

영상분석 기반 도시부도로 차량행태 특성 분석

Characterization of Urban Road Vehicle Behavior Using Video Analysis

길 정 원* · 채 준 병** · 황 재 성*** · 권 재 경**** · 이 철 기*****

* 주저자 : 아주대학교 D.N.A.플러스융합학과 교통전공 석사과정

** 공저자 : 아주대학교 D.N.A.플러스융합학과 교통전공 석사과정

*** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 연구교수

**** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정

***** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Jeong-won Gil* · Jun-byung Chae* · Jae-seong Hwang** ·

Jae-kyung Kwon*** · Choul-ki Lee**

* Dept. of D.N.A.Plus Convergence, Univ. of Ajou

** Dept. of Transportation Systems Eng., Univ. of Ajou

*** Dept. of Transportation Eng., Univ. of Ajou

† Corresponding author : Choul ki Lee, cklee@ajou.ac.kr

Vol. 23 No.6(2024)
December, 2024
pp.190~202

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.6.190>

Received 13 November 2024
Revised 28 November 2024
Accepted 6 December 2024

© 2024. The Korean Society of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

차량행태 분석은 교통 시뮬레이션, 자율주행, 교통안전 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나, 널리 알려진 기존 차량행태 모형은 대부분 해외 환경을 기반으로 하여 도로의 구조, 운전자 특성, 법규 등 국내 교통 상황의 특수성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서, 해외 환경이 아니라 국내 환경에 맞는 차량행태 분석의 필요한 상태이다. 본 연구에서는 영상분석을 활용하여 도시부 도로에서의 차량행태 특성을 분석하였다. 기존 교통 CCTV 및 영상 검지기 기반 연구의 한계를 보완하기 위해 드론을 활용하여 데이터를 수집하고 YOLOv8 객체탐지 모델을 분석에 활용하였다. 대상지에 대한 정지 시 차간거리, 추종 가속도, 출발 가속도, 정지 감속도를 제시하고 비교한 결과, 각 대상지의 물리적 특성 등에 따른 차량 행태의 차이를 확인하였다. 그러나, 대상지가 제한적이며, 차종 구분이 이루어지지 않았다는 한계점이 존재한다. 분석 범위를 확대하고, 차종 구분을 포함함으로써 보다 현실적인 교통 행태를 반영한 연구를 진행할수 있을 것으로 예상된다.

핵심어 : 영상분석, 차량행태, 드론, 가속도, 차간거리

ABSTRACT

Vehicle behavior analysis is essential in traffic simulation, autonomous driving, and traffic safety. On the other hand, most existing models are based on foreign environments and do not fully capture the unique characteristics of domestic traffic, including road structures, driver behavior, and regulations. This study addresses this gap by analyzing vehicle behavior on urban roads using video analysis. These limitations of traditional CCTV-based studies were overcome using drones for data collection and the YOLOv8 object detection model for analysis. The key metrics, including standstill distance, following acceleration, starting acceleration, and stopping deceleration, were examined across sites, revealing behavioral differences linked to the physical site characteristics. Despite the limitations, such as a restricted number of sites and lack of vehicle type classification, expanding the scope and incorporating vehicle types in future research will enable a more accurate representation of vehicle behavior.

Key words : Video analysis, Vehicle behavior, Drone, Acceleration, Standstill distance

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통 시스템의 효율적 운영과 안정성 향상을 위해 차량의 행동을 이해하는 것은 필수적이다. 차량 행태는 교통 시뮬레이션, 자율주행, 교통안전 등의 분야에서 활용되고 있다. 현재 널리 알려진 차량추종모형, 차로변경모형 등의 연구는 차량 행태를 분석한 대표적인 연구로, 차량 간의 간격, 속도 변화, 차로 변경과 같은 요소를 통해 교통 상황을 보다 정밀하게 이해하고자 한다.

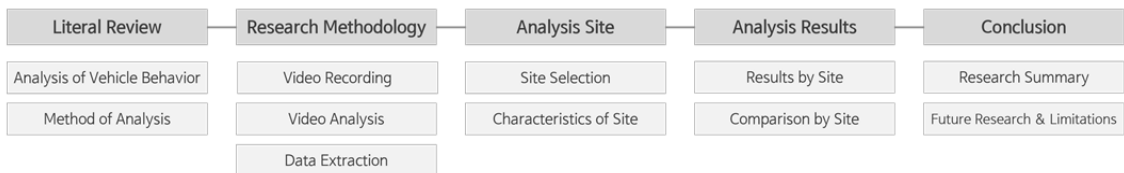
그러나 이러한 연구들은 대부분 해외 환경을 기반으로 하기 때문에 운전자 특성과 지역적 특성 등 국내 교통 상황의 특수성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서 해외 환경이 아닌 국내 환경에 맞는 차량 행태 분석의 필요성이 제기되고 있다(Jung et al., 2008). 교통 특성은 도로의 구조, 운전자 특성, 법규 등 다양한 요인에 따라 달라지며, 기존 연구를 우리나라 교통 환경에 적용하기 위해서는 별도의 파라미터 분석이나 정산 및 검증 단계를 통 최적화가 필요하다는 번거로움이 있다(Kim et al., 2006).

최근 자율주행 기술과 교통안전, 교통 시뮬레이션 분야에서 연구의 초점이 기존의 링크 기반 거시적 분석에서 개별차량의 동작을 모니터링하고, 분석하는 미시적 분석으로 변화하고 있다. 이러한 변화는 국내 교통 환경을 반영한 개별차량의 운행 특성 및 행태에 대한 구체적인 분석 결과를 요구하고 있다.

따라서 본 연구에서는 영상분석 기법을 활용하여 개별 차량의 주행 특성을 산출하고, 이를 통해 국내 도시부 도로에서의 차량 행태를 도출하고자 한다. 이를 바탕으로 국내 교통 환경에 적합한 차량 행태 모형을 개발하는 데 기여하고자 하며, 향후에는 분석 변수의 추가와 대상지의 확대를 통해 정교한 국내형 차량 행태 모형을 구축하는 것을 목표로 한다.

2. 연구 수행 절차

본 연구에서는 기존 차량 행태 분석 연구와 영상분석 연구를 검토하여 분석 방법과 변수를 설정한 후 연구방법론과 분석대상지에 대해 설명하였다. 영상 촬영과 분석을 통해 개별 차량의 행태 변수를 산출하였고, 이를 바탕으로 도시부도로 개별 차량 행태 특성을 분석하였다. 마지막으로 연구의 내용을 요약하고 향후 연구와 시사점 및 한계점을 제시하였다.



<Fig. 1> Research Process

II. 선행연구 검토

1. 차량 행태 분석 연구

차량 행태 분석은 교통 흐름을 이해하고 예측하기 위한 연구 분야로, 대표적으로 차량추종모형(Car

Folloing Model)과 차로변경모형(Lane Change Model)이 있다. 이외에도 특정 기하구조의 도로나 자율주행 혼재 상황 등 구체적인 환경에서의 차량 행태를 분석한 연구들이 존재한다.

1) 차량추종모형과 차로변경모형

차량추종모형은 도로 위에서 선행 차량의 영향을 받는 후속 차량이 선행 차량과의 간격을 유지하고 조절하는 운전자의 행동을 수학적으로 설명하는 연구이다. Pipes에 의해 처음 제안되어 이후 다양한 연구들이 진행되었으며 대표적인 차량추종모형으로는 The GM Car-following Model, Gipps' Model, Wiedemann Model, IDM(Intelligent Driver Model) 등이 있다. The GM Car-following Model은 연이어 주행하는 차량들의 상대속도를 계산해서 가·감속도를 추정하고 운전자의 반응 시간을 계산하였다. Gipps' Model은 후행차량이 선행차량과의 안전한 간격을 유지한다는 가정을 기초로 한 연구이다. 차량의 집합적 행태는 목표 속도의 분포, 반응 시간, 평균 제동 속도와 추정 제동 속도의 비율에 따라 결정되며 개별 차량 행태는 가속도, 제동 속도, 안전 길이의 분포에 의해 결정됨을 제시했다.(Gipps, 1981) Wiedemann Model은 미시교통시물레이션인 PTV Vissim¹⁾에 기반이 되며 연속류와 단속류를 구분하여 설명하였다. 단속류 모형의 경우 정지 시 차간거리, 안전거리, 속도를 주요 변수로 사용하였으며, 연속류 모형의 경우 차량간의 거리, 속도, 가속도 등을 주요 변수로 사용하였다. IDM은 운전자가 원하는 속도와 선행차량과의 최소 간격을 유지하기 위한 일련의 과정을 희망속도, 상대속도, 가·감속도, 희망 간격과 최소 간격 등을 이용해 설명하였다. 현재 자율주행에 관한 연구, ACC(Adaptive Cruise Control), CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control) 등에 활용되고 있다.(Ahmed et al., 2021)

차로변경은 추종 상황과 함께 운전자가 주행 과정에서 취하게 되는 가장 기본적인 주행 행태이다. 차로변경모형은 차량이 차로를 변경하는 과정에서의 의사결정 과정을 모사하는 모형이다. 대표적인 차로변경모형으로는 MOBIL(Model for Lane Changing Behavior)과 LMRS(Lane Multi Resolution Simulation)이 있다. MOBIL은 운전자가 차로를 변경했을 때의 효율과 위험도를 판단하여 차로변경을 결정하는 모형으로 효율 함수, 안전 조건, 감속 최소화가 주요 요소이다. 차로변경 전·후 가속도를 비교하여 특정 효율 임계값을 만족할 경우 차로변경을 수행하게 된다.(Treiber and Kesting, 2009) LMRS는 운전자가 차로변경을 원하는 정도에 따른 차로변경 유형을 분류하였으며, 차간 거리와 차량의 속도 및 가속도가 주요 변수로 작용한다.

2) 특정 환경에서의 차량 행태 분석 연구

특정 기하구조의 도로나 자율주행 혼재 상황 등 다양한 교통 조건에 따른 차량 행태 분석 연구가 진행되고 있다. Shin et al.(2023)은 미시교통시물레이션(VISSIM)을 활용해 자율주행 혼재 상황에서 일반 차량의 안정성을 분석하였다. 일반 차량의 실제 행태를 반영하기 위해 유전 알고리즘과 NGSIM(Next Generation Simulation) 데이터²⁾를 활용해 파라미터 정산을 수행하였지만 자율주행 차량의 경우 기존 연구의 파라미터를 사용하여 실제 자율주행 차량의 행태를 반영하지 못했다는 한계가 존재하였다.

Jung et al.(2008)은 시물레이션에 적용되는 차량추종모형의 파라미터 값은 외국의 값으로, 국내 운전행태를 반영하지 못해 분석에 문제가 있다는 한계점을 제시하였다. 이를 해결하기 위해 국내 지침을 참고하여 시물레이션을 설계하고 우회전 차량에 영향을 주는 파라미터 값을 도출하였다. 또한, 향후 연구로 실측자료를 통한 도출된 파라미터 값의 정산을 제시하였다.

Kim et al.(2004)은 실제 도로에서 이뤄지는 끼어들기는 운전자들이 차로변경을 위해 인위적으로 차간간격

1) PTV VISSIM : 독일 기업 PTV이 개발한 미시교통시물레이션 소프트웨어

2) NGSIM 데이터 : 미국 연방 교통부가 공개한 고속도로 차량 데이터

을 만들어내는 능동적인 운행행태이기 때문에 기존 차로변경모형으로 설명할 수 없다고 판단하였다. 이에 따라, 현실적인 끼어들기 행태 모사를 위해 영상분석을 기반으로 끼어들기 차량의 행태를 분석하였다. 분석 결과로 얻어진 속도, 차간거리, 감속도를 주요 변수로 활용하여 끼어들기 판단지표를 도출하고 이를 바탕으로 끼어들기 모형을 제시하였다.

Lee(2022)는 차량의 주행 성능이 향상됨에 따라 변화한 차량 행태를 도로 관리 기준에 반영해야 한다고 주장하였다. 이를 위해 디지털 운행기록 장치로 수집된 DTG데이터를 통해 차량의 가속 및 감속도를 분석하였으며, 지역 특성과 차량 유형에 따른 가속 및 감속도의 분포를 비교하였다. 이러한 분석 결과가 도로 관리 기준에 변경에 기여할 것으로 판단하였다.

Zhu et al.(2018)은 나라마다 교통 특성이 다르기 때문에 기존 미시교통 시뮬레이션의 매개변수를 수정하고 검증할 필요가 있다고 주장했다. 이들은 센서를 설치한 차량들의 실제 주행데이터를 이용해 최적 매개변수를 산출하고 시뮬레이션의 매개변수를 조정하였다. 매개 변수 조정 후 시뮬레이션의 속도 값과 실제 값을 비교하여 최적 시뮬레이션을 제시하였다.

2. 차량행태 측정 방법 연구

1) 기존 영상분석 기반 연구

Houchin et al.(2015)은 보다 현실적인 교통시뮬레이션 분석을 위해 매개변수 조정의 필요성을 제시하였다. 이를 위해 차두 시간과 정지 시 차간거리를 영상분석을 통해 수집하는 방법을 제시하였다. 정지 시 차간거리의 경우, 영상 프레임에서 정지한 차량을 육안으로 식별하고 원근법으로 왜곡된 거리를 산출하는 소프트웨어를 활용하여 산출하였다. 왜곡된 거리의 측정은 실제 측정된 거리를 영상 프레임에 표시해 기준 거리로 설정하여 진행하였다. 여러 각도에서 명확한 거리를 알 수 있는 격자 사진을 촬영하고 소프트웨어 산출값과 비교하였다. 비교 결과, 영상에서 멀어질수록 소프트웨어의 산출값의 오차가 커졌으며 차량이 겹쳐져 거리를 식별할 수 없는 구간이 존재하였다. 제시한 영상분석 방법을 미국 아이오와주의 도시 고속도로에 적용한 결과, 차량 유형에 따라 차두 시간과 정지 시 차간거리에 차이가 나타났으며 운전자 행동의 이질성으로 인해 분산된 분포를 보임을 확인하였다.

Gil et al.(2024)은 교통 CCTV 영상과 YOLO 객체 탐지모델을 활용하여 차량의 가속도와 차간거리를 산출하는 방법을 제시하였다. 교통 CCTV 영상의 경우 차량들이 겹쳐져 객체 탐지율이 떨어지므로 분석의 정확도를 높이기 위해 영상의 각도를 조절할 것을 권장하였다. 또한, 해외 이미지 기반의 데이터셋인 Coco 데이터셋을 활용하여 국내 영상의 객체 탐지율이 떨어졌다는 한계점이 존재하였다.

2) 드론을 활용한 영상분석 기반 연구

Lee et al.(2024)은 드론과 YOLOv8 객체 탐지모델을 활용하여 교차로 내 차종별 차량 구분과 주행 경로를 검출하는 모델을 제시하였다. 드론을 활용하여 지면에서 각각 45도와 90도의 각도로 촬영한 교차로 영상에서 모델 성능을 비교하였으며, 90도에서 촬영한 영상에서 차량, 가로수, 전봇대 등에 가려지는 폐색영역이 적어 더 높은 객체 탐지 성능을 가지는 것으로 분석하였다.

Ko et al.(2021)은 고속도로 내 반복적으로 정체가 발생하는 잇갈림 구간과 경사 구간에서의 차량 행태를 분석하였다. 특정 구간만을 촬영 또는 검지하는 교통 CCTV와 영상검지기의 공간적 제약을 해결하기 위해 드론으로 촬영한 영상을 활용하였다. 영상분석을 통해 개별차량 자료를 추출하고 이를 바탕으로 셀 단위의 속도, 밀도, 가속도 및 차로변경 횟수를 비교하여 고속도로 내 차량 행태 분석과 정체 구간의 원인 파악을 수행하였다.

3. 시사점

선행연구 검토 결과, 차량 행태 분석은 다양한 교통 조건과 기술적 접근을 통해 발전하고 있다. 그러나 나라마다 상이한 교통 특성을 반영해야 한다는 주장은 지속적으로 제기되고 있다. 영상검지기와 교통 CCTV 등을 활용한 영상분석 연구가 진행되고 있으며 최근 인공지능 기술이 발달함에 따라 객체 탐지 모델이 상용화되고 이를 접목한 영상분석 연구도 증가하고 있다. 하지만 기존 영상분석 연구에서는 영상을 촬영하는 각도와 거리에 따른 원근법과 차량이 겹쳐지는 구간의 영향으로 분석의 정확도와 범위가 떨어지는 한계점이 존재하였다. 또한, 특정 구간에만 설치되는 영상검지기와 교통 CCTV의 특성은 분석 대상지를 제한한다. 이러한 한계점들을 극복하기 위해 촬영 각도를 조절할 수 있으며 공간적 제약에 자유로운 드론으로 도로면을 수직으로 촬영한 영상을 분석에 활용하였다. 영상분석을 통해 차량행태모형의 주요 변수인 정지 시 차간거리와 가속도 및 감속도를 산출하여 도시부도로의 특성을 분석하고자 한다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 영상 촬영

본 연구에서는 드론으로 촬영한 도시부도로 영상을 이용하여 분석을 진행하였다. 객체 탐지율을 높이기 위해 선행연구를 참고하여 지면과 90도 각도를 이루는 수직 상공에서 영상을 촬영하였다(Lee et al., 2024). 실험적으로 검토한 결과, 링크가 끊어지지 않고 충분히 보이는 90m~100m 높이에서 촬영하였고 링크당 15분 가량 촬영하였다.

2. 영상 분석

1) 객체 탐지 알고리즘 선정 및 전처리

영상분석을 위해서는 차량을 탐지하고 정보를 저장해야 한다. 본 연구에서는 객체 탐지 알고리즘으로 YOLOv8을 선정하였다. YOLO(You Only Look Once)는 합성곱 신경망 구조로 이루어진 실시간 객체 탐지 모델로 단일 네트워크 구조를 가지고 있어 빠른 처리 속도로 대규모 데이터를 분석할 수 있다. YOLOv8은 YOLO 시리즈의 2023년 출시된 버전으로 이전 버전들에 비해 우수한 정확도를 제공한다. 따라서 본 연구에서는 빠른 처리 속도와 탐지 정확도를 고려하여 객체 탐지 알고리즘으로 YOLOv8을 사용하였다.

객체 탐지를 위해서는 객체 정보를 사전에 학습시킨 가중치가 필요하다. 일반적으로 COCO 데이터 셋을 학습시킨 가중치를 사용하지만, COCO 데이터셋은 도로면을 수직으로 촬영한 영상에 적용하기에는 정확도 측면에서 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 드론으로 촬영한 영상을 직접 라벨링하여 새로운 데이터셋을 만들고, 이를 바탕으로 YOLOv8의 가중치를 업데이트하여 모델의 정확도를 높였다. <Fig. 2>는 드론 촬영 영상과 라벨링 과정의 예시이다.



<Fig. 2> Video Preprocessing Process

2) 객체 추적 알고리즘 선정

객체 추적 알고리즘은 연속된 프레임에서 동일한 객체를 식별하는 알고리즘으로, 주행 중인 차량의 위치 정보를 연속적으로 탐지하고 저장하는 데 필수적이다. 대표적으로 칼만필터와 데이터 연관기법으로 사용되는 헝가리안 알고리즘을 결합한 SORT(Simple Online and Realtime Tracking), 심층신경망을 활용하여 프레임의 유사성을 측정하는 방식인 Siamese Network 기반 객체 추적 알고리즘 등이 있다.

Tracker 알고리즘은 객체의 중심점을 계산하고 비교해서 프레임 간 객체가 이동하더라도 동일한 객체로 인식할 수 있게 한다. YOLOv8과의 높은 호환성 및 간단한 처리 방식 덕분에 빠른 속도를 제공하여, 본 연구에서는 이 알고리즘을 객체 추적에 활용하였다.

3) 개별 차량 정보 추출

객체 탐지 알고리즘과 추적 알고리즘을 통해 차량 ID, 차량의 좌표, 주행 차로, 차량 길이, 시간 등을 추출하였다. 정보를 추출한 시간 단위는 영상의 프레임 단위인 60분의 1초이다. 정보별 자세한 설명은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Format of Data

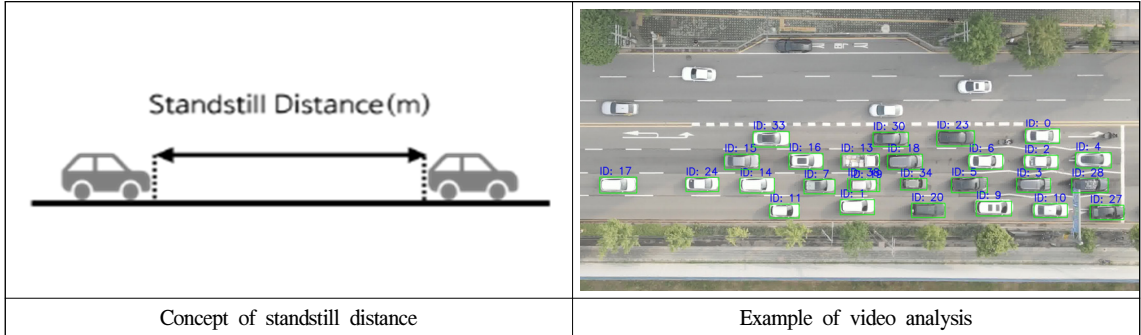
Data	Explanation	Unit
Frame	Video frames number	Number
Time	Time	Seconds
Vehicle ID	Vehicle identification number	Number(Pixel)
Coordinate_X	Vehicle Location(horizontal axis)	Number(Pixel)
Coordinate_Y	Vehicle Location(vertical axis)	Number
Lane	Driving Lane	Number
Vehicle Length	Vehicle Length	Number

3. 차량 행태 변수 산출

1) 정지 시 차간거리

정지 시 차간거리는 차량들이 신호의 영향을 받아 완전히 정지한 상태에서 동일 차로 내 선행차량의 뒷범

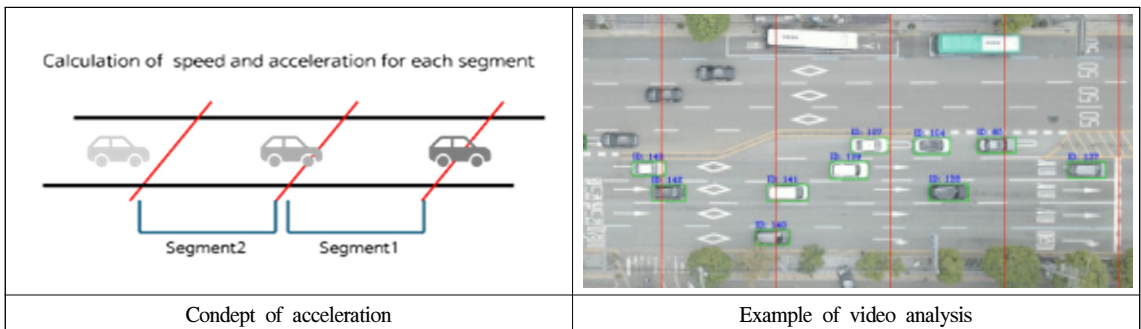
퍼와 후행차량의 앞범퍼 사이의 거리를 산출하였다. 두 지점의 좌표 차이에 픽셀당 거리를 곱하여 산출하였다. 픽셀당 거리는 노면 표시, 차선, 정지선 등을 기준선으로 잡고 기준선의 실제 거리와 영상 속 기준선의 좌표로 나누어 계산하였다.



<Fig. 3> Calculation Method for Standstill Distance

2) 가속도

가속도는 단위 시간당 차량의 속도 변화를 나타내는 값으로 속도 변화량을 시간으로 나누어 계산한다. 우선 속도를 측정하기 위해 <Fig. 4>과 같이 일정한 간격의 기준선을 설정하였다. 속도는 기준선의 간격을 이동거리로 산정하고 인접하는 기준선을 통과하는 시간의 차이로 나누어 산출하였다. 이후, 인접하는 기준선에서의 속도 변화량을 통과시간으로 나누어 가속도를 산출하였다.



<Fig. 4> Calculation Method for Acceleration

IV. 분석대상지

1. 대상지 선정 고려사항

본 연구에서는 분석대상지 선정을 위해 제한속도, 변수 산출 및 촬영 편의성 등을 고려하였다. 제한속도는 차량의 행태에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 제한속도 50km/h 구간과 30km/h 구간으로 구분하여 선정하였다. 변수 산출 및 촬영의 편의성을 높이기 위해 도로의 형태는 직선인 가까운 구간을 선정하였다. 직선 도

로는 차량 간 상호작용이 비교적 단순하게 나타나므로, 변수 산출이 용이하고 분석의 정확성을 높일 수 있다. 또한, 신호 대기의 영향을 최소화하기 위해 1주기 이내에 대기 행렬이 모두 해소되는 지점을 선정하였다.

2. 분석대상지 선정 및 대상지 특성

1) 대상지 A : 아주대 삼거리

대상지 A는 경기도 수원시 영통구에 위치한 도로이며 인근 행정 시설, 고속도로IC와의 연계성이 높아 교통량이 많은 지역이다. 접근로의 평균 링크길이는 약 140m이며 제한속도는 50km/h이다. 분석에 활용한 동⇔서 구간은 왕복 8차로 도로이고 북쪽 접근로의 경우 회전차량만 존재하기 때문에 분석에서 제외하였다.



<Fig. 5> Information of Analysis Site A

2) 대상지 B : 인도래 사거리

대상지 B는 경기도 수원시 영통구에 위치한 도로이다. 주요 상업지구 근처에 위치하고 도심 외곽, 대중교통 시설로 향하는 주요도로로서 교통량이 많은 지역이다. 접근로의 평균 링크길이는 약 300m이며 제한 속도는 50km/h이다. 접근로별로 왕복 6~9차로의 도로이고 남쪽 접근로의 경우 교차로 직전에 버스정류장의 영향으로 교통 혼잡이 심해 분석에서 제외하였다.



<Fig. 6> Information of Analysis Site B

3) 대상지 C : 에듀타운 사거리

대상지 C는 경기도 수원시 영통구에 위치한 도로이다. 인근에 학원가와 지하철역이 위치해 특정 시간대에

교통량이 많은 지역이다. 어린이 보호구역으로, 제한속도는 30km/h이며 과속방지턱이 설치된 도로이다. 접근로의 평균 링크길이는 약 100m이고 접근로별로 3~6차로 도로이다. 북서쪽 접근로의 경우 경사도가 심해 분석 편의성을 위해 제외하였다.



<Fig. 7> Information of Analysis Site C

V. 분석 결과

1. 정지 시 차간거리

대상지별 정지 시 차간거리에 대한 기초 통계를 <Table 2>에 제시하였다. 평균 차간거리는 각각 3.25m, 3.28m, 3.20m로 세 대상지에서 유사한 수준으로 나타났다. 교통 분야 연구에 널리 사용되는 미시교통시물레이션인 VISSIM에서 제시한 단속류 내 정지 시 차간거리는 2m로, 본연구에서 산출한 값과 큰 차이를 보인다.(PTV Group, 2024) 이는 국내 운전자의 주행 심리, 도로 기하 구조, 차종 분포 등의 영향으로 판단된다. 제한속도가 30km/h인 대상지 C에서 가장 낮은 차간거리가 관찰되었으며, 링크길이가 짧을수록 차간거리가 낮게 분포되었다. 표준 편차는 대상지 B에서 1.35로 가장 크게 나타났으며, 이는 대상지 B의 링크길이가 길기 때문에 차간거리의 변동성이 큰 것으로 분석된다.

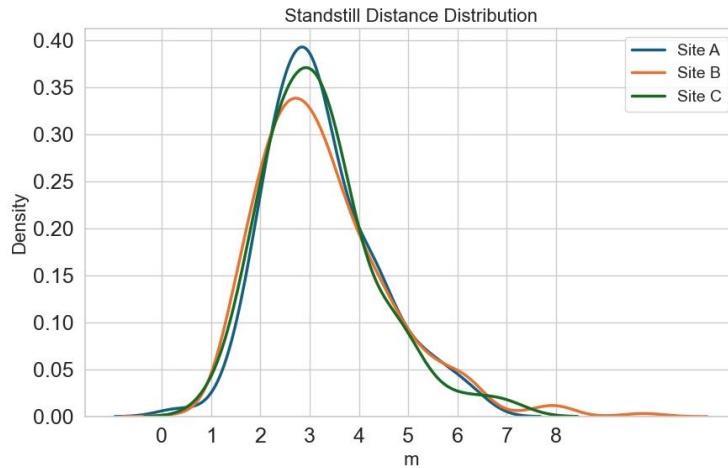
<Table 2> Statistics of Standstill Distance by Site

(unit : m)

Category	Site A	Site B	Site C
Average	3.25	3.28	3.20
Standard deviation	1.11	1.35	1.13
Max	6.39	9.94	6.89
Min	0.34	0.33	1.20
Median	3.07	3.06	3.13
Central 50% range	2.44~3.99	2.33~4.00	2.35~3.69

<Fig. 8>는 대상지별 정지 시 차간거리의 확률 밀도 분포를 나타낸다. 세 대상지 모두 3m 부근에서 최댓값을 가지며 1m에서 최댓값까지 구간에서 비슷한 분포를 보인다. 최댓값과 기울기가 가장 큰 대상지 A에서

차량들이 좁은 간격을 유지한다고 판단할 수 있다. 대상지 B는 가장 낮은 최댓값과 완만한 분포를 보여 차간거리가 비교적 넓게 분포하는 것으로 확인된다.



<Fig. 8> Standstill Distance Distribution by Site

2. 가속도

가속도의 경우 앞차를 추종할 때의 추종 가속도(Following), 출발 가속도(Acceleration), 정지 감속도(Deceleration)로 세분화하여 비교하였다. 감속도는 가속도와 크기 비교를 위해 절댓값을 사용하였다. <Table 3>는 각 지점별 가속도에 대한 기초 통계 자료를 나타내며, Following, Acc., Dec.,는 순서대로 추종 가속도, 출발 가속도, 정지 감속도를 의미한다.

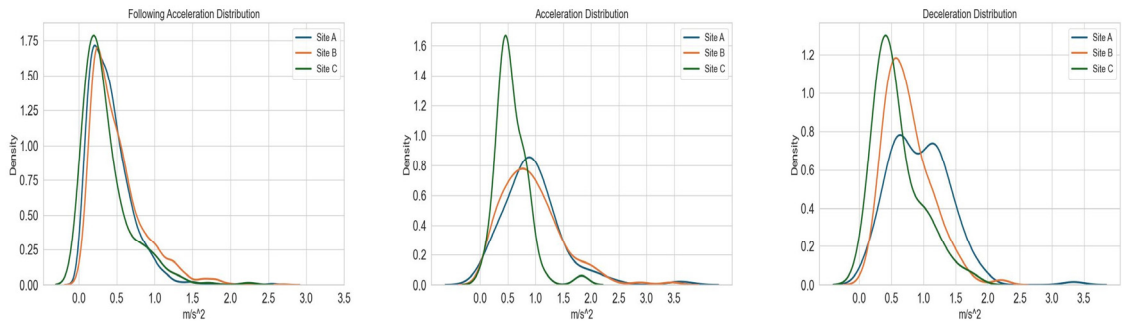
대상지 A의 출발 가속도, 정지 감속도의 평균은 순서대로 0.95%, 0.94%이다. 세 지점 중 가장 높은 값을 나타내고 있다. 대상지 B의 평균 추종 가속도는 0.50%로, 세 지점 중 가장 높은 값을 보였다. 이는 긴 링크 길이의 영향으로 가속할 수 있는 공간이 넓어 속도 변동성이 크기 때문이라 판단된다. 출발 가속도의 경우 0.93%으로, 대상지 A와 유사한 수준이다. 반면, 정지 감속도에서 0.76%으로 다소 낮은 값을 보였는데, 이는 대상지 A가 삼지교차로로 직진 차량의 비율이 높아 급정거 상황이 빈번하게 발생하기 때문이며, 대상지 A의 감속도 최댓값이 3.34%로 나타난 점에서 이를 확인할 수 있다. 또한, 신호 체계, 대기행렬길이, 용량 등의 요인도 이러한 결과에 영향을 미친 것으로 고려된다. 대상지 C는 모든 가속도 항목에서 가장 낮은 평균값을 보였다. 제한속도가 30km/h인 구간으로 최대 속도가 낮아지고, 이에 따라 가속 및 감속 행동의 강도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 해석된다.

<Fig. 9>은 대상지 별 추종 가속도, 출발 가속도, 정지 감속도의 확률 밀도 분포이다. 추종 가속도의 경우 세 지점에서 유사한 분포를 확인할 수 있다. 출발 가속도의 경우 대상지 A와 B에서 유사한 분포를 보이는 반면, 대상지 C에서 0.5% 부근에서 경사가 급격한 분포를 보이고 있다. 이는 대상지 C의 출발 가속도가 특정 구간에 밀집되어 있고 변동성이 낮다는 의미로 이해할 수 있으며, 실제로 표준편차가 0.28로 낮은 값을 가진다. 정지 감속도의 경우, 모든 대상지가 서로 다른 분포를 보인다. 특히 대상지 C는 비대칭적인 분포를 나타내며, 0.7 부근에서 대상지 B와 유사한 행태를 보이고 1.3 부근에서 앞서 언급한 급감속의 행태를 보인다고 할 수 있다.

<Table 3> Statistics of Acceleration by Site

(unit : m/s^2)

Category	Site A			Site B			Site C		
	Following	Acc.	Dec.	Following	Acc.	Dec.	Following	Acc.	Dec.
Average	0.41	0.95	0.94	0.50	0.93	0.76	0.36	0.57	0.60
Standard deviation	0.28	0.55	0.46	0.35	0.56	0.37	0.32	0.28	0.37
Max	2.56	3.61	3.34	2.70	3.45	2.26	2.24	1.83	1.71
Min	0.03	0.06	0.14	0.03	0.11	0.12	0.02	0.07	0.12
Median	0.35	0.87	0.89	0.40	0.87	0.69	0.26	0.49	0.49
Central 50% range	0.2~0.55	0.67~1.16	0.58~1.23	0.25~0.64	0.53~1.21	0.50~0.97	0.15~0.47	0.41~0.74	0.34~0.78



<Fig. 9> Acceleration Distribution by Site

VI. 결 론

본 연구에서는 영상분석을 통해 도시부도로에서의 차량 행태 특성을 분석하였다. 대상지 A, B, C의 각 지점에서 정지 시 차간거리, 차량의 출발 가속도, 정지 감속도, 그리고 추종 가속도를 비교하였다.

정지 시 차간거리 분석 결과 링크 길이에 따른 작은 차이가 있었으며, 링크 길이가 가장 긴 대상지 B에서 정지 시 차간거리 값이 가장 낮고 변동성이 큰 것을 확인하였다. 미시교통시물레이션 VISSIM에서 사용하는 단속류 내 정지 시 차간거리 파라미터 값과 비교한 결과, 1m 이상의 큰 차이가 있다는 것을 확인하였다.

대상지 A는 출발 가속도와 정지 감속도에서 가장 높은 평균 값을 나타내었으며, 이는 신호 대기 후 빠른 출발과 급정거 상황이 빈번함을 시사한다. 이러한 특징은 삼지 교차로의 구조적 특성과 직진 차량의 비율이 높은 교통 흐름의 특성에서 기인한 것으로 판단된다. 대상지 B는 긴 링크 길이의 특성으로 인해 추종 가속도에서 가장 높은 값을 보였으며, 이는 교차로 접근 시 차량 간격을 유지하면서 가속할 수 있는 충분한 공간이 확보되었기 때문이다. 대상지 C의 경우, 모든 분석 항목에서 가장 낮은 평균 값을 보였으며, 이는 제한속도가 낮고 링크 길이가 짧아 차량들의 가속과 감속이 비교적 안정적이고 일관되게 이루어졌기 때문으로 해석된다. 이러한 분석 결과는 각 대상지의 물리적 특성과 제한 속도가 차량 행태에 중요한 영향을 미친다는 점을 시사한다.

본 연구에서는 교통 CCTV, 영상검지기 등을 활용한 기존 영상분석 기반 연구의 한계점을 보완하기 위해 촬영 각도를 조절할 수 있으며, 공간적 제약에 자유로운 드론을 활용하였다. 또한, 국내 차량행태모형을 위한 기초 연구로, 정지 시 차간거리 및 가속도 데이터를 제시하였다. 하지만 대상지가 세 곳으로 한정되어 도

로 특성에 따른 일반화된 차량행태 특성을 도출하는 데에는 표본이 부족하다는 한계점이 있었다. 향후 대상 지 선정 기준을 세분화하고 분석 범위를 확대하여 세부적인 도로 유형에 따른 비교가 필요하다. 또한, 본 연구에서는 버스, 트럭 등 중차량에 대한 영상분석 학습데이터 수의 한계로 승용차만을 고려하여 분석을 진행하였지만 영상 데이터 추가 확보를 통해 승용차와 차량행태가 상이한 중차량에 대한 추가 분석이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021C28S01000, 자율주행 혼재 시 도로교통 통합관제시스템 및 운영기술 개발)

REFERENCES

- Ahmed, H. U., Huang, Y. and Lu, P.(2021), “A review of car-following models and modeling tools for human and autonomous-ready driving behaviors in micro-simulation”, *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp.314-335.
- Gil, J. W., Hwang, J. S., Kwon, J. K. and Lee, C. K.(2024), “Vehicle acceleration and vehicle spacing calculation method used YOLO”, *Journal of Korean Society of Intelligent Transport Systems*, vol. 23, no. 1, pp.82-96.
- Gipps, P. G.(1981), “A behavioural car-following model for computer simulation”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 15, no. 2, pp.105-111.
- Houchin, A., Dong, J., Hawkins, N. and Knickerbocker, S.(2015), “Measurement and analysis of heterogenous vehicle following behavior on urban freeways: Time Headways and Standstill Distances”, *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Gran Canaria, Spain, pp.888-893.
- Jung, H. S., Lee, Y. J. and Kim, T. W.(2008), “A study on parameter pattern of right turn vehicle by VISSIM”, *Proceeding of the KOR-KST Conference*, vol. 58, pp.976-982.
- Kim, E. Y., Lee, C. W. and Kim, Y. J.(2006), “Parameter Calibration of car following models using DGPS DATA”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 3, pp.17-27.
- Kim, K. H., Jang, M. S., Kim, J. T. and Kim, E. C.(2004), “Development of cut-in lane changing model based on observed driver’s behavior in uninterrupted traffic flow”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 6, pp.145-157.
- Ko, E. J., Kim, S. H. and Kim, H. J.(2021), “Microscopic traffic analysis of freeway based on vehicle trajectory data using drone images”, *Journal of Korean Society of Intelligent Transport Systems*, vol. 20, no. 7, pp.66-83.
- Lee, J. H.(2022), “Acceleration and deceleration rates in interrupted flow based on empirical digital tachograph data”, *Sustainability*, vol. 14, no. 18, pp.11165.
- Lee, T. W., Park, S. J., Oh, J. C. and Kang, D. H.(2024), “Crossroads traffic data analysis using drone-based deep learning”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, vol. 24, no.

1, pp.73-82.

PTV Group, https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISSIM_2023_ENG/Content/0_TitelCopyright/Index.htm, 2024.11.10.

Shin, S. M., Park, S. H. and Kim, J. H.(2023), “Driving behavior optimization using genetic algorithm and analysis of traffic safetyfor non-autonomous vehicles by autonomous vehicle penetration rate”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, vol. 22, no. 5, pp.30-42.

Treiber, M. and Kesting, A.(2009), “Modeling lane-changing decisions with MOBIL”, *Traffic and Granular Flow'07*, Springer Berlin Heidelberg, pp.211-211.

Zhu, M., Wang, X. and Trako, A.(2018), “Modeling car-following behavior on urban expressways in Shanghai: A naturalistic driving study”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 93, pp.425-445.