

드론 영상기반 교통안전시설 효과분석 방법론 연구

A Study on the Methodology for Analyzing the Effectiveness of Traffic Safety Facilities Using Drone Images

박 용 우* · 김 양 중** · 박 신 형***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 연구교수

** 공저자 : 경기대학교 일반대학원 도시·교통공학과 박사과정

*** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 부교수

Yong Woo Park* · Yang Jung Kim** · Shin Hyoung Park***

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul, Research Professor

** Dept. of Urban & Transportation Engineering, Kyonggi University, Ph.D. cadidate

*** Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul, Associate Professor

† Corresponding author : Shin Hyoung Park, shinhpark@uos.ac.kr

Vol. 22 No.5(2023)
October, 2023
pp.74~91pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.5.74>Received 21 August 2023
Revised 12 September 2023
Accepted 26 September 2023© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

교통안전시설의 설치효과를 분석한 여러 연구사례에서는 주로 설치시점을 기준으로 전후의 교통사고자료나 지점검지기에서 수집되는 속도자료를 통해 사고건수, 사고심각도, 속도 등의 변화를 비교하는 방법을 활용하고 있다. 하지만 교통사고 자료는 설치 시점 기준 최소 전후 1년 이상 수집해야 하므로 소요시간이 길고, 자료 수집기간동안 분석 대상 시설 외에 다른 교통안전시설이 추가되는 등 도로환경이 변화하여 사고감소 효과가 분석 대상 시설로 인한 효과라고 판단하기 어려울 가능성이 있다. 또한 속도자료는 지점검지기 위치가 분석이 필요한 지점과 다른 경우가 많고 현장조사시 교통사고 위험에 노출되는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 드론으로 영상을 촬영하고 프로그램을 이용해 자료를 추출한 다음, 속도완화구간 도입 전과 도입 후의 차량 주행속도를 비교하여 실효성을 파악하는 일련의 방법론을 정립하여 사례연구를 수행하였다. 드론을 활용한 차량의 속도 조사는 고속도로에서 이루어지는 관측조사에 비해 훨씬 안전하게 조사할 수 있고, 차량의 주행궤적을 따라 속도 변화를 추적할 수 있는 장점이 있어 향후 다양한 교통조사에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 드론, 개별차량 주행행태, 전·후 분석, 교통안전시설

ABSTRACT

Several that analyzed the effectiveness of traffic safety facilities a method of comparing changes in the number of accidents, accident severity, speed through traffic accident data before and after installation or speed data collected from vehicle detection systems (VDS). , when traffic accident data is used, it takes a long time to collect because must be collected for at least one year before and after installation. , the road environment may change during this period, such as the addition of other traffic safety facilities in addition to the facilities to be analyzed. , the location of the VDSs for speed data is often different from the location where analysis is required, and there is a problem in that the investigators are exposed to the risk of traffic accident during on-site investigation. Therefore, this study a case study by establishing a methodology to determine effectiveness video images with a drone, extracting data using a program, and comparing vehicle driving speeds before and after speed reduction facilities. Vehicle speed surveys using drones are much safer than observational surveys conducted on highways and have the advantage of tracking speed changes along the vehicle, it is expected that they will be used for various traffic surveys in the future.

Key words : Drone, Individual driving behavior, Before and after studies, Traffic safety facilities

I. 서론

1. 개요

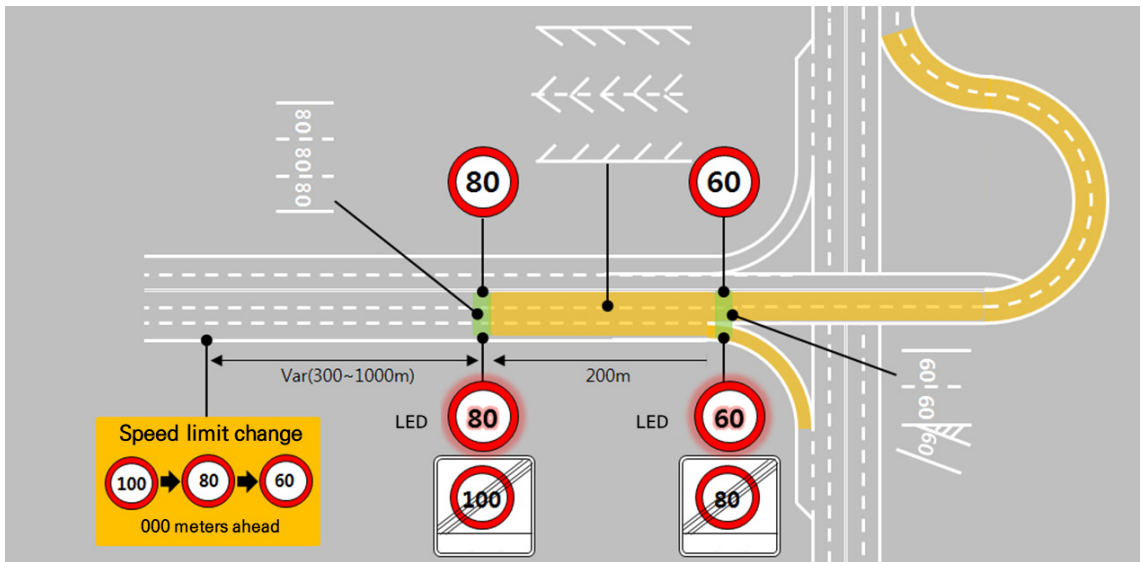
교통안전시설의 설치 효과를 분석하는 것은 시설의 설치 타당성을 입증하고 효과분석 결과를 기반으로 최적의 설치 지점을 선정할 수 있어 중요하다. 교통안전시설의 설치 효과를 분석하기 위한 일반적인 방법은 교통사고 기록 자료를 통해 교통안전시설 설치 전·후의 사고 건수를 비교하는 방법이 활용되고 있으며, 과속 방지턱과 같은 차량의 주행속도와 관련된 교통안전시설은 설치 전·후의 주행속도 차이를 비교하는 방법이 활용된다. 하지만 교통안전시설 효과분석에 있어 사고 건수를 활용하는 것은 자료 수집을 위한 기일이 오래 소요되며, 자료 수집 기간 동안 분석 대상 시설 외에 다른 교통안전시설이 설치되는 등 도로환경이 변화하여 사고감소 효과가 분석 대상 시설로 인한 효과라고 판단하기 어려울 가능성이 있다. 사고 자료가 아닌 속도자료를 활용하는 방법은 사고 자료 기반의 효과분석 방법보다 단시간 내 교통안전시설 효과 여부를 판단할 수 있다는 장점이 있지만 분석을 위한 속도자료를 수집함에 있어서 어려운 점이 있다. 검지기가 설치되지 않은 지점에 대해서는 분석을 위한 속도자료를 수집할 수 없으며, 현장 조사를 통한 자료 수집은 조사 시 교통사고 위험에 노출되게 된다. 그러므로 교통안전시설의 효과를 분석하기 위해서는 신뢰성 높은 자료를 안전하게 수집하는 방안이 요구된다.

최근 교통 분야에서는 기존 교통 인프라를 통한 자료 수집의 한계를 보완하기 위해 드론의 활용 빈도가 높아지고 있다. 드론을 통한 교통정보 수집 방법은 기존 검지기를 통해 수집할 수 없는 구간의 교통정보를 수집할 수 있으며 수집된 자료를 기반으로 다양한 미시적 교통분석이 가능하다(Kim et al., 2017a; Seo and Lee, 2018; Ko et al., 2021). 드론 관련 선행연구와 같이 차량의 주행속도와 관련된 교통안전시설 효과분석 시 드론을 활용하게 되면, 효과분석에 필요한 속도자료 수집의 주요 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 장소에 구애받지 않고 효과분석이 가능한 장점이 있어 교통안전시설 효과분석 시 여러 이점이 존재한다. 이러한 측면에서 본 연구는 기존 교통안전시설 효과분석의 주요 단점인 교통정보 수집의 문제점을 해결하기 위해 드론 기술의 활용 가능성을 검토하고자 한다. 기존 검지기, 현장조사를 통해 수집되는 정보가 아닌 드론 영상을 통해 수집한 자료 기반의 교통안전시설 효과분석 가능성을 검토하고 분석 결과를 종합하여 향후 드론 기반의 교통안전시설 효과분석을 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구를 위한 효과분석 대상 교통안전시설은 차량의 주행속도 안전과 관련된 고속도로 종점부 속도완화구간으로 선정하였다. 고속도로의 종점부나 분기점과 같이 연계도로 간 제한속도 차이가 큰 구간은 차량의 급감속에 따른 후행 차량과의 속도 차이로 인해 사고 발생 위험이 크다. 한국의 ‘도로의 구조·시설에 관한 규칙’에서는 설계속도가 다른 인접 구간의 설계속도의 차이를 20km/h 이내가 되도록 규정하고 있으나 2018년 기준 연결도로와의 제한속도 차이가 20km/h를 초과하는 고속도로의 종점부는 32개소로 파악되고 있다. 일반적으로 연결로는 곡선반경이 짧은 커브로 형성되어 있으므로 제한속도가 급격히 감소할 경우, 과속으로 인한 사고가 발생할 우려가 상당히 크다, 고속도로 종점부에는 감속을 유도하기 위한 교통안전시설들이 설치되어 있지만 일관성이 없고 운전자들의 눈에 잘 보이지 않기 때문에 단계적으로 차량의 속도를 감속할 수 있는 추가적인 대책이 필요하다. 이에, 고속도로 관리기관인 한국도로공사에서는 고속도로 종점부의 안전성 향상을 위해 단계적 속도 감소를 위한 속도완화구간을 도입하였다. 속도완화구간에는 <Fig. 1>과 같

이 차량의 원활한 감속 유도를 위해 인지도가 높고 일관성이 있는 안내시설을 설치하였으며, 제한속도 변경 표지판과 감속 유도차선, 제한속도 표지판으로 구성되어 있다. 속도완화구간의 효과를 분석하기 위해서는 설치 전·후 주행차량의 속도 변화를 확인할 필요가 있다. 하지만, 속도완화구간이 도입된 고속도로 종점부는 도로의 끝 지점이므로 속도자료 수집이 필요한 지점에 차량검지기가 설치되어 있지 않을 가능성이 있고 현장에 사람이 직접 차량의 속도를 측정할 경우 고속도로 주행하는 차량으로 인한 안전 위험이 존재한다. 속도완화구간의 목적은 주행 차량의 감속 유도이므로 효과분석을 위해서는 차량의 속도자료가 필수적이다. 드론을 통해 교통정보를 수집할 경우 기존 속도 자료 수집 방법의 문제점을 해결할 수 있으므로 분석 대상 시설로 적합하다고 판단하였다.



<Fig. 1> Example of Speed Reduction Facilities

본 연구의 공간적 범위는 속도완화구간이 도입된 남해고속도로 제2지선의 냉정 JCT와 호남고속도로 지선의 회덕 JCT이며, 시간적 범위는 속도완화구간이 도입된 2018년 하반기이다. 연구를 위한 차량 주행속도 데이터는 차량검지기 및 현장조사를 통해 수집하는 방법 대신 드론으로 고속도로 종점부를 촬영하고 한국도로공사의 드론 영상 분석 프로그램을 활용하여 수집하였다. 연구를 위해서는 속도완화구간 도입 이전과 이후의 자료가 필요하기 때문에 이에 맞추어 드론 촬영을 2번에 나누어 진행하였다. 촬영된 영상을 드론 영상 분석 프로그램으로 속도완화구간 도입 이전과 이후의 차량 평균 주행속도 및 가속도를 추출하고 이를 비교하여 효과분석을 시행하였고 그 결과를 바탕으로 드론을 통한 교통안전시설 효과분석 가능성을 검토하였다.

II. 문헌고찰

1. 교통안전시설 효과분석

교통안전시설물의 효과분석을 위해서는 주로 시설물의 설치시점 전후의 사고 자료를 비교하는 사전·사후

분석이 사용된다. 사전·사후 분석의 대표적인 방법으로 비교그룹방법(Comparison Group Method)과 경험적 베이즈 방법(Empirical Bayes Method)이 있다. Griffith(1999)는 비교그룹방법을 통해 고속도로에 설치된 노면요철포장의 효과를 분석하였으며 도로이탈사고 감소에 효과가 있다고 제시하였다. Lee et al.(2007)은 국내 고속도로에 설치된 노면요철포장에 대한 효과를 비교그룹방법으로 분석하였고, 길어깨에 도로요철포장을 설치한 도로는 설치하지 않는 도로에 비해 차도이탈사고가 연간 2.43건 정도 감소한 것으로 나타나 교통사고 감소에 기여한 것으로 판단하였다. Yun et al.(2011) 역시, 비교그룹방법을 이용하여 무인구간속도위반단속시스템의 설치효과를 분석하였고 무인구간속도위반단속시스템을 설치하지 않았을 경우에 비해 49.97% 사고감소효과가 있다고 제시하였으며, Kwon et al.(2012)은 지그재그 노면표시를 설치할 경우 6차로 미만의 도로에서는 사고감소효과가 있으나 6차로 이상의 도로에서는 역효과가 발생한다고 분석하였다. 하지만 비교그룹방법은 실제 도로 특성이 유사한 비교그룹(Comparison Group)을 선정하기에는 현실적으로 어려움이 있다는 단점이 있다. 이에 Hauer(1997)는 예측값과 관측값을 비교하여 효과를 평가하는 방법인 경험적 베이즈 방법을 제시하였다. 경험적 베이즈 방법은 도로 환경 변화를 반영할 수 있고, 사고건수의 평균으로 회귀 문제(Regression to the Mean Bias)를 해결할 수 있으므로 비교그룹방법과 함께 교통안전시설물의 효과분석을 위한 방법으로 주로 활용된다. 경험적 베이즈 방법을 적용한 연구로는 도시부 고속도로의 갓길 사용 효과를 분석한 연구(Bauer et al., 2004), 고속도로에 설치된 노면요철포장의 효과를 분석한 연구(Persaud et al., 2004), 4차로 국도에 설치된 중앙분리대의 사고감소 효과를 분석한 연구(Park et al., 2006)가 있으며, Lee et al.(2008)은 사고심각도를 기반으로 노면요철포장이 14~28%의 사고감소 효과가 있음을 밝혔고, Kim and Park(2009)은 무인신호위반단속장비의 사고감소효과를 분석하였다. Mun(2012)은 영동고속도로에 시행된 도로교통 안전진단 사업의 시행 효과를 경험적 베이즈 방법으로 분석하여 개선효과가 있는 구간과 개선효과가 미미한 구간을 밝혀내었다.

기존 교통안전시설의 효과분석에 관한 연구는 교통안전시설의 설치 효과를 직관적으로 확인할 수 있는 사고 건수를 비교하는 방법을 주로 활용하고 있다. 하지만 교통안전시설 효과분석에 있어 사고 건수를 활용할 경우 자료 수집을 위한 기일이 오래 소요되며, 자료 수집 기간동안 변화하는 도로환경으로 인해 분석 결과의 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 속도자료 기반의 교통안전시설 효과분석이 시행된다.

2. 속도자료를 활용한 교통안전시설 효과분석

속도와 관련된 교통안전시설에 대해서는 사고 자료 대신 시설 설치 전·후 차량의 주행속도를 비교·분석하는 방법이 존재한다. 고속도로의 경우 고속도로 일정 지점에 설치된 차량검지기를 통해 차량의 속도를 수집할 수 있으며, 차량검지기가 설치되어 있지 않은 지점에 대해서는 실제 현장에서 측정하여 자료를 수집하여 분석에 활용한다. Park et al.(2008)은 고속도로에 설치된 과속단속카메라의 효과를 파악하기 위하여 시스템 설치 전·후 교통류 특성과 관련된 자료를 차량검지기를 통해 수집하여 분석에 활용하였다. 구간과속단속시스템 설치 전·후의 주행속도 비교를 통해 구간과속단속카메라 설치로 인하여 지점평균속도, 구간평균속도, 속도분산 등 모두 감소하는 추세가 있다고 분석하였다. Shim et al.(2015) 역시 국내 고속도로에 설치된 구간과속단속카메라의 효과분석을 위해 구간과속단속이 시행되는 지점 부근의 차량검지기로부터 차량 속도자료를 수집하고 이를 구간과속단속이 시행되지 않는 대조구간과 비교하여 구간과속단속구간 내에서는 차량 간 속도 편차가 줄어들어 속도 분산이 작아지고 평균 속도 또한 줄어든다는 것을 밝혀내었다. 한편 차량검지기를 통해 속도자료를 수집하지 못하는 구간에 대해서는 차량의 속도를 직접 측정하여 자료를 수집할 수 있다. Lee et al.(2013)은 미시령동서관통도로를 대상 구간속도위반 단속 장비의 설치 효과를 분석하기 위하여 분석

대상 구간에 비디오카메라를 설치하고 영상을 분석하여 속도자료를 수집하였다. Kang et al.(2016) 역시 속도 저감형 시설물이 운전자의 감속에 영향을 미치는지에 대한 분석을 위해 비디오카메라를 통해 속도자료를 수집하고 점멸신호 및 횡단보도, 단속카메라, 단속예고표지는 차량 속도 감소에 영향이 있다고 분석하였다.

속도와 관련된 교통안전시설의 경우 기존 연구와 같이 설치 전·후의 속도 비교를 통해 설치 효과를 파악할 수 있다. 본 연구의 효과분석 대상 역시 차량의 속도 감소와 관련이 있으므로 설치 전·후의 주행속도 비교를 통해 효과를 분석할 수 있다. 하지만 본 연구의 분석 대상지에는 차량검지기가 설치되어 있지 않아 자료를 수집할 수 없고 현장 조사 시 고속도로 주행하는 차량으로 인한 안전 위험 때문에 이를 대체할 수 있는 자료 수집 방법 도입이 필요하다.

3. 교통 분야에서의 드론 활용

최근 교통 분야에서는 기존 교통 인프라를 통한 자료 수집의 한계를 보완하기 위해 드론의 활용 빈도가 높아지고 있다. Ryu et al.(2016)은 교통사고 현장조사를 위한 드론 활용 방안을 제안하였으며, 드론을 활용하면 고공에서 사진을 촬영할 수 있으므로 현장 측량 시 정확성이 높고 효과적이라 언급하였다. Oh et al.(2017)은 고속도로의 공사구간 차로변경행태의 특성을 파악하기 위한 자료 수집을 위해 드론을 활용하여 영상을 촬영하였다. 또한, Kim et al.(2017a)은 드론 촬영 영상으로 속도와 같이 측정이 어려운 개별 차량의 주행 행태 자료를 추출할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 이를 활용하여 Kim et al.(2017b)은 고속도로 구간분석을 통해 기존 차량검지기에서 파악할 수 없었던 고속도로 정체부의 정체발생 원인을 파악하였고 기존 검지 체계의 보완적 시스템으로 활용될 수 있다고 제시하였다. Lee et al.(2018) 역시 드론 영상 분석 프로그램을 통해 고속도로 서해대교의 교통정체 원인 분석을 시행하였다. Seo and Lee(2018)는 교통정보 수집에 있어 드론 활용은 단시간에 경제적인 교통정보수집이 가능하며, 매우 간단하고 직관적인 방법으로 연속류 구간의 서비스수준 분석이 가능하다고 언급하였다.

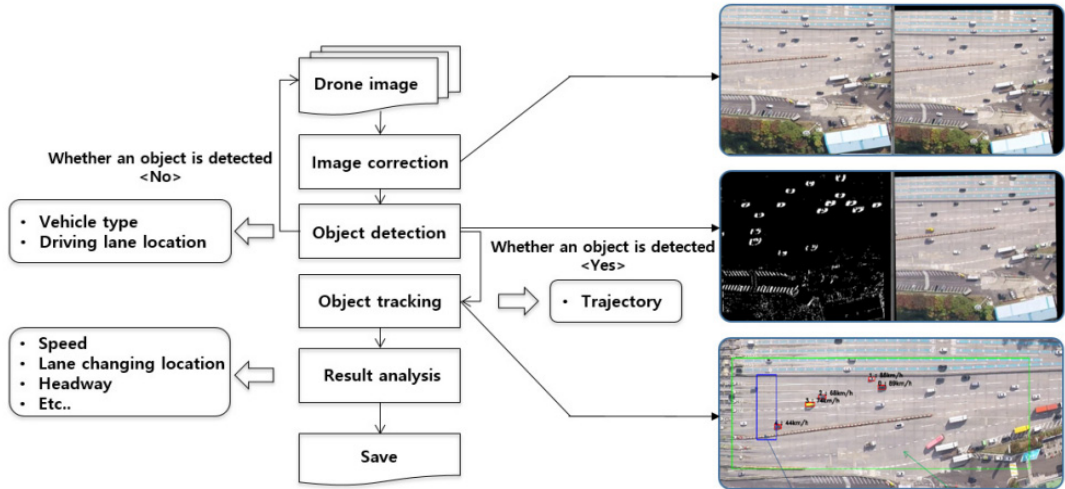
이처럼 교통 관련 자료 수집 시 드론을 활용하게 되면 기존 교통 체계에서는 한계점으로 언급되었던 자료 수집의 어려움을 해결할 수 있으므로 교통안전시설 효과분석 시 드론 기술을 활용해볼 수 있다.

Ⅲ. 드론 영상 기반 교통정보 수집

1. 드론 영상 분석 프로그램

드론 영상 분석 프로그램은 한국도로공사에서 개발한 프로그램으로 드론 영상처리를 통해 드론의 항공영상으로부터 개별차량의 주행행태 관련 자료를 추출하고, 이를 기반으로 교통소통, 교통안전 등의 분야에서 미시적 교통분석이 가능하게 하는 영상분석 및 미시적 교통 분석 프로그램이다(Kim et al., 2017a). 해당 프로그램은 드론 영상으로부터 입력된 드론 영상의 시·공간적 넓이를 계산하고, 영상 보정 후 차량을 객체로 분류하여 검출한다. 그리고 검출된 객체 추적을 통해 분석 범위 내에서 일정 시간 단위로 개별차량의 교통정보가 추출되며, 프로그램의 구현 알고리즘은 <Fig. 2>와 같다(Ko et al., 2021). Kim et al.(2017a), Kim et al.(2020), Ko et al.(2021), Lee and Park(2021)은 드론 영상을 기반으로 해당 프로그램을 활용하여 교통정보 추출하고 고속도로의 미시적 교통운영 상태를 분석한 바 있으므로 고속도로의 교통분석에 필요한 정보 추출을 위해 프로그램을 활용하는 것은 실용성이 있다고 판단된다.

프로그램을 통한 개별차량의 주행행태 자료는 차량 객체를 인식하여 추적하는 <Fig. 3>의 과정을 거쳐 <Table 1>과 같이 19가지 항목으로 구분하여 추출할 수 있다. 이때, 개별차량의 주행 관련 정보는 15프레임 (frame) 단위로 집계된다. 개별차량의 검지 및 교통정보 생성에 관한 자세한 설명은 Kim et al.(2017a)에 제시되어있다. 본 연구에서는 냉정 JCT와 회덕 JCT에서 촬영된 드론 영상의 개별차량 주행 정보를 추출하는 용도로 본 프로그램을 활용하였다.



<Fig. 2> The algorithm of drone image analysis program(Ko et al., 2021)



<Fig. 3> Drone image analysis program

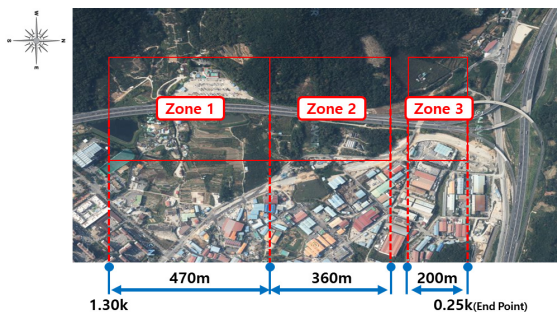
<Table 1> Output of Drone image analysis program

Number	Category	Unit	Number	Category	Unit
1	Vehicle ID	Number	11	Vehicle Acceleration	m/sec ²
2	Frame ID	Frame	12	Lane Identification	Text
3	Total Frames	Frame	13	Preceding Vehicle	Number
4	Global Time	Milli-sec	14	Following Vehicle	Number
5	Local X	m	15	Space Headway	m
6	Local Y	m	16	Time Headway	Seconds
7	Vehicle Length	m	17	Bad Object	Number
8	Vehicle Width	m	18	Special Car	Number
9	Vehicle Class	Number	19	Lane Class	Text
10	Vehicle Velocity	Km/h	-	-	-

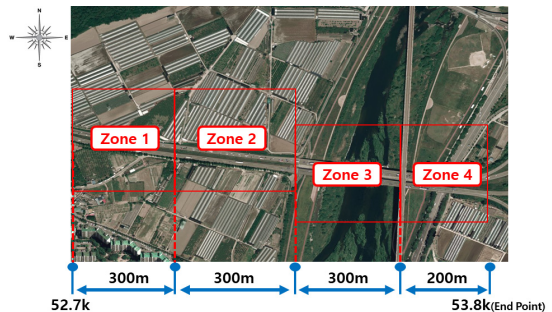
2. 드론 영상 촬영

드론 영상 촬영 시 고도 150~300m 이상의 높이에서 촬영할 수 없는 제약 조건으로 인해서 영상 촬영의 범위가 300~500m로 제한되었다. 고속도로 종점부 지점 전방 1km부터 종점부까지의 속도를 관찰하기 위해서 영상 촬영 범위를 고려해 3~4구간으로 나누어 영상을 촬영하였다. 냉정 JCT의 경우 종점부 이점인 0.25k부터 1.3k까지 3개의 구간(Zone 1~3)으로 나누어 촬영하였으며, 구간별 촬영 범위는 <Fig. 4>와 같다. 회덕 JCT에서는 종점부 이점인 53.8k부터 52.7k까지 4개의 구간(Zone 1~4)으로 나누어 촬영하였으며, 구간별 촬영 범위는 <Fig. 5>와 같다. 드론은 배터리 가동 시간이 약 30분 정도로 짧아 오랜 시간 동안 촬영하지 못하므로 이착륙 및 촬영 위치에 고정하는 시간을 제외하고 구간별로 10분씩 촬영하였다.

영상은 속도완화구간 도입 이전에 촬영하여 차량의 사전 주행행태를 파악하는 데에 활용하였고 도입 이후에 같은 방법으로 한 번 더 촬영하여 주행행태 변화를 파악하는 데 활용하였다. 속도의 경우 요일 및 시간대에 따라 크게 변화하므로 속도완화구간 도입 전에 촬영한 시간대와 비슷한 시간대에 촬영하려 했으나 날씨 및 여러 제약 조건으로 인하여 완전히 같은 시간대에 촬영하지는 못하였다. 드론 영상 촬영 일자 및 시간에 관한 자세한 내용은 <Table 2>에 나타나 있다.



<Fig. 4> Drone filming at Naengjeong JCT



<Fig. 5> Drone filming at Hoedeok JCT

<Table 2> Drone filming date

Category		Filming date	Zone	Filming time
Naengjeong JCT	Before installation	2018.09.18.(Tue.)	Zone 1	15:40
			Zone 2	14:40
			Zone 3	13:50
	After installation	2018.12.26.(Wed.)	Zone 1	16:20
			Zone 2	15:30
			Zone 3	14:50
Hoedeok JCT	Before installation	2018.10.17.(Wed.)	Zone 1	12:40
			Zone 2	13:20
			Zone 3	14:10
			Zone 4	14:50
	After installation	2018.12.27.(Thu.)	Zone 1	9:15
			Zone 2	9:55
			Zone 3	10:40
			Zone 4	11:10

IV. 고속도로 종점부 속도완화구간 효과분석

1. 속도완화구간 설치 전·후 속도자료 수집

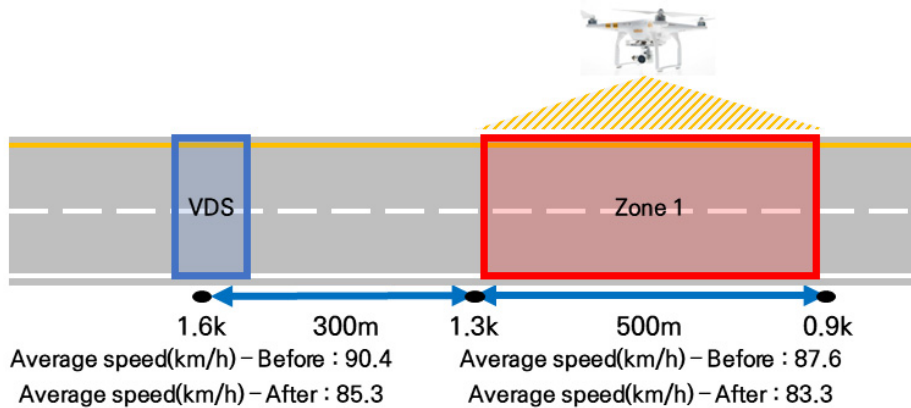
촬영된 드론 영상으로 드론 영상 분석 프로그램을 통해 Zone 별 개별차량의 평균 주행속도 및 가속도를 산출하였다. 본 연구를 위해 촬영된 영상의 프레임은 30fps이므로 개별차량의 속도 및 가속도는 0.5초 단위로 집계된다. 영상 촬영 시간 동안 집계된 개별차량의 평균 속도 및 가속도를 취합하여 Zone의 평균 통행속도 및 가속도를 산출하였다. 개별차량의 주행 정보는 프로그램으로 각 차량을 최초 식별한 이후 계속 추적하여야 정확한 자료를 수집할 수 있다. 또한 최초 식별 이후 데이터 계산을 위해 2~3초가 소요되므로 해당 시간 동안에는 자료가 비정상적으로 수집된다. 그러므로 본 연구에서는 최소 3초 이상 검지된 차량의 자료만 활용하였으며, 비정상적으로 수집된 자료를 제외하기 위하여 측정된 주행속도의 값이 40~150km/h에 속한 값만 활용하였다.

1) 냉정 JCT

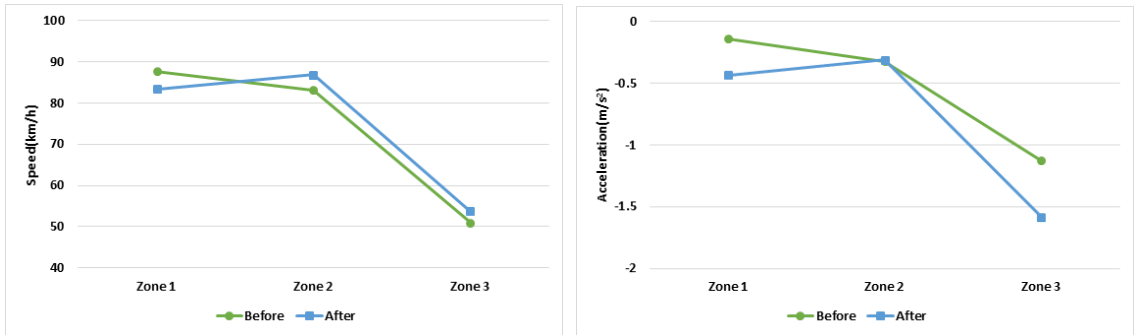
냉정 JCT의 속도완화구간 도입 전 Zone 별 차량 검지 대수는 순서대로 289대, 262대, 107대가 검지되었다. Zone 별로 차량 검지 대수가 다른 이유는 드론 영상 촬영 시 그림자가 있으면 검지가 잘되지 않고, 바람으로 인해 드론이 흔들리면 추적에 실패하기 때문이다. 검지된 차량들의 Zone 별 평균 속도와 가속도를 산출한 결과, 속도완화구간 도입 이전의 차량 주행속도는 종점부 1km 전방에서 평균 87km/h의 속도로 주행하다가 종점부인 Zone 3에서는 약 51km/h의 속도로 감소하였다.

속도완화구간 도입 이후의 Zone 별 속도 역시 도입 이전과 비슷하게 종점부 1km 전방에서는 평균 83km/h의 속도로 주행하다가 종점부인 Zone 3에서는 약 54km/h의 속도로 감소하였다. 산출된 속도로 비교 시 속도완화구간 도입 이후 종점부인 Zone 3에서의 속도는 도입 이전과 비교해 속도가 증가한 것으로 파악되었으

며, 가속도의 값은 시설 도입 이후 종점부에서 더 낮은 것으로 나타났다. 드론 영상 분석 프로그램으로 추출된 속도자료의 검증용 위하여 <Fig. 6>과 같이 고속도로 종점부와 가장 인접한 Zone 1 진입 300m 이전에 설치된 VDS 속도자료와 비교하였다. VDS 자료는 30초 단위로 수집된 속도 및 교통량 자료를 활용하였으며, Zone 1의 영상을 촬영한 시점의 VDS 기준 평균 통행속도는 설치 전·후 각각 90.4km/h, 85.3km/h로 집계되었다. 프로그램을 통해 추출된 87.63km, 83.3km/h와 비교를 위해 t-test를 시행하였고 그 결과, p-value 값이 각각 0.56, 0.33으로 평균 간 차이가 없는 것으로 나타나 드론 영상 분석 프로그램의 자료는 신뢰성이 있다고 판단된다. 냉정 JCT의 속도완화구간 도입 전과 후의 속도 및 가속도에 관한 자세한 내용은 <Table 3>과 <Fig. 7>에 나타나 있다.



<Fig. 6> Verification of speed data



<Fig. 7> Changes in speed and acceleration at Naengjeong JCT

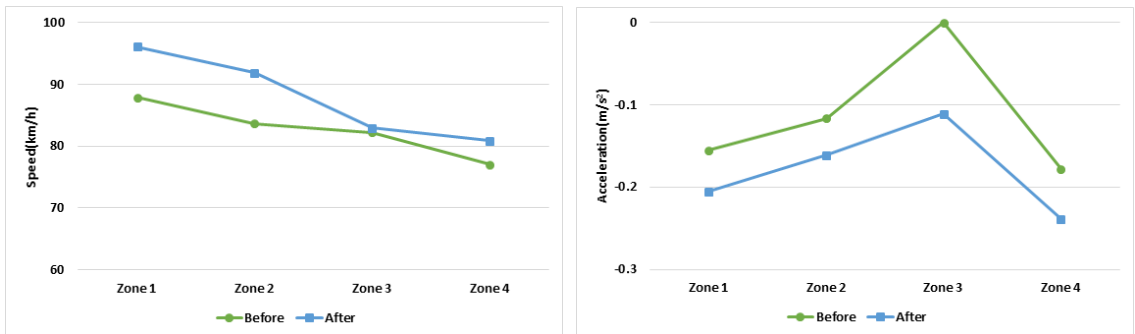
<Table 3> Changes in speed and acceleration at Naengjeong JCT

Category		Zone		
		Zone 1	Zone 2	Zone 3
Before installation	Number of vehicle(veh/10min)	339	302	194
	Number of detected vehicle(veh/10min)	289(85.3%)	262(86.8%)	107(55.2%)
	Average speed(km/h)	87.63	83.06	50.95
	85th percentile speed(km/h)	103.6	94.49	54.19

Category		Zone		
		Zone 1	Zone 2	Zone 3
	Average acceleration(m/s ²)	-0.25	-0.58	-2.03
	85th percentile acceleration(m/s ²)	0.08	-0.16	-1.54
After installation	Number of vehicle(veh/10min)	310	297	132
	Number of detected vehicle(veh/10min)	220(71.0%)	222(74.7%)	96(72.7%)
	Average speed(km/h)	83.3	86.83	53.70
	85th percentile speed(km/h)	98.79	98.84	58.11
	Average acceleration(m/s ²)	-0.78	-0.56	-2.85
	85th percentile acceleration(m/s ²)	-0.03	-0.09	-2.05

2) 회덕 JCT

회덕 JCT 역시 같은 방법으로 속도완화구간 도입 이전과 이후의 Zone 별 속도 및 가속도를 산출하였으며, 자세한 내용은 <Table 4>와 <Fig. 8>에 나타나있다. 회덕 JCT의 경우 Zone 별 평균 속도 비교 시 속도완화구간 도입 이후 모든 구간에서 도입 이전보다 평균 속도가 높은 것으로 나타났지만, 가속도의 값은 속도완화구간 도입 이후 모든 구간에서 도입 이전보다 더 낮은 것으로 나타났다. 회덕 JCT의 경우 분석 구간 인근에 VDS가 없어 드론을 통해 수집된 속도자료의 검증이 불가능하였으나 냉정 JCT의 결과를 감안하면 수집 자료를 활용하는 것은 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.



<Fig. 8> Changes in speed and acceleration at Hoedeok JCT

<Table 4> Changes in speed and acceleration at Hoedeok JCT

Category		Zone			
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Before installation	Number of vehicle(veh/10min)	264	162	341	297
	Number of detected vehicle(veh/10min)	178(67.4%)	141(87.0%)	276(80.9%)	243(81.8%)
	Average speed(km/h)	87.87	83.61	82.21	77.06
	85th percentile speed(km/h)	98.36	97.95	96.44	92.98
	Average acceleration(m/s ²)	-0.16	-0.12	0.00	-0.18
	85th percentile acceleration(m/s ²)	0.09	0.17	0.19	0.06
After installation	Number of vehicle(veh/10min)	241	331	291	201
	Number of detected vehicle(veh/10min)	189(78.4%)	287(86.7%)	255(87.6%)	182(90.5%)

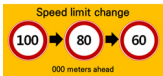


Category		Zone			
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
	Average speed(km/h)	96.03	91.85	82.94	80.87
	85th percentile speed(km/h)	107.95	106.52	95.37	97.27
	Average acceleration(m/s ²)	-0.21	-0.16	-0.11	-0.24
	85th percentile acceleration(m/s ²)	0.06	0.11	0.09	0.09

2. 속도완화구간 도입 효과

1) 냉정 JCT

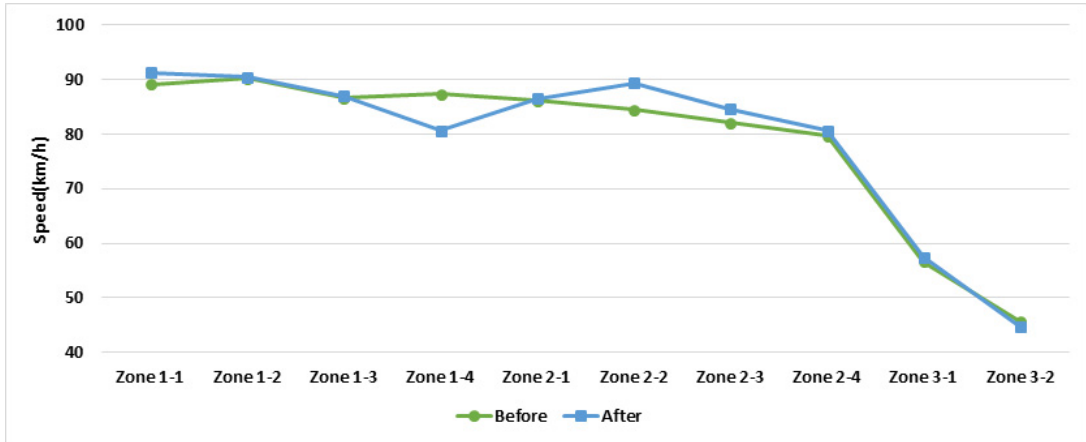
속도완화구간의 도입 효과를 분석하기 위하여 Zone을 100m 단위로 좀 더 세분화하여 속도 및 가속도를 비교하였다. 속도 비교와 관련된 선행연구에서는 속도차의 통계적 유의성을 검증하기 위해 T-test를 적용한 사례가 많았다. 영상검지기 속도와 관측 속도를 비교(Lee et al., 2006)하거나 제한속도 변경 시행 전·후 주행 속도를 비교(Lim and Choi, 2018)한 연구가 있으며, VMS 교통정보의 속도 변화(Lee and Cho, 2015), 어린이보호구역 시설 개선에 따른 주행속도 변화(Lim et al., 2020)를 T-test로 검증한 바도 있다. 본 연구에서도 T-test를 통해 속도완화구간 도입 전·후의 속도 및 가속도가 실제 유의미한 차이가 있는지를 파악하였으며, 그 결과는 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Effect of speed reduction facilities at Naengjeong JCT

Zone	Zone 1				Zone 2				Zone 3		
	Zone 1-1	Zone 1-2	Zone 1-3	Zone 1-4	Zone 2-1	Zone 2-2	Zone 2-3	Zone 2-4	Zone 3-1	Zone 3-2	
Post kilometer(km)	1.3~1.2	1.2~1.1	1.1~1.0	1.0~0.9	0.9~0.8	0.8~0.7	0.7~0.6	0.6~0.5	0.5~0.4	0.4~0.3	
Number of detected vehicle (veh/10min)	before	196	230	196	195	216	235	238	200	102	101
	after	96	94	180	189	217	220	198	185	96	72
Average speed (km/h)	before	89.02	90.19	86.61	87.22	86.04	84.39	82.01	79.62	56.64	45.58
	after	91.23	90.37	86.87	80.54	86.48	89.25	84.54	80.58	57.48	44.71
	p-value	0.28	0.93	0.87	0.00	0.75	0.00	0.01	0.32	0.37	0.07
Average acceleration (m/s ²)	before	-0.03	-0.20	-0.25	-0.21	-0.03	-0.30	-0.39	-0.41	-1.33	-0.92
	after	-0.07	-0.19	-0.27	-0.64	-0.23	-0.29	-0.36	-0.46	-1.73	-1.19
	p-value	0.48	0.89	0.82	0.00	0.00	0.87	0.44	0.32	0.00	0.01
Safety facilities											
Post kilometer(km)			1.05					0.55		0.3	

세부 구간별 속도 비교 결과 <Fig. 9>와 같이 1.0k 지점인 Zone 1-4에서 속도완화구간 도입 이후 속도가 더 낮은 것을 알 수 있으며 0.8-0.6k에서는 속도가 오히려 더 증가하였다. T-test 결과를 보면 Zone 1-4와 Zone 2-2, Zone 2-3에서 유의하게 속도 차이가 있는 것으로 나타났다. 나머지 구간에 대해서는 시설 설치 전과 후의 속도가 통계적으로 유의하게 차이가 나지 않는 것으로 나타났으나, 속도의 경우 조사 시간대에 따라 평균 속도가 달라질 수 있고 시설 설치 이후의 속도가 계절과 같은 변수에 따라 더 높을 수 있으므로 가속

도를 통해 효과를 판단하는 것이 더 적절할 것으로 판단된다.

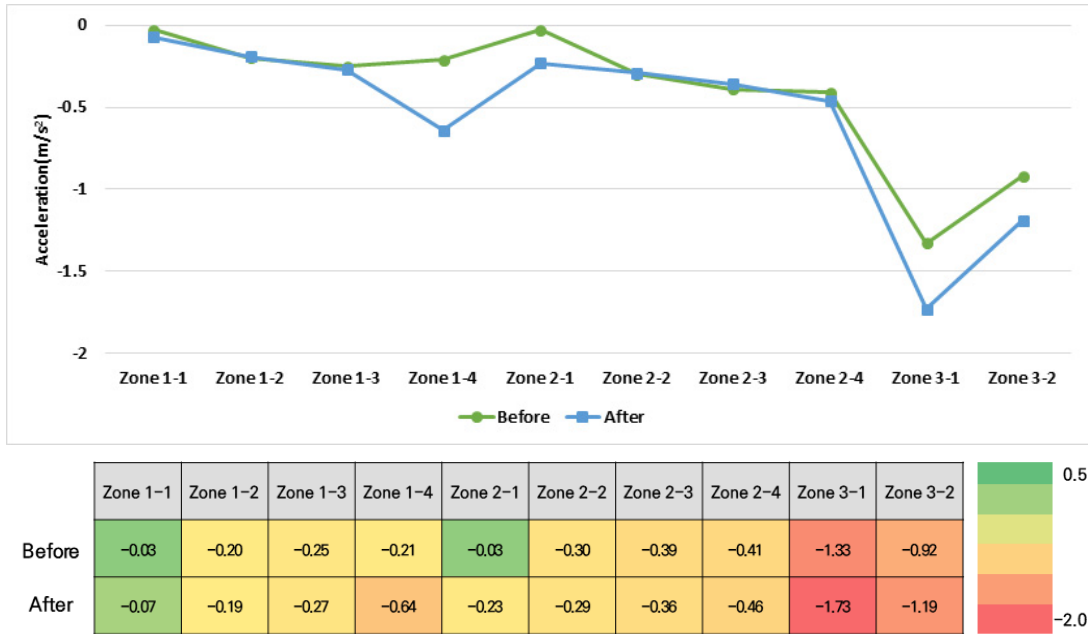


	Zone 1-1	Zone 1-2	Zone 1-3	Zone 1-4	Zone 2-1	Zone 2-2	Zone 2-3	Zone 2-4	Zone 3-1	Zone 3-2
Before	89.02	90.19	86.61	87.22	86.04	84.39	82.01	79.62	56.64	45.58
After	91.23	90.37	86.87	80.54	86.48	89.25	84.54	80.58	57.48	44.71

<Fig. 9> Change in speed at Naengjeong JCT

<Fig. 10>에 나타나듯이 가속도 값은 1.0k 부근인 Zone 1-4에서 속도완화구간 도입 이후 감속도가 더 큰 것으로 확인되었고 고속도로 종점부 지점인 Zone 3에서는 감속도가 훨씬 큰 것으로 나타났다. T-test 결과, Zone 1-4와 Zone 2-1, Zone 3-1, Zone 3-2에서 유의하게 차이가 있는 것으로 나타나 속도완화구간 도입 이후 차량들이 더 많이 감속하는 것으로 파악된다. 실제 설치된 안전시설물의 위치를 통해 그 효과를 파악해보면, 1.05k에 설치된 표지판으로 인해 운전자는 속도 감소 지점을 인식하고 표지판 이후 감속하여 1.0k 부근에서 감속도가 더 크고 이에 따라 속도도 더 낮아지는 것으로 파악된다.

표지판 통과 이후 Zone 2-1까지 감속하지만, 그 이후에는 속도완화구간 도입 전과 후의 가속도 차이는 없는 것으로 나타났으나, 0.5k 부근에 설치된 표지판을 인식하고 다시 감속하며, 종점부까지 속도완화구간 도입 전과 비교해 유의한 수준으로 더 많이 감속한다. 이에 따라 Zone 3에서의 평균 속도는 속도완화구간 도입 전과 비교해 11.06km/h(56.64km/h → 45.58km/h)에서 12.77km/h(57.48km/h → 44.71km/h)로 시설 설치 이후 속도 감소가 더 크다. 냉정 JCT의 속도완화구간은 도입 전·후 속도는 큰 차이가 없으나 가속도 값 비교를 통해 표지판 부근에서 차량이 더 많이 감속하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 표지판 설치로 인한 효과로 판단된다. 하지만 표지판 사이의 구간인 Zone 2-2~2-4에서는 가속도의 값이 설치 전과 비교해 차이가 없는 것으로 나타나 표지판이 설치된 지점에서만 감속하는 경향이 있다. 그러므로 표지판이 설치되지 않은 곳에 서도 충분히 감속할 수 있도록 감속유도차선을 종점부 인근뿐만 아니라 속도변이구간 전체에 설치하는 방안을 고려할 필요가 있다.





<Fig. 10> Change in acceleration at Naengjeong JCT

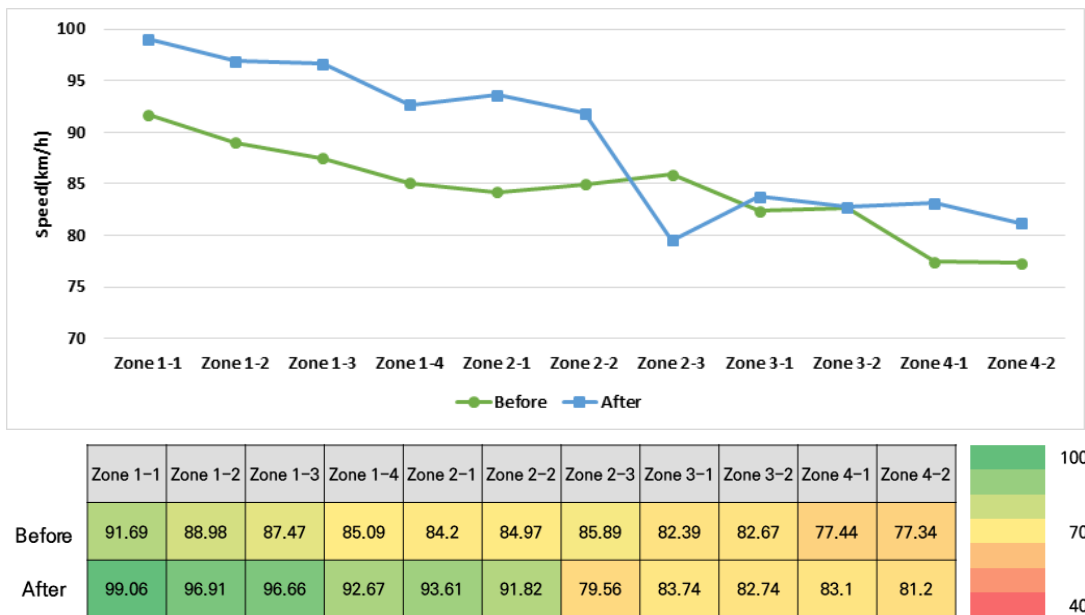
2) 회덕 JCT

회덕 JCT 역시 냉정 JCT의 분석과 같이 종점부 전방 1km부터 종점부까지의 위치별 속도 및 가속도의 변화를 파악하였으며, 100m 단위로 Zone을 구분하여 속도 및 가속도를 비교한 결과는 <Table 6>과 같다.

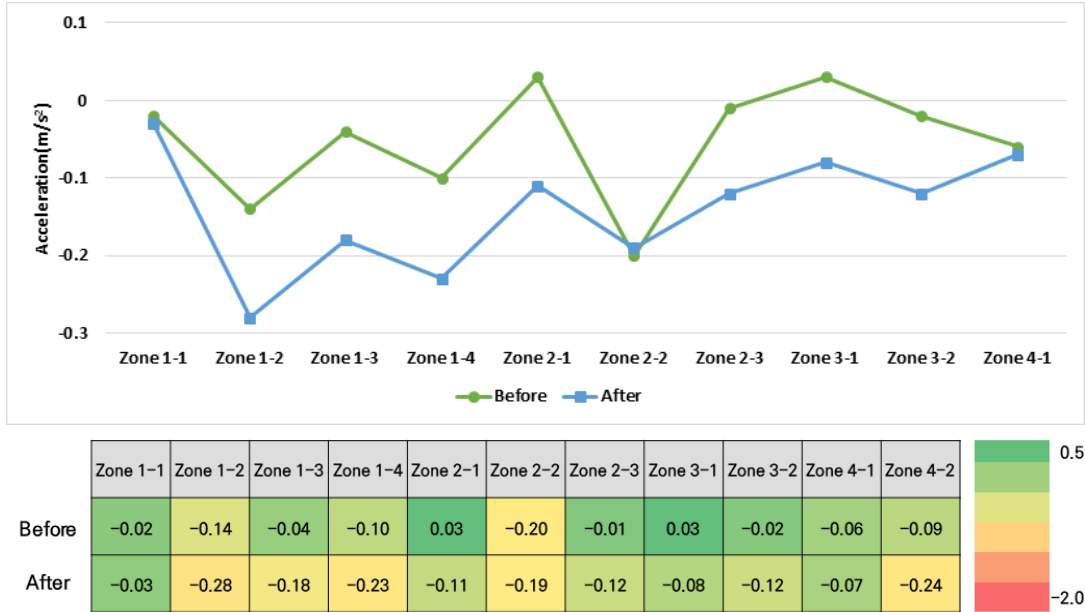
<Table 6> Effect of speed reduction facilities at Hoedeok JCT

Zone	Zone 1				Zone 2			Zone 3		Zone 4		
	Zone 1-1	Zone 1-2	Zone 1-3	Zone 1-4	Zone 2-1	Zone 2-2	Zone 2-3	Zone 3-1	Zone 3-2	Zone 4-1	Zone 4-2	
Post kilometer(km)	52.7~52.8	52.8~52.9	52.9~53.0	53.0~53.1	53.1~53.2	53.2~53.3	53.3~53.4	53.4~53.5	53.5~53.6	53.6~53.7	53.7~53.8	
Number of detected vehicle (veh/10min)	before	72	151	152	169	117	113	109	240	273	132	243
	after	80	139	161	180	245	277	105	253	249	98	182
Average speed (km/h)	before	91.69	88.98	87.47	85.09	84.20	84.97	85.89	82.39	82.67	77.44	77.34
	after	99.06	96.91	96.66	92.67	93.61	91.82	79.56	83.74	82.74	83.10	81.20
	p-value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.95	0.00	0.01
Average acceleration (m/s ²)	before	-0.02	-0.14	-0.04	-0.10	0.03	-0.20	-0.01	0.03	-0.02	-0.06	-0.09
	after	-0.03	-0.28	-0.18	-0.23	-0.11	-0.19	-0.12	-0.08	-0.12	-0.07	-0.24
	p-value	0.80	0.01	0.00	0.00	0.00	0.89	0.09	0.00	0.00	0.91	0.00
Safety facilities												
Post kilometer(km)						53.26			53.56			

세부 구간별 속도 비교 결과, <Fig. 11>과 같이 거의 모든 구간에서 속도완화구간 도입 이후 평균 속도가 더 높은 것으로 나타났다. 속도완화구간 도입 이후 오히려 평균 속도가 더 높은 이유는 영상 촬영 시간대가 다르기 때문으로 도입 이전에는 오후에 촬영하였으나 도입 이후의 영상을 촬영할 때는 오전에 촬영하였기 때문에 속도가 더 높게 측정된 것으로 판단된다. T-test 결과, Zone 3을 제외하고 나머지 구간에서 유의한 수준으로 차이가 있음이 나타났는데, 드론 촬영 당시 시간대의 차이로 인하여 차량의 속도를 통해서는 정확한 비교 분석을 시행할 수 없다. 그러므로 회덕 JCT에 대해서는 속도자료가 아닌 대리지표로 차량의 가속도를 통해 효과를 판단하고자 하였다. 가속도의 경우 <Fig. 12>와 같이 거의 모든 구간에서 속도완화구간 도입 이후 감속도가 더 크며, Zone 1-1, Zone 2-2, Zone 2-3, Zone 4-1을 제외한 나머지 구간의 감속도 차이는 통계적으로 유의한 수준으로 나타났다. 실제 표지판이 설치된 Zone 2-2의 경우 감속도의 차이가 없는 것으로 나타났으나 Zone 2 이후의 구간에서는 속도완화구간 도입 이후 감속도 값이 더 크게 나타났고 Zone 2 이전 구간에서도 감속도가 더 큰 것으로 나타나 속도완화구간 도입 이전보다 더 많이 감속하는 것을 확인할 수 있다. Zone 1-1에서 종점부인 Zone 4-2까지의 속도 변화를 비교해보면, 속도완화구간 도입 이전에는 91.69km/h에서 77.34km/h로 14.35km/h 감속하였고 도입 이후에는 99.06km/h에서 81.20km/h로 17.85km/h 감속하였다. 평균 속도의 차이가 크므로 속도완화구간의 효과를 정확히 판단할 수 없으나 구간 전체에 걸쳐 감속도가 더 크고 속도의 감속 폭 역시 더 크므로 시설 설치로 인한 간접적인 효과가 있다고 판단된다. 하지만, 회덕 JCT의 경우에는 시설 설치 여부와 관계없이 종점부에서의 속도가 77~82km/h로 형성되어 있어 제한속도인 50km/h 대비 주행속도가 매우 높게 나타나므로 Speed Monitoring Device(SMD)나 과속 단속 카메라와 같은 감속유도시설을 추가 설치할 필요가 있다.



<Fig. 11> Change in speed at Hoedeok JCT



<Fig. 12> Change in acceleration at Hoedeok JCT

드론 영상 분석을 통해 회덕 JCT에 설치된 속도완화구간의 효과를 가속도를 통해 간접적으로 확인하였으나 조사 시 영상 촬영 시간의 차이로 인해 정확한 효과분석이 불가능하였다. 사전·사후 분석을 위해서는 교통량, 날씨와 같은 교통 환경 조건이 유사해야 하므로 향후 드론을 활용한 교통안전시설 효과분석을 위해서는 이러한 점을 보완하여 조사 방법에 관한 절차를 정립할 필요가 있다.

V. 결 론

1. 결론

본 연구에서는 최근 교통 분야에서 활용되고 있는 드론으로 교통안전시설의 효과분석이 가능한지를 사례 분석을 통해 검토하였다. 냉정 JCT와 회덕 JCT에 도입된 고속도로 종점부 속도완화구간을 대상으로 도입 전·후의 효과를 분석하였으며, 드론 영상 촬영 이후 영상 분석 프로그램을 통해 개별차량의 주행 자료를 추출하여 비교하였다. 분석 결과, 냉정 JCT의 경우 속도완화구간 도입 전·후 속도 분석을 통해 표지판 부근에서 차량이 더 많이 감속하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 표지판 설치로 인한 효과로 판단된다. 회덕 JCT의 경우 시설 설치 전·후 평균 주행속도의 차이가 크게 나타나 시설 설치로 인한 효과를 정확히 판단할 수 없었으며 가속도를 통해 효과분석을 시행하였다. 그 결과, 대상 구간 전체에 걸쳐 안전시설 설치 후 가속도의 값이 크고 속도의 감소폭이 더 크게 나타나므로 시설 설치로 인한 간접적인 효과가 있다고 판단되며, 속도자료를 활용할 수 없을 때는 가속도를 통해서도 효과분석이 가능하다는 것을 확인하였다. 본 연구의 사례 분석을 통해 드론을 활용한 자료로 차량의 주행속도와 관련된 교통안전시설 효과분석이 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며, 기존 교통안전시설에 대한 효과분석 방법을 보완할 수 있는 방향을 제시한 것에 연구의 의의가 있다. 드론 기반의 효과분석은 사고 자료 기반으로 진행되는 기존의 전·후 효과분석 방법에 비해 상대적으로

시설 설치 효과를 빨리 파악할 수 있으며, 고속도로 상에서 이루어지는 관측조사에 비해 훨씬 안전하게 조사할 수 있다. 또한, 기존 검지기에서 수집할 수 없는 구간에서도 자료 수집이 가능하며, 검지기 자료는 설치 지점의 속도자료만을 활용할 수 있지만 드론을 활용한다면 분석 구간 전체에 걸쳐 100m 단위 또는 다른 세부 단위로 개별차량의 속도 변화를 연속적으로 파악할 수 있는 장점이 있어 활용성이 높다고 생각한다.

2. 향후 연구방향

본 연구는 드론 영상 분석 프로그램을 통해 개별 차량의 주행 자료를 추출하였으나 프로그램의 한계로 인해 집계되는 일부 결측된 자료를 제거함에 있어서 검증된 기준을 적용하지 못하였다. 결측치 제거 방법에 따라 분석 결과가 달라질 수 있으므로 향후 연구에서는 결측치 제거에 관한 검증된 기준 적용이 필요하다. 또한, 냉정 JCT는 속도완화구간 도입 이전과 이후의 교통 조건이 크게 다르지 않았지만 회덕 JCT에서는 촬영 제약 조건으로 인해 동일한 시간대에 촬영하지 못했다. 이로 인해 정확한 효과분석을 하지 못하였으므로 향후 효과분석을 위한 영상 촬영 시에는 교통 환경이 유사한 시간대를 파악하여 촬영할 필요가 있으며 드론 기반의 전·후 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 조사 방법에 관한 상세 기준 정립에 관한 후속 연구가 필요하다. 마지막으로 분석 결과의 향상을 위해 드론 촬영에 관한 기준 설정이 필요하다. 본 연구에서 활용한 드론 영상 분석 프로그램에서는 도로상에 문형식 표지판과 같이 도로 위를 가로지르는 구조물이 있거나 그림자가 있으면 차량 검지를 놓치는 현상이 주로 발생하였다. 드론으로 영상 촬영 시 수직으로 촬영하지 않고 사선으로 촬영할 경우 도로 상에 그림자가 발생할 수 있으며, 조사 시간대에 따라서도 햇빛 방향에 따라 그림자가 발생할 수 있다. 그러므로 향후 정확한 자료 수집을 위해 드론 촬영에 관한 가이드라인 개발이 필요할 것으로 보인다. 이러한 문제점을 보완한다면 향후 다양한 교통안전시설의 효과분석에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국도로공사의 지원과 2022년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학기술사업화진흥원(2022SCPO_B_0310) 지원을 받아 수행된 연구입니다.

본 논문은 한국ITS학회의 2019년 한국ITS학회 춘계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

- Bauer, K. M., Harwood, D. W., Hughes, W. E. and Richard, K. R.(2004), "Safety Effects of Narrow Lanes and Shoulder-Use Lanes to Increase Capacity of Urban Freeways", *Transportation Research Record*, vol. 1897, no. 1, pp.71-80.
- Griffith, M. S.(1999), "Safety Evaluation of Rolled-In Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways", *Transportation Research Record*, vol. 665, no. 1, pp.28-34.
- Hauer, E.(1997), *Observational Before/After Studies in Road Safety*, Pergamon.

- Kang, S. C., Yoo, S. D. and Cho, G. C.(2016), “Effects on the Vehicle Running Speed Analysis according to the Speed Reduction Road Facilities”, *Journal of the Korean Society of Safety*, vol. 31, no. 5, pp.158-170.
- Kim, D. N., Lee, H. S., Park, H. J. and Kwon, S. M.(2020), *Development of Advanced Technique and Guideline for Expressway Safety Audit*, Korea Expressway Corporation.
- Kim, S. H., Han, D. H., Kim, D. N., Nam, G. S. and Lee, J. G.(2017), *Research on Development of Traffic Study &Analysis Technology Using Drones in Expressway*, Korea Expressway Corporation.
- Kim, S. H., Lee, J. K., Han, D. H., Yoon, J. Y. and Jeong, S. Y.(2017), “Preliminary Study Related with Application of Transportation Survey and Analysis by Unmanned Aerial Vehicle (Drone)”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 6, pp.182-194.
- Kim, T. Y. and Park, B. H.(2009), “Effects on the Accident Reduction of Red Light Camera Using Empirical Bayes Method”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 8, no. 6, pp.46-54.
- Ko, E. J., Kim, S. H. and Kim, H. J.(2021), “Microscopic Traffic Analysis of Freeway Based on Vehicle Trajectory Data Using Drone Images”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 20, no. 6, pp.66-83.
- Kwon, S. K., Lee, Y. I. and Cho, S. J.(2012), “Estimation of Traffic Accident Effectiveness of Zig-zag Marking Using a Comparison Group Method”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 6, pp.149-158.
- Lee, D. M., Kang, J. H., Sung, N. M. and Chung, B. J.(2007), “A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Freeway Using C-G Method”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 9, no. 2, pp.77-87.
- Lee, H. S. and Park, H. J.(2021), *A Study on the Traffic Management Standard of Work Zone in Expressway*, Korea Expressway Corporation.
- Lee, H. W., Joo, D. H., Hyun, C. S., Jeong, J. H., Park, B. H. and Lee, C. K.(2013), “A Study on the Analysis for the Effects of the Section Speed Enforcement System at the Misiryong tunnel section”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 3, pp.11-18.
- Lee, J. G., Kim, S. H. and Han, D. H.(2018), “Traffic Congestion Mechanism Analysis at Uphill in Expressway Using Drone”, *2018 The Korea Institute of Intelligent Transport Systems Spring Conference*, p.1016.
- Lee, J. H., Hong, D. H. and Lee, S. B.(2006), “Development of Predicting Models of the Operating Speed Considering on Traffic Operation Characteristics and Road Alignment Factors in Express Highways”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 5, pp.109-121.
- Lee, S. H. and Cho, H. J.(2015), “A Study on Safety Impacts for VMS Traffic Information”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 1, pp.22-30.
- Lee, S. I., Kim, T. H. and Jeong, K. Y.(2008), “An Analysis on the Effect of Installing Rumble Strips on Reduction in Accident Severity Using a Bayesian Method”, *Seoul Studies*, vol. 9, no. 4, pp.185-197.
- Lim, C. S. and Choi, Y. W.(2018), “Study of Downward Speed Limit of Main Roads on Traffic

- Accident and Effect Analysis”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 38, no. 1, pp.81-90.
- Lim, S. J., Choi, J. H. and Oah, S. J.(2020), “Effects of Gateway on Reducing Vehicle Speeds in School Zones”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 38, no. 2, pp.85-96.
- Mun, S. R.(2012), “Evaluation of Road Safety Audit on Existing Freeway by Empirical Bayes Method”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 2, pp.117-129.
- Oh, M. S., Park, H. J. and Oh, C.(2017), “Comparison of Lane Change Behavior between Construction Site and Normal Section by Analyzing Drone Visual Materials in Highway”, *2017 The Korea Institute of Intelligent Transport Systems Spring Conference*, pp.641-646.
- Park M. H., Park G. Y., Jang I. J. and Lee, S. B.(2006), “Accident Conversion Effect Analysis of Installing Median Barriers”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 2, pp.113-124.
- Park, J. J., Lee, Y. M., Park, J. B. and Kang, J. G.(2008), “The Effect of Point to Point Speed Enforcement Systems on Traffic Flow Characteristics”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26 no. 3, pp.85-95.
- Persaud, B. N., Retting, R. A. and Lyon, C. A.(2004), “Crash Reduction Following Installation of Centerline Rumble Strips on Rural Two-Lane Roads”, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 36, no. 6, pp.1073-1079.
- Ryu, T. S., Park, G. S., Moon, J. S., Jung, W. T. and Jung, D. H.(2016), “A Study on Optimization of Traffic Accident Scene Reconstruction utilizing Drones”, *2016 The Korea Institute of Intelligent Transport Systems Fall Conference*, pp.213-218.
- Seo, S. H. and Lee, S. B.(2018), “A Study on Traffic Data Collection and Analysis for Uninterrupted Flow using Drones”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6, pp.144-152.
- Shim, J. S., Jang, K. T., Chung, S. B. and Park, S. H.(2015), “Comparison of Section Speed Enforcement Zone and Comparison Zone on Traffic Flow Characteristics under Free-flow Conditions in Expressways”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 33, no. 2, pp.182-191.
- Yun, I. S., Park, S. H., Oh, B. S. and Oh, Y. T.(2011), “Study on the Effect of the Point-to-Point Speed Enforcement System Using a Comparison-Group Method”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 13, no. 4, pp.177-185.