

딜레마 존을 고려한 신호위반 단속 허용범위에 관한 연구

이 준 욱* · 임 성 한** · 류 승 기***

A Surveillance Permissible Range of Traffic Light Violation Considering a Dilemma Zone.

Jun-Uk Lee* · Sung-Han Lim** · Seung-Gi Ryu***

요약 : 신호교차로의 각 접근로별로 각기 다른 형태의 딜레마 존이 발생함에도 불구하고 일률적인 기준을 적용한 신호위반 단속이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 딜레마 존은 '최소 정지거리'가 '통과 가능 최대거리'보다 큰 경우 발생하는 것으로 보았으며, '최소 정지거리'와 '통과가능 최대거리'의 차이만큼 딜레마 존의 범위가 형성되는 것으로 정의하였다. 이에 본 연구에서는 신호위반 단속이 이루어지고 있는 비교 대상 교차로를 선정하였으며, 각 접근로별 딜레마 존의 형태에 대한 분석을 하였다. 또한 현실적인 딜레마 존 범위 산정을 위해 딜레마 존에 영향을 미치는 요인들에 대한 현장 조사를 실시하였다. 분석된 자료를 토대로 신호위반 단속 함에 있어 딜레마 존의 영향을 최소화할 수 있는 방안을 모색하였다. 뿐만 아니라 본 연구에서 제시된 각각의 대안을 적용시킴에 따라 발생하는 효과와 문제점에 대해 파악하고자 하였다. 이를 토대로 각 대안별을 단독으로 적용하였을 경우 발생하는 문제점을 해결하기 위한 개선안을 제시함으로써 현실적으로 적용 가능한 대안을 모색하고자 하였다.

주제어 : 딜레마 존, 최소 정지거리, 통과 가능 최대거리, 황색시간, 자기 감응식 루프검지기

ABSTRACT : There is a difference of length of dilemma zone between access roads to intersection. Nevertheless, a traffic light violation surveillance system has been applied with uniform standard. The study assumes that dilemma zone becomes effective when 'minimum stopping distance' is larger than 'clearing distance' and defines that the scope of dilemma zone is formed as much as difference between 'clearing distance' and 'stopping distance'. With these assumptions, we analyzed the form of dilemma, zones for each access road to the experimental target intersections at which traffic light violation surveillances were performed, for comparison. Also, We carried out the field survey for calculation of realistic dilemma zones, which are influenced by physical and operational factors. Following application based on our result of analysis, we tried to not only draw up a plan that can minimize the effect of dilemma zone on traffic light surveillance, but also measure a ripple effect considering alternative proposals. The study shows that the suitable combination of the alternative proposals would be a solution to this problem.

Key Words : dilemma zone, stopping distance, clearing distance, yellow time, loop detector

* 한국건설기술연구원 연구원(Researcher, Korea Institute of Construction Technology), 논문 주저자임.

** 한국건설기술연구원 연구원(Researcher, Korea Institute of Construction Technology)

*** 한국건설기술연구원 수석연구원(Principal Researcher, Korea Institute of Construction Technology)

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라의 경우 교통사고 및 과속방지를 위해 신호교차로에서 다기능 단속카메라에 의한 신호 및 과속에 대한 단속을 강화함으로써 올바른 교통 문화 정립을 추구하고 있다. 다기능 단속카메라는 차량의 접근속도를 줄이는 효과는 있지만, 교차로 별 특성을 고려하지 않고 일관된 기준으로 단속을 함에 있어 여러 가지 문제점을 내포하고 있다고 판단된다. 또한 우리나라의 경우 각기 다른 교차로 별 접근로 상에서 딜레마 존에 대한 연구 없이 루프의 위치를 균일적인 설치기준에 의해 설치되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 교차로 별 딜레마 존에 대한 분석을 토대로 딜레마 존 설정에 있어 영향을 미치는 요인들을 파악함과 동시에 딜레마 존을 최소화하기 위한 방안을 모색하고자 하였다. 또한 이러한 연구를 토대로 신호위반 단속의 허용범위에 대한 의견을 제시하는데 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 다음과 같은 연구의 범위를 설정하였다. 현장 조사에서 교차로의 접근속도와 교차로 통과 속도를 측정을 통해 운전자의 운전 행태를 파악하며, 교차로 별 황색신호 등화 후 인지-반응 시간을 조사하였다. 교차로는 각기 다른 세 가지 형태의 교차로를 선정하였는데, 첫 번째로는 신호위반 단속이 이루어지지 않는 교차로이며, 두 번째로 신호위반 단속이 이루어지며, 단속 건수가

높은 교차로와 단속 건수가 낮은 교차로를 각각 하나씩 선정하였다. 이는 각기 다른 교통 환경에 따른 운전자의 운전 행태를 비교분석 하기 위함이다.

이러한 자료를 토대로 대상 교차로의 각각의 접근로별 딜레마 존의 범위를 산정함과 동시에 딜레마 존에 영향을 미치는 요인을 분석하여 딜레마 존의 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 또한 신호위반 단속이 시행되고 있는 교차로에서는 각 접근로별 차량의 교차로 접근 특성을 고려한 자기 감응식 루프검지기의 적정 설치 위치에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 서로 비교 분석이 가능하도록 기하 구조 조건 및 제한속도 등이 유사한 교차로 세 곳을 선정하여 단속을 시행하는 곳과 그렇지 않은 곳에 대한 단속건수 내용을 비교 분석하고, 교통 및 기하 구조 조건이 동일한 교차로를 대상으로 하였다. 또한 신호위반 단속건수가 확연한 차이를 나타내는 교차로를 선정하여 딜레마 존에 대한 영향을 분석하여 해결 방안을 제시하고자 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 딜레마 존

딜레마 존(Dilemma Zone)이란 교차로로 접근하고 있는 차량이 황색신호가 시작되는 것을 보았지만, 임계 감속도로 정지선에 정지하는 것이 불가능하며, 황색신호시간 이내에 교차로 상충지역을 완전히 벗어나지 못하게 되는 구간을 의미한다.

1) 최소 정지거리 (Stopping Distance, d_0)

접근속도 v 인 직진차량이 교차로 내에 진입하

지 않고 정지선에 정지 할 수 있는 거리는 다음의 식 (1)로 계산되어질 수 있다.

$$d_0 = v_0 \delta + \frac{v^2}{2a} \quad (1)$$

여기서 : v_0 = 차량의 접근 속도

δ = 운전자의 인지-반응 시간

a = 차량의 감속도

2) 통과 가능 최대 거리 (Clearing Distance, d_c)

통과 가능 최대거리(d_c)는 직진차량이 직진황색시간 동안 교차로를 통과 할 수 있을 때 정지선부터의 거리를 구하는 식은 아래의 식 (2)와 같다.

$$d_c = v_0 \tau - (w + L) \quad (2)$$

여기서 : v_0 = 차량의 접근속도

L = 차량의 길이

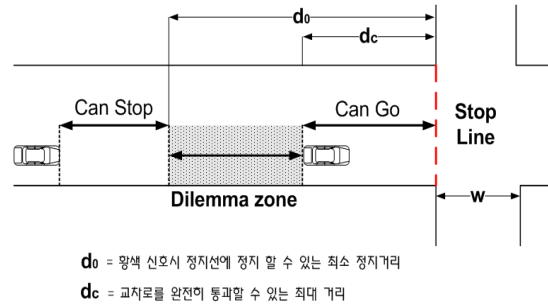
w = 교차로 폭

τ = 직진 황색시간

3) 딜레마 존 산정식 (Dilemma Zone Distance)

운전자가 정지선에서 안전하고 편안한 상태로 정지 할 수 있는 거리를 d_0 로 정의 하였다. 이에 $d_0 \leq d_c$ 이면 운전자는 차를 무리 없이 정지시킬 수 있다. 그러나 $d_0 > d_c$ 가 되면 딜레마 존이 발생하며, $d_0 > D > d_c$ 의 범위 내에 있는 차량은 직진 황색시간이 끝나기 전에 정지선 전에 정지 할 수도 없고, 교차로를 완전히 통과 할 수도 없게 된다. 따라서 $d_0 > D > d_c$ 에서 D 는 딜레마 존이 되며, <그림 1>과 같이 표현된다. 딜레마 존 길이 산정식은 아래 식 (3)과 같다.

$$D = v_0(\tau - \delta) + \frac{v_0^2}{2a} + W \quad (3)$$



<그림 1> 딜레마 존의 범위

여기서 : v_0 = 직진차량의 접근속도

τ = 직진 황색시간

δ = 운전자의 인지반응 시간

$W = w + L$

a = 차량의 감속도

2. 직진황색시간 산정 모형식

황색 및 전적색시간을 산출하기 위해서는 교차로의 폭, 차량의 접근속도, 임계 감속도, 운전자 반응시간을 고려해야 한다. 딜레마 존을 최소화 할 수 있는 적정 신호변환시간은 다음 공식 식 (4)에 따라 산출한다.

$$\tau = T_b + \frac{V}{2d} + \frac{W+L}{V} - T_s \quad (4)$$

여기서 : τ = 황색신호시간(sec)

V = 접근속도(m/sec)

d = 정지감속도(5.0m/sec²)

W = 교차로 횡단거리(m)

L = 차량길이(m)

T_b = 정지인지반응시간(1.0sec)

T_s = 출발인지반응 및 여유(1.5sec)

우리나라에서 사용하고 있는 황색시간 산정식¹⁾은 Gazis식에 비해 황색시간을 1.5sec가량 줄일 수 있어 황색시간이 지나치게 길어지는 문제점을 해소 할 수 있으나, 결정식에 변수가 많으며, 일률적인 임계 감속도, 운전자 반응시간을 적용하는 문제점은 해결되지 않았다. 식 (4)에 의하여 교차로의 폭과 접근속도에 따른 황색신호시간을 산출하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 우리나라 모형식에 의한 황색시간

교차로폭	40 km/h		50 km/h		60 km/h		70 km/h		80 km/h	
	산출	적용	산출	적용	산출	적용	산출	적용	산출	적용
20	2.9	3	2.8	3	2.7	3	2.8	3	2.9	3
25	3.4	3	3.2	3	3.0	3	3.0	3	3.1	3
30	3.8	4	3.5	4	3.3	3	3.3	3	3.3	3
35	4.3	4	3.8	4	3.8	4	3.5	4	3.5	4
40	4.7	5	4.2	4	3.9	4	3.8	4	3.8	4
45	5.2	5	4.5	5	4.0	4	4.0	4	4.0	4
50	5.6	5(1)	4.9	5	4.5	5	4.3	4	4.2	4
55	6.1	5(1)	5.3	5	4.8	5	4.6	5	4.4	4
60	6.5	5(2)	5.6	5(1)	5.1	5	4.8	5	4.7	5
65	7.0	5(2)	6.0	5(1)	5.4	5	5.1	5	4.9	5
70	7.4	5(2)	6.4	5(1)	5.7	5(1)	5.3	5	5.1	5

주: ()은 전적색(all-red) 신호를 운영할 수 있는 시간

3. 인지-반응 시간

일반적으로 운전자는 운전하는 동안에 지각과 반응 등 여러 가지 행위를 반복한다. 도시간선도로 혹은 집·분산도로 등의 단속류상에서나 장애시설이 많은 경우 운전자는 차량운행조작의 많은 변화를 주게 되는데, 이 경우 판단과 반응에 따른 여러 가지 짧은 행위는 아주 중요하다고 할 수 있다.

이러한 의미에서 운전조작과 도로 및 교통상의

위험 요소간의 상관관계를 이해하기 위해서는 간단한 운전조작모형을 사용 할 필요가 있다.

황색신호에 대한 운전자 반응시간으로 ITE에서는 1sec을 사용하고 있으며, Bissell과 Warren 그리고 Parsonson과 Santiago도 1sec의 반응시간을 채택하고 있다.

인지 및 브레이크 반응시간에 대한 연구에서 속도와 위치함수로서의 반응시간에 대한 Williams (1977), Sheffi and Mahmassani(1981)의 연구에 의하면 속도가 높아질수록 또, 교차로 정지선에 가까울수록 반응시간이 감소하는 경향을 보인다고 나타나 있다²⁾.

본 연구에서는 선택된 교차로 별 인지-반응 시간을 조사하여 이론적인 측면과 현실적인 측면에서의 오차를 분석하고, 이를 딜레마 존의 범위 산정에 있어 고려하였다.

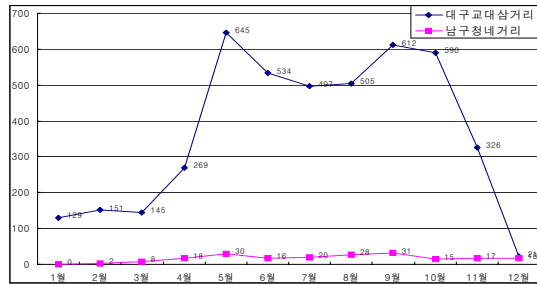
III. 조사 및 분석

1. 대상교차로 현황

조사된 자료에서 교통흐름이 유사하고 평지, 직진구간 등을 고려하여 인접하여 위치한 남구청 네거리와 대구교대 삼거리를 본 연구의 대상 지역으로 선정하였으며, 제한속도가 동일한 지역이지만, 신호위반 단속 건수가 상이하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 딜레마 존과 연관이 있을 것으로 판단되며, 이와 관련하여 교차로 접근 및 교차로 통과 속도를 조사하였다. 또한 지점별 인지-반응 시간 조사를 실시하여 각 지점별 운전자 특성을 분석하고자 하였다.

1) 도로교통안전협회(1996) 참조.

2) 배혜성(1999)에서 재인용함.



<그림 2> 교차로 별 단속건수

2. 조사자료 분석

1) 교차로 별 기하 구조

각 교차로 별 기하 구조 및 교차로간 거리를 도식화 하였으며, 교차로의 특성에 대하여 조사하였다. 이러한 조사는 딜레마 존이 형성됨에 있어 기하 구조와 각 교차로간의 거리가 어떠한 영향을 미치는가에 대한 중요한 자료가 될 것이다.

신당네거리를 제외한 남구청 네거리와 대구교대 삼거리에 설치된 신호위반 단속 카메라는 렌즈가 향하고 있는 방향으로 단속이 되고 있다.

<표 2> 신당 네거리 기하 구조

방향	계명대 → 모다아울렛	모다아울렛 → 계명대
구분	접근로 1	접근로 2
가 로 명	호림로	서재로
제한속도	70 km/h	70 km/h
인접교차로	706 m	378 m
교차로 폭	35.77 m	
횡단거리 ³⁾	70.14 m	
단속여부	×	×
신호횡단보도	1 개소	-
연동유무	○	-

<표 3> 남구청 네거리 기하 구조

방향	봉덕시장 → 영대네거리	영대네거리 → 봉덕시장
구분	접근로 3	접근로 4
가 로 명	봉덕로	봉덕로
제한속도	70 km/h	70 km/h
인접교차로	228 m ³	14 m
교차로 폭	50.05 m	
횡단거리	20.25 m	
단속여부	○	×
신호횡단보도	1 개소	1 개소
연동유무	○	○

<표 4> 대구교대 삼거리 기하 구조

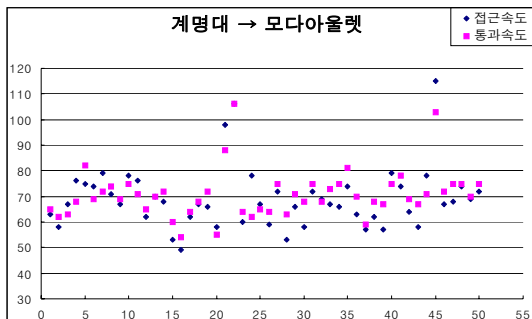
방향	영대네거리 → 명덕네거리	명덕네거리 → 영대네거리
구분	접근로 5	접근로 6
가 로 명	중앙대로	중앙대로
제한속도	70 km/h	70 km/h
인접교차로	787 m	430 m
교차로 폭	43.83 m	
횡단거리	26.75 m	
단속여부	×	○
신호횡단보도	2 개소	1 개소
연동유무	○	○

3) 차량 횡단거리란 정지선으로부터 교차로 통과 후 정지선까지의 거리

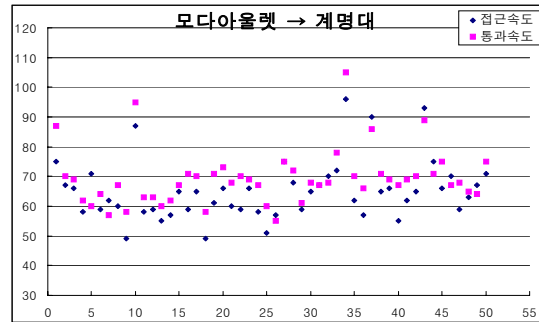
2) 교차로 별 속도 조사 자료 분석

대상교차로 별 접근하는 속도와 통과하는 속도를 방향별로 각각 50대씩 표본조사를 실시하였다. 조사는 스피드건을 이용하였으며, 자유속도로 운행하는 차량들을 대상으로 조사하였다. 이는 차량이 어떠한 요인에 의해 방해 받지 않는 자유 속도를 측정 할 수 있을 뿐 만 아니라 운전자의 운전 행태를 파악하는데 적합하다고 판단되기 때문이다.

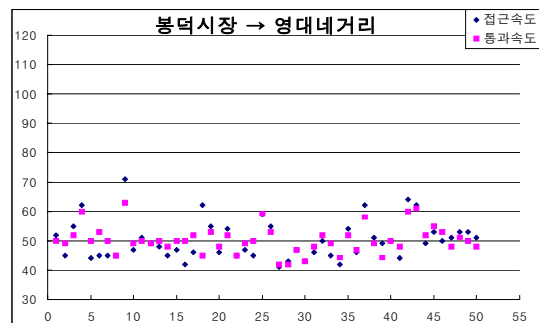
아래의 그래프는 각각의 교차로 접근로별로 접근속도와 통과속도를 비교한 자료로써 차량별 속도에 관한 그래프이다. 각 차량별 접근속도와 통과속도 자료는 단속이 이루어지는 곳과 그렇지 않은 곳에서의 운전자 운전 행태를 파악 할 수 있다. 현재 다기능 단속카메라를 이용하여 단속이 이루어지는 곳은 접근로 3과 6이며, 접근로 3과 6의 경우 접근속도가 교차로 통과속도 보다 높거나 비슷하게 나타난다. 반면 단속을 하고 있지 않은 교차로의 경우 각 차량별 접근속도에 대한 분산 값이 큰 것으로 조사되었다. 특히 조사된 자료를 토대로 다기능 단속카메라의 시인성이 운전자의 운전 행태에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 접근로 3에서는 다기능 단속카메라의 시인성이 좋은 편이어서 접근 속도 및 분산 정도가 낮은 반면 접근로 6의 경우 접근 속도 및 분산 정도가 큰 것으로 조사 되었다.



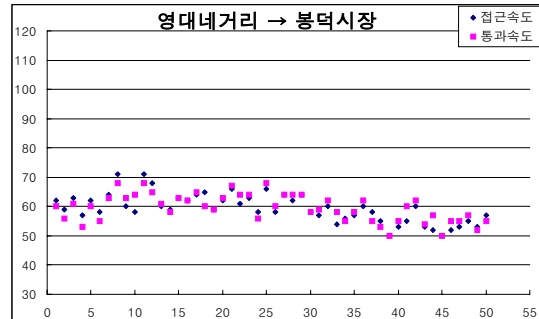
〈그림 3〉 신당네거리 접근로 1



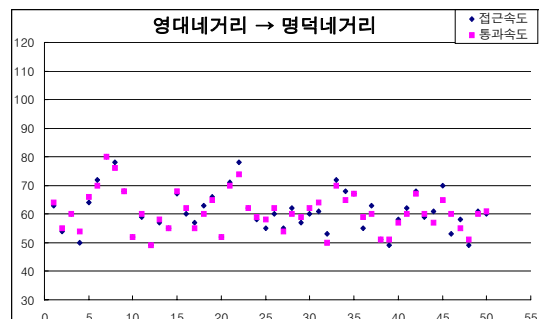
〈그림 4〉 신당네거리 접근로 2



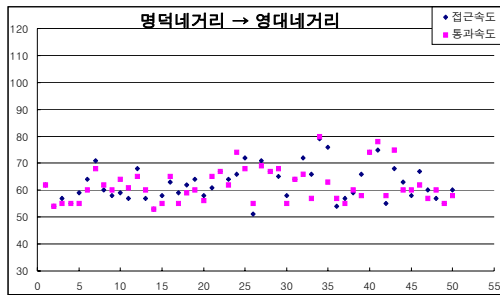
〈그림 5〉 남구청 네거리 접근로 3



〈그림 6〉 남구청 네거리 접근로 4



〈그림 7〉 대구교대 삼거리 접근로 5



<그림 8> 대구교대 삼거리 접근로 6

조사된 접근로별 접근속도와 통과속도의 자료를 기술 통계법을 이용하여 분석한 결과는 <표 5>~<표 7>에 나타는 것과 같으며, 단속을 하지 않는 신당네거리의 접근속도가 가장 높은 것으로 분석되었다.

신당네거리는 첨도 값이 높은 반면 남구청 네거리와 대구교대 삼거리의 첨도 값은 0에 가깝게 나타난다. 이는 단속이 이루어지는 교차로의 경우 접근속도가 정규분포에 가깝지만, 신당네거리의 경우는 운전자별 운전 행태가 강하게 나타나는 것으로 분석된다.

분포의 비대칭 측도인 왜도는 정규분포에서 대칭이므로 0의 값을 가진다. 또한 왜도 값이 표준오차의 두 배가 넘는 것은 대칭에서 벗어난 정도를 나타낸다. 이에 조사된 접근속도 및 통과속도는 대부분 대칭에서 벗어나지 않고 정확하게 조사되었다고 보여 진다.

변동계수(CV, Coefficient of Variation)는 조사된 값의 변동 폭을 보여주는 값으로서 산술평균에 대한 표준편차의 상대적 크기를 나타내는 측도이다. 신호위반 단속이 이루어지지 않는 신당네거리의 변동계수가 가장 높은 것으로 나타나는데, 이 역시 운전자별강하게 나타남을 알 수 있다.

위의 자료를 토대로 조사된 접근로별 접근속도를 살펴보면, 신호위반단속이 이루어지고 있는 교

차로의 경우 속도의 변동 폭이 적으며, 접근속도가 낮은 것을 알 수 있다. 반면 신호위반 단속이 이루어지지 않는 신당네거리의 경우 접근속도의 변동 폭이 크며, 첨도와 왜도 역시 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

<표 5> 신당네거리 자료분석

구 분	접 근 로 1		접 근 로 2	
	접근	통과	접근	통과
평균	65.14	69.44	69.22	70.84
표준오차	1.42	1.34	1.71	1.34
최 빈 값	59.0	67.0	67.0	75.0
표준편차	10.01	9.45	12.12	9.47
분산	100.20	89.23	146.83	89.77
첨도	2.28	4.03	4.72	5.18
왜도	1.33	1.70	1.73	1.73
범위	47	50	66	52
변동계수(cv)	15.37	13.60	17.51	13.37
최 소 값	49	55	49	54
최 대 값	96	105	115	106
관 측 수	50	50	50	50
신뢰수준(95%)	2.84	2.68	3.44	2.69

<표 6> 남구청 네거리 자료분석

구 분	접 근 로 3		접 근 로 4	
	접근	통과	접근	통과
평균	50.12	50.34	59.34	59.60
표준오차	0.93	0.67	0.70	0.66
최 빈 값	45.0	50.0	58.0	55.0
표준편차	6.58	4.71	4.96	4.68
분산	43.29	22.19	24.64	21.92
첨도	1.07	0.77	-0.16	-0.73
왜도	1.14	0.74	0.23	-0.12
범위	30	21	21	18
변동계수(cv)	13.13	9.36	8.36	7.86
최 소 값	41	42	50	50
최 대 값	71	63	71	68
관 측 수	50	50	50	50
신뢰수준(95%)	1.87	1.34	1.41	1.33

〈표 7〉 대구교대 삼거리 자료분석

구 분	접 근 로 5		접 근 로 6	
	접근	통과	접근	통과
평균	60.84	60.78	62.50	61.82
표준오차	1.08	0.97	0.93	0.92
최 빈 값	60.0	60.0	57.0	55.0
표준편차	7.63	6.85	6.55	6.52
분산	58.22	46.95	42.87	42.48
첨도	0.06	0.30	-0.27	0.56
왜도	0.60	0.55	0.59	0.99
범위	31	31	28	27
변동계수(cv)	12.54	11.27	10.48	10.54
최 소 값	49	49	51	53
최 대 값	80	80	79	80
관 측 수	50	50	50	50
신뢰수준(95%)	2.17	1.95	1.86	1.85

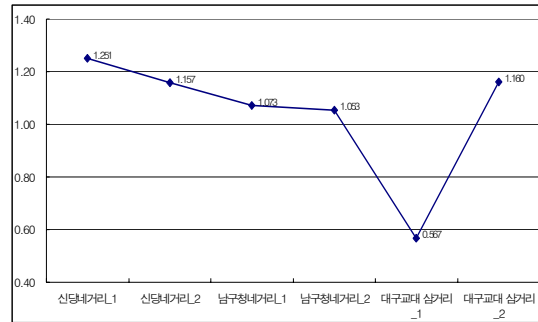
3) 교차로 별 인지-반응 조사 자료 분석

인지-반응시간 조사는 주행 중인 차량이 교차로의 영향권 내에 진입시 황색신호시간이 시작 되는 시점에서 차량 후미의 브레이크등이 켜지기까지의 소요시간을 측정하였다.

대구교대 삼거리의 경우 영대병원 네거리에서 명덕 네거리 방향의 인지-반응속도가 0.567sec로 나타났는데, 조사된 비디오자료를 분석해 보면 대구교대 삼거리 뿐만 아니라 남구청 네거리의 차량들은 브레이크등에 불이 들어와 있는 상태에서 교차로로 접근하는 경향을 띤다. 또한 이미 신호위반 단속을 하고 있음을 운전자들이 인지하고 있는 것으로 판단되었으며, 이로 인해 인지-반응 속도 역시 신호위반 단속을 하고 있는 교차로가 더 낮은 것으로 조사 되었다.

4) 황색신호 등화 시 교차로 통과차량

황색신호 및 적색신호에 교차로를 통과하는 차량을 접근로별로 10주기씩 조사하였다.



〈그림 9〉 방향별 인지-반응 속도조사

황색신호 등화 후 통과 교통량은 대구교대 삼거리의 명덕네거리→영대병원 네거리 방향이 23대로 가장 높은 것으로 조사되었다. 앞서 언급한 접근속도와 통과속도의 분포를 비교한 자료에서도 나타나듯이 접근로 6이 접근로 3보다 접근속도와 교차로 통과속도가 높다. 즉 접근로 6에서의 신호위반 단속 건수가 높은 원인중 하나로 운전자의 운전 행태의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 하지만 동일 교차로상의 접근로 5는 평균 접근속도 및 통과속도와 속도의 편차가 접근로 6보다 낮은 것을 알 수 있다. 이는 현장 조사 결과 접근로 5보다 접근로 6에서 다기능 단속카메라의 시인성이 좋았고, 이러한 요인이 운전 행태에 영향을 미친다고 판단된다.

〈표 8〉 황색신호 후 통과차량

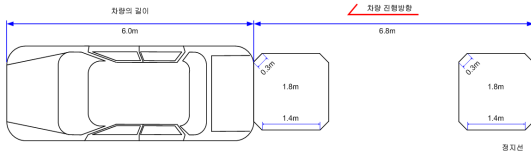
주 기	접근 1		접근 2		접근 3		접근 4		접근 5		접근 6	
	Y	R	Y	R	Y	R	Y	R	Y	R	Y	R
1	1	-	-	1	1	-	1	-	1	-	2	-
2	3	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-
3	1	-	2	-	1	-	1	-	-	-	3	-
4	3	1	1	-	-	-	1	-	-	-	4	-
5	-	-	-	-	3	-	2	-	1	-	3	-
6	3	1	-	-	2	-	-	-	1	-	5	-
7	-	-	1	-	1	-	1	-	2	-	1	-
8	-	-	1	-	3	-	3	-	1	-	1	-
9	1	-	1	-	1	-	3	-	-	-	1	-
10	-	1	1	1	1	-	2	-	-	-	2	-
계	12	3	8	2	13	0	15	-	6	-	23	-

IV. 딜레마 존 산정 및 최소화방안

1. 딜레마 존 산정

1) 루프검지기의 재원

자기 감응식 루프검지기의 위치와 루프검지기 간의 거리는 대구교대 삼거리와 남구청 네거리 모두 동일하였으며, 자기 감응식 루프검지기의 재원은 다음 그림과 같다.



〈그림 10〉 루프검지기 재원

또한 본 연구에서는 신호위반 단속의 여부를 기준으로 딜레마 존을 산정하였기 때문에 차량이 정지선 혹은 자기 감응식 루프검지기를 완전히 통과하는 시간을 제외한 황색시간을 계산에 적용하였다. 즉 실제 황색신호가 3sec로 설정되어 있지만, 차량이 이용 할 수 있는 시간은 3sec 미만일 수밖에 없다. 즉, 첫 번째 자기 감응식 루프검지기만 통과하는데 걸리는 시간을 계산하는 근거는 신호위반 단속을 함에 있어 두 개의 자기 감응식 루프검지기에서 저항 값이 모두 인식되어야만 단속이 이루어지기 때문이다.

2) 접근 속도에 따른 딜레마 존 계산

딜레마 존은 $d_0 < D < d_c$ 의 위치에 존재하므로 최소접근속도와 최대접근속도로 나누어 각각의 접근로 상의 딜레마 존의 범위를 산정하였다. 또한 접근속도에 따른 자기 감응식 루프검지기 또는 정지선의 통과속도를 적용한 황색신호시간을 이용하여 계산 하였다.

각 교차로별 접근속도를 토대로 최소정지거리(d_0)와 최대통과가능거리(d_c)를 산정하여 딜레마 존의 범위를 산정하였다.

남구청 네거리의 딜레마 존은 4.82~14.68m까지 나타났으며, 대구교대 삼거리의 딜레마 존의 범위는 7.80~21.58m로 분석되었다.

〈표 9〉 접근로별 딜레마 존 산정

접근로 구분	접근로 1	접근로 2	접근로 3	접근로 4	접근로 5	접근로 6
min_ d_0	35.55	34.27	25.19	33.91	26.24	36.50
max_ d_0	142.00	101.96	60.05	59.66	61.97	73.61
min_ d_c	28.83	28.83	22.17	29.67	28.83	30.50
max_ d_c	83.83	68.00	47.17	47.17	54.67	53.83
min_ DZ	6.72	5.44	4.82	4.25	-2.60	7.80
max_ DZ	58.17	33.96	14.86	12.50	7.30	21.58

주: 음영부분은 신호위반 단속구간임.

2. 신호위반 단속 허용 범위

앞서 언급한 바와 같이 $d_0 < D < d_c$ 에서 딜레마 존은 형성된다. 이에 본 연구에서는 딜레마 존에 위치한 차량들에 대한 신호위반 단속에 있어 적정 허용 범위를 결정하고, 신호위반 단속에서 딜레마 존에 위치한 차량들을 배제 시키기 위한 방안을 제시하였다.

본 연구에서는 d_0 와 d_c 가 같아지는 지점 혹은 그 차이를 최소화 할 수 있는 방안을 모색하였다.

1) 황색시간의 재조정

신호 운영적 측면에서 황색신호 시간의 재조정을 통하여 d_0 와 d_c 의 차이를 최소화함으로써 딜레마 존을 제거하는 방안이다. 아래의 표는 85%th 접근속도를 이용하여 조사된 인지-반응시

간과 초기 값으로 각각 계산하였다. 또한 GHM 모형식과 우리나라에서 사용하는 모형식을 적용하여 각각을 비교하였다.

〈표 10〉 적정 황색시간의 비교

구 분	접근로 1	접근로 2	접근로 3	접근로 4	접근로 5	접근로 6
속도 (85%th)	15.76	19.22	15.76	17.93	19.07	19.31
인지 초기값	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
반응 조사값	1.25	1.16	1.07	1.05	0.57	1.16
교차로폭(W)	70.14	70.14	50.06	50.06	43.83	43.83
차량길이(L)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
감 속 도(a)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
여유시간(T_s)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
현재 황색시간	3	3	3	3	3	3
Gazis	초기값	7.41	6.88	6.13	5.92	5.52
	조사값	7.66	7.04	6.21	5.97	5.09
우리나라	초기값	5.91	5.38	4.63	4.42	4.02
	조사값	6.16	5.54	4.71	4.47	3.59

주 : 음영부분은 신호위반 단속구간임.

2) 자기 감응식 루프 검지기의 위치 재조정

최소 정지거리(d_0)와 통과 가능 최대거리(d_c)

를 가까워지게 함으로써 딜레마 존의 영향을 최소화하는 방안이다.

먼저 모든 속도의 차량에 대하여 모두 적용할 수 없으므로 조사된 접근로별 속도를 토대로 85%th 접근속도를 추정하여, 이를 토대로 자기 감응식 루프 검지기의 위치를 재조정 하였다.

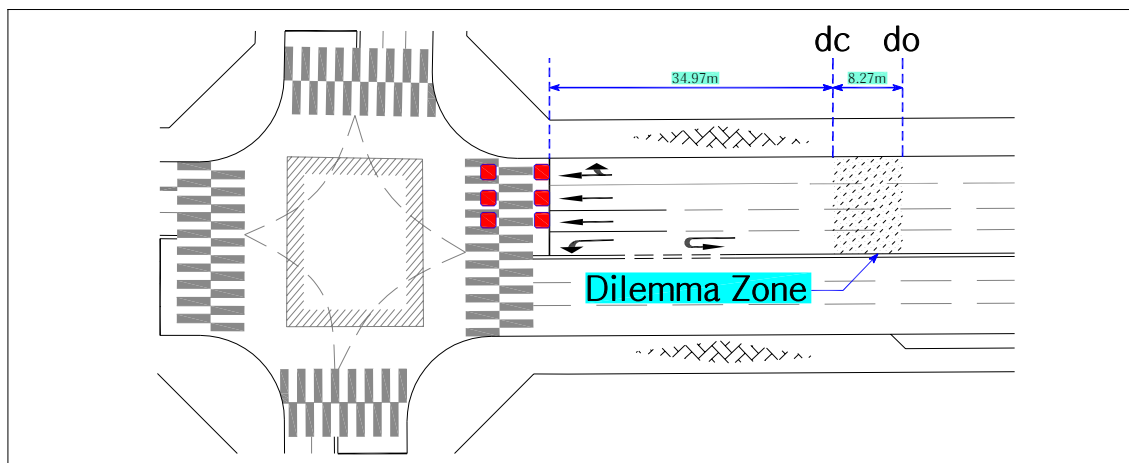
접근로별 85%th 접근속도에서의 최소 정지거리(d_0)와 통과 가능 최대거리(d_c)를 토대로 딜레마 존의 범위를 산정하였다.

〈표 11〉 85%th 속도에서의 딜레마 존

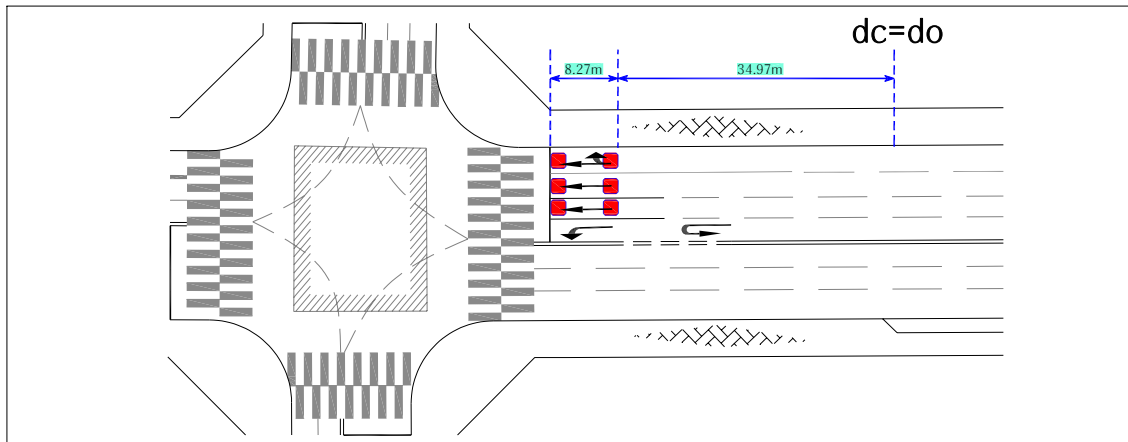
구 분	속도 (m/sec)	d_0	d_c	Dilemma Zone
접근로 3	15.80	41.76 m	33.49 m	8.27 m
접근로 6	19.31	59.66 m	44.12 m	15.55 m

남구청 네거리의 경우 정지선에 위치한 자기 감응식 루프검지기의 위치를 8.27m 전진 시켜야 하며, 대구교대 삼거리는 15.55m 만큼 전진시켜야 하는 것으로 분석되었다.

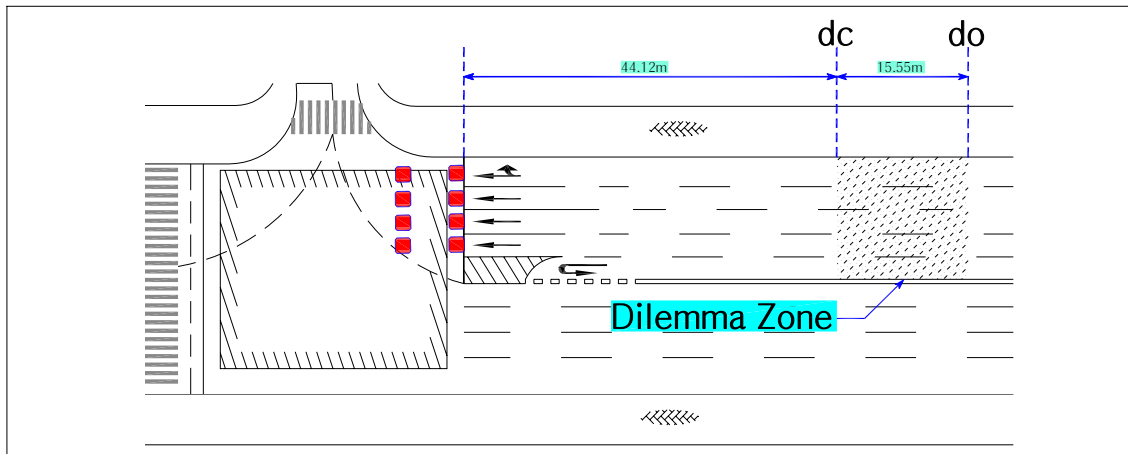
아래의 〈그림 11〉~〈그림 14〉는 통과 가능 최대거리(d_c)를 최소 정지거리(d_0)의 위치만큼 이



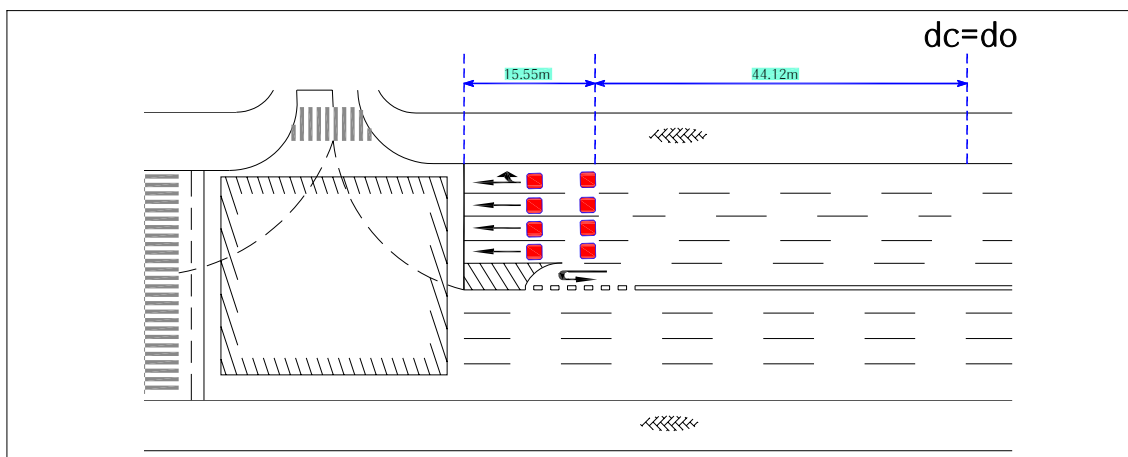
〈그림 11〉 남구청 네거리 개선 전



〈그림 12〉 남구청 네거리 개선 후



〈그림 13〉 대구교대 삼거리 개선 전



〈그림 14〉 남구청 네거리 개선 후

격시켜 $d_0 = d_c$ 가 되는 지점으로 자기 감응식 루프검지기를 이격시켜 신호위반 단속에 있어 딜레마 존의 영향을 최소화 하였다.

3) 자기 감응식 루프 검지기의 위치 재조정

신호위반 단속에 있어 딜레마 존의 영향을 고려하여 자기 감응식 루프검지기의 단속 시작 시간을 설정함으로써 딜레마 존의 영향을 최소화하는 방안이다.

아래의 <표 12>는 85%th 속도로 접근로별 딜레마 존을 통과하는데 걸리는 시간을 계산한 값이다.

<표 12> 85%th 속도에서의 딜레마 존 통과시간

구 분	속 도	Dilemma Zone	통과시간
접근로 3	15.80 m/sec	8.27 m	0.52 sec
접근로 6	19.31 m/sec	15.55 m	0.81 sec

남구청 네거리상의 접근로 3과 대구교대 삼거리의 접근로 6의 경우 적색신호의 등화 후 신호위반 단속시작 시간을 각각 0.52sec, 0.81sec의 여유를 주게 되면, 딜레마 존 내에 존재하던 차량들은 단속의 범위에서 벗어나게 된다.

V. 대안 분석

본 연구에서는 딜레마 존에 위치한 차량들이 신호위반 단속함에 있어 배제시키기 위한 방안으로 세 가지 대안을 제시하였다.

대안 1로 황색신호시간에 대한 재조정의 경우 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 본 연구에서 조사된 인지-반응시간을 적용한 적정 황색신호시간을 계산한 결과 접근로 3과 6에서 각각 4.71sec, 4.17sec 으로 계산되었다. 이런 경우 신호교차로 운영상 4sec~5sec을 적용하여야 하는데, 황색신

호시간에 너무 많은 시간을 배분할 경우 교차로의 용량 저하 및 황색시간에 차량으로 하여금 교차로 진입을 조장할 수 있는 문제점을 안고 있다.

대안 2로 자기 감응식 루프검지기의 위치를 정지선 내부로 이격시키는 방안이다. 이 경우 남구청 네거리와 같이 8.27m를 이격 시킬 경우 현실적으로 적용 가능하다고 판단되나, 대구교대 삼거리의 경우 15.55m를 이격 시킬 경우 단속에 어려움이 발생할 뿐만 아니라 이 역시 황색신호시간 이후에 차량의 교차로 진입을 조장함으로써 안전상 문제점을 내포하고 있다.

대안 3으로 자기 감응식 루프검지기의 단속시간 재조정이다. 이 역시 대상 교차로를 자주 왕래하는 차량들에 의해 악용의 우려가 있다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 각 대안을 적절히 병용된다면 교차로 운영상 안전한 측면뿐만 아니라 신호위반 단속에서의 문제점을 해결 할 수 있으리라 본다.

본 연구에서 제시된 각각의 대안을 적절히 병용하는 대안으로, 대안 1과 대안 2를 병용할 경우 교차로의 용량은 유지되면서 딜레마 존의 범위를 축소시킬 수 있으므로 교차로로 접근하는 차량들의 안전성을 확보 할 수 있게 된다. 특히 대구교대 삼거리의 경우 딜레마 존의 범위가 넓게 나타나므로, 이러한 경우 대안 1, 2, 3 모두를 적용된다면 교차로 운영과 안전성을 저해하지 않는 범위 내에서 적용가능하다고 판단된다.

VI. 결론 및 향후과제

본 연구는 기하 구조 및 제한속도 등 여러 가지 조건이 동일함에도 불구하고 2005년도 신호위반 단속건수가 상이하게 차이가 나는 교차로 2곳을 선정하여 원인을 파악하고 해결책을 제시하고자

하였다. 대상 교차로인 남구청 네거리(봉덕시장→영대병원네거리)와 대구교대 삼거리(명덕네거리→영대병원네거리)의 여러 가지 요인들을 파악하여 딜레마 존의 범위를 분석하였다.

본 연구의 주된 목적으로 딜레마 존에 위치한 차량들이 신호위반 단속함에 있어 형평성을 확보하기 위한 대안의 모색이다. 하지만 또 다른 목적은 현재 신호교차로 상에서 신호위반 단속을 함에 있어 규격화 되어 있는 자기 감응식 루프검지기의 설치 위치의 적정성에 대해 분석하고자 하였다.

접근로별 특성이 고려되지 않고, 규격화된 설치 기준을 적용함으로써 딜레마 존의 영향은 더욱 커질 것이다. 이에 여러 가지 교통환경을 고려한 자기 감응식 루프검지기의 설치기준에 대한 재고가 필요한 것으로 보인다.

마지막으로 연구를 진행하면서 제시된 대안들에 대한 현실적인 검증이 어렵다는 문제점을 내포하고 있다. 실제 이러한 대안들을 검증함과 동시에 다른 여러 가지 변수들을 고려한 깊이 있는 연구가 앞으로도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 도로교통안전협회, 1966, 「교통안전실무편람」.
- 문영준, 2000, “차량추종 모델과 운전자 행태에 근거한 철도교차로의 동적 딜레마 구간”, 『대한교통학회』 제21회, 37~58.
- 박주원, 2002, “신호교차로에서 딜레마존과 직각충돌사고에 관한 연구”, 석사학위논문, 전남대학교.
- 박주원, 2003, “딜레마존 개념을 적용한 좌회전신호의 황색시간 산정방법”, 석사학위논문, 연세대학교.
- 배혜성, 1999, “신호교차로 사고모형구축에 관한 연구 -딜레마구간을 중심으로-”, 석사학위논문, 계명대학교.
- 전태환, 1999, “황색신호시간 결정요인 분석 및 황형개발에 관한 연구”, 석사학위논문, 명지대학교.
- 황상호·송창용·배광수, 2002, “독립신호교차로 딜레마존 감응신호제어기법 개발”, 『교통안전협회학술』 21(4), 7~16.
- Martin, Peter T., 2003, “Evaluation of advance warning signals high speed signalized intersections”, Working Paper, University of Utah.
- Milazzo II, Joseph S., 2003, “The effect of dilemma zones on red light running enforcement tolerances”, Working Paper, North Carolina State University.
- Prahalad, D., 2005, “Field testing and implementation of dilemma zone protection and signal coordination at closely-spaced high-speed intersection”, Working Paper, University of Cincinnati.

원 고 접 수 일 : 2007년 2월 16일

1차심사완료일 : 2007년 3월 29일

2차심사완료일 : 2007년 5월 14일

최종원고채택일 : 2007년 6월 4일