

■ 論 文 ■

신호교차로 황색현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안

A Study on Driver Behavior and Dilemma Zone during Yellow Interval at Signalized Intersections

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부
교수/ITS대학원장)

이 성 호

(아주대학교 건설교통공학과
박사과정)

박 주 남

(교통개발연구원
연구원)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 범위</p> <p>II. 이론적 고찰</p> <p>1. 감속도</p> <p>2. 운전자 인지반응시간</p> <p>3. 정지율과 딜레마 구간</p> <p>III. 자료수집 및 분석</p> <p>1. speed zone 설정</p> | <p>2. 조사장소 선정</p> <p>3. 실내분석</p> <p>IV. 분석결과</p> <p>1. 자료수집</p> <p>2. 속도 및 가감속</p> <p>3. 운전자 인지반응시간</p> <p>4. 정지율</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 딜레마구간, 운전자인지반응시간(PRT), 가감속도, 정지율, Traffic Safety

요 약

본 연구는 딜레마구간 제거를 위한 기초연구로서, 황색신호 등화시 신호교차로에 접근하는 차량들의 운전자 행태를 분석하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 도시부 2개 지점(송탄, 수원 영통)과 지방부 1개 지점(용인)의 신호교차로를 대상으로 차량들의 정지 감속률과 운전자 인지반응시간, 그리고 딜레마 구간과 정지율과의 관계를 고찰하고 이를 바탕으로 신호교차로의 정지율과 이에 따른 딜레마구간의 범위를 도출하였다.

본 연구를 통해 우리나라 운전자들의 정지감속률과 운전자인지반응시간(PRT)은 각각 1.61m/sec²과 1.27초를 보였다. 이러한 값들은 그동안 우리나라에서 사용되어왔던 ITE 기준보다 큰 값들로서 향후 신호교차로에서의 안전을 고려한 설계시 매우 중요하게 다루어야 할 것으로 보여진다. 또한 본 연구는 향후 조사 대상 범위를 더욱 확대하여 다양한 운전자 행태에 대한 자료를 수집하여 향후 신호교차로 안전시스템 개발시 적극 활용될 수 있으리라 판단된다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

신호교차로에서 황색신호가 등화한 이후 운전자가 정지할 것인지 혹은 교차로를 통과할 것인지에 대해 결정하게 되는 것은 매우 어려운 의사결정 요소로서, 이러한 상황을 유발하게 되는 구간을 "딜레마구간(Dilemma Zone)"이라고 한다. 이러한 딜레마구간에서의 다양한 운전자 행태로 인한 교통사고의 가능성이 항상 잠재하고 있다고 할 수 있다. 따라서 이러한 딜레마 구간의 제거를 목적으로 하는 연구가 한창 진행중에 있으며, 주로 검지기 설계 및 신호제어 전략, 교통정보 제공분야의 기술개발에 초점을 맞추고 있다. 본 연구는 이러한 딜레마구간 제거를 위한 기초연구로서, 황색신호 등화시 교차로에 접근하는 차량들의 운전자 행태 분석을 위한 교차로 정지 감속률, 운전자 인지 반응시간 및 딜레마 구간과 정지율의 관계를 고찰하고, 이를 바탕으로 신호교차로의 정지율과 이에 따른 딜레마 구간의 범위를 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서 수행하고자 하는 연구의 세부내용 및 범위는 다음과 같다.

- 속도 및 가감속 : 신호교차로에 진입하는 정지 및 통과 차량의 위치별(존별)속도 및 가감속률, 존별 속도변화
- 운전자 인지반응시간(Perception Response Time, PRT)
 - 황색등화시점의 개별차량 속도와 차량의 PRT와의 관계 도출
 - 황색등화시점에서의 개별차량의 위치와 PRT와의 관계 도출
- 정지율(Stopping and Crossing Probabilities)
 - 황색등화 시점에서의 차량 위치와 정지율과의 관계 도출
 - 황색등화시 조사대상차량이 정지선까지 주행하는데 걸린 시간과 정지율과의 관계 도출

본 연구의 대상 신호교차로는 제한속도가 약 80km/h 인 곳을 3개소 선정하여 국내 신호교차로의 일반적인

운전자 행태를 분석하였다. 또한 비디오 분석을 통한 차량의 브레이크등 확인을 위하여 야간에 조사를 실시하였으며 황색신호에 반응하는 교차로 운행차량에 대해서만 분석하여 결과를 제시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 감속도

ITE에서 제시하는 정지감속률 3.05m/sec^2 는 차량의 "최대 감속률"로서, 이는 긴급상황에서의 최소 정지 거리를 산출하기 위해 사용되며, "정상감속률(normal deceleration rates)"은 정지신호나 신호등에 의해 운전자가 브레이크를 밟아 정상적인 정지를 할 때 필요한 감속도로 정지에 필요한 시간이나 도로길이를 추정할 때 사용된다.

2. 운전자 인지반응시간

우리나라의 건설교통부에서 발간한 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침(2000.3)"에서의 인지반응시간을 AASHTO와 마찬가지로 2.5초로 규정하여 도로설계시 사용하고 있다. 또한 최근 수행된 국내의 황색신호시 인지반응시간 시간 연구(오동섭, 2001)에 따르면 도시부에서의 운전자 반응시간은 1.3초에서 2.5초의 범위가 도출되었으며 인지반응시간은 일반적으로 lognormal 분포를 따른다고 발표되었다.

3. 정지율과 딜레마 구간

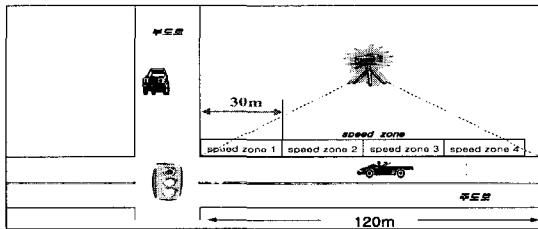
"정지율"은 교차로로 진입하는 운전자가 황색신호를 보고 교차로 정지선에 정지, 혹은 교차로를 통과할 확률을 나타내는 것으로, 일반적으로 정지율에 대한 모델로 Log-linear Model을 제시하고 있다. "딜레마구간"에 대한 연구로서 Sheffi는 정지율의 50% 영역을 운전자가 의사결정을 내리기 힘든 구간(indecision zone)으로 정의하고 있으며, ITE에서는 10%의 운전자가 정지(즉, 90% 운전자가 통과)하는 지점과 90%의 운전자가 정지(즉, 10% 운전자가 통과)하는 지점 사이를 딜레마구간으로 보고 있다. 이에 반해 Parsonson(1978)은 정지율과 딜레마구간의 범

위를 ITE의 기준보다는 약간 작은 범위 값들을 보이고 있다.

III. 자료수집 및 분석

1. speed zone 설정

본 연구에서는 조사범위로서 80km/h의 접근속도의 구간에서 99%의 운전자가 안전하게 정지할 수 있는 거리인 120m를 조사범위 상한선으로 설정하고, 신호 교차로 진입차량의 위치별 속도변화를 위한 존의 구분을 위해 정지선으로부터 10m간격으로 기준점(FHWA, 1984)을 정하고, 차량의 위치별(존별)속도 및 가감속률, 존별 속도변화 행태의 분석을 위하여 speed zone을 임의로 각 30m씩 4개로 구분하여 존별 특성을 나타내었다.



〈그림 1〉 조사 개념도

2. 조사장소 선정

〈표 1〉은 본 연구에서 선정된 조사지역에 대한 특성을 요약정리한 것이다.

〈표 1〉 조사지점별 기능별 특성

구분	지방부 (용인삼가삼거리)	도시부1 (송탄송북교사거리)	도시부2 (영통사거리)
주기능	지역간 연결	지역간 연결	도시내 주 구간을 연결
교차로 간격(m)	약 1,500	350	450~500
차로수	좌:1, 직:2	좌:1, 직:2, 공:1	좌:1, 직:5, 우:1
평면 교차	허용	허용	허용
중앙 분리대	×	×	×

3. 실내분석

1) 분석 프레임(Frame) & 자료수 결정

분석 프레임(frame/sec)은 최소 Reference point 설치 간격을 10m로 할 때 신뢰수준 90% 이상의 정확도를 위해서 1초에 30frame을 기준(문영준, 1984)으로 분석함을 원칙으로 한다. 자료 분석을 위한 최소 자료수는 현장조사를 통한 자료를 추출 후 식(1)을 통해 최소허용 자료수를 산출토록 한다.

$$n = (Z_{\alpha/2} S / e)^2 \quad (1)$$

여기서,

n : 필요한 자료의 수

$Z_{\alpha/2}$: 신뢰수준에 따른 정규분포 값

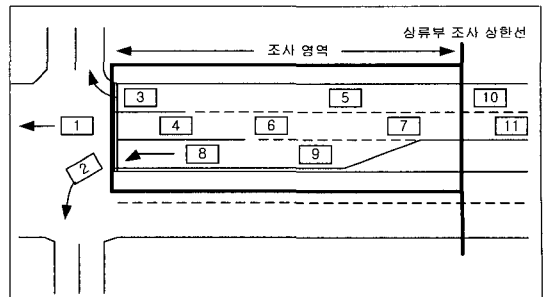
S : 표준편차

e : 모평균에 대한 신뢰수준에 따른 오차한계

2) 조사대상차량 판별방법

현장에서 촬영된 비디오의 실내분석을 위해서는 조사대상 구간의 조사 대상 차량을 정의할 필요가 있는데, 이를 위해 "Engineering Factors Affecting Traffic Signal Yellow Time-Data Collection Manual, FHWA"(FHWA, 1984)에서 제시된 Boundary Vehicle과 Population Vehicles를 정의하여 조사 대상차량을 파악하여야 한다.

Boundary Vehicle은 황색신호 등화시 교차로 정지선에서 상류부 조사상한선 내에 존재하는 차량들로 교차로를 통과하거나 정지선 내에 존재하는 모든 차량들을 나타낸다. 본 연구에서는 좌회전 차량과 우회전 차량은 직진 녹색신호후 황색신호에 대응하지 않는 차량들로 간주하므로 조사 대상 차량에서는 제외



〈그림 2〉 조사영역 내 조사대상차량(FHWA, 1984)

하며 직진차량만을 대상으로 한다. Population Vehicle 은 Boundary Vehicle중 교차로를 통과하거나 첫 번째로 정지하게 되는 차량을 말한다. 만약 앞 그림에서 4번차량이 교차로를 통과하고 6번과 7번차량이 정지하는 경우 7번차량은 조사대상차량에서 제외되는데 이는 이미 정지되어 있는 차량을 보고 정지하는 차량으로 황색신호에 대한 반응이 아니기 때문이다.

IV. 분석결과

1. 자료수집

본 연구를 위해 수집된 자료의 수는 <표 2>와 같다.

<표 2> 자료수집수

구분	샘플크기	
	정지차량 (최소자료수)	통과차량 (최소자료수)
지방부(용인)	80대(54대)	171대(92대)
도시부1(송탄)	148대(68대)	116대(81대)
도시부2(영통)	80대(72대)	57대(54대)
전체	308대(83대)	344대(108대)

2. 속도 및 가감속

1)정지차량

<표 3>과 <표 4>는 정지차량에 대한 속도분포 및 감속률을 도출한 결과이다.

이는 신호교차로의 접근구간에 진입한 차량들 중 황색신호 등화 이후 정지를 우선 고려하는 차량이므로 정지선에 다가갈수록 큰 속도변화(speed variation)을 보이며 감속하는 행태를 보이고 있다. 이는 긴급상황이나 지체가 발생하지 않은 도로상황에서의 운전자 행태이며, 조사장소의 기하구조와 제한속도와 조건이 비슷한 신호교차로에 대한 일반적인 행태로 적용될 수 있다.

<표 4>는 황색신호동안의 차량의 일반적인 정지 감속률을 나타내며, 이는 각 speed zone별로 정리되어 있다.

차량이 등감속의 형태로 정지선에 정지한다고 가정했을 때의 감속률은 각 조사지역별로 <표 5>에 정리되어 있다.

<표 3> 조사지역별 정지차량 속도분석

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
지방부 (용인)	평균(km/h)	23.76	49.42	58.48	60.63
	표준편차	9.16	10.19	9.94	9.34
	샘플사이즈	80	80	80	80
	85th 속도	28.04	58.91	69.40	70.67
도시부 (송탄)	평균(km/h)	33.90	54.76	67.15	73.22
	표준편차	12.18	9.56	9.39	10.28
	샘플사이즈	148	148	148	148
	85th 속도	48.32	64.8	77.05	85.26
도시부 (영통)	평균(km/h)	35.57	53.96	63.61	71.89
	표준편차	11.44	10.5	12.59	10.8
	샘플사이즈	80	80	80	80
	85th 속도	47.75	66.12	75.61	83.07
전체	평균(km/h)	32.87	54.56	64.37	69.68
	표준편차	13.67	10.97	11.47	11.58
	샘플사이즈	308	308	308	308
	85th 속도	51.42	67.43	75.35	83.07

<표 4> 조사지역별 정지차량 감속률

		Zone1&2	Zone2&3	Zone3&4
지방부 (용인)	평균(m/s ²)	1.00	0.61	0.16
	표준편차	0.41	0.50	0.45
도시부 (송탄)	평균(m/s ²)	1.12	0.65	0.49
	표준편차	0.54	0.61	0.53
도시부 (영통)	평균(m/s ²)	0.94	0.75	0.69
	표준편차	0.53	0.63	0.57
전체	평균(m/s ²)	1.03	0.74	0.46
	표준편차	0.47	0.58	0.56

<표 5> 정지감속률

	정지 감속률(m/s ²)		
	평균	85 percentile	95 percentile
지방부(용인)	1.21	1.61	1.85
도시부1(송탄)	1.75	2.34	2.56
도시부2(영통)	1.70	2.22	2.47
전체	1.61	2.22	2.47

이는 노면이 건조한상태, 즉 양호한 도로상태에서 수집한 데이터로부터 도출하였다. 이를 보면 지방부에서의 정지 감속률이 도시 시가지의 것보다 작으며 이는 도시 시가지에서의 급한 운전자 주행 특성을 받

영하는 것이라고 볼 수 있다. 또한 이는 각 신호교차로의 제한속도가 80km/h임을 감안할 때 차로수가 많고 주행에 영향을 미칠수 있는 상충요소들이 적은 도시부도로에서의 차량속도가 크므로 감속률도 커진 결과라 볼 수 있다. <표 5> 하단부의 "전체"의 경우 3개 교차로에 대한 데이터를 합친 결과이며 약 80km/h의 제한속도를 가진 신호교차로의 95percentile 정지감속률로 약 2.47m/sec²가 도출되었다.

각 speed zone에서 수집된 속도 데이터의 정규성을 분석하기 위해서는 적합도 검정을 실시하였으며, <표 6>에서 알 수 있듯이 각 speed zone에서 수집된 속도 데이터의 χ^2 의 값은 유의수준 5%의 임계 χ^2_{α} 의 값보다 작으므로, 각 speed zone에서의 속도 데이터는 일반적으로 정규분포를 따른다고 볼 수 있다.

그러나 지방부(용인)과 도시부1(송탄)의 Speed Zone1에서는 정규분포를 따르지 않는다. 이는 지방부의 경우 정지선 접근속도가 약 22km/h~28km/h의 자료들이 편중되어 있기 때문에 정규분포를 따르지 않는 것으로 보인다. 또한 도시부1의 경우 Speed Zone1에서의 평균속도는 33.90km/h인 반면 85th 속도는 48.32km/h로 나타나 차량이 정지선과 가까이 위치함에도 불구하고 차량의 속도가 크기 때문에 나타나는 현상이라고 판단된다. 즉 이는 큰 감속률을 보이는 운전자가 많다는 것을 의미한다. 전체 데이터를 보면 일반적으로 국내 신호교차로의 정지차량에 대한 속도는 정규분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

<표 6> 정지차량 속도 정규성 검정

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
지방부 (용인)	χ^2 계산치	19.62	3.39	10.65	11.49
	χ^2 임계치	7.81	12.59	12.59	12.59
	정규분포여부	No	Yes	Yes	Yes
도시부 (송탄)	χ^2 계산치	45.61	11.7	9.64	9.11
	χ^2 임계치	14.07	14.07	14.07	14.07
	정규분포여부	No	Yes	Yes	Yes
도시부 (영통)	χ^2 계산치	9.26	8.18	2.02	3.85
	χ^2 임계치	12.59	11.07	7.81	9.49
	정규분포여부	Yes	Yes	Yes	Yes
전 체	χ^2 계산치	108.75	16.19	14.8	20.65
	χ^2 임계치	22.36	16.92	19.68	21.03
	정규분포여부	No	Yes	Yes	Yes

2) 통과차량

<표 7>, <표 8>, <표 9>는 통과차량에 대한 속도 분포, 존별 속도변화(speed variation), 감속률을 도출한 결과이다. 이들 표에서 알 수 있듯이 도시부 신호교차로가 지방부 신호교차로보다 높은 속도값을

<표 7> 조사지역별 통과차량 속도분석

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
지방부 (용인)	평균(km/h)	62.25	65.58	65.96	67.54
	표준편차	12.77	12.25	12.45	12.18
	샘플사이즈	171	171	171	171
	85th 속도	73.64	75.35	77.14	79.02
도시부 (송탄)	평균(km/h)	71.40	75.88	77.46	81.50
	표준편차	11.79	12.32	11.33	11.41
	샘플사이즈	116	116	116	116
	85th 속도	83.08	87.57	91.93	92.57
도시부 (영통)	평균(km/h)	55.24	65.6	71.37	78.77
	표준편차	10.92	13.17	9.73	9.38
	샘플사이즈	57	57	57	57
	85th 속도	64.80	79.02	81	87.57
전체	평균(km/h)	64.17	69.05	70.74	74.11
	표준편차	13.40	13.32	12.73	13.23
	샘플사이즈	344	344	344	344
	85th 속도	77.14	83.07	83.08	87.56

<표 8> 조사지역별 통과차량 존별 속도변화

		Zone1&2	Zone2&3	Zone3&4
지방부 (용인)	평균 차이	3.33	0.38	1.58
	표준 편차	1.35	1.34	1.33
	95% 신뢰구간	2.65	2.62	2.61
	속도 변화	Yes	No	No
도시부 (송탄)	평균 차이	4.48	1.59	4.03
	표준 편차	1.59	1.56	1.50
	95% 신뢰구간	3.12	3.06	2.94
	속도 변화	Yes	No	Yes
도시부 (영통)	평균 차이	10.36	5.77	7.41
	표준 편차	2.27	2.17	1.79
	95% 신뢰구간	4.44	4.25	3.51
	속도 변화	Yes	Yes	Yes
전 체	평균 차이	4.88	1.68	3.37
	표준 편차	1.02	0.99	0.99
	95% 신뢰구간	2.00	1.95	1.94
	속도 변화	Yes	No	Yes

〈표 9〉 조사지역별 통과차량 감속률

		Zone1&2	Zone2&3	Zone3&4
지방부 (용인)	평균(m/s ²)	0.26	0.04	0.14
	표준편차	0.57	0.44	0.50
도시부 (송탄)	평균(m/s ²)	0.42	0.14	0.41
	표준편차	0.68	0.51	0.58
도시부 (영통)	평균(m/s ²)	0.82	0.45	0.71
	표준편차	0.67	0.82	0.51
전체	평균(m/s ²)	0.41	0.14	0.33
	표준편차	0.65	0.56	0.57

〈표 10〉 통과차량 속도 정규성 검정

		Zone1	Zone2	Zone3	Zone4
지방부 (용인)	χ^2 계산치	51.98	13.42	10.16	11.20
	χ^2 임계치	9.49	14.07	11.07	14.07
	정규분포여부	No	Yes	Yes	Yes
도시부 (송탄)	χ^2 계산치	6.99	12.49	12.13	4.61
	χ^2 임계치	9.49	12.59	15.51	12.59
	정규분포여부	Yes	Yes	Yes	Yes
도시부 (영통)	χ^2 계산치	2.01	1.75	0.82	1.99
	χ^2 임계치	3.84	7.81	5.99	5.99
	정규분포여부	Yes	Yes	Yes	Yes
전체	χ^2 계산치	7.73	11.93	13.53	19.25
	χ^2 임계치	14.07	12.60	14.07	19.68
	정규분포여부	Yes	Yes	Yes	Yes

가진다. 이는 도시부 신호교차로가 인접교차로와의 거리가 지방부 신호교차로보다 짧음에도 불구하고, 차로수가 많고 회전차량과 같은 직진주행에 대한 상충요소가 비교적 적으므로 나타나는 결과라 볼 수 있다.

3. 운전자 인지반응시간

1) PRT 도출

〈표 11〉은 각 조사지역별 운전자 인지반응시간(PRT)의 평균, 최빈값, 중앙값과 85 percentile값을 나타낸다. 운전자 인지반응시간의 평균값으로 지방부(용인)의 경우 1.16초, 도시부1(송탄)의 경우 1.11초, 도시부2(영통)의 경우 1.48초가 도출되었다. 최빈값은 각 0.67초, 0.77초, 0.80초로 모두 1초보다 작은 결과값을 보임으로써 녹색현시에서 황색현시로의 신호등화 변경에 대한 운전자의 반응시간이 매우 짧음을 알 수 있다. 특히 지방부 신호교차로(용인)의 경우가 가장

〈표 11〉 운전자인지반응시간(PRT) 도출값

	평균(sec)	최빈값	중앙값	85th
지방부(용인)	1.16	0.67	1.07	1.73
도시부(송탄)	1.11	0.77	1.00	1.50
도시부(영통)	1.48	0.80	1.30	2.10
전체	1.27	0.9	1.13	1.83

〈표 12〉 LN(PRT) 정규성 검정

	χ^2 계산치	χ^2 임계치	정규분포
지방부(용인)	5.92	9.49	Yes
도시부(송탄)	7.20	7.81	Yes
도시부(영통)	6.59	9.49	Yes
전체	13.89	15.51	Yes

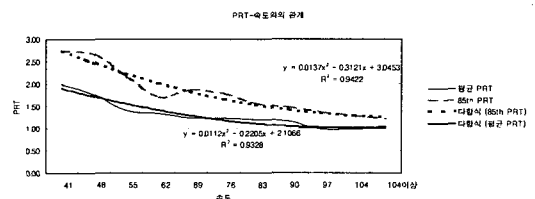
짧게 나타남으로써 도시부 신호교차로보다는 운전자가 안전을 더욱 고려하며 주행하고 있으며 차로수가 적고, 설계속도가 빠른 지방부 도로의 특성상 주변 환경요소와 신호등에 운전자가 민감하게 반응하는 것이라고 볼 수 있다.

운전자 인지 반응시간은 카이제곱 검정법을 이용한 정규성 검정결과에 의하여 log normal 분포를 따른다고 볼 수 있다.

2) 운전자 인지반응시간과 속도와의 관계

기존의 연구(오동섭, 2001)에 의하면 운전자 인지 반응시간은 차량의 접근속도가 빨라지면 운전자 인지 반응시간은 작아진다고 보고하고 있다.

〈그림 3〉은 본 연구에서 조사된 전체 교차로의 운전자 인지반응시간 데이터에 대해 평균PRT와 85th PRT를 도출한 결과이다. 선형은 회귀분석결과 2차 함수($y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2$)에 가장 근사한 결과를 보였으며 결정계수(R^2)값이 각각 0.9328과 0.9422를 보임으로써 식의 적합도면에서 상당한 설명력이 있는 것으로 나타났다.

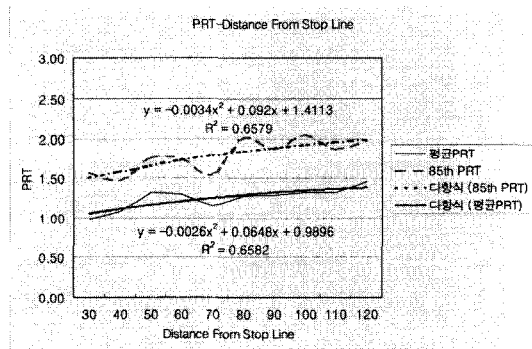


〈그림 3〉 운전자 인지반응시간-속도와의 관계

3) 운전자 인지반응시간과 거리(Distance from Stop line)와의 관계

기존의 연구(오동섭, 2001)에 의하면 운전자 인지 반응시간은 신호교차로 접근구간내에 진입한 차량의 위치가 정지선으로부터 멀리 떨어져 있을수록 운전자 반응시간은 커지며 정지선과 가까이 있을수록 운전자 반응시간은 작아진다고 보고하고 있다.

〈그림 4〉는 전체 교차로의 운전자 인지반응시간 데이터에 대해 분석한 평균PRT와 85th PRT값으로 우 상향 곡선분포를 보이고 있다. 선형은 회귀분석결과 2차함수($y = \alpha + \beta_1x + \beta_2x^2$)에 가장 근사한 결과를 보였으며 결정계수(R^2)값은 각각 0.6582와 0.6579로 설명력이 있다고 판단할 수 있다.



〈그림 4〉 운전자 인지반응시간-거리와의 관계

4. 정지율

1) 정지율-Distance from Stop line과의 관계

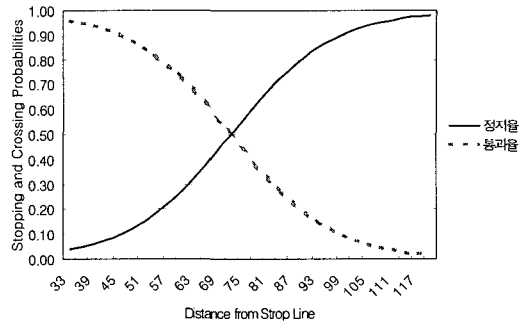
본 연구를 통해 도출된 로그선형방정식(2)을 통해 차량의 정지선으로부터의 위치 x에 대한 교차로 통과율과 정지율을 도출할 수 있으며 그 결과는 〈그림 5〉에 나타나 있다. 정지율에 따른 딜레마구간의 범위는 〈표 13〉과 같다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = 5.94 - 0.08x \quad (2)$$

〈표 13〉 정지율에 따른 딜레마 구간의 범위(거리)

	정지율(%)	지방부(용인)	도시부(송탄)	도시부(영통)	전체
딜레마구간 (거리)	20~80	56~87m	57.5~91m	42~80m	55~88.5m
	15~85	52~91m	53~95.5m	37~85m	50.5~93m
	10~90	47~96m	48~101.5m	31~91m	45.5~98m
	50	71.2m	74.5m	61m	72m

Logistic Curves from Two Experiments



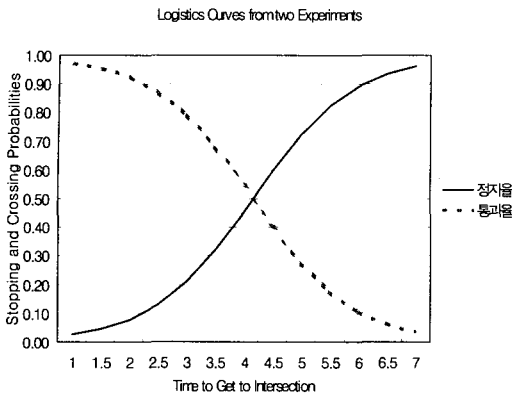
〈그림 5〉 정지율-거리와의 관계

즉, 이들 구간에서는 운전자가 황색신호가 시작되는 것을 보았지만 임계감속도로 정지선에 정지하기가 불가능하거나 임계가속도로 교차로를 안전하게 통과하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 또한 각 조사지역별 50%의 정지확률에 해당하는 지점은 지방부(용인)의 경우 71.2m, 도시부1(송탄)의 경우 74.5m, 도시부2(영통)의 경우 61m로 도출되었다. 그러나 지방부와 도시부에 대한 딜레마 구간의 범위 결과 행태가 구분될 수 있는 설명 요소가 보이지 않았다. 따라서 3개 교차로의 데이터를 합친 결과 딜레마 구간의 범위가 각 정지율에 따라 도출되었다. 따라서 제한속도가 80km/h인 신호교차로의 경우 딜레마 구간의 범위를 정지율 10~90%사이로 보았을 때 약 45.5~98m 사이인 것으로 나타났다.

〈표 13〉에서 볼 수 있듯이 딜레마 구간의 범위는 각 정지율에 따라 정의될 수 있으며, 딜레마구간의 문제 해결을 위한 적용시 설계자의 판단에 의해 적절한 범위를 선택하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 정지율-시간과의 관계

본 연구를 통해 도출된 로그선형방정식(3)을 통해 차량이 교차로까지 도달하는데 걸리는 시간에 대한 교차로 통과율과 정지율을 도출할 수 있으며 그 결과는



〈그림 6〉 정지율-시간과의 관계

〈그림 6〉에 나타나 있다. 정지율에 따른 딜레마구간의 시간적 범위는 〈표 14〉와 같다.

$$\ln \left(\frac{p}{1-p} \right) = 4.76 - 1.15x \quad (3)$$

즉, 이들 구간에서는 운전자가 황색현시가 등화하는 것을 보았지만 임계감속도로 정지선에 정지하기가 불가능하거나 임계가속도로 교차로를 안전하게 통과하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 딜레마 구간의 범위를 시간(Time to get to intersection)으로 나타낸 경우 표에서 5.1초 혹은 7.4초 등과 같은 값은 현실적으로는 맞지 않는 값들이다. 실제로 정지선까지 가는데 걸리는 시간이 약 5초가량 소요되는 차량들은 대부분 정지선에서 멈추는 것으로 조사되었다. 이는 정지율을 통계적으로 분석하여 일정한 행태를 도출하기 때문에 발생하는 결과값들이므로, 이러한 분석에서는 정지율의 50%지점, 즉 운전자가 정지 및 통과 의사결정이 가장 힘든 지점에 대한 결과값이 더욱 설명력이 있을 것으로 판단된다. 각 조사지역별 50%의 정지확률에 해당하는 시점은 지방부(용인)의 경우 4.87초, 도시부(송탄)의 경우 3.85초, 도시부 2(영통)의 경우 3.2초로 도출되었다. 지방부(용인)의

경우 황색신호시간이 3초인 것을 감안할 때 50%의 정지확률에 해당하는 시점이 4.87초로 3초보다 1.87초 큰 값을 보였는데 이는 운전자가 이미 안전하게 정지할 수 있는 속도범위를 초과하여 주행하므로 이미 적색신호가 등화된 이후에도 운전자가 정지선에 정지하지 못하고 통과하게 되는 현상으로 볼 수 있다.

정지율에 따른 딜레마 구간의 범위를 시간으로 나타낸 결과, 도시부의 경우 지방부보다는 약간 빠른 값을 보였지만 이 또한 지방부와 도시부를 구분지을 만한 설명요소가 부족한 것으로 보인다. 따라서 3개 교차로의 데이터를 합친 결과로 딜레마 구간의 범위가 도출 되었다. 따라서 제한속도가 80km/h인 신호 교차로에서 운전자가 정지 및 통과 의사결정이 가장 힘든 지점으로 정지선까지 가는데 약 4.15초가 소요되는 지점으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 황색신호시 신호교차로를 접근하는 차량들의 운전자 행태에 대한 연구의 필요성을 제기 하였으며, 본 연구를 통해 운전자 행태 즉, 정지감속률과 운전자 인지반응시간, 정지율에 따른 딜레마구간의 범위를 도출하여 제시하였다. 그 내용을 살펴보면 녹색신호에서 황색신호로의 변경시 신호교차로를 주행하는 통과차량은 교차로 정지선으로 다가갈수록 감속의 행태를 나타낸다.

차량의 정지감속률에 대한 기존 연구를 살펴보면, ITE(1994)에서는 신호교차로에서의 운전자의 접근속도가 80~97km/h일때의 감속률을 1.47m/sec²로 제시하고 있는데 반해, 본 연구에서 제시된 값을 살펴볼 때 평균 감속률은 약 1.61m/sec², 85 percentile 정지감속률은 약 2.22m/sec²로 산출됨으로써, 우리나라의 경우 정지하는데 필요한 시간이나 도로길이를 추정하기 위해서는 1.47m/sec²보다는 큰 값을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 또한 황색신호에 의

〈표 14〉 정지율에 따른 딜레마 구간의 범위(시간)

	정지율(%)	지방부(용인)	도시부(송탄)	도시부(영통)	전체
딜레마구간 (시간)	20~80	3.3~6.5초	3.1~4.61초	2.05~4.35초	2.94~5.35초
	15~85	2.9~6.9초	2.9~4.8초	1.75~4.65초	2.65~5.65초
	10~90	2.3~7.4초	2.65~5.1초	1.3~5초	2.2~6.1초
	50	4.87초	3.85초	3.2초	4.15초

한 운전자 인지반응시간은 평균 1.27초, 85 percentile 은 1.83초로 도출되었다. 이 결과를 살펴볼 때 국내의 황색신호산정이나 운전자 인지반응시간을 이용한 딜레마구간의 범위 산출시 ITE에서 제시하는 1초보다는 본 연구의 국내 운전자 인지반응시간에 근거하여 1초보다는 큰 1.27초를 사용하는 것이 보다 안전할 것으로 보인다.

위와 같은 운전자 인지 반응시간을 나타내는 차량들의 정지율에 따른 딜레마구간의 범위를 살펴볼 때, 만약 정지율 10~90%사이를 딜레마 구간으로 본다면, 제한 속도가 약 80km/h인 신호교차로의 딜레마구간의 범위를 교차로 정지선으로부터 약 45.5~98m, 또한 운전자가 교차로 통과 혹은 정지에 대한 의사결정을 하는데 가장 어려움을 겪는 위치는 약 72m 지점으로 제시하는 바이다. 그러나 국내 신호교차로의 보다 일반적인 딜레마 구간의 범위 도출을 위해서는 조사대상범위를 더욱 확장한 추가 연구가 있어야 할 것이다. 차량이 정지선까지 도달하는데 운전자가 특히 교차로 통과 혹은 정지에 대한 의사결정에 어려움이 있는 소요시간(Time to get to Intersection)은 4초 이상의 값을 보였는데 이는 국내의 황색현시가 3초임을 감안할 때 황색현시가 종결되고 적색현시로 변경된 이후라도 교차로를 통과하는 차량의 비율이 많아 고속으로 주행하는 다수의 운전자가 황색현시가 종결된 이후라도 그 속도를 줄이지 못하고 교차로를 통과하게 되는 현상으로 치명적 사고에 대한 잠재성이 높다고 할 수 있다. 특히 이러한 경우의 운전자에게는 황색신호변경에 대한 사전 정보가 더욱 필요할 것으로 보인다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 제시된 자료를 토대로 하여 신호교차로의 딜레마 구간 제거를 위한 시스템 개발시 딜레마구간에 존재하는 차량들의 공간적인 위치와 시간적인 범위를 고려한 시스템의 설계를 위한 설계자의 적절한 판단과 충분한 검토가 있어야 할 것으로 보인다. 본 연구의 결과가 신호교차로 딜레마구간 차내경고 시스템과 같은 교차로 안전에 관한 연구개발사업에 충분히 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 또한 보다 일반적인 운전자 행태의 도출을 위해서는 향후 조사 대상 범위를 전국으로 확대하여 다양한 운전자 행태에 대한 자료의 분석 및 축적을 통한 신호교차로 안전시스템 개발에 적극 나서야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
2. 오동섭(2001), 운전자행태 도출을 위한 신호교차로 황색신호시 인지반응시간 연구, 아주대석사학위논문.
3. 국토연구원(1992), 국가 ITS아키텍처 확립을 위한 연구(Ⅱ).
4. 염준근(1992), 선형회귀분석, 자유아카데미.
5. Jay L. Devore(1991), Probability and Statistics for Engineering and the Sciences third edition, Brooks/Cole.
6. ITE(1994), Traffic Detector Handbook second edition.
7. Adolf D. May(1990), Traffic Flow Fundamentals.
8. TRB(1992), Traffic Flow Theory, A State of the Art-Report.
9. AASHTO(1990), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
10. Young J. Moon and Fred Coleman III (1999), "Driver's Speed Reduction Behavior at Highway-Rail Intersections," Transportation Research Record 1692.
11. Sheffi, Y. et al.(1981), "A Model of Driver Behavior at High Speed Signalized Intersections," Transportation Science, Vol 15, No 1, pp.50~61.
12. Chang, Myungsoon et al.(1985), "Timing Traffic Signal Change Interval Based on Driver Behavior," Transportation Research Record No. 1027, Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council.
13. Triggs, T(1982), "Reaction Time of Drivers to Road Stimuli," Human Factors Reports HFR-12.
14. ITE(1974), Small-area Detection at Intersection Approaches, Technical Committee 18 Southern Section, p.13.
15. Hanson Demirarslan et al.(1998), "Visual

- Information Processing Perception, Decision, Response Triplet," Transportation Research Record No. 1631, Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council, pp.35~41.
16. Olson, P. L and Rothery, R. W.(1962), "Driver Response to Amber Phase of Traffic Signals," Traffic Engineering, Vol.32, No.5, pp.17~21.
 17. Bissell, H. H and Warren, D. L(1981), "The Yellow Signal is not a Clearance Signal," ITE Journal, Vol.51, No.2, pp14~17.
 18. Parsonson, P. S. and Santiago(1980), A., "Design Standards for Timing the Traffic-Signal Clearance Period must be Improved to Avoid Liability," In Compendium of Technical Paper, ITE, pp.67~71.
 19. FHWA(1984), "Engineering Factors Affecting Traffic Signal Yellow Time-Data Collection Manual-," Report No. FHWA/RD-85/005.
 20. Young J. Moon(1998), "Speed Estimation measurement error analysis," Technical-report, Department of Civil Engineering University of Illinois.
 21. James A. Bonneson, et al.(1995), "Traffic Data Collection Using Video-Based Systems," Transportation Research Board, No. pp.2~4.

♣ 주 작 성 자 : 이성호

♣ 논문투고일 : 2003. 3. 14

논문심사일 : 2003. 6. 30 (1차)

2003. 8. 13 (2차)

심사판정일 : 2003. 8. 13

♣ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

A Study on Driver Behavior and Dilemma Zone during Yellow Interval at Signalized Intersections

LEE, Seung-Hwan · LEE, Sung-Ho · PARK, Ju-Nam

objective of this research is to analyze drivers' behaviors at signalized intersection during yellow interval. For this, deceleration rate of stopping, PRT(Perception-Response Time), and the relationship between dilemma zone and deceleration rate of stopping were surveyed at two signalized intersections located at urban area(Songtan and Suwon) and local area(Yongin). As a result, the deceleration rate of stopping at signalized intersections and a range of dilemma zone were estimated. It was found that the deceleration rate of stopping and PRT were 1.6m/sec^2 and 1.27sec , respectively. These values are bigger than ITE's values which have been used in our country. Accordingly, it is considered that these values should be used as a new design criteria for the traffic signal control.

Analyzing Passenger Arrival Behavior Based on the Spent Time for Airport Access

OH, Sung-Yeol · KIM, Wonkyu · PARK, Yonghwa

In general, an airport access system has influenced on airport terminal operation. The congestion and delay in service facilities at an airport are definitely depended on the patterns of passenger arrival behavior and time spent in a terminal. Therefore, it is necessary to analyze the passenger arrival behavior at an airport to improve the operations at passenger terminal. Passenger arrival patterns to an airport are mainly depended on factors such as the length of access time, reliability of access time, and provision of transport modes, etc. The focus of this paper is to estimate the relationship between the length of access time and passenger's total time spent to board aeroplane. For this, passenger surveys were conducted at the Gimpo International Airport for a large airport and Sacheon

Airport for a small size airport. The mathematical relationship between arrival time at an airport prior to the scheduled time of departure(STD) and access time spent was then estimated. It is considered that the results of this study can be used to reduce congestion and delays, thereby to improve the efficiency of the passenger services at the airports.

Quantitative Evaluation Indicators for the City Bus Route Network

LEE, Sang-Yong · PARK, Kyoung-a

A balanced evaluation system for a bus route network was proposed for a mid-sized suburban city. The evaluation system consists of 7 criteria - accessibility, riding comfort, transfer rate, directness of route, productivity of operation, regional equity, and minimum requirement of bus fleet - and quantitative indicators representing each of the criteria. The proposed system was applied in Siheung, a suburban city in Seoul Metropolitan Area. Four alternative scenarios of bus route network including the existing one were evaluated. The results showed that the suggested criteria and indicators are acceptable for the evaluation of a bus route network. In order to enhance the proposed evaluation procedure, further studies on the normalization of produced values and weights for each of the indicators are needed.

Development of Design Criteria for Crosswalks at Signalized Intersections

HA, Tae Jun · PARK, Je Jin · LEE, Hyoung Mu

There are no specific criteria deciding what type of crosswalk installs although 4 typed crosswalks at signalized intersections classify according to number of stop line, spacing from the border of intersections and existence of traffic islands or not.