

교차로 신호기 위치 조정과 딜레마존 특성 분석

임삼진¹ · 이영인² · 김경희^{3*}

¹ 한국철도협회 정책연구소, ² 서울대학교 환경대학원, ³ 부천시청 교통시설과

Analysis on Intersection Traffic Signal Locations Change and Characteristics of Dilemma Zone

LIM, Sam Jin¹ · LEE, Young-Ihn² · KIM, Kyung Hee^{3*}

¹ Policy Center, Korea Railway Association, Seoul 130-851, Korea

² Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

³ Transport Facility Department, Bucheon City Hall, Gyeonggi 420-736, Korea

Abstract

This paper reviews the characteristics of dilemma zone by analysing the influence exerted by actual location of intersection traffic signal on behaviour of drivers approaching signalized intersection in urban area. The analysis of approach speed was based upon a 'before and after' comparison, measured at three sites where the locations of traffic signals were changed. The study demonstrated that, when traffic signal changed to yellow, the scales of dilemma zone were narrowed in case of stopping cars by moving up the starting point of the dilemma zone due to lowered spot speed. On the other hand, in case of passing cars, the end points of dilemma zone were moved further out to the rear due to increased spot speed. Therefore, changing traffic signal locations could make an impact to increase intersection safety through reducing the scales of dilemma zone. This study also found that, in cases involving vehicles with similar approach speeds, spot speeds could be differentiated following the change of signal locations due to the fact that there can be greater differences in both braking point and deceleration rate. Thus, when considering the appropriate measuring of dilemma zone, 'spot speed' rather than 'approach speed' appeared to be more appropriate criterion.

본 연구는 신호기 위치 조정이 도시지역의 교차로 신호등에 접근하는 운전자들의 운전행태에 미치는 영향을 분석하여 딜레마 존의 특성을 분석하였다. 접근속도의 분석은 신호등의 위치 조정이 이루어진 3개 지점에서 측정된 사전-사후 비교를 통해 이루어졌다. 본 연구에서는 황색신호시 정지차량의 경우 지점속도를 낮춰, 딜레마존 시작점을 앞당김으로써 딜레마존의 크기를 작게 하는 반면에 통과차량의 경우 교차로에 근접하여 지점속도를 높임으로써 딜레마존 끝점을 뒤로 이동시키게 됨을 발견하였다. 결국 신호기 위치조정은 딜레마존의 크기를 줄임으로써 교차로 안전성을 증진하는 데 기여한다고 볼 수 있다. 동일한 속도로 진입한 차량군의 운행특성을 볼 때, 감속을 하기 위한 감속도가 반영되어 지점별 속도가 상당히 크게 변화했는데 이것은 딜레마존에서 사용되는 접근속도의 개념에 대한 보다 엄밀한 규정이 필요하며, 일반적으로 사용되는 접근속도의 개념이 접근구간속도임을 고려할 때 딜레마존의 계산식은 접근속도 보다 지점속도를 사용하는 것이 더 정확할 수 있음을 보여준다.

Key Words

Approach Speed, Deceleration Speed, Dilemma Zone, Perception-Reaction Time, Traffic Signal
접근속도, 감속도, 딜레마존, 인지반응시간, 신호기

* : Corresponding Author
kimolee98@korea.kr, Phone: +82-32-625-3830, Fax: +82-32-625-3929

Received 1 August 2012, Accepted 7 January 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

The National Police Agency (2006)은 "기본적으로 접근속도는 신호등 설치위치보다는 교차로 기하구조 등 차량운행조건에 의하여 많은 영향을 받는다. 하지만 차량 신호등의 위치는 운전자의 운전행태에 일정한 영향을 미치며, 정지선과 차량신호등면 사이의 거리가 짧은 경우 접근속도의 감소 등 운전자의 공격적인 운전행태를 완화시킬 수 있다"라며 접근속도의 차이 가능성을 추정하였다. 하지만 The National Police Agency (2007)의 관련연구에서는 동일지점 사전·사후 비교를 통해 조사대상 지점 대부분에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았으며, 결과적으로 접근속도는 신호등의 위치와는 직접적인 연관성을 확인할 수 없었다.

딜레마존 산출식을 볼때 만일 신호기 위치조정 이후 접근속도의 차이가 나타난다면 접근속도의 변화에 따라 딜레마존이 변화한다고 쉽게 결론을 내리면 된다. 하지만 접근속도의 변화가 없다면 딜레마존의 차이가 나타날 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 딜레마존과 관련하여 기존 연구에서는 Jung et al. (2007)는 신호기 위치 조정이 정지선준수율을 높여 줌을 도출하였고, Son (2008)는 딜레마존이 교차로 안전율과 상관성이 있다고 제시하고 있는 점을 고려하여 신호기 위치 조정에 따라 운전자가 황색신호 등화를 인지하고 정지선에 정지 또는 통과하기 위해 접근하는 속도에 변화를 줄 수 있다는 기대를 반영하여 본 연구에서는 교차로 신호기 위치조정은 교차로의 안전성을 확보하기 위해 황색등화시 접근속도를 낮추어 교차로를 무리하게 통과하지 않음으로 인해 딜레마존 형성요소인 딜레마시작점과 끝점, 존의 길이에 변화를 유발할것으로 기대하였다.

본 연구는 딜레마존과 관련하여 Figure 1과 같은 가설을 설정하고 딜레마존에 대한 상세 분석을 시도하였다.

1) 가설설정

(1) 교차로 신호기 위치조정은 딜레마존의 시작점과 끝점, 존의 길이에 변화를 유발하여 교차로를 무리하게 통과하지 않고 정지하는 운전자가 증가하여 교차로 안전

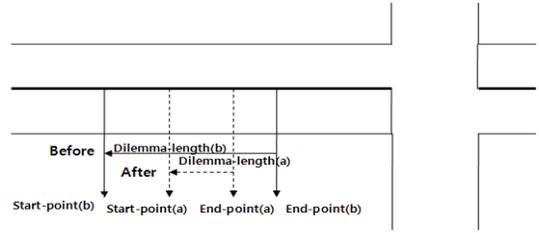


Figure 1. Exemplification of hypothesis

성의 확보에 기여할 것이다.

(2) 교차로의 안전성은 딜레마존의 크기가 중요한데, 신호기의 위치조정은 접근속도를 낮추어 딜레마시작점은 정지선 쪽으로 이동하고, 딜레마끝점은 정지선으로부터 멀어지게 함으로써 딜레마존의 크기가 줄어들 것이다.

II. 기존연구 고찰 및 용어 정의

1. 기존연구 고찰 및 차별성

본 연구에서는 2001년부터 시범적으로 시작된 신호기 위치조정에 따른 연구결과를 검토하였으며, 본 연구에 있어 교차로 신호기 위치조정에 따른 교통류의 특성을 분석하기 위해 기존 연구와의 주된 차별성을 제시하였다.

$$\text{딜레마존 시작점(B): 정지선 후방}(t + \frac{v}{2a})v \quad (1)$$

$$\text{딜레마존 끝점(C): 정지선 후방(실제 황색시간)}v - (w+l) \quad (2)$$

$$\text{딜레마존 길이: } (t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v}) - \text{실제 황색시간} \quad v \quad (3)$$

여기서, t : 지각 - 반응시간(보통 1.0초)

v : 교차로 진입차량의 접근속도(m/sec)

a : 진입차량의 임계감속도(보통 $5.0m/se^2$)

w : 교차로 횡단길이(m)

l : 차량의 길이(보통 5m)

식(1)-(3)에서 딜레마존에 가장 중요한 영향을 미치는 것은 교차로 진입차량의 접근속도라고 할 수 있다. 딜레마존 산정에 있어 통상적으로 임계감속도와 인지반응시간은 동일한 수치를 적용하게 되므로 접근속도의 차이가 없다면 딜레마존의 차이를 기대할 수 없는 것이다.

우리나라에서 그간 시범적으로 추진된 사업에 있어서는 2001년 전주시에서 '교통사고 잦은곳 개선사업'의 일환으

로 신호기 전방설치를 추진하여 교통사고 30%감소 효과를 본 것으로 보고되었으며, 2003년 경기도에서 교차로의 안전성 지표를 “정지율”로 하여 정지율과 딜레마구간과의 관계를 도출한바 있고, 2003년도 전주시에서 신호기 위치가 정지선으로부터 멀어짐에 따라 상충율이 증가한다는 결과를 도출, 2005년 서울시에서는 신호기위치와 정지선 준수율과의 상관관계분석을 통하여 정지선준수율을 높여주는 것으로 발표했으며, 2008년에 다시 딜레마존이 교차로 안전율과 상관성을 가지고 있음을 발표하였다.

기존 연구결과에 있어서는 교차로 신호기 위치조정에 따른 교통류의 특성을 검토하기 위해 Lee et al. (2003)의 경우 로그선형방정식 도출하여 정지율에 따른 딜레마구간 거리 산정, Jung et al. (2007)의 경우 ANOVA 분산분석과 Duncan’s New Multiple Range Test, 상관관계분석을 통해 신호기 위치 조정에 따른 정지선 준수율 분석, Hea (2006)의 경우 전방신호등 설치로 인한 운전자의 행태 변화를 고려한 교통사고 변동율 분석, Ru et al. (2008)의 경우 황색신호 등화시 감속을 시작하여 정지선에 정지하는 그룹내 선두차량만을 분석대상으로 하여 신호교차로의 신호기 위치가 교차로에 접근하는 운전자의 운전행태에 미치는 영향을 분석하여 딜레마존 변화에 따른 교통 안전율 분석, Son (2008)의 경우 신호기 전방설치에 따른 교차로의 안전성 및 효율성을 평가하고, 이를 고려한 신호기 최적위치를 산정하기 위해 교통신호기와 정지선 위치별, 교차로 접근속도별, 출발손실시간별로 교차로에 미치는 서비스수준을 차량당 평균제어지체라는 효과척도로 분석하고 교차로 안전성이 확보되는 것을 정량화하기 위해 교차로 정지선 준수율이라는 항목을 회귀모형으로 분석하였다.

이처럼 기존 대부분 연구에서는 특정 요인만을 검토한 반면, 본 연구에서는 개별차량의 다양한 교통특성요인을 복합적으로 분석하여 신호기 위치 조정에 따른 교차로의 안전성에 영향을 미치는 주요요인을 도출하고 그 주요 요인에 영향을 미치는 교통특성을 종합적으로 분석하여 상관관계를 분석하는데 의미가 있다.

2. 용어정의

본 연구에서 사용한 변수 및 용어의 정의는 다음과 같다.

- 신호기 설치 위치 : 정지선과 신호기 지주의 직선거리
- 접근속도(ASP) : 교차로에 접근하는 차량이 황색신호 등화시 어느 한 지점에서부터 다른 한 지점까

지의 구간통행속도. 속도 산출의 최대 범위는 정지선으로부터 150m이내임.

- 인지반응시간(PBRT) : 교차로에 접근하는 차량의 운전자가 황색신호 등화시 황색신호를 인지하여 브레이크를 작동하여 등이 켜지기까지 소요되는 시간
- 감속도(A) : 교차로에 접근하는 차량의 운전자가 황색신호 등화시 황색신호를 인지하고 브레이크 작동하는 지점에서부터 일정한 지점 또는 가속을 다시 시작하는 지점까지 단위시간에 줄어드는 구간 감속도(m/s²)
- 정지선 정지 유무(STF) : 교차로에 접근하는 차량의 운전자가 황색신호 등화시 황색신호를 인지하고 교차로에 접근시 정지선에 정지하는 여부
- 정지선까지 소요되는 시간(TTI) : ‘교차로까지의 소요 시간’이라고 부를 수 있는 Time to Intersection을 말하는 것으로 교차로에 접근하는 차량의 운전자가 정지선까지 접근속도로 주행할 때 소요되는 시간
- 제동에 필요한 시간(CTTI) : 교차로에 접근속도로 접근하는 차량의 운전자가 황색신호 등화시 브레이크를 작동하여 감속을 시작한 후 접근속도와 구간 감속도로 정지선까지 주행할 때 정지하는 데 소요되는 시간
- 감속시작지점(DSP) : 교차로에 접근하는 차량의 운전자가 황색신호 등화시 황색신호를 인지하고 브레이크를 작동하여 감속을 시작하는 지점으로부터 정지선까지의 거리

III. 자료수집 및 추출

1. 조사방법

본 조사에서는 표본의 편이(Bias)를 최소화하기 위해 서 조사지점을 통과하는 차량 전체를 대상으로 비디오 촬영을 실시하였다. 촬영범위는 정지선으로부터 150m로 하였고, 조사대상차량은 차로와 무관하게 선행차량과 Headway가 5초 이상인 경우 앞차의 영향을 받지 않는 것으로 간주하고 황색신호 등화시 운전자가 인지하고 브레이크를 작동하는 차량을 대상으로 조사하여 분석자료를 추출한 후 운전자의 행태분석을 실시하였다.

본 연구에서는 교차로로 접근하는 차량들을 대상으로 황색신호 등화에 따른 운전자의 반응을 브레이크 등의 등화로 확인해야 하므로 교차로로 진입하는 차량들을 후

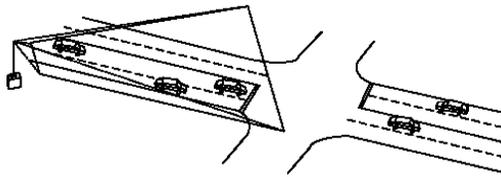


Figure 2. Landscape view cinematography

방에서 넓은 범위로 포함할 수 있도록 Landscape View¹⁾을 이용하여 비디오촬영을 통한 현장조사를 실시하였다. Figure 2는 Landscape View 기법을 나타낸 것이다.

2. 자료 추출

신호기 위치조정에 따른 운전특성을 비교분석하고자 황색등화시 이에 반응하는 운전자의 ①접근속도(ASP), ②감속시작지점으로부터 정지선까지 접근속도로 접근시 소요되는 시간(TTI), ③인지반응속도(PBRT), ④감속도(A), ⑤정지선 정지 유무(STF), ⑥제동에 필요한 시간(CTTI), ⑦딜레마시작점·⑧끝점·⑨존, ⑩감속시작지점(DSP)에 대하여 신호기 위치조정 전후의 사전-사후(Before-After) 분석을 실시하였다.

자료추출은 3개 교차로에서 촬영된 비디오 영상자료를 토대로 Premiere 6.5에서 30프레임 단위로 분석하여 0.01초 단위로 정밀분석하여 추출하였다.

1) 조사대상 차량 판별 방법

비디오 자료를 실내에서 분석하기 위해서는 조사대상 차량에 대한 정의가 필요하다. 이를 위해서 우선 Boundary²⁾ & Population³⁾ Vehicles를 정의하고 분석을 위한 조사대상을 파악하여야 한다. Figure 3은 황색신호 등화시 조사 상한선 내에 존재하는 차량들의 분포를 개략적으로 나타낸 것이다.

본 연구에서 설정한 조사대상 차량은 황색신호 등화

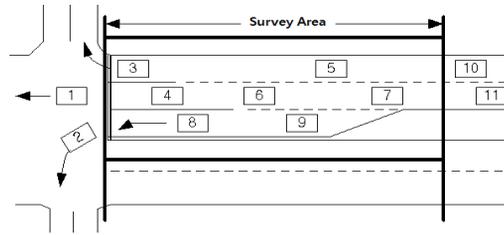


Figure 3. Analysed vehicles in video photographing

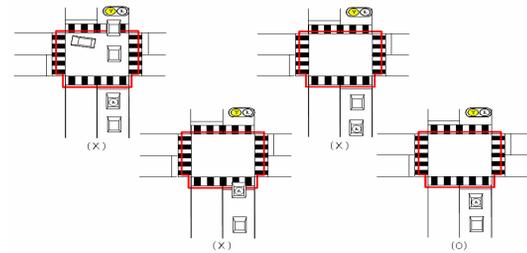


Figure 4. Criteria of data extraction

시 교차로 정지선에서 상류부 조사 상한선 내의 차량과 황색신호 이후 교차로 정지선에 정지하는 처음 차량이거나 브레이크를 밟았다가 통과하는 차량이 대상이므로 Boundary Vehicles와 Population Vehicles를 전부 만족하는 차량을 조사대상 차량으로 선정하였다.

2) 분석데이터 선정 기준

신호기 위치와 감속시작지점의 관계 분석에서 데이터를 추출하는 기준은 제시된 Figure 4와 같이 여러 상황을 고려할 수 있으며, ①분석대상 차량 앞에 선두차량이 있거나 ②황색신호가 등화된 순간 선두차량이 교차로를 통과하지 못하였다거나 ③분석대상 차량이 정지차량일 경우 횡단보도 정지선을 침범한 경우는 데이터 추출에서 제외하였다. 즉, 황색신호 등화시 분석대상 차량 앞에 선두차량이 없고, 정지한 차량의 경우 선두차량이 정지선에 정지한 차량만을 분석데이터로 활용하였다.

1) 카메라 조사시계의 절반 높이에 지평선이 포함되기 때문에 Landscape View 기법이라 칭한다. 카메라의 방향은 바깥쪽을 향하며 조사시계의 중앙과 수직선은 일반적으로 45°이상의 각을 갖는다. 이 방법은 도로의 긴 구간(200ft 이상·60m 이상)을 조사하는데 적합하며 교통량이나 대기행렬 길이 촬영 시에 적합한 방법
 2) 황색신호 등화시 교차로 정지선에서 상류부 조사 상한선 내에 존재하는 차량들로 교차로를 통과하거나 정지선 내에 존재하는 모든 차량들이다. 우회전 차량은 황색신호에 랜덤하게 반응하지 않는 차량들로 간주할 수 있으므로 조사대상 차량에서 제외된다. 좌회전 차량의 경우에도 조사대상에서 제외한다. Figure 2에서 우회전 3번 차량을 제외한다는 가정 하에 직진 4, 5, 6, 7번 차량이 Boundary Vehicles에 해당된다.
 3) 교차로 정지선과 조사 상한선 내에 존재하는 차량들로 교차로를 통과하거나 각 차로에 첫 번째로 정지하게 되는 차량이다. 각 차로에 두 번째로 정지하게 되는 차량은 본 조사에서 제외되는데 이는 이미 정지되어 있는 차량을 보고 정지하는 차량들로 황색신호에 무작위로 반응하는 것이 아니기 때문이다. 또한, 각 차로에 정지한 차량에 의해 녹색신호나 황색신호 등화시 감속을 하는 차량도 조사대상에서 제외된다. 직진 4번 차량이 브레이크 작동 없이 교차로를 통과하고 6, 7번 차량이 정지하는 경우 7번 차량은 6번 차량 뒤에 정지한다고 가정할 때 Population Vehicles는 직진 6번이 된다. 우회전 가능성이 큰 5번 차량은 조사대상에서 제외된다.

Table 1. Traffic signal locations change at each site

classification	Distance to Stop Line from Signal Lamp(m)		Num. of Lanes	Intersection Form	Yellow Signal (sec)	Num. of Sample
	Before	After				
Site1	45.5	14.0	one way2	Crossroads	3	33
Site2	48.0	11.5	one way3	Crossroads	3	33
Site3	56.5	13.5	one way6	Crossroads	3	33

3) 분석데이터 추출 결과

본 연구의 대상으로 선정된 3개 지점(안양: site1, 양주: site2, 학여울: site3)에서 비디오 분석을 통해 수집한 표본의 수는 사전사후 각33개이며, 각 Site별 기하구조, 신호현황, 신호기 위치조정 개요는 Table 1과 같다.

3. 조사지점 선정조건

본 연구에서는 조사지점 여건차로 인하여 나타날 수 있는 표본값의 편차를 최소화하여 정확도를 확보하기 위해 조사지점의 선정조건을 명확히 정립하여 조사를 시행하였으며, 조사대상 지점 선정에 있어 경찰청 주관으로 시행된 2007년 신호기 위치조정 시범사업시 도로용량편람에서 제시하는 기준과 Lee et al. (2001)의 인적요인이 도로설계에 미치는 영향연구에서 황색신호 등화시 운전자의 인지반응시간 조사시 조사장소의 선정기준을 고려하여 다음과 같이 고려하였다.

- 차로폭 3.0m 이상인 곳, 구배 3.0%미만
- 교차로 정지선에서 75m이내에 버스정류장, 주차 및 건물로의 진출입이 없고 주이동류가 주변여건에 영향을 받지 않을것
- 주이동류가 직진일 것
- 가로등이 충분히 있어 야간 주행에 영향이 없는곳
- 4지 교차로이고, 접근로가 직선부일 것
- 속도 및 주차단속 카메라가 설치되어 있지 않을 것
- 촬영방에물이 없을 것(중앙분리대 및 도로변 가로수)

IV. 신호기 위치조정에 따른 딜레마존 특성분석

본 연구에서는 동일지점의 신호기 위치조정 사전-사후 비교분석이 중요한 의미를 갖고 있으므로 본장의 1절에서는 딜레마존 특성분석 및 딜레마존 형성 요인과의 상관분석을 실시하였으며, II절에서는 접근속도에 따른 딜레마존 형성 요인의 특성 분석을 실시하였다.

1. 신호기 위치조정에 따른 딜레마존 사전-사후분석

1) 신호기 위치조정에 따른 딜레마존 특성분석

본 연구에서는 신호기 위치조정 사전-사후시 딜레마 시작점, 끝점, 존에 대한 특성을 분석하기 위해 기술적 통계치를 비교 분석하였다.

Table 2 - Table 4와 Figure 5 - Figure 7에서와 같이85th값을 기준으로 site1의 경우 딜레마시작점은 사전 54.08m)사후 51.13m, 딜레마끝점은 사전-사후가 동일하게 30.86m, 딜레마존은 사전 21.96m(사후 33.91m로 나타났으며, site2의 경우 딜레마시작점은 사

Table 2. Starting point of dilemma zone before and after the signal location change (Unit:m)

Classification		Average	Standard Deviation	Variance	Lowest Value	Best Value	85 th Value
site1	Before	35.00	16.11	259.48	20.78	80.92	54.08
	After	40.01	21.72	471.56	13.44	108.02	51.13
	Difference	5.01 ↑				27.10 ↑	2.95 ↓
site2	Before	58.31	31.86	1015.01	13.06	118.02	98.93
	After	71.92	33.56	1126.14	20.03	135.61	105.5
	Difference	13.61 ↑				17.59 ↑	6.52 ↑
site3	Before	47.34	25.56	653.56	20.00	120.92	68.64
	After	57.00	35.72	1275.72	10.21	133.47	56.00
	Difference	9.66 ↑				12.55 ↑	12.64 ↓

Table 3. End point of dilemma zone before and after the signal location change (Unit:m)

Classification		Average	Standard Deviation	Variance	Lowest Value	Best Value	85 th Value
site1	Before	18.73	11.61	134.90	4.67	52.29	30.86
	After	22.77	12.29	151.15	6.00	69.82	30.86
	Difference	4.04 ↑				17.53 ↑	-
site2	Before	37.42	17.59	309.57	7.12	66.32	57.98
	After	47.18	18.53	343.24	3.25	67.00	66.32
	Difference	9.76 ↑				0.68 ↑	8.34 ↑
site3	Before	24.99	14.96	223.69	2.95	50.23	45.29
	After	30.06	18.09	327.24	5.32	62.82	50.67
	Difference	5.07 ↑				12.59 ↑	5.38 ↑

Table 4. Dilemma zone before and after the signal location change (Unit:m)

Classification		Average	Standard Deviation	Variance	Lowest Value	Best Value	85 th Value
site1	Before	13.17	9.18	84.25	2.00	37.41	21.96
	After	18.92	13.08	171.10	4.16	51.38	33.91
	Difference	5.75 ↑				13.97 ↑	11.95 ↑
site2	Before	24.53	20.27	410.72	2.42	88.56	51.70
	After	23.04	20.88	436.14	3.56	88.38	44.43
	Difference	1.49 ↓				0.18 ↓	7.27 ↓
site3	Before	20.98	17.80	316.81	3.00	75.63	31.00
	After	28.27	21.47	461.08	3.40	90.65	56.00
	Difference	7.29 ↑				15.02 ↑	25.00 ↑

전 98.93m(사후 105.5m, 딜레마끝점은 사전 57.98m(사후66.32m, 딜레마존은 사전 51.70m)사후 44.42m로 나타났고, site3의 경우 딜레마시작점은 사전 68.64m)사후 56.00m, 딜레마끝점은 사전 45.29m(사후 50.67m, 딜레마존은 사전 31.00m(사후 56.00m로 나타남에 따라 본 연구에서는 신호기 위치조정 사전-사후 딜레마시작점·끝점·존에 대한 통계적 차이유무를 검정하기 위해 다음과 같은 가설 검정을 실시하였다.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : 신호기 위치조정 이전 site1, site2, site3의 딜레마시작점, 끝점, 존 평균값

μ_2 : 신호기 위치조정 이후 site1, site2, site3의 딜레마시작점, 끝점, 존 평균값

Table 5에서와 같이 신뢰수준 95%로 분석시 'P(T<=t) 양측검정' 값이 분석 결과 신호기 위치조정 사전-사후시 site1의 경우 P(T<=t) 검정값은 딜레마시작점은 0.291, 끝점은 0.175, 존은 0.043으로 딜레마존을 제외하고는 H_0 를 기각하여 신호기 위치조정 사전-사후의

Table 5. Statistics approval of starting point, end point and zone of dilemma zone before and after the signal location change

Classification		P(F<=f)	P(T<=t)	H_0 wether reject or not
site1	Starting Point of D. Z.	0.048	0.291	Reject
	End Point of D. Z.	0.375	0.175	Reject
	Zone of D. Z.	0.025	0.043	Accept
site2	Starting Point of D. Z.	0.385	0.096	Reject
	End Point of D. Z.	0.386	0.032	Accept
	Zone of D. Z.	0.433	0.769	Reject
site3	Starting Point of D. Z.	0.031	0.211	Reject
	End Point of D. Z.	0.144	0.220	Reject
	Zone of D. Z.	0.147	0.139	Reject

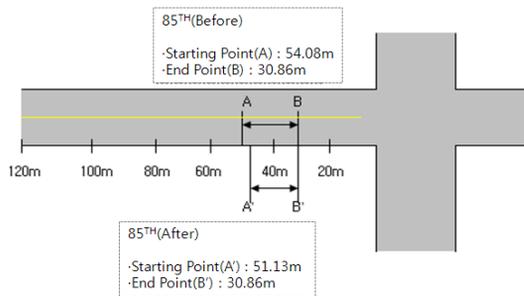


Figure 5. 85th value of dilemma starting and end point (Site1)

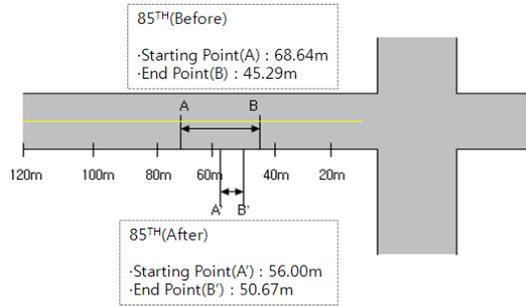


Figure 6. 85th Value of dilemma starting and end point (Site2)

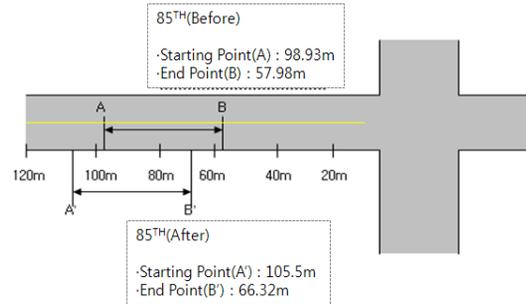


Figure 7. 85th Value of dilemma starting and end point (Site3)

딜레마존은 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었으며, site2의 경우 P(T<=t) 검정값은 딜레마시작점은 0.096, 끝점은 0.032, 존은 0.769로 딜레마끝점이 H_0 를 기각하여 신호기 위치조정 사전-사후의 딜레마끝점은 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한, site3의 경우 P(T<=t) 검정값은 딜레마시작점은 0.211, 끝점은 0.220, 존은 0.139로 H_0 를 기각하여 신호기 위치조정 사전-사후의 딜레마끝점은 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

2) 딜레마존 변화요인에 대한 상관관계분석

본 연구에서는 신호기 위치조정 사전-사후시 딜레마존 변화와 개별차량의 특성간에 상관관계를 분석하여 딜레마존 변화에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

딜레마존 변화에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 신호기 위치조정 사전-사후시 딜레마존에 대한 차이값과 신호기 위치조정 사전-사후시 개별차량에 대한 특성분석 항목인 ①접근속도, ②정지선까지의 시간, ③인지반응시간, ④감속도, ⑤제동에 필요한 시간, ⑥감속시작지점 차이값을 사용하였다.

또한, 딜레마존 차이값과 개별차량의 각 특성값의 차이값의 상관관계를 분석하기 두 변수 사이의 선형관계가 통계적으로 유의한지 여부를 검정하기 위해 다음과 같은

Table 6. Correlation analysis between the characteristic of individual vehicles and difference of dilemma zone

Classification	ASP		TTI		PBRT		A		CTTI		DSP	
	correlation-coefficient	Sig.t probability										
site1 H ₀ wether reject or not	0.583	0.000	-0.169	0.347	0.649	0.000	0.137	0.446	-0.021	0.907	0.152	0.400
	Reject		Accept		Reject		Accept		Accept		Accept	
site2 H ₀ wether reject or not	0.242	0.174	-0.202	0.260	0.699	0.000	0.059	0.746	-0.258	0.148	-0.226	0.206
	Accept		Accept		Reject		Accept		Accept		Accept	
site3 H ₀ wether reject or not	0.518	0.002	-0.261	0.142	0.745	0.000	0.005	0.977	-0.161	0.372	0.263	0.139
	Reject		Accept		Reject		Accept		Accept		Accept	

가설을 검정하였다.

H₀ : μ₁와 μ₂는 상관관계가 있다

H₁ : μ₁와 μ₂는 상관관계가 없다

μ₁ : 신호기 위치조정 전후의 (1)딜레마존 차이

μ₂ : 신호기 위치조정 전후의 (2)접근속도, (3)정지선까지의 시간, (4)인지반응시간, (5)감속도, (6)제동에 필요한 시간, (7)감속시작지점 차이

신뢰수준 95%로 분석한 결과 Table 6에서와 같이 신호기 위치 조정에 따른 딜레마존 차이가 Site1,3의 경우 접근속도, 인지반응시간, Site2의 경우 인지반응시간의 유의확률이 0.00으로 유의수준 0.05보다 작아 H₀를 기각하여 신호기 위치 조정에 따른 딜레마 존 차이에 따라 접근속도는 Site1,3, 인지반응시간은 Site1,2,3 모두 차이가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 딜레마존 산정에 포함되는 요인인 접근속도, 인지반응시간, 임계감속도, 실제 황색시간, 교차로 횡단길이, 차량길이 중 모든 지점에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타난 것은 접근속도와 인지반응시간임을 확인하였다.

또한, 이 결과는 전통적 딜레마존 산정식에서의 통상적으로 지각-반응시간과 감속도를 보통 1.0초와 5.0m/sec²의 값을 사용하는 논리도 뒷받침해 주고 있다.

2. 신호기 위치 조정에 따른 접근속도

앞에서 분석한 바와 같이 신호기 위치조정에 따른 딜레마존 특성치 분석 결과에 따라 딜레마존에 중요한 영향을 미치는 요소 중 딜레마존 산출식에서 가장 중요한 영향을

미치는 점을 고려하여 접근속도가 신호기 위치조정에 따라 어떻게 변화하는지를 보다 상세히 분석하기 위해서 본 2절에서는 신호기 위치 조정에 따라 접근속도가 황색신호 등화시 정지차량과 통과차량의 경우 접근속도의 행태는 다를수 있어 이를 구분하여 상세한 분석을 실시하였다.

1) 정지차량의 접근속도와 딜레마존

신호기 위치 조정 황색신호 등화이후 정지선에 정지한 정지차량의 접근속도별 특성을 분석한 결과는 Table 7과 같다. 조사지점의 제한속도가 시속 60-70km이므로 이들의 운행특성을 비교분석하는 것은 신호기 위치조정에 따른 효과분석에서 중요한 의미가 있다고 판단하였다.

분석 결과 접근속도별 그룹(시속 80km 차량군, 시속 70km 차량군, 시속 60km 차량군)에서 감속시작지점은 각각 39.36m, 29.00m, 12.91m 뒤로 이동하는 것으로 나타났으며, 감속도는 각각 0.17m/sec², 0.87m/sec², 0.09m/sec² 감소하는 것으로 나타났다.

이것은 동일한 속도로 교차로에 접근하는 차량이 신호기 위치조정에 따라 교차로에서 멀리 떨어진 지점에서 황색신호 등화를 발견하고 일정한 인지반응을 거쳐 위치조정 이전보다 감속을 일찍 시작하여(감속시작지점 12.91-39.36m 이동), 서서히 감속한 다음(접근속도 70km 차량의 경우 감속도 3.13m/sec²에서 2.26m/sec²으로 낮아짐) 정지함을 보여준다. 이런 변화는 접근속도로 정지선까지 주행할 때의 소요시간(TTI)과 제동에 필요한 시간(CTTI)의 증가로 귀결된다.

Figure 8은 본 연구에서 분석대상으로 선정된 정지차량들의 접근속도별 Speed Profile을 정리한 것이다. 정지차량의 경우 거의 동일한 접근속도로 교차로에 진입한 차량들이 황색신호 등화 이후 감속시작지점을 경과하

Table 7. Traffic flow characteristics change before and after the signal location change by approach speed (stop vehicles)

Approach Speed(kph)	Approach Speed(kph)	ASP	TTI	PBRT	A	CTTI	DSP
		(kph)	(sec)	(sec)	(m/sec ²)	(sec)	(m)
80	Before	85.63	1.74	0.89	1.90	1.77	41.50
	After	89.01	3.26	1.02	1.73	3.38	80.86
	Difference	3.38 ↑	1.52 ↑	0.13 ↑	0.17 ↓	1.61 ↑	39.36 ↑
70	Before	74.57	2.52	1.93	3.13	2.74	52.25
	After	74.57	3.87	1.03	2.26	4.20	81.25
	Difference	-	1.35 ↑	0.90 ↓	0.87 ↓	1.47 ↑	29.00 ↑
60	Before	64.74	2.77	1.11	2.48	3.07	49.80
	After	64.79	3.50	2.18	2.39	3.83	62.71
	Difference	0.05 ↑	0.73 ↑	1.08 ↑	0.09 ↓	0.76 ↑	12.91 ↑

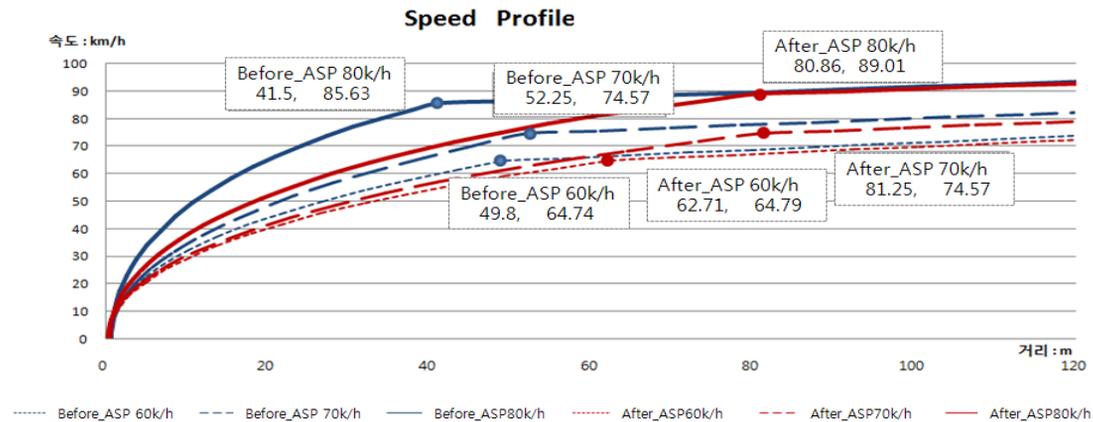


Figure 8. Speed profile before and after the signal location change by approach speed (stop vehicles)

면서 접근속도의 변화에서 상당히 큰 차이가 나타난다는 것을 보여준다.

신호기 위치조정 이전과 이후를 비교분석해 보면 동일한 속도로 접근한 차량이 감속시작지점이 신호기 위치조정 이후 뒤로 이동하게 된다. 시속 80km 차량군의 경우 신호기 위치조정 이전에는 정지선까지의 거리(Distance from Intersection)가 41.50m에 도달하는 지점부터 감속을 시작하여(초기 구간감속도 1.90m/sec²) 속도를 점차 낮춘 후 완전정지에 이르게 된다.

속도가 유사한 시속 80km 차량군의 경우 신호기 위치조정 이후에는 감속시작지점이 39.36m 뒤로 이동하여 80.86m에서 감속을 시작하여(감속도 1.73m/sec²) 속도를 낮추어 이동한 후 완전정지 한다.

정지선까지의 거리가 80m 전후에까지 거의 동일한 접근속도로 교차로에 진입하는 차량군임에도 불구하고 신호기 위치조정 이후에는 정지선까지의 거리 70m, 60m, 50m, 40m, 30m, 20m, 10m, 0m(정지선)에 이르기까지 각 지점들을 기준으로 볼 때 각 지점을 지나는 지점속도에서 차이가 나타난다는 것이다. 이같은 현상은 시속 70km 차량군이나 60km 차량군에서도 동일하게 나타난다.

이것은 딜레마존과 관련한 산식에서 당연시해온 접근속도라는 개념을 적용하는 것이 적정인가에 대한 문제를 제기한다. 정지선으로부터 거리가 80m인 지점에서는 동일한 접근속도이지만 감속시작지점과 감속도 등에 따라 지점속도가 현저한 차이를 보일 수 있다. 이럴 경우 당연히 딜레마존이 변화하게 되는데 기존의 계산방식은 이런 점을 제대로 반영하지 못하는 한계를 보여준다.

동일한 접근속도로 교차로에 진입한 차량일 경우에도

신호기 위치조정에 따른 이런 지점속도의 변화가 딜레마존에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 즉 정지차량의 경우 교차로 신호기 위치조정은 지점속도를 낮춤으로써 딜레마존의 크기를 작게 한다는 것이다. 딜레마존의 길이는 기본적으로 접근속도가 높아지면 커짐을 고려할 때 접근속도가 낮아지면 딜레마존의 길이는 작아지는 것으로 볼 수 있는 것이다. 이렇듯 정지선까지의 거리를 기준으로 할 때 동일한 접근속도로 교차로에 접근하는 차량의 지점속도가 신호기 위치조정 이후 낮아짐에 따라 딜레마존 시작점은 정지선쪽으로 이동하게 되고, 딜레마존 끝점은 정지선으로부터 더 후퇴하여 이동하게 돼 결과적으로 딜레마존의 길이도 작아지는 것으로 볼 수 있다.

2) 통과차량의 접근속도와 딜레마존

황색신호 등화이후 잠시 브레이크를 밟아 감속했다가

Table 8. Traffic flow characteristics change before and after the signal location change by approach speed (passing vehicles)

Approach speed(kph)	ASP (kph)	TTI (sec)	PBRT (sec)	A (m/sec ²)	CTTI (sec)	
80	Before	1.03	2.61	1.78	1.05	24.33
	After	1.92	1.39	1.68	1.96	48.00
	Difference	0.89 ↑	1.22 ↓	0.11 ↓	0.90 ↑	23.67 ↑
70	Before	1.98	1.71	1.79	2.05	41.00
	After	2.03	1.33	1.64	2.07	40.50
	Difference	0.04 ↑	0.38 ↓	0.16 ↓	0.02 ↑	0.50 ↓
60	Before	2.00	1.46	1.41	2.04	35.50
	After	2.46	2.52	1.24	2.53	42.75
	Difference	0.46 ↑	1.06 ↑	0.18 ↓	0.49 ↑	7.25 ↑
50	Before	2.18	1.36	2.45	2.34	33.17
	After	3.03	1.13	1.25	3.17	44.75
	Difference	0.85 ↑	0.23 ↓	1.20 ↓	0.83 ↑	11.58 ↑

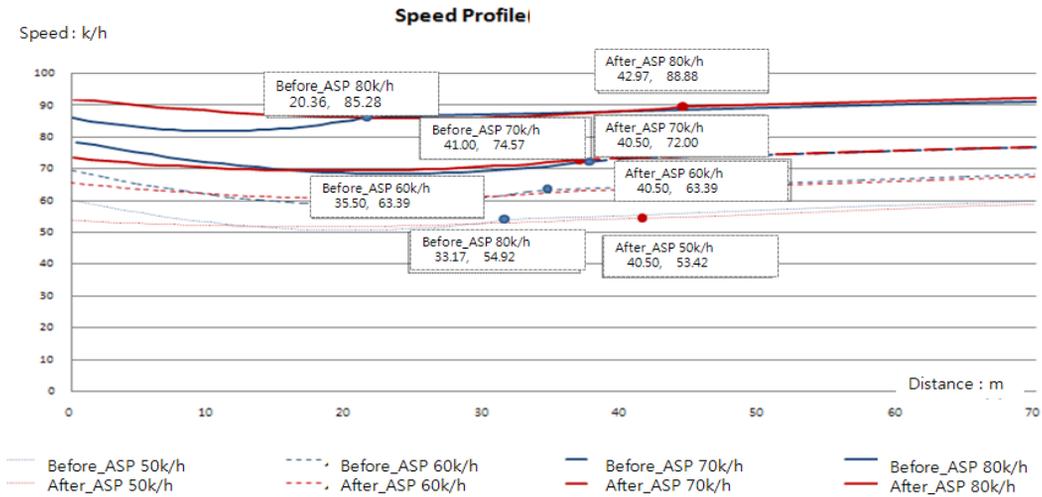


Figure 9. Speed profile before and after the signal location change by approach speed (passing vehicles)

다시 가속하여 교차로를 통과한 차량들의 접근속도별 특성을 분석한 결과는 Table 8과 같다. 조사지점의 제한속도가 시속 60-70km임을 고려하여 접근속도 80km 차량군, 70km 차량군, 60km 차량군에 이어 50km 차량군의 특성을 분석하였다.

신호기 위치조정 이후 감속시작지점은 접근속도 시속 80km 차량군의 경우 23.67m 뒤로 이동하는 것으로 나타났다으며, 60km 차량군은 7.25m, 50km 차량군은 11.58m 각각 뒤로 이동하는 것으로 조사되었다(70km 차량군은 예외적으로 거의 동일한 위치임). 이에 따라 접근속도로 정지선까지 이동하는 데 필요한 시간(TTI)이나 제동에 필요한 시간(CTTI)은 약간 증가하는 것으로 조사됐다. 신호등 위치조정 이후 감속시작지점이 뒤로 이동함에 따라 초기 감속도가 약간씩 낮아진 것으로 나타났다(0.11-1.20 m/s²).

Figure 9는 신호기 위치조정 전후의 황색등화시 통과차량의 접근속도별 Speed Profile이다. 신호기 위치조정 에 따른 통과차량의 특성을 살펴보면 위치조정 이후 감속시작지점이 대체로 뒤로 이동한 것을 확인할 수 있는데, 어디에서 감속시작지점이 시작되든 일시 감속한 후에 다시 가속하여 교차로를 통과한다.

초기 감속도 값이 작기 때문에 정지차량과 같은 확연한 구분이 이루어지지는 않지만 Figure 9에서 확인할 수 있듯이 접근속도가 유사한 차량이 사후에는 동일지점을 기준으로 볼 때 지점속도가 처음에는 위치조정 이전의 차량보다 낮아졌다가 통과를 위한 가속은 앞서서 하게 됨으로 속도의 교차점이 만들어지게 된다. 이 교차점을 지난 후에는 오히려 신호기 위치조정 이전보다 지점

속도가 증가함을 보여준다.

또한, 이 점은 통과(무정지)차량이나 정지차량 모두에서 나타나는 동일한 현상이다. 시속 80km 차량군의 경우 신호기 위치조정 이전에는 정지선까지의 거리(Distance from Intersection)가 20.36m에 도달하는 지점부터 감속을 했다가(초기 구간감속도 1.78m/s²) 다시 속도를 높여 교차로를 통과하게 된다. 신호기 위치조정 이후에는 정지선까지의 거리(Distance from Intersection)가 42.97m에서 감속을 했다가(초기 구간감속도 1.78m/s²) 다시 속도를 높여 교차로를 통과하게 된다.

이런 속도 특성의 차이는 동일한 접근속도로 진입한 경우 감속시작지점과 감속에 따른 감속도의 발생 등으로 지점속도의 일정한 변화가 나타나게 되며 이것은 딜레마존 특성에도 영향을 미칠 것으로 보이며, 또한, 여기서 딜레마존 끝점의 변화를 예상할 수 있는데 동일한 접근속도로 교차로에 진입한 차량이 신호기 위치조정 이후에는 동일지점을 기준으로 볼 때 지점속도가 높아지게 되므로 딜레마존의 끝점이 뒤로 이동하게 된다. 결국 신호기의 위치조정은 통과차량의 딜레마존의 크기에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 교차로의 안전성은 딜레마존의 크기가 중요한데 신호기 위치조정은 접근속도를 낮추어 딜레마 시작점과 끝점을 변하게 하여 딜레마존의 크기를 줄여줄게 함으로써 교차로 안전성에 중요한 의미를 가짐을 통계적 검증, 상관분석, Speed Profile 구축을 통해 도출

하고자 하였으며, Speed Profile 분석을 통해 접근속도가 감속시작점, 즉 딜레마시작점의 변화를 주어 딜레마존 크기 변화에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있는 점을 본 연구의 의미로 볼 수 있다. 또한 본 연구를 수행하면서 조사단계에서부터 분석에 이르기까지 물리적으로 반영하지 못해 아쉬웠던 보완사항과 본 연구에서 새롭게 제시하는 사항에 대한 추가적인 연구의 필요성을 제안하였다.

1. 접근속도와 딜레마존에 대한 새로운 인식

첫째, 교차로 신호기의 위치조정은 정지차량의 경우 지점속도를 낮춰, 딜레마존 시작점을 앞당김으로써 딜레마존의 크기를 작게 한다. 반면에 통과차량의 경우 교차로에 근접하여 지점속도를 높임으로써 딜레마존 끝점을 뒤로 이동시키게 된다. 결국 신호기 위치조정은 동일한 접근속도로 진입하는 차량군에 대하여 딜레마존의 크기를 줄임으로써 교차로 안전성을 증진하는 데 기여한다고 볼 수 있다.

둘째, 기존의 딜레마존 정의와 산출방식이 적정인가에 대한 검토가 필요함을 확인할 수 있다. 기존의 딜레마존 정의는 황색신호가 시작되는 것을 보았지만 임계감속도로 정지선에 정지하기가 불가능하여 계속 진행할 때 황색신호에 교차로를 완전히 통과하지 못하게 되는 구간을 말한다.

그런데 Speed Profile에서 교차로 이전 80m 지점까지 동일한 속도로 진입한 차량군의 운행특성이 크게 달라질 수 있으며, 각 지점별 속도가 상당히 크게 변화함을 알 수 있다. 이것은 딜레마존에서 사용되는 접근속도의 개념에 대한 보다 엄밀한 규정이 필요하며, 일반적으로 사용되는 접근속도의 개념이 접근구간속도임을 고려할 때 딜레마존의 계산식은 접근속도의 개념보다 지점속도를 사용하는 것이 더 정확할 수 있음을 보여준다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서는 조사지점 선정시 조사지점별 표본의 편차를 최소화하고 표본의 정확도 및 신뢰도를 최대한 확보하기 위해 차로 및 기하구조운영여건(차로폭, 구배, 버스정류장 유무, 주이동류 직진, 접근로는 직선부, 속도 및 주차단속에 영향받지 않을 것 등)이 유사한 지점을

대상으로 조사지점 선정기준을 통과시켜 자료를 추출하였으나, 실제적으로 비용이 투입되어 현장설치가 수반되는 실험 여건상 지점별 직진 차로수가 상이하고 물리적으로 도로 주변환경이 차이가 있는점과 조사지점을 3개 지점으로 한정하고 있는 한계점을 가지고 있어 향후 연구에서는 이를 보완해야한다.

또한, 본 연구에서는 접근속도가 딜레마존 크기에 어떻게 변화하는지를 보다 상세히 분석하고 분석결과를 일반화하기 위해 각 지점별 자료를 통합함에 있어 근거를 확보하기 위해 신호시간에 민감한 영향을 미치는 인지반응시간을 선택하여 각 지점별 인지반응시간의 분산값이 통계적으로 차이가 있는지를 검정한 결과 유의한 차이가 없는 것으로 검정되어 이를 통합하여 Full Date로 활용하였으나, 각 지점별 자료를 통합함에 있어 향후 연구에서는 좀 더 다양한 근거를 마련하는 것이 필요하다.

본 연구에서 구축한 Speed Profile 분석결과를 토대로 볼때 교차로 이전 80m지점까지 동일한 속도로 진입한 차량군의 운행특성이 크게 달라질 수 있으며, 각 지점별 속도가 상당히 크게 변화하는데 이는 딜레마존에서 사용되는 접근속도의 개념에 대한 보다 엄밀한 규정이 필요하며 이는 기존 딜레마존 산출식에 있어 접근속도의 개념이 적정인가에 대해 본 연구에서는 지점속도를 제안하였다. 따라서, 이를 추가적으로 뒷받침할 수 있는 객관적이고 구체적인 후속연구가 필요하다.

REFERENCES

- Hea M. G. (2006), The Analysis about the Variation of Traffic Accident according to Signal Location, Master's Thesis.
- Jung K. B., Kim J. T., Lee Y. T., Lee D. J. (2007), The study on Relation Between Signal Location and the Compliance rate of Stop Line, Korean Society of Road Engineers, 9, pp.28-38.
- Lee S. H., Lee S. H., Park J. N. (2003. 8), The Study about Driver Behavior and Dilemma Zone at the Yellow, Phase of Signal Intersection, J. Korean Soc. Transp., Vol.21, No.4, Korean Society of Transportation, pp.7-16.
- Liu C., Herman R., and Gazis D. (1996), A Review of the Yellow Interval Dilemma, Transportation Research

- Part A: Policy and Practice, Vol.30, Issue5, September 1996, pp.333-348.
- Panagiotis P. (2007), Driver behavior, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece, *Accident Analysis and Prevention* 39, pp.147-158.
- Ru C. N., Kim O. C., Jang T. Y., Lim S. J. (2008. 2), The Analysis about the Safety Rate of Dilemma Zone according to Signal Location, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.26, No.1, Korean Society of Transportation, pp.7-14.
- Son S. S. (2008), The Study on The Optimal Location of Vehicle Stop Line considering Safety and Efficiency When Traffic Light frontline Installation, Master Thesis.
- The National Police Agency (2006), The Study about the location of Vehicle Traffic Light.
- The National Police Agency (2007), The Study on Test Run about Location control of Vehicle Traffic Light.
- Tim J. G., David A. N., Luis L., and Erik V. N. (2007), Analysis of Driver Behavior in Dilemma Zones at Signalized Intersections, *Transportation Research Record*, No.2030, TRB, pp.29-39.
- Wong Y., Goh. P. (2001), Perception-Braking Response Time of Unalerted Drivers at Signalized Intersections, *ITE Journal on the web*, June 2001, pp.73-76.

- ☞ 주 작 성 자 : 임삼진
- ☞ 교 신 저 자 : 김경희
- ☞ 논문투고일 : 2012. 8. 1
- ☞ 논문심사일 : 2012. 11. 19 (1차)
2013. 12. 11 (2차)
2013. 1. 7 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2013. 1. 7
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필