

도시 신호교차로의 운전자 정지결정 행태분석:
전주시 실험연구를 중심으로
Analysis of Driver Stop Decision Behavior at Urban Signalized
Intersections: An Empirical Study in Joen-ju City

류 창 남

(도로교통안전관리공단 전북지부 연구원) (일본 히로시마대학교 교통공학전공 박사과정)

장 태 연

(전북대학교 건축도시공학과 교수)

김 원 철

남 궁 문

(원광대학교 토목환경도시공학부 교수)

목 차

I. 서론	
II. 이론적 배경	
III. 자료수집 및 교차로 안전도 분석	
1. 자료수집 및 개요	
2. 정지선 통과행태	
3. 정지선까지 여유시간	
	IV. 운전자 정지행태모형 개발 및 평가
	1. 운전자 정지행태모형
	2. 모형의 평가
	V. 결론
	참고문헌

I. 서론

도시 신호교차로에서 발생하는 교통사고는 도로구조, 접근로의 교통량, 신호운영 방법 등과 같은 다양한 요인에 영향을 받으나, 운전자와 도로 및 차량의 상호작용을 고려한 교통사고 원인분석에서 일반적으로 93~94% 이상이 운전자의 원인인 것으로 보고되어 있으므로, 교통사고 원인 중 가장 중요한 요인은 바로 운전자의 운전행태임을 알 수 있다(1).

신호교차로의 교통안전 연구에서 운전자 행태분석의 중요성은 주로 운전자의 개인적 특성이 도로설계요소와 같은 주변환경에 의해 영향을 받기 때문이며, 이것은 교차로 접근부에서 나타나는 딜레마존(Dilemma Zone) 개념을 통해서 설명되어진다(2). 딜레마존은 운전자의 인지반응시간, 시각 특성, 주행속도 등과 같은 인적요인에 의해 다양하게 나타나기 때문에 단지 신호시간을 조정하는 방법만으로 딜레마존을 제거하는 것은 사실상 불가능하다(3).

이에, 최근에는 딜레마존 보호를 통하여 운전자가 위험한 상황에 당면하는 것을 피할 수 있는 방법에 대한 연구가 주목을 받고 있다(4, 5).

이와 같은 연구배경의 변화는 신호기위치와 운전자의 운전행태 관련 연구의 중요성을 부각시키는 촉매제의 역할을 담당하고 있다.

교통신호기는 교차로 건너편에 설치 운영하는 것이 일반적이거나, 전주시는 신호교차로의 교통 안전도를 높이기 위한 대안으로 교차로 건너편에 있는 신호기를 정지선 부근으로 위치를 조정하는 방안(이하 전진배치)을 시행하였다. 신호기 전진배치가 시행된 이후, 개인의 주관적 견해에 따른 긍정적 또는 부정적 의견이 다소 제시되었긴 하지만 현장조사 데이터에 의한 객관적이고 실증적인 효과분석은 학술적으로 미비한 상태이다.

본 논문은 신호기 위치가 운전자의 운전행태에 미치는 영향에 관한 이해를 높이기 위해 신호교차로에서 운전자의 통과 혹은 정지행태모형을 구축하였다. 분석자료는 전주시에서 신호기 위치가 각각 다른 세 개의 교차로를 중심으로 수집하였으며, 다양한 변수 특히, 운전행태, 신호운영 매개변수, 도로환경요인 등을 고려하여 분석하였다. 또한, 본 연구는 조사자에 의한 현장기록을 바탕으로 교차로 접근로의 안전성 평가에 적용할 수 있는 안전지수 개념인 정지

선 통과행태와 정지선까지의 여유시간 (황색신호 등화시 운전자의 정지반응 지점부터 정지선에 완벽하게 정지할 때까지 필요한 여유시간)을 분석하였다. 마지막으로, 본 연구는 점차 증진되는 고령화 시대에 교차로의 교통안전을 향상시킬 수 있는 방안으로 신호기 설치위치 변경의 중요성에 대하여 논하였다.

II. 이론적 배경

신호교차로에서 녹색신호가 황색신호로 바뀌는 순간은 운전자가 교차로를 통과 혹은 정지해야 할지를 결정해야 하는 순간으로 대다수의 운전자들이 큰 난관에 직면하게 된다(6). 이러한 결정은 운전자가 황색신호가 끝나기 직전까지 정지선 앞에 정지할 수도 없고 교차로를 통과할 수도 없는 구간 즉, 딜레마존에서 발생한다(4,7).

딜레마존에서는 선택원리 즉, all-or-nothing 법칙처럼 운전자가 통과 혹은 정지행태를 나타내기 때문에 이항법칙으로 해석이 가능하다. 그러나, 신호교차로 접근부에서 운전행태와 관련된 문헌에서 운전자특성 함수로서 정지결정 확률을 평가하는데 이항로짓모형을 사용한 연구는 많지 않으나, 선행된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

Mussa, R.N. 등(8)은 운전시물레이터를 이용하여 점멸 황색신호의 유효성을 평가했다. 그의 실험은 적색신호 위반, 최대감속의 심각성, 부적절한 정지 혹은 통과를 감소시킬 가능성이 있음을 제시하였다. 또한, 황색신호 등화시 운전자가 정지반응을 나타낸 지점으로부터 정지선까지의 거리와 잔여시간을 이용하여 운전자의 정지가능성을 로짓모형으로 제시하였다. 본 연구에서 그는 점멸 황색신호는 고정 황색신호 보다 높은 효과가 있을 것이라는 운전자의 기대에도 불구하고 교차로 안전성은 향상되지 않는다는 결론을 제시하였다. 본 연구는 운전시물레이터 실험에서 언급된 실험요소의 특성을 조절했음에도 불구하고 교차로 기하구조의 다양성을 고려하지 못했다는 점에 연구의 한계가 있다고 지적되었다.

H. Köll 등(9)은 황색신호 등화 전에 녹색신호의 점멸유무 신호체계가 운전자의 정지행태에 미치는 영향을 평가하기 위해 이산선택모형을 적용했다. 본 연구에서 녹색점멸신호체계에서 운전자는 황색신호의 시작시간을 과소평가하기 때문에, 운전자의 정지행태가 보다 빨리 나타난다는 것을 연구결과로 제시하였다. 또한, 접근속도, 정지선까지 거리, 그리고 접근속도와 정지선까지의 상호효과가 운전자의 정지행태를 설명하는 요인임을 강조하였다. 이와 유사하게, Papaioannou, P.(3)는 황색신호에 순응하는 운전자의 운전행태 즉, 신호교차로에서 신호위반 행태를 검토했다. 그는 정지선에 정지 혹은 통과하는 가능성을 접근속도, 교차로로부터 정지거리, 성별, 연령, 그리고, 딜레마존의 존재 유무로 설명할 수 있도록 이항선택모형을 개발하였다. 연구의 결론으로 황색신호에 직면한 많은 운전자들이 그들의 높은 접근속도 때문에 딜레마존을 경험하게 되며, 이러한 상황이 결국에는 운전자가 공격적인 행태를 나타내는 원인이 된다고 제시하였다.

최근에, Caird. 등(10)은 교차로에서 발생하는 충돌사고가 고령 운전자에 의해 많이 발생하는 원인을 파악하기 위해 신호등이 녹색에서 황색으로 바뀔 때 고령 운전자와 젊은 운전자를 대상으로 교차로 접근로의 운전행태를 연구했다. 그는 운전시물레이터를 이용하여 77명의 참가자를 성별, 연령별로 구분하고 규제속도가 70km/h인 교차로에서 황색신호 등화시 운전자가 정지반응을 보인 지점으로부터 정지선까지 남은 여유시간을 분석하였다. 또한, 운전자의 정지행태를 분석하기 위해서 정지/통과율, 운전자 인지반응시간, 차량속도, 감속율, 정지 정확도, 교차로 시거를 변수로 이용하였다. 로지스틱 회귀모형에 의한 운전자의 정지 혹은 통과행태를 분석한 결과, 정지선까지의 여유시간만이 운전자의 정지행태 가능성을 설명하는데 유의한 변수라는 것을 제시하였다. 또한, 고령 운전자가 젊은 운전자에 비해 보다 낮은 속도로 교차로에 접근하고 더 정확하게 정지선에 정지한다는 연구결과를 제시하였다.

선행된 연구를 통해서 교차로의 접근속도가 높은 경우 그리고 정지선까지 남은 거리가 짧은 경우에 정지선의 정지가능성이 감소되는 것

을 알 수 있다. 게다가 운전자 행태에 잠재된 인적요인은 도로환경에 의존도가 높기 때문에 결국 교차로 기하구조의 특성은 교차로의 안전성을 설명하는데 매우 중요한 요소가 된다고 할 수 있다. 이와 같은 측면에서 교차로의 형태와 크기를 결정짓는 신호기 위치는 교차로의 안전성을 평가하는데 중요한 요소임에 틀림없다.

본 논문은 딜레마존에 도달한 운전자의 정지 혹은 통과 행태에 신호기 위치가 미치는 영향을 평가하기 위해서 이항로짓모형을 적용하였다. 정지행태 및 통과행태는 이항로짓모형의 종속변수로서 각각 0과 1로 표현하였으며, 모형식은 다음과 같다.

$$P_n(stop) = \frac{1}{1 + e^{-z_n}}$$

$$z_n = \alpha + \sum_k \beta_k x_{nk} \quad (1)$$

여기서,

P_n : 운전자 n이 정지선에 멈추는 확률

z_n : 운전자의 정지/통과행태에 영향을 미치는 다양한 요인 x_{nk} 의 선형 함수(독립변수 β_k 는 알려지지 않은 매개변수, α : 상수항)

III. 자료수집 및 교차로 안전도 분석

1. 자료수집 및 개요

1) 자료수집

국내에는 신호교차로의 교통신호 설치에 관한 설치기준이 있음에도 불구하고, 설치 현장여건, 설치 및 관리감독 미비, 거주자 민원 등 신호기 설치와 관련된 다양한 이유로 인해 실제로 신호기 설치기준에 적합하지 않게 설치된 지점이 많은 것으로 보인다. 이러한 국내 현실은 최근 국내 연구진에게 신호교차로 안전도 관련연구의 흥미를 유발시켰으며, 그 일환으로 전주시는 5년전 교차로 너머에 설치하던 신호기를 정지선 근처로 이설(전진배치) 하는 실험 프로젝트를 시행하였다. 신호기 설치의 이설범위는 신호기 설치기준에 의거하여 정지선으로

부터 10~40m 이내이며, 대략 30여개 이상의 4지-교차로에 시행되었다.

이에 본 연구에서는 신호기 설치위치가 운전자의 운전행태에 미치는 순수영향을 평가하기 위해서 이미 사업이 시행된 전주시에서 분석 자료를 수집하였다. 특히, 운전행태에 대한 신호기 위치의 영향을 평가하기 위해서는 신호기 설치위치 이외 다른 영향 요인들에 대한 효과를 조정할 필요가 있다. 그러므로, 적합한 자료수집과 비디오 촬영을 위해 교차로 접근부는 다음 9개의 요구조건이 충족되는 지점을 대상으로 선정하였다.

- ① 접근부가 직선부인 4지-교차로
- ② 속도 및 신호위반 단속 카메라가 없는 접근로
- ③ 최고속도제한이 60km/h인 접근로
- ④ 비디오 촬영에 장애요소가 없는 접근로 (중분대 및 가로수 등)
- ⑤ 편도 3차로 이상, 주 이동로가 직진인 접근로
- ⑥ 정지선에서 75m 이내에 버스정류장, 불법주차, 진출입로가 없는 접근로
- ⑦ 종단경사가 3% 미만인 접근로
- ⑧ 가로등이 충분하여 야간주행 및 야간촬영이 용이한 접근로
- ⑨ 차로폭이 3m이상으로 촬영 각도 및 영역이 충분한 접근로

전주시에는 신호기 이설사업이 수행된 4지 교차로가 30여개 이상이었으나, 본 연구의 분석목적을 수행하기에 필요한 9개의 요구조건에 적합한 4지-교차로는 3개 지점이었으며, 각 교차로의 접근부 특성은 <표 1>과 같다.

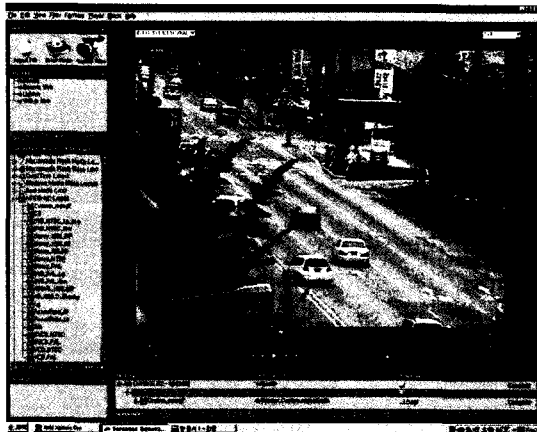
<표 1> 교차로 접근부의 특성

교차로 접근로	정지선과 신호기간 거리(m)	편도 차로수	신호주기 (sec)	현시값 (sec)	
				황색	적색
A 경기장4	11.8	4	190	3	117
B 덕진광장4	31.0	4	170	3	99
C 꽃밭정4	67.0	3	170	3	123

2) 자료수집 절차

딜레마존은 교차로의 접근차량이 제한속도보다 높은 경우, 혹은 교통신호운영의 기준에 적용된 속도보다 높은 속도로 접근할 경우에 나타난다. 딜레마존의 영역은 황색신호 등화시 교차로에 접근하는 차량그룹의 선두차량이 주변의 방해조건이 없는 상황에서 브레이크를 밟는 지점을 기준으로 측정한다. 즉, 다른 차량들로 방해되는 경우, 혹은 선두차량이 정지선 전에 정지하는 차량 등은 제외한다. 이러한 차량의 이동행태는 매 주기마다 발생하는 것이 아니라 매우 간헐적으로 발생되기 때문에 유효한 데이터 추출에는 상당한 시간소비가 요구된다.

촬영된 영상은 초당 1/30프레임으로 화면이 분할되어 세밀한 분석이 가능한 영상편집프로그램 Sorenson squeeze 4.5를 이용하였다.



<그림 1> 데이터 추출사례(경기장4)

자료의 추출과정은 <표 2>에 기술한 바와 같다.

<표 2> 자료추출과정

Interval	질문	결정과정			
Within yellow interval	1. 신호가 황색으로 바뀌었는가?	예		아니오	
	2. 딜레마존에서 첫 번째 차량인가?	예	아니오	-	
	3. 정지선에 정지하였는가?	예	아니오	-	-
결과	정지	통과	관계 없음	관계 없음	

- : 해당없음

관심대상인 정지화면에 대해 분석자가 스스로 연속된 3개의 질문에 대해 '예' 또는 '아니오'의 응답을 제시하도록 구성하였으며, 결과적으로 이러한 질의응답 방식은 관심대상 정지화면을 자동적으로 '정지', '통과', 그리고 '관련 없음'의 3개 그룹으로 나누어준다.

3) 분석자료 개요

총 29시간, 593주기에 걸쳐 관찰하여 198개의 유효자료가 추출되었다.(정지: 90, 통과: 108). 즉, 신호주기동안 황색신호 등화시 교차로 접근부에 다른 환경장애가 없는 차량(혹은 운전자)이며, 자료의 개요는 <표 3>과 같다. 제한속도 60km/h에서, 평균속도와 85th속도는 A와 C의 접근부에서 비슷하였고 (평균: 58 km/h; 85th: 70km/h), B의 접근부는 (평균: 66km/h; 85th: 80km/h) 다소 높은 것으로 나타났다.

<표 3> 분석자료 개요

교차로 접근로	신호기 위치	촬영 시간	주기	교통량	유효샘플	
					정지	통과
A (11.8m)	교차로 건너기전	10	190	12580	30	39
B (31.0m)	교차로 건너편	10	212	15617	31	37
		9	191	7378	29	32
합계		29	593	35575	90	108

2. 정지선 통과 행태

Kokkalis, A.등(11)은 교통신호에 불복종하는 행태는 신호위반의 원인이 되며 결국에는 교통상충 또는 교통사고의 원인이 된다고 지적하였다. 따라서, 황색과 적색신호 등화시 정지선을 통과하는 차량의 수 즉, 교통신호 불복종 행태를 나타내는 차량의 수는 신호교차로의 교통안전성을 평가하는 중요한 지표가 될 수 있다(9). 명확하게, 신호교차로의 안전성은 정지선 위반 차량이 증가할수록 더욱 문제시 되는 것이다.

신호기 위치가 운전자의 운전행태에 미치는 영향과 이와 관련된 교차로의 교통안전성을 평가하기 위해, 조사대상 교차로의 정지선 통과행태를 분석하였다. 분석자료는 오전오후 피크시간대 2시간 동안 현장조사자에 의해 조사되었으며, 이중 오전 출근시간대는 교통경찰이 교차로의 교통신호를 직접 통제했기 때문에 오전피

크시간대에 수집된 자료는 분석에서 제외하였다. 황색과 적색신호시간대에 기록된 통과차량은 총 520대였으며, <표 4>는 각 교차로 접근부의 철두시 교통량, 노출시간(황색 및 적색신호시간), 표준화된 접근로의 공간(접근로 폭/신호기 위치) 등을 나타낸다.

<표 4> 정지선 통과 차량수 (오후철두 2시간)

교차로 접근부	철두 교통량 (vph)	노출시간 (sec)	표준화된 접근로 공간	통과차량수 (대, %)		
				황색	적색	합계
A (11.8)	3326	4547	1.186	93 (73.81)	33 (26.19)	126
B (31.0)	2791	4320	0.452	93 (57.06)	70 (42.94)	163
C (67.0)	1778	5336	0.158	147 (63.64)	84 (36.36)	231
Total	7895	14203	1.796	333 (64.04)	187 (35.96)	520

<표 5>는 분석대상교차로 접근로의 교통량당, 노출시간당, 표준화된 접근로 공간당 정지선 통과비율을 나타낸 것이다. 교통량 당 비교의 합계를 보면, 교통신호기가 정지선에서 가장 가까운 곳에 위치한 경우 A와 비교하여 신호기 위치가 가장 먼 C의 정지선 통과비율이 3.42배 높은 것을 알 수 있다. 노출시간 당 비교에서도 비슷한 추세를 확인할 수 있다. C의 접근부의 정지선 통과는 A의 접근부처럼 신호기가 정지선 근처에 위치한 경우보다 약 1.54배 더 높다. 더욱이, 공간 당 비율에서 A의 접근부처럼 신호기가 정지선 근처에 위치했을 때와 비교하면 C의 접근부에서는 약 13.76배로 매우 높게 나타났다.

<표 5 > 교통량, 주기 및 공간 당 정지선 통과 비율

교차로 접근부	교통량 당			노출시간 당		
	Yellow	Red	합계	Yellow	Red	합계
A (11.8)	0.028	0.010	0.038	0.020	0.007	0.028
B (31.0)	0.033	0.025	0.058	0.022	0.016	0.038
C (67.0)	0.083	0.047	0.130	0.028	0.016	0.043

교차로 접근부	표준화된 접근로 공간 당		
	Yellow	Red	합계
A (11.8)	78.415	27.825	106.239
B (31.0)	205.752	154.867	360.619
C (67.0)	930.380	531.646	1462.025

정지선 통과비율에 근거하여 비교할 때, 운전자의 교통신호에 대한 불복종은 신호기 위치가 정지선에서 멀어질수록 (11.8m→31.0m→67.0m) 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 운전자의 행태를 더 공격적으로 만들어 신호위반의 횡수를 증가시키며 결과적으로는 교차로의 교통안전수준을 저하시키는 원인이 되는 것으로 판단된다.

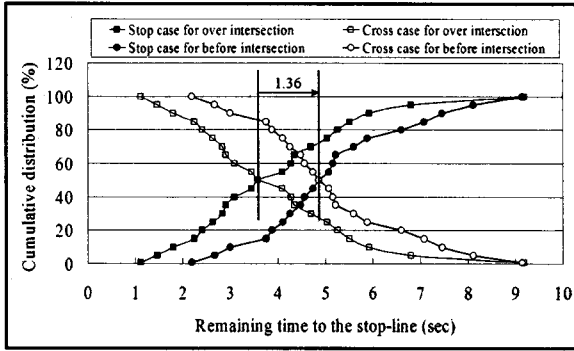
본 분석결과는 우리나라에서 주의가 필요한 많은 공격적인 운전자(12)의 관리를 위한 교통정책 수립의 기초자료로 활용할 수 있음에 주목할 의의가 있다. 더욱이 C의 접근부의 경우에는 신호기를 정지선 부근 즉, 교차로 건너기 전으로 이설하여 분석된 결과와 같이 예상되는 운전자의 공격적 성향을 감소시켜 교차로의 교통안전도를 높이는 것이 적절한 교통안전 대책인 것으로 판단된다.

3. 정지선까지 여유시간

교차로의 안전도 평가와 관련하여, 정지선까지의 여유시간은 운전자가 황색신호 등화를 인지하고 반응한 시점(브레이크 반응)을 기준으로 차량속도와 정지선까지의 거리를 시간개념으로 환산하여 계산된다. 정지선까지 여유시간은 이 값의 변화에 의해 정지선 전에 정지할 가능성이 결정되므로 신호교차로의 안전성 평가측면에서는 중요한 지표로 여길 수 있다(3, 8, 9, 13).

본 연구에서는 신호기 위치가 정지선 부근에 설치된 경우와 교차로 너머에 설치된 경우를 대상으로 정지선까지의 여유시간을 분석하였다.

<그림 1>은 신호기 위치가 정지선 부근에 설치된 경우와 교차로 너머에 설치된 경우, 운전자가 정지선에 정지 혹은 통과할 가능성을 누적곡선을 정지선까지의 여유시간에 기준 (x축)하여 표현한 것이다. 정지 혹은 통과 가능성의 누적곡선이 교차하는 지점 즉, 누적분포의 50% 지점은 운전자가 정지선에 정지하는 가능성과 통과하는 가능성이 바뀌는 순간을 의미하기 때문에 이에 해당하는 x축의 값(정지선까지의 여유시간) 매우 중요한 의미를 지닌다.



<그림 2> 딜레마존내 정지선까지 여유시간 분석결과

구체적으로, 교차로 이전에 신호기가 설치된 경우 (접근부 A)와 교차로 건너편에 설치된 경우 (접근부 B, C)를 비교할 때, 각각 계산된 여유시간은 전자의 경우에는 평균 4.86초 후자의 경우에는 평균 3.58초의 여유시간의 값을 갖게 된다. 이것은 정지선에 더 가까이 신호기를 설치하는 경우(교차로 이전에 설치된 경우)와 교차로 건너편에 위치한 신호기의 경우와 비교할 때, 운전자가 정지선 이전에 정지할 수 있도록 결정할 수 있는 판단시간이 36% (1.36 배) 많은 제공될 수 있음을 의미한다. 또한, 이와 같은 분석결과는 신호기 위치가 운전자의 정지행태에 요구되는 의사결정 시간에 영향을 미친다는 사실을 명백하게 나타낸다고 판단된다.

IV. 운전자 정지행태모형 개발 및 평가

1. 운전자 정지행태모형

분석결과에 의하면 신호기 위치가 운전자의 운전행태에 영향을 미치는 사실은 명백한 것 같다. 특히, 정지선까지의 여유시간과 여유시간을 형성하는 차량의 접근속도와 운전자의 반응지점도 매우 중요한 요인이 아닐 수 없다.

본 논문에서는 신호기 위치 요인이 다른 요인들과 같이 운전자의 정지행태에 미치는 영향을 폭넓게 분석하기 위해 여러 영향요인을 고려하여 운전자 정지행태모형을 개발하였다. 이를 위해서, 운전자가 정지선에 접근하면서 두 가지의 선택 즉, 정지 혹은 통과를 나타내기 때문에, 이러한 행태를 설명하기 위해 이항로짓회귀모형을 적용하였다. 신호기 위치는 정지선에

서부터 상류방향으로 측정하였기에 변수 코딩시 마이너스 값으로 입력하였다. 모형분석에 이용한 변수는 <표 6>과 같다.

분석결과, 신호 위치(Signal location: SL), 여유시간(Remaining time: RT), 반응지점(Action point: AP) 및 차량 속도(Vehicle speed: VS) 변수가 95% 신뢰수준에서 유의한 것으로 분석되었다. 그러나 여유시간과 반응지점 변수는 상관이 높아 동일 모형에서의 사용은 배제하였다. 본 연구에서 구축한 운전자 정지행태모형은 다음과 같다.

$$z_n = c + \alpha_1 SL_n + \alpha_2 RT_n \quad (2)$$

$$z_n = c + \alpha_1 SL_n + \alpha_3 AP_n + \alpha_4 VS_n \quad (3)$$

여기서

c : 고정변수

$\alpha_1, \dots, \alpha_4$: 각 모형에서 설명변수의 계수

<표 6> 모델에 사용된 변수

변수	정의	Mean	S.D.
정지행태	교차로 접근시 차량운전자가 정지선에 정지 혹은, 통과를 결정(1=정지, 0=통과)	0.45	0.04
신호기 위치	신호기에서 정지선까지 거리(m, 음수)	-35.40	1.61
반응지점	운전자가 정지선기준 신호변화에 반응하는 지점(m, 양수)	47.50	0.03
차량 접근속도	교차로 접근속도(km/h)	61.07	0.95
여유시간	운전자가 정지결정을 하기 위해 유용할 수 있는 시간(sec)	0.79	0.04
접근로 길이	분석대상 교차로에서 이전 교차로까지 거리(m, 양수)	414.29	13.09
신호연동	분석대상 교차로와 이전 교차로간 신호연동(1 = yes, 0 = no)	0.65	0.03
신호기 위치	신호기 위치가 교차로 접근부, 혹은 건너편인지 여부(1 = 교차로 접근부, 0 = 교차로 건너편)	0.35	0.03
교통량	교차로 접근부를 통과하는 시간당 교통량(veh/h)	1624.54	26.95
주야 구분	촬영시간의 주야구분(1 = 주간, 0 = 야간)	0.12	0.02

2. 모형의 평가

운전자 정지행태모형의 평가결과는 <표 7>과 같다. 첫 번째 모형의 결정계수(R-square) 값은

0.725로 나타났으며, 운전자의 정지가능성이 두 요인-신호기 위치와 잔여시간-으로 표현되었다. 신호기 위치계수는 (-)0.031인데, 이는 신호기가 정지선으로부터 멀리 설치될수록 정지가능성은 낮아짐을 의미한다. 여유시간계수의 값은 7.901로 여유시간 값이 클수록 운전자의 정지가능성은 더 높아지는 것을 의미한다. 한편, 신호기 위치의 영향은 정지선까지의 여유시간에 비해 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 정지선까지의 여유시간은 황색등화시 운전자의 반응지점과 차량의 접근속도인 두 가지 요인으로 분할할 수 있으며, 이 두 요인이 운전자의 정지행태에 미치는 영향은 두 번째 모형에서 분석되었다.

두번째 모형의 결정계수값은 0.730으로 나타났으며, 신호기 위치, 운전자의 반응지점, 차량속도가 평가변수로 이용되었다. 신호기 위치와 관련된 분석결과는 첫번째 모형의 분석결과와 유사한 것을 알 수 있다. 반응지점 변수의 값은 0.130로 이는 반응지점이 정지선으로부터 멀면 멀수록 운전자가 정지선에 정지할 확률은 증가하는 것을 의미한다. 또한, 반응지점 변수가 운전자의 정지행태에 미치는 영향은 다른 요인에 비해 비교적 큰 것을 알 수 있다. 이것은 반응지점 변수가 신호교차로의 접근부에서 운전자의 정지가능성에 영향을 미치는 가장 중요한 요인임을 의미한다.

<표 7> 모형의 변수와 매개변수 평가

	$\alpha_1, \dots, \alpha_k$	S.E.	Wald	df	Sig.
Model 1, NRS=0.725					
Signal Location(SL)	-0.031	0.011	7.617	1	0.006
Remaining Time (RT)	7.901	1.170	45.567	1	0.000
Constant	-7.183	1.098	42.792	1	0.000
Model 2, NRS=0.730					
Signal Location(SL)	-0.033	0.012	7.572	1	0.006
Action Point(AP)	0.130	0.018	49.385	1	0.000
Vehicle Speed(VS)	-0.049	0.020	5.926	1	0.015
Constant	-4.320	1.305	10.968	1	0.001

NRS: Nagelkerke R-square.

V. 결론

신호교차로의 교통신호기 설치의 주요 목적은 차량의 이동을 명확히 규제하여 교통상충과 사고를 미연에 방지하는데 있지만, 신호기 설치(특히 부적절한 신호기 설치위치)로 인해 교차로의 교통안전이 부정적인 영향을 받는다면 교차로 교통안전 향상을 위해 우선적으로 개선되어야 함목인 것으로 판단된다.

본 논문은 교차로 접근로를 주행하는 운전자의 운전행태에 신호기 위치가 미치는 영향에 대한 중요한 시사점을 도출하였다. 분석결과, 운전자의 정지선 통과행태의 관점에서 볼 때 정지선에서 신호기까지 거리가 11.8m→31.0m→67.0m으로 증가하는 경우에는 운전자의 정지선 위반율은 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 신호기 위치가 정지선 부근에 위치한 경우와 교차로 너머에 설치된 경우의 정지선 위반율을 비교한 결과, 교통량 기준, 노출시간 기준, 접근로의 공간을 기준으로 하였을 때 각각 3.42배, 1.54배, 그리고, 13.76배나 더 높은 것으로 분석되었다. 한편, 정지선까지 여유시간을 분석한 결과에서도 운전자는 신호기가 정지선 부근에 설치된 경우가 교차로 너머에 설치된 경우에 비하여 1.36배 더 높은 정지확률을 가지는 것으로 나타났다. 마지막으로, 운전자의 정지결정행태모형을 평가한 결과, 신호기 위치가 정지선에 가까워질수록, 운전자의 반응지점이 정지선에서 멀수록, 여유시간이 많을수록 운전자는 정지선에 정지할 수 있는 가능성이 증가하는 것으로 분석되었다. 선행된 연구에서는 정지선까지의 여유시간과 운전자의 반응지점 변수를 이용하여 교차로의 접근로 안전도 평가모형에서 다루었지만, 본 연구에서는 기존의 연구결과에 신호기 위치가 운전자 정지행태에 미치는 영향을 평가했다는 점에서 연구의 의의가 높다.

분석결과를 토대로 본 연구는 신호기 위치가 정지선에서 멀어질수록 운전자의 정지가능성이 낮아져 교통안전을 위협하기 때문에, 신호교차로의 안전성을 높이기 위한 방법으로 신호기를 정지선 부근에 이설하는 대안을 제안한다. 본 연구에서 제안한 방안은 교차로 너머에 설치하는 신호기를 정지선 부근으로 이설함으로써 운

전자에게 정지선까지 정지할 수 있는 여유시간을 보다 많이 제공하여 고령화로 진전되는 상황에서 교차로의 안전도를 향상시키는데 기여할 것으로 기대된다. 이는 고령운전자의 인적요소인 시력, 청력, 인지반응 등이 젊은 운전자의 특성과 많이 다르며(14, 15, 16), 특히, 목표물 인지 테스트에서 젊은 운전자에 비해 현저하게 느린 수치를 나타내기 때문에(17) 고령운전자의 안전운전을 위해서는 의사결정에 필요한 더 많은 여유시간의 제공이 필요하기 때문이다.

참고문헌

- Ogden, K.W. *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*. Avebury Technical, 1996.
- Moon, Y.J., and F. Coleman III. Dynamic Dilemma Zone Based on Driver Behavior and Car-Following Model at Highway-Rail Intersections. *Transportation Research Part B*, Vol. 37, 2003, pp. 323-344.
- Papaioannou, P. Driver Behaviour, Dilemma Zone and Safety Effects at Urban Signalised Intersections in Greece. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, 2007, pp. 147-158.
- Martin, P., and V. Kalyani. *Evaluation of Advance Warning Signals on High Speed Signalized Intersections*. Department of Civil and Environment Engineering, University of Utah, 2003.
- McCoy, P., and G. Pesti. *Dilemma Zone Protection with Advance Detection and Active Warning Signs*. Research Project No. SPR-PL-1. (35), Nebraska Department of Roads, 2003.
- Sheffi, Y., and H. Mahmassani. A Model of Driver Behavior at High-speed Signalized Intersection. *Transportation Science*, Vol. 15, No.1, 1981, pp. 50-61.
- Gazis, D., R. Herman, and A. Maradudin. The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow. *Operations Research*, Vol. 8, 1960, pp. 112-132.
- Mussa, R.N., C.J. Newton, J.S. Matthias, E.K. Sadella, and E.K. Burns. Simulator Evaluation of Green and Flashing Amber Signal Phasing. In *Transportation Research Record, No. 1550*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 23-29.
- H. Köll, M. Bader, and K.W. Axhausen. Driver Behaviour during Flashing Green before Amber: a Comparative Study. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, 2004, pp. 273-280.
- Caird, J.K., S.L. Chisholm, C.J. Edwards, and J.I. Creaser. The Effect of Yellow Light onset Time on Older and Younger Driver's Perception Response Time (PRT) and Intersection Behavior. *Transportation Research Part F*, 2007, doi:10.1016/j.trf.2007.03.002
- Kokkalis, A., P. Papaioannou, and S. Basbes. A Study of Traffic Signal Violation at Highway Intersections. *Proceedings of the International Federation of Automatic Control (IFAC) Symposium on Transportation Systems*, Chania, Greece, June 16-18, 1997, pp. 1391-1397.
- NCHRP Report 500, *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Vol. 1: A Guide for Addressing Aggressive Driving Collisions*, 2003.
- Mahalel, D., and D.M. Zaidel. Safety Evaluation of a Flashing-green Light in a Traffic Signal. *Traffic Engineering & Control*, Vol. 26, No. 2, 1985, pp. 79-81.
- Johansson, G., and K. Rumar. Driver' Brake Reaction Times. *Human Factors*, Vol. 13, 1971, pp. 23-27.
- Olson, P. L., and M. Sivak. Perception-Response Time to Unexpected Roadway Hazards. *Human Factors*, Vol. 28, 1986, pp. 91-96.
- Warshawky-Livne, L., and D. Shinar. Effects of Uncertainty, Transmission Type, Driver Age and Gender on Brake Reaction and Movement Time. *Journal of Safety Research*, Vol. 33, 2002, pp. 117-128.
- Salthouse, T.A., and K.A. Prill. Effects of Aging on Perceptual Closure. *American Journal of Psychology*, Vol. 101, 1998, pp. 217-238.