것으로 조사됨

4) 본 연구의 대상지 속도 조사 결과, 교차로 20m 후방 구간에서 평균 15.3km/h 수준으로 나타남

5) 인트랜삼거리, 용담동삼거리, 노형동사거리 : 모두 이면도로 왕복2차로 폭원(차선없음), 보도없음

는 교차로 접근 거리별 속도를 측정하고 Taylor 모형 등을 활용하여 어느 정도 교통사고가 감소할 것인지(빈도·확률)를 검증하였다.

2. 선행연구 검토 및 본 연구의 차별성

AI와 엣지컴퓨팅 기술을 활용하여 교통사고 예방 서비스는 주로 기상조건과 차량위치, 차속, 차량거동(정상, 역주행, 차선변경 등), 교통정보 등을 검지하여 도로 노면 상태(습윤도로, 강설도로, 블랙아이스)에 따른 미끄럼 마찰계수 측정 및 제동거리를 도출하는 판단기술에 엣지 SW를 활용한 사례(MaaSKorea 2024)가 있으며, Jang et al.(2020)는 엣지디바이스를 이용하여 횡단보도에 접근하는 차량속도를 추정함으로써 횡단 보도 주위 안전상태를 예측하는 시스템으로 접근 속도에 따라 웹시뮬레이터 기반으로 녹색-황색 등 보행자에게 경고를 주고 있다.

AI를 활용한 교통사고 예측 및 예방에 관한 사례와 연구는 다수 있는데, 예를 들어 부산시는 AI기반 운산 터널 돌발관리 및 위험탐지 솔루션을 적용한 사례가 있으며, Park et al.(2022)는 각종 문헌 검토를 통해 사고 예방대책들을 수집하여 일관성 있게 분류하고 각 대책별 기대효과 등을 제시함으로써, 이 대책들이 향후 그 형태와 기대효과에 따라 선정될 수 있도록 하는 사고예방대책의 데이터베이스화를 강조하였다. 그리고 사고 유형과 예방대책의 핵심 키워드 비교를 기반으로 한 알고리즘을 개발하여 사고 특성별 대처방안 시나리오를 개발한 사례가 있다.

이들 사례에서 보듯이 기존 연구 및 사례들은 주로 AI 기반의 빅데이터 분석을 통해 교통사고 예측 및 대응방안 모색에 초점을 두고 있으며, 엣지컴퓨팅 기술을 활용한 교통사고 예방에 관한 교통공학적 측면의 접근은 미흡한 실정이다. 일부 정보통신분야에서 엣지컴퓨팅 기술을 적용하여 차량인식과 속도추정 사례가 있으나, 그 결과를 교통공학적 측면에서 교통사고 예방에 적용하는 데는 한계가 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구는 AI 기술과 엣지컴퓨팅 기술을 동시에 적용하는 데서 우선 차별성을 찾을 수 있다. AI 기반의 객체인식을 통해 엣지컴퓨팅 기술을 활용하여 실시간적으로 교통사고 위험을 회피할 수 있다는 것을 교통공학적 접근을 통해 실증하는 것에서 차별성을 찾을 수 있다.

II. 적용 기술 및 분석 방법론

1. 적용 기술

본 연구에는 크게 임베디드 엣지기반 인공지능 객체 인식 솔루션과 위험도 판단 알고리즘을 활용하였다.

1) 임베디드 엣지기반 인공지능 객체인식 솔루션

본 연구에서는 크게 이기종간 인터페이스 설계, 임베디드 인공지능 영상인식 플랫폼 설계, 객체인식을 향상을 위한 Data Set 수집 그리고 임베디드 기반 인공지능 모델을 개발하였다.

첫 번째, 이기종간 인터페이스를 위해 가변전광판-엣지 Device, CCTV-엣지 Device, 엣지 Device-센터 간 통신을 위한 인터페이스를 설계하여 실시간 영상을 모니터링, 저장, 분배를 수행하였다. 또한, 엣지 디바이스에서 임베디드 AI 알고리즘을 통해 가변전광판 제어를 수행하였다.

두 번째, 임베디드 인공지능 영상인식 플랫폼은 다음과 같은 영상인식알고리즘 요구사항을 처리 할 수 있

도록 설계되었다.

- 차량, 오토바이, 자전거, PM, 보행자 객체 인식
- 이동 객체의 이동 방향성 구분
- 교통량 및 속도 측정 및 자동로그 및 센터 전송
- 불법주정차 차량과 이동 차량의 구분
- 우산을 쓴 보행자 구분
- 초당 25프레임 영상처리
- 객체 감지 후 정보표출까지의 시간 1.2초 이내
- 4개 채널 CCTV 영상 처리

세 번째, 객체인식 정확도 향상을 위한 Data Set을 구축하였다. 해당 연구 단계에서 수집된 7가지 객체별 이미지를 지정 폴더에 저장하고, 객체별 레이블링 작업을 수행하였다.

네 번째, 임베디드 기반 인공지능 모델 구축을 통해 데이터 증강 (processing 및 augmentations) 과정을 수행하고, 구축된 데이터를 이용하여 검지속도와 정확도가 우수한 Yolo8 모델 최적화를 수행하였다. 이를 통해 최종적으로 최적 파라미터를 도출하고 정확도를 향상시켰다.

2) 비신호교차로 위험도 판단 알고리즘

일반적으로 교차로에서 교통사고는 운전자가 객체 인식 후 정지하는 데까지 소요되는 정지거리에 의해 결정이 된다. 정지거리는 공주거리와 제동거리로 구분되는데, 공주거리는 물체를 본 시간부터 브레이크를 밟아 브레이크가 작동하기까지 이동한 거리로 차량의 속도와 운전자의 능력(반응속도)에 따라 달라지나 도로 설계 시 보편적으로 2.5초를 반응시간으로 사용한다.

$$d_1 = v \times t = \frac{V}{3.6}t$$

여기서, d_1 : 반응시간 동안의 주행거리 (m)
 v, V : 주행속도 (m/sec, km/h)
 t : 반응시간 (2.5초)

제동거리는 운전자가 브레이크를 밟아 차량을 정지시킬 때 필요한 거리로 차량의 성능, 포장의 종류, 노면 상태, 타이어 재질 등 다양한 조건에 따라 달라진다.

$$d_2 = \frac{v^2}{2gf} = \frac{V^2}{254f}$$

여기서, d_2 : 제동 정지거리 (m)
 v, V : 주행속도 (m/sec, km/h)
 f : 타이어와 노면의 종방향 미끄럼 마찰계수
 g : 중력가속도 (m/sec²)

결과적으로 차량의 제동거리는 평지 및 노면상태가 양호한 이면도로에서 차량속도가 10km/h일 때 약 8.35m, 50km/h일 때 69.85m가 필요하다.

반면 오토바이는 앞바퀴 제동시와 뒷바퀴 제동시 정지거리가 상이하게 나타나며, 자전거는 10~20m의 정

지거리가 필요한 것으로 나타난다. 또한, 교차지점에서의 주요 교통사고 대상이 되는 보행자 사고위험 판단을 위해서는 감시영역을 교차지점에서 5~10m 이내로 설정하여 해당 영역에 보행자가 있을 경우에는 충돌위험이 있는 것으로 판단하고 정보를 제공한다.

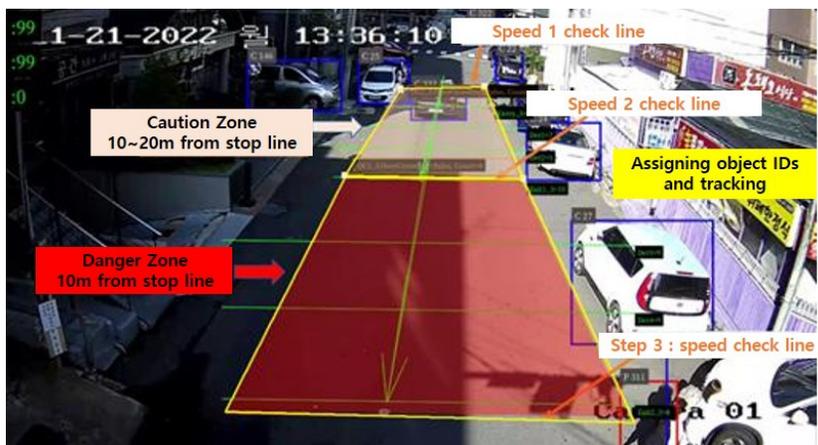
<Table 1> Stopping distance for each object depending on speed [unit : m]

speed(km/h)	Car	Motorcycle		bicycle
		front wheel braking	rear wheel braking	
10	8.35	1.87	2.33	about 10
20	19.50	5.48	7.32	about 20
30	33.47	10.83	14.97	-
40	50.25	17.92	25.28	-
50	69.85	26.75	38.25	-

이러한 정지거리를 고려할 때, 차량 및 오토바이의 속도를 측정하여 사고위험도를 판단할 수 있으며, 이를 위해 본 연구에서는 정지선으로부터의 거리에 따라 안전존, 위험존, 주의존으로 구분하여 정보를 수집하고 제공하고자 한다.

위험존은 정지선에서 10m까지의 구간으로 이 구간내 객체가 검지될 경우 가변전광판에 위험정보를 표출한다. 주의존은 정지선에서 10m 떨어진 지점부터 20m까지의 구간으로 이 구간에서 객체가 검지될 경우 주의정보를 가변전광판에 표출한다. 안전존은 정지선에서부터 20m이상 떨어진 구간을 의미한다.

속도 측정은 20m 지점에 속도 검사선을 설정하고 객체가 라인을 통과할 때 ID를 부여하여 동일 ID의 객체가 2단계 속도 검사선(10m 간격)을 통과할 때의 속도를 측정하여 감속여부를 판단하게 된다.



<Fig. 1> Detection Area Setting and Speed Calculation Method

이렇게 정지선으로부터 거리에 따라 안전존, 주의존, 위험존으로 설정하고, 이동속도가 높고, 충돌시 피해가 클 것으로 판단되는 이동객체에 따라 구간별 위험도를 차별화하였다. 보행자가 위험존에 있을 경우 무조건 보행자가 있다는 위험정보를 표출하고, 동일 구간에 서로 다른 이동객체가 존재할 경우 교통사고 피해에 취약한 정도에 따라 보행자 > PM > 자전거 > 오토바이 > 자동차 순으로 해당 객체 정보를 표출하도록 한다.

2. 분석 방법론

1) 분석 항목의 도출

교차로에서의 사고는 주로 교차로 내 객체(차량 및 보행자 등) 및 접근 객체를 인지하지 못하거나 늦게 인지하여 적시에 감속하지 못하고 정지거리 범위를 벗어나 교차로에 진입하면서 발생하는 경우가 대부분이다.

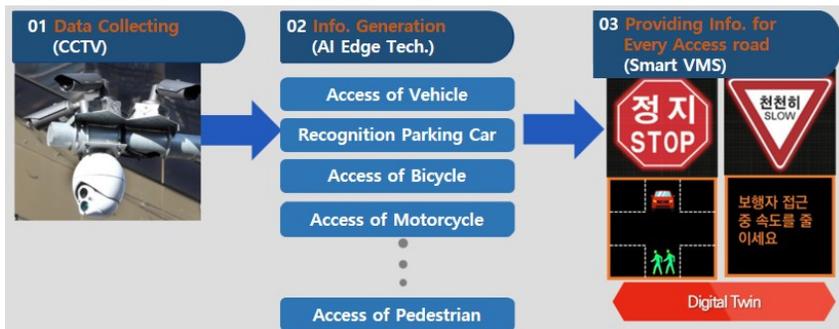
본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 교차로 방향별로 CCTV를 통해 정보를 수집하고 접근로별 상황정보를 생성한 후 스마트가변정보표출장치를 통해 접근로별 정보를 제공하는 시스템을 구축하였다. 시스템 구축을 위해 앞서 언급한 AI 엣지 객체인식기술이 적용되었으며, 스마트가변정보표출장치(VMS)가 활용되었다.

이러한 AI 엣지컴퓨팅이 교통사고 감소에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 항목에 대한 검증이 필요하다.

첫째, 객체 인식률, 즉 객체 인식을 정확히 하고 있는지

둘째, 정보표출 지체도(delay), 즉 정보객체 인식 후 (CCTV) 정보 표출까지의 소요시간이 운전자가 정보 확인 후 정지거리 내에서 정지할 수 있는 시간을 확보할 수 있도록 하는 수준인지,

셋째, 속도변화분석, 즉 주의존-위험존 진입시 차량들이 적시에 감속을 하고 있는지 등을 확인해야 한다.



<Fig. 2> Concept of Developed Technology

2) 객체 인식률 분석

먼저, 객체인식 알고리즘에 의해 검출된 객체의 정확도를 평가하기 위해 검출되는 영상을 녹화하고, 검지 영역을 주의존(10~20m)과 위험존(0~10m)으로 구분한다. 이후, 7가지 평가대상 객체가 주의존 및 위험존에 진입할 경우 객체인식 여부를 확인하고 정상 또는 비정상적으로 인식된 개체 수량을 측정하였다.

시간대에 따른 인식률 확인을 위해 주간과 야간을 구분하여 영상을 녹화하였으며, 주간은 오전 8시부터 오후 5시까지, 야간은 오후 6시부터 오후 12시까지 촬영된 영상으로 구분하고, 차량의 헤드라이트가 켜져 있는 경우를 야간으로 구분하였다.

3) 정보표출 지체도(delay) 분석

정보표출시간은 대상 객체가 검지영역에 진입했을 때 스마트가변정보표출장치에 객체 정보를 표출하는데 걸리는 시간(초)으로 산정하였다. 분석 영상은 30프레임/초로 표출 전환하는 화면의 개수를 측정하여 계산하였다. 예를 들어 15화면 일 경우 0.5초가 소요되는 것으로 산정된다.

4) 속도 변화 분석

<Fig. 1>에서 제시한 Speed 1 및 Speed 2의 속도체크지점에서 통과속도를 측정하여 두 속도 간의 차이를 확인하고 감속 정도를 산출하였다. 또한 두 지점 통과시 감속한 차량 비율의 변화를 분석하여 정보제공 효과 검증에 활용하였다.

Ⅲ. 분석 및 검증 결과

1. 객체별 인식률이 교통사고 감소에 미치는 영향

객체 인식률은 AI 엡지컴퓨팅 기술의 적용을 위해 가장 기본이 되는 지표이다. 본 연구에서는 7개 객체분류를 4개7로 재분류(사람, 차량, 오토바이, 자전거/PM)하여 인식률을 확인하였다.

분석 결과, 전반적으로 교차로에서 가까운 위험존에서 인식률이 높게 나타나고, 주의존에서는 상대적으로 인식률이 다소 감소하지만 사람과 차량 모두 98%이상의 높은 인식률을 확보한 것으로 나타났다. 특히 위험존에서 사람 인식률은 100%로 교통약자 보호 측면에서 정확한 정보제공이 가능할 것으로 판단된다. 그 외에 도주·야간, 날씨와 관계없이 98% 이상의 높은 인식률을 보이고 있다.

반면, 오토바이, 자전거, PM의 경우 10m 이내의 경우 인식률이 높으나, 거리가 멀어질수록 보행자로 인식하는 등 인식률이 낮은 것으로 분석된다. 이는 도로상 교통약자인 사람으로 인식되는 측면에서는 차량에 주의 경고를 정확하게 줄 수 있어 의미가 있으나, 오정보 제공에 따른 신뢰도 감소를 고려할 때 지속적인 샘플 수 확보와 학습을 통한 인식률 제고가 필요한 것으로 평가된다.

<Table 2> Recognition rate of each object

categories	caution zone	danger zone	total number	recognition rate in caution zone	recognition rate in danger zone
pedestrian	932	943	947	98.42%	100%
vehicle	713	712	724	98.48%	98%
motorcycle	49	53	77	63.64%	69%
bicycle/PM	11	16	22	50.00%	73%

AI에 의한 객체 인식이 교통사고 감소에 미치는 영향은 차대차 및 차대사람 사고의 당사자인 사람과 차량의 인식률이 거의 100%에 달하고, 교차로 접근 20m 이전(주의존 진입지점)에 이러한 객체 인식결과를 스마트가변정보표출장치(VMS)를 통해 제공하기 때문에, 이면도로에서 시속 20km/h로 주행하는 차량의 정지거리 19.5m(참고 <Table 1>)를 고려할 때, 교차로 진입전 정지가 가능한 수준이다. 즉, 20m 전에 교차로 내 혹은 교차로에 접근하는 다른 방향의 차량들에 대한 정보를 제공받은 운전자는 3.6초의 대응시간을 갖게 되어 흔히 정지거리 산정에 사용되는 운전자 반응시간 2.5초보다 더 여유있는 시간을 가지고 대응할 수 있어 사고감소 효과에 크게 기여할 것으로 분석된다.

단, 오토바이나 자전거 및 PM의 인식률을 높이는 문제와 20m 주의존 진입차량들의 속도를 20km/h 수준을

6) 15화면 = 15 × 1/30 = 0.5초

7) 자전거와 PM은 이미지가 유사하여 동일하게 인식하는 경향이 있어 통합하여 분석함

관리하는 것은 속제로 남아 있다.

2. 엠티기술 적용에 따른 정보표출 지체도(delay)

이면도로 교통사고 감소를 위해 본 연구에서 제시하는 가장 핵심적인 기술은 엠티컴퓨팅 기술이다. 앞서 CCTV를 통해 인식된 객체에 대한 정보를 주변 접근도로의 차량에게 실시간으로 정보를 제공하지 못한다면 높은 인식률이 의미가 없다. 인식된 객체 정보를 센터에 전송하고 센터 운영자가 메시지를 전송하여 현장의 스마트가변정보표출장치(VMS)에 정보가 표출되는 약 17초의 시간에 사고는 이미 발생하게 되고 사고예방의 효과를 기대할 수 없게 된다.

본 연구에서 제시하고자 하는 엠티기반의 AI 객체 인식 후 정보제공까지 소요되는 시간은 평균 0.48초이며 표준편차는 0.31초로 나타난다. 편차를 고려해도 0.8초 수준으로 앞서 20m 전에서 정보를 제공받은 운전자가 확보한 3.6초의 여유에서 이 시간을 제외하더라도 2.8초로 정지거리 산정에 사용되는 운전자 반응시간 2.5초보다 0.3초의 여유시간을 확보하게 된다.

결국 AI의 높은 객체 인식률과 엠티기술을 활용한 짧은 정보표출 시간(delay)이 교통사고 예방에 결정적인 역할을 할 것으로 기대된다.

<Table 3> Delay for the Providing Information

Item		crosswalk-day	intersection-day	intersection-night	total
No. of Sample		39	26	7	72
frame(unit)	average	17.79	6.35	19.43	14.52
	standard deviation	9.32	1.92	8.89	9.31
delay(sec)	average	0.59	0.21	0.65	0.48
	standard deviation	0.31	1.92	0.30	0.31

3. 속도 변화 효과 검증

AI에 의해 검지된 객체정보가 짧은 시간(0.5~0.8초)안에 표출장치에 제공된다고 하더라도 교차로에서 20m 후방에서 시작하는 주의존의 진입속도가 20km/h, 교차로로부터 10m지점에서 시작하는 위험존으로의 진입속도가 11~12km/h를 유지하지 못하면 교차로 진입 전에 정지하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 AI 엠티기술 도입 후 주의존(speed1)과 위험존(speed2)의 시작점(참고 <Fig. 1>) 2개소에서 측정된 속도값을 분석한 결과를 토대로 교통사고 감소 가능성을 검증⁸⁾하였다.

총 13,956건의 측정값을 분석한 결과, 주의존의 평균 진입속도는 17.6km/h, 위험존의 평균진입속도는 11.4km/h로 조사되었으며, 이는 앞서 제시한 각 지점의 안전속도 20km/h 및 11~12km/h의 범주에 들어 각 존 진입시 제공되는 객체정보에 의해 안전하게 교차로 진입 전에 정지가 가능한 것으로 평가된다.

또한 인식된 전체 차량의 90.6%가 주의존에서 위험존으로 진입하면서 감속하는 것으로 나타나며, 평균 속도 감소량은 7.1km/h로 분석되었다.

8) 본 연구에서는 속도데이터의 이상치가 상대적으로 적은 노형동사거리의 측정값으로 분석을 진행하였음

<Table 4> Speed at the two points after introducing AI edge technology

location	average speed (km/h)		average speed reduce ¹⁾ (km/h)	Deceleration vehicle ratio (%)
	speed1 at caution zone	speed2 at danger zone		
Nohyung intersection	17.6	11.4	7.1	90.6

footnote 1) : Average deceleration amount of decelerated vehicle

속도 감소는 교통사고 감소로 직결된다는 연구는 기존 연구에서 다양하게 제시되고 있다. 영국 교통부 교통연구소(TRL)에서 분석한 바에 의하면, 차량의 평균속도를 1km/h 낮출수록 부상사고는 5%씩 감소하고, 사망사고는 7%씩 감소하는 것으로 제시(General Insurance Association of Korea, 1988; Lee and Kim, 2008)하고 있다.

본 연구에서 분석한 속도 감소효과를 예측하기 위해, 교차로에 대한 객체정보없이 주의존 진입속도를 유지하면서 위험존으로 진입, 즉 위험존 진입속도가 객체정보가 있는 경우(AI 엣지기술 도입후)와 없는 경우(AI 엣지기술 도입전)를 비교하였다. AI 엣지기술 도입 전·후에 앞서 분석한 7.1km/h의 차이가 발생한다는 것을 전제로 두 가지 모델 분석을 시도하였다. 우선 TRL 기준을 적용해 보면 부상사고는 약 35%, 사망사고는 약 49% 정도 감소할 것으로 평가된다. 또한 교통사고 확률(빈도)를 측정하는데 주로 사용되는 Taylor 모형을 활용하여 위험존 진입속도가 주의존 평균속도 17.6km/h인 경우와 시스템 도입 후 평균속도인 11.4km/h를 적용하면 사고빈도(확률)가 1.33에서 0.52로 감소하여 약 39.1%의 사고빈도가 감소하는 것으로 나타났다. 두 가지 경우를 종합해 보면 본 시스템 도입에 따른 주행속도 감소만으로도 약 40% 가량의 사고감소를 기대할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 최근 교통분야에서 다양하게 도입되고 있는 AI 기술과 엣지컴퓨팅 기술이 교통사고 감소에 어떻게 작용하고 있는지를 검증하였다. 기존에는 주로 AI 기술을 활용한 예측기법이나 엣지컴퓨팅 기술을 이용한 속도 측정 등 기술의 활용에 대한 연구가 주를 이루었으나, 본 연구에서는 이들 기술이 교통사고 감소에 어떻게 기여하는지 직접 수집한 데이터를 기반으로 교통공학적 측면에서 접근한 것에서 차별성을 찾을 수 있다.

우선 AI 기술은 딥러닝을 통해 도로상의 객체인식을 주·야, 날씨에 관계없이 24시간 정확하게 할 수 있다는 점에서 그간 교통센터에서 운영자들에 의해 사고 위험상황을 확인하던 기존 시스템의 한계를 극복하고, 시간적·인력적 제약 문제를 해결할 수 있다는 점을 확인하였다.

두 번째 그간 CCTV에서 수집된 정보가 센터를 경유하여 제공되는데 최소 17초 이상의 시간이 소요되어 순간적으로 발생하는 교통사고를 예방할 수 없었던 기존 시스템의 한계를 0.5~0.8초 사이에 현장에 실시간으로 정보를 제공함으로써 운전자들에게 위험상황에 대응할 수 있는 충분한 시간을 제공해 줄 수 있는 점을 확인하였다. 즉, 엣지컴퓨팅 기술은 교통사고 감소에 결정적인 역할을 하고 있다.

세 번째 실제 효과를 검증하는 과정에서 교차로에서 10m, 20m 후방에서 차량 진입속도를 측정된 결과, 본 시스템 도입 후 차량 속도 감소효과가 기존에 비해 크게 나타나고 있으며, 그로 인한 사고감소 효과가 있음을 기존 연구 사례와 Taylor 모형을 활용하여 확인하였다. 역으로 이들 시스템의 효과 유지를 위해서 10m,

20m 후방에서 최소한 차량의 진입속도를 11~12km/h(10m 지점), 20km/h (20m 지점) 수준으로 지속적인 관리가 필요하다는 점을 시사하고 있다.

결론적으로 AI 및 엣지컴퓨팅 기술은 교통사고 감소에 긍정적인 영향을 주고 있음은 확실하고, 이들 기술이 연계·융합하여 구축되고 교통측면 속도관리가 함께 이루어질 때 그 효과는 극대화될 것으로 판단된다.

또한 오토바이, 자전거, PM 등의 객체 인식을 제고와 단일로, 간선도로 등 다양한 도로형태에서 적용할 수 있는 확장성 확보는 연구의 한계로 남아 있으며 향후 지속적인 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통지역혁신기술개발사업(RS-2022-0014653) 및 2024년도 공주대학교 교수 연구년 지원으로 수행된 것입니다.

REFERENCES

- General Insurance Association of Korea(1998), *Column : Speeding Risks and Prevention Measures*, pp.40-43.
- Jang, S. H., Choi, H. E. and Jeong, J. W.(2020), “Design and Implementation of A Smart Crosswalk System based on Vehicle Detection and Speed Estimation using Deep Learning on Edge Devices”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 4, pp.467-473.
- Kim, G. S.(2012), “Speed management methods to reduce traffic accidents”, *2012 Grand Conference for Traffic Safety*.
- Lee, K. J. and Kim, G. S.(2008), “A Study on DFS Beneficial for Reduction on Speed and Traffic Accidents”, *The Magazine of Korean Society of Hazard Mitigation*, vol. 8, no. 4, pp.31-38.
- MaaSKorea(2024), *Artificial intelligence (AI)-based real-time road surface condition detection and road weather detection technology*, http://maaskr.com/?page_id=5417, 2024.02.08.
- Noh, B. J.(2021), “Development of AI model for traffic accident analysis and prediction”, *85th Academic Presentation of The Korean Society of Transportation*, pp.820-838.
- Park, H. N., So, J. H. and Yoon, J. S.(2022), “Development of AI-based Traffic Accident-Prevention Measures Matching Methodology”, *87th Academic Presentation of The Korean Society of Transportation*, pp.177-178.
- TAAS(Traffic Accident Analysis System), <https://taas.koroad.or.kr>, 2024.02.04.