

설계시간 교통량 기반 양방향 좌회전차로의 설치기준에 관한 미시적 연구 - 좌회전 상충이 발생하는 구간을 중심으로 -

Microscopic Study on the Warrants for TWLTL Based on the DHV - Focusing on the Section with Overlapping Left-turn Movements -

이 지 선*
(Ji-Sun Lee)

신 치 현**
(Chi-Hyun Shin)

요 약

본 연구는 미시적 교통류 시뮬레이션 모형을 이용하여 양방향 좌회전차로의 설치기준과 관련된 두 개의 주요한 파라미터를 분석하고 평가하는데 초점을 맞추고 있다. 첫째는 통상적으로 평균 일교통량(ADT)에 기반을 두고 선정되지만 최근 우리나라 도로교통량의 시간변화 특성을 반영한 설계시간 교통량(DHV)의 범위에 대한 분석이며, 다른 하나는 양방향 좌회전차로 내의 구간으로써 양방향 좌회전 수요가 공간점유를 위해 서로 경쟁하면서 상충이 유발되는 부분인 접근로 간격에 관한 것이다. 이에 더해 VISSIM S/W에 VISVAP과 같은 추가 기능 프로그램을 사용하여 TWLTL의 작동을 구현하는 구체적 방법과 절차에 대해 선행 연구들과는 달리 충실히 설명하고자 하였다.

10개의 교통량 수준 시나리오로 수행한 모의실험 결과에 따르면 통과 교통량이 많을수록 좌회전 차량이 경험하는 지체는 예상대로 견조히 증가하였다. 시나리오 대부분에 대한 지체 값이 비신호교차로 서비스수준을 기준으로 LOS C와 D의 범위에 있는 것으로 나타났으며, 교통량 수준 7(중방향으로 3차로 시설 경우 1,116대/시, 5차로 시설은 1,860대/시)까지 양방향 좌회전차로가 운영가능하다는 것을 알 수 있었다. 이 범위의 교통량은 우리나라 2차로 및 4차로도로 교통량의 상당 부분을 포함하는 것으로 향후 양방향 좌회전차로의 도입 가능성을 한 층 높이는 것이라고 판단하고 있다.

핵심어 : 양방향 좌회전차로, 설계시간 교통량, 접근로 간격, VISSIM, VISVAP

ABSTRACT

This research focuses on the warrants for the Two-Way Left-Turn Lanes (TWLTL). Using a microscopic traffic simulation tool, two key parameters were investigated herewith. One is a wide range of the Design Hourly Volume (DHV), reflective of recent Korean roadway volume characteristics, that is conventionally reduced from the Average Daily Traffic (ADT). The other is driveway spacing, the length of the middle-lane section where two conflicting left-turn demands often compete for space. In addition, unlike previous researches, the way and the procedure the TWLTL operation is realized in the VISSIM S/W with its add-on application such as VISVAP is clearly stated and described in detail.

According to the result of simulations for 10 volume scenarios, as expected, the higher the volume level is, the more delay the left-turner experience. The Level Of Service (LOS) for most cases was in the range of C and D based on the non-signalized intersection LOS criteria. Furthermore, the TWLTL was found operable up to the volume level of 1,116 and 1,860 vph in heavy direction (equivalent of volume level 7) for 3-lane and 5-lane facility respectively, which covers significant portion of existing two to four-lane highway volumes in Korea.

Key words : Two-Way Left-Turn Lanes, Design Hourly Volume, Driveway Spacing, VISSIM, VISVAP

* 주저자 : 경기대학교 도시·교통공학과 석사

** 공저자 및 교신저자 : 경기대학교 도시·교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2014년 04월 11일

‡ 논문심사일 : 2014년 07월 02일

‡ 게재확정일 : 2014년 10월 06일

I. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 도시부나 교외의 도로를 따라 개발 (Strip Development)이 지속되어 왔으며, 도로 양측으로 준비한 각종 부지로의 높은 접근(Access) 요구로 인해 불필요한 중앙선 절취와 신호 또는 비신호 교차로의 형성이 만연한 도로구간이 상당하다. 동시에 그러한 문제에 대한 선제조치로 중앙선을 엄격하게 관리, 작은 교차로 형성을 금지하는 것이 오히려 우회통행을 양산, 주요 교차로의 부담을 가중시킬 뿐만 아니라 도로이용자의 합리적인 접근권을 경시하는 처사로 인식되는 등 난관에 봉착하는 경우가 빈번히 발생하고 있다.

노변 토지나 시설물로의 출입요구가 많고 직진 차량과 회전차량 간 사고가 빈번한 구간에는 양방향 좌회전차로(Two-Way Left-Turn Lanes, TWLTL)를 설치하는 것이 효과적이라 이미 잘 알려져 있다.[4, 5, 6, 7] 하지만 현재 국내에는 도입, 운영되고 있지 않으며 시설 설치 기준 또한 마련되어 있지 않다.

본 연구는 AADT, ADT보다 현실적인 설계시간 교통량을 양방향 좌회전차로의 설치기준으로 도출하기 위하여 미시적 시뮬레이션 모형인 VISSIM과 VISVAP 프로그램을 활용하여 다양한 분석을 수행하였으며 그 분석 결과를 통해 선정된 설치기준의 적절성을 판단하는데 주안점을 두고 있다.

1.2 연구의 범위 및 수행절차

본 연구는 현재 국내에 운영되지 않는 양방향 좌회전차로에 대한 설치기준을 마련하기 위해 국외 설치 가이드라인의 평균 일교통량(Average Daily Traffic, ADT)을 기반으로 설계시간 교통량(Design Hourly Volume, DHV)을 산정하고, 미시적 교통류 시뮬레이션 모형인 VISSIM을 활용하여 중앙의 양방향 좌회전차로를 포함한 왕복 3차로와 5차로의

네트워크를 구현하였다. 10개의 교통량 수준으로 모의실험을 수행하였으며, 각 수준별로 평균지체를 산출하여 산정된 설치기준의 적절성을 판단하고 수학적 이론 결과와 비교를 통해 모의실험을 간접적으로 검증하였다.

II. 관련 기준 및 선행 연구 고찰

2.1 관련 기준 및 국내·외 문헌

양방향 좌회전차로에 대해서는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」해설 및 지침(2012)에 설치 곤란지역만 제시되어 있는 우리나라와는 달리, 미국은 AASHTO(2011)에 주행속도, 편도차로수, 좌회전 수요가 양방향 좌회전차로 설치 시 주요 고려사항임을 제시하고 있는데, 덧붙여 오하이오(Ohio), 아이오와(Iowa), 미주리(Missouri) 등 개별 주의 교통성에서 지역 특성을 감안한 양방향 좌회전차로의 설치 가이드라인을 개발, 운용하고 있다.

국내의 학술적 선행연구로는 곽동근 외(2005)와 배광수 외(2007)가 있는데, 전자는 양방향 좌회전차로의 국내도입을 위해 양방향 좌회전차로의 개념과 설치기준 및 안전성 등을 살펴보고, 후자는 시뮬레이션 분석모형을 활용하여 양방향 좌회전차로의 운영효과 및 안전성 개선효과를 평가하고, 이를 기초로 설치준거를 제시하였다.[2, 3]

기존의 비분리 도로에 TWLTL을 적용한 연구에서 Harwood(1986)는 직진 및 좌회전 지체와 교통사고율이 감소함을 보였고, Bonneson(1997) 등은 약 50~60%의 지체감소 효과가 있음을 제시하였다. 기존 도로에 TWLTL과 중앙분리대를 설치했을 경우의 비교에 관한 연구에서 Pernia(2004) 등은 많은 접속도로(Driveway)가 존재하는 간선급 도로에 적용될 경우 TWLTL이 상대적으로 안전한 것으로 분석되었으며, Eisele(2004) 등은 TWLTL을 설치한 경우(분석범위 ADT 48,000대/일)가 상대적으로 높은 주행속도를 나타나는 것으로 분석되었다.

2.2 미비점 또는 쟁점 정리

국내 기준의 경우 양방향 좌회전차로를 도입하여 운영할 수 있는 기준이 명시되어 있지 않고 선행 연구도 국외에 비해 부족한 실정이다.

국외의 설치 가이드라인은 도로의 침투특성을 반영하지 못하는 평균 일교통량 기준만 명시되어 있어 적용에 한계가 있을 것으로 판단된다. 도로의 연평균 일교통량은 많은 시간과 노력, 비용을 수반하고 우리나라의 제한적인 도로지점에서만 측정되고 많은 도로구간에서 측정, 수집되고 있지 못하므로 평균 일교통량을 기반으로 하는 설계시간 교통량 산정이 필요하다. 또한 모의실험을 통하여 도출된 설계시간 교통량의 적절성을 판단하고 양방향 좌회전차로에 적용할 수 있는 설계시간 교통량의 범위를 제시하여야 한다.

국내·외 연구들이 양방향 좌회전차로를 시뮬레이션 모형으로 구현, 기존 도로와 비교하는 연구를 수행하였지만, 시뮬레이션 모형에서 구현하는 과정은 정작 밝히고 있지 않다. 따라서 선행 연구와 달리 양방향 좌회전차로의 고유한 작동을 시뮬레이션 모형으로 구현하는 방법과 절차를 명시하고 상세히 설명하여 양방향 좌회전차로 구현에 대한 이해를 높이는데도 본 연구의 의의가 있다.

III. 연구 방법론

3.1 설계시간 교통량 산정

양방향 좌회전차로가 효율적으로 적용될 수 있는 네트워크를 구현하기 위해서는 양방향 좌회전차로의 설치기준에 적합한 교통량을 적용해야 한다. 국내에는 양방향 좌회전차로에 대한 기준이 없기 때문에 국외의 기준을 참고하였다.

〈표 1〉 TWLTL 평균 일교통량 설치기준
〈Table 1〉 ADT Warrant for TWLTL

Classification	Average Daily Traffic	
	Iowa	Ohio
Two-way 3 lanes	5,000~12,000	6,000~10,000
Two-way 5 lanes	10,000~20,000	10,000~24,000

도로 계획의 기본이 되는 교통량은 평균 일교통량(ADT)이지만, 침투시간 교통수요의 반영과 방향별 분포 차이를 고려한 중방향 설계시간 교통량(Directional Design Hourly Volume, DDHV)이 도로 설계를 위한 기본 교통량으로 이용된다.[8]

〈표 2〉 설계시간 계수 (K)
〈Table 2〉 K-Factor (Proportion of AADT occurring in PK hour)

Road Classification	Area Classification			
	Urban	Rural	Tourism	
National Highway	Two-way 2 lanes	0.12 (0.10~0.14)	0.16 (0.13~0.20)	0.23 (0.18~0.28)
	Two-way 4 lanes	0.10 (0.07~0.12)	0.12 (0.09~0.15)	0.14 (0.12~0.17)
Freeway (Two-way 4 lanes)		0.10 (0.07~0.13)	0.14 (0.09~0.19)	

Reference) Korean Highway Capacity Manual, 2013

중방향 설계시간 교통량(DDHV)은 평균 일교통량(ADT)에 설계시간 계수(K)와 중방향 계수(D)를 고려하여 산정된다. 설계시간 계수(K)는 평균 일교통량(ADT)에 대한 설계시간 교통량의 비를 의미하는데, 일반적으로 평균 일교통량(ADT)에 대한 30번째 순위 시간 교통량의 비가 사용된다. 중방향 계수(D)는 양방향 교통량에 대한 중방향 교통량의 비를 의미한다.

〈표 3〉 중방향 계수 (D)
〈Table 3〉 D-Factor (Directional distribution)

Urban Road	Rural Road
0.60 (0.55 ~ 0.65)	0.65 (0.60 ~ 0.70)

Reference) Korean Highway Capacity Manual, 2013

중방향 설계시간 교통량(DDHV) 산정식(식 1)에 미국의 평균 일교통량(ADT) 기준을 적용하여 산출된 설계시간 교통량(DHV)은 <표 4>와 같다.

$$DDHV = DHV \times D = ADT \times K \times D \quad \dots(\text{식 } 1)$$

$$DDHV = ADT \times D \times K$$

$$\Leftrightarrow (5,000 \sim 12,000) \times 0.12 \times 0.60 \text{ [3 lanes]}$$

$$\Leftrightarrow (10,000 \sim 24,000) \times 0.10 \times 0.60 \text{ [5 lanes]}$$

<표 4> 평균 일교통량을 환산한 중/부방향의 설계시간 교통량

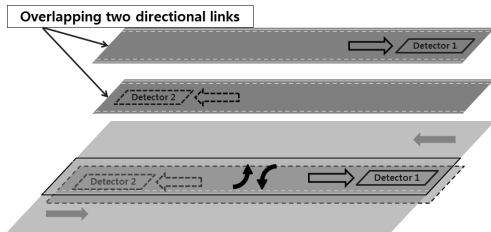
<Table 4> Converting ADT to DHV for Heavy/Light Direction

Classification	DHV (vph)	
	Heavy Direction	Light Direction
Two-way 3 lanes	360 ~ 864	240 ~ 576
Two-way 5 lanes	600 ~ 1,440 (300 ~ 720)*	400 ~ 960 (200 ~ 480)*

* : () is for per-lane basis.

3.2 TWLTL 구현 방법

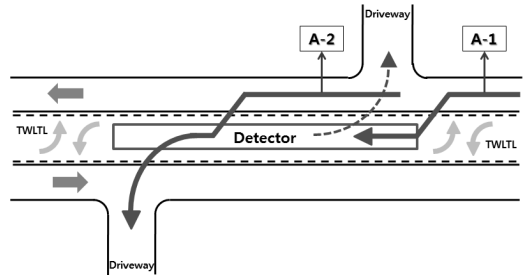
양방향 좌회전차로는 기존에 있는 시뮬레이션 모형으로 구현하기 어려운 형태이다. 그 이유는 대향 방향의 두 회전교통류가 양방향 좌회전차로(동일차로)를 점유하여 움직이므로 경로선택에 따른 상충이 일어나기 때문이다. 선행차량이 양방향 좌회전차로로 진입할 경우 후행차량의 경로선택과, 양방향 좌회전차로 내에 차량의 존재 유무에 따라 대향방향 좌회전차량의 경로선택 등이 현실상황에 맞게 구현될 수 있어야 한다.



<그림 1> TWLTL 작동 링크 구현 예시
<Fig. 1> Example for Link Consolidation for TWLTL Operation

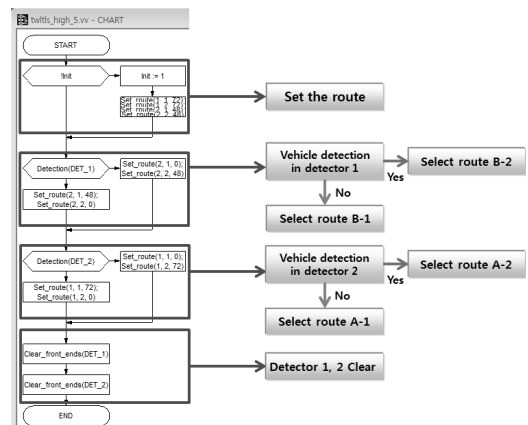
VISSIM 프로그램은 양방향으로 움직이는 링크(도로)를 구현할 수 없다. 따라서 대향 링크 2개를 서로 겹쳐서 하나의 링크로 보이도록 양방향 좌회전차로를 구현하였다. <그림 1>을 보면 오른쪽으로 진행되는 링크와 왼쪽으로 진행되는 링크에 각각 검지기를 설치하고, 링크 2개를 겹친 후 양쪽으로 분선 도로를 구현하였다. 상충구간에서 진행하거나 대기하는 차량이 있을 경우 대향 방향의 차량이 상충구간으로 진입하는 상황이 일어나지 않아야 하기

때문에 <그림 2>에서와 같이 접근로와 접근로 사이에 검지기를 위치시켜 검지기의 작동을 통해 겹친 링크가 양방향 좌회전차로의 기능을 할 수 있도록 설계하였다.



<그림 2> 상충구간의 경로 설정
<Fig. 2> Setting Routes for Conflict Area

현실적인 모사를 위해 VISVAP 프로그램을 이용하여 검지기의 작동에 따른 상충구간의 경로(Route)를 설정하였다. 상충구간의 검지기에 차량이 점유하고 있지 않으면, 대향방향의 좌회전차량은 접근로 이전에 양방향 좌회전차로로 진입하여 좌회전을 하게 되고, 직진교통류 사이의 허용 차두간격을 기다리며 대기하고 있는 차량이 상충구간의 검지기에 점유하고 있으면, 접근로 이전에 양방향 좌회전차로로 진입하지 않고 접근로를 지나 좌회전을 하도록 설정하였다.

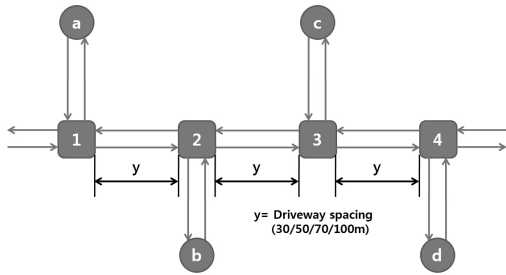


<그림 3> VISVAP Programming
<Fig. 3> VISVAP Programming

3.3 모의실험 네트워크 구축

양방향 좌회전차로를 설치하기 위한 기준에는 다양한 변수들이 있지만, 본 연구에서는 평균 일교통량, 회전 교통량 비율, 접근로 간격을 주요 변수로 채택하여 전체 교통량과 접근로 간격을 주요 변수로 구분하고 세부적으로 회전 교통량 비율을 다르게 설정하였다.

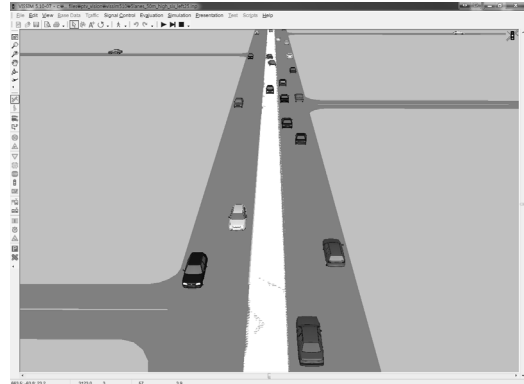
Calibration은 시뮬레이션 모형을 현실 상황에 비슷하도록 섬세하게 조절해야 하는 작업이므로 네트워크 구현 못지않게 중요하다. 단속류 운전자의 행태를 반영하는 옵션을 선택하였고, 승용차 100% 구성, 평균 통행속도는 50km/h, 분석시간은 1시간(3,600초)으로 설정하였다. 차로 폭은 본선과 접근로는 3.0m, 양방향 좌회전차로는 3.3m로 지정하였고, 분석시간은 교통량이 발생하여 도로에 채워지는 시간을 고려하여 900~4,500초로 적용하였다.



Classification	LT-in	RT-in	Thru
Heavy-Direction	4 → d	3 → c	4 → 1
	2 → b	1 → a	
Light-Direction	1 → a	2 → b	1 → 4
	3 → c	4 → d	

〈그림 4〉 TWLTL의 도로 네트워크 구조
 〈Fig. 4〉 Road Network Structure for TWLTL

도로 네트워크는 3지교차로 만으로 구축하였는데, 4지교차로는 좌회전 차량이 서로 마주보나 상충이 발생하지 않아 실제 차량 궤적간 상충이 유발되는 3지교차로 간의 기하구조를 중심으로 수행하였다. 접근로는 좌회전과 우회전이 2번씩 수행되도록 총 3지교차로 4개로, 각각의 접근로 간의 간격을 같도록 구축하였다.



〈그림 5〉 TWLTL VISSIM 화면
 〈Fig. 5〉 VISSIM Animation Screen for TWLTL

접근로는 왕복 2차로로 구성하였고, 본선의 차로수에 따라 산정된 설계시간 교통량을 적용하였다. 회전 교통량은 기본적으로 전체 교통량의 20%로 설정하였고, 25%로 비율을 높여 결과를 도출하였다. 회전 교통량은 전체 교통량의 20%와 25%를 같은 비율로 나누어 각각의 좌회전과 우회전 진입량에 배정하고, 직진 교통량은 전체 교통량에서 회전 교통량을 감해주었다. 회전 교통량 비율이 20%일 경우 네트워크에 적용된 교통량은 <표 5>, <표 6>과 같으며, 각각의 교통량이 적용된 방향은 <그림 4>를 참고하면 된다.

본 연구는 긴 도로구간 내에 임의지점을 대상으로 수행한 것이기 때문에 교통량 수준을 중점적으로 표현하였으나, 각 교통량의 혼잡수준을 도로용량 측면의 객관적인 척도로 v/s도 같이 표현하였다. 포화교통류율은 신호교차로에서 일반적인 수준인 2,000pcphpl을 기준으로 v/s를 산출하였다.

〈표 5〉 TWLTL 3차로에 적용된 교통량
 〈Table 5〉 Test Volumes for TWLTL with 3-lane Configuration

Classification	Volume (vph)				
	LT-in	RT-in	Thru	Total (V/S)	
1	H-Dir	18	18	288	360 (0.180)
		18	18		
	L-Dir	12	12	192	240 (0.120)
		12	12		

Two-way 3 lanes	Volume level below DHV in Table 4	2	H-Dir	24	24	389	486 (0.243)
			L-Dir	25	24		
		5	H-Dir	43	43	691	864 (0.432)
			L-Dir	28	29		
	Volume level over DHV in Table 4	6	H-Dir	49	49	792	990 (0.495)
			L-Dir	33	33		
		7	H-Dir	55	56	893	1,116 (0.558)
			L-Dir	37	37		
		10	H-Dir	74	75	1,195	1,494 (0.747)
			L-Dir	49	50		

※ H-Dir(Heavy Direction), L-Dir(Light Direction)

<표 6> TWLTL 5차로에 적용된 교통량
<Table 6> Test Volumes for TWLTL with 5-lane Configuration

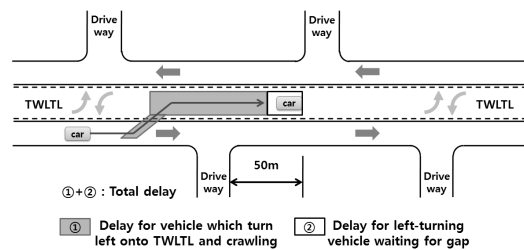
Classification	Volume (vph)					
	LT-in	RT-in	Thru	Total (V/S)		
Two-way 5 lanes	Volume level below DHV in Table 4	1	H-Dir	30	30	480 (0.150)
			L-Dir	20	20	
		2	H-Dir	40	40	648 (0.203)
			L-Dir	27	27	
	Volume level over DHV in Table 4	5	H-Dir	72	72	1,152 (0.360)
			L-Dir	48	48	
		6	H-Dir	82	82	1,320 (0.413)
			L-Dir	55	55	
		7	H-Dir	93	93	1,488 (0.465)
			L-Dir	62	62	

10	H-Dir	124	124	1,992	2,490 (0.623)	
	L-Dir	83	83			
	10	H-Dir	124	124	1,328	1,660 (0.415)
		L-Dir	83	83		

※ H-Dir(Heavy Direction), L-Dir(Light Direction)

IV. 모의실험 분석결과

교통량 수준과 접근로 간격에 따른 모의실험의 평균지체 결과를 분석하였다. 평균지체는 양방향 좌회전차로로 진입하는 순간부터 접근로 앞에 정지하기까지의 지체(<그림 6>의 ①)와 접근로로 좌회전하기 위해 대기하는 지체(<그림 6>의 ②)를 포함한 Total delay로 산출하였다.



<그림 6> 모의실험에서 산출되는 지체 설명도
<Fig. 6> Description of Delays Calculated by Simulation

모의실험은 오류를 줄이고 확률/통계적 의미를 확보하기 위해 각 시나리오마다 3회씩 수행, 평균값으로 결과를 분석하였고, 평균지체는 달리 선택할 수 있는 판단기준이 없기 때문에 도로용량편람(2013) 비신호 교차로의 서비스수준 판정기준을 참고하여 판단하였다.

4.1 TWLTL 3차로 분석결과

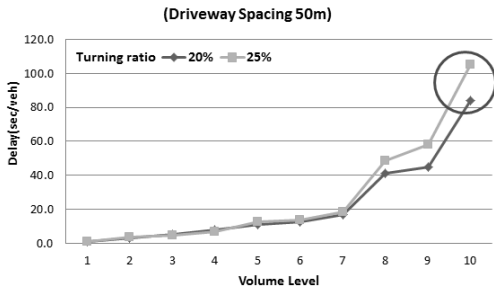
3. 3절에서 제시한 <표 5>의 교통량을 네트워크에 적용하여 양방향 3차로의 결과를 분석하였다. <표 7>은 접근로 간격이 50m일 경우 평균지체의 분석결과이다. 교통량 수준이 높아질수록 평균지체는 증가하고, 회전 교통량 비율이 25%일 때 평균지

체가 더 높게 도출되었다. 접근로 간격이 30m, 70m, 100m인 경우도 50m와 마찬가지로 같은 맥락의 결과가 나타났다.

〈표 7〉 TWLTL 3차로의 평균지체
 〈Table 7〉 Average Delay for TWLTL with 3-lane Configuration

Driveway spacing	Turning ratio	Volume Level					unit
		below DHV in Table 4					
		1	2	3	4	5	
50m	20%	0.9	3.4	5.4	7.9	13.0	sec /veh
	25%	0.9	4.0	4.9	7.1	12.9	
	Turning ratio	over DHV in Table 4					
		6	7	8	9	10	
		20%	12.8	16.8	41.1	45.0	
25%	14.0	18.4	48.8	58.3	105.2		

〈그림 7〉은 회전 교통량 비율이 20%, 25%일 경우 증방향을 지나 좌회전하는 차량의 평균지체를 나타낸 그래프이다. 교통량 수준이 8일 경우부터 평균지체가 급격히 증가하여 서비스수준 E를 넘어 서게 된다.



〈그림 7〉 TWLTL 3차로의 평균지체
 〈Fig. 7〉 Average Delay for 3-lane TWLTL

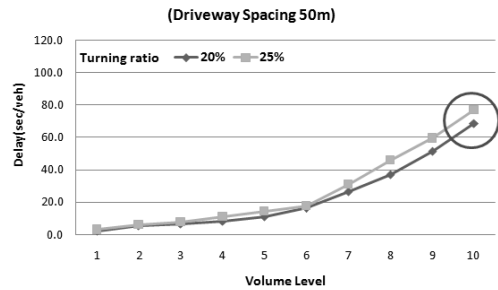
수준이 7을 넘어서는 경우 회전 교통량으로 인해 중앙차로 내의 대기행렬이 발생하여 지체가 큰 폭으로 증가하는 상황이 나타났다. 그러므로 3차로에서 양방향 좌회전차로를 적용할 수 있는 교통량 범위는 수준 7까지라고 판단할 수 있다.

4.2 TWLTL 5차로 분석결과

마찬가지로 <표 6>의 교통량을 네트워크에 적용하여 양방향 5차로에 대한 결과를 분석하였다. <표 8>은 접근로 간격이 50m일 경우 평균지체의 분석 결과로, 교통량이 많아질수록 평균지체는 증가하고 회전 교통량 비율이 25%일 때 평균지체가 더 높게 도출되었다. 다른 세 가지 접근로 간격경우도 50m의 경우와 같은 추세의 결과가 나타났다.

〈표 8〉 TWLTL 5차로의 평균지체
 〈Table 8〉 Average Delay for TWLTL with 5-lane Configuration

Driveway spacing	Turning ratio	Volume Level					unit
		below DHV in Table 4					
		1	2	3	4	5	
50m	20%	2.1	5.5	6.6	8.2	11.1	sec /veh
	25%	3.0	5.9	7.6	11.2	14.2	
	Turning ratio	over DHV in Table 4					
		6	7	8	9	10	
		20%	16.3	26.5	37.0	51.4	
25%	17.5	31.0	46.0	59.4	77.0		



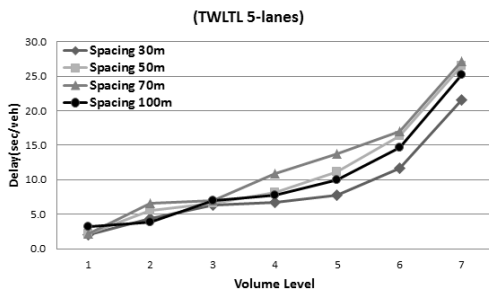
〈그림 8〉 TWLTL 5차로의 평균지체
 〈Fig. 8〉 Average Delay for 5-lane TWLTL

〈그림 8〉은 회전 교통량 비율이 20%와 25%일 경우 증방향을 지나 좌회전하는 차량의 평균지체를 나타낸 그래프이다. 3차로의 결과와 달리 교통량 수준이 7일 경우부터 기울기가 커지면서 평균지체가 증가하고, 수준이 9일 경우 서비스수준 E를 넘어 서게 된다. 수준이 8일 경우 서비스수준 E에 근

접하므로 5차로에서 양방향 좌회전차로를 적용할 수 있는 교통량 범위는 수준 7까지라고 판단할 수 있다. TWLTL 3차로와 5차로 모두 회전 교통량 비율이 30%일 경우도 모의실험을 수행하였으나, 25%일 때와 큰 차이를 보이지 않아 분석결과에서는 생략하였다.

4.3 접근로 간격과 인접 신호교차로의 영향 분석

접근로 간격의 크기에 따른 분석을 통해 상충구간 양단 접근점이 가깝거나 멀어짐에 따른 지체 변화를 알아보고, 특정 수준의 교통량 조건에서 차량 도착이 임의적인 상황과 신호로 인한 군집화(platoon) 현상이 있는 경우를 비교하여 인근 신호교차로가 TWLTL의 운영에 어떤 영향을 미치는지도 검토하였다.

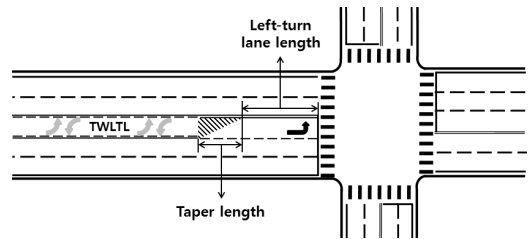


〈그림 9〉 접근로 간격에 따른 양방향 5차로 평균지체
 〈Fig. 9〉 Average Delay for 5-lane TWLTL by Driveway Spacing

<그림 9>는 접근로 간격에 따른 양방향 5차로의 평균지체이다. 간격이 70m로 넓어짐에 따라 평균지체는 증가하는데, 100m에서는 오히려 감소하였다. 이는 접근점 간격이 특정 크기 이상이면 상충구간 내에서 공간적 제약이 줄고 대향차량 사이에 상충이 줄어들어 좌회전을 위해 대기하는 차량의 대기행렬로 인한 상충지체도 감소하는 때문이다. 통상 접근로 간격이 커지면 양방향 좌회전차로 내에서 속도가 미량 증가하는 것으로 보인다.

인접 신호교차로의 영향 분석에서 TWLTL과 신호교차로 간의 접속부분은 <그림 10>과 같이 신호

교차로 접근부의 좌회전 차로에서 일정한 간격을 두고 TWLTL로 진입할 수 있도록 설정하였다.



〈그림 10〉 TWLTL과 신호교차로간 접속부분
 〈Fig. 10〉 Connecting TWLTL to Signalized Intersection

신호등 설치조건의 시뮬레이션 결과가 주방향 g/C 비가 0.38일 때 평균지체 면에서 7.78초/대(3차로), 12.75초/대(5차로) 증가하였는데, 이는 대부분의 모의 실험 교통량 조건이 발생시키는 임의의 차두간격이 TWLTL 차로의 대부분의 좌회전 차량에게 수락할만한 것이었던 것에 반해 신호교차로의 경우에는 군집화 되어 사용할 수 없는 차량행렬이 반복적으로 나타난 때문으로 보인다. 이는 신호교차로를 배제한 임의의 도착상황만의 모의실험이 자칫 높은 교통량 수준까지 양방향 좌회전차로를 운영할 수 있다는 과신에서 벗어나게 하는 좋은 반증이라 사료된다.

V. 간격수락이론을 통한 모의실험 검증

양방향 좌회전차로를 모의실험으로 구현, 다양한 결과를 도출하였음에도 그 결과의 유효성에 대한 검증 노력을 더 하고자 하였다. 선행연구의 결과가 이미 길잡이가 되었다고는 하겠지만 실제와의 비교가 불가능한 상황이므로 차선책을 선택하였다. 바로 Gap Acceptance Theory(간격수락이론)를 통한 결과와 비교하자는 것인데, TWLTL 중앙차로에 대기하다 주도로 교통류의 특정 크기 이상의 시간간격을 이용하여 접근로로 좌회전 진입(수락)하는 메커니즘이 동일하기 때문이었고 임계간격(T)이 현장에서 추출된 값일 뿐만 아니라 VISSIM에서 어느 정도 제어 가능한 변수인 점이 크게 작용하였기 때문이었다.

〈표 9〉 간격수락이론을 활용한 평균지체 산식
 〈Table 9〉 Average Delay Formula from Gap Acceptance Theory

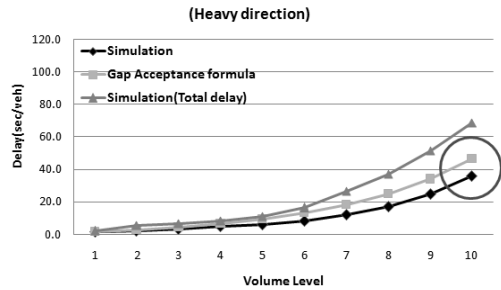
1×1 configuration		2×1 configuration	
$\mu(t)_1 = q^{-1}(e^{qT} - 1 - qT)$		$\mu(t)_2 = \frac{e^{2qT} - 1 - 2qT - 2(qT)^2}{q(1 + 2qT)}$	
q : volume(veh/sec)	T : critical gap(sec)	e : natural logarithm	

〈표 9〉는 간격수락이론에서 유도된 부도로 차량의 평균지체시간의 일반해를 나타내고 있으며, 교통량(q)은 단위를 통일해 주기 위해 1시간 교통량을 3,600초로 나누어 주었고, 1시간 교통량은 해당 접근도로 좌회전하기 위해 TWLTL로 진입하기 전에 회전한 교통량은 제외하고 적용하였다.

임계간격(T)은 도로용량편람(2013)의 비신호 교차로 방법론으로부터 주도로 1차로×부도로 1차로의 경우에는 4.6초, 주도로가 2차로인 경우에는 5.2초를 그 크기로 각각 선택하였다. 모의실험은 VIS SIM 프로그램에서 'priority rules'라는 기능의 minimum gap time을 통해 양방향 좌회전차로 내에서 대기하는 좌회전 차량의 임계간격을 선택한 크기로 적용하였다.

간격수락이론은 접근도로 좌회전하기 위해 대기하는 단순지체만 계산되기 때문에 Total delay에서 TWLTL로 진입하는 순간부터 좌회전 이전 접근로 앞에 정지하기까지의 지체시간을 제외하여 비교해야 한다(〈그림 6〉 참조). 여러 시나리오 중에 모의실험의 대표 결과와 간격수락이론을 비교하기 위해 양방향 5차로의 접근로 간격 50m, 회전 교통량 비율 20%인 시나리오의 결과와 비교하였다. 교통량 수준에 따른 지체의 증가 폭이 크기 때문에(범위가 수 초/대에서부터 수 십초/대까지) 통계적 신뢰도 분석보다는 공인된 수학적 모형과 비교를 통해 추세와 결과를 검증하고자 하였다.

〈그림 11〉은 양방향 5차로의 모의실험과 간격수락이론의 비교 그래프이다. 교통량 수준이 높아질수록 평균지체가 증가하고, 평균적으로 0.26~2.56초/대의 차이를 보이므로 모의실험과 간격수락이론 결과는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다.



〈그림 11〉 TWLTL 5차로의 평균지체 비교
 〈Fig. 11〉 Avg. Delay Comparison for 5-lane TWLTL

전술한대로 Total delay와 차이는 중앙차로에 진입 후 좌회전 대기 전까지 이동함(crawling)에 따른 지체를 간격수락이론이 반영치 못한 때문이고, 이를 제외한 비교에서 미량의 차이는 좌회전에 필요한 적정 임계간격크기와 함께 거시모형과 미시 모의실험의 근본적 차이라는 해석이 가능할 것이다.

VI. 결론 및 향후 연구계획

본 연구는 평균 일교통량을 국내 조건을 감안한 설계시간 교통량으로 환산하고, 다양한 시간 교통량에 기반을 둔 미시 모의실험을 수행, 양방향 좌회전차로의 설치기준을 제시하였다. 또한, 접근로의 간격과 인근 신호교차로가 양방향 좌회전차로의 운영에 미치는 영향도 검토하였으며 확률이론 적용결과와 비교를 통해 모의실험 유용성을 검증하려는 최소한의 노력도 수행하였다.

다양한 모의실험 수행 결과, 선행연구가 제시한 상한 기준(수준 5)을 초과하는 교통량 수준인 7까지 LOS C~D로 운영 가능하므로 이 수준의 설계시간 교통량을 우리나라 교통량 기준으로 채택하여도 문제가 없을 것으로 판단된다. 인근 신호교차로의 영향을 반영하면 평균 10초/대의 지체가 증가됨을 발견하였는데, 이 역시 양방향 좌회전차로의 운영가능 수준을 7수준에 머무르게 하는데 영향을 주었다. 또 모의실험과 간격수락 모형의 평균지체 산정 결과가 아주 적은 차이를 보이므로 실제가 없는 상황에서 본 연구의 모의실험 기법과 결과에 대과가 없

음을 간접적으로 증명하였다.

본 연구가 제시하는 결과는 도로운영상 지체와 안전문제가 대두되는 특정 구간에 교통운영개선사업의 일환으로 TWLTL의 설치 여부를 결정할 때 유용할 것이라 판단하고 있으며, 그 밖에 의미를 찾을 수 있다면 바로 양방향 좌회전차로 운영을 모의 실험 S/W로 실현하는 과정을 가감 없이 드러내어 기법을 공유하고자 한 점이라 사료된다.

참고문헌

- [1] AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*, 2011.
- [2] Kwak D., Seo M., "A Study on the Two Way Left Turn Lanes", *Transportation Technology and Policy*, vol. 2, no. 4, pp.162-173, Dec. 2005.
- [3] Bae G., Sim G., Song C., "A Study on Effectiveness and Warrant Analysis for Two-Way Left-Turn Lanes", *Journal of Korean Society for Transportation*, vol. 25, no. 6, pp.65-77, Dec. 2007.
- [4] D. Harwood, "Multilane Design Alternatives for Improving Suburban Highways", *NCHRP Report 282*, TRB, Transportation Research Council, 1986.
- [5] J. Bonneson, P. McCoy, "Capacity and Operational Effects of Midblock Left-Turn Lanes", *NCHRP Report 395*, TRB, National Research Council, 1997.
- [6] J. Pernia, J. Lu, H. Peng, "*Safety Issues Related to Two-Way Left-Turn Lanes*", Florida Department of Transportation, pp.5-15, 2004.
- [7] W. Eisele, W. Frawley, "Estimating the Impact of Access Management with Micro Simulation", *Texas Transportation Institute*, pp.8-14, 2004.
- [8] Lim S., Ryu S., Byun S., Moon H., "Directional Design Hourly Volume Estimation Model for National Highways", *The Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 3, pp.13-22, Jun. 2012.
- [9] MOLIT, *Korean Highway Capacity Manual*, Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2013.
- [10] J. Dale, T. Woody, "Simulating Access Management Strategies", 68th Annual ITE Meeting, ITE, Aug. 2002.
- [11] PTV AG, VISSIM 5.10 User Manual, 2008.
- [12] PTV AG, VisVAP 2.16 User Manual, 2006.

저자소개



이지선 (Lee, Ji-Sun)

2014년 2월 : 경기대학교 도시·교통공학과 석사

2012년 2월 : 경기대학교 도시·교통공학과 학사

e-mail : gptkah@naver.com



신치현 (Shin, Chi-Hyun)

1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 도시·교통공학과 교수

1993년 7월 ~ 1996년 2월 : 한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구원

1993년 6월 : Polytechnic Institute of NYU (교통공학 박사)

1989년 6월 : Polytechnic Institute of NYU (교통공학 석사)