

■ 論 文 ■

신호기 위치에 따른 딜레마존 안전을 분석

Analysis of Dilemma Zone Safety Considering Signal Location

류 창 남

(도로교통안전관리공단 전북지부 안전조사팀 연구원)

김 원 철

(히로시마대학교 국제협력대학원 박사과정)

장 태 연

(전북대학교 건축도시공학부 교수)

임 삼 진

(한양대학교 교통공학과 연구교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 조사개요
 - 1. 조사지점 선정 및 특성
 - 2. 분석데이터 추출
- III. 가설검정
- IV. 딜레마존 안전을 분석
 - 1. 신호기 위치에 따른 딜레마존 분포
 - 2. 접근속도에 따른 딜레마존 분포
 - 3. 신호기 위치에 따른 딜레마존 안전을
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 신호기 위치, 딜레마존, 운전자 행태, 안전율, 접근속도
Signal Location, Dilemma Zone, Driver Behavior, Safety Margin, Approaching Speed

요 약

교통신호기의 설치목적 중 하나는 교통신호기를 통해 차량의 이동을 명확히 규제하여 교통사고를 사전에 방지하는데 있다. 하지만, 부적절한 신호기 위치로 인해 교차로에 접근하는 운전자가 안전운행에 필요한 행태를 나타내지 못한다면, 교통 안전도를 높이기 위한 방안으로 현장상황에 적합한 설치기준 또는 권고사항이 현장조사 및 분석을 통해서 제시되어야 할 필요가 있다.

이러한 배경에서 본 연구는 도심 신호교차로의 신호기 위치가 교차로에 접근하는 운전자의 운전행태에 미치는 영향을 분석하였다. 분석한 결과, 신호기 위치는 딜레마존을 형성하는 운전자의 감속시작지점과 접근속도에 따른 딜레마존 분포에 영향을 미치며, 더욱이 딜레마존 안전율과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구는 신호교차로의 교통안전도를 향상하기 위한 대안으로 교통신호기를 정지선 근처로 이설 또는 설치하는 방안을 다른 신호기 설치운영 권고안을 제안하여 현장 활용도를 제고하고자 하였다.

One of purposes of installing signals at intersections is to protect traffic conflicts and accidents from occurring by means of arranging the right-of-way of travel more clearly. On the other hand, the installation of signals, and especially their location, can also have negative effects on safety. Therefore, the location of signals is of great importance. To secure a high safety level for urban signalized intersection, efforts are required to introduce a comprehensive recommendation or guideline for safety aspects of signal installation that takes local conditions into account.

In this context, this reports on a study that analyzed the influence of signal location on the behavior of drivers who approach a signalized intersection in urban area. As a result, the study found out that the traffic signal location strongly affects the braking point of the Dilemma Zone(DZ), and the braking point of the DZ based on driving speed. Also, in terms of design layout, it has been illustrated that there is a close relation between signal location and road safety, especially DZ safety.

Finally, this paper proposes a practical recommendation for signal installation related to how to locate the signal in practice for the sake of securing the safety level of signalized intersection.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

교통신호기는 교통통행에 우선권을 부여하는 교통안전시설물로 교통사고를 미연에 방지하는 순기능을 지닌다. 순기능의 효과는 운전자의 순응뿐만 아니라 체계적인 신호운영에 의해 향상된다고 할 수 있다. 운전자의 순응이란 신호변화에 따른 운전자의 반응으로 이것은 운전자가 녹색 등화에 통과를 적색 등화에 정지의 반응을 보여야 함을 의미한다. 그러나, 황색신호에는 운전자가 정지 혹은 통과를 쉽게 판단할 수 없는 딜레마존이 발생되어 교통신호기의 순기능을 저감시킨다.

딜레마존은 “교통신호가 녹색에서 황색으로 바뀌는 시간에 운전자가 교차로를 통과 혹은 정지하기를 결정하기 어려운 구간”(Sheffi and Mahmassani, 1981)으로 정의되었다. 이보다 앞선 연구에서는 “운전자가 황색신호가 끝나기 이전에 교차로를 통과 혹은 정지하기 힘든 영역”(Gazis et al., 1960, Martin and Kalyani, 2003)으로 정의된 바 있다. 실제로, 많은 운전자들이 황색등이 등화되는 시점에 통과를 시도하여 적색등이 등화된 상태로 교차로를 통과하는 행태를 나타내곤 한다. 이것은 명백한 위법이며, 더욱이 측각, 직각, 후미 사고를 부추기는 원인이 된다. 결과적으로 딜레마존의 존재가 운전자의 행태를 보다 과격하게 만들고 교통사고의 발생빈도를 높이는 원인이 되는 것이다.

이와 같은 딜레마존의 부정적인 영향이 보고되고 있지만, 딜레마존은 운전자의 판단, 즉 인적요소와 밀접하게 관련되어 있으므로 신호교차로에서 딜레마의 영역을 완전히 제거하는 것은 거의 불가능한 일이다. 최근에는 딜레마존을 제거하는 것보다 오히려 보호하면서 교차로의 안전성을 높이려는 연구가 제기되고 있다. 딜레마존을 보호하는 방법은 교통안전정보 제공과 교차로 설계요소 제어를 통한 기법으로 접근이 가능하다. 최근, 미국에서는 인적요소 제어방법으로 교차로에 접근하는 운전자에게 접근로 도로변에서 동적 교통안전정보를 제공함으로써 딜레마존을 보호하여 교차로의 안전도를 높이는 기법의 효과를 검증한 연구결과를 제시하였다 (McCoy and Pesti, 2003). 한편, 교차로 설계요소 제어기법은 교차로 너머에 설치하는 교통신호기를 교차로 접근로의 정지선 근처에 설치하자는 방법론이며, 이와 같은 설치 사례가 전주시에서 시행된 바 있으나 설치 효과에 대한

논쟁이 끊이지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 신호기 위치가 운전자의 주행행태에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 도심 4지-신호교차로를 대상으로 황색등이 등화되는 시점에 교차로로 접근하는 운전자의 반응으로 발생하는 딜레마존 분포의 특성을 분석하였다. 또한, 다양한 신호기 위치에 따른 딜레마존의 안전율(safety margin)을 평가하기 위해, 최소정지거리 개념을 도입하여 비교·분석함으로써 교차로 설계요소 제어를 통한 딜레마존 보호가 교차로 안전도를 높이는 데 효과가 있음을 실증적으로 입증하였다. 마지막으로 분석된 결과에 기초하여, 도심 신호교차로에 적용이 가능한 신호기의 설치운영 권고안을 제안하였다.

2. 연구범위 및 방법

딜레마존의 일반적인 정의는 신호가 황색으로 바뀌는 시간에 운전자가 교차로를 통과 혹은 정지하기를 결정하기 어려운 구간으로 정의되는 것을 알 수 있다. 이는 구체적으로 1) 차량이 실제 정지선에 안전하게 정지하지 못하거나, 2) 황색시간에 교차로를 완전히 빠져나가지 못해 교차로 내에 정지하거나, 3) 황색신호에 정지선에 진입 후 적색신호에 교차로를 통과하는 경우로 구분할 수 있다. 그러나, 실제 현장에서는 운전자에게 주어진 상황과 개인의 운전능력이 각각 다르기 때문에, 신호시간 조정방법 등에 의해 딜레마존을 제거하는 등 딜레마존의 이론적인 개념적인 현실로 구체화하는데 어려움이 따른다.

특히, 주어진 황색신호에 교차로를 통과하는 차량이 신호가 녹색에서 황색으로 변경되는 순간에 언제, 어디에서 감속을 시도하였는지에 대한 반응을 추출하는 것은 매우 난해한 것으로 판단된다. 물론, 차량의 가·감속도를 추출하기 위한 목적으로 촬영영역을 좁혀 번호판을 트랙킹(tracking)할 수 있을 정도로 촬영을 시도하면 가능하겠지만, 딜레마존 분석을 위해서는 제한최고속도가 60km/h인 경우에 약 90m 정도(FHWA, 1984)의 촬영 영역이 확보되어야 하기 때문에 국소촬영은 무리라고 판단된다.

이에, 본 연구는 신호가 녹색에서 황색으로 변경되는 순간에 감속을 시작하여 정지선에 정지하는 그룹 내 선두차량만을 분석대상으로 하여 신호변경에 대한 운전자 반응의 순수성을 확보하고자 하였다.

연구의 공간적 범위는 시범적으로 신호기 위치 조정사업

이 시행된 전주시를 대상으로 최고속도제한이 60km/h로 설정되어 있는 도심 신호교차로의 접근로로 설정하였다.

자료 수집을 위한 현장조사는 2006년 5월 8일~7월 14일까지 주말과 우천 시를 제외한 평일에 실시하였다. 또한, 딜레마존이 형성되기에 부적합한 피크시를 제외하고, 접근로를 주행하는 운전자의 주행행태를 접근로 후방(upstream)에서 영상 촬영하였다. 기록된 영상은 실험실에서 데이터 추출기준에 적합한 샘플만을 추출하고, 이들 샘플이 갖는 속성을 통계 및 수리적으로 해석하였다.

신호기 위치에 따른 딜레마존 안전을 분석을 위해서 딜레마존을 형성하는 운전자의 감속시작지점 분포를 도출하고, 운전자의 감속시작지점과 접근속도의 관련성을 해석하였다. 또한, 도로안전 측면에서 도로설계의 기본요소인 최소정지시거를 도입하여, 딜레마존 분포가 지닌 안전율을 도로설계 측면에서 비교·평가하였다.

II. 조사개요

1. 조사지점 선정 및 특성

도심내 신호교차로에서 신호기 위치와 딜레마존을 분석하기 위한 조사대상 도시로 지난 2002년부터 신호기 위치조정을 실시한 전주시를 대상으로 하였다.

신호기 위치와 딜레마존 분석에서는 신호교차로의 기하구조 조건, 신호운영 조건, 단속 조건 등 교통운영 요소는 동일한 조건에서 신호기 위치만 서로 다른 교차로 접근로를 선정해야 하기 때문에, 교차로 선정에 어려움이 있다. 여기에, 촬영을 위한 시계가 확보되어야 하는 문제로 교차로 선정은 더욱 제약되었다. 조사지점의 선정 기준은 "도로용량편람"에서 제시하는 기준에 본 분석의 효과를 최대로 극대화하기 위한 세부기준을 추가로 고려하여 결정하였으며 선정기준은 다음과 같다.

- ① 차로 폭이 3.0m 이상인 접근로
- ② 종단구배가 3.0% 미만인 접근로
- ③ 정지선에서 75m 이내에 버스정류장, 불법주차, 진·출입로가 없는 접근로
- ④ 가로등이 충분하여 야간 주행 및 야간 촬영이 용이한 접근로
- ⑤ 4지-신호교차로이며 접근로가 직선부인 접근로
- ⑥ 속도 및 주차단속 카메라가 없는 접근로
- ⑦ 비디오 촬영에 장애요소가 없는 접근로(중앙분리

대 및 도로변 가로수가 없는 접근로)

- ⑧ 편도 3차로 이상, 주이동로가 직선인 접근로
- ⑨ 최고속도제한이 60km/h인 동일한 접근로

위의 선정기준에 적합한 신호교차로를 현장조사에서 선정한 결과, 선정기준에 적합한 교차로는 9개 지점이 있었으나 촬영시계가 확보되는 교차로는 4개 지점으로 제한되었다. 선정된 4개 지점의 특성은 <표 1>과 같다.

<표 1> 조사지점 특성

교차로 접근로 (차량 진행방향)	A	B	C	D	E	F	G
경기장사거리 (전주IC→시청)	11.8	4	170	3	9	660	2
덕진광장사거리 (전주IC→시청)	31.0	4	170	3	4	280	1
남도주유소사거리 (전주IC→시청)	48.5	4	170	3	5	320	1
꽃밭정이사거리 (거마사거리→전주교대)	67.0	3	170	3	8	330	1

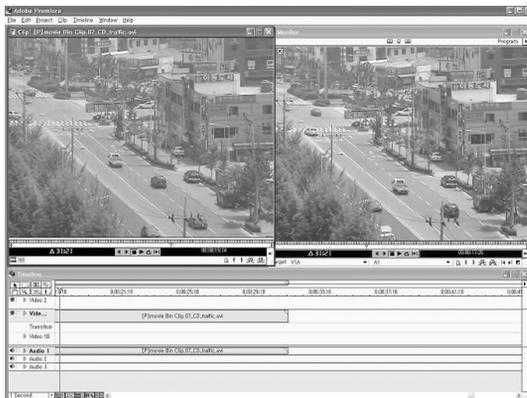
- A : 정지선에서 신호기까지의 직선거리(m)
 B : 접근로의 편도 차로수
 C : 주기(sec)
 D : 황색시간(sec)
 E : 교차 도로의 왕복 차로수
 F : 상류방향 신호교차로와의 거리(m)
 G : 상류 교차로와의 신호연동 여부(1:연동, 2:비 연동)

2. 분석데이터 추출

본 연구에서 정의하는 딜레마존은 황색신호가 등화하는 순간 교차로에 접근하는 차량군의 선두 차량이 주변의 방해 없이 나타내는 브레이크 조작 시점(감속시작 지점)으로 측정된다. 이러한 차량의 이동행태는 매 주기마다 발생하는 것이 아니라 매우 간헐적으로 발생되기 때문에 비디오 촬영과 데이터 추출에 있어 상당한 시간소비가 요구된다.

촬영된 비디오데이터는 Adobe Premiere 6.0 을 이용하여 분석하였다. <그림 1>은 데이터 추출 과정의 한 사례로 황색신호가 등화되는 순간 차량군 내 선두차량이 주변의 방해 없이 감속을 시도하는 순간을 나타낸 것이다. 본 프로그램은 화면을 초당 1/30 프레임으로 분할할 수 있어 데이터를 보다 면밀하게 분석할 수 있도록 지원한다.

<그림 2>는 분석데이터의 추출 개념으로서, (1) 분석대상 차량 앞에 선행차량이 있는 경우, (2) 분석대상 차



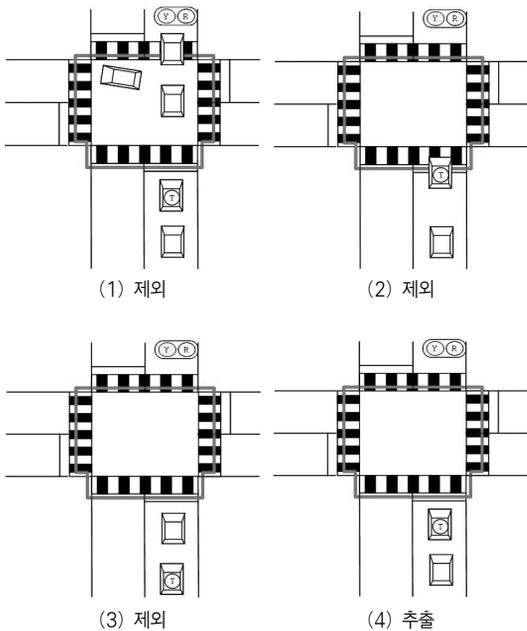
〈그림 1〉 데이터 추출 사례 (꽃밭정이사거리)

었다. 이 중에서 본 연구의 데이터 추출기준에 적합한 122개의 분석 자료가 획득되었다.

〈표 2〉 데이터 추출 결과

교차로 접근로	촬영시간 (hour)	교통량 (veh) ^a	유효 샘플수
경기장사거리	11	13305	32
덕진광장사거리	11	17110	30
남도주유소사거리	15	13114	30
꽃밭정이사거리	14	11035	30
전체	51	54564	122

a 촬영시간 내 관측된 교통량



〈그림 2〉 데이터 추출 개념

량이 횡단보도를 침범한 경우, (3) 황색신호가 등화된 순간 선행차량이 교차로를 통과하지 못한 경우는 데이터 추출에서 제외하였다. 이는 선두차량을 제외한 그룹 내 차량들은 신호가 녹색에서 황색으로 변경되는 시각과 동시에 그룹 내 선행 차량 또는 선두 차량의 감속(브레이크) 행태에 영향을 받기 때문이다. 따라서, 황색신호 등화 순간 그룹의 선두차량 주변에 장애요인(선행차량) 없이 정지선에 정지한 (4)의 경우만 분석데이터로 추출하였다.

조사대상 지점에서 51시간 동안 비디오 촬영이 수행되어, 전체 1080 주기 동안 54564대의 차량이 관측되

III. 가설검정

교통신호기는 교차로 정지선에 운전자가 정지하였을 때, 운전자가 교통신호를 인지할 수 있는 최소 양각을 고려하여 설치하도록 되어있다. 정지선을 기준으로, 한국은 10~40m(경찰청, 2005), 미국은 12~40m(MUTCD, 2003)에 설치하도록 되어 있다. 우리나라의 경우, 교통신호기를 정지선을 기준으로 10~40m의 범위에 설치한다는 것은 신호기 설치위치가 10m인 경우와 40m인 경우에 반응하는 운전자 그룹의 특성이 통계적으로 동일하다는 것을 전제로 한다.

따라서, 본 연구에서는 분석대상인 4개의 신호교차로 접근로를 주행하는 운전자 그룹의 접근속도를 대상으로, 연구의 귀무가설 H_0 (신호기 설치위치에 따른 운전자 그룹의 특성이 통계적으로 동일함)와 대립가설 H_1 (통계적으로 다름)을 95% 신뢰수준으로 설정하였다.

딜레마존은 접근속도를 비롯하여 인지반응시간, 임계감속도, 교차로길이, 차량길이, 황색시간으로 결정되는데, 이중 임계감속도, 교차로길이, 차량길이는 차량 성능 및 기하구조로 고정된 값을 지닌다. 그러므로 황색시간이 일정한 경우, 딜레마존의 길이를 결정짓는 인자는 인지반응시간과 접근속도이다. 이수범 외(2001)의 연구에 따르면, 현재 도로설계에 이용하고 있는 인지반응시간 2.5초는 39%의 안전율을 지니는 것으로 보고되어 있으므로, 접근속도는 딜레마존의 결정에 있어 가장 중요한 인자라고 할 수 있다.

신호기 위치별 평균 접근속도를 분석한 결과, 신호기 위치가 11.8m인 경우에는 49.97km/h이며, 신호기 위치가 조정되지 않은 세 지점 31.0m, 48.5m, 67.0m의

경우에는 각각 60.88km/h, 50.25km/h, 55.89km/h로 나타났다. <표 3>은 신호기 설치위치와 접근속도의 분석결과이다.

신호기 위치가 조정되지 않은 세 지점 중에서 신호기 위치가 31.0m인 경우 접근속도 값이 가장 큰 것으로 나타났다는데, 이는 교차도로의 폭이 협소하여 교차로 횡단에 대한 운전자의 부담이 상대적으로 작아 감속하지 않았을 것으로 예상되며, 교차로의 접근속도는 신호등의 위치보다는 교차로의 기하구조와 더욱 연관성이 있을 것으로 판단된다.

<표 3> 신호기 위치와 접근속도 분석결과

신호기 위치(m)	접근속도 (km/h)			
	15th	85th	평균	표준편차
11.8	41.81	61.89	49.97	4.92
31.0	52.00	69.43	60.88	4.24
48.5	40.00	60.00	50.25	5.79
67.0	44.69	64.80	55.89	5.35

<표 4>는 신호기 위치가 11.8m로 정지선 근처로 조정된 경우와 조정되지 않은 경우(31.0m, 48.5m, 67.0m)에 교차로로 접근하는 운전자 그룹의 접근속도 차이 유무를 통계적으로 검정한 결과이다.

<표 4> 그룹별 접근속도 차이 검정결과

$P(F \leq f)$	$P(T \leq t)$	H_0
0.039	0.0001	기각

검정결과, 그룹별 접근속도 분포의 $P(T \leq t)$ 검정 값은 0.0001로 유의수준 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 귀무가설(H_0)이 기각된다. 즉, 신호기 설치위치가 조정된 경우(11.8m)와 조정되지 않은 경우(31.0m, 48.5m, 67.0m)에 해당하는 차량군의 접근속도 분포는 통계적으로 차이가 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 도심 4지-신호교차로에서 신호기를 설치할 경우에는 운전자의 주행특성 반응이 필요한 것으로 판단된다.

IV. 딜레마존 안전을 분석

1. 신호기 위치에 따른 딜레마존 분포

신호교차로에서 딜레마존은 주어진 황색신호에 운전

자가 정지 혹은 통과를 판단한 시점부터 시작되며 이에 반응한 차량으로 규정되나, 사실상 이미 교차로를 통과한 차량이 보이는 딜레마존을 규정하는 것을 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 황색신호를 인지한 후 정지선에 정지한 그룹 내 선두차량만을 분석대상으로 하였다.

<그림 3>은 추출된 자료를 토대로 신호기 위치에 따른 운전자의 딜레마존 감속시작지점을 분석한 결과이다. 그림에서 y 축은 신호기 위치에 따른 운전자 그룹의 누적 백분율을, x 축은 신호기 위치(m)에 따른 딜레마존 영역을 각 신호기 위치별(m)로 평균화한 수치를 정지선을 기준으로 표현한 것이다.

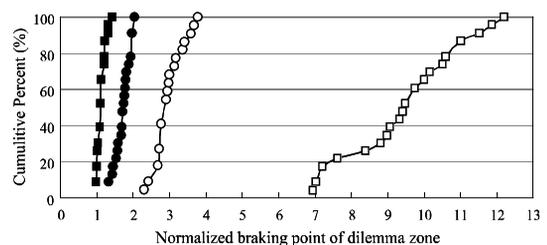
분석결과로부터 알 수 있듯이, 신호기 위치가 정지선과 가까워질수록(67.0m→11.8m) 딜레마존의 시작점은 정지선과 멀어진다. 즉, 딜레마존의 시작점이 정지선과 멀어진다는 것은 운전자가 정지선 앞에 정지할 수 시간적 여유가 증대되며, 상대적으로 여유 있는 정지시거가 제공된다는 것을 의미한다.

한편, 분포의 기울기는 신호기 위치가 정지선에서 멀어질수록(11.8m→67.0m) 증가하는 것으로 나타났다. 신호기 위치가 67.0m인 경우 기울기는 4.3으로 신호기 위치가 11.8m인 1.17에 비하여 매우 높다. 기울기의 수치가 증가할수록 주행차량의 분포는 더욱 동질(homogenous)한 행태를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 운전자들이 정지를 위한 시간적 여유가 없어 급격하게 브레이크를 조작하기 때문에 분포가 유사해지는 것으로 판단된다.

결론적으로 신호기가 정지선으로부터 가까이 설치될수록, 운전자는 비교적 여유 있는 판단과 반응을 나타내므로 교차로의 안전도는 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

2. 접근속도에 따른 딜레마존 분포

<표 5>는 주행속도별 신호기 위치가 딜레마존 형성에 미



<그림 3> 신호기 위치별 딜레마존 분포

치는 영향을 분석한 결과이다. 데이터 조사지점의 최고속도 제한이 60km/h이나, 85th에 해당하는 운전자가 이보다 높은 속도로 주행하였고, 평균에 해당하는 운전자들은 최고속도제한보다 10km/h 정도 낮은 속도분포를 나타내었다. 이에, 속도별 그룹의 하위 값을 50km/h로 설정하였고, 10km/h씩 차이를 두어 50km/h 미만, 50-60km/h, 60-70km/h, 70km/h 이상으로 4개의 그룹을 분류하였다.

〈표 5〉는 접근속도를 고려한 경우 신호기 위치가 딜레마존 분포에 미치는 영향을 분석한 것으로, 정지선으로부터 측정된 딜레마존의 그룹별 평균과 85th 수치를 분석한 결과이다.

분석결과, 접근속도가 50km/h 미만인 경우에는 신호기 위치에 따른 변화가 일정하지 않다는 것이다. 즉, 접근속도가 낮은 경우에는 신호기 위치가 딜레마존 형성에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 하지만, 50-60km/h와 60-70km/h의 경우에는 신호기 위치가 정지선으로부터 멀어질수록 딜레마존이 정지선과 가까워지는 것으로 분석되었다. 이러한 경향은 그룹 내 평균값과 85th 수치에서 모두 동일하게 나타났다.

그러나, 접근속도가 70km/h 이상인 경우에는 신호기 위치가 딜레마존 형성에 미치는 영향이 거의 유사해지는 것으로 분석되었다. 특히, 평균값에서보다 85th 수치를 비교해 볼 때 이러한 유사성은 더욱 뚜렷해진다. 최고속도제한보다 40%나 높은 70km/h 이상의 접근속도를 나타내는 운전자는 주어진 황색신호에 교차로를 통과할 수 없다는 확신을 지니고 사전에 브레이크 조작을 시도하기 때문에 그 시점이 유사해지는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 신호기 위치에 따라 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

3. 신호기 위치에 따른 딜레마존 안전율

신호교차로 전방에 황색신호를 인지한 운전자는 교차

로를 통과할 것인가 혹은 정지할 것인가를 결정한다. 전자는 운전자가 황색시간이 등화된 시점에 통과에 대한 확신을 지녔을 때 나타나고 후자는 통과에 대한 확신이 없을 때 발생된다.

운전자가 정지 행태를 보이는 경우, 교통안전 측면에서 최소정지시거(MSSD) 요구된다. 최소정지시거는 운전자가 주행 차로 상에 있는 장애물 또는 위험요소를 알아차리고 제동을 걸어서 안전하게 정지할 수 있도록 필요한 최소길이를 의미한다. 최소정지시거는 주어진 도로의 설계속도, 운전자의 인지반응시간, 도로의 종단마찰계수와 관련이 있다. 특히, 안전 확보를 위해서는 종단마찰계수가 습윤(wet)인 상태가 건조(dry)인 상태보다 중요하다.

만약, 딜레마존이 최소정지시거보다 짧으면, 운전자들이 정지선 앞에 정지하려 해도 정지선을 지나 교차로 내에서 정지할 수밖에 없다. 이와 반대로 딜레마존이 최소정지시거의 밖에 위치하며 운전자가 정지선 앞에 정지하는 행태가 보다 수월해질 것이다. 이와 같이 딜레마존과 최소정지시거는 안전측면에 있어서 매우 밀접한 관련을 맺고 있다.

본 연구에서는 교통안전에 필요한 최소정지시거를 초과하는 딜레마존(85th값 사용)의 비율을 딜레마존 안전율(SMDZ: Safety Margin of Dilemma Zone)로 정의하였다. 딜레마존의 안전율은 아래 제시된 식을 통하여 계산하였다.

$$SMDZ = \frac{(X_{85th} - MSSD)}{MSSD} \times 100 \tag{1}$$

$$MSSD = \frac{v}{3.6}t + \frac{v^2}{254f_L} \tag{2}$$

$$X_{85th} = (1-f)x_k + fx_{k+1} \tag{3}$$

$$i = \frac{85n}{100} + 0.5 \tag{4}$$

여기서,

SMDZ : 딜레마존 안전율(%)

MSSD : 최소정지시거(m)

X_{85th} : 딜레마존의 85th에 상응하는 변수 값

i : 변수 x 의 서열 데이터

k : i 의 정수 값

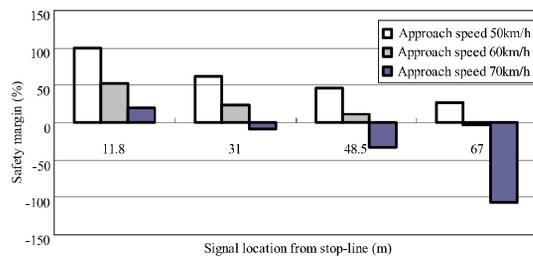
f : i 의 소수 값

〈표 5〉 접근속도별 딜레마존의 특성치 분석결과

접근속도 (km/h)	측도	신호기 위치(m)			
		11.8	31.0	48.5	67.0
50 미만	평균	93.1	64.0	73.5	64.3
	85th	118.3	71.0	98.2	79.6
50-60	평균	106.1	81.4	70.5	70.3
	85th	137.0	100.4	94.2	81.4
60-70	평균	122.6	90.1	85.0	72.7
	85th	140.0	109.0	95.0	86.6
70 이상	평균	na	88.0	90.0	81.5
	85th	na	90.0	95.0	96.0

- n : 관측 데이터 수
- v : 설계속도(km/h)
- t : 인지반응시간(2.5 sec)¹⁾
- f_L : 종방향 미끄러짐 마찰계수

〈그림 4〉는 접근속도가 50km/h, 60km/h, 70km/h 인 경우에 변화되는 딜레마존 안전율을 분석한 결과이다. 그림에서 y 축의 0은 설계기준인 최소정지시거와 딜레마존의 85th의 수치가 동일함을 의미하며 이때 안전계수는 1.0이 된다.



〈그림 4〉 신호기 위치별 딜레마존 안전율 분포

접근속도가 50km/h인 경우, 우리나라의 신호기 설치기준인 10~40m는 분석대상지 4개의 신호기 설치위치 모두 50~100%의 안전율을 확보하는 것을 알 수 있다. 하지만, 접근속도가 60km/h로 10km/h 증가하는 경우에는 안전율이 25~50%로 1/2배 감소하는 것을 알 수 있다. 특히, 신호기 위치가 설치기준보다 먼 거리에 설치된 67m인 경우에는 접근속도가 60km/h에서 안전율이 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 접근속도가 70km/h 인 경우에는, 신호기 위치가 11.8m인 경우만 안전율이 확보되는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

서론에서 언급하였듯이 교통신호기의 설치목적은 교통신호기를 통해 차량의 이동을 명확히 규제하여 교통사고를 사전에 방지하는데 있다. 하지만, 부적절한 신호등 위치로 인해 운전자에게 안전성을 제공하지 못한다면, 보다 현실 상황에 맞는 새로운 설치기준 또는 권고사항

이 현장자료를 이용한 분석결과를 토대로 제시되어야 할 것이다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 딜레마존 분석에 한정하여 현재의 신호운영을 평가하고 다음과 같은 연구결과를 도출하였다. 신호기 설치위치가 딜레마존 형성 즉, 운전자의 주행특성에 영향을 미치는 것은 명백한 사실이다. 분석결과, 신호기 위치가 정지선에서부터 멀어지면 황색신호 등화시 운전자가 안전하게 정지할 수 있는 영역이 줄어들게 된다. 이는 운전자가 정지선 앞에서 정지하는 것을 원하여도 정지할 수 없기 때문에, 횡단보도를 침범하거나 교차로 내에 정지할 수밖에 없는 상황이 발생한다. 이는 잠재적으로 자동차와 보행자, 자동차와 자동차의 상충 발생빈도를 높이는 잠재원인이 될 수 있다. 그러므로, 본 연구결과에 따라서 교통신호기를 정지선 근처로 이설 또는 설치하는 것이 가장 바람직하다.

하지만, 신호기 설치의 운전자의 혼란을 방지하고 경제적으로 설치 및 운영되어야 하기 때문에 현실적 조건에 적합한 설치운영의 묘가 필요하다. 이에 본 연구에서는 연구결과를 토대로 도심 내 신호교차로에서 적용할 수 있는 신호기 설치운영에 관한 권고안을 〈표 6〉에 제안하였다.

제안된 〈표 6〉은 신호기 설치 운영자로 하여금 신규 설치와 기존에 운영중인 신호기의 운영상 안전성을 부여할 수 있는 의사결정지원체로 활용이 가능하다.

우선 운영자는 관심대상 신호기가 신규인지 아니면 운영중인 신호기인지를 판단한다. 만약, 신규인 경우에는 권고안 1에 따라 정지선 근처에 설치하면 되나, 운영중인 경우에는 도로의 접근속도를 고려하여 권고안을 적용할 수 있게 되어있다. 접근속도가 50km/h 미만인 경우에는 연구결과가 운영중인 신호기에 안전성이 확보되는 것으로 분석되었기 때문에 권고안 2 (현행유지)를 수행한다. 한편, 접근속도가 60km/h인 경우에는 신호기 설치기준의 적합 여부에 따라 안전성이 달라지는 것으로 분석되었기 때문에 신호기 설치기준 적합 여부에 따라 권고안 2 (현행유지) 또는 권고안 a→b (정지선 근처로 이설을 우선하나, 현실적인 조건에 따라 설치기준 이내로 이설)를 수행한다. 마지막으로 접근속도가 70km/h 이상인 경우에는, 정지선 근처에 설치된 경우에만 안전율이 확보되는 연구의 분석결과에 의해, 권고안 1 (정지선 근처로 이설)을 수행한다.

1) MSSD산정시 PIEV time=2.5초, 딜레마존 제거를 위한 황색시간산정시 PIEV time=1초이므로 PIEV time=1초를 적용해야한다는 심사자의 의견이 있었으나, 본 논문은 최소정지시거를 이용한 딜레마존의 안전율 개념이므로 PIEV=2.5초를 적용하였음.

〈표 6〉 신호기 설치운영 권고안

신규 설치 여부?	예		아니오		
접근속도는?		50km/h 미만	60km/h	70km/h 이상	
기준 적합 여부?			예	아니오	
권고안	1	2	2	a→b	1

1: 정지선 근처에(로) 설치(이설), 2: 현행 유지,
a: 정지선 근처로 이설, b: 설치기준 이내로 이설

본 연구는 전주시의 도심 4개 신호교차로를 대상으로 자료 조사를 수행하였기 때문에 자료수집 부분에 연구의 한계가 있지만, 경험 자료(empirical data)를 분석한 것이므로 분석결과의 활용도가 매우 높을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구는 신호기 위치와 운전자의 정지행태뿐만 아니라 교통사고와의 관련성, 신호기 설치위치 전략에 대한 경험적 고찰 등을 고려하지 못한 한계가 있다. 이러한 심층연구는 보다 현실 상황에 적합하고 교통안전을 향상시킬 수 있는 측면에서 향후 진행되어야 할 연구 과제로 제안한다.

참고문헌

1. 경찰청(2005), 교통신호기 설치·관리 매뉴얼.
2. 도로교통안전관리공단 교통과학연구원(1998), 교통신호기 설치기준 연구Ⅲ.
3. 이수범, 장명순, 도철웅, 김원철(2001), 인적요인이 도로설계에 미치는 영향(1단계) -교차로 구간에서 운전자 행태 분석을 중심으로-, 연구총서 2001-01, 교통개발연구원·한양대학교 첨단도로 연구센터

4. 이승환·이성호·박주남(2003), 신호교차로 황색 현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안, 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.7~16.
5. 황경수·황준환·김점산·이성모(2004), 신호교차로에서 차량 통과특성 연구 (공격적인 운전자가 운전하는 차량을 중심으로), 대한교통학회지, 제22권 제2호, 대한교통학회, pp.103~108.
6. AASHTO(2001), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets -Fourth Edition-
7. FHWA(1984), Engineering Factors Affecting Traffic Singal Yellow Time -Data Collection Manual-, Report No. FHWA/RD -85/055.
8. Gazis, D., Herman, R., Maradudin, A.(1960), The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow, Operations Research 8, pp.112~132.
9. McCoy, P., Pesti, G.(2003), Dilemma Zone Protection with Advance Detection and Active Warning Signs, Nebraska Dept. of Roads, Research Project No. SPR-PL-1.(35).
10. Martin, P., Kalyani, V.(2003), Evaluation of Advance Warning Signals on High Speed Signalized Intersections, Dept. of civil and environmental engineering, University of Utah.
11. Sheffi, Y., Mahmassani, H.(1981), A Model of Driver Behavior at High-speed Signalized Intersection. Transportation Science 15, pp.50~61.

✉ 주 작 성 자 : 류창남
 ✉ 교 신 저 자 : 임삼진
 ✉ 논문투고일 : 2007. 2. 24
 ✉ 논문심사일 : 2007. 4. 3 (1차)
 2007. 7. 4 (2차)
 2007. 10. 11 (3차)
 2008. 2. 3 (4차)
 ✉ 심사판정일 : 2008. 2. 3
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 6. 30