

■ 論 文 ■

신호교차로에서 차량 통과특성 연구
(공격적인 운전자가 운전하는 차량을 중심으로)

Passing Behavior of Vehicles in Signalized Intersection
(Focused on Vehicles Driven by Offensive Drivers)

황 경 수

(제주대학교 사회과학연구소 특별연구원)

황 준 환

(경기도청 교통전문위원)

김 점 산

(서울대학교 공학연구소 연구원)

이 성 모

(서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 신호교차로와 차량통과 행태 이해
 - III. 기존 연구 검토
 - IV. 신호교차로에서 차량통과 특성 분석
 - 1. 자료조사
 - 2. 분석자료의 통계 특성
 - 3. 정지선 통과차량의 통행특성 분석
 - 4. 현장자료 분석
 - V. 결론 및 향후 연구방향
- 참고문헌

Key Words : 신호교차로, 차두간격, 차량통과행태, 교통운영, 첨단교통체계 (ITS)

요 약

본 연구는 신호교차로의 정지선 통과차량의 차두시간 결정은 단순히 출발순서에 영향을 받아 결정되지만은 않는다는 문제의식에서 출발하였다. 실제 신호교차로의 개별차량 통과시 속도와 차두시간 자료를 검지기과 검지 알고리즘을 활용 파악하고 분석에 활용하였다. 단순 자료분석에서는 차량의 통행행태를 결정하는 모형을 정립하는 것이 무의미한 것으로 파악될 수 있는 통계분석 결과가 나타났다. 그러나, 공격적인 운전행태를 가진 운전자가 운전하는 차량의 자료를 선별하고 자료 스케일 조정(ln값 활용)을 통해 결정계수 0.91수준의 모형이 설정되었다. 구축된 모형은 교차로 정지선에서 통과하는 차량의 차두시간은 앞차의 속도, 차두시간과 자체차량의 속도에 영향을 받는 사실을 밝혀주었다.

I. 서론

교통분석에서 가장 중요하게 다루는 것 가운데 하나가 신호교차로 분석이다. 신호교차로 분석은, 신호교차로 차량통행에 대한 합리적인 이해가 선행되지 않는다면, 부정확한 분석결과를 도출하게 된다. 부정확한 분석 결과는 직접적으로는 관련된 사항에 대한 신뢰를 저하시키고 교통연구 전반에 대한 불신의 원인이 될 수 있다.

기존의 많은 연구에서 신호교차로 분석은 항상 새로운 연구주제를 제시할 수 있을 만큼 흥미진진한 분야이다. 또한, 최근에 급격하게 발달되는 ITS(Intelligent Transportation Systems) 기술개발은 신호교차로 분석에 상당히 의존하게 된다. 따라서, 신호교차로에 대해서는 다양한 관점에서 집중적인 연구가 진행될 필요가 있다.

본 연구에서는 신호교차로분석의 기반이 되는 신호교차로에서 차량 통과특성을 명확하게 규명하는 것을 목적으로 삼고, 세부적으로는 다음 사항을 내용으로 담고 있다.

- 신호교차로에서 차량의 통과행태 개념 정립
- 기존 관련 연구결과 고찰
- 신호교차로에서 차량통과 특성 파악 방법 제시
- 현장조사 자료를 이용한 신호교차로에서 차량통과 특성 파악

II. 신호교차로와 차량통과 행태 이해

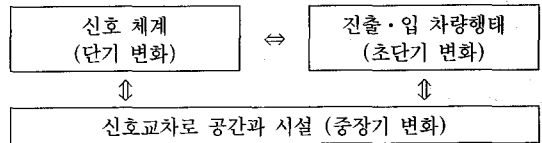
신호교차로는 2개 이상의 도로가 평면으로 교차되는 곳에 차량의 상충을 줄이기 위해 설치된다. 신호교차로 설치는 도시부 도로망에서 가장 일반적으로 활용되는 방법이다. HCM(2000)에서 활용되는 신호교차로 분석자료(input parameters)는 <표 1>과 같다.

HCM기법은 집계 자료를 활용하여 개략 분석 결과를 보여주므로, 이 결과를 이용하여 실시간 교차로 교통현상을 이해하기에는 한계가 있다. 신호교차로를 보다 정확하게 분석하기 위해서는 신호교차로 시스템 개념이 정립되고 신호교차로에서 차량통행 행태에 대한 논리적인 분석결과가 선행되어야 한다.

신호교차로 시스템은 <그림 1>에서 제시되는 바와 같이 신호교차로 공간과 시설, 신호체계, 진출·입 차량

<표 1> HCM에서 차선별 분석을 위한 필요자료

자료유형	자료
기하구조 조건	지역특성, 차선수, 차선의 평균 폭, 경사, 좌회전 또는 우회전 차로 설치여부, 대기공간의 길이, 주차
교통류 조건	이동류별 수요, 기본 용량, 침두시간계수(PHF), 중차량 비율, 보행량, 버스정류장, 주차행위, 도착유형, 녹색시간에 도착비율, 접근속도
신호 조건	신호주기, 녹색시간, 황색신호, 신호유형(감응식, 사전계획식), push-button 보행신호, 최소 보행신호, 현시계획, 분석시간



<그림 1> 신호교차로의 시스템 구성

행태의 3가지 요소로 구성된다. “신호교차로 공간과 시설”과 신호체계는 교통처리의 공급적인 관점에서 볼 수 있고 진출·입 차량행태는 수요적인 관점에서 이해될 수 있다. 교차로 교통처리 문제가 쉽게 풀 수 없는 대표적인 이유로 수요와 공급이 상호 탄력적으로 변화되지 않는 것과 교통수요 특성을 깊이 있게 이해하는 진출·입 차량행태에 대한 분석적 인식이 부족하다는 것을 꼽을 수 있다.

<그림 1>은 추가로 교차로에서 교통수요와 공급이 탄력적으로 균형을 찾지 못한 이유를 설명하고 있다. 수요부문인 교차로에 진출입하는 차량의 행태는 매우 짧은 시간에 변화한다. 그러나, 공급부문인 “신호교차로의 공간과 시설”과 신호체계는 수요여건에 긴밀하게 실시간 대응하지 못한다. 따라서, 교차로에서 공간과 시간을 최적으로 활용하지 못하는 비효율문제가 발생하게 된다. 이 같은 수요와 공급의 긴밀한 균형유지 능력을 향상시키기 위한 노력의 일환으로 “실시간 신호시스템 개발”을 이해할 수 있는 것이다.

신호교차로에서 차량통행 행태는 크게 다음 3가지 관점에서 이해될 수 있다.

- ① 교차로 차량접근 및 통과 특성
- ② 교차로 진입차로와 진출차로의 연결 특성
- ③ 주요 구간의 가·감속 및 차두시간 특성

이중 ①과 ③관점의 교차로 차량 통과 특성과 차량 속도가 차두시간에 미치는 영향특성을 고려하여, 본

연구에서는 교차로 정지선을 통과하는 차량의 통행특성 파악에 관심을 집중하여 연구를 진행하였다.

III. 기존 연구 검토

기존 연구들은 Greenshields(1947) 연구를 특성이 다른 지역(국가)자료로 적용해보고 보다 다양하게 자료를 정리하는 수준에서 진행되었다. 정지선에서 출발순서가 차두시간을 결정하는 요인이라는 공통적인 인식이 기존 연구의 근간을 이루고 있다. 기존 연구에서 제시하는 출발순서에 따른 차두시간 분석결과를 정리하면 <표 2>와 같다.

기존 연구들은, 다양한 사례를 통하여 차량의 출발순서가 차두시간에 영향을 준다는 사실을 파악하였지만, 어떻게 영향을 미치는지를 규명하는 수준까지 진행하지 못한 한계가 있다.

<표 2> 기존 연구의 차두시간 분석결과

연구		분석 결과 (출발순서별로 결과정리)
Greenshields et al(1947)		3.8, 3.1, 2.7, 2.4, 2.2, 2.1
Gerlough & wagner(1967)		3.85, 2.81, 2.51, 2.47, 2.37, 2.36, 2.40, 2.31, 2.24, 2.34, 2.29, 2.26, 2.19, 2.34, 2.38, 2.22, 2.26, 2.32, 2.31, 2.28
Lee & Chen(1986)		3.80, 2.56, 2.35, 2.22, 2.16, 2.03, 1.97, 1.94, 1.94, 1.78, 1.64, 1.76
Al-Ghamdi (1999)	2차로	3.23, 2.41, 2.29, 2.10, 2.02, 1.84, 1.72, 4.64, 1.53, 1.68, 1.58, 1.31, 1.13, 1.19
	3차로	3.37, 2.23, 2.03, 1.92, 1.81, 1.81, 1.72, 1.69, 1.60, 1.48, 1.37, 1.33, 1.46
Lee & Do(2002)		2.74, 2.32, 2.20, 2.13, 2.02, 1.92, 1.89, 1.87, 1.84, 1.80, 1.76, 1.74, 1.74, 1.71, 1.72

IV. 신호교차로에서 차량통과 특성 분석

1. 자료조사

신호교차로 정지선에서 차량통과 특성(차두시간, 속도 등의 영향관계) 분석을 위해서는 조사하는 자료가

<표 3> 자료조사 지점 및 방법 설정 기준(방법)

항목	세부내용	선정기준(방법)
교통류 간섭	· 방향별 교통류 간섭을 최소화	· 좌우회전 전용차로 설치 · 4차로 이상의 접근로 확보
운전자 시거	· 시거를 충분히 확보 · 전형적인 교차 형태	· 4지 교차로 · 직각 교차로
통행 여건	· 정상적인 시점 · 충분한 표본 조사	· 비혼잡시(정상 통행) · 2시간 정도 연속 조사
조사 내용 및 방법	· 차종, 차두시간, 속도 조사 · 차두시간과 속도를 정밀하게 조사	· 검지기 및 수동카운터 모델 이용 · 속도는 1mph단위로 차두 시간은 1/100초 단위로 파악

교차로의 정지선에서 차량통과에 부수적으로 영향을 끼치는 요인들의 영향이 최소화되어야 한다. 즉, 다음과 같이 제시되는 조건들이 만족되어야 차량의 통과 특성을 보다 객관성 높게 파악하는 것이 가능해진다.

<표 3>에 제시한 자료조사 지점 및 방법 선정기준을 최대한 반영할 수 있도록 자료조사를 수행하였다. 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

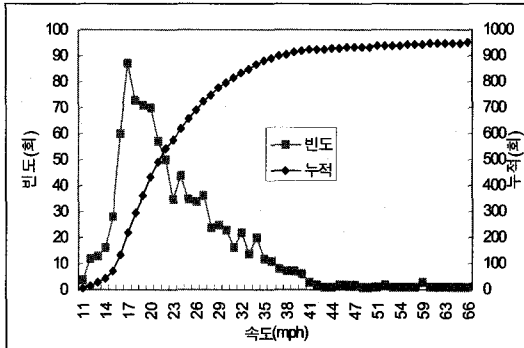
- 조사대상 : 서울대입구역 사거리(사당에서 신림 사거리 방향의 직진 4차로 중 3차로)
- 조사일시 : 2003년 7월 11일 오후 1시부터 3시까지 두 시간
- 조사내용 : 차두시간, 차량길이 및 개별차량속도
- 조사방법 : NC97(이동식 매설형 차량검지기)과 1/100초 단위 수동카운터기록도물(본 연구에서 고안하여, 최대 4개 차로 4개 차종을 구분하여 수동으로 조사자료를 입력하면 1/100초 단위의 차두시간 자료수집이 가능하도록 Visual Basic 6.0으로 제작된 프로그램)을 이용한 기계식 조사와 관찰기록조사를 병행하여 수행

2. 분석자료의 통계 특성

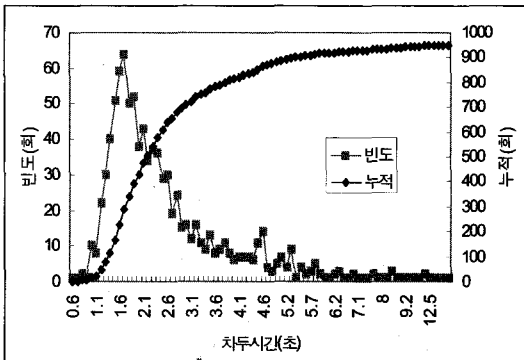
총 51 신호주기의 1,132대의 차량통행을 검지하였다. 검지자료중 181개(총조사 표본의 15.99%)는 분석에 적합하지 않게 속도 또는 차두시간이 0이하로 검지되었다. 이 같은 부적합한 자료를 제외한 951개의 자료가 분석에 활용되었다. 분석에 활용된 자료의 통계적 특성을 정리하면 <표 4>, <그림 2>와 <그림 3>에 제시되는 바와 같다.

〈표 4〉 조사차량의 일반특성

통계량	속도 (mph)	차두 시간 (초)	차두시간 (차량출발 순서별)				
			1	2	3	4	4이상
평균	23.45	2.66	3.34	3.71	2.67	2.48	2.58
표준편차	8.22	2.09	1.65	1.34	1.01	0.83	2.19



〈그림 2〉 조사 차량의 속도분포



〈그림 3〉 조사 차량의 통과시간 간격분포

3. 정지선 통과차량의 통행특성 분석

신호교차로의 정지선 근처에서는 차선변경이 거의 발생하지 않고 진행방향의 앞차 통행이 후속차량 통행에 결정적인 영향을 준다. 이 개념을 정리하면 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$B_i = F(C_i, B_{i-1}) + \beta \tag{1}$$

여기서,

B_i : i 번째 차량의 통행행태

C_i : i 번째 차량의 통행여건

β : 오차항

앞차의 통행특성으로 속도와 가·감속 사항을 후속차량의 특성으로 속도와 차두간격을 꼽을 수 있다. 앞차의 가·감속 사항은 앞차의 차두시간과 속도에 영향을 받는다. 따라서, 식(1)은 식(2)로 재정리될 수 있다.

$$H_i = f(V_i, V_{i-1}, H_{i-1}) + \epsilon \tag{2}$$

여기서,

H_i : i 번째 차량의 차두 시간

V_i : i 번째 차량의 통행 속도

ϵ : 오차항

정지선에서 최초로 통과하는 차량은 앞차의 영향이 미미하므로 이에 대한 영향을 배제하면 자체 차량속도와 연관관계가 있는 별도의 식(3)으로 정리되어 나타낼 수 있다. 통과순서에 따라 식(2)의 모형은 별도의 세분화된 모형으로 제시될 수 있다.

$$H_i = f(V_i) + \epsilon \tag{3}$$

식(2)와 식(3)의 기본 모형형태를 단순 선형모형과 추종이론(원제우·최재성 1999)의 개념을 적용하여 속도 변화율과 이전차량의 차두시간 속도비를 값의 선형모형으로 구축할 수 있다. 이를 정리하면 각각 식(4)와 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_i = a_1 \cdot V_i + \beta$$

$$H_i = a_1 \cdot V_i + a_2 \cdot V_{i-1} + a_3 \cdot H_{i-1} + \beta$$

(여기서 " $i \neq 1$ "인 경우) (4)

$$H_i = a_1 \cdot V_i + \beta$$

$$H_i = a_1 \cdot \frac{V_i}{V_{i-1}} + a_2 \cdot \frac{H_{i-1}}{V_{i-1}} + \beta$$

(여기서 " $i \neq 1$ "인 경우) (5)

4. 현장자료 분석

식(4)를 활용한 모형을 모형Ⅰ이라 하고, 식(5)를 활용한 모형을 모형Ⅱ이라 하면 현장자료를 그대로 활용하여 모형을 구축한 결과는 〈표 5〉에 제시되는 바와 같다.

〈표 5〉 현장자료를 그대로 활용한 모형구축 결과

모형 구분	모형 형태	결정 계수
모형 I	$i=1$ $H_1 = -0.00115(-0.03195) \cdot V_1 + 3.371859(3.272933)$	2.55 E-05
	$i \neq 1$ $H_i = 0.003(0.349) \cdot V_i + 0.019(2.063) \cdot V_{i-1} + 0.091(2.089) \cdot H_{i-1} + 1.870(7.164)$	0.0122
모형 II	$i=1$ $H_1 = -0.00115(-0.03195) \cdot V_1 + 3.371859(3.272933)$	2.55 E-05
	$i \neq 1$ $H_i = 0.270(1.448) \cdot \frac{V_i}{V_{i-1}} + 1.122(1.215) \cdot \frac{H_{i-1}}{V_{i-1}} + 2.201(10.003)$	0.0048

주: ()안의 값은 t통계량의 값임

현장자료를 그대로 분석한 결과는 차량의 차두시간을 결정하는 데에는 차량의 통행특성결과 파악되는 자료와는 별도의 특성이 결정적인 영향을 끼치는 것을 보여준다. 이 별도의 특성중 하나로 운전행태를 고려할 수 있다. 따라서, 운전 행태를 별도로 분류하여 심화 접근하면 보다 의미있는 연구결과 도출이 예상된다.

운전행태는 앞차와의 차두시간에 따라 차량속도를 어떻게 표현하느냐에 따라 동일한 차두시간 그룹에서 속도가 높은 경우에는 공격적인 운전행태로, 속도가 낮은 경우에는 방어적인 운전행태로, 속도가 중간인 경우에는 중간적인 행태로 세부 분류할 수 있다. 방어적인 운전행태와 중간적인 행태는 차두시간에 따른 차량속도변화에 민감하지 않고 운전자의 자의적인 반응행태와 주변 여건에 밀접하게 연관되므로 공격적인 운전행태를 중심으로 분석하고 그 결과를 파악해보았다. 그 결과는 〈표 6〉에 제시되는 바와 같다

전체자료를 이용하는 경우에 비해 "i=1"인 경우의 모형은 결정계수가 상당수준 증가되어 모형의 적응력이 높아지는 것으로 나타났다. "i=1"의 모형은 최초 차량의 출발시간은 속도에 비례하는 특성을 보이는 것으로 파악되었다.

"i≠1"인 경우에도 결정계수는 향상되었으나 독립변수와 종속변수의 관계를 조사자료에서 보여주는 독립변수와 종속변수의 관계만큼 충분히 설명해주지 못하는 것(결정계수 값이 충분히 높지 않은 것)으로 파악되었다. 따라서 추가로 독립변수와 종속변수 자료의

〈표 6〉 공격적인 운전행태(상위속도 85%)의 차두시간 결정모형(직접 활용하는 경우)

모형 구분	모형 형태	결정 계수
모형 I	$i=1$ $H_1 = 0.037(3.913) \cdot V_1 + 1.498(6.141)$	0.629
	$i \neq 1$ $H_i = -0.041(-2.88) \cdot V_i - 0.016(-1.05) \cdot V_{i-1} - 0.031(-0.44) \cdot H_{i-1} + 4.523(6.10)$	0.064
모형 II	$i=1$ $H_1 = 0.037(3.913) \cdot V_1 + 1.498(6.141)$	0.629
	$i \neq 1$ $H_i = 0.379(1.639) \cdot \frac{V_i}{V_{i-1}} + 1.159(0.708) \cdot \frac{H_{i-1}}{V_{i-1}} + 1.989(5.445)$	0.027

주: ()안의 값은 t통계량의 값임

〈표 7〉 공격적인 운전행태(상위속도 85%)의 차두시간 결정모형(ln값을 활용하는 경우)

모형 구분	모형 형태	결정 계수
모형 I	$i=1$ $\ln(H_1) = 0.379(3.856) \cdot \ln(V_1) - 0.328(-1.041)$	0.623
	$i \neq 1$ $\ln(H_i) = -0.078(-0.99) \cdot \ln(V_i) - 0.912(-6.61) \cdot \ln(V_{i-1}) - 0.044(-0.22) \cdot \ln(H_{i-1}) + 0.891(1.02)$	0.245
모형 II	$i=1$ $\ln(H_1) = 0.379(3.856) \cdot \ln(V_1) - 0.328(-1.041)$	0.623
	$i \neq 1$ $\ln(H_i) = 0.994(34.39) \cdot \ln\left(\frac{V_i}{V_{i-1}}\right) + 0.691(17.34) \cdot \ln\left(\frac{H_{i-1}}{V_{i-1}}\right) - 3.476(-112.02)$	0.909

주: ()안의 값은 t통계량의 값임

최도를 ln값으로 변화하여 차두시간과 그에 영향을 끼치는 요인에 대해 파악해 보았다. 그 결과는 〈표 7〉에 제시되는 바와 같다.

ln값으로 변환된 자료를 이용하여 모형을 구축하면 "i=1"인 경우의 모형에서는 결정계수가 변화되지 않은 자료를 이용하는 경우와 유사한 통계특성으로 모형이 설정되었다. 그러나, "i≠1"인 경우에는 결정계수가 추가로 증가되는 것을 파악할 수 있었다. 특히 모형II에서 결정계수 값이 0.909로 파악되어 모형으로 설명력이 높은 것으로 나타났다.

비교적 설명력이 높은 모형 II를 기준으로 연구결과를 정리하면, 공격적인 운전행태에서는 앞차대비 뒤 차량의 속도비의 \ln 값과 앞차의 속도대비 차두시간의 \ln 값에 비례하여 뒤 차량의 차두시간 \ln 값이 늘어나는 것으로 이해될 수 있었다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 교통분석 및 교차로 연구의 기본이 되는 차량의 정지선 통과행태를 분석적으로 파악해 보았다. 기존의 정지선 차량통과 행태에 대한 연구는 개별차량의 세부적인 자료수집의 한계와 분석방법론이 정립이 미미하여 교통분석에 기초적으로 활용할 수 있는 연구추진에 한계가 있었다.

본 연구에서는 교차로를 통과하는 개별차량의 통행행태(특히, 차두시간)는 통과하는 차량 순서에 의해 영향을 받기보다는 앞에 통과하는 차량의 통행특성(속도, 차두시간)과 자체 차량의 속도에 의해 영향을 받는다는 사실을 분석적으로 규명해냈다.

조사자료 전체를 활용하는 경우 결정계수가 0에 근접하여 독립변수와 종속변수간 관계가 미미한 것으로 나타났으나, 운전행태를 공격적인 행태, 방어적인 행태와 중간적인 행태로 나누어 공격적인 운전행태에 대해 집중적인 분석을 하고 자료의 민감도를 높이기 위해 스케일의 변화를 주는 \ln 값을 활용한 결과 결정계수가 0.91수준의 모형이 작성되었다. 작성된 모형은 교차로를 통과하는 차량의 차두시간은 차량의 통과순서가 아닌 앞차의 통행행태와 해당차량의 속도에 좌우되는 것을 설명하였다.

본 연구는 교차로의 차량통과행태를 분석적으로 파악하고자 하는 초기적인 연구이다. 따라서 향후 다양한 교차로에 대한 분석적인 연구를 통한 일반화된 모형정

립과 통행행태에 직접적으로 영향을 주는 중요한 변수인 운전행태에 대한 보다 깊이 있는 연구가 필요하겠다.

참고문헌

1. 원재무·최재성(1999), 「교통공학」, 박영사.
2. 이향숙·도철웅(2002), “도시부 신호교차로에서 직진이동류의 포화차두시간”, 대한교통학회지, 제 20권 제8호, 대한교통학회, pp.23~31.
3. Greenshields, B. D., D. Schapiro, and E. L. Ericksen.(1947), Traffic Performance at Urban Street Intersections, Eno Foundation for Highway Traffic Control.
4. Lee, J., and R. L. Chen(1986), Entering Headway at Signalized Intersections in a Small Metropolitan Area, Transportation Research Record 1091, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
5. Gerlough, D. L., and F. A. Wanger(1967), Improved criteria for Traffic Signals at Individual Intersections, NCHRP Report 301, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
6. Ali S. Al-Ghamdi(1999), Entering Headway for Through Movements at Urban Signalized Intersections, Transportation Research Record 99-1232, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
7. Arif Mehmood, Bruce Hellenga, and Frank Saccomanno(2003), Modeling Car-following Using System Dynamics, TRB Annual Meeting 2003 Paper No 03-2158.

✉ 주 작 성 자 : 황경수

✉ 논문투고일 : 2003. 11. 15

논문심사일 : 2004. 3. 11 (1차)

2004. 4. 7 (2차)

심사판정일 : 2004. 4. 7

✉ 반론접수기한 : 2004. 8. 31