

드론기반 고속도로 교통조사분석 활용을 위한 기초연구

Preliminary Study Related with Application of Transportation Survey and Analysis by Unmanned Aerial Vehicle(Drone)

김수희* · 이재광** · 한동희*** · 윤재용**** · 정소영****

- * 주저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
- ** 교신저자 : 계명대학교 도시계획및교통공학과 박사과정
- *** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
- **** 공저자 : 한국도로협회 책임연구원
- ***** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원

Soo-Hee Kim* · Jae-Kwang Lee** · Dong-Hee Han* · Jae-Yong Yoon*** · So-Young Jeong*

- * Research Institute, Korea Expressway Corporation
- ** Dept. of Urban Planning and Transportation Eng., Keimyung University
- *** Korea Road Association

† Corresponding author : Jaekwang Lee, jeakwang@ex.co.kr

Vol.16 No.6(2017)
December, 2017
pp.182~194

ISSN 1738-0774(Print)
ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.6.182>

Received 15 November 2017
Revised 4 December 2017
Accepted 20 December 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

그동안 교통관리에서 적용되던 드론 관련 연구는 도로나 차량을 감지하고 추적하는 연구가 대부분이었다. 교통분야에서 영상이미지를 분석하는 목적은 기존 교통자료 수집체계(차량감지기, DSRC 등)의 한계를 극복하기 위함이다. 그런 의미에서 드론은 상당히 좋은 대안이나 최대 비행시간이 제한되어 있어 기존 수집체계를 대체하기 보다는 보완적 성격으로 활용되는 것이 타당하다. 따라서 교통조사분석을 위한 드론 활용방안에 대한 연구가 더 필요한 실정이다. 교통문제의 경우 특정 구간이나 지점에서 발생한 문제가 네트워크 전체로 확대되는 경우가 많아 드론을 이용하여 이러한 구간들에 대한 분석이 필요하다. 본 연구는 교통조사분석 활용을 위한 기초 연구로 드론으로 촬영된 고속도로 구간(800~1000m)을 단위 구간으로 분할하여 교통류 변수들을 추출하였다. 또한 영상기술의 발전으로 고고도에서 영상 촬영을 수행하였다.

핵심어 : 드론, 교통조사, 미시 교통분석, 개별차량 주행행태

ABSTRACT

Most of the drone (Unmanned Aerial Vehicle) research in terms of traffic management involves detecting and tracking roads or vehicles. The purpose of analyzing image footage in the transportation sector is to overcome the limitations of the existing traffic data collection system (vehicle detectors, DSRC, etc.). With regards to this, drones are the good alternatives. However, due to limitation in their maximum flight time, they are appropriate to use as a complementary rather than replacing the existing collection system. Therefore, further research is needed for utilizing drones for transportation analysis purpose. Traffic problems often arise from one particular section or a point that expands to the whole road network and drones can be fully utilized to analyze these particular sections. Based on the study on the uses of traffic survey analysis, this study is conducted by extracting traffic flow parameters from video images(range 800~1000m) of highway unit segments that were taken by drones. In addition, video images were taken at a high altitude with the development of imaging technologies.

Key words : Drone, Traffic survey, Microscopic traffic analysis, Individual driving behavior

I. 연구의 배경 및 목적

1. 개 요

교통관리에 드론을 적용하는 연구는 2000년부터 시작되었다. 초기에는 도로나 차량을 검지하는 자동 알고리즘을 개발하는 연구가 주를 이루었다. 또한 GIS와 영상 이미지와 결합하거나 촬영 고도를 조정하여 정확성을 높이는 방법들의 대한 연구가 진행되었다. 앞선 연구들은 이미 촬영한 과거 데이터를 중심으로 이루어졌으나 실시간 영상 데이터를 중심으로 차량을 검지하고 추적하는 기술이 개발되기 시작하였다. 그에 따라 관련 알고리즘이 개발되어 실시간 데이터의 영상 추적 기술이 점차 발전하였다. 최근에는 차량 궤적(vehicle trajectory)을 검지하고 정확성을 높이는 연구가 주를 이루며 돌발상황 검지나 재난관리에 적용하는 등 다양한 연구가 진행 중에 있다.

드론 관련 연구가 대부분 도로나 차량을 검지하는데 초점이 맞춰진 반면 교통 변수들을 추출하는 연구도 있었다. 통행시간, 밀도, 서비스수준(LOS), AADT, OD 추정 등 기존 수집체계(차량검지기(VDS), CCTV)를 이용하여 얻기 어려운 교통변수들을 추출하는 방법에 관한 연구들이다(Mirchandani et al., 2002; Coifman et al., 2006).

그러나 드론은 최대 비행시간이 제한되어 있어 앞선 연구들에서 제시한 교통 변수들이 기존 교통 수집체계를 대체할 수는 없으며 보완적으로 활용되어야 한다. 또한 기존 연구는 네트워크 관점에서 이루어졌지만, 교통 문제에 있어서 특정 구간 혹은 지점에서의 문제가 네트워크 전체로 확산되는 경우도 있다.

따라서 본 연구는 드론으로 촬영된 영상을 기반으로 고속도로 구간을 단위 구간(200~250m)으로 구분하여 차로변경, 차두시간, 차로별 속도 등의 교통류 변수들을 추출하였다. 또한 드론 기반으로 교통류 변수를 추출하는 기존 연구들은 대부분 저고도(100~150m)에서 수행된 반면 영상 기술의 발전으로 본 연구는 고고도에서 드론 촬영을 수행하였다.

본 연구는 고속도로 구간에서 드론을 이용하여 다양한 교통조사 분석에 활용할 수 있도록 기초연구를 수행하는 것이 목적이다. 논문의 구성은 다음과 같으며, 제2장은 드론 연구 사례 및 영상 기반 교통류 분석 연구 사례를 정리하고 제3장은 분석방법론을 제시하였고 4장에서는 사례 분석을 제시하였다.

II. 선행연구고찰

1. 드론 연구 관련

드론 연구 초기에는 도로나 차량을 검지하는 것이 주요 이슈였다. 교통관리에 드론을 적용하는 최초 연구는 WITAS 프로젝트로 미니 헬리콥터에 카메라를 장착하여 도로와 교통 네트워크에서 완전 자율 무인항공기 운영하기 위해 차량을 활성화하고 추적하고 모니터링하는 기술을 개발하는 것이 주 목적이었다(Doherty et al., 2000). 이 프로젝트를 기반으로 Granlund et al.(2000)은 컴퓨터 비전의 관한 연구를 수행하였다. Granlund et al.(2000)은 가장 기본적인 오브젝트를 검지하는 방법을 정의하고 길이, 넓이, 모양 등의 오브젝트의 속성을 측정하고 오브젝트를 추적하는 방법들을 제시하였다. Mirchandani et al.(2002)은 비디오 영상을 통해 밀도, 통행시간, 대기길이 등 여러 교통변수들을 추출하였다.

Frew et al.(2004)은 드론을 이용하여 도로를 검지하는 알고리즘을 테스트 하였다. 촬영 고도에 따라 빛, 조명, 바람의 영향을 받으므로 에러를 포함하는 것으로 나타났으며 테스트 결과 실제 도로의 90%를 검지하는

것으로 나타났다.

Kaaniche et al.(2005)은 간선도로와 차량을 인식하는 영상 시스템을 개발하였다. 특히 차량 인식을 위해 전통적인 영상 알고리즘을 사용하였으며, 효과적이면서 빠르고 실시간 검지 알고리즘을 사용한 것이 특징이다.

Coifman et al.(2006)은 드론 영상을 수집하여 서비스수준(LOS), 연평균일교통량(AADT) 추정, 교차로 운영 현황, OD 교통량 등의 여러 가지 교통 변수를 추출하였다. 수집된 데이터는 2시간 이내로 촬영되었으며 컴퓨터 프로그래밍을 이용하여 데이터를 가공하였다.

Puri et al.(2007)은 교통 시뮬레이션 모형의 입력자료의 정확성을 높이기 위해 드론을 이용하여 영상 데이터를 수집하였다. 영상 데이터를 수집하기 위해 오전 1시간 동안 촬영하였고 통계적 프로파일 데이터를 생성하였다.

드론 연구가 발전함에 따라 영상 데이터의 정확성에 관한 연구가 증가하였고 최근에는 차량 궤적을 검지하는 연구가 활발히 진행 중에 있다.

Salvo et al.(2013)은 드론을 이용하여 주도로와 부도로 사이에서 발생하는 간격 수락 형태를 조사하였다. 드론 영상은 60m 상공에서 20분 동안 촬영한 데이터를 수집하였다. 드론 영상 데이터의 정확성을 검증하기 위해 GPS를 장착한 프로브 차량과의 속도 프로파일을 비교하였으며 운전자의 특성(공격적, 보통, 수동적)에 따라 주도로로 진입하지 못하는 횡수와 대기시간을 분석하였다.

Gao et al.(2014)은 드론 영상을 통해 자동으로 차량 궤적을 나타내고 속도와 가속도를 측정하는 방법을 개발하였다. 이 연구는 낮은 비용의 쿼드콥터(Quadcopter)¹⁾를 이용하였고, 기존 수집된 데이터의 편차를 줄이기 위해 알고리즘을 사용하여 데이터의 정확성을 높였다.

Lima et al.(2014)은 기존 차량 궤적 추출 연구의 한계(날씨 영향, 영상 이미지 안정화, 효율적 영상 추적, 예산의 한계 등)를 극복할 수 있는 자동 차량 궤적 추출 방법을 개발하였다. 자이로센서, 지형 모델링, 색상 알고리즘을 사용하여 영상 인식 기술을 향상시켰고, 차량 궤적을 추적 하는 작업을 단순화 시키는 k-shortest path algorithm을 사용하였다.

또한 Ezequiel et al.(2014)은 재난 발생 후 평가, 환경 관리 등에 활용할 수 있는 영상 이미지 분석 방법을 제시하였다. 이처럼 다양한 분야에서 드론이 활용되고 있는 반면, 국내의 경우 드론 관련된 연구가 많지 않은 실정이다.

Lee(2017)는 교차로 구간에 접근할 때는 황색시간 점등으로 인해 딜레마구간이 존재하므로 이를 개선하기 위한 적정 황색시간을 도출하였다. 드론을 이용하여 교차로에 차량이 접근할 때 황색 점등 순간의 차량의 행태, 차량의 위치 등 기존에 분석할 수 없었던 차량의 개별행태를 조사하였다. 조사 결과 교차로 별로 적정 황색시간이 다르고, 교차로 특성에 따른 적정 황색시간을 설정하여 위험통과구간이 개선될 수 있다고 결론 지었다.

2. 영상 기반 교통류 분석 연구 관련

1) 고속도로 합·분류부

Lee et al.(2005)은 가속차로 길이에 따라 합류부 교통정체 특성이 다른 것을 밝혀냈다. 가속차로 길이가 서로 다른 두 연결로를 대상으로 영상촬영을 실시하여 교통량, 속도, 밀도 특성을 분석하였다. 분석한 결과 가속차로 구간의 밀도가 클수록, 가속차로의 길이가 길수록 정체가 더 가속화 되는 것으로 나타났다.

1) Quadcopter : 무인기 중에서 프로펠러가 네 개 부착된 것

Choi and Kim(2002)은 영상촬영을 통해 고속도로 유출부의 교통류 특성을 분석하였다. 분석결과, 고속도로 본선의 교통류는 유출부 교통류에 영향을 받으며 유출부 뿐만 아니라 상류부를 포함한 전 차로에서 차로 변경 현상이 발생하는 것으로 나타났다. 그 이유는 먼저 본선 상류부에서 유출부 차량으로 인한 본선 차량들의 차로변경이 일어나고 유출부에서는 유출차량들의 급격한 차로변경이 일어나며 유출 이후에는 차량들이 다시 본래 이용하던 차로로 차로변경을 수행하기 때문이다. 따라서 유출부의 경우 본선 뿐 아니라 유출 차로까지 포함한 영향을 분석해야 한다고 주장했다.

Kim and Kim(2009)은 고속도로 합류부와 엇갈림 구간에서의 차로별 교통류 특성을 분석하였다. 미국 FHWA(1985) 영상자료를 활용하여 차로별 차로변경 행태를 분석하였다. 분석결과, 정체 상태일수록 합류부 상류에서 차로변경이 발생하였으며 본선의 중앙차로 일수록 차로변경 횟수가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 본선 3차로까지 합류로 인한 차로변경의 영향을 받는 것으로 나타났다.

2) 고속도로 공사구간

Park and Kim(2011)은 2차로 고속도로 공사구간의 유입 유출 구간에서 영상 촬영을 실시하여 차종별 용량을 도출하였다. 분석 결과 공사구간인 2차로 고속도로의 용량은 1,800pcphpl로 나타났다. 또한 유입 유출부 최대교통류를 분석결과, 유입 구간은 차두간격이 일정한 반면 유출 구간은 차두간격이 차종에 따라 차이가 나는 것으로 나타났다. 특히 공사구간 유입부는 유출부에 비해 차로변경 등이 증가하므로 유입부 용량을 공사구간의 용량으로 제시하였다.

Kim and Hong(2012)은 Park and Kim(2011)이 1개 공사구간 지점에서 제시한 연구한 한계를 극복하기 위해 고속도로 7개 노선을 대상으로 단기공사에 대한 공사구간 용량을 도출하였다. 자료 분석은 공사구간 인근 검지기 자료를 분석하였고 공사시간대에 따른 속도변화를 분석하고 공사구간 상 하류부 속도 분석을 통해 교통류 변화 시점을 분석하였다. 또한 공사구간 용량은 대기행렬포럼 시간대를 제외한 이상적인 조건에서의 교통량을 평균하여 결정하였다. 분석 결과 설계속도 100kph일 때 공사구간 용량은 1,700pcphpl, 설계속도 120kph일 때 1,750pcphpl로 제시하였다.

Ⅲ. 분석방법

1. 연구범위 및 내용

일반적으로 도로상에서 발생하는 정체는 용량을 초과하는 수요로 인한 것이다. 고속도로에서는 이러한 정체 뿐 아니라 평지, 오르막 등의 고속도로 본선기하구조가 변화하는 구간, 본선과 연결로 접속 구간, 영업소, 공사구간 등의 운영시설 및 차단에 의한 다양한 주행환경 변화에 따라 정체가 발생할 수 있다. <Table 1>에서 제시한 다양한 주행환경 변화 중에서 본 연구에서는 기초 연구 성격으로 정체가 많이 발생하는 본선 오르막 구간, 본선 평지 공사 구간, 본선 평지 단속시설 구간을 중심으로 연구를 수행하였다.

〈Table 1〉 Change of driving behaviors in freeway section

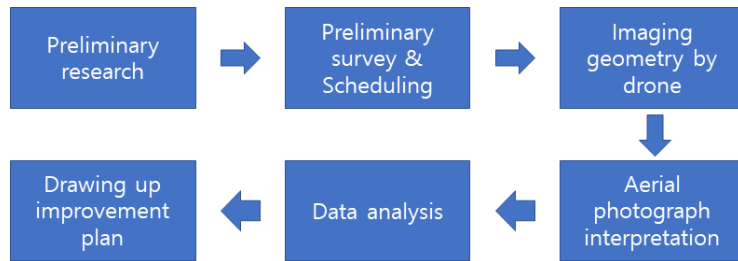
(■ : Change of driving behaviors)

| Location1 \ Location2 | | Freeway | | | | | | Ramp | | |
|-----------------------|------------|---------|----------|------------|-------|--------|--------|-----------|---------|---------|
| | | Stretch | Up grade | Down grade | Curve | Tunnel | Bridge | Off-ramps | On-ramp | Weaving |
| Freeway | Stretch | ■ | | | | | | | | |
| | Upgrade | | ■ | | | | | | | |
| | Downgrade | | | ■ | | | | | | |
| | Curve | | | | ■ | | | | | |
| | Tunnel | | | | | ■ | | | | |
| | Bridge | | | | | | ■ | | | |
| Ramp | Off-ramps | | | | | | | ■ | | |
| | On-ramp | | | | | | | | ■ | |
| | Weaving | | | | | | | | | ■ |
| Operation / Control | Toll plaza | ■ | | | | | | | | |
| | HOV | | ■ | | | | | | | |
| | LCS | | | ■ | | | | | | |
| | Control | | | | ■ | | | | | |
| | Workzone | | | | | ■ | | | | |

2. 교통조사분석 방법론

드론이 교통조사분석에 활용된 사례는 없으므로 본 연구에서는 교통조사분석을 위한 분석 방법론을 제시하였다. 먼저 기초 조사로 사전조사 및 사전 답사를 수행한다. 드론을 민간에서 활용하기 위해서는 공간의 제약이 있으며 비행시간 등의 시간 제약을 받게 된다. 따라서 사전 조사 및 사전답사가 필요하다. 사전조사는 시공도 분석을 통해 문제구간의 정체 행태를 분석한다. 교통안전성 분석은 사고발생 건수, 심각도 등의 기초 통계자료 뿐 아니라 발생 일시, 날씨, 기하구조 등의 세부 조사 자료를 검토하고 분석한다. 대상 구간은 기하구조 자료를 분석을 통해 중단경사 및 평면선형 등을 확인할 수 있고 대상구간 주변 CCTV 영상을 통해 주변 상황에 대해 육안으로 확인한다. 사전답사를 위해 항공지도를 검토한 후 이착륙 지점을 선정한다. 이착륙지점은 추락 등 비상시를 고려하여 고속도로와 충분한 이격된 곳으로 결정한다. 또한 시야 확보 및 안전한 공간 확보를 위해 넓은 개활지여야 하며 통신 방해 요소를 배제하기 위한 전파 방해가 없는 곳이어야 한다. 이러한 과정을 통해 이착륙지점이 선정되면 현장 답사를 통해 최종 이착륙지점을 결정한다. 조사 구간의 기상예보 및 조사 목적에 따라 조사 일정을 수립하도록 한다. 특히 안개, 비, 눈 등의 기상악화나 영하권 기온에서는 조사를 지양해야 한다. 또한 바람의 영향을 고려하여 촬영해야 한다. 교통조사 분석은 구간 영상범위가 800~1000m가 확보되어야 하므로 촬영고도에 따라 비행승인 및 항공촬영의 허가가 필요하다. 비행승인의 경우 해당 공역의 관할부처에서 최소 4일전에 신청해야 하며 항공촬영은 국방부에 최소 7일전에 신청해야 한다. 대상 구간이 1km 이상의 장 구간일 경우에는 일정 간격으로 PE드럼 등을 설치하거나 표지판, 가로 등의 시설물 등을 활용하여 표식설치 방안을 강구하도록 한다. 드론 조사를 위한 본 비행에 앞서 시험 비행을 수행한다. 촬영 영상의 범위는 영상판독이 용이하도록 800~1000m 구간이 표출되도록 하며 가급적 바로 위에서 내려다보이는 수직 영상화면을 확보해야 한다. 특히 본 비행 전 드론 항공촬영의 목적, 드론 비행체 품명, 사양, 크기 및 규격, 영상 저장장치 확인 등 비행승인 및 항공촬영 허가 기관 담당자의 확인절차를 수행한다. 시험 비행을 통해 대상 구간의 조사 준비가 완료되면 본 비행을 통해 항공촬영을 수행한다. 본 비행시 최단

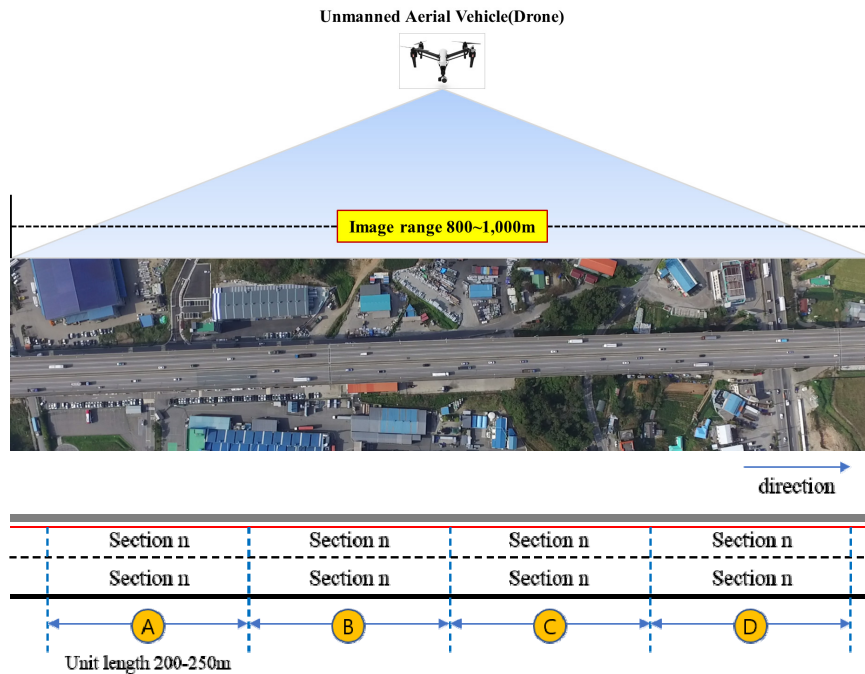
거리 비행을 시행하며 해당 위치에 도달했을 때 영상범위를 확인하여 영상 녹화를 수행한다. 녹화된 영상을 판독하기 위해 전체 영상 화면을 단위 구간으로 구분한다. 단위 구간의 길이는 균등하게 분할하되, 필요에 따라 분석 목적에 맞게 분석 구간 개수 및 길이가 조정 가능하다. 단위 구간별로 분할된 영상에서 각 차로별 진입순서대로 차종, 개별차량의 진입/진출시각, 차로변경 방향, 위치 및 횡수 등의 미시적 교통 행태를 조사한다. 차종 분류는 1종(소형), 2종(중형), 3종(대형)으로 구분을 기본으로 하며, 분석 목적에 따라 차종 구분을 추가할 수 있다.



<Fig. 1> A methodology for traffic survey analysis by drone

1) 영상 판독 및 데이터 추출

드론 촬영을 통해 수집된 영상은 800~1000m 범위이므로 분석을 위해 200~250m 단위로 균등하게 분할하였다. 도로용량편람(2013)에서 제시하고 있는 고속도로 영향권 분석을 위한 기본 단위가 대체적으로 400~500m로 규정되어 있어 영향권 내에서도 교통류 변화를 분석하기 위해 그보다 작은 200~250m로 단위 구간 길이를 설정하였다. 또한 분할 구간에서 각 차로는 하나의 구간으로 지정(구간 n)하였다.



<Fig. 2> Image and Unit of Analysis

드론 촬영으로 수집된 영상은 영상 분석도구를 이용하여 구간 단위별(구간 n)로 분할하고 인력을 동원하여 육안 영상 관독을 실시하였다. 필요에 따라 영상을 확대하여 차량을 식별하였고, 각 차로별 진입순서대로 차종(소형(1), 중형(2), 대형(3)), 개별 차량의 진입/진출시각, 차로변경 방향, 위치 및 횡수를 관독하여 기록하고 추출된 교통자료를 코딩하였다. 코딩된 자료는 비주얼 베이직(VBA) 프로그래밍을 활용하여 차로별 교통량(통과대수), 개별차량 속도, 주행시간, 차로변경 횟수, 차두시간(headway) 등의 차량주행데이터를 추출하였다.

〈Table 2〉 extract traffic parameter

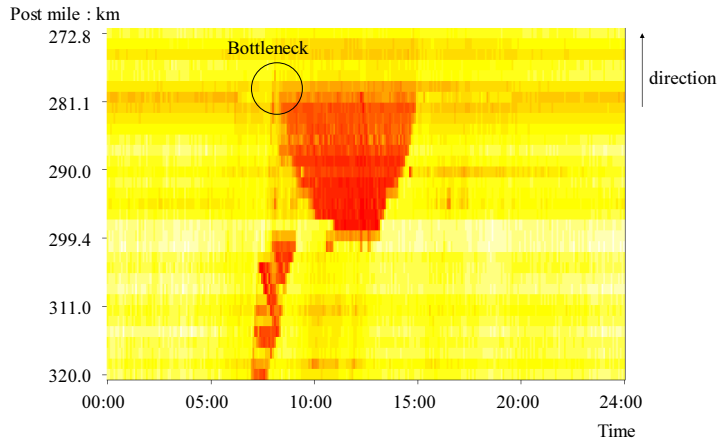
| Section n | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|--------------------|---|-----|-----|-----|
| Vehicle Number | Vehicle Classification | Beginning of Interval | End time of Interval | Travel Time(s) | Travel Speed(km/h) | Lane-changing Behavior (Running lane→Changing lane) | | | |
| | | | | | | 1→2 | 2→3 | 2→1 | 3→2 |
| 1 | 1 | 00:00:00 | 00:00:10 | 10 | 72 | 1 | | | |
| 2 | 3 | 00:00:01 | 00:00:14 | 13 | 55 | | | 1 | |
| 3 | 2 | 00:00:10 | 00:00:25 | 15 | 48 | | 1 | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| n | 2 | 00:00:40 | 00:00:52 | 12 | 60 | | | | 1 |

IV. 사례분석

1. 차로 변경 분석

분석에 사용된 드론은 DJI사의 INSPIRE와 S-900을 사용하였다. S-900의 경우 배터리를 추가하여 최대 40분 동안 촬영이 가능하였다. 촬영에 사용된 드론은 4k 해상도와 UHD 영상 스펙을 가지고 있어 고고도에서도 차량 및 도로의 식별이 가능하였다. 또한 짐벌 시스템을 구축하여 영상 흔들림을 보정하였다. 촬영을 시작하기에 앞서 시공도 분석(Fig. 3)을 통해 촬영 가능시간을 조사한 뒤 기상 상황이 좋고(맑음, 바람의 영향이 적음) 차량 그림자의 영향이 없도록 조사지점이 지면에서 거의 수직인 지점에서 2016년 10월 15일 11시에서 14시까지 촬영을 수행하였다. 분석 구간은 서해안선 목포방향 이정 278km에서 이정 281.7km까지로 평일 일부 시간대 및 주말에 지속적으로 정체가 발생하는 편도 3차로 고속도로로 내리막 구간(-0.9%) 이후 오르막 구간(+2.1%)으로 이루어진 sag부²⁾ 구간이다. 한번에 촬영이 가능한 구간 길이가 약 1km 이므로 드론 2대를 이용하여 분석 구간을 촬영하였다. 촬영 후 수집된 영상은 인력을 이용하여 데이터를 코딩한 후 개별차량 주행 데이터로 변환하는 과정을 거쳤다. 차로 변경 행태는 단위 구간내에서 주행차로에서 다른 차로로 변경한 횟수를 조사하여 분석하였다. 분석 결과, 오르막경사가 정체의 직접적 원인이 아니며 오르막 경사 변화 시점이 정체 원인인 것으로 나타났다. 속도 회복 시 본선 통행속도가 70km/h 일 때 차로 변경이 급증하였고, 그 이후에 차로 변경은 감소하는 것으로 나타났다.

2) Sag : 내리막 구간에서 오르막 구간으로 변화하는 지점



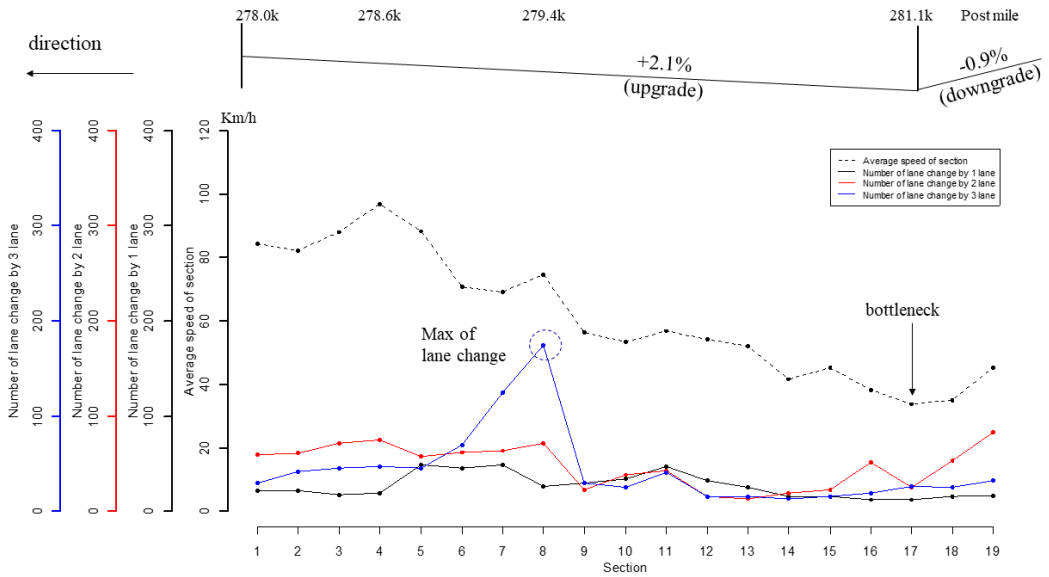
〈Fig. 3〉 Speed contour map(2016/09/24, Seohaean Expressway)



〈Fig. 4〉 INSPIRE



〈Fig. 5〉 S-900



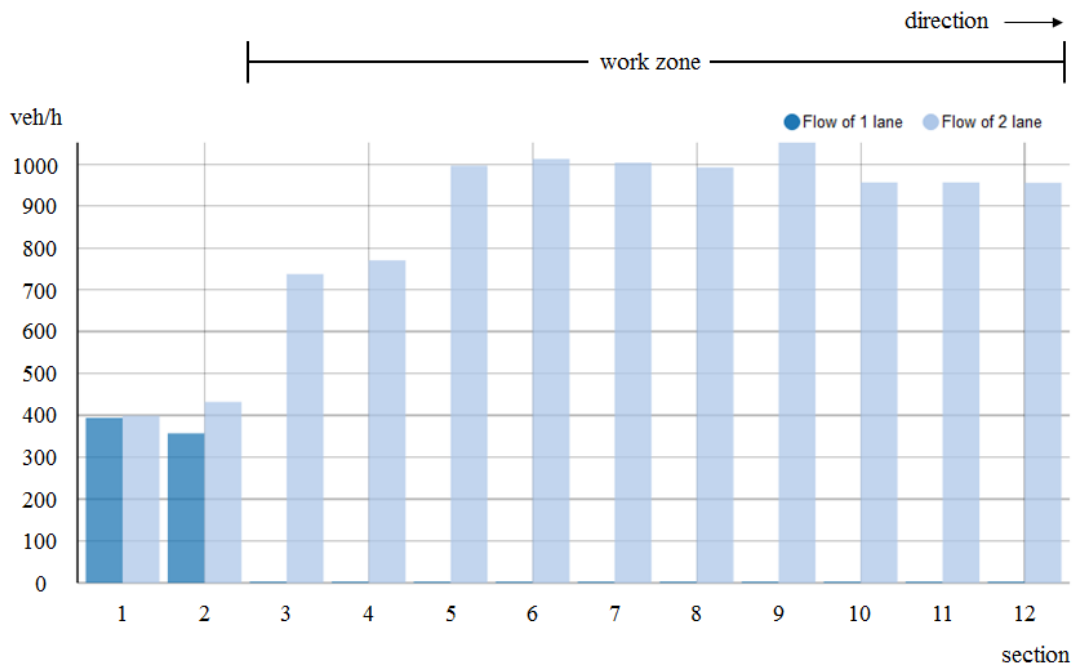
〈Fig. 6〉 Lane-changing behaviors analysis

2. 통과교통량 및 차두시간(Headway) 분석

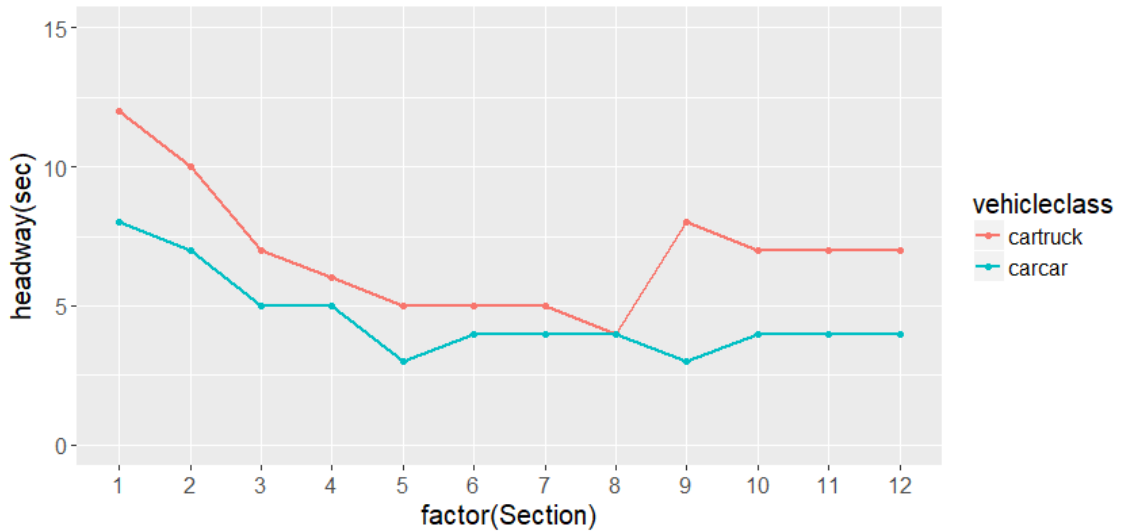
공사구간의 통과교통량을 조사하기 위해 실제 공사가 진행 중인 2차로 고속도로인 영동선 만종 IC 부근(이정 125.5km ~ 이정 128.1km)을 분석하였다. 분석에 사용된 드론은 S-900으로 기상이 좋고 지면에서 수직인 지점에서 2016년 11월 7일 13시와 15시 두 차례에 걸쳐 촬영하였다. 앞선 사례와 같이 인력을 이용하여 데이터를 코딩한 후 프로그래밍(VBA)을 통해 개별 차량 주행 데이터를 추출하였다. 차량 주행데이터는 구간을 통과하는 차량의 수로 통과교통량을 계산하였고, 구간 내 진행하는 앞 뒤 차량의 통과 시간 차이로 차두 시간을 계산하였다. 분석 결과 공사 시점은 차량의 상충이 발생하므로 통과교통량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 공사시점 이후 1차로 구간의 통과 교통량은 1000대/시로 나타났다. 차두시간 분석 결과 대형차량 속도에 따른 후미 추종차량의 속도가 감소하는 특성이 나타났다. 특히 소형차를 추종하는 대형차량들의 차간거리가 증가하는 현상이 나타나 공사구간의 용량이 감소하는 요인으로 작용한다. 또한 공사구간 내 작업 차량이 정차되어 있는 구간에서 차량들이 감속하는 것으로 나타났다.



〈Fig. 7〉 Image of work zone by drone(Yeongdong Expressway)



〈Fig. 8〉 Discharge rate in work zone



〈Fig. 9〉 headway of vehicle class in work zone

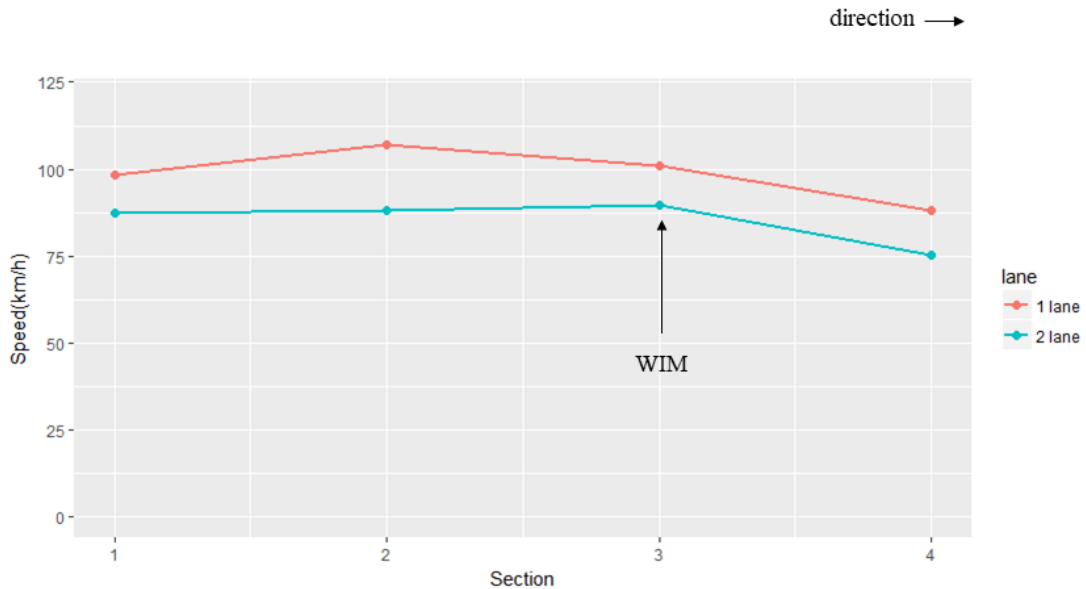
3. 차로별 속도 분석

분석 구간은 선산휴게소 부근 이정 119.1km에서 이정 131.0km까지로 WIM(Weigh-In-Motion)³⁾이 설치되어 있는 구간으로 WIM 구간(이정 119.5km) 이후에 오르막 경사로 이루어져 있으며 제한속도가 110km/h 편도 2차로 구간이다. 본 구간은 WIM 설치로 인해 차량들의 속도가 감소하고 특히 명절 등과 같이 통행 집중기간에는 상류부에서 발생한 정체와 이 구간의 정체가 만나서 극심한 정체가 발생하는 곳이다. 2016년 11월 25일 13시에서 15시까지 드론 S-900을 이용하여 촬영을 수행하였다.(기상 상태 좋음, 지면에서 수직) 앞선 사례와 같은 방법으로 영상 판독 및 데이터를 추출하여 개별 차량의 속도를 산출하였다. 차로별 속도 분석 결과 WIM 구간 통과 시 차량들이 속도가 급감하는 것으로 나타났다. 단 구간(200m)에서 차로별 속도 차이가 13~20km/h 발생하는 것으로 나타났다. 특히 이 구간을 통과하는 교통량이 증가할 경우 이 운영시설이 정체 원인이 될 가능성이 있으며 오르막 구간이 존재하여 중차량 증가시 속도 회복이 늦어지는 것으로 나타났다.



〈Fig. 10〉 Image of WIM system by drone(Jungbu Naeryuk Expressway)

3) WIM : 고속도로 이동 중인 차량의 무게를 측정하는 시스템



〈Fig. 11〉 Speed by lane in WIM

V. 결 론

드론 영상을 이용하여 고속도로 구간분석을 수행한 결과, 특정 구간의 문제 원인을 파악할 수 있었다. 고속도로에 설치된 차량검지기(VDS)의 경우 약 1km 간격으로 설치되어 있기 때문에 특정구간에서 발생하는 문제를 파악하는데 한계가 있었지만 드론을 이용하여 이 문제를 해결할 수 있었다. 즉 드론이 기존 검지체계의 보완적 시스템으로 활용될 수 있다는 점에서 연구의 의의가 있다. 사례 분석 결과에서 알 수 있듯이 서해대교의 경우 오르막 구간이 정체 원인이 아니고 오히려 sag부가 정체의 원인인 것으로 드러났다. 정체가 발생하는 sag부의 경우 기존에 수집되는 차량검지기(VDS) 자료가 오류가 많고 CCTV의 경우 그 지점을 조망하지 않기 때문에 정확한 정체 지점을 알 수 없었는데 본 연구를 통해서 문제의 원인을 파악할 수 있었다. 또한 정체가 해소되는 시간에는 오히려 오르막 구간에서 차로변경이 증가하는 것으로 나타나 향후 연구를 통해 이에 대한 분석을 수행할 필요가 있다. 공사구간에서는 차로별로 차량들이 통과 시간 차이를 분석한 결과 중차량 구성이 정체를 발생시키는 원인인 것으로 나타났다. 중차량이 소형차 후미를 추종하면서 차간거리가 길어지며 통과 후에도 속도 회복이 더딘 것으로 나타났다. WIM 구간을 통과하는 차량들의 차로별 속도분석 결과, WIM 구간에 도달하기 전에 차량들의 속도가 감소하였고 차로별로 속도 차이가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이처럼 드론은 기존 교통 수집체계의 한계를 보완하는 방식으로 활용할 수 있다.

반면, 몇가지 한계도 있다. 교통 조사를 수행하기 위해서는 장시간 영상촬영이 필요하나 상용드론의 경우 비행시간이 최대 30분 이므로 장시간 영상을 확보하는데 한계가 있다. 그에 따라 본 연구에서는 드론을 일부 개조하여 비행시간을 다소 늘렸지만 장시간 촬영을 하기 위해서는 여분 드론 및 배터리를 준비해야 하나 비용이 증가하는 단점이 있다. 또한, 교통조사를 위한 영상은 촬영범위가 800~1000m 확보되어야 하므로 적절한 고도에서 촬영하는 것이 필요하다. 본 연구는 고속도로에서 수집되는 드론 영상 데이터를 자동으로 분석하는 시스템을 개발하기 이전에 활용 가능한 교통 분석 방안에 대해 논의하였다. 현재 조사된 영상 데이터를

기반으로 개별 차량 검지 및 교통 데이터 자동 추출 시스템을 개발 중에 있다. 따라서 향후에는 영상프레임 단위 분석을 통한 교통자료추출 정밀화, 분석구간 세분화가 가능하며 추가적인 신규 주행행태 교통자료(실시간 가감속, 주행 궤적자료 등) 도출이 가능할 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원 고속도로 교통조사분석을 위한 무인항공기(드론) 활용방안 연구(2016) 결과를 토대로 작성되었습니다.

REFERENCES

- Choi J. S. and Kim B. S.(2002), "Analysis of stable flow traffic characteristics to develop spatial distribution models for freeway-diverging sections," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 5, pp.9-22.
- Coifman B., McCord M. and Mishalani R.G.R.(2006), "Traffic flow data extracted from imagery collected using a micro unmanned aerial vehicle," *Appl. Adv. Technol. Transp. Ninth Int. Conf.*, pp.298-303.
- Dehman A. and Drakopoulos A.(2016), "Revisiting Merge-Influence Area Empirically," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2553, pp.52-62.
- Doherty P., Granlund G. and Kuchcinski K.(2000), "The WITAS unmanned aerial vehicle project," *ECAI*.
- Ezequiel C.A.F., Cua M., Libatique N.C., Tangonan G.L., Alampay R., Labuguen R.T., Favila C.M., Honrado J.L.E., Canos V., Devaney C., Loreto A.B., Bacusmo J. and Palma B.(2014), "UAV aerial imaging applications for post-disaster assessment, environmental management and infrastructure development," *2014 Int. Conf. Unmanned Aircr. Syst.*, pp.274-283.
- Gao H., Kong S.L., Zhou S., Lv F. and Chen Q.(2014), "Automatic Extraction of Multi-Vehicle Trajectory Based on Traffic Videotaping from Quadcopter Model," *Appl. Mech. Mater.* 552, pp.232-239.
- Granlund G., Nordberg K., Wiklund J., Doherty P., Skarman E. and Sandewall E.(2000), "WITAS : An Intelligent Autonomous Aircraft Using Active Vision," *Proc.*
- Hwang D. H., OH C., Park H. J. and Jeong B. J.(2016), "Safety Evaluation of Traffic Merging Control Methods for Freeway Work Zone," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 34, no. 3, pp.263-277.
- Kaaniche K., Champion B., Pégard C. and Vasseur P.(2005), "A vision algorithm for dynamic detection of moving vehicles with a UAV," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp.78-83.
- Kim S. G. and Hong G. S.(2013), "Determination of Base Capacity Values for Short-Term Freeway Work Zone," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 31, no. 1, pp.37-46.
- Kim S. G. and Kim Y. C.(2007), "Analysis of Breakdown Characteristics by Lane Interaction at Freeway Merging Area with a View of Time and Space," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 25, no. 2, pp.73-81.

- Kim S. G. and Park C. H.(1998), "An Analysis of Breakdown Cause at Freeway Merge Area," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 2, pp.53-65.
- Kim S. G., Kim Y. H., Kim T. Y. and Son Y. T.(2004), "A Study on Characteristics of Traffic Flow in Congested Traffic at On-Ramp Influence Area," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 22, no. 5, pp.99-109.
- Kim S. G., Kim Y. J. and Jeon K. S.(1997), "A Study on Assessment of Merging Volume at Freeway Merging Area," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 15, no. 1, pp.105-127.
- Kim T. H., Roh C. G., Kim W. G. and Son B. S.(2012), "Analysis on Propagation of Highway Traffic Flow Turbulence at Entrance-Ramp Junctions," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 2, pp.109-116.
- Kim Y. C. and Kim S. G.(2009), "Analysis of Lane-Changing Distribution within Merging and Weaving Sections of Freeways," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 4, pp.115-126.
- Lee S. B.(2017), "A Study on Dilemma Zone Safety Improvement using Drone Videos," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 4, pp.122-131.
- Lee S. J. and Park J. B.(2006), "Development of Analysis Model and Improvement of Evaluation Method of LOS for Freeway Merging Areas," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 7, pp.115-128.
- Lee S. J., Park J. B. and Kang J. G.(2005), "Analysis of Merging Behaviors and Traffic Characteristics on Freeway Merging Areas According to Acceleration Lane Length," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no. 8, pp.53-66.
- Lima C., Cardoso J.L., Ben-Akiva M.E., Costeira J.P., Marques M., Azevedo C.L., Cardoso J.L., Ben-Akiva M.E., Costeira J.P. and Marques M.(2014), "Automatic Vehicle Trajectory Extraction by Aerial Remote Sensing," *Proc. - Soc. Behav. Sci.*, 111, pp.849-858.
- Lin P.-S., Puri A., Hagen L. and Valavanis K.(2006), "Automatic transformation of video image data from UAVs into traffic information for simulation model calibration," *ITS World Congr. 13th World Congr. Intell. Transp. Syst. Compend. Tech., Pap.* pp.1-8.
- Mirchandani P., Hickman M., Angel A., Chandnani D. and Hickman M.(2002), "Application of aerial video for traffic flow monitoring and management," *ASCE 7th Int. Conf. Appl. Adv. Technol. Transp.*
- Park Y. J. and Kim J. S.(2012), "Estimation of capacity at Two-Lane Freeway Work Zone Using Traffic Flow Models of Each Vehicle-Type," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 13, no. 3, pp.195-202.
- Puri A., Valavanis K. and Kontitsis M.(2007), "Statistical profile generation for traffic monitoring using real-time UAV based video data," *Mediterr. Conf. Control Autom.*, pp.1-6.
- Reinartz P., Lachaise M., Schmeer E., Krauss T. and Runge H.(2006), "Traffic monitoring with serial images from airborne cameras," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 61, pp.149-158.
- Salvo G., Caruso L. and Scordo A.(2013), "Gap acceptance analysis in an urban intersection through a video acquired by an UAV," 199-205.