

교차로에 인접한 부 도로의 적정 이격거리 산정

권성대* · 김윤미** · 강남원*** · 하태준****

Kwon, Sung-Dae*, Kim, Yoon-Mi**, Kang, Nam-Won***, Ha, Tae-Jun****

Determination of the Required Minimum Spacing Between Signalized Intersection and Minor Road

ABSTRACT

Since there is no clear installation criteria on minimum spacing between signalized intersection and minor road, many problems have occurred in terms of traffic operation and safety. Even though many studies about entrance/exit intersection have been done in operational aspects, there is no specific and detailed research between the signalized intersection and minor road by now. Thus, this research suggests the optimal spacing between signalized intersection and minor road considering traffic operation and safety. Also, survey on vehicle behavior was conducted in this research. In conclusion, by suggesting the required minimum spacing between signalized intersection and minor road, it can be contribute in establishing and operating the installation criteria between signalized intersection and minor road.

Key words : Signalized intersection, Minor road, Length of waiting queues method, Gap acceptance model method, Length of weaving, Distance

초록

교차로에 인접한 부 도로에 대한 설치기준이 명확하지 않아 설치 및 운영에 많은 문제점을 야기시키고 있으며, 이로 인하여 교통소통과 교통안전에 문제가 발생하고 있다. 현재까지 교차로 진출입과 관련하여 운영적 측면에서는 많은 연구가 시도되었지만, 교차로에 인접한 부 도로에 대한 연구는 대단히 미흡하고 이에 따른 합리적인 설계가 이루어지지 못하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 교차로에 인접한 부 도로에서 진출하는 차량에 대한 행태를 조사하고, 교통소통과 안전을 고려하여 교차로에 인접한 부 도로의 적절한 이격거리를 제시하고자 한다. 교통소통과 안전을 도모할 수 있는 교차로에 인접한 부 도로의 적정길이를 제시함으로써, 향후 교차로에 인접한 부 도로와 관련된 설치기준 정립에 이바지하고자 한다.

검색어 : 신호교차로, 부 도로, 대기행렬모형, 간격수락모형, 엇갈림 길이, 이격거리

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교차로에 인접한 부 도로에 대한 설치기준은 있으나, 현실적으로 지켜지지 못하고 있다. 실제 교차로 부근에 보면 부 도로의 설치기준을 고려하지 않은 채 교차로 인접한 부근에 부 도로를 설치하여 교통소통과 교통안전에 문제가 발생하고 있는 실정이다.

* 전남대학교 토목공학과 박사수료 (mj0124@nate.com)

** 정회원 · 교신저자 · 전남대학교 토목공학과 박사과정 (Corresponding Author · Chonnam National University · swityday@nate.com)

*** 한국도로공사 지사장 (khcknw1@ex.co.kr)

**** 정회원 · 전남대학교 토목공학과 정교수 (tjha@jnu.ac.kr)

Received June 3, 2013/ revised June 19, 2013/ accepted October 10, 2013

특히, 모든 도로의 우회전 차량의 도로반경을 고려하여 최소간격을 정하는 것은 현실적이 못한 것으로 사료된다. 그리고 현재까지 교차로 진출입과 관련하여 운영적 측면에서는 많은 연구가 시도되었지만, 교차로에 인접한 부 도로에 대한 연구는 대단히 미흡하여 현실적인 설계가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 교차로에 인접한 부 도로에서 진출하는 차량에 대한 행태를 조사하고, 교통소통과 안전을 고려하여 교차로에 인접한 부 도로의 적절한 이격거리를 제시하고자 한다. 이와 같이 교통소통과 안전을 도모할 수 있는 교차로에 인접한 부 도로의 적정길이를 제시함으로써, 교차로에 인접한 부 도로와 관련된 설치기준 정립 및 향후 연구에 이바지하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 교차로에 인접한 부 도로에 진출하는 차량의 행태를 조사하고, 진출차량의 안전거리를 조사하였다. 또한, 부 도로로 진입하는 차량의 대기행렬길이와 부 도로에서 진출하는 차량의 간격수락을 고려하여 적정길이를 제시하고자 한다. 본 연구를 위한 연구수행과정은 다음과 같다.

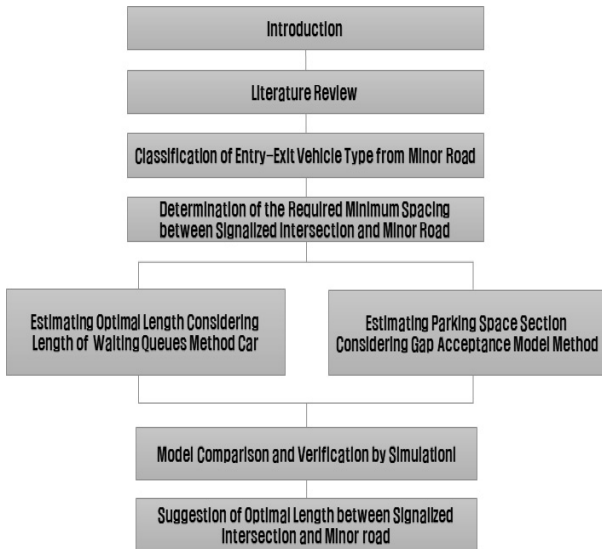


Fig. 1. Flowchart of Research

1.3 연구의 범위

본 연구의 대상은 광주광역시내 교차로에 인접한 부 도로구간을 대상으로 조사를 실시하였다. 조사일시는 2009년 6월 29일 ~ 2009년 12월 31일 중 평일로 실시하였으며, 과포화된 상태로 인하여 진출입차량의 비정상적인 행태가 발생하는 첨두시간은 제외하고 오전 10시와 오후 5시 사이에 조사를 실시하였다.

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 교차로에 인접한 부 도로의 설치기준

최소 설치간격은 각각부 최소거리의 개념으로 사용되며 이는 교차로의 모서리에서부터 가장 가까운 접근로 출입 지점까지의 거리를 말한다. 이러한 각각부 최소거리는 교차로 부근의 접근로가 막혀 주도로가 연쇄적으로 막히지 않을 정도의 최소거리와 비슷한 개념이다. 접근로 인접 차량의 교통량, 인접 교차로의 서비스 교통류율, 신호시간, 도로기능 등에 따라 거리는 달라진다. 일반적으로 교차로의 앞측에 부도로를 접속하는 경우 최소 설치간격은 우회전 차량의 길이보다 길어야 한다. 교차로를 통과한 후 부도로를 접속하는 경우의 최소 설치간격 값을 적용할 수 있다. 그러나 교통량이 적은 도시부 세 갈래 가로의 경우, 이상의 조건을 모두 만족시키기 곤란하다더라도 간선도로에서 세 갈래 가로로 진입하려는 차량이 세 갈래 가로에서 진출입하는 차량을 발견하고 정지하여 대기할 수 있는 공간은 확보되어야만 한다. 다음은 교차로에 인접한 부도로의 최소 설치간격을 나타낸 것이다.

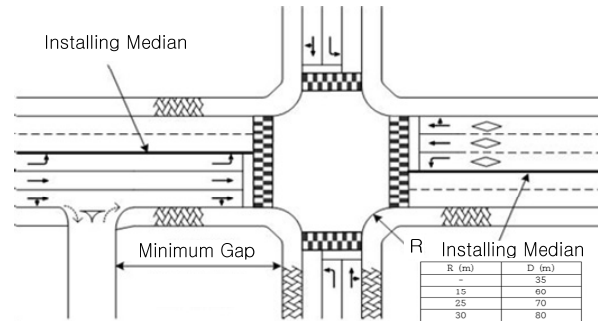


Fig. 2. Minimum Length of Minor Road Adjoining Intersection

2.2 평면교차로에 관한 연구

2.2.1 교차로 영향권 산정에 관한 연구

1) 교차로 영향권의 정의

교차로 부근에서 회전하려는 차량의 운행에 대해서 살펴보면, 회전하려는 차량은 직진차로에서 회전차로로 차로변경을 하게 되며 대기하고 있는 차량의 뒤에서 정지하게 된다. 이러한 거리를 운행거리라 하며, 회전하기 위하여 차량이 기다리고 있는 거리를 대기차로라 할 수 있다. 이러한 길이를 합친 거리가 교차로에서 기능적으로 중요한 역할을 하게 되며, 이러한 거리로 구성된 지역을 교차로의 영향권역이라고 할 수 있다.

2) 교차로간의 최소 설치간격

도시부교차로 간의 최소 설치간격은 주로 차로변경에 필요한

길이, 대기차량 및 회전차로의 길이, 그리고 교차로에 대한 인지성 확보 등을 고려하여 결정하여야 하므로 이에 대해 다음의 사항을 집중적으로 검토하여야 한다.

① 차로 변경에 필요한 길이

교차로 간격의 제약은 엇갈림이 생기는 경우에 모두 존재한다. 주 교통량과 엇갈림 교통량이 적은 경우에는 사실상 큰 문제가 되지 않지만, 엇갈림 교통류의 한 쪽이 주 교통류인 경우에는 안전성 및 교통처리 능력의 양면에서 문제가 유발되므로 이 점에 특히 유의하여 차로변경 금지 등의 조치를 취하여야 한다.

② 회전차로 길이에 의한 제약

일반적으로 근접한 2개 교차로의 신호는 동시운영을 하는 경우가 많아 직진 교통류의 대기차량 길이로 인하여 교차로 간격을 제약하는 경우는 그다지 많지는 않지만, 좌회전 차로의 설치길이가 부족하여 교차로 간격이 제약되는 경우가 많으므로 유의하여야 한다. 특히, 교차로가 신설되는 경우 인접교차로의 대기차량으로 인하여 좌회전이 방해받게 되거나, 좌회전 차로 각각의 길이를 산정하여 합한 길이가 교차로 간의 간격보다 긴 경우는 좌회전을 금지시키는 등의 교통관제 조치를 취하여야만 한다.

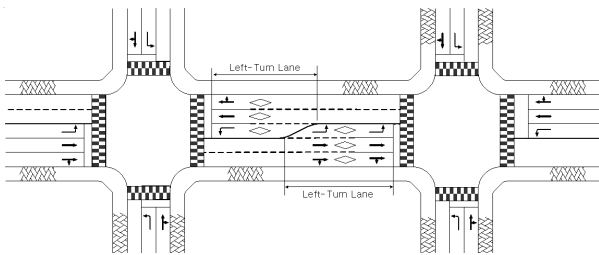


Fig. 3. Restriction by Length of Turning Lane

2.3 국내 · 외 횡단보도 설치기준 및 위치에 관한 연구

2.3.1 도로설계편람

횡단보도의 폭은 보행자 교통량의 함수로 생각하는 것이 합리적이지만 최소한의 보도 폭만 확보하면 긴급한 경우에 위험하며 주행중인 자동차가 전방에서 횡단보도 존재를 인지할 수 있도록 하기 위해서도 어느 정도의 폭이 필요하므로 최소치를 4.0m로 한다. 보행자가 많은 경우 도로의 상황에 따라서 실제적으로 정하는 것이 좋다. 또 특별한 경우에는 2.0m로 하는데 이는 폭 6~8m 정도와 같이 좁은 도로의 경우에만 적용된다.

횡단보도의 위치는 교차로의 상황, 자동차 및 보행자의 교통량 등을 종합적으로 고려하여 교차로 횡단거리가 가능한 한 짧고 교차 면적도 가능한 좁아지도록 정한다.

우회전 자동차와 횡단 보행자 간의 교차가 일어나기 쉬운 간선도로상의 평면교치는 보행자 횡단시 대기하는 우회전 자동차가 후속 직진 자동차의 진행을 방해하여, 평면교차로의 기능을 저해하므로 횡단보도를 보차도 경계의 연장선에서 5~6m(소형차 1대 길이), 정지선 2~3m 정도 뒤에 설치하도록 하고 있다.

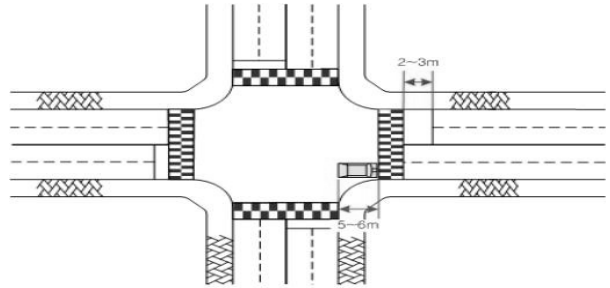


Fig. 4. Installation Location of Crosswalk

2.3.2 미국

미국의 횡단보도 설치 기준은 다음과 같다.

- 보행자와 차량의 실질적인 상충이 발생하는 모든 교차로 설치함
- 시인성 확보를 위해 횡단보도 부근의 주차를 금지
- 보행자가 집중되는 곳이나 보행자가 적절한 횡단 지점을 찾을 수 없는 단일로 등에 설치함
- 무분별하게 사용금지함

2.3.3 일본

일본의 횡단보도 설치 기준은 다음과 같다.

- 가능한 한 차로에 직각으로 설치해야 함
- 교차로를 좁히기 위해서 횡단보도를 가능한 한 앞에 설치, 넓은 교차로는 일반적으로 위험함
- 우회전 차량과 보행자 모두 많은 경우에는 필요에 따라 횡단보도 위치를 후퇴함
- 한번에 건너는 횡단보도가 15m 이상이 될 경우에는 가능한 한 중앙분리대, 안전섬 등을 설치하여 15m 이하가 되게 하는 것이 바람직함

2.3.4 Ha et al. (2003)

Ha et al. (2003)은 보행자 안전측면에서 광주광역시내 50개 신호교차로 횡단보도를 중심으로 보행자와 차량이 상충하여 발생한 횡단보도 보행자사고를 횡단보도 형태별로 교통량과, 보행량, 기하구조 등을 자료를 수집하여 다중회귀분석을 통해 보행자 사고율에 대한 회귀모형식을 도출하여 횡단보도 형태를 결정하는 과정을 제시하였다.

2.3.5 Park (2004)

Park (2004)는 교차로의 안전측면에서 접근하여 신호교차로상의 횡단보도 형태에 따른 보행자 사고예측 모형을 개발하여 접근로별 최적 횡단보도 설치형태 결정기준과 신호교차로 전체에 대한 횡단보도 설치형태 결정 기준을 제시하였다. 연구결과 동일한 기능의 도로가 교차하는 경우는 접근로 4방향을 전체적으로 통일하여 설치하고, 상이한 기능의 도로가 교차하는 경우 주도로측과 부도로측에 따라 통일하여야 한다는 결론을 제시하였다.

3. 자료수집 및 현장조사

3.1 조사지점 선정

본 연구에서는 광주광역시내의 교차로 지역을 대상으로 임의로 선정하였으며, 도로기하구조 조건은 도류화 시설물이 설치되어 있지 않은 교차로 교차각이 90°이고 종단경사 및 종단곡선이 없고 평면곡선이 없는 이상적인 조건에 가까운 지점을 선정하였다.

3.2 자료 수집

현장자료 수집은 교차로에 인접한 부 도로에서 진출하는 차량을 대상으로 스피드건을 이용하여 촬영을 실시하였으며, 차로수에 따라 진출하는 차량의 행태를 파악하였다. 아래와 같이 교차로에 인접한 부 도로에서 진출차량은 1차로, 2차로, 3차로, 4차로 등 다양한 행태로 진출하였다.

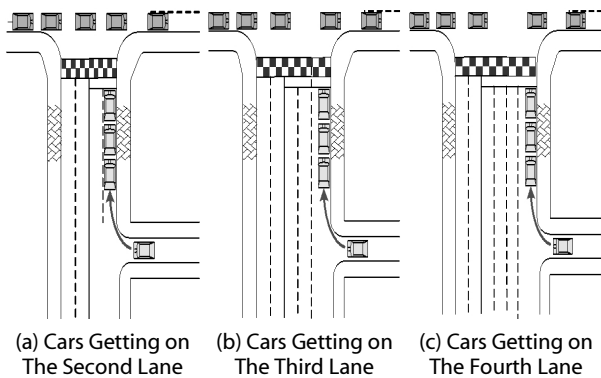


Fig. 5. Vehicle Behaviour (Vehicles from Minor Road Near Intersection)

위 그림과 같이 부 도로에서 마지막 차로로 진출하는 차량을 관측하여, 다음과 같이 나타내었다.

다음과 같이 부 도로에서 마지막 차로로 진출하는 차량을 조사한 결과, 평균시간은 2.48초, 평균속도는 27.56km/hr로 나타났다.

Table 1. Research Results of Vehicle Getting on the Last Lane

Number	Speed (km/hr)	Time (Second)	Number	Speed (km/hr)	Time (Second)
1	23	2.37	26	26	2.67
2	20	2.46	27	28	2.34
3	27	2.32	28	25	2.74
4	22	2.03	29	26	2.56
5	24	2.69	30	28	2.45
:					
21	26	2.69	46	26	2.69
22	26	2.68	47	23	2.74
23	28	2.65	48	26	2.77
24	35	2.11	49	25	2.65
25	30	2.36	50	26	2.54
Average Time (Second)			2.48		

4. 교차로에 인접한 부 도로의 설치위치 및 적정길이 산정

4.1 교차로에 인접한 부 도로에서 진출차량의 유형 분류

교차로에 인접한 부 도로의 설치위치 및 적정길이를 산정하기 위하여 신호현시를 Fig. 6과 같이 분류하였다. 또한 교차로에서 기하구조조건 및 교통조건, 신호현시 등을 고려하였으며, 다음과 같이 가정하였다.

Isolated Signal				
Analysis	1 signal ○	2 signals ○	3 signals ○	4 signals ○
Correlated Signal				
Analysis	1 signal ○	2 signals ○	3 signals ○	4 signals ○
Correlated Signal				
Hypothesis	1 signal ○	2 signals X	3 signals ○	4 signals ○

Fig. 6. Signal Indication

신호현시를 독립신호와 동시신호로 구분하였다. 독립신호의 경우 2차로에서 모두 우회전이 가능하였고, 또한 동시신호 역시 우회전이 모두 가능하였다.

하지만 본 연구에서는 동시신호 2현시일 때 우회전이 불가능하다고 가정하고, 차로수를 고려하여 2차로, 3차로, 4차로 등 부 도로에서 진출하는 차량을 Fig. 7과 같이 차로수별로 분류하였다.

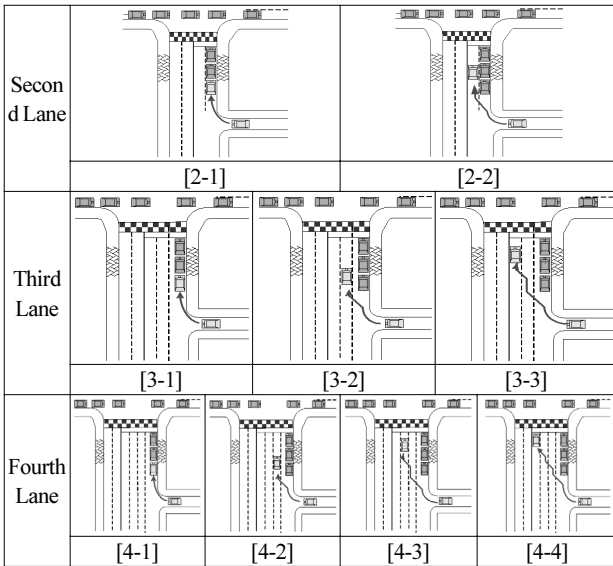


Fig. 7. Vehicle Type Classification by Road Number

위와 같이 교차로에 인접한 부 도로에서 진출하는 차량은 차로수 별로 각각의 행태로 진출하였지만, 부 도로에서 진출하는 차량이 각 차로수마다 다른 유형을 나타내었다. 하지만 본 연구에서 [2-1], [3-1], [3-2], [4-1], [4-2], [4-3] 등 차량의 비정상적인 행태를 제외하고, 안전거리를 고려하여 각 차로수의 마지막 차로로 진출하는 차량에 행태만 조사하여, 각 차로의 유형별로 나타내었다.

4.2 부 도로에서 진출하는 차량의 안전거리를 고려한 적정 이격거리 산정

부 도로에서 진출하는 차량이 주도로로 합류하기 위해서는 아래와 같이 대기행렬 및 간격수락 마지막 차량 뒷부분에 위치해야 한다.

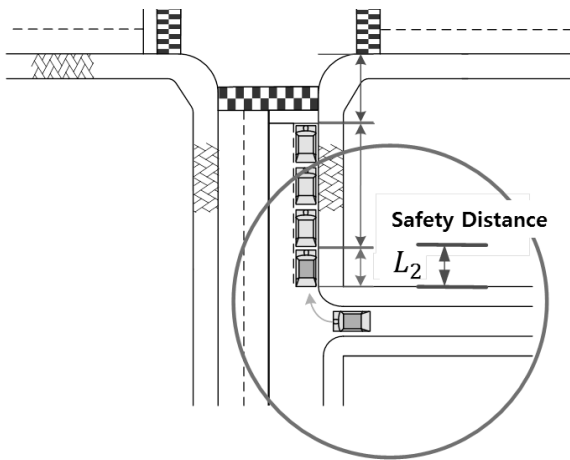


Fig. 8. Required Length of Vehicle from Minor Road

본 연구는 부 도로에서 진출하는 차량이 대기행렬 및 간격수락 마지막 차량 뒷부분에 위치한 적정 이격거리를 다음과 같은 이론 모형식으로 나타낼 수 있다.

$$L_2 = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

L_2 : 부 도로에서 진출차량의 이격거리(m)

a : 가속속도(m/sec^2)

t : 부 도로에서 진출하는 차량이 대기행렬 및 간격수락 마지막 차량 뒤 부분에 위치한 시간(초)

이상에서 검토한 바와 같이, 부 도로에서 진출하는 차량의 안전거리를 고려하여 산정할 것이다.

이에 본 장에서는 부 도로에서 진출하는 차량의 적정 이격거리를 산정하기 위하여, 현실조건과 유사한 조건을 설정하였다. 그리고 각 조건에 따라 기준을 제시하였다.

Table 2. Parameter Setting for Design Criteria

Parameter	Set Value
Lane Width (W)	3.25 m
Acceleration (a)	1.5m/sec ²
Time that Vehicle is Located in Waiting Queue and Back of Last Vehicle in Gap Acceptance	t = 2.5(second)

이를 위해 몇 가지 교통조건들의 일정한 값으로 설정하고 가속도, 부 도로에서 진출하는 차량이 대기행렬 및 간격수락 마지막 차량 뒷부분에 위치한 시간, 차로폭, 등 중요한 변수들은 여러 가지 값의 변수로 설정하여 기준을 제시하였다.

본 연구에서 제시하는 부 도로에서 진출하는 차량의 안전거리를 고려한 적정거리를 Table 3과 같이 나타내었다.

Table 3. Design Criteria Suggestion of Required Length of Vehicles from Minor Road

Time that Vehicle is Located in Waiting Queue and Back of Last Vehicle in Gap Acceptance(Second)	Length of Vehicle from Minor Road(L_2) (m)
2.5	4.69

4.3 교차로에 인접한 부도로의 적정 이격거리 결정

4.3.1 대기행렬모형을 고려한 적정 이격거리 산정

교차로에서의 최소이격거리 산정을 위한 대기행렬 길이를 이용

한 방법은 일반적인 도로교통특성을 가정하여 이의 적용으로 인한 기본적인 이론식을 산출한다. “차량길이와 대기 차간간격과 진행률 및 차량도착률은 일정하다.”를 기본가정으로 한다. 또한 이 수치는 유효적색시간과 신호주기에 대한 함수로 표시될 것이며 단위는 초이다. 대기행렬이 존재하는 시간길이 t_Q 를 원제무(1990)는 다음과 같이 나타냈다.

$$t_Q = \frac{\mu r}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

- λ : 평균도착률(대/시)
- μ : 평균서비스율(대/시)
- t_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이(초)
- r : 유효적색시간(초)

한편, 대기행렬이 존재하는 시간길이의 전체 신호시간에 대한 백분을 Pt_Q 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$Pt_Q = \frac{100t_Q}{C} \quad (3)$$

- λ : 평균도착률(대/시)
- μ : 평균서비스율(대/시)
- t_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이(초)
- r : 유효적색시간(초)
- C : 신호주기(초)
- Pt_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이의 백분율

그리고 정지했다가 통과하는 차량의 수를 알 수 있게 되면 이와 관련하여 매 신호주기당 통과하는 차량수 및 정지했다가 통과하는 차량수의 백분율도 알 수 있게 된다. 원제무(1990)는 이를 다음과 같이 나타냈다.

$$N = \frac{\lambda C}{3,600}, N_Q = \frac{\lambda t_Q}{3,600} \quad (4)$$

$$PN_Q = \frac{100t_Q}{C} \quad (5)$$

- N : 신호주기당 차량대수(대)
- N_Q : 대기행렬을 경험한 총 차량대수(대)
- PN_Q : 정지했다 통과하는 차량의 백분율(%)

- λ : 평균도착률(대/시)
- t_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이(초)
- C : 신호주기(초)

대기행렬의 길이는 대기차량의 대수로서 유효적색시간의 시점에서는 그 값이 ‘0’이었다가 유효적색시간의 종점에서 최대값을 나타내게 되며 그 이후 유효적색시간이 시작되면서 그 길이가 점차 감소하다가 t_Q 시간이 끝나면 다시금 0으로 되어 이러한 상태는 유효적색시간이 끝날 때까지 지속된다.

$$Q_M = \frac{\lambda r}{3,600}, \bar{Q}_Q = \frac{Q_M}{2} = \frac{\lambda r}{7,200} \quad (6)$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_M t_Q}{2C} \quad (7)$$

- Q_M : 대기행렬의 최대길이(대)
- \bar{Q}_Q : 대기행렬이 존재하는 시간동안의 평균대기행렬 길이(대)
- \bar{Q} : 신호주기당 평균대기행렬 길이(대)
- λ : 평균도착률(대/시)
- t_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이(초)
- C : 신호주기(초)
- r : 유효적색시간(초)

지체시간의 크기는 한 신호교차로에 도착하는 차량의 입장에서 보았을 때 지체시간이 가장 많이 걸리는 경우는 적색시간이 시작할 때 교차로에 진입한 경우이다. 반면 가장 적게 걸리는 경우는 적색시간의 종점, 또는 녹색시간의 시작시점에 교차로에 진입한 경우이다. 원제무(1990)는 이를 다음과 같이 나타냈다.

$$d_M = r, \bar{d}_Q = \frac{r}{2} \quad (8)$$

$$\bar{d} = \frac{rt_Q}{2C} \quad (9)$$

- d_M : 지체시간의 최대값(초)
- d_Q : 대기행렬이 존재하는 동안의 평균지체시간(초)
- \bar{d} : 신호주기당 평균지체시간(초)
- t_Q : 대기행렬이 존재하는 시간길이(초)
- C : 신호주기(초)
- r : 유효적색시간(초)

대기행렬 길이를 이용한 기본가정은 다음과 같다.

- 차량길이의 대기 차간간격은 일정하다.
- 진행률(Discharge Rate, s)은 일정하다.
- 차량 도착률은 일정하다.

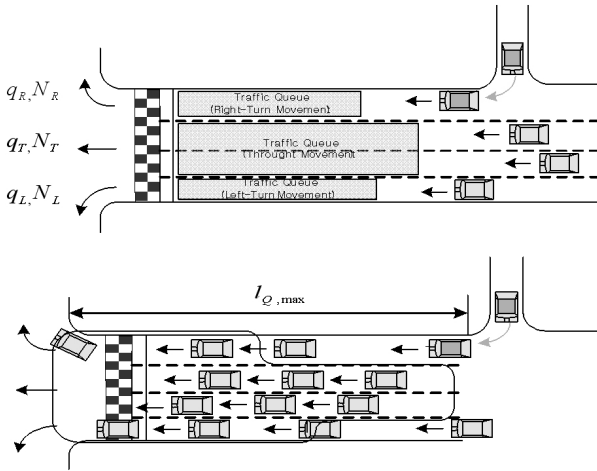


Fig. 9. Waiting Queues Length and Minor Road Location

차로군 분류에 의해 각 이동류별 침두시간 교통량이 q_L, q_T, q_R 라고 하자. 그리고 차로군이 각각 N_L, N_T, N_R 개의 차로로 이루어져 있다고 하면 대기행렬이 소멸되는 마지막 차량의 교차로에서부터의 위치, 즉 교차로 유입부의 부 도로의 최소이격거리는 다음과 같다.

$$L_{n1} = l_c \times q_j \times (r_j + t_{0,j}) \times \frac{1}{N_j} \times \frac{1}{f_{LU,j}} \quad (10)$$

여기서, $t_{0,j} = \frac{q_j r_j}{s_j - q_j} \times \frac{1}{N_j}$

위의 계산을 통해 차로군 중에서 가장 긴 대기행렬이 결정된다. 차로이용계수(f_{LU}) 기본값은 Table 4와 같다.

Table 4. Lane Utilization Factor of US-HCM(f_{LU})

Classification	Num. of Lane	f_{LU}
Straight and Left-Turn	1	1.000
	2	0.952
	3	0.908
Left-Turn Only	1	1.000
	2	0.971
Right-Turn Only	1	1.000
	2	0.885

4.3.2 간격수락모형을 고려한 적정 이격거리 산정

간격수락 모형을 적용한 기본가정은 다음과 같다.

- 부 도로에서 교차로로 진입하는 차량은 부 도로를 출발하여 교차로를 통과할 때까지 일정한 속도로 주행한다.
- 진입차량의 차로변경각도는 일정하다.
- 주변교차로의 영향이 없는 독립적인 교차로이며 차량 도착은 포이송 분포를 따른다.

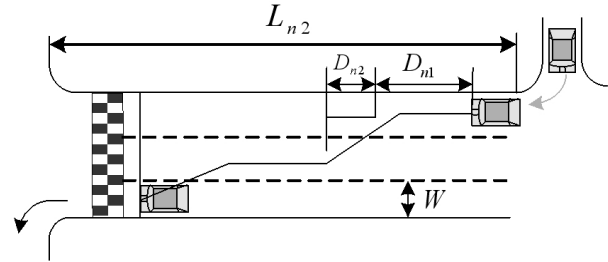


Fig. 10. Route of Left-Turn Vehicle at Minor Road

그 후 진입차량은 좌회전 가능 차로까지 도달하기 위해서 Fig. 10처럼 수차레에 걸쳐 직진진행과 차로변경을 반복하게 된다. 직진 진행의 길이(D_{n1})는 진입차로의 교통량과 속도 등에 따라 변하며, 차로변경거리(D_{n2})는 진입차량의 진행각도와 차로폭의 함수가 된다. 그리고 횡단교통이 기다려야 하는 평균시간 \bar{t}_w 는 Eq. (11)과 같다.

$$\bar{t}_w = \frac{\int_0^\tau t q e^{-qt} \cdot dt}{\int_\tau^\infty q e^{-qt} \cdot dt} = \frac{1}{q e^{-q\tau}} - \left(\frac{1}{q} + \tau\right) \quad (11)$$

이동하고자 하는 인접차로 차량의 주행속도를 V_T 라 하고 시간 간격 τ 인 두 차량간의 차두거리를 l_τ 라 하면 위 식은 Eq. (13)와 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{t}_w = \frac{1}{q e^{-q(l_\tau/V_T)}} - \left(\frac{1}{q} + \frac{l_\tau}{V_T}\right) \quad (12)$$

여기서 \bar{t}_w 는 임계수락간격이 나타나기를 기다렸다가 차로변경을 하는 차량들의 평균 대기시간이며, 이때의 차량은 정지한 상태로 가정한 것이다.

부 도로에서 진출하는 차량이 차로 변경의 기회를 탐색하면서 서행하는 속도 V_{T^*} 를 갖게 되면 상대속도는 작아지고, 부 도로에서 진출하는 차량을 기준으로 하는 인접차량의 상대적인 차두시간은

커지게 된다. 따라서 임계수락 시간 τ 가 생기기 위한 거리 l_τ 는 작아진다.

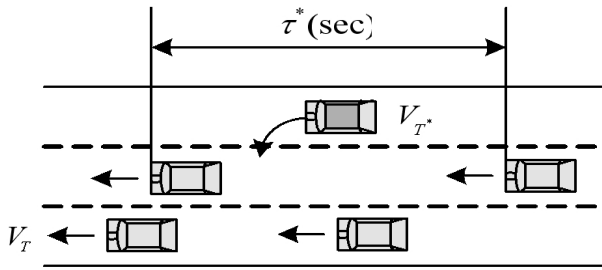


Fig. 11. Critical Gap Acceptance of Drive-By Vehicle

이 때의 차두거리를 l_τ^* 라 하면 이동 중인 부 도로에서 진출하는 차량이 차로변경을 하기 위해 대기해야 하는 평균시간($\overline{t_{T,w}}$)은,

$$\overline{t_{T,w}} = \frac{1}{qe^{-q(l_\tau^*/V_T)}} - \left(\frac{1}{q} + \frac{l_\tau^*}{V_T}\right) \quad (13)$$

여기서, q 는 차량의 교통량이며 τ 시간동안의 부 도로에서 진출하는 차량의 이동거리를 l_τ 라 하면,

$$l_\tau^* = l_\tau - l_T = (V_T - V_{T^*})\tau \quad (14)$$

따라서, 부 도로에서 진출하는 차량의 평균 대기시간은,

$$\overline{t_{T,w}} = \frac{1}{qe^{-q\tau^*}} - \left(\frac{1}{q} + \tau^*\right) \quad (15)$$

$$\tau^* = \frac{V_T - V_{T^*}}{V_T} \tau \quad (16)$$

이때의 부 도로에서 진출하는 차량의 주행거리,

$$D_{n1} = V_{T^*} \times \overline{t_{T,w}} \quad (17)$$

부 도로에서 진출하는 차량이 차로변경을 시작하여 그 행위를 완료하는데 필요한 차로 길이는 Eq. (18)과 같다.

$$D_{n2} = \frac{W}{\tan\theta} \quad (18)$$

여기서, W : 차로폭(m)

θ : 진입차량의 차로변경 각도

간격수락모형을 적용한 부 도로의 이격거리는 부 도로에서 진출하는 차량이 좌회전 가능 차로에 진입하기 위해 필요한 차로변경횟수가 n 일 때, 교차로에서부터 부 도로까지의 최소 이격거리는 Eq. (19)와 같다.

$$L_{n2} = \sum_{i=1}^n (D_{n1,i} + D_{n2,i}) \quad (19)$$

$$L_n = \text{Max}(L_{n1}, L_{n2}) \quad (20)$$

교통량이 많을 경우에는 상대적으로 L_{n1} 이 커지고, 차로수가 많을 경우에는 L_{n2} 가 커지게 된다.

5. 모의실험에 의한 모형의 비교 검증

5.1 모의실험에 의한 모형의 비교검증

5.1.1 모의실험 환경설정

모형식의 적용을 위해 몇 가지 교통조건들의 일정한 값으로 교통량, 진출차량의 속도, 진출차량의 차로변경, 진행각도 등 중요한 변수들은 여러 가지 값의 변수로 설정하여 모의실험을 실시하였다.

Table 5. Settings for Simulation

Variables	Setting Value					
Lane Width(W)	3.5m					
Waiting Queues Spacing (l_c)	5m					
Gap Acceptance(τ)	3 sec					
Deceleration(a)	3m/s ²					
Signal Time(r, g)	$r = 90 \text{ sec}, g = 30 \text{ sec}$					
Progression(s)	1,800(Vehicle/Hour/Lane)					
Lane Utilization Factor(f_{LU})	0.95					
Num. of Approach Lane	3					
Vehicle Average Speed ($V_T, V_R, V_{T^*,0}$)	60km/hr					
Exit-Vehicle's Speed ($V_{T^*,km/hr}$)	20	30	40			
Traffic Per Lane (q , Vehicle/Lane)	100	200	300	400		
Lane Change Angle of Exit-Vehicle($\theta, ^\circ$)	5	10	15	20	25	30

Table 6. Determination of the Required Minimum Spacing Between Signalized Intersection and Minor (Waiting Queues Model, L_{m1})

Step 1	11m (Geometry)		
Sidewalk/roadway Borderline Extension-Line ~ Crosswalk		5m	
Crosswalk Width	4m	Stop Line	2m
Step 2	(Waiting Queues Length)		
Traffic (Vehicle/Hour/Lane)	L_{n1} (m)		
100	13.9		
200	29.5		
300	47.3		
400	67.5		
$L_{n1} = l_c \times q_j \times (r_j + t_{0,j}) \times \frac{1}{N_j} \times \frac{1}{f_{LU,j}}$ $t_{0,j} = \frac{q_j r_j}{s_j - q_j} \times \frac{1}{N_j}$			
Step 3	4.26m (Safety Distance)		
$L_2 = \frac{1}{2} a t^2$			

Table 7. Determination of the Required Minimum Spacing Between Signalized Intersection and Minor (Gap Acceptance, L_{m2})

Step 1	11m(Geometry)						
보차도 경계선 연장선 ~ Crosswalk		5m					
Crosswalk Width	4m	Stop Line	2m				
Step 2	(Gap Acceptance)						
V_{T^*} (km/h)	q (Vehicle/Hour/Lane)	Minimum Spacing According to Exit-Vehicle's Lane Change Angle (m)					
		5°	10°	15°	20°	25°	30°
20	100	82.3	42.0	28.4	21.5	17.3	14.4
	200	84.6	44.3	30.7	23.8	19.6	16.7
	300	87.1	46.8	33.2	26.3	22.1	19.2
	400	89.6	49.3	35.7	28.8	24.6	21.7
30	100	81.9	41.6	28.0	21.1	16.9	14.0
	200	83.9	43.6	30.0	23.1	18.9	16.0
	300	85.9	45.6	32.0	25.1	20.9	18.0
	400	87.9	47.6	34.1	27.2	22.9	20.1
40	100	81.1	40.8	27.2	20.4	16.1	13.2
	200	82.3	42.0	28.4	21.5	17.3	14.4
	300	83.4	43.1	29.6	22.7	18.4	15.6
	400	84.6	44.3	30.7	23.8	19.6	16.7
$L_{n2} = \sum_{i=1}^n (D_{n1,i} + D_{n2,i})$							
Step 3	4.26m (Safety Distance)						
$L_2 = \frac{1}{2} a t^2$							

5.1.2 모의실험 결과

1) 대기행렬모형을 고려한 적정 이격거리

대기행렬모형을 고려한 교차로에 인접한 부 도로의 적정 이격거리는 Table 6과 같이 기하구조, 대기행렬길이, 안전거리를 고려하여 산정하였으며, 대기행렬모형은 주요변수인 교통량에 따라 이격거리가 큰 폭으로 변화하는 것을 알 수 있다.

2) 간격수락모형을 고려한 적정 이격거리

간격수락모형을 고려한 교차로에 인접한 부 도로의 적정 이격거리는 Table 7과 같이 기하구조, 간격수락길이, 안전거리를 고려하여 산정하였으며, 간격수락모형은 진출차량속도, 교통량, 진출차량 차로변경각도에 대한 변화값을 산정하였으며, 특히 결과값에 가장 많은 영향을 주는 요소는 부 도로에서 진출하는 차량의 차로변경각도이다. 즉 차로변경각도가 커질수록 이격거리가 짧아지며, 교통량에는 비례하는 것으로 나타났다.

5.2 기존 모형과의 비교분석

교차로에 인접한 부 도로의 이격거리 추정결과, 평가를 위한 목적으로는 기존규정인 엇갈림길이와 모의실험 결과를 비교·검토하였다. 적용모형식은 연속류의 도로용량 평가식으로 다소 한정된 자료를 바탕으로 만들어져 연구범위인 신호교차로의 교통상황과 다소 상이하다. 하지만 신호교차로 녹색시간 중 대기행렬이 없는 시간은 연속류의 상태로 볼 수 있어 상호 비교하였다.

연속류의 도로에서 엇갈림길이를 구하기 위해 식은 Eq. (21)과 같다.

$$L_w = \left[0.128 \left(1 + \frac{V_w}{V_w + V_{n,w}} \right)^2 \left(\frac{V}{N} \right)^{1.18} \frac{(S_w - 30)}{(S_D - S_w)} \right]^{\frac{1}{1.2}} \quad (21)$$

기본적인 환경을 Table 7과 같이 설정하여 모의실험을 실시한 후 연구모형과 기존모형을 Table 8과 같이 비교·분석하였다.

Table 8. Setting for Comparison with Existing Model

Variable	Setting Value			
Exit-Vehicle's Lane Change Angle(θ)	15°			
Number of Lane(N)	3			
Design Speed(S_D)	60km/h			
Weaving Traffic(V_w)	40pcu			
Driving Speed(S_w)	40km/h			
Non-Weaving Traffic (Vehicle/Hour/Lane)	100	200	300	400

Table 9. Comparison Weaving Length (L_w) with Minor Road Safety Distance (L_n)

Traffic (Volume/Hour/Lane)	Safety Distance (Suggested), L_n (m)	Existing Safety Distance, L_w (m)
100	11 + 27.2 + 4.26	11 + 12.8 + 4.26
200	11 + 29.5 + 4.26	11 + 21.8 + 4.26
300	11 + 47.3 + 4.26	11 + 30.9 + 4.26
400	11 + 67.5 + 4.26	11 + 39.9 + 4.26

위 Table 9와 같이 비교·분석한 결과, 교통량에 따라 변화폭이 작은 반면 엇갈림길이에 의한 결과값은 교통량에 보다 민감하였으며, 본 연구의 결과가 기존 엇갈림길이에 의한 이격거리보다 같게 산정되었다.

또한, 엇갈림길이에 의한 산정값은 20m 미만으로 대체적으로 짧게 산출되었으나, 본 연구에서 제시한 진행상황별 주행특성을 고려한 이격거리는 전체적으로 그보다 큰 값을 보였다.

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1 결론

본 연구에서는 교통소통과 안전을 고려한 교차로에 인접한 부 도로의 적정 이격거리를 대기행렬모형 및 간격수락 모형을 고려하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 교차로에 인접한 부 도로의 이격거리는 신호교차로의 신호상황과 교통류 특성을 감안하여 대기행렬모형은 차로이용계수를 고려하여 산정하였으며, 간격수락모형은 차로변경각도, 속도 등을 고려하여 단계별로 산출하였다.
- (2) 대기행렬모형을 고려한 이격거리는 횡단보도 위치 및 정지선 이격거리, 부 도로로 진입하는 차량의 대기행렬길이, 부 도로에서 진출하는 차량의 안전을 고려한 적정거리 등을 고려하여, 교통량에 따른 적정 이격거리를 제시하였다.
- (3) 간격수락모형을 고려한 이격거리는 횡단보도 위치 및 정지선 이격거리, 부 도로에서 진출하는 차량의 차로변경각도 및 속도를 고려한 간격수락길이, 부 도로에서 진출하는 차량의 안전을 고려한 적정거리 등을 고려하여, 교통량에 따른 적정 이격거리를 제시하였다.
- (4) 개발된 모형식을 모의실험하여 비교·분석하기 위해 일반적인 신호교차로 상황을 가정하여 변수값을 설정하였다. 또한, 이론식 산정결과와 엇갈림길이를 상호 비교·분석하여 이론식의 타당성을 검증하였다.
- (5) 개발 모형식과 엇갈림길이를 비교·분석한 결과 대체적으로 개발 모형식이 길게 산정되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 현행기준 및 설치·운영되고 있는 교차로에 인접한 부 도로의 적정길이에 대해서 충분한 검토가

이루어져야 할 것이며, 마지막으로 다양한 변수를 적용하여 위의 절차에 따라 부 도로의 이격거리는 대기행렬모형과 간격수락모형을 고려하여 허용하는 것이 적절하다고 판단된다.

6.2 향후 연구과제

본 연구는 시간적 한계와 공간적 한계에 의해, 다소 제한적인 상황에서 연구가 진행되었다. 연구의 결과를 발전시키기 위한 향후 연구과제는 다음과 같다.

- 다양한 형태의 교차로에서 차량 행태분석이 미흡함에 따라 다양한 기하구조 및 교통조건(차로변경)들에 따른 차량의 행태분석이 필요하다.
- 본 연구에서는 현실을 고려하지만 이상적인 조건을 가정하므로 교통량, 신호현시, 차량의 이동동선의 변화를 보완한 모델제시가 필요하다고 판단된다.
- 본 연구에서는 자료의 한계로 인하여 부 도로에서 진출하는 차량이 진출을 실시하는 위치를 이상적으로 적용하지만, 실제 다양한 차로로 진출하는 차량의 분석을 통한 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.
- 본 연구에서 산정된 교차로에 인접한 부 도로의 적정길이를 적용함으로써, 그로 인한 개선효과에 대한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.
- 부 도로 운영 시 교통소통 및 안전상에 문제를 사고자료를 토대로 객관적 분석이 추가되어야 할 것으로 사료된다.

References

Ha, T. J., et al. (2003). "Design criteria of crosswalks at signalized intersections." *Journal of Civil Engineering*, Vol. 2002, No. 11, pp. 101-104.

Ha, T. J. and Park, J. J. (2004). *Road design engineering*, Chonnam National University Press.

Ministry of Land (2008). *Explanation and guidelines on the standards of road structure and facilities* (in Korean).

Ministry of Land (2008). *Road design manual* (in Korean).

Ministry of Land (2008). *Rule of urban planning facilities standards* (in Korean).

Park, C. M. (2004). *A study of crosswalk type determination at signalized intersections considering traffic safety*, Ph.D. Dissertation, Chonnam National University.

Road Traffic Authority (1998). *A study on pedestrian crossing installation standards* (in Korean).

The National Police Agency (2008). *Transportation safety facilities manual* (in Korean).

Won, J. M. and Choi, J. S. (1990). *Transportation engineering*, Parkyoungsa Publisher.