

신호교차로에서 무인교통단속 규제에 따른 주행 특성 Driving Behavior Characteristics under Red Right Camera Enforcement at Signalized Intersections

한 명 주	Han, Myungjoo	정회원 · 창원시정연구원 연구위원 (E-mail : mjhan@chari.re.kr)
이 승 봉	Lee, Soongbong	서울대학교 환경대학원 박사수료 · 교신저자 (E-mail : habanera82@hanmail.net)
김 혜 원	Kim, Hyeweon	서울연구원 연구원 (E-mail : khw119@si.re.kr)
이 영 인	Lee, Younglhn	서울대학교 환경대학원 교수 (E-mail : yilee@snu.ac.kr)
김 상 옥	Kim, Sangok	삼성교통안전문화연구소 수석연구원 (E-mail : sangock05.kim@samsung.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study was to analyze variations in the vehicle driving behavior characteristics on signalized intersections according to the use of traffic enforcement camera (red light camera).

METHODS : In order to analyze the driving behavior characteristics on signalized intersections when red light camera are installed, the target sites for investigation were selected depending on whether the red light camera is installed and accident rates increased after the installation. In particular, to analyze the characteristics of dilemma zones in signalized intersections, approach speed and deceleration speed of 3 type vehicles (passing vehicles during a yellow light, stopping at a yellow light, passing vehicles during a green light) were examined. Based on these data, the starting point, ending point, and distance of the dilemma zones were calculated. Also, the locations of increased traffic accidents and decreased accidents after the installation of the equipment were distinguished when analyzing the traffic accident characteristics.

RESULTS : Analysis results revealed that there was a tendency for the dilemma zone distance to decrease after the installation of equipment(red light camera) in most sites. This tendency was found to be due to the decrease in the approaching speed of vehicles at intersections after the installation of equipment, resulting in the starting and ending points of dilemma zone to become closer to the stop line. Moreover, analysis showed that the number of traffic accidents decreased for most intersections after the installation of equipment and safety of the intersections increased somewhat.

CONCLUSIONS : In general, installation of equipment(red light camera) caused the intersections approaching speed and dilemma zone distance to decrease. Decision-making is difficult for drivers in the dilemma zone, so the decrease in the dilemma zone distance implies an improvement in traffic safety. Furthermore, the number of accidents within intersections significantly decreased after the equipment was installed, leading to the conclusion that installation of the equipment affected the decrease in traffic accidents.

Keywords

Dilemma Zone, Red Light Camera, Approach Speed, Yellow Signal Timing

Corresponding Author : Lee, Soongbong
Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental
Studies, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul,
08826, Korea
Tel : +82.2.880.5667 Fax : +82.2.871.8847
E-mail : habanera82@hanmail.net

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received May, 23, 2015 Revised Jan, 18, 2016 Accepted Oct, 04, 2016

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

교통사고통계(경찰청, 2014)에 의하면 2013년 한 해 동안 총 215,354건의 교통사고가 발생하였는데, 이 중 신호기가 설치된 횡단보도, 교차로 등에서 발생한 사고는 총 64,075건으로 전체의 29.8%를 차지하고 있다. 신호교차로 사고는 운전자가 신호를 고의로 위반하여 발생할 수도 있지만, 신호시간에 따른 딜레마존 문제에 직면하여 발생할 가능성도 높다. 딜레마존이란 황색신호를 본 운전자가 정지 혹은 통과를 쉽게 판단할 수 없는 구간으로, 황색신호시간이 부적절하게 제공될 경우 이러한 구간이 생성된다.

황색신호시간은 적색신호 점등에 앞서 정지할 필요가 있는 운전자들에게 주의를 주기 위한 시간으로 딜레마존을 최소화하기 위한 모형을 통해 산정되고 있다. 현재 차량통행 위주 정책으로 대다수 교차로의 황색신호시간은 3초로 운영되고 있어 개별 교차로의 기하구조, 주행 특성 및 다양한 요인을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 황색신호시간이 적정 황색신호시간보다 부족할 경우, 교차로 진입 위반으로 인한 교통사고 발생 확률이 증가하고, 황색신호가 적정 황색신호시간보다 길 경우 운전자가 황색신호를 무시해 오히려 사고가 증가할 확률이 높다. 일반적으로 신호변환시간이 5초를 넘는 경우에는 5초를 황색신호시간으로 사용하고 남은 시간을 교차로정리에 소요되는 전적색신호시간으로 활용하기도 한다(경찰청, 2011). 따라서 교차로의 안전성을 향상시키기 위해서는 적정 황색신호시간이 산정되어야 하며, 이를 위해 교차로 주행특성, 딜레마존 특성(길이, 시작점, 끝점) 등에 대한 정확한 분석이 선행되어야 한다.

이와 더불어, 신호위반, 과속 등의 인적요인으로 인한 교통사고를 줄이고 단속의 효율성과 정확성¹⁾을 높이기 위하여 무인교통단속장비 설치가 증가하고 있다. 우리나라는 2001년에 무인교통단속장비(신호위반 단속시스템)를 도입하여 2013년 기준 전국을 대상으로 약 5,230대의 단속장비가 운영되고 있다. 무인교통단속장비 설치로 인해 운전자의 교차로 통과행태(접근속도 평균 및 표준편차, 감가속도 등), 교통사고 유형, 딜레마존 특성(길이, 시작점, 끝점) 등 교차로 주행특성이 변할 것으로 예상된다. 또한 교차로의 황색신호시간이 부족한 상황에서 신호위반 단속을 실시할 경우 경찰의 교통 단속에

1) 인력에 의한 24시간 상시단속은 시간·비용 측면에서 비효율적이고, 단속자의 위험 노출과 단속여부에 대한 시비가 발생할 가능성이 높다.

대한 국민적 신뢰성이 저하될 수 있기 때문에 장비(신호위반 단속)가 설치된 교차로에서의 주행특성분석과 이를 기반으로 한 황색신호시간 산정의 중요성이 점차 커지고 있다. 실제로 미국에서는 산정식에 의해 산출된 시간보다 짧은 황색신호를 운영하는 구간에서의 신호위반 단속에 대한 적법성이 사회적 이슈로 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 무인교통단속장비(신호위반 단속) 운영에 따른 교차로 주행특성 변화와 적정 황색신호시간 산정을 위한 딜레마존 특성을 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 내용

무인교통단속장비 설치에 따른 교차로 주행특성 변화를 분석하기 위하여 먼저, 황색신호시간 산정식, 딜레마존에 대한 이론을 살펴보고 관련 선행연구를 검토하였다.

조사대상은 무인교통단속장비 설치 이후 사고 증감 정도에 따라 유형을 구분하여 선정하고, 인접한 구간 중 장비가 설치되지 않은 구간을 비교대상으로 선정하였다. 조사대상구간의 교차로 접근속도, 감가속도 등 교차로 통과행태 조사를 기반으로 무인교통단속장비 설치 여부에 따른 딜레마존 특성, 사고유형 분석 등 교차로 주행특성 변화를 살펴보았다.

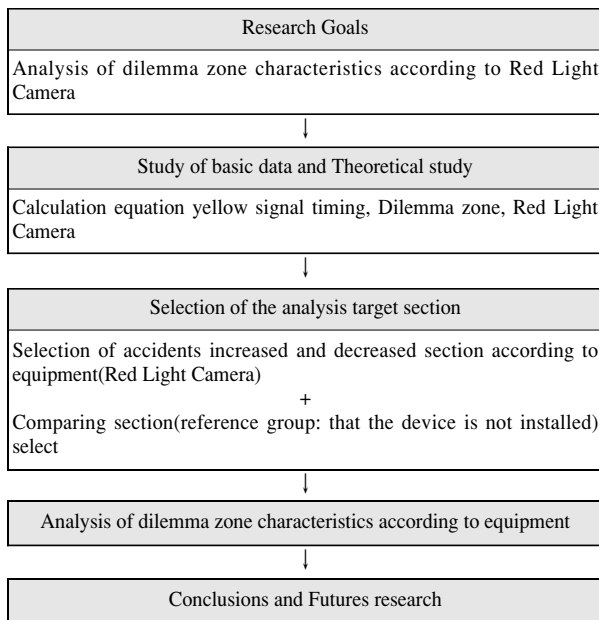


Fig. 1 Research Flow

2. 이론적 고찰

2.1. 황색신호시간

황색신호는 녹색신호의 끝을 경고하거나 곧 적색신호

가 들어온다는 예고로서, 일종의 주의신호이다. 이 경우 직진하는 차량은 정지선에 정지하여야 하며, 이미 교차로에 진입하고 있는 차량은 신속하게 그 지역을 벗어나야 한다. 황색신호시간과 적색신호시간으로 구성된 신호변환시간은 적색신호 점등에 앞서 정지할 필요가 있는 운전자들에게 주의를 주기 위한 적절한 시간을 제공할 수 있도록 설계되어야 한다(경찰청, 2011). 이러한 황색신호시간은 교차로 폭, 접근속도, 임계감속도, 운전자 반응시간 등을 고려하여 산출한다.

$$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v} - T_s \quad (1)$$

- 여기서, Y : 황색시간(초)
- t : 지각-반응시간(보통 1초)
- v : 교차로 진입차량의 접근속도(m/s)
- a : 진입차량의 임계감속도(보통 5.0m/s²)
- w : 교차로 횡단길이(m)
- l : 차량의 길이(보통 5m)
- T_s : 출발인지반응 및 여유시간(1.5s 적용)

Table 1은 기존에 개발된 황색신호시간 산정식을 정

Table 1. Yellow Signal Timing

Name	Model description
GHM model (1960)	$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v}$ - Define the dilemma zone and calculate the yellow time to minimize the dilemma zone
Williams model (1977)	$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v} - [T_s + (\frac{2D}{a})^{1/2}]$ - Try to reduce the yellow time to solve the problems of GHM model enclosing
LHG model (1996)	$Y = t + \frac{v_t}{2a} + \frac{(w+l)}{v_t}$ - Calculate the yellow time by using the access speed to the speed limit of the approach line to explain the wider range of vehicle characteristic than GHM model
ITE and AASHTO	$CP = [t + \frac{1.47V}{2(a+32.2g)}] + [\frac{(W+L)}{V}]$ - Described by separation the yellow time and red light erase time - Applying a 85th-percentile speed in consideration of the inclination of the road
KNPA (2011)	$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v} - T_s$ - Calculated considering that the starting reaction time and stopping reaction time, if the yellow time is longer than 5 seconds, giving all red lights or reducing the intersection distance

리한 자료이다. 황색신호시간 산정은 교통안전을 위한 신호교차로 제어에서 중요한 연구주제로, 1929년 교차로 폭과 속도의 함수로 처음 개발된 황색신호시간 설정 모형은 1960년 딜레마존을 최소화하기 위한 모형으로 발전하였고, 현재에 이르고 있다. 황색신호시간 설정에 가장 중요한 변수는 교차로의 접근속도이다. 접근속도는 제한속도, 구간평균접근속도, 85th 속도 등이 다양하게 이용되고 있다.

2.2. 딜레마존(Dilemma zone)

딜레마존은 주행차량이 황색신호가 시작되는 시점에서 감속을 시작하여도 정지선 전에 정지하기가 불가능하고, 가속 주행 없이는 교차로를 완전히 통과할 수 없는 구간을 의미한다. 딜레마존은 차량속도, 교차로 형태, 차량 특성, 운전자 특성, 정지선으로부터의 거리 등에 의해 결정될 수 있다. 특히, 차량의 접근속도는 딜레마존 길이를 산정하는데 가장 결정적인 요인이다.

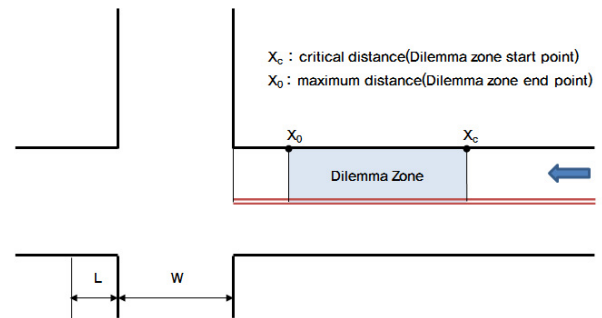


Fig. 2 Dilemma Zone

딜레마존과 관련된 기존 연구는 다수 존재하며, 관련 연구는 신호 설계자적 입장과 운전자적 입장으로 구분하여 정리할 수 있다.

Gazis et al.(1960)와 Martin and Kalyani (2003) 등은 신호 설계자적 입장에서 딜레마존을 운전자가 황색신호가 끝나기 이전에 교차로를 통과 혹은 정지하기 힘든 영역으로 정의하였다. 이와 동일한 관점에서 류창남 외(2008)는 딜레마존이 생기는 상황을 ①차량이 실제 정지선에 안전하게 정지하지 못한 경우, ②황색시간에 교차로를 완전히 빠져나가지 못한 교차로 내에 정지하는 경우, ③황색신호 시 정지선에 진입 후 적색신호에 교차로를 통과하는 경우 등으로 구분하여 구체화하였다.

딜레마존의 시작점, 끝점, 길이 등의 특성을 자세히 살펴보면, 접근속도 v_0 인 차량이 교차로 내에 진입하지

않고 정지선에 정지할 수 있는 거리(X_c)는 Eq. (2)와 같이 계산된다.

$$X_c = \left(t + \frac{v_0}{2a}\right) \times v_0 \quad (2)$$

여기서, X_c : 딜레마구간 시작점
 v_0 : 차량의 접근속도
 t : 운전자의 인지-반응시간
 a : 차량의 감속도

또한 접근차량이 황색신호시간 동안 교차로를 통과할 수 있을 때 정지선부터의 거리는 Eq. (3)과 같다.

$$X_0 = v_0\tau - (w + l) \quad (3)$$

여기서, X_0 : 딜레마구간 끝점
 v_0 : 차량의 접근속도
 τ : 황색신호시간
 w : 교차로폭
 l : 차량길이

그러나 $X_c > X_0$ 가 되면 딜레마존이 발생하며, $X_c > D > X_0$ 의 범위 내에 있는 차량은 황색시간이 끝나기 전에 정지선 전에 정지할 수도 없고, 교차로를 완전히 통과할 수도 없게 된다. 여기서, D 는 딜레마존 길이가 되며, 산정 식은 Eq. (4)와 같다.

$$D = v_0(t - \tau) + \frac{v_0^2}{2a} + (w + l) \quad (4)$$

딜레마존은 운전자 시각에서 의사결정이 어려운 구간 (indecision zone)의 개념으로 설명가능하다. Parsonson(1974)은 속도에 따른 정지 확률을 이용하여 딜레마존을 정의하였으며, 운전자의 90%가 황색신호가 시작될 때 정지선에 도착하여 정지하려는 구간 (upstream)과 오직 10%의 운전자만이 정지하려고 하는 구간(downstream) 사이를 딜레마존이라 정의하였다. 또한 Zegeer and Deen(1977)는 Parsonson과 동일하게 속도에 따른 정지 확률을 활용하였으며, 딜레마존의 상류경계(90%의 운전자가 정지)는 교차로로부터 4.5~5초 동안의 통행거리이고 하류경계(10%의 운전자가 정지)는 교차로에서부터 2~2.5초 동안의 통행거리로 정의하였다. 따라서 일반적인 딜레마존의 길이는 2.5~3초

동안의 통행거리이다. Sheffi and Mahmassani(1981)는 교통신호가 녹색에서 황색으로 바뀌는 시간에 운전자가 교차로를 통과 혹은 정지하기를 결정하기 어려운 구간이라고 정의하였고, 35mph(56kph) 이상의 속도에서 운전자 행태모형을 개발하여 황색신호시간에서 정지선에 도착하기 위한 최소시간이 임계치보다 작다면 운전자는 정지하는 것으로 가정하고, 프로빗 모형을 이용하여 딜레마존의 경계를 설정하였다.

2.3. 무인교통단속장비

무인교통단속장비(신호위반 단속)는 신호교차로에서 신호위반차량을 단속하는 장비로, 정지선 부근에 설치된 검지장치를 통하여 위반차량을 적발한 후, 영상(위반사향, 시간, 영상 등)을 수집하여 위반정보를 센터 표준서버로 전송하는 기능을 수행한다. 우리나라는 2001년에 무인교통단속장비(신호위반단속시스템)를 도입하였고, 2013년 기준 과속단속장비를 포함한 무인교통단속장비는 전국에 총 5,230대가 운영중이다. 최근 1년간 272대(5.5%)가 추가적으로 설치되었고, 이는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

Table 2. Automatic Enforcement Equipment Current State

Category	2012			2013			Growth
	Total	Speeding	Multi-functional	Total	Speeding	Multi-functional	
Total	4,958	2,670	2,288	5,230	2,742	2,488	5.5%
Seoul	492	175	317	509	180	329	3.5%
Gyeonggi	1,030	372	658	1,097	383	714	6.5%

무인교통단속장비 설치가 교통사고에 미치는 영향을 분석한 연구는 상당수 있다. 대부분 연구에서 무인교통단속장비 설치로 인해 교통사고 발생건수는 감소된 것으로 나타났다(도로교통공단(2004), 김명석(2006), 김태영·박병호(2009), Retting et al.(2002), Synectics Transportation Consultants(2003), Schneider(2010)). 또한 사망사고가 감소되는 것으로 분석되어 교통안전 개선 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(도로교통공단(2004), 김명석(2006), 이상혁 외(2012)).

일부 연구에서는 무인교통단속장비 설치가 교통사고 발생빈도를 증가시키는 것으로 분석되고 있는데(이상혁 외(2012)), 이는 해당구간에 익숙한 운전자들이 무인교통단속장비 설치를 인지하지 못함에 따른 반작용효과로 판단할 수 있을 것이다. Retting et al.(2003)는 무인교통단속장비 설치에 따른 신호위반 및 교통사고 감소

효과는 무인교통단속장비가 설치된 장소, 조사기간에 따라 유동적일 수 있다고 제시하고 있다. 그러나 교통사고 유형 중 우측직각추돌과 후방추돌은 교차로 신호위반단속카메라 설치로 일정하게 사고건수가 감소하는 것으로 분석하였다.

무인교통단속장비 설치에 따른 효과를 분석하는 기법으로, Washington(2005)은 4가지 방법을 제안하였다 (①신호위반 단속카메라 설치 전·후 교통사고건수를 단순 통계학으로 분석하는 방법, ②교통사고에 가장 큰 영향을 미치는 교통량을 고려한 신호위반단속카메라 설치 전·후 교통사고 분석, ③신호위반단속카메라가 설치되어 있는 교차로와 설치되어 있지 않은 교차로를 대상으로 설치 전·후 교통사고분석, ④경험적 베이즈(Empirical Bayes) 방법을 활용한 교차로 신호위반단속카메라 설치 전·후 교통사고분석). Shin and Washington(2007)은 미국 애리조나 주를 대상으로 무인신호위반단속장비의 안전성 파급효과를 EB방법을 적용하여 분석하였는데, 직각충돌사고는 통계적으로 유의미하게 감소하는 것으로 나타났고, 후미추돌사고는 다소 증가하는 것으로 분석되었다.

3. 연구방법

3.1. 분석개요

3.1.1. 분석방법론

무인교통단속장비(신호위반 단속) 설치에 따른 교차로 주행특성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 분석방법론을 설정하였다. 먼저, 무인교통단속장비 설치, 교통사고 증감 여부를 통해 조사대상지를 선정할 후 해당 구간의 교통사고 특성을 분석하였다. 이어, 조사시간, 촬영기법, 촬영범위, 자료추출 방법 등 조사방법론을 설정하고 비디오 분석을 통해 3가지 유형(황색정지, 황색통과, 녹색통과)²⁾의 접근속도, 감가속도 등 교차로 통과행태를 살펴보았다. 이를 기반으로 무인교통단속장비 설치에 따른 딜레마존 특성을 분석하였다.

3.1.2. 조사대상구간 선정

본 연구는 무인교통단속장비 설치로 인한 딜레마 구간의 행태변화를 분석하고, 교통사고와의 관계를 분석하고자 한다. 따라서 조사대상 구간은 무인교통단속장비 설치지점과 지점별 교통사고 증감자료를 검토하여,

2) 3가지 유형(① 녹색통과(녹색시간 시 통과차량), ② 황색통과(황색시간 시 통과차량) ③ 황색정지(황색시간 시 정지차량))를 대상으로 접근속도, 감가속도 조사

무인교통단속장비 설치 이후 교통사고가 증가한 구간 3개소(A)와 감소한 구간 3개소(B)를 본 연구의 대상구간으로 선정하였다. 사고증가/사고감소 구간을 구분하여 분석한 이유는 무인교통단속장비 설치가 사고에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. 교통사고 증가 구간을 추가로 고려한 이유는 단속장비를 설치했음에도 불구하고 사고가 증가한 원인 등을 분석하기 위하여 조사대상구간에 포함하였다. 즉, 이를 통해 무인교통단속장비 설치 이후 사고가 감소한 지점과 증가한 지점의 차이를 분석하고자 하였다. 또한 분석구간과 기하구조와 교통특성이 유사한 지점, 즉 분석구간 반대방향을 참조지점으로 설정하였다. 참조지점을 설정한 이유는 기하구조와 교통특성이 유사한 경우 무인단속카메라 설치 유무에 따른 통행특성의 변화를 분석하기 위함이다.

참조지점 선정기준은 대상구간과 교통량, 기하구조가 유사한 접근로 선정을 위해 1차적으로 동일 교차로를 대상으로 장비가 설치되지 않은 방향을 고려하였고, 요건을 불만족할 경우 인접교차로를 선정하였다. 봉천로 사거리의 경우, 접근로 도로선형이 조사기준에 만족하지 않는 것으로 나타나 인접교차로인 현대시장 입구 사거리를 참조지점으로 선정하였다.

Table 3. Types of Analysis Sections

Section	Accidents increase	Accidents decrease
Enforcement section	A(3 places)	B(3 places)
Reference section	A adjacent area* (3 places)	B adjacent area* (3 places)

* : Reference section: Adjacent to Enforcement section, where with similar characteristics(geometry, signal operation, vehicle characteristic)

공간적 범위는 서울시 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구, 서초구를 대상으로 설정하였으며, 시간적 범위는 2010~2012년 설치된 무인교통단속장비(신호위반 단속)를 대상으로 하였다. 교차로 외에 설치된 장비 즉, 지하차도 입구, 삼거리, 횡단보도, 단일로 등에 설치된 장비는 본 연구대상에 부합하지 않으므로 제외하였다.

무인교통단속장비 설치 후 사고가 감소한 지점과 사고가 증가한 지점의 차이를 분석하기 위해, 무인교통단속장비 설치 전 1년, 설치 후 1년의 교통사고 발생현황을 살펴보고 설치 후 교통사고 증가/감소지점으로 구분하였다. 딜레마존은 신호기가 설치된 곳에서 황색신호가 주어졌을 때, 교통안전 측면에서 진행방향과 다른 교통류와의 상충 문제와 관련되는 것이므로 교차로의 종단경사 등 딜레마존에 영향을 줄 수 있는 요인은 제외하

여야 한다. 따라서 차로폭, 구배 등 기하구조를 고려하여 조사대상구간 범위를 축소하였다. 마지막으로 현장 상황이나 장애물 등의 제약을 고려하여 실제 비디오 촬영 및 자료추출이 가능한 지점을 선정하였다.

최종 선정된 지점은 Table 4와 같다(총 12개 지점 : 단속(6개소) + 미단속(6개소)).

Table 4. Analysis Sections(Automatic Enforcement Equipment: Red Light Camera Area + Reference Area)

Category	Enforcement section				Reference section	
	Location (Direction)	Operation day	Accidents		Location (Direction)	
			before	after		
Accidents decrease	Nangok (Sadang → Gimpo airport)	2010-10-25	18	15	Nangok (Gimpo airport → Sadang)	
	Bongcheon-ro (Modern market entrance → Wondang elementary school)	2010-06-21	11	5	Modern market entrance (Bongcheon-ro → Euncheon-gil entrance)	
	Yangpyeong-dong (Gyeongin highway entrance → Yangwha bridge)	2010-06-21	15	4	Yangpyeong-dong (Yangwha bridge → Gyeongin highway entrance)	
Accidents increase	Mullae-dong (Yeongdeungpo → Sindorim)	2010-10-25	13	18	Mullae-dong (Sindorim → Yeongdeungpo)	
	Seoul Nat'l Univ. (Sadang → Sillim)	2010-10-25	9	16	Seoul Nat'l Univ. (Sillim → Sadang)	
	Wondang (Seoul Nat'l Univ Entrance → Nakseongdae)	2010-10-25	9	14	Wondang (Nakseongdae → Seoul Nat'l Univ. Entrance)	

note: Reference section-Adjacent to Enforcement section, where with similar characteristics(geometry, signal operation, vehicle characteristic)

Source: Traffic Accident Analysis System (www.taas.koroad.or.kr)

3.1.3. 교통사고 특성분석

무인교통단속장비 설치에 따른 교통사고 특성변화를 분석하기 위하여 단속장비가 설치된 6개 지점을 대상으로 설치 전 1년, 설치 후 1년의 교통사고특성을 분석하였다. 교통사고 자료는 도로교통공단 교통사고 분석시스템(www.taas.koroad.or.kr)을 활용하였고, 사고자료 수집의 공간적 범위는 무인교통단속장비 설치방향 전·후 100m를 대상으로 설정하였다.

무인교통단속장비 설치로 인해 교통사고에 미치는 영향을 분석한 연구는 다수 존재하고, 국·내외 대부분의 연구는 무인교통단속장비 설치로 인해 교통사고 건수가 감소하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구 조사대상지점들의 교통사고를 분석한 결과, 신호위반으로 인한 사고,

교차로 내부사고가 크게 감소한 것으로 분석되었다. 반면, 사고가 증가한 지점은 신호위반 사고가 증가한 것으로 분석되나, 단순히 장비설치로 인해 사고가 증가하였다고 판단하기는 어렵다.

Table 5. Traffic Accidents by Violation

(unit : frequency/year)

Accidents	Location	Classification	Signal violation	Wild driving	Safe distance	etc	Total
Decrease	Nangok	Before	8	7	2	1	18
		After	1	4	6	4	15
		Growth	-7	-3	4	3	-3
	Bongcheon-ro	Before	0	7	2	2	11
		After	1	0	2	2	5
		Growth	1	-7	0	0	-6
	Yangpyeong-dong	Before	6	7	1	1	15
		After	0	3	0	1	4
		Growth	-6	-4	-1	0	-11
Increase	Mullae-dong	Before	1	7	4	1	13
		After	4	10	2	2	18
		Growth	3	3	-2	1	5
	Seoul nat'l Univ.	Before	4	1	4	0	9
		After	4	3	3	5	15
		Growth	0	2	-1	5	6
	Wondang	Before	3	4	2	0	9
		After	5	5	1	1	12
		Growth	2	1	-1	1	3

Table 6. Traffic Accidents by Location

(unit : frequency/year)

Accidents	Location	Classification	Intersection		Single	etc	Total
			Near	In			
Decrease	Nangok	Before	3	8	7	0	18
		After	4	2	9	0	15
		Growth	1	-6	2	0	-3
	Bongcheon-ro	Before	0	3	8	0	11
		After	0	2	3	0	5
		Growth	0	-1	-5	0	-6
	Yangpyeong-dong	Before	3	10	2	0	15
		After	1	0	3	0	4
		Growth	-2	-10	1	0	-11
Increase	Mullae-dong	Before	3	3	6	1	13
		After	10	3	5	0	18
		Growth	7	0	-1	-1	5
	Seoul nat'l Univ.	Before	2	3	4	0	9
		After	4	3	8	0	15
		Growth	2	0	4	0	6
	Wondang	Before	3	1	5	0	9
		After	2	5	5	0	12
		Growth	-1	4	0	0	3

3.2. 조사개요

3.2.1. 조사시간

딜레마존은 임의의 차량이 오직 신호기에 의한 영향을 받아 정지 또는 통과할 때에만 정확히 산정할 수 있다. 조사대상 차량이 신호기가 아닌 조사지점의 통행패턴, 예컨대 선행차량에 의해 진행여부를 결정한다면 정확한 딜레마존을 산정하기 어렵다. 따라서 본 연구는 선행차량의 영향을 배제하기 위하여 조사시간대를 통행량이 비교적 적은 새벽시간대(오전 5:00~7:00)로 설정하였다.

3.2.2. 촬영기법

비디오 촬영은 일반적으로 Landscape View기법, Station View기법, Approaching View기법, Departing View기법, Overhead View기법 등으로 분류될 수 있다. 황색신호 등화에 반응하는 운전자의 행태를 분석하고, 교차로 접근속도를 조사하기 위해 본 연구에서는 촬영구간을 차량의 진행방향 상류부에서 교차로 정지선까지로 설정하였다. 해당 범위는 보통 60m 이상의 도로구간으로, 이와 같은 긴 도로구간을 촬영할 수 있는 기법으로는 Landscape View기법이 가장 적합할 것으로 판단되어 본 연구에서는 이와 같은 촬영기법을 적용하였다.

3.2.3. 촬영범위

표본의 편의(sample bias)를 최소화하기 위하여 조사지점을 통과하는 차량전체를 대상으로 비디오 촬영을 실시하였고, 촬영범위는 FHWA에서 정한 조사범위표 Table 7에 기초하여 설정하였다. 교차로에 접근하는 차량의 접근속도분포와 조사지점의 제한속도가 60km/h인 것을 감안하여 조사범위를 정지선으로부터 진행방향 상류부 100m로 설정하였다.

Table 7. Upper Range of Investigation

Index	Range							
	40	48	56	64	72	80	88	96
Speed(km/h)	40	48	56	64	72	80	88	96
Upper range(m)	60	72	84	96	108	120	132	144

Source : FHWA, Engineering Factors Affecting Traffic Signal Yellow Time - Data Collection Manual

3.2.4. 자료추출

비디오 촬영자료를 Adobe Premiere CC 2014 S/W를 이용하여, 분석데이터를 추출하였다. Adobe Premiere

CC 2014 S/W은 초당 1/30프레임 단위로 분할이 가능하여 데이터를 보다 면밀하게 분석할 수 있는 기능을 지원하고 있다.

3.2.5. 접근속도 산출

딜레마존에 영향을 미치는 주요 요인은 교차로 접근속도이다. 특히 딜레마존 특성에 영향을 미치는 차량은 황색신호 시 접근차량이므로, 본 연구에서는 교차로의 제한속도 뿐 아니라, 3가지 유형(황색정지, 황색통과, 녹색통과)의 차량을 대상으로 접근속도³⁾, 감가속도 등을 조사하였다. 접근속도는 선행차량과의 거리가 5m 이상 떨어져 선행차량의 영향없이 정지/통과가 가능한 차량을 대상으로 산출하였다. 분석에 사용된 표본수는 3가지 유형(녹색시간 통과차량, 황색등화 시 통과차량, 황색등화 시 정지차량)으로 구분하여 각각 30대로 선정하였다.

Table 8. Types of Approach Speed

Category	Contents	Sample size
Speed limit	- Speed limit of analysis point	-
Sample survey	Green time passing vehicle	- Access speed of the vehicle has passed intersection without the influence of preceding vehicle on green signal
	Yellow time passing vehicle	- Access speed of the vehicle has passed intersection without the influence of preceding vehicle on yellow signal
	Yellow time stopping vehicle	- Access speed of the vehicle has stopped intersection without the influence of preceding vehicle on yellow signal

3.2.6. 분석대상구간 현황

무인교통단속장비 설치지점의 참조지점(미단속구간)은 봉천로사거리를 제외하고 동일교차로의 반대방향으로 선정하였다. 봉천로사거리의 경우 동일교차로 반대

3) 접근속도 유형을 다음과 같이 3개로 구분하여 샘플조사 수행

- ① 녹색통과/녹색시간 시 통과차량) : 녹색신호 동안 선행차량의 영향 없이 교차로를 통과한 차량을 대상으로 교차로에 접근하는 차량의 분석 조사지점 내의 구간통행속도(km/h)
- ② 황색통과/황색시간 시 통과차량) : 황색신호 등화 시 선행차량의 영향 없이 교차로를 통과한 차량을 대상으로 황색신호 등화 이전의 구간통행속도(km/h)
- ③ 황색정지(황색시간 시 정지차량) : 황색신호 등화 시 선행차량의 영향 없이 교차로 정지선에 정지한 차량을 대상으로 황색신호 등화 이전의 구간통행속도(km/h)

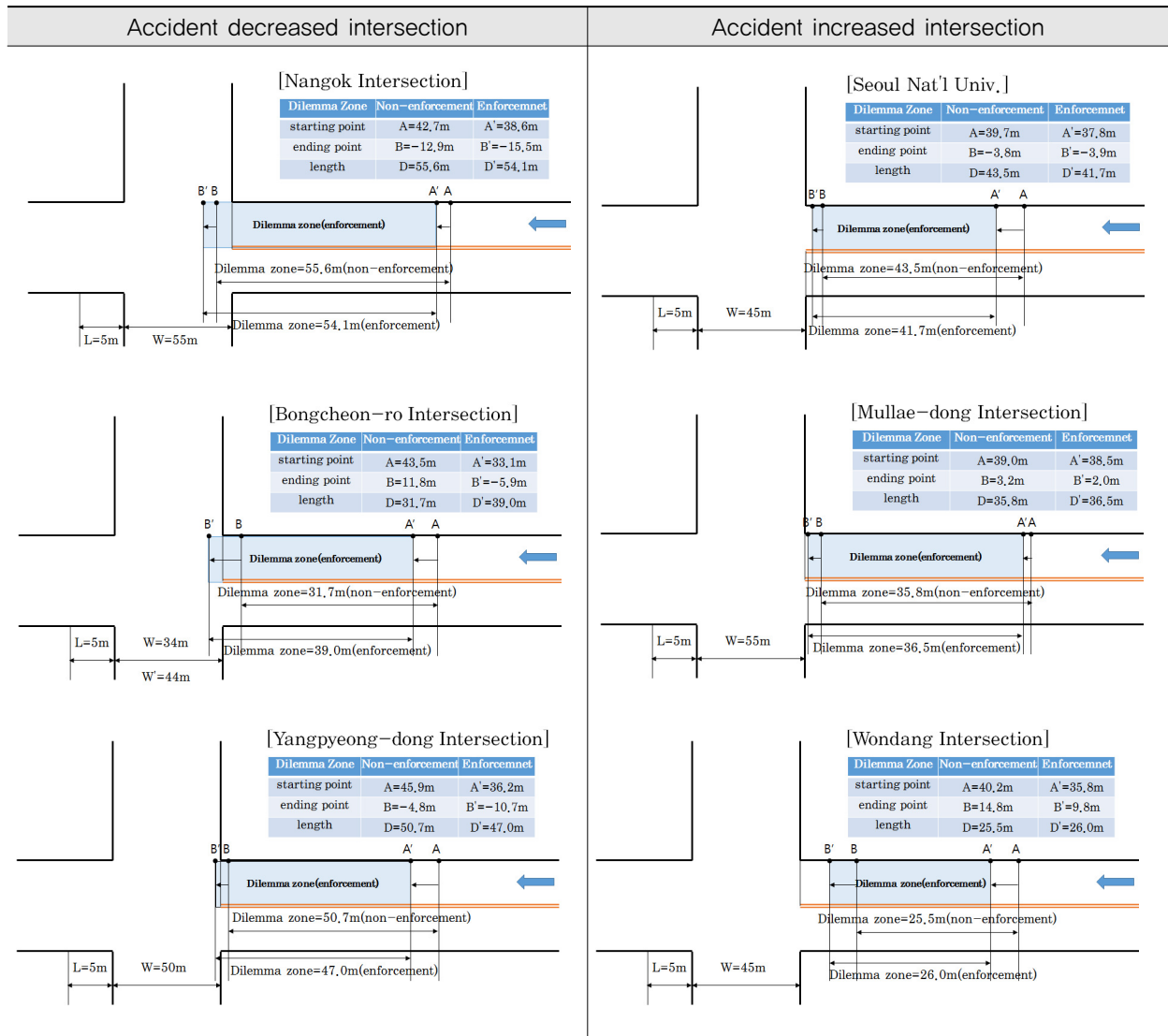


Fig. 3 Analysis Results of Dilemma Zone

폭이 다르기 때문인 것으로 나타났다. 즉, 황색신호 시 정지/통과차량의 접근속도가 모두 감소하여도 단위속도 당 딜레마존 변화량에 차이가 있기 때문에 정지/통과차량의 접근속도 감소폭에 따라 딜레마존의 길이는 증가할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 딜레마존의 끝점이 음의 값이 산출되는 지점이 발생하였는데, 이는 실제 운영 중인 황색신호시간이 부족하여 조사된 접근속도로 교차로를 통과하지 못함을 의미한다고 할 수 있다.

신호교차로에서 무인단속장비 설치에 따른 주행특성의 변화를 분석하기 위하여 장비 설치 유무에 따라 그룹을 분류하여 개별 차량들의 접근속도 분포를 분석하였다. Fig. 4는 분석에 사용된 개별차량들의 속도분포를 비교한 자료이다. 개별차량들의 접근속도에 대한 분포를 분석한 결과 단속구간이 미단속구간에 비하여 평균 접근속도, 속도편차가 낮은 것으로 나타났다. 이는 단속

구간의 경우 대부분의 차량이 제한속도 이하로 접근하기 때문인 것으로 나타났다.

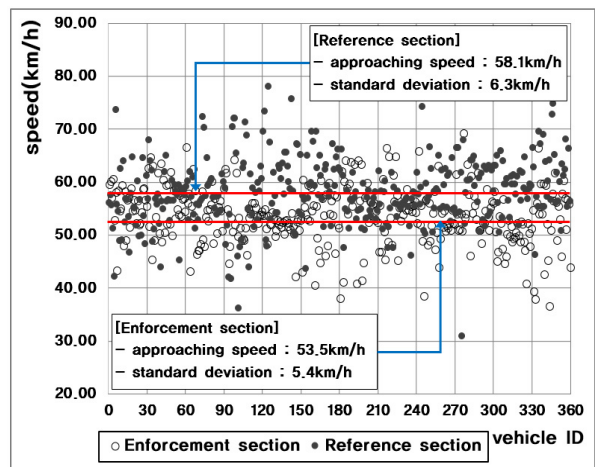


Fig. 4 Distribution of Approaching Speed

Fig. 5는 단속장비 설치에 따른 접근속도의 누적분포를 분석한 자료이다. 단속구간의 경우 제한속도(60km/h) 이하로 주행하는 차량의 비율은 약 90%, 미단속구간은 약 65%인 것으로 나타났다. 즉, 단속카메라는 신호교차로에 접근하는 차량의 접근속도를 낮추는데 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

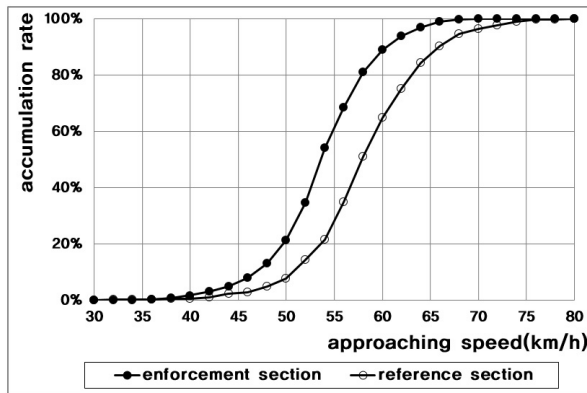


Fig. 5 Accumulation Distribution of Approaching Speed

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 일차적인 목적은 무인교통단속장비(신호위반 단속)로 인해 교차로 주행특성에 생기는 변화를 살펴보는 것이다. 무인교통단속장비 설치 이후 사고 증감에 따라 유형을 구분하여 조사대상구간을 선정하였고, 이와 인접한 지역 중 무인교통단속장비가 설치되지 않은 구간을 비교대상으로 선정하였다. 또한 무인교통단속장비 설치에 따른 딜레마존 특성을 분석하기 위해 황색신호 시 통과/정지 차량, 녹색신호 시 통과차량을 대상으로 접근속도, 감가속도 등을 조사하고, 이를 기반으로 딜레마존의 시작점과 끝점, 길이를 산출하였다.

분석결과, 대부분 지점에서 장비운영으로 인해 딜레마존 길이가 감소되는 경향을 보였으나, 오히려 딜레마존 길이가 증가한 구간도 일부 나타났다. 딜레마존 길이가 감소한 것은 무인교통단속장비 설치로 인해 접근속도가 감소하여 딜레마존의 시작점과 끝점이 정지선 쪽으로 앞당겨졌기 때문이며, 접근속도 감소에도 불구하고 딜레마존 길이가 다소 증가한 구간은 황색신호 시 정지차량과 통과차량의 속도감소폭이 다르기 때문으로 분석되었다. 또한 딜레마존의 끝점이 음의 값이 산출되는 지점이 발생하였는데, 이는 실제 운영 중인 황색신호시간이 부족하여 조사된 접근속도로 교차로를 통과하지 못함을 의미한다.

일반적으로 무인교통단속장비를 설치하면 교차로 접

근속도가 감소되고 운전자의 의사결정이 어려운 딜레마존의 길이가 감소되어 교차로 안전성은 다소 개선되는 것으로 판단할 수 있다. 반면 일부 지점에서 장비 설치 이후 교통사고가 증가하였는데, 본 연구에서 장비 설치 후 교통사고가 증가한 지점의 교통사고 특성을 분석한 결과, 장비 설치로 인해 교통사고가 증가한 것으로 보이는 어려운 것으로 판단된다. 교통사고는 인적 요인, 물리적 요인, 환경적 요인이 복합적으로 연관되어 발생되기 때문이며, 이러한 구간의 경우 해당지역에 대한 세밀한 조사 및 분석을 통해 개선대책을 제안해야 할 것이다.

REFERENCES

- AASHTO, 1965. A Policy on Geometric Design of Rural Highways.
- FHWA, 1984. Engineering Factors Affecting Traffic Signal Yellow Time?Data Collection Manual.
- Gazis, D., Herman, R. and Maradudin, A., 1960. The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow. Operations Research 8, No. 1.
- ITE, 2008. Traffic Signal Timing Manual.
- Kim M. S., 2006. A Study on the Characteristics of Traffic Accidents on Major Intersection before and after installing Red Light Camera, Seoul National University of Science and Technology, Master's Thesis.
- (김명석, 2006. 무인다가능단속시스템 설치 전·후 교차로 교통사고 발생특성에 관한 연구. 석사학위논문, 서울산업대학교 산업대학원)
- Kim T. Y., 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.
- (김태영, 박병호, 2009. 경험적 베이즈 방법을 이용한 무인신호위반단속장비의 사고감소 효과. 한국ITS학회논문지, 제8권 제6호)
- Korean National Police Agency, 2011. Traffic Signal installation, maintenance manual.
- (경찰청, 2011. 교통신호기 설치·관리 매뉴얼)
- Korean National Police Agency, 2014. Road Traffic Accidents in Korea 2013.
- (경찰청, 2014. 2013년 교통사고통계)
- Lee S. H., Lee Y. D., Do M. S., 2012. Safety Impacts of Red Light Enforcement on Signalized Intersections, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.30, No.6.
- (이상혁, 이용두, 도명식, 2012. 교차로 신호위반 단속카메라 설치가 차량사고에 미치는 영향. 대한교통학회지, 제30권 제6호)
- Liu, C., Herman, R. and Gazis, D., 1996. A Review of the Yellow Interval Dilemma. TR-part A, Vol.30 Issue 5.

- Martin, P. T., Kalyani, V. C., 2003. Evaluation of Advance Warning Signals on High Speed Signalized Intersections. Department of Civil and Environmental Engineering University of Utah Traffic Lab.
- Parsonson, P. S. 1974., Small area detection at intersection approaches. ITE Technical Committee Report No 18.
- Retting, R. A. et al., 2002. Reductions in Injury Crashes Associated With Red Light Camera Enforcement in Oxnard, California. American Journal of Public Health, 92(11).
- Retting, R. A. et al., 2003. Effects of Red Light Cameras on Violations and Crashes : A Review of the International Literature. Traffic Injury Prevention, Vol.4, Issue 1.
- Road traffic authority, 2004. Analysis of accident type at intersection installed red light camera.
(도로교통공단, 2004. 신호위반 단속시스템 운영에 따른 교차로 교통사고 유형분석 연구)
- Ryu C. N. et al., 2008. Analysis of Dilemma Zone Safety Considering Signal Location, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.1.
(류창남 외, 2008. 신호기 위치에 따른 딜레마존 안전율 분석. 대한교통학회지, 제26권 제1호)
- Schneider, H., 2010. Effectiveness of Red-Light Cameras for Reduction the Number of Crashes at Intersections in the City of Lafayette. Louisiana Department of Transportation.
- Sheffi, Y., Mahmassani, H., 1981. A Model of Driver Behavior at High Speed Signalize Intersections. Massachusetts Institute of Technology.
- Shin, K. and Washington, S., 2007. The Impact of Red Light Cameras on Safety in Arizona. Accident Analysis and Prevention, 39(6).
- Synectics Transportation Consultants INC., 2003. Evaluation of The Red Light Camera Enforcement Pilot Project. Ontario Ministry of Transportation.
- Washington, S., 2005. The Impact of Red Light Cameras on Safety in Arizona. Arizona Department of Transportation.
- Williams, W. L., 1977. Driver Behavior during Yellow interval. Transportation Research Record 644.
- Zegeer, C. V. and Deen, R. C., 1977. Identification of Hazardous Location on City Streets. Traffic Quarterly.