

분석모형별 신호교차로 평균제어지체 비교·분석 연구

A Comparative Study on the Mean Control Delay by Signalized Intersections by the Analysis Model

이 규 순* · 박 진 우** · 성 삼 현*** · 이 탁 수****

* 주저자 및 교신저자 : 동림티엔에스 교통시스템엔지니어링 과장
 ** 공저자 : 동림티엔에스 교통시스템엔지니어링 부사장
 *** 공저자 : 동림티엔에스 교통시스템엔지니어링 이사
 **** 공저자 : 동림티엔에스 교통시스템엔지니어링 대표이사

kyu soon Lee* · Jin Woo Park* · Sam Hyun Sung* · Tak Soo Lee*

* Dept of Transportation Systems Engineering, DongRim TNS

† Corresponding author : kyu soon Lee, ehxodnm@naver.com

Vol.19 No.1(2020)

February, 2020

pp.83~93

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.1.83>

2020.19.1.83

Received 8 November 2019

Revised 20 December 2019

Accepted 30 December 2019

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

지체시간은 신호교차로의 교통혼잡 수준을 나타내는 주요 지표로 활용되고 있다. 교통정체가 발생하는 대치역사거리와 비교적 교통상황이 원활한 영동5교 사거리를 비교 대상구간으로 선정하여, 현장조사를 기반으로 한 평균지체시간과 다양한 시뮬레이션 프로그램을 통하여 산출한 지체시간을 비교·분석하였다. 현장조사데이터와 신호교차로 분석 모형의 평균 제어지체 비교·분석결과 KHCS는 대치역사거리 7.7초/대, 영동5교사거리 7.9초/대의 차이를 보였으며, VISSIM은 대치역사거리 21.1초/대, 영동5교사거리 8.1초대의 차이로 분석되었다. T7F는 대치역사거리 3.3초/대, 영동5교사거리 9.3초/대의 결과값 차이로 분석되었다. 동일한 교차로를 분석하더라도 시뮬레이션 모형별로 결과값이 차이가 나는 것을 증명하였다.

핵심어 : 신호교차로, 평균제어지체, KHCS, TRANSYT-7F, VISSIM

ABSTRACT

The time delay is used as a major indicator of the level of traffic congestion on traffic crossroads. For this purpose, the Daechi Station intersection where traffic congestion occurs and the Yeongdong 5 Bridge intersection where the traffic condition is relatively good, and the average lag time based on the field survey with the lag time calculated various simulation programs. comparison of the average control delay of the field survey data the signal intersection analysis model the KHCS Dechi intersection 7.7 second / vehicle Young dong 5 bridge intersection 7.9 second / vehicle the VISSIM showed a difference Dechi intersection 21.1 second / vehicle and Young dong 5 bridge intersection 8.1 second / vehicle the T7F showed a difference Dechi intersection 3.3 second / vehicle and Young dong 5 bridge intersection 9.3 second / vehicle. Analyzing the same intersection proved that the results differed from one simulation model to another.

Key words : Control Delay, Khcs, Signal Intersection, Transyt-7f, Vissim

I. 서론

1. 개요

신호교차로는 방향이 다른 2개 이상의 도로가 교차하는 지점으로 교통시스템 중에서 가장 복잡한 형태를 가진 도로라고 할 수 있다. 이를 통과하기 위해서는 통행권을 순차적으로 부여하는 교통신호가 필요하다. 이러한 신호교차로의 용량 및 서비스 수준을 분석하기 위해서는 연속류도로에서 사용되는 교통량, 교통특성 및 도로 기하구조 외에 신호 현시시간 및 신호운영 형태를 고려해야한다. 신호교차로의 교통 혼잡을 결정하는 서비스수준 LOS는 평균제어지체를 사용하고 있다. 평균제어지체란 교차로를 통과하기 위해 발생하는 차량의 평균지체시간으로, 교통 혼잡을 나타내는 주요 효과척도로 사용되고 있다. 평균제어지체를 산출하기 위한 시뮬레이션 모형들은 총지체부터 차량당 평균제어지체까지 다양하게 산출하고 있다. 하지만 평균제어지체를 산출하는 시뮬레이션 모형들은 동일한 교차로를 분석하더라도 시뮬레이션 모형별로 서로 다른 지체시간을 산출하고 있어 제어지체 산출의 정확성이 모호한 현실이다. 분석모형에 따라 제어지체시간이 다르게 분석되어 교차로의 서비스 수준까지 다른 결과 값을 도출하고 있어 정책결정에 혼란을 야기하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 현장조사를 통해 신호교차로의 지체시간을 산출하고, 이를 시뮬레이션 모형들과 비교하였다. 시뮬레이션 모형은 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 KHCS, TRANSYT-7f, VISSIM을 사용하였으며, 현장조사 결과와 시뮬레이션 결과 값을 비교·분석하였다. 동일한 도로의 연속된 신호교차로 2개 지점을 분석하여 시뮬레이션별로 결과 값 차이가 나타남을 증명하였다. 따라서, 신호교차로 분석시 분석 모형의 선정은 중요한 요소이며, 이에 따라 신호운영전략 및 신호운영 등에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

2. 연구의 차별성

신호교차로 분석에 활용되는 평균제어지체는 신호제어로 인해 차로군이 속도를 줄이거나 정지함에 따른 지체로서, 감속이나 정지함이 없을 때의 통행시간과 비교한 통행시간 증가분이다. 평균제어지체는 균일지체, 중분지체, 추가지체로 구성된다. 즉, 접근지체와 추가지체의 합으로 나타낼 수 있다. (Cho et al., 2005)

신호교차로를 분석하고, 운영하는 운영자들은 지체에 대한 명확한 개념 없이 시뮬레이션을 사용하여 분석하고, 이에 대한 분석결과를 토대로 신호운영 및 평가를 수행하고 있는 경우가 많다. 또한 신호교차로 지체시간과 관련된 연구들은 대부분 지체시간 산정 방법의 개발 및 신호시간 최적화에 대한 연구들이 주로 존재하며, 실제 현장데이터와 시뮬레이션 모형별 지체시간에 대한 비교 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 동일한 도로의 연속된 2개 교차로에 대한 현장조사를 수행하고, 현장조사로 산출된 평균제어지체와 시뮬레이션을 통해 산출된 평균제어지체를 비교하여, 각 시뮬레이션별 현장데이터와의 차이를 제시하였다. 현장조사는 분석의 정확성을 위해 교차로의 모든 상황을 파악할 수 있도록 드론을 통한 조사를 수행하였고, 1초단위로 1시간동안 조사하여 개별차량별 지체시간을 산출하여 정확도를 높였다. 시뮬레이션은 초기대기행렬로 발생하는 추가지체 산출, 분석시간의 조정, 미시적 시뮬레이션 파라미터 조정 등을 통하여 현장상황과 최대한 유사하게 구축하여 분석하였다. 모형들은 지체를 결정하는 모형이 다르며, 산출결과가 상이하지만 국내의 기관, 학교, 기업 등에서는 이러한 부분에 대한 고려 없이 무분별하게 각자 사용하기 편리한 시뮬레이션을 활용하고 있다. 본 연구에서는 현장조사 데이터를 기반으로 산출한 지체시간과 시뮬레이션을 통한 지체시간을 비교·분석하여, 시뮬레이션 모형별 지체시간 차이가 있음을 증명하였다. 신호교차로 분석에 시뮬레이션의 선정은 중요한 부분이며, 향후 신호교차로 분석에 대한 연구는 지속적으로 수행되어 보다 정밀하고 정확한 분석이 필요하다는 점을 다시 한번 시사하는데 의미를 찾고자 하였다.

II. 선행연구

1. 현장조사를 통한 지체시간 산출(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013)에서는 현장조사를 통한 지체시간 산출은 통행시간을 활용한 제어지체 산출방법과 정지 차량수 조사를 통한 정지지체 산출방법을 제시하고 있다.

정지지체 조사방식은 교차로에서 어느 한 접근로 또는 한 이동류에 대하여 차량이 정지한 시간만 조사하여 정지지체를 산출하는 방법을 제시하고 있다. 짧은 시간간격(예를 들어 매 15초)마다 정지해 있는 차량대수를 연속적으로 측정하고, 조사기간(예를 들어 10분)동안 교차로 통과 차량 중에서 정지한 대수와 그대로 통과한 대수를 측정하여 이동류의 평균정지지체를 구한다.

제어지체 조사방식은 교차로 전·후지점을 통과하는 통행시간을 측정하는 방식으로 각 접근로의 이동류별로 짧은 시간간격(예로, 15초)마다 교차로 전·후의 정해진 지점 사이에 있는 차량의 순간밀도를 연속적으로 측정하고, 조사기간동안 교차로를 통과한 차량대수를 측정하여 계산에 의해 해당 이동류에 대한 평균통행시간을 산출하여 평균제어지체를 산출한다.

<Table 1> Example of field survey for control delay time

Start of investigation	density				pass count
	+0s	+15s	+30s	+45s	
5:00 PM	0	4	5	7	14
5:01	3	8	4	2	12
5:02	5	0	6	1	18
5:03	5	3	6	6	12
5:04	6	7	4	7	14
Sum	19	22	25	23	
Total density	89				70
Control delay	19.1 sec/veh				

2. 교통분석프로그램을 이용한 정지지체 산출방법

1) KHCS

KHCS는 Korea Highway Capacity Manual 평균제어지체 산출식에 따라 균일지체, 증분지체, 추가지체로 구성되면 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$d(\text{sec/veh}) = d_1 \times PF + d_2 + d_3 \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, d1 : 균일지체 (uniform delay)
- PF : 연동보정계수 (progression adjustment factor)
- d2 : 증분지체 (incremental delay)
- d3 : 추가지체 (initial queue delay)

2) TRANSYT-7F

TRANSYT-7F의 평균제어지체는 교차로상의 차량의 대기행렬로부터 산출되는 균일 지체시간과 임의포화 지체시간의 합으로 구성되며, 추가지체는 자동적으로 균일지체에 반영된다.

$$D = D_u + D_{ro}, D_u = \frac{\sum_t^N m_t}{N}, D_{ro} = 900TX^2(X \cdot 1) + [(X \cdot 1)^2 + (4X/cT)] \cdot (3600/v) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, D_u = 평균지체시간 (sec/veh)
 D_{ro} = 균일지체시간
 D_{ro} = 임의 포화지체 [random-plus-saturation delay]
 N = 주기당 step의 수, T : 주기(period length) , m_t = step t 동안 대기행렬의 차량대수

3) VISSIM

모든 도착 차량의 총 지연 시간으로 타임 스텝에서 차량의 지연 시간은 실제속도가 원하는 속도보다 낮기 때문에 발생하는 시간이다. 이 시간 단계에서 이동한 실제거리와 시간 단계의 길이에서 원하는 속도의 지수를 뺀 값을 계산하여 계산된다. 정지지체는 주차장 및 정지하는 버스 정지시간을 포함하지 않는다. 따라서 VISSIM의 평균 제어지체는 아래와 같이 산출한다.

$$\text{Average delay per vehicle} = \text{Total delay time} / (\text{active} + \text{arrived vehicles}) \dots\dots\dots (3)$$

3. 신호교차로 지체시간 선행연구

Yun et al.(2014)은 교차로 1개소(1개접근로) 자료의 실제 관측 값(15초 단위 측정)과 다양한 신호교차로 분석도구(KHCM, CORSIM, TRANSYT-7F, SYNCHRO, VISTRO)를 사용하여 신호교차로 서비스 수준 평가적대인 차량당 평균지체시간을 산출 및 비교 하였다. 분석결과 관측 값과 분석도구를 이용한 산출 값이 다를 수 있다는 것이 계량적으로 증명되었으며, 미시적 교통시물레이션 모형을 사용하는 방법이 관측된 정지지체 값과 상대적으로 유사함을 확인하였다. Han and Kim(2012)은 지체시간과 연동성 구분 없이 두 개를 동시에 고려하여 반영할 수 있는 시물레이션 모형을 개발하여, 지체시간 모형인 TRANSYT-7F와 연동폭 최대화 모형인 PASSERV를 기준으로 지체시간과 연동효율을 비교·분석하였다. 기존 HCM 방법에 의한 균일지체와 본모형의 지체시간을 비교하였고, 기존 신호 최적화 모형에서 산출한 지체시간과 유사한 패턴이 나왔다. Cho et al.(2005)은 포화/비포화 상태를 고려하여 다양한 지체산정 모형(대기행렬 모형, 충격파 모형, 정상상태 확률적 모형, 시간중속 확률적 모형, 거시적 및 미시적 시물레이션 모형에 대한 지체를 비교하였다. 비포화상태에서는 결정적 모형과 확률적 모형 모두 비슷한 값으로 나타났으며, 포화상태에서는 HCM(1994)를 제외하고는 모두 유사한 곡선을 보이고, 지체 값 차이가 있었으며, 거시적 시물레이션(TRANSYT-7F)과 미시적시물레이션 (NETSIM)간의 지체값은 상당한 차이가 있음을 제시하였다. Han and Park(2010)은 다지 회전교차로와 신호교차로의 최적의 기하구조를 구축하고, 주도로와 부도로의 진입교통량의 비율을 반영한 분석시나리오를 작성하며, VISSIM을 이용하여 차량당 평균제어지체를 비교·분석한 결과 진입교차로가 3,500 pcph 이하일 때 회전교차로가 신호교차로보다 효과적이라 분석하였으며, 6지 교차로 일 경우는 3,600 pcph이하 일 때 효과적이라 제시하였다. Park et al.(2004)은 CORSIM, PARAMICS, SIMTRAFFIC, VISSIM 등을 이용하여 연동 신호교차로에 대한 시물레이션을 수행한 후 각 모형의 결과 값을 비교하였다. VISSIM, PARAMICS는 유사한 추세를 보였지만, CORSIM, SIMTRAFFIC은 불일치함을 보였다. Fambro et al.(1997)은 기존의 지체모형들에

대한 포화도에 따른 문제점을 제시하고, 현장조사 값과 지체분석 모형들의 비교를 통해 이러한 문제점을 개선할 수 있는 방법론을 제시하였다.

Ⅲ. 연구방법

서울특별시 내 신호교차로 중 같은 도로축 상에 존재하는 신호교차로 2개소의 동일한 접근로에 대하여 현장조사 및 분석을 수행하였다. 본 연구의 공간적 범위인 네트워크 구축범위는 대상교차로인 대치역사거리와 영동5교사거리를 기준으로 동일한 신호그룹(SA)내의 교차로를 포함하여 시뮬레이션 네트워크를 구축하였다. 이는 신호교차로 연동효과를 고려하여 시뮬레이션 네트워크 구축을 최대한 현장상황과 동일하게 구축하기 위함이다. 현장조사는 대상지점 도로 및 교통현황을 파악하기 위한 기초자료조사(도로기하구조, 침두시 교통량 등)와 제어지체를 산출하기 위한 영상촬영 조사로 구분하여 수행하였다. 기초자료 조사를 통하여 조사된 자료들은 시뮬레이션 구축을 위한 기초자료로 활용하였으며, 드론 영상촬영조사는 대상지점의 순간밀도 및 통과차량을 분석하고, 이를 통하여 평균 제어지체 산출하였다. 분석의 정확성을 더하기 위해 평균제어지체 산출은 우선적으로 신호의 영향을 받는 직진방향과 좌회전 방향을 개별적으로 산출하고, 우회전 및 접근로의 평균제어지체를 산출하였다. 또한 현장조사 데이터의 평균제어지체 산출은 조사주기에 따른 결과 값 차이를 확인하기 위해 1초, 5초, 10초, 15초 단위로 구분하여 평균제어지체를 산출하여 비교·분석하였다. 현장조사 데이터와의 비교분석을 위한 시뮬레이션은 KHCS, TRANSYT-7F, VISSIM을 사용하였다. 시뮬레이션의 교통현황자료는 현장조사를 통해 조사된 기초자료를 사용하였으며, VISSIM 시뮬레이션의 네트워크는 실제 현장상황과 최대한 동일하게 구축하기 위해 대상지점과 동일한 신호그룹내에 있는 교차로를 포함하였다. 산출된 평균제어지체는 산출모형별로 비교하여 제어지체를 비교 분석하였다. 이에 따라 본 연구는 다음의 4단계로 구분하여 연구를 진행하였다.

1. 현장조사 자료 수집
2. 현장 조사자료 분석
3. 시뮬레이션 구축
4. 평균제어지체 비교·분석

1. 현장조사 자료수집

현장조사는 기하구조, 교통현황, 신호운영으로 구분하여 평균 제어지체 산출을 위한 기초자료 현장조사를 수행하였다. 현장조사는 2018년 11월에 조사한 자료를 활용하였다. 조사된 기초자료는 시뮬레이션 분석시 동일한 입력 값으로 사용하였으며, 교통량조사는 영상조사로 수행하였다. 추가적으로 초기대기행렬 및 현장조사 자료의 지체시간 산정을 위해 교차로별 드론 촬영을 통해, 교차로 전체적인 상황을 조사하였다.












<Daechi Station>



<Yongdong 5 Bridge>

<Fig. 1> Video survey using a Drones

<Table 2> field survey data

Data		Daechi Station(SB)				Yongng 5 Bridge(SB)				
		NB	SB	EB	WB	NB	SB	EB	WB	
Geometric structure	Intersection type	four-way stop				four-way stop				
	lane number	4	4	5	5	5	6	2	2	
	bus only lanes	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Average lane width	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
	Link Length(m)	356	528	798	628	358	289	270	881	
	Rotational type	left turn type	exclusive	exclusive	exclusive	exclusive	exclusive	common	common	common
	right turn type	common	common	channelization	common	common	common	channelization	common	
traffic status	traffic volume	peak time (07~08)	1,106	990	1,488	2,133	1,012	854	259	450
	queue	maximum(m), straight (left turn)	180(128)	135(120)	112(125)	112(260)	86(119)	141(40)	70(72)	180(186)
		minimum(m), straight(left turn)	5(6)	6(6)	6(6)	6(7)	5(6)	5(6)	5(5)	6(6)
	travel speed (limited speed)		60	60	60	60	60	60	30	30
	bus stop count		58	74	73	79	73	61	8	20
	degree of saturation		0.74/0.45	0.73/0.36	0.86/0.42	0.68/0.61	0.58/0.39	0.18/0.40	0.27	0.58
signal operation	signal cycle	160				150				
	Offset	96	96	96	96	98	98	98	98	
	Signal Time									
	55	30	49	26	39	30	25	56		

2. 현장조사 자료 분석

현장조사 자료를 통한 제어지체 분석은 Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013)에서 제시하고 있는 통행시간을 활용한 평균제어지체 조사 방법을 활용하였다. Korea Highway Capacity Manual에서는 15초 주기를 예시로 들고 있으나, 15초 주기로 할 경우 지체시간의 오차가 발생할 것으로 예상되어 본 연구에서는 조사단위를 세분화하여 비교하였다. 즉, 현장조사 자료를 통한 지체시간 산정은 분석기간은 1시간으로하며, 현장데이터의 조사주기를 1초, 5초, 10초, 15초로 구분하여 지체시간을 산정하여 비교하였다. 조사주기가 가장 짧은 1초단위를 정확도 100%로 가정하여 조사주기에 따른 오차를 비교하였다.

제어지체 산출의 분석시간은 오전첨두시인 07시~08시의 드론 영상자료를 활용하였으며, 직진차로와 좌회전차로로 구분하고, 신호교차로의 제어지체 산출의 정확도 향상을 위해 우회전 차로는 별도로 구분하였다. 현장조사는 동일한 도로축 상에 존재하는 2개 교차로의 동일방향을 비교·분석하였다.

현장조사 대상구간의 조사주기에 따라 비교한 결과 약간의 결과 값 차이는 발생하고 있으나, 평균제어지체가 1초 내외로 큰 차이는 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 이는 순간밀도의 차이는 조사주기에 따라 차이가 있지만 평균제어지체 산정시 조사주기 차이만큼 보정해 주기 때문에 판단된다. 조사주기가 길어질수록 평균제어지체의 차이가 발생하고 점차 낮아지는 추세를 보이고 있어, 조사주기가 길어지면 길어질수록

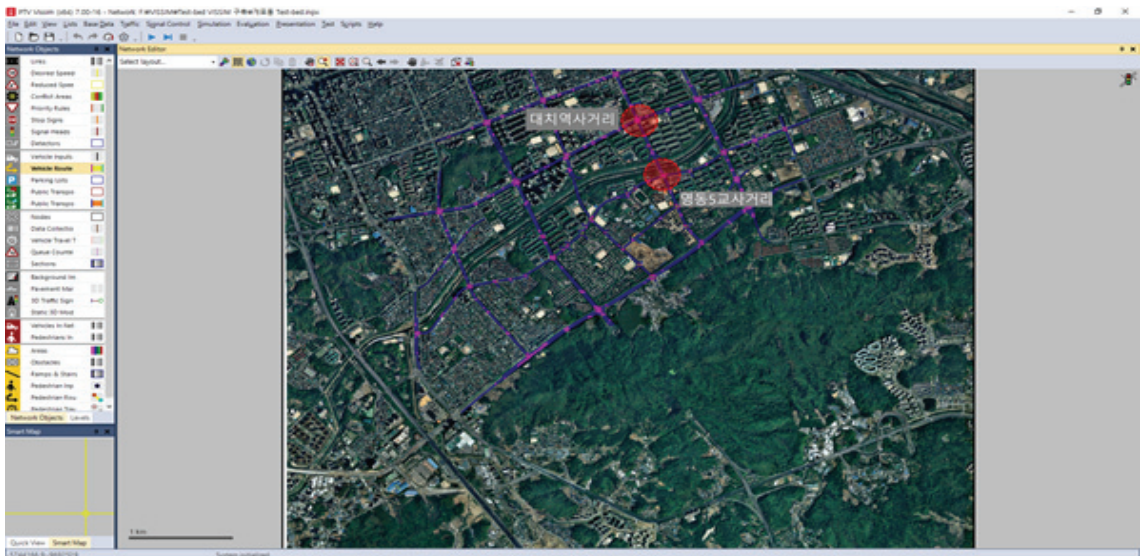
분석 값 차이는 점차 심해질 것으로 판단된다. 또한 대상교차로의 신호주기/접근로의 현시/교차로 통행형태에 따라 다양한 차이가 발생할 것으로 판단되어진다.

<Table 3> Analysis value of control delay according to survey cycle

Data	Daechi Station(SB)				Yongdong 5 Bridge(SB)			
	1s	5s	10s	15s	1s	5s	10s	15s
Total density	13,812	2,761	1,371	903	11,248	2,254	1,128	738
pass count	260	260	260	260	240	240	240	240
Average control delay per vehicle	53.1	53.1	52.7	52.1	46.9	47.0	47.0	46.1

3. 시뮬레이션 구축

시뮬레이션을 통한 신호교차로 평균제어지체 분석은 국내에서 보편적으로 많이 사용되고 있는 KHCS, TRANSYT-7F, VISSIM 등의 3가지 교통 분석프로그램을 선정하여 제어지체를 산출하였다. 기본적으로 <Table 2>에서 제시한 현장조사를 통해 수집된 자료를 활용하여 도로 기하구조, 교통현황 등의 변수들은 동일하게 사용하였으며, 시뮬레이션별 네트워크 셋팅 값을 최대한 현장상황과 유사하게 구축하기 위해 KHCS는 드론을 통한 영상촬영으로 초기 대기행렬 값을 산출하여 적용하였다. TRANSYT-7F는 차량들의 규칙적인 도착에 의해 발생하는 균일지체시간과 불규칙한 도착에 의하여 발생하는 임의 포화지체시간의 합으로 구성되며, 추가지체(d3)는 자동적으로 균일지체에 반영되어 산출된다. 미시적 시뮬레이션인 VISSIM은 현장상황을 최대한 반영하기 위해 동일한 신호그룹으로 운영중인 교차로까지 네트워크 범위로 하여 구축하고, 대상 링크에 차량이 충분히 쌓여 초기대기행렬까지 포함하여 분석되도록 분석시간을 0초 ~ 3,600초가 아닌 300초 ~ 3,900초로하여 분석하였다.



<Fig. 2> VISSIM Simulation Network

IV. 분석

1. 시뮬레이션을 통한 제어지체 산출

1) KHCS

KHCS의 입력 값은 기초자료 현장조사 자료 수집을 통해 수집된 자료를 입력하였으며, 순행속도는 도로별 제한속도를 사용하였다. <Table 4>는 KHCS를 활용하여 SB방향의 대치역사거리와 영동5교교차로의 직진/좌회전 방향 평균제어지체를 분석한 결과이다. 대치역사거리는 직진과 우회전이 공용차로군으로 분석되어 직진/우회전 평균제어지체는 54.7초/대, 좌회전은 89.0초/대로 접근로의 평균제어지체는 60.8초/대로 분석되었으며, 영동5교교차로 직진차로의 평균제어지체는 63.0초/대, 좌회전은 55.2초/대, 접근로의 평균제어지체는 54.8초/대로 분석되었다.

<Table 4> KHCS Analysis results of control delay

Data	Daechi Station(SB)		Yongdong 5 Bridge(SB)		
	Straight/right turn	left turn	Straight	left turn	right turn
Average control delay by car	54.7	89.0	63.0	55.2	50.3
Average control delay of access road	60.8		54.8		

2) TRANSYT-7F

TRANSYT-7F를 활용한 분석결과 SB방향의 대치역사거리와 영동5교교차로의 직진/좌회전 방향의 평균 제어지체를 분석한 것으로 대치역사거리의 직진차로 평균제어지체는 46.3초/대, 좌회전차로는 85.7초/대로 우회전을 포함한 접근로의 평균제어지체는 49.8초/대로 분석되었으며, 영동5교교차로의 직진차로의 평균제어지체는 36.6초/대, 좌회전은 57.9초/대로 우회전을 포함한 접근로의 평균제어지체는 37.6초/대로 분석되었다. 교차로의 도로 및 교통조건, 신호운영 현황 등을 입력함으로써, 접근로 방향의 이동류별, 접근로별, 교차로 전체의 서비스 수준이 산출가능하다.

<Table 5> TRASNYSY-7F Analysis results of control delay

Data	Daechi Station(SB)			Yongdong 5 Bridge(SB)		
	Straight	left turn	right turn	Straight	left turn	right turn
Average control delay by car	46.3	85.7	25.5	36.6	57.9	34.5
Average control delay of access road	49.8			37.6		

3) VISSIM

VISSIM을 활용한 분석결과 SB방향의 평균제어지체는 대치역사거리 직진차로 51.3초/대, 좌회전차로는 128.1초/대, 접근로의 평균제어지체는 74.2초/대로 분석되었으며, 영동5교교차로 직진차로의 평균제어지체는 51.1초/대, 좌회전은 38.4초/대, 접근로의 평균제어지체는 38.8초/대로 분석되었다.

<Table 6> VISSIM Analysis results of control delay

Data	Daechi Station(SB)			Yongdong 5 Bridge(SB)		
	Straight	left turn	right turn	Straight	left turn	right turn
Average control delay by car	51.3	128.1	43.3	51.1	38.4	26.8
Average control delay of access road	74.2			38.8		

2. 평균제어지체 비교·분석

현장조사를 통한 지체시간과 시뮬레이션 모형인 KHCS, TRANSYT-7F, VISSIM을 사용하여 분석대상 접근로인 대치역사거리와 영동5교사거리의 SB 접근로의 평균제어지체를 비교한 산출결과는 <Table 7>과 같다.

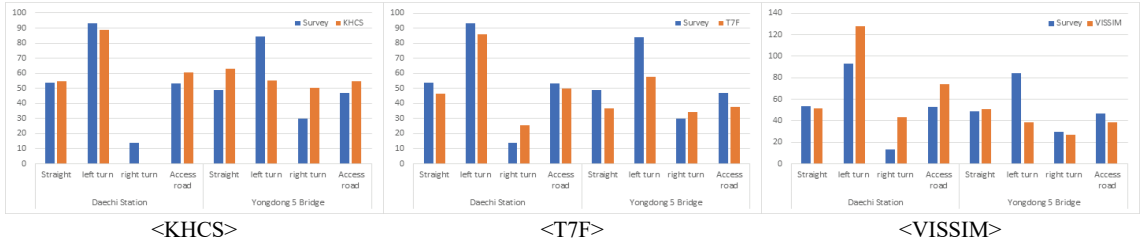
KHCS는 대치역사거리는 대상 접근도로에서 7.7초/대 차이로 약 85.5%의 정확도를 보였으며, 영동5교사거리에서는 7.9초/대 차이로 83.2%의 정확도로 나타났다. 2개 교차로 모두 실제 데이터보다 높은 지체시간으로 분석되었다. 방향별 분석결과는 직진방향과 우회전에서 현장조사 데이터보다 높은 값으로 분석되었으며, 좌회전에서 낮은 지체시간으로 분석되었다.

TRANSYT-7F는 대치역사거리는 대상 접근도로에서 - 3.3초/대 차이로 약 93.8%의 정확도를 보였으며, 영동5교사거리에서는 - 9.3초/대 차이로 80.2%의 정확도로 나타났다. KHCS와는 반대로 2개 교차로 모두 대상 접근로의 평균제어지체가 실제 관측 값보다 다소 낮은 것으로 분석되었다. 방향별 분석결과는 직진과 좌회전 방향에서는 실제 데이터보다 낮았으며, 우회전에서는 높은 지체 값으로 분석되었다.

VISSIM은 대치역사거리는 대상 접근도로에서 21.1초/대 차이로 약 60.3%의 정확도를 보였으며, 영동5교사거리에서는 8.1초/대 차이로 82.7%의 정확도로 나타났다. 비교대상 시뮬레이션 모형 중 유일한 미시적 시뮬레이션 모형으로 직진방향에서는 95% 이상의 정확도를 보였으나, 회전방향(좌회전, 우회전)에서는 낮은 정확도로 분석되었다.

<Table 7> Comparative Analysis of Survey Data and Simulation

Data		Daechi Station				Yongdong 5 Bridge			
		Straight	left turn	right turn	Access road	Straight	left turn	right turn	Access road
Survey		53.6	93.3	13.7	53.1	49.1	84.2	30.1	46.9
KHCS	simulation	54.7	89	-	60.8	63	55.2	50.3	54.8
	Difference	1.1	-4.3	-	7.7	13.9	-29	20.2	7.9
	Accuracy	97.9%	95.4%	-	85.5%	71.7%	65.6%	32.9%	83.2%
T7F	simulation	46.3	85.7	25.5	49.8	36.6	57.9	34.5	37.6
	Difference	-7.3	-7.6	11.8	-3.3	-12.5	-26.3	4.4	-9.3
	Accuracy	86.4%	91.9%	13.9%	93.8%	74.5%	68.8%	85.4%	80.2%
VISSIM	simulation	51.3	128.1	43.3	74.2	51.1	38.4	26.8	38.8
	Difference	-2.3	34.8	29.6	21.1	2.0	-45.8	-3.3	-8.1
	Accuracy	95.7%	62.7%	53.7%	60.3%	95.9%	45.6%	89.0%	82.7%



<Fig. 3> Comparative Analysis of Survey Data and Simulation

V. 결론 및 향후 연구과제

신호교차로의 서비스 수준을 결정하는 평균제어지체 산출은 각 시뮬레이션 모형별로 다양한 방식으로 산출하고 있다. 특히 국내에서 보편적으로 사용되고 있는 분석모형들조차 동일한 지점을 분석하더라도 서로 다른 결과 값을 도출하고 있다. 본 연구에서는 동일한 도로상에 연속적으로 존재하는 신호교차로 2개소의 제어지체를 실제 관측 값과 다양한 신호교차로 분석시뮬레이션 모형과의 비교·분석을 통해 각 시뮬레이션별 지체시간 분석 값의 오차를 확인하였다

분석의 정확도 향상을 위해 대상교차로의 현장조사는 영상조사를 활용한 교통량조사와 드론을 활용한 대기행렬조사, 기초데이터 입력을 위한 실측조사로 구분하여 수행하였다. 현장조사 자료를 기반으로 VISSIM 시뮬레이션 네트워크 구축 및 KHCS, TRANSYT-7F의 기초자료를 작성하였다. 특히 VISSIM 과 같은 미시적 시뮬레이션은 네트워크를 구축하는 방식에 따라라도 결과 값이 상당히 차이가 날 수 있으므로 시뮬레이션 분석 전 충분한 Calibration을 통하여 현장상황과 최대한 동일한 상태로 구축하였다. 분석결과 시뮬레이션 모형에 따라 동일한 교차로를 분석하더라도 평균제어지체가 서로 상이하게 분석됨을 증명하였다. 이는 교차로를 분석하는 사용자(운영자)가 선택하는 시뮬레이션 모형에 따라 결과 값이 달라질 수 있다는 것을 인지하고, 적절한 분석도구를 사용하여야 함을 의미하며, 신호교차로 분석에 시뮬레이션 모형의 선택은 그만큼 중요하다 판단된다.

하지만 본 연구에서 제시된 시뮬레이션 모형별 분석결과만으로 시뮬레이션의 정확성을 따지기에는 분석 샘플의 다양성(대상지점, 교통량, 포화도, 통행속도, 기하구조 등)이 부족하다는 한계점이 있다고 판단되며, 다양한 방면에서의 비교분석이 수행되어야 한다. 향후 이러한 한계점을 해소하는 연구가 지속적으로 수행되어진다면 신호교차로 분석시 교통상황별 교통분석 시뮬레이션 모형 선택에 있어 큰 도움이 될 것이라 판단된다. 또한, 정확하고 정밀한 평균제어지체 산출을 통해 신호운영자는 신호교차로의 교통 혼잡정도를 판단하고, 이에 따른 대응방안을 통하여 교차로의 지체시간을 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 치안과학기술연구개발사업 (PA-A00001)의 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Cho J. H., Cho Y. C. and Kim S. H.(2005), "Comparison of Delay Estimates for signalized intersection," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no.1, pp.67-80.
- Fambro D. B. and Ouphail N. M.(1997), "Generalized Delay Model for Signalized Intersections and Arterial Streets," *Transportation Research Record*, vol. 1572, no.1, pp.112-121.
- Hand S. S. and Park B. H.(2010), "Comparative Analysis on the Delay Between Multi-legged Roundabout and Signalized Inter," *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no.6, pp.83-93.
- Hand Y. H. and Kim Y. C.(2012), "The Macroscopic Model for Signalized Intersections to Consider Progression in relation to Delay," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 5, pp.109-119.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), *Korea Highway Capacity Manual*, pp.210-416.
- Park B. K., Yun I. S. and Choi K. C.(2004), "Evaluation of Microscopic Simulation Tools for Coordinated Signal System Deployment," *Journal of Korean KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 2, pp.239-248.
- Yun I. S., Oh C., Ahn H. K., Kim K. H., Han E. and Kang N. W.(2014), "Performance Comparison of Signalized Intersections Analysis Tools in Estimating Control Delays," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 16, no. 5, pp.109-119.