

교통조사부문 드론 활용시 비용절감효과 분석 연구

A Study on Cost Reduction Effect of Drone Implementation in Traffic Survey

김 동 준 Kim, Dongjun | 국립한국교통대학교 교통시스템공학과 석사 (E-mail : kdj8815@naver.com)
안 효 섭 Ahn, Hyosub | 정회원 · 국립한국교통대학교 교통정책·교통시스템공학과 박사 (E-mail : showbooman@paran.com)
김 진 태 Kim, Jin-tae | 정회원 · 국립한국교통대학교 교통시스템공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : jtkim@ut.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Most of the traffic surveys are carried out by an inspection method by the manpower. In some cases, the video equipment is used only in some regions when the traffic volume is surveyed. In this case, there is environmental restriction that the road equipment to fix the video equipment should exist. Also, in areas where information such as digital maps and satellite photographs is old or not provided, they are forced to rely on manpower research, but it is difficult to put huge amounts of time and money into the research in places where labor supply and demand is difficult. This difficulty is particularly pronounced in overseas business.

METHODS : The purpose of this study is to improve the efficiency of business by using the drones in the traffic investigation through analysis of the cost reduction effect between the existing method and the proposed method in the overseas business traffic survey. The scope of the research is limited to the scope of research, and based on the case of overseas projects, the method of using drone for each research sector is suggested.

RESULTS : In the traffic condition survey section, we propose the use of drone for traffic survey and queue length survey, and it is confirmed that there is a cost saving effect of 16% ~ 27% compared with the existing method. In the road condition survey, we propose the use of drones for road surface linear survey, geometry survey, and obstacle survey, and it was confirmed that the cost reduction effect is 39% ~ 93% compared to the existing method.

CONCLUSIONS : In addition to overseas business, it is expected that it will have a positive effect on research time and cost reduction by using drone in traffic survey in domestic area where labor supply is not easy or basic data is insufficient.

Keywords

Traffic investigation, drones, overseas business, supply of manpower, basic data

Corresponding Author : Kim, Jin-tae, Professor
Korea National University of Transportation, Department of
Transportation System Engineering, 157, Cheoldobangmulgwan-ro,
Uiwang, Gyeonggi, 16106, Korea
Tel : +82.31.461.8736 Fax : +82.31.462.8739
E-mail : jtkim@ut.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jun 10, 2018 Revised Jul. 05, 2018 Accepted Jul. 30, 2018

1. 서론

최근 드론(drone)이라고 일반적으로 명명되는 무인 항공기(Unmanned Aerial Vehicle; UAV) 활용기술

이 현장 교통조사 부문에서 새롭게 조명 받고 있다. 드론은 조종사가 탑승하지 않고 지정된 임무를 수행할 수 있도록 제작된 비행체로서 초기 군사적 목적으로 개발

및 사용되었다. 드론은 크기가 수십 미터인 대형 무인기로 부터, 사람의 손바닥보다 작은 초소형 무인기까지 그 종류가 다양하다. 이동 거리 및 크기별로 중거리 대형무인기, 단거리 중형무인기, 중-소형무인기, 소형무인기, 초소형무인기 등으로 구분된다.

소형 드론 무인기에도 최근 Global Positioning Systems(GPS) 및 고해상도 소형 카메라와 같은 첨단 기술이 적용되고 있으며, 집약기술의 발전으로 드론이 소형화되고 있다. 정보통신 기술의 발달로 드론의 조종이 수월해짐에 따라 손쉬운 조작으로도 비행이 가능하여 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다.

무엇보다 드론의 안정적인 제자리 비행(hovering) 기술은 고품질 영상의 촬영을 가능하게 하며, 사람의 접근이 어려운 지역에 까지 쉽게 접근하여 영상을 촬영할 수 있는 장점이 있다. 이러한 드론의 장점들을 Kim(2017)은 자동차 사고의 2차 교통사고 방지 시스템 연구에 활용하였으며, Hwang(2016)은 하천의 표면유속을 측정하는 분야에 드론을 사용하였으며, Chun(2017)은 디지털 영상을 활용한 소규모 지형변화를 분석하는 과정에 드론을 사용하는 등 다양한 분야에서 드론이 활발하게 적용되고 있다.

도로건설 현장에서도 활발하게 사용되고 있는 추세이다(Lee et al., 2015). 도로건설 현장에서 지금까지 교통조사는 대부분 인력투입에 의한 현장조사 방식으로 수행되고 있다. 영상 장비를 활용하여 교통수요 조사를 수행하기도 하나 고가의 장비를 노변에 고정시킬 수 있는 또 다른 도로시설물이 현장에 위치하여야 하는 현실적 제약이 존재한다. 신규로 건설되는 지방부 도로의 경우 참조할 수 있는 수치지도 및 위성사진 자료의 확보가 용이하지 않다. 따라서 인력을 현장에 투입하는 방법으로 자료를 수집할 수 밖에 없다. 현장 조사에 투입한 인력 수급이 어려운 지역의 경우 경우에 따라 막대한 비용(시간비용 포함)이 투입되는 어려움이 있다. 이러한 어려움은 오지 지역에 도로를 건설하는 해외사업에서 특히 가중된다. 이러한 해외 사업의 경우 인력투입을 대신하여 드론 무인기를 투입하는 경우 비용 절감 효과가 있을 것으로 기대되나 그 효과가 어느 수준인지 검토된 바가 없다.

본 논문은 도로를 신규 건설하는 해외 건설사업 수행 시 기존 인력을 투입하여 교통 현장자료 조사를 수행하는 방식과 비교하여 드론 무인항공기를 투입하였을 때 기대할 수 있는 비용 절감 효과가 어떻게 되는지 검토한다. 기존 해외사업에서 수집하는 교통자료 군을 구분하

여 조사방식 별 속성을 파악하고 이를 토대로 각 조사대상 자료별 드론 투입 시 비용 절감 효과를 파악한다. 비용 절감 효과 파악을 근거로 드론 무인기 활용 기술이 장래 교통조사에 활용되는 경우 증가할 것으로 기대되는 생산성 수준을 제고하고자 한다.

2. 문헌고찰

기존 해외사업에서 수행한 현장 조사 사례를 분석하여 수집하는 자료 군에 대한 구분 및 속성 자료를 고찰하였다. Korea Highway Corporation(2017)은 해외 사업으로 아프리카 동남부에 위치한 모리셔스에 도로를 개선 및 신규 건설하는 ‘모리셔스 교통 혼잡 완화 사업’을 수행하였다.

상기 해외사업에서 수행한 주요 사업 내용은 (1) 도심 내 혼잡교차로 입체화 사업과 (2) 남북축을 연결하는 두 개의 연결로 신설 사업의 내용을 포함한다. Table 1은 사업 수행에 포함되는 공간적 및 내용적 범위를 설명한다. 해당 범위에 해당하는 축척 1:1,000 또는 1:5,000 수준의 기하구조 도면자료가 기존에 존재하지 않고 있었던 것으로 보고되고 있다. 또한 사업 초기에 확보한 기존 위성사진의 경우도 해상도가 낮아 사업대상 도로 주변에 위치한 부대시설, 부속시설, 지장시설물 등에 대한 정보 식별이 용이하지 않은 것으로 보고되었다.

Table 1. Oversea Project Overview

Category	The details
Project name	Consultancy services for the design, supervision and project management for the construction of grade separated junctions at Pont Fer, Jumbo, Dowlut roundabouts and for the design, supervision and project management for the construction of A1-M1 link road
Outline by section	<p>A1-M1 Link Road: total length: 1.13km Number of lanes: 4 lanes (two-way) Bridge: 1 extension under 100m, 2 places over 100m Intersection: 2 intersections</p> <p>Grade separated junction at Pont Fer, Jumbo, Dowlut Roundabouts Number of lanes: 1 to 4 lanes (bridge section) Bridges: 3 locations / extension 705m Intersection: three intersections (including improvement of two roundabouts)</p>

해외사업 내용은 크게 두 가지 범위로 구분된다. 첫 번째 범위는 도심 혼잡구간에 교차로 3개소를 대상으로 입체 교차로를 신규 구축하는 내용이다. 두 번째 범위는

두 개의 간선도로를 상호 연결하는 1.13km의 연결로를 신규 건설하는 내용이다(Fig. 2 참조).

사업범위에 해당하는 모리셔스 지역 교통특성 자료를 수집하는 과정에 Table 2에 제시된 내용의 자료 수집을 수행한 것으로 보고된다. 해외사업 수행에 다양한 자료가 필요한 것으로 분석된다. 문헌조사를 통한 자료 수집이 필요하기도 하며, 경우에 따라 현장 조사를 통한 자료 수집이 필요하기도 하다. 현장조사를 통하여 수집할 수 있는 자료를 수집하는 방법으로 (1) 조사인력을 투입하는 방법과 (2) 드론 무인항공기를 투입하는 방법이 수행될 수 있다. 해당 해외사업에서는 드론 무인항공기 투

입방법을 수행하였다.

현장에서 수집하여야 하는 여러 가지 형태의 자료들 중 드론 무인항공기를 투입하여 조사한 항목은 다음과 같은 것으로 파악되었다.

- 교통량 수요자료 보완조사(교통조건 자료)
- 도로 기하구조 자료 조사(기하구조 조건 자료)
- 도로 주변 교통시설물 조사(제어조건 자료)

상기 항목을 제외한 나머지 현장조사 항목에서는 드론 무인 항공기를 이용하지 않은 것으로 파악되었다.

상기 조사 내용은 우리나라가 해외사업에서 수행한 현장 자료 수집 과정 중에서 드론 무인항공기를 활용하여 현장 자료를 수집한 최초의 경우로 구분된다. 본 연구는 상기 문헌고찰을 통하여 드론 무인항공기를 활용하여 수집 가능한 현장조사 자료 항목을 참조하였다.

이와 더불어 아프리카에서 수행한 모잠비크(The Korean export-import bank, 2013) 및 모리셔스(The Korean Highway Corporation, 2017) 사업, 아시아에서 수행한 방글라데시(The Korean export-import bank, 2014) 및 미얀마(Jaeil Engineering cooperation, 2014)에서 수행한 해외사업을 검토하였다. 이들 해외사업에서 수행한 현장조사 항목 역시 특정 자료 수집을 선택적으로 수행하기도 하나 대부분 공통된 자료를 수집하는 것으로 분석되었다.

Table 2. Overview of Traffic Survey

Survey category		Investigation	Boundary	Days	Remarks
Traffic volume survey	Intersection	By direction, by car,	15 locations	96	Investigator + drone
	Horizontal	6 hours survey	6 locations	48	
	Complementary investigation	Review of traffic pattern change Morning and afternoon peaks	2 locations	4	
Survey of traffic facilities	Facility	Traffic lights, crosswalks, stops, signs, parking facilities, etc.	Within influence	-	Investigator + drone
	Geometry	Traffic control method, traffic island, whether or not the traffic is steady, road marking and road marking, lane number, lane and sidewalk 15 locations	15 locations	-	
	Street grid	Route extension, car operation status, crossing configuration	Within influence	-	
	Public transport	Route, dispatch interval, service number, etc.	Within influence	-	
Investigation of traffic situation	Traffic speed	Traffic speed by segment, direction, peak Test vehicle driving method applied	Within influence	-	Video record
Investigation of accident record	Accident statistics	Number of accidents by type of road and accident type Number of occurrences in the past three years	Within influence	-	Literature search

3. 연구 방법

기존 수행된 해외사업 관련 문헌 고찰을 통하여 드론 무인항공기를 활용한 교통조사 자료 균을 구분하였다.

3.1. 절감효과 도출 방법

기존 해외사업에서 수행된 현장조사 내용을 참조하며 향후 해외사업 수행 시 드론 무인항공기 투입 가능 항목을 내용적인 측면에서 검토한 결과 Table 3에 제시된 항목과 같이 도출되었다.

기존 해외 프로젝트에서 수행한 현장조사 내용 중에서 드론 무인항공기의 투입으로 조사 방법이 대체 가능한 항목을 구분한 결과, 내용적으로 다음의 세 가지 조건 조사항목으로 구분된다.

- 교통조건 자료

- 도로조건 자료
- 제어조건 자료

Table 3. General Traffic Survey Items in Overseas Projects

Index	Mozambique	Bangladesh	Myanmar	Mauritius	Item
Traffic	Vehicle registration number	Vehicle registration number	Vehicle registration number	Vehicle registration number	○
	Traffic volume	Traffic volume	Traffic volume	Traffic volume	○
	-	Queue length	-	Queue length	○
	Traffic speed	-	-	Traffic speed	○
	-	-	Traffic accidents	Traffic accidents	○
	Transit operation	Transit operation	Transit operation	Transit operation	○
	-	-	-	Parking situation	-
Road	Road status	Road status Railway status	Road status	Road status	○
	-	-	Alignment	Alignment	○
	Geometry	Geometry	Geometry	Geometry	○
	Roadside devices	Roadside devices	Roadside devices	Roadside devices	○
	Related plans	Related plans	Related plans	Related plans	○
Control	Signal operation	Signal operation	Signal operation	Signal operation	○

독립적으로 수행된 서로 다른 4개 해외사업에서 수행한 총 12개 조사항목 중 1개 항목(주차 현장조사)을 제외한 나머지 11개 모든 항목은 모두 2회 이상 공통적으로 수행되었다. 따라서 본 연구에서는 해당 11개 현장조사 항목을 대상으로 드론 활용방법을 검토하였다. 드론 무인항공기 조사로 대체 가능한 현장조사 항목을 도출하여 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Nominated Items Substitutable with a Drone Application

Category	Items	Data	Drone	Remarks
Traffic	Vehicle no. plates	Records vehicle plates	×	Literature
	Traffic volume	Hourly volume	○	Video
	Queue length	Maximum queue	○	
	Traffic speed	Speed by segment	×	-
	Traffic accident	Number of Accidents	×	Literature
	Transit operation	Routes and dwell time	×	
Geometric	Road status	Routes & pavement	×	Photo
	Alignment	Curvature and radius	○	
	Highway design	Markings, sidewalk	○	
	Roadside device	Bus & taxi bays	○	Video
	Related plans	Development plane	×	Literature
Control	Signal operation	Signal operation status	×	-

차량 기종점 조사를 위하여 투입되는 자동차 번호판 자료 수집 현장조사는 드론 영상을 통한 대체 수집이 불가능하다. 반면 도로를 통과하는 교통량 조사 부문은 드

론 영상자료를 통한 수집 및 해석이 가능하다. 대기행렬 길이 역시 드론 영상해석을 통한 자료수집 및 분석이 가능하다. 차량 주행속도 조사는 효율성측면에서 시험차량을 주행하는 방식이 효율적이라 드론 영상자료 자료 해석을 통한 방식은 효율적이지 않다. 상기와 같은 요령으로 드론 영상자료를 이용한 현장자료 수집이 가능한 조사항목과 그렇지 않은 항목을 구분하였다.

교통 현황조사 항목들 중에서 드론 활용이 가능한 항목을 구분한 결과, 전체 후보 12개 중 5개 항목이 도출되었다. Table 5는 이들 5개 항목에 대한 내용을 제시한다. 이들 5개 항목은 Table 5에 제시된 내용과 같이

- (1) 교통량 조사
- (2) 대기행렬 길이
- (3) 도로 평면선형
- (4) 도로 기하구조
- (5) 도로변 교통시설물 및 장애물 자료수집

항목이다.

Table 5. Survey of Traffic Availability by Drone

Items	Details of investigation	Note
1 Traffic volume	15-min traffic volume, directional volume	Traffic condition
2 Queue length	Max. queue length, number of vehicles	
3 Alignment	Center line, curvature, lane width, sidewalks	Geometric condition
4 Highway design	Lane width, traffic island, markings	
5 Roadside	Street light, trees, bus & taxi bays and stops	

드론을 투입한 자료수집이 가능한 5개 조사항목을 대상으로 드론 영상자료 활용 시 기대되는 비용절감 효과를 추정하였다. 해외사업 수행 시 드론 무인항공기를 활용한 현장자료 수집이 용이한 후보항목을 대상으로 아래의 조사방법이 투입되었을 경우를 상호 비교하며 비용절감 효과를 추정 비교하였다.

- 현지 인력을 활용한 조사 (방법1: 기존 방법)
- 드론 영상을 활용한 조사 (방법2: 제안 방법)

현장조사 항목을 대상으로 교통조사분야를 크게 인력 투입에 의한 기존 방법과 드론 투입에 의한 제안 방법들로 구분하고, 각각의 조사 방법별로 소요장비, 인력, 시간 등의 수량을 산출하였다.

이렇게 산출된 수량은 대안 간의 비교를 위해 비용으로 정량화하였다.

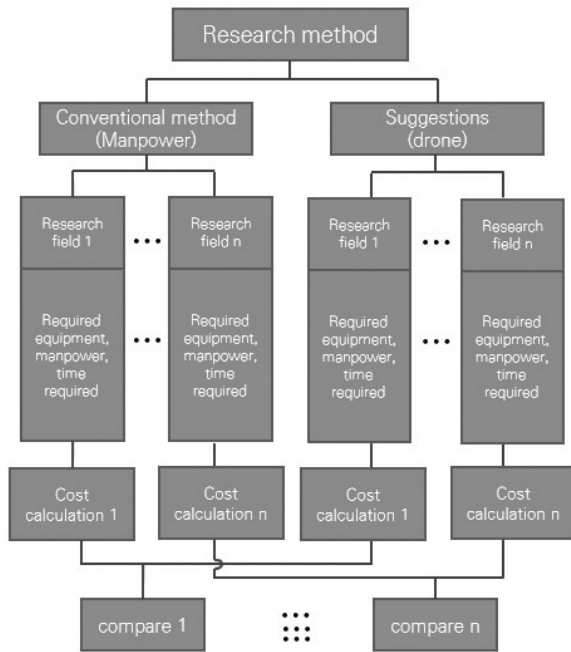


Fig. 1 Methodology

3.2. 비용 추정

교통조사분야에 있어 드론 활용이 가능한 조사항목을 대상으로 기존 방법과 제안방법의 조사방법, 투입인원을 Table 6에 비교 제시하고 드론의 활용방안을 제안하였다.

3.2.1. 인건비용 추정

소요 인력의 비용산출에 있어 1일 측량 외주비용은 한국엔지니어링협회(2017)가 제시하는 엔지니어링 노임단가 중 건설 및 기타부문에서 고급기술자(217,189원/일, 2017년 기준)와 초급기술자(153,923원/일, 2017년 기준) 각 1명을 투입하는 것으로 가정하고, 제경비 120%, 기술료 30%를 적용하여 산출하였다.

드론의 조종인력은 무인기 조종사의 노임 대가 기준을 적용하고자 하였으나 대가 기준을 찾을 수가 없었다. 따라서, 실제 해외사업에서 현장조사 시 조사원을 관리하고 직접 조사에 참여하거나 드론을 조종하는 중급기술자의 대가기준을 적용하였다.

교통조사와 자료입력에 고용되는 일용노무직의 비용 기준은 국토교통부(2012)에 따라 각각 공사부문의 보통인부와 제조부문 보통인부의 엔지니어링 노임단가 기준을 적용하였다.

3.2.2 투입인력 규모 추정

가. 교통량 조사 부문

교통량 조사의 경우 기존 방법은 조사대상 교차로 별로 조사인원을 투입하고 이동류의 방향별로 차종별, 시간대별 교통량을 조사양식지에 기록하여 조사하는 방법으로 진행해왔다. 기존 방법에 의한 교통량 조사에 투입되는 인원은 4지 교차로를 기준으로, 교통량에 비례하여 4~12인을 투입한다.

Table 6. Estimation of Manpower Required for Traffic Volume Counts

Items	Methods	Investigation	Man power
Traffic volume	1	<ul style="list-style-type: none"> Record traffic volume by direction, vehicle type, and time 4th street standard Based on four-way intersection 	4 ~ 12
	2	<ul style="list-style-type: none"> Stop flight and video recording over the survey site ※Investigation point, regardless of the size, only pilots put in turn 	2

제안 방법인 드론을 활용한 교통량 조사방법은 조사대상 교차로의 상공에 드론을 띄워 정지비행 상태에서 동영상 촬영하는 방법을 제안한다. 대부분의 교차로가 드론 1대로 전방향의 이동류 촬영이 가능하다. 드론의 1회 비행시간은 기종마다 약간의 차이가 있을 수 있으나, 대략 20여분 내외로 조사 중간에 배터리 교체를 위해 착륙이 불가피하다. 배터리를 교체할 때 교체시간 만큼 조사의 공백이 발생할 수 있으므로, 2대의 드론을 조사 시작시간과 끝시간이 서로 겹치도록 띄워 조사하는 방안을 제안한다. 따라서 안정적인 조사를 위해 최소 2대의 드론과 2명의 조사인원을 투입할 것을 제안한다.

나. 대기행렬 길이 조사 부문

대기행렬길이 조사는 기존 조사방법의 경우, 교차로의 접근로별로 조사인원을 투입하여 대기행렬의 길이가 최대인 시점(신호교차로의 경우 해당 접근로의 녹색시

Table 7. Estimation of Manpower Required for Queue Length Measure

Items	Methods	Investigation	Man power
Queue length	1	<ul style="list-style-type: none"> Measuring queue length (vehicle number) by access route Based on four-way intersection ※ Difficulty in measuring when you go out of your watch 	4
	2	<ul style="list-style-type: none"> Stop flight and video recording over the survey site Based on four-way intersection Altitude of the gas, long range can be measured when adjusting the position 	2

간 시작시점)에 대기행렬의 길이 또는 차량대수를 측정하여 기록한다.

드론을 활용한 대기행렬길이 조사방법은 조사대상 지점의 상공에서 정지비행을 하며 동영상을 촬영하는 방법으로 드론에 장착된 카메라의 촬영각도와 드론의 고도를 조정함으로써 드론 1대로 전방향을 동시에 촬영할 수 있다. 기존의 조사방법으로는 대기행렬의 길이가 조사자의 시계를 벗어나는 경우 측정이 곤란하지만, 드론을 활용하면 기체의 고도나 위치 조정을 통해 대기행렬이 긴 구간도 측정할 수가 있다. 다만 교통량 조사와 마찬가지로 조사 중 배터리 교체가 불가피하므로, 2대의 드론을 조사 시작시간과 끝시간이 서로 겹치도록 띄워 조사하는 방안을 제안한다. 따라서 안정적인 조사를 위해 최소 2대의 드론과 2명의 조사인원을 투입할 것을 제안한다.

다. 도로 평면선형 부문

도로의 평면선형 조사는 수치지도가 존재하지 않거나 오래되어 수치지도 정보가 현장여건과 맞지 않는 경우에 기존 방법으로 인력투입을 통한 노선측량을 수행하게 된다.

Table 8. Comparisons of Methods in Geometric Conditions

Items	Methods	Investigation	Man power
Alignment	1	<ul style="list-style-type: none"> Route surveying (road center line, curve radius, lane width etc.) Average of 0.5km per day 	2
	2	<ul style="list-style-type: none"> Fly in high altitude maintenance mode Average 20km survey per day 	1

기존의 인력조사 방법은 자동차전용도로, 산지, 계곡 등 사람의 진입이 어려운 경우 조사자가 위험한 환경에 노출될 수 있고, 조사가 더디게 진행되기도 한다. 반면에 드론을 활용하면 자동차전용도로나 험난한 산지, 계곡 등 어디든 쉽게 접근하여 영상을 촬영할 수 있는 강점이 있다. 1일 평균 조사 가능 거리를 비교해 보면, 기존 방법의 경우 2인이 평균 0.5km를 조사할 수 있는데 비해 드론을 활용하면 1일 평균 20km를 조사할 수 있는 것으로 확인되었다.

라. 도로 기하구조 조사 부문

기하구조 조사는 운영 상태 분석의 기초자료로 활용하기 위해 현장조사를 수행한다.

Table 9. Estimation of Manpower Required for Traffic Volume Counts

Items	Methods	Investigation	Man power
Highway design	1	<ul style="list-style-type: none"> If there is no numerical map, measure sketches, lanes, sidewalks, etc. It takes 1 hour by 4-way intersection 	2
	2	<ul style="list-style-type: none"> Fly in an altitude maintenance mode It takes 0.2 hour in 4-way intersection 	1

기존의 조사방법은 조사원이 현장에서 기하구조를 스케치하고, 차로폭, 보도폭 등 횡단구성을 측량한 후에 높은 곳에서 기하구조 사진을 촬영하는 방법을 보편적으로 사용해 왔다. 하지만 주변에 높은 건물이 없는 지역은 평면상에서 기하구조 사진을 촬영하기도 하는데, 교차도로간의 교차각이나 기하구조를 한눈에 파악하기에는 어려움이 많다. 드론을 활용하면 기하구조의 영상을 원하는 높이, 원하는 시야각에서 손쉽게 촬영할 수 있고, 운영 상태 분석의 기초자료로 활용도 용이하다. 따라서 기하구조 조사시 현지 제약조건으로 인하여 기존 방법을 수행하기 어려운 경우 드론을 활용하는 방안을 제안한다.

마. 도로변 교통시설물 및 장애물 자료 조사 부문

교통시설물 및 지장물 조사는 기존 방법의 경우 조사원이 설계대상구간의 수치지도를 가지고 현장에서 지장물의 위치를 수치지도와 대조하거나 누락된 시설물의 위치를 표기하는 방식으로 조사해 왔다.

Table 10. Comparisons of Methods in Geometric Conditions

Items	Methods	Investigation	Man power
Road side	1	<ul style="list-style-type: none"> Mark location of street light, street number, cover landing, exit, building etc. on output drawing Average 4km survey per day 	2
	2	<ul style="list-style-type: none"> Fly in high altitude maintenance mode Average 20km survey per day 	1

그러나, 해외사업과 같이 수치지도가 없거나 현장여건을 충분히 반영하지 못하는 지역을 조사해야 하는 경우에는 도로평면선형 조사를 마치고 그 결과물을 수치지도화할 때까지 지장물 조사를 진행할 수가 없다. 조사일정도 불가피하게 지체되어 전체 사업일정에 심각한

영향을 초래할 수도 있다. 드론으로 조사대상 지역을 촬영하면 지장물의 조사를 빠르고 쉽게 조사할 수 있고, 수치지도가 없는 지역에서도 기준이 될 만한 도로나 건축물 등 시설물을 시점으로 하여 영상을 촬영하면 고해상도의 항공사진도를 구축할 수 있다. 노선선형 계획단계에서 이렇게 구축된 항공사진도를 활용하면 지장물을 고려한 선형계획을 할 수 있다. 드론을 활용하면 노선측량의 범위를 최소화할 수 있어 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단되어 해외사업 교통시설물 및 지장물 조사 시 드론을 활용할 것을 제안한다.

3.2.3. 장비 투입 비용 추정

소요 장비의 비용산출에 있어 기존방법과 제안방법에 소요되는 고가의 장비는 측량장비와 드론이 있다. 일반적으로 노선측량은 측량업체에 조사를 의뢰하므로 측량장비에 대한 비용을 별도로 산출하지 않고 소요 인력비용에 포함시켰다. 드론은 4K 고해상도 촬영이 가능한 모델로 3개 렌탈업체의 평균 대여비용을 적용하였다.

3.3. 효과분석 방안

본 연구에서는 기존 방법과 제안 방법의 효과를 비교·분석하고자 조사 분야별 소요 장비, 소요 인력, 소요시간을 비용으로 환산하고, 환산된 비용을 비교하여 제안 방법의 비용 절감효과를 검토하였다.

Table 11은 기존 방법과 제안 방법의 비용환산에 필요한 장비와 인력의 단가이다.

Table 11. Quantification Cost Calculation

Category	Conventional method	
	Contents	Cost ¹⁾
Equipments	• Surveying equipment (level, tripod, pole)	Included in the labor costs
Required manpower	• Outsourcing costs	1,060,000
	• Intermediate technician (survey manager)	189,468
	• Field worker; daily labor costs	106,846
	• Data input source labor day	66,630
Category	Drone method	
	Contents	Cost ¹⁾
Equipments	• Drone rental cost (including a controller and additional battery)	70,000
Required manpower	• Intermediate engineer (investigator)	189,468
	• On-site subsidized labor	106,846
	• Data input source labor day	66,630

1) unit : won/day

4. 비용절감 효과 분석

본 연구의 효과 분석은 해외사업 사례로 ‘모리셔스 교통신호완화사업’의 현장조사에 적용하여 분석하였다.

4.1. 단일 현장조사 항목별 비교

4.1.1. 교통량 조사 부문

인력에 의한 교통량 조사 시 누락되는 교통량의 비율을 파악하고자 특정 교차로 및 가로구간을 대상으로 드론을 활용하여 동영상 촬영하였다. 촬영된 동영상은 이후 영상판독을 통해 방향별, 차종별 교통량을 산출하였고, 인력에 의한 교통량 조사 결과값과 비교하였다. Fig. 2는 특정지점의 조사방식별 조사결과물을 비교한 것이다.

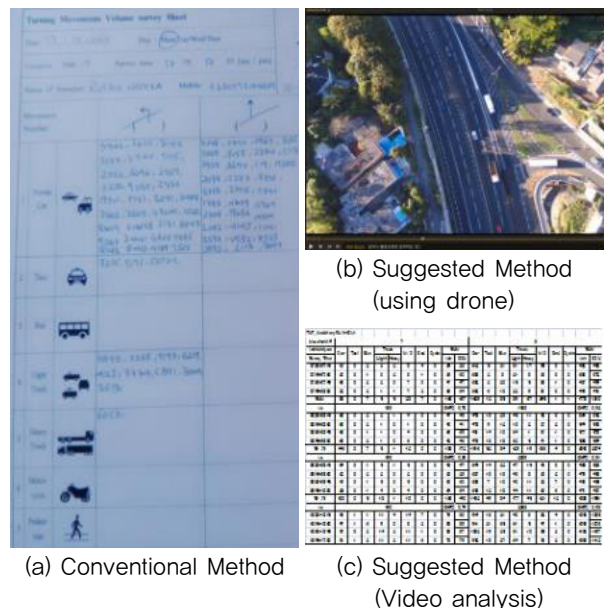


Fig. 2 Survey results by Survey Method

조사방식별 교통량 조사에 따른 교통량 누락여부, 투입 인력, 투입비용 비교표를 Table 12에 제시하였다.

조사방식별 교통량 조사결과, 드론을 활용한 방법은 직원 1인과 일용직 1인 투입으로 조사가 가능하며, 녹화된 영상을 판독함으로써 교통량의 누락도 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 다만 영상을 판독하고 교통량을 정리하는데 지점별로 자료 입력원 1인과 추가시간이 소요되는 단점이 있었다.

기존 방법이나 제안 방법 모두 공통적으로 투입되는 직원(중급기술자)의 인건비는 비교에서 제외하고 일용노무비(현장조사원과 자료입력원)와 드론대여비를 비용으로 환산하여 비교하였다.

투입비용 비교결과, 제안 방법이 기존 방법에 비해 평

균 27%의 비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다. 하지만 가로교통량 조사(지점B)의 경우는 기존 방법보다 제안 방법에 더 많은 비용이 발생하였는데, 이는 드론 대여비용이 추가로 소요됨에 따른 것으로 판단된다.

Table 12. Comparison of the Data Collection Methods for Traffic Volume

Category		Conventional method	Proposed method	Remarks
Peak time Traffic volume (Veh/2hr.)	Point A	5,530	6,672	-
	Point B	14,272	15,332	-
	Sum	19,802	22,004	-
	Error	2,202	-	-
Manpower (Daily)	Point A	6	2	-
	Point B	2	2	-
	Sum	8	4	-
Total cost (Won) ¹⁾	Point A	641,076	313,476	-327,600
	Point B	213,692	313,476	+ 99,784
	Sum ¹⁾	854,768	626,952	-227,816
Advantages and disadvantages		<ul style="list-style-type: none"> • Easy to investigate • Difficult to manage survey team • Unable to find missing traffic 	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to check missing traffic volume • Additional Time is required to Extract the data 	-

1) The percent reduction of the total cost is 27%

4.1.2. 대기행렬 길이 조사 부문

인력에 의한 대기행렬길이 조사는 조사지점의 지형과 조사자의 신체적 능력에 의해 제약을 받지만 드론을 활용하면 지형적 제약을 받지 않고, 기체의 고도와 위치를 조정하여 긴 구간도 측정이 가능하다.

Fig. 3은 회전교차로의 대기행렬을 측정한 사례로 영상에 나타난 대기행렬길이는 470m로 조사되었다.



Fig. 3 Queue Length Survey Screen Data

Fig. 4의 촬영된 영상에서 보이는 바와 같이 드론으로 촬영한 영상은 1km가 넘는 거리까지도 판독이 가능

한 것으로 조사되었다.



Fig. 4 Visual Distance Measurement of a Drone

대기행렬길이 조사에 투입된 인원, 비용 비교표를 Table 13에 제시하였으며, 제안 방법이 기존 방법에 비해 16%의 비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

Table 13. Results of Queue Length Survey by Survey Method

Category		Conventional method	Proposed Method	Remarks
Manpower (Daily)	Point A	4	2	-
	Point B	3	2	-
	Sum	7	4	-
Total Cost (Won) ¹⁾	Point A	427,384	313,476	-113,908
	Point B	320,538	313,476	-7,062
	Sum	747,922	626,952	-120,970
Advantages and disadvantages		<ul style="list-style-type: none"> • Easy to investigate • Difficult to manage survey team • Affected by terrain and the vision 	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to investigate • Long-range queues can be measured • It takes additional data reduction 	-

1) The percent reduction of the total cost is 16%

4.1.3. 도로 평면선형 조사

수치지도가 없는 지역에서 도로의 선형을 조사할 때 일반적으로 노선측량 방법을 사용해 왔다. 노선측량은 노선의 계획·설계·시공을 위하여 실시하며, 곡선을 포함한 노선에 따라서 보통 20m마다 중심 말뚝을 박고 측량을 통해 좌표값을 정리하여 수치지도를 구축하게 된다. 이러한 일련의 측량작업을 위해서는 인부가 직접

측점에 접근하여야 하는데, 조사구간이 자동차전용도로, 계곡, 산지부 등 접근이 어려운 곳에서는 측량 또한 쉽지가 않다.

본 절에서는 일반적인 노선측량 방법과 드론을 활용한 조사결과를 비교해 보았다. 비교결과, 드론을 활용하면 조사에 소요되는 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있으며, 측량기간동안 드론 영상을 토대로 노선계획을 수립한다면 측량의 범위도 합리적으로 감소시킬 수 있어 업무의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. Table 14는 조사방식별 도로 평면선형 조사 결과로, 제안 방법이 기존 방법에 비해 93%의 비용절감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Table 14. Results of Road Surface Linear Survey by Survey Method

Category	Conventional method	Proposed Method	Remarks
Survey Range (km)	4.6	4.6	-
Survey period (Time)	240 (8hr×30days)	2	-238.0
Manpower (Daily)	60	10.5	-49.5
Total Cost (Won) ¹⁾	31,800,000	2,109,414	-29,690,586
Advantages and disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> • Data collection may be delayed due to weather conditions, mountain cutting, and highway control 	<ul style="list-style-type: none"> • Little impact of weather conditions • Less affected by site conditions • Additional time for data reduction 	-

1) The percent reduction of the total cost is 93%

제안방법에 의한 조사는 현장에 0.5인·일 투입으로 조사를 완료하였으나, 조사 이후 촬영영상을 가공하고 수치지도화 하는데에 10인·일이 추가로 소요되었다. 그럼에도 불구하고 비용 비교 분석결과 93%의 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

기존 방법과 제안 방법에 의한 도로평면선형 조사결과는 Fig. 5와 같다.



(a) Obtained Blueprint Map from the Site



(b) Collected Birdview Photo by Implementing a Drone

Fig 5. Comparison of Geometric Condition Data Collected

4.1.4. 기하구조 조사 부문

수치지도가 없는 지역에서 기하구조 조사는 일반적으로 현장에서 접근로, 가각, 차로수, 횡단보도 위치 등을 스케치하고 폭원을 측정한다. 현장에 높은 건물이 있는 경우 사진촬영을 하면 접근로간의 접속각과 도로 중심선 간의 단차 등을 확인하기 용이하지만 그렇지 못한 경우에는 접속도로간의 관계를 파악하기가 쉽지 않다.

기하구조 조사시 드론을 활용하면 도로의 교차각, 가각부 곡선반경, 노면표시 등을 단시간에 촬영함으로써, 현장조사에 따른 교통사고 위험 부담도 줄일 수 있고, 항공사진보다 고해상도의 최신자료를 얻을 수 있는 장점이 있다.

Table 15는 조사방식별 기하구조 조사 결과로, 제안 방법이 기존 방법에 비해 39%의 비용절감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Table 15. Geometry Survey Results by Survey Method

Category	Conventional method	Proposed method	Remarks
Objective	<ul style="list-style-type: none"> Road lengthening Road widening Road cross angle Road rolling radius 	<ul style="list-style-type: none"> Road extension Number of lanes Lane width Road marking 	-
Collection method	<ul style="list-style-type: none"> Site map Site survey Extended survey Photo shot 	<ul style="list-style-type: none"> Video recording 	N/A
Survey period (time)	10 (1 hr/point)	2 (0.2 hr/point)	-8
Manpower (daily)	1.25	0.50	-0.75
Total cost (won) ¹⁾	236,835	144,079	-92,76
Advantages and disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> Simple investigation equipment Low cost Risk of exposure to traffic accidents during field survey 	<ul style="list-style-type: none"> Easy access to places where the personal access is difficult Much affected by weather 	-

1) The percent reduction of the total cost is 39%

기하구조 조사결과 기존 방법에 의한 조사시간은 10 개소를 조사하는데 총 10시간이 소요되었다. 제안 방법으로 조사하면 10개소를 조사하는데 총 2시간이 소요되어 기존 방법대비 8시간의 시간 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

투입인원을 살펴보면, 기존 방법에 의한 조사시 1일 8 시간 근무기준을 적용하여 1.25인·일이 투입되었다. 제안방법에 의한 조사 시에는 0.50인·일이 투입되어 0.75인·일이 절감된 것을 확인할 수 있었다.

투입비용을 비교해 보면, 기존 방법에는 순수 인건비만이 투입되어 236,835원이 투입되었다. 제안방법에는 인건비에 드론 장비 대여비를 추가하여 총 144,079원이 투입되었고, 기존 방법대비 92,757원이 절감된 것을 확인할 수 있었다.

4.1.5. 도로변 교통시설물 및 장애물 자료 수집 부문

기존 건축물, 공원, 사유지, 도로시설물 등의 저축을 최소화하는 노선계획 수립을 위해 지장물 조사를 시행한다. 일반적으로 도보조사를 수행하나 노선계획 단계에는 조사범위가 광범위하여 조사에 많은 시간이 소요되고 있다. 반면에 드론을 활용하면 짧은 시간동안 넓은 범위에 대해 고해상도의 영상을 기록할 수 있어 조사에 소요되는 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있다.

본 절에서는 기존의 방법과 드론을 활용한 지장물 조사결과를 비교해 보았다. Table 16은 조사방식별 지장물 조사 결과로, 제안 방법이 기존 방법에 비해 68%의 비용절감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Table 16. Survey Findings

Category	Conventionalmethod	Proposed Method	Remarks
Survey range (km)	8	8	N/A
Survey period (Time)	16 (8hr×2days)	1.4	-14.6
Manpower (Daily)	2	0.35	-1.65
Total cost (Won) ¹⁾	378,936	121,855	-257.081
Advantages and disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> The results show that Delay in investigation due to weather conditions(heat wave, rainy season, etc.) Risk of exposure to traffic accidents during field survey 	<ul style="list-style-type: none"> Less influence of weather conditions on short-term survey Easy to manage safety of surveyors Less influence from field conditions 	-

1) The percent reduction of the total cost is 68%

지장물 조사결과 기존 방법에 의한 조사시간은 8km 구간을 조사하는데 총 16시간이 소요되었다. 제안 방법으로 조사하면 동일구간을 조사하는데 총 1.4시간이 소요되어 기존 방법대비 14.6시간의 시간 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

투입인원을 살펴보면, 기존 방법에 의한 조사 시 1일 8시간 근무기준을 적용하여 2인·일이 투입되었다. 제안방법에 의한 조사시에는 0.35인·일이 투입되어 1.65인·일이 절감된 것을 확인할 수 있었다.

4.1.6. 조사항목 부문별 종합

드론은 유인기보다 낮게, 크레인 같은 지상 운송 수단보다 높은 고도에서 움직일 수 있으며, 사람이 접근하기 힘든 곳까지 쉽게 접근할 수 있다. 이러한 드론의 특성으로 빌딩으로 가득한 도심 속에서도 비행이 용이하고, 고속도로나 험난한 산악 지역을 포함한 어디든 어렵지 않게 접근이 가능한 장점을 교통조사에 활용한다면 업무의 효율을 Table 17과 같이 높일 수 있을 것으로 판단된다.

Table 17. Marginal Effect of Employing a Drone in Data Collection

Category	Advantages	Disadvantages	Cost ¹⁾
Traffic volume	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to implement where it is difficult to have manpower for survey, where dangerous to be accessed, and where video equipment cannot be installed • Less likely to miss traffic volume count 	<ul style="list-style-type: none"> • Data reduction time is required • Ineffective where a few manpower is required • Multiple drones are required when continuous recording is in need 	27% reduction
Queue length	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to implement with terrain conditions • Longer coverage of the queue length • A single drone can collect four different approaches simultaneously 	<ul style="list-style-type: none"> • Data reduction requires an additional extra time • Multiple drones are required when continuous recording is in need 	16% reduction
Alignment	<ul style="list-style-type: none"> • Less influenced by weather conditions • Easy to access where it is difficult to approach • Hardly affected by the site conditions • Stable high quality birdview aerial photographs can be taken 	<ul style="list-style-type: none"> • Distortion in the aerial images may be possible when the area is wide • Data reduction requires an additional extra time 	93% reduction
Highway design	<ul style="list-style-type: none"> • No sketch of geometry is necessary • Easy to access the place especially when it is difficult to reach • Stable high quality birdview photos can be taken 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficult to clarify the markings when highway traffic condition is congested • Roadside trees, tents and etc. may affect the identification of images 	39% reduction
Roadside	<ul style="list-style-type: none"> • Less affected by the weather conditions • Easy to implement where it is difficult to have manpower for survey, where dangerous to be accessed, and where video equipment cannot be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • Distortion in the aerial images may be possible when the area is wide • Data reduction requires an additional extra time 	68% reduction

89% reduction in overall (including highway alignment data survey)
 31% reduction in overall (excluding highway alignment data survey)

4.2. 해외사업 현장조사 종합 비교

도로선형조사 비용절감효과가 높게 나타나서 이를 고려하여 아래의 두 가지 내용으로 비교하였다.

Table 18. Overall Effect of Employing a Drone in Data Collection

Data collection items	Overall cost reduction	Note
<ul style="list-style-type: none"> • Traffic volume (27% reduction) • Queue length (16% reduction) • Alignment (93% reduction) • Highway design (39% reduction) • Roadside (68% reduction) 	89%	Inclusion of the alignment data
<ul style="list-style-type: none"> • Traffic volume (27% reduction) • Queue length (16% reduction) • Highway design (39% reduction) • Roadside (68% reduction) 	31%	Exclusion of the alignment data

도로선형조사를 포함할 경우, 교통조사부문에서 드론 활용 시 89%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 도로선형 조사를 제외할 경우는 드론 활용이 31%의 비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 인력수급이 용이하지 않거나, 기초자료가 부족한 해외지역에서의 교통조사 시 드론 활용방안을 제시하고 해외사업 사례를 토대로 비용 절감효과를 분석하였다.

교통량 조사 시 드론을 활용하면 고속도로 JCT, IC 등 조사원이 접근하기 위험한 지역도 안전하게 조사 가능하며, 기존 조사방법 대비 27%의 비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

대기행렬길이 조사 시 드론을 활용하면 대기행렬의 길이가 1km 이상 긴 구간도 조사가 가능하며, 기존 조사방법 대비 16%의 비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

도로 평면선형 조사에서 드론을 활용하면 사람이 접근하기 힘든 곳까지 쉽게 접근해서 조사가 가능하여 현장여건(고속도로, 산지 등)의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났고, 기존 조사방법 대비 93%의 비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

기하구조 조사에 드론을 활용하면 현장에서 기하구조를 스케치 할 필요없이 단시간 내 영상으로 기록할 수 있어 기존 조사방법 대비 39%의 시간·비용 절감효과가

있는 것으로 확인되었다.

지장물 조사에 드론을 활용하면 단시간 내에 조사함으로써 기상여건의 영향을 적게 받으며, 기존 조사방법 대비 68%의 시간·비용 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

5.1. 연구의 한계점

본 연구에서는 드론 조종인력의 단가를 무인기 조종사의 노임 대가 기준을 적용하고자 하였으나 대가 기준을 찾을 수가 없었다. 드론을 이용한 항공촬영업체의 비용도 조사해보았으나 1시간에 10만원에서 50만원으로 고가이며 편차가 심해 적용할 수 없었다. 이러한 이유로 실제 해외사업에서 현장조사 시 조사원을 관리하고 직접 조사에 참여하거나 드론을 조종하는 중급기술자의 대가 기준을 적용하였다.

드론을 교통량 조사에 활용해 본 결과, 가로구간이나 단순 유출입구간, 3지 독립교차로의 교통량 조사에 드론을 활용할 경우 인력조사에 의한 기존 방법에 비해 비용 절감효과가 없는 것으로 분석되었다. 대기행렬길이 조사로 알게 된 드론의 가시거리를 고려할 때, 1km 구간에 교차로가 여러 개소 존재하는 도시부의 교통량 조사 시 드론을 활용하면, 드론 1대로 인접 교차로를 한꺼번에 조사할 수 있어 비용 절감효과는 더욱 클 것으로 판단된다.

드론영상의 이미지는 렌즈의 중심을 기준으로 한 중심투영 영상이다. 따라서 렌즈의 중심점에서 촬영된 이미지는 지도와 같이 정사영상과 유사하지만 렌즈의 중심에서 멀어질수록 촬영된 이미지는 누워있는 듯한 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 영상을 가지고 지도에 가까운 영상(디지털항공사진)을 제작하려면 별도의 수치미분편위수정 과정을 거쳐야 한다. 도로 평면선형 조사에서 드론이 촬영한 영상은 수치 미분편위수정을 거치지 않은 영상으로 정사영상(ortho-image)라 할 수 없다. 즉, 드론에서 촬영한 사진과 측량에 의해 작성된 수치지도를 매칭할 경우 왜곡발생의 가능성이 존재한다는 것이다. 드론 사진을 토대로 설계를 진행하려는 경우 반드시 정사영상으로 보정하여 사용할 것과 여건상 그렇지 못한 경우에는 드론영상을 선형계획 단계에서 참고 자료로 한정하여 활용할 것을 권장한다. 드론 영상을 참고 자료로 활용하더라도 노선측량의 범위를 축소할 수 있어 업무의 효율성은 향상될 것으로 판단된다.

REFERENCES

Agricultural Economy Newspaper (December 6, 2017). "Gunsan, North Jeolla Province, Expected to Work on AI Control with Drones".

Chosun.com (December 15, 2016). "Arrive in 13 minutes after order ... Successful Amazon first drones delivery".

Chun, Byung-Seok (2017). *Analysis of Small-scale Topographic Change Using Drone Digital Image*, Graduate School of Global Convergence, Korea National University of Transportation, Master's Thesis.

E-newspaper (2016.11.17). "delivery of domino's pizza with drones".

Export-Import Bank of Korea (2013). *Feasibility Study on Maputo Traffic Environment Improvement Project in Mozambique*.

Hwang, Jung-Geun (2016). *Measurement of Surface Flow Velocity Using Drone-Based Surface Images*, Graduate School of Dong-A University, Master's Thesis.

Jae il Engineering. "Improvement of Transport System Master Plan in Yangon, Myanmar".

Kim Sang-woo (2017). *Anti-Season System for Secondary Vehicle Accident using drones*, Graduate School, Master's Degree thesis at Kyung Hee University.

Koo Jun-Seok (2015). *consideration of drones in forest service provider, and forest aviation safety journal*, Vol. 21.

Korea Engineering Association (2017). *Website* (<http://www.etis.or.kr>).

Korea Highway Corporation (2017). *Detailed Engineering Design Report of Consultancy Services for the Design, Supervision and Project Management for the Construction of Grade Separated Junctions at Pont Fer/Jumbo/Dowlut Roundabouts and for the Design, Supervision and Project Management for the Construction of A1-M1 Link Road*.

Korean Drone Industry Promotion Association (2017). *Homepage*, (<http://www.kodipa.org>).

Lee Won-young, Lee Sang-woo, Tech Holic (2015). *how drones change the future of industry*, Hans Media.

Ministry of Strategy and Finance, ADB, Korea Export-Import Bank (2014). *Bangladesh Waste Energy Utilization Support Project*, Ministry of Strategy and Finance.

National Legal Information Center (2017). *Website* (<http://www.law.go.kr>).

Newsweek (2014.01.07). "Unmanned aircraft changes the world".

News Tomato (2016.01.04). *From logistical delivery to disaster recovery ...A drone flies*.

Optical flow, <http://store.3drobotics.com/products/px4flow>.

Seoul Economy (October 27, 2016). *from attack surveillance to farming and leisure, there are times when drones are thrown from house to house*.

The Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012). *Analysis on Traffic Impact, and Cost Estimating Criteria for the Implementation of Improvement Plans*, Article 6.

Weekly trend (December 19, 2017). "Korea is also open to the era of drone courier".

Yeon Seung-Jun (2015). *Growth and Response of drones*, NIA, and IT & Future Strategy (10th) Report.