

■ 論 文 ■

도시부 신호교차로에서 직진이동류의 포화차두시간

Saturation Headway of Through Movement at Signalized Intersections in Urban Area

이 향 속

(교통개발연구원 연구원)

도 철 웅

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 기존문헌 고찰
 - 1. 차두시간
 - 2. 최소녹색시간 산정
 - 3. 교차로특성과 차두시간의 관계
- III. 자료의 수집
 - 1. 조사방법
 - 2. 조사지점
- IV. 자료의 분석
 - 1. 수집된 자료의 통계분석
 - 2. 자료분류방법
- 3. 차로수에 따른 분류
- 4. 차로위치에 따른 분류
- 5. 지역특성에 따른 분류
- 6. 신호현시에 따른 분류
- 7. 시간에 따른 분류
- V. 분석결과
 - 1. 차두시간에 따른 포화교통유율 산정
 - 2. 지역특성계수 산정
 - 3. 출발손실시간 산정
- VI. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 차두시간, 포화교통유율, 출발손실시간, 최소녹색시간, 지역특성계수

요 약

교차로에 진입하는 차량의 차두시간은 포화교통유율과 밀접한 관계가 있으며, 포화차두시간과 출발손실시간을 구하기 위한 기본 파라미터이다. 이러한 차두시간은 운전자의 행태 및 교차로의 특성을 반영하는 것이므로 어느 교차로에서나 일정한 것이 아니라 교차로의 차로수, 차로위치, 현시방법, 지역특성 및 시간대 등에 영향을 받는다. 본 논문에서는 각각에 대해 교차로의 특성을 고려하여 적절한 값을 제시하였다.

직진차로수는 1차로, 2차로, 3차로로 분류하고 차로위치는 상위차로, 중간차로, 하위차로로 분류하여 차두시간을 조사한 결과, 직진1차로와 직진2차로-상위차로 및 직진3차로-하위차로의 경우 각각 1.73초, 1.71초, 1.93초로 나타났다.

또한 차두시간과 포화교통유율의 관계를 이용하여 주거지역을 1.00로 가정하고 지역특성계수를 산정한 결과 0.96으로 나타났다. 출발손실시간의 경우 방향보호좌회전이 1.41초, 직좌동시신호가 3.27초로 큰 차이가 있었으므로 현시방법에 따라 다른 출발손실시간이 적용되어야 하는 것으로 나타났다.

본 연구는 한국과학재단(ERC)의 지원을 받아 연구를 수행하게 되었음.

1. 서론

차두시간(entering headway or discharge headway)이란 교차로에 진입하고자하는 차량간의 간격이다. 즉, 대기행렬에 있던 차량들이 녹색신호가 켜진 후 정지선을 출발했을 때 연속적인 차량들이 정지선을 지나는 시간간격이다. 이러한 차두시간은 신호교차로의 용량을 산정하고 신호시간을 설계하는데 중요한 요소이며, 포화교통유율(Saturation flow rate), 출발손실시간(start-up lost time) 등의 중요한 파라미터를 구하기 위해 필요하다.

본 논문에서는 지역, 차로수, 차로의 위치, 시간대, 현시방법이 교차로에 진입하는 차량의 차두시간에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 분석하고, 이를 통계적으로 검증해 본다.

또한 자료분석을 통하여 차로수 및 차로위치별 포화교통유율을 산정하고, 지역의 특성을 고려한 보정계수인 지역특성계수를 산정하며, 현시에 따라 출발손실시간이 어떻게 달라지는지 연구하고자 한다.

II. 기존문헌 고찰

1. 차두시간

첫번째 차두시간은 녹색신호 등화시 대기중인 차량들 중 첫번째 차량의 후미 범퍼가 정지선을 벗어나는데 걸리는 시간이고, 나머지 대기차량의 차두시간은 앞의 차량의 후미범퍼가 정지선을 통과한 후 다음 차량이 정지선을 통과하는데 걸리는 시간이다.

Greenshield는 1947년, New York에서 교차로에 도착하는 차량의 특성파악을 위한 최초의 노력을 한 결과, 첫번째~다섯번째 차량까지의 차두시간을 3.8, 3.1, 2.7, 2.4, 2.2(초)로 분석하였다. Bartle은 1957년, Los Angeles에서 교차로에 진입하는 제일 첫 차량의 차두시간은 2.91~4.40(초), 나머지는 0.95~1.63(초)라 정의하였다. Lu는 보호좌회전 신호에서 차두시간의 조사를 실시하여 2.43, 2.62, 2.10, 2.09(초)의 값을 얻었고, Lee는 소도시의 차두시간 특성을 연구하기 위하여 Kansas에서 12번째 차량까지 조사를 실시한 결과 3.80, 2.56, 2.35, 2.22, 2.16, 2.03, 1.97, 1.94, 1.94, 1.78, 1.64, 1.76(초)라는 결과를 도출하였으며, King and Wilkinson은

신호등형태와 렌즈사이즈의 효과분석을 위해 차두시간을 조사하기도 하였다.

2. 최소녹색시간 산정

독립교차로에서 차두시간은 검지기와 정지선 사이에 정지해 있는 차량들의 움직임으로부터 최소녹색시간을 산정하는데 있어 중요한 변수이다. 최소녹색시간(T) 산정식은 식(1)과 같다.

$$T = d_s + (h_s \times n) \tag{1}$$

d_s : 출발손실시간(초)

h_s : 포화차두시간(초)

n : 차량대수

수십년에 걸쳐 교차로에 진입하는 차량간의 시간관계에 대한 연구가 이루어져 왔다. 미국에서는 Greenshield에 의해 접근 교통류의 성격에 대한 최초의 연구가 이루어졌고 최소녹색시간의 산정식은 식(2)와 같다

$$T = 3.7 + 2.1n \tag{2}$$

Kunzman은 automatic의 보급을 고려하여 출발손실시간을 낮춤으로써 Greenshield의 산정식을 보완한 식(3)을 유도하였다.

$$T = 1.1 + 2.1n \tag{3}$$

현재 미국은 이상적인 조건에서 출발손실시간 2.3초, 포화차두시간 1.63초를 사용하며, 한국도 같은 값을 적용하고 있다. 최소녹색시간은 식(4)과 같다.

$$T = 2.3 + 1.63n \tag{4}$$

3. 교차로특성과 진입차두시간의 관계

Al-Ghamdi는 2차로 접근로와 3차로 접근로에서 차량의 차두시간에 변화가 있는지 조사하였다. 2차로는 하위차로를, 3차로는 상위차로를 대상으로 조사함으로써 포화교통유율을 산정하였다. 포화차두시간은 2차로 접근로가 더 작게 조사되었고, 따라서 포화교

통유율은 더 크게 나타났다.

Al-Ghamdi는 차로의 수에 따라 포화차두시간이 차이가 나므로 다른 포화교통유율이 적용되어야 함을 증명하였다. 조사결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 접근로별 포화차두시간 및 포화교통유율

접근로 종류	포화차두시간 (sec)	포화교통유율 (vphgpl)
2차로	1.57	2,264
3차로	1.64	2,195

Lee는 작은 도시를 대상으로 교차로의 신호체계, 차로의 위치, 접근속도, 시간대에 따라 차량의 차두시간이 어떻게 변하는지에 대해 분석하였으며, 차로 위치와 접근속도에 따라 차두시간이 달라짐을 연구하였다. 신호조사결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 교차로특성과 차두시간의 관계

교차로특성	차두시간에 미치는 영향
신호체계	거의 없음
차로의 위치	상위차로에서 낮은 차두시간이 조사됨
접근속도	제한속도가 낮을수록 높은 차두시간이 조사됨
시간대	거의 없음

III. 자료의 수집

1. 조사방법

차로당 한명씩 배치한 후 차두시간측정기를 사용하여 직진이동류에 대해서만 주기별 차두시간을 조사하였다.

첫번째 차두시간은 녹색신호 등화시 대기중인 차량들 중 첫번째 차량의 후미범퍼가 정지선을 벗어나는 데 걸리는 시간으로 정하고, 나머지 대기중인 차량의 차두시간은 앞의 차량의 후미범퍼가 정지선을 통과한 후 다음 차량의 후미범퍼가 정지선을 통과하는데 걸리는 시간으로 조사하였으며, 대형차량은 조사에서 제외시켰다.

조사는 7월~8월 중 맑은날에 실시하였으며, 오전·오후 침두시간에 실시하였다. 교차로 조건은 대기행렬이 항상 존재하고, 사고나 공사가 없는 상태이며, 평탄한 접근구배를 가진 교차로이다. 또한 불법주차

및 연석주차가 불가능한 교차로를 대상으로 조사하였다.

2. 조사지점

각 조사지점은 <표 3>에 나타나있다.

<표 3> 조사지역

교차로명	방향	차로수	신호체계	샘플수	조사차로
대치역	northbound	3(1)	선좌회전	30	2차로
	southbound	3(1)	선좌회전	28	2차로
서초무지개	eastbound	3(1)	동시신호	30	2차로
	westbound	3(1)	동시신호	30	2차로
역삼역	northbound	4(2)	좌회전금지	60	2·3차로
	southbound	4(2)	좌회전금지	65	2·3차로
분당백현	eastbound	4(2)	동시신호	60	2·3차로
	westbound	4(2)	동시신호	62	2·3차로
강남구청앞	eastbound	4(2)	선좌회전	60	2·3차로
	westbound	4(2)	선좌회전	60	2·3차로
강남역	eastbound	5(3)	선좌회전	92	2·3·4차로
양재전회국	eastbound	5(3)	좌회전금지	90	2·3·4차로
학동역	westbound	5(3)	좌회전금지	90	2·3·4차로
분당정자	westbound	5(3)	선좌회전	90	2·3·4차로

IV. 데이터분석

1. 수집된 데이터의 통계분석

조사를 통하여 수집된 데이터의 샘플수, 평균, 분산, 표준편차, 최대값, 중앙값, 최소값은 <표 4>와 같다.

대기행렬 중 첫번째 차량의 운전자는 녹색신호로 변경되는 것을 본 후 브레이크로부터 발을 떼면서 가속을 하여 정지선을 통과하게 되는데 이 시간은 반응시간과 정지선까지 움직인 거리의 합이므로 비교적 길게 나타난다. 두 번째 차량은 첫번째 차량이 정지선을 통과하는 것보다 좀더 빠른 속도로 통과하게 되는데 그 이유는 가속할 수 있는 거리가 차량 길이 만큼 추가되기 때문이다. 출발 및 가속으로 인하여 증가되는 시간은 7번째부터 나타나지 않는다고 가정하였을 경우, 포화차두시간은 대기행렬 내의 7번째 차량에서부터 대기행렬 내의 마지막 차량까지의 평균차두시간으로 얻는다.¹⁾

1) 도철윤, 교통공학원론(상).

〈표 4〉 차두시간의 통계 모수

No.	유효 샘플수	평균	분산	표준 편차	최대 값	중앙값	최소 값
1	8	2.74	0.785	0.866	6.37	2.76	1.72
2	10	2.32	0.212	0.460	4.47	2.25	1.21
3	6	2.20	0.146	0.382	3.97	2.19	0.90
4	19	2.13	0.128	0.358	3.65	2.14	0.98
5	15	2.02	0.109	0.330	4.00	1.98	1.10
6	26	1.92	0.109	0.330	3.63	1.89	0.80
7	19	1.89	0.078	0.280	3.74	1.87	0.93
8	17	1.87	0.061	0.248	2.81	1.86	1.08
9	36	1.84	0.055	0.234	2.91	1.82	1.15
10	35	1.80	0.064	0.254	2.99	1.78	0.98
11	47	1.76	0.049	0.221	2.67	1.76	0.90
12	79	1.74	0.042	0.204	2.43	1.75	0.74
13	76	1.74	0.039	0.197	2.57	1.75	1.05
14	76	1.71	0.044	0.209	2.35	1.72	0.92
15	288	1.72	0.037	0.192	2.36	1.70	1.07

실제 현장조사 결과, 차두시간의 평균값은 뒷차량으로 갈수록 작아졌으며, 일곱번째 차량부터 차두시간 차이의 폭이 작아진 것으로 나타났다.

또한 첫번째 차량의 분산은 0.785로 첫번째 이후 차량들의 분산과 아주 많은 차이를 보였다. 이것은 맨 첫 차량들에 대한 출발시간 차이의 폭이 다른 차량에 비해 매우 크다는 것을 의미한다. 최대값이 6.37, 최소값이 1.72로 차이가 아주 크다는 것이 그것을 증명한다. 분산은 뒤의 차량으로 갈수록 작아지며, 따라서 출발시간 차이의 폭이 작아짐을 알 수 있다.

2. 자료분류방법

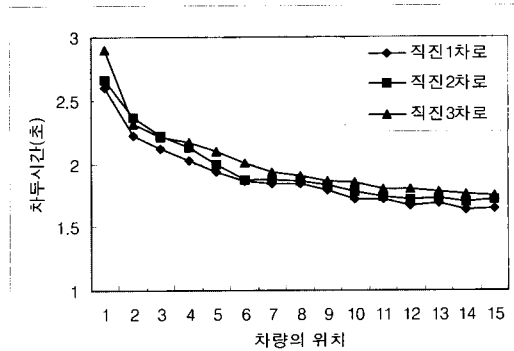
교차로의 특성과 차두시간의 관계를 분석하기 위하여 〈표 5〉와 같은 범주로 분류하였다.

3. 차로수에 따른 분류

직진전용 차로수에 따라 차두시간이 다르게 나타나는지 분석하기 위하여 직진전용 차로가 1차로, 2차로, 3차로일 경우로 나누어 조사하였다. 차로수에 따른 차두시간은 〈그림 1〉에 나타나 있다.

〈표 5〉 자료분류범주

구분	범주1	범주2	범주	범주4
직진전용 차로수	1차로	2차로	3차로	-
차로위치	직진 1차로 (Single through lane)	상위차로 (Inside lane)	중간차로 (Central lane)	하위차로 (Outside lane)
지역특성	업무지역 (Business area)	주거지역 (residential area)	-	-
현시방법	선 좌회전	동시신호·좌회전금지	-	-
시간대	오전첨두	오후첨두	-	-



〈그림 1〉 차로수에 따른 차두시간 비교

직진전용차로수의 차로수에 따른 차두시간의 차이가 확연하게 나타난다. 직진전용차로의 차로수별 차두시간의 크기는 직진전용 3차로 > 직진전용 2차로 > 직진전용 1차로의 순으로 나타났다.

직진전용차로가 1차로인 경우 차량이 더 빨리 가려는 경향이 있는데, 이는 뒤에 대기한 대기행렬이 직진을 하기 위하여 그 차로를 벗어날 수 없음을 의식하기 때문인 것으로 분석된다. 직진전용차로수가 많을수록 바깥 차로의 차량은 천천히 움직이는 경향을 보여 차두시간이 커지는 것으로 조사되었다.

각 차두시간 대해 T-test로 통계분석을 실시하였다.

H₀ : 차로수는 차두시간에 영향을 주지 않는다.

H₁ : 차로수에 따라 차두시간이 달라진다.

통계분석 결과, 1차로와 2차로의 차이 < 2차로와 3차로의 차이 < 1차로와 3차로의 차이의 순으로 나타났다. 따라서 1차로에서의 차두시간과 3차로에서의 차두시간의 차이가 매우 큰 것으로 분석된다.

〈표 10〉 시간대에 대한 T-test결과

지역특성	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AM vs PM	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

V. 분석결과

1. 차두시간에 따른 포화교통유율 산정

차로수와 차로위치에 따라 차두시간의 차이가 큰 것으로 분석되었다. 따라서 각 경우에 따라 차로당 포화교통유율은 다르게 산정되어야 할 것이다. 차로당 포화교통유율을 산정하기 위하여 식(5)을 이용하였다.

$$s = 3,600/h \tag{5}$$

s : 포화교통유율
h : 포화차두시간

〈표 11〉 직진전용 차로수 및 차로위치에 따른 포화차두시간 및 포화교통유율

차로수	차로위치	포화차두시간 (초)	포화교통유율 (pcphpl)
1	직진1차로	1.73	2081
2	상위차로	1.71	2105
	하위차로	1.84	1957
3	상위차로	1.74	2069
	중간차로	1.83	1967
	하위차로	1.93	1875

2. 지역특성계수 산정

미국의 경우 포화교통유율 산정시 지역의 특성을 고려하여 지역특성계수(area factor)를 보정계수의 하나로 사용하고 있으나 우리나라에서는 적용하지 않고 있다. 기존연구²⁾에 의하면 교차로 포화차두시간이 지역특성계수에 많은 영향을 끼친다는 것이 통계적으로 검증되었다. 산정과정은 식(6)에 나타나

있다.

$$S_{field} = S_{base} \times F_{other} \times f_{as} \tag{6}$$

S_{field} : 실제 현장의 포화교통유율(vphg)
 S_{base} : 이상적 조건하에서 포화교통유율(pcphgpl)
 F_{other} : 지역특성계수를 제외한 다른 보정계수
 f_{as} : 지역특정계수

포화차두시간과 포화교통유율의 관계는 $s = 3,600/h$ 이다. 지역특성을 제외한 다른 지역요소는 이상적 조건하에서 1이므로 $F_{other} = 1$ 이다. 따라서 포화차두시간과 지역특성계수의 관계는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다

$$f_{as} = h_{base} / h_{field} \tag{7}$$

h_{field} : 실제 현장의 포화차두시간
 h_{base} : 이상적 조건하에서 포화차두시간
 f_{as} : 지역특성 보정계수

〈표 12〉 지역별 지역특성계수

구분	업무지역	주거지역
지역특성계수	0.96	1.0

포화차두시간만을 고려했을 경우, 업무지역의 지역특성계수는 0.96으로 나타났다. 지역특성계수로 인하여 포화교통유율의 값이 크게 달라지므로 지역특성에 따라 보정계수를 적용해야 할 것으로 생각된다.

3. 출발손실시간 산정

실제 현장조사 결과, 양방향보호좌회전을 줄 경우와 동시신호·좌회전금지일 경우 출발손실시간에 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 현시에 따른 출발손실시간은 〈표 13〉과 같다.

2) Xuewen, Variation of Capacity at Signalized Intersections with Different Area Factor. University of South Florida.

〈표 13〉 현시방법에 따른 출발손실시간

구분	양방향보호좌회전	동시신호 or 좌회전금지
출발손실시간	1.41	3.27

따라서 교차로에 대기하고 있는 n대의 차량(n≥)이 정지선을 벗어나는데 소요되는 시간 T(최소녹색시간)는 다음과 같다.

- 선좌회전 : $T=1.41+1.77n$
- 동시신호 및 좌회전금지 : $T=3.27+1.79n$

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구를 통하여 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 조사결과 차량의 차두시간은 차로수, 차로위치, 지역특성, 신호현시방법에 영향을 받으며, 시간대에는 거의 영향을 안 받는 것으로 나타났다.
- 차로수가 많을수록 포화차두시간이 커졌으며, 따라서 차로당 포화교통류율이 작아지는 것으로 나타났다.
- 차로의 위치가 상위일수록 외부의 영향을 적게 받으므로 차두시간이 커지는 것으로 나타났다.
- 신호현시 방법에 따라 출발손실시간이 크게 차이나는 것으로 나타났다.
- 지역의 특성에 따라 포화차두시간의 차이가 있는 것으로 분석되었다.
- 차로수 및 차로위치에 따른 포화차두시간 및 포화교통류율(〈표 11〉 참조) 산정.
- 지역특성 보정계수(〈표 12〉 참조) 제시.
- 현시방법에 따른 출발손실시간(〈표 13〉 참조) 제시.

향후연구과제는 다음과 같다.

제한속도, 대기행렬의 길이(하류부교차로 및 해당 교차로), 기하구조 등과 차두시간의 연관성에 대해 지속적인 연구가 필요하다.

과포화 상태일 경우의 차두시간의 변화 및 특성에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 도철웅(1996), 교통공학원론.

2. B. D. Greenshields, D. Schapiro and E. L. Ericksen(1947), Traffic Performance at Urban Street Intersections, Eno Foundation for Highway Traffic Control.

3. Kunzman(1978), W. Another Look at Signalized Intersection Capacity, ITE Journal, Vol. 48, pp.12~15.

4. R. M. Bartle, V. Skoro, and D. L. Gerlough (1956), Starting Delay and Time Spacing of Vehicles Entering Signalized Intersection, Bulletin 112, HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.33~41.

5. Y-J. Lu(1984), A Study of Left-Turn Manuever Time for Signalized Intersections, ITE Journal, Vol. 54, No.10, Oct.

6. Lee(1986), Entering Headway at Signalized Intersections in a small Metropolitan area, TRR 1091, pp.117~126.

7. G. F. King and M. Wilkinson(1976), Relationship of Signal Design to Discharge Headway, Approach Capacity and Delay, Transportation Research Record 615, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.37~44.

8. Al-Ghamdi(1978), Entering Headway for Through Movement at Urban signalized Intersections, TRR, pp.42~47.

9. John D(1986), Field Validation of Intersection Capacity Factors, TRR 1091, pp. 67~77.

10. Xuwen, Variation of Capacity at Signalized Intersections with Different Area Factor, University of South Florida, pp.2~17.

11. D. L. Gerlough and F. A. Wanger(1975), NCHRP Report 32 : Improved Criteria for Traffic Signals at Individual Intersections, HRB, National Research Council, Washington, D.C., 34 pp.

12. R. L. Carstens(1971), Some Traffic Parameters at Signalized Intersections, Traffic Engineering, Vol.41, No.11, Aug.

13. Paul G. Michael, Frank C.(1998), Head-

way on Urban street. TR PART F, pp.55
~64.

14. Ali S.(2001), Analysis of Time Headways
on Urban Roads, Transportation engineering,

pp.289~294.

15. R. T., Luttinen(1992), Statistical Properties
of Vehicle Time Headway, TRR 1365,
pp.92 ~98.

♣ 주 작 성 자 : 이향숙

♣ 논문투고일 : 2002. 3. 9

논문심사일 : 2002. 4. 18 (1차)

2002. 9. 9 (2차)

심사판정일 : 2002. 9. 9

♣ 반론접수기간 : 2003. 2. 28