

3지 교차로의 TPCLT(Twice Per Cycle Left-Turn) 적용 방안 연구

A Study on Application of TPCLT(Twice Per Cycle Left-Turn) for a Signalized Three-Leg Intersection

한 다 정* · 김 응 철**

* 주저자 : 인천대학교 일반대학원 건설환경공학과 박사과정

** 교신저자 : 인천대학교 도시과학대학 건설환경공학부 교수

Dajeong Han* · Eungcheol Kim**

* Dept. of Civil & Environmental Engr., Incheon National University

** Dept. of Civil & Environmental Engr., Incheon National University

† Corresponding author : Eungcheol Kim, eckim@inu.ac.kr

Vol.18 No.2(2019)

April, 2019

pp.77~92

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.2.77)

2019.18.2.77

요 약

TPCLT란 한 주기에 두 번의 좌회전 신호를 제공하는 신호 운영 방법으로 좌회전 교통량이 많고 적정 좌회전 차로 길이 확보가 어려운 교차로에 적용가능한 신호 운영 개선 방법이다. 본 연구에서는 TPCLT의 적용 방안 연구를 위해, 3지 교차로를 대상으로 방향별 교통량의 변화를 준 시나리오를 구축하여 TPCLT 적용 시와 3현시 최적화 신호 적용 시 교차로의 제어지체를 분석하였다. 분석결과, 대다수의 시나리오에서 TPCLT 적용 시 지체 감소 효과가 높은 것으로 나타났으며 특히 좌회전 교통량이 30~40%인 경우 지체 감소가 큰 것으로 나타났다. 이때, 접근로별 지체는 TPCLT 신호를 적용한 방향의 경우 50초 이상 지체가 감소하였으며 대향차로는 약 2초의 미미한 지체 증가를 나타냈다. 좌회전 차로 길에 따른 TPCLT 운영 효과 분석결과 좌회전 차로 길이를 적정 좌회전 차로 길이의 30~60%를 확보한 경우 TPCLT 적용 시 지체 감소에 효과적인 것으로 나타났다.

핵심어 : 좌회전신호운영, TPCLT, VISSIM, 제어지체, 좌회전 차로 길이

ABSTRACT

TPCLT is a advanced signal system that serves twice left turn phases during the same cycle. TPCLT can be a useful where the left turn traffic volume is high and the length of the left turn lane is short. This study examined the effectiveness of TPCLT in reducing delay for a signalized three-Leg intersection and proposed the application of TPCLT signal system. 108 scenarios with different traffic volumes were created. This study analyzed the control delay of the three-Leg intersection in case TPCLT is operated and non-TPCLT is operated. As a result of analysis, it was shown that TPCLT was effective in most of the scenarios. When traffic volume ratio of the left turn is 30~40%, TPCLT was more effective at reducing the control delay. The study result shows significant delay reduction for the left turning traffic and it is approximately 50 seconds. The opposing movement's average control delay increased 2 seconds. The effect of TPCLT on the length of left turn lane was analyzed. As a result, it is found that TPCLT is effective when the length of left turn lane is 30%~60% compared to that of conventional three leg intersection operations.

Key words : Left-turn Phasing, TPCLT, VISSIM, Control delay, Length of left turn lane

Received 22 October 2018

Revised 21 November 2018

Accepted 18 February 2019

© 2019. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

교차로의 혼잡을 완화하고 용량을 증대하기 위해서는 교차로의 용량을 물리적으로 개선하거나 교차로의 신호 및 운영을 개선하는 방법 등이 있다. 교차로 접근로의 차로수 및 차로폭을 확장하거나 좌회전 및 우회전 차로 등 회전 차로를 확장하는 물리적인 교차로 용량 증대의 경우 교차로 개선 효과가 크나 물리적인 제약 또는 과도한 비용이 소요 되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 이에 반해, 교차로의 신호 및 운영 개선방법의 경우 비용적인 측면에서 매우 효과적인 교차로 개선 방법이다. 교차로 신호 및 운영 개선 방법은 교차로의 접근로 별 교통량을 고려한 최적화 신호 주기 및 현시를 산출하여 적용하거나 신호 주기를 조정하여 교차로의 지체를 낮추는 방법 등이 있다. 또한 좌회전 교통류에 따라, 보호/비보호 좌회전 운영 방법을 고려하거나, 차로를 공용 또는 전용 차로로 운영 하는 차로 운영 개선 방법이 있다.

교차로의 특성상, 좌회전 교통량이 많고 물리적인 제약으로 인해 적정 좌회전 차로 길이 확보가 용이하지 못하는 경우, 한주기 내에 도착한 좌회전 교통량을 모두 처리하는 것이 불가능 할 뿐만 아니라, 좌회전 차로 뒤로 이어지는 좌회전 대기 행렬로 인해 직진 교통류의 흐름에 방해가 된다. 이와 같이, 물리적인 제약으로 인해 적정 좌회전 차로 길이 확보가 어려운 교차로의 경우, 신호 운영 측면에서 교차로 개선이 이루어 져야 할 것이다.

좌회전 교통량이 많고 물리적인 제약으로 인해 교차로 확장이 불가능 한 경우, 한 주기에 좌회전 신호를 두 번 제공하는 신호 운영 방법인 TPCLT(Twice Per Cycle Left-Turn) 신호 적용을 고려해 볼 필요가 있다. 미국의 경우 TPCLT 신호를 신호운영개선 방법 중 하나로 제시하고 있으며 국내의 일부 교차로에서도 TPCLT 신호가 시범 적용 되고 있고 적용 결과, 교차로 지체 감소에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다(Oh et al., 2012).

본 연구에서는 좌회전 교통류의 효과적인 처리를 위해 적용되고 있는 TPCLT 신호의 적용 방안에 대해서 연구하였다. TPCLT 신호 시범운영중인 교차로의 교통량 및 기하구조를 고려하여 TPCLT 신호분석을 위한 시나리오를 구축하고 주도로의 양방향 교통량의 비율과 주도로의 좌회전 교통량 비율을 증감 및 감소 시켜 총 48개의 시나리오를 구축하였고, 각 시나리오별 3현시의 최적화 신호 적용시와 TPCLT 신호 적용시의 교차로 총 제어 지체를 비교·분석 하였다. 또한 각 시나리오별 좌회전차로의 길이를 변화 시켜 좌회전 길이가 다른 60개의 시나리오를 구축하여 TCPLT 신호 적용시와 3현시 최적화 신호 적용시의 교차로 총 제어지체를 비교·분석하였다. 이에 따라, 주도로의 양방향 교통량, 좌회전 교통량 및 좌회전 차로 길이에 따른 TPCLT 신호 적용 방안을 제시하였다.

2. 연구 수행 절차

본 연구의 수행 절차는 TPCLT 신호 관련 선행 연구 및 관련 기준을 검토, 분석 하여 본 연구의 기초 자료로 활용 하였고, TPCLT 신호 적용 교차로의 현황을 검토하여 분석 시나리오 구축 시 기초자료로 활용하였다.

3지 교차로의 TPCLT 신호 적용 방안 제시를 위해, VISSIM(Verkehr In Städten - Simulations modell) 시뮬레이션을 활용하여 교통량 별 시나리오 분석을 실시하였다. 분석 시나리오는 3지 교차로의 주도로의 중앙방향 교통량 비율을 50%에서 75%까지 증가시키고 주도로의 좌회전 교통량은 10%에서 50% 까지 증가시켜 시나리오를 구축하였다. 또한 각 시나리오별 좌회전 차로 길이를 변화시켜 TPCLT 신호 적용시와 3현시 최적화

신호 적용시의 교차로의 총 제어지체와 접근로별 제어지체를 비교·분석하였다. 이에 따라, 연구 결과에 따른 3지 교차로의 TPCLT 신호 적용 방안을 제시하였다.

II. 국내·외 연구 사례

1. TPCLT 관련 선행 연구

Oh et al.(2017)는 TPCLT 신호 운영 효과를 분석하기 위해, TPCLT 신호를 시범운영 하고 있는 국도3호선 ‘도평리 입구 교차로’를 대상으로 운영 효과에 대하여 분석하였다. VISSIM 프로그램과 SSAM(Surrogate Safety Assessment Model) 모형 분석을 통해 3현시 최적화 신호운영, 반주기 신호운영, TPCLT 신호 적용 전·후의 4가지 신호 운영 방식의 효과성을 비교·분석하였다. 분석결과 TPCLT 신호 적용 시 교차로 총 제어 지체가 가장 낮게 나타났으며, 방향별 총 지체시간과 좌회전 통행시간을 고려하였을 때에도 TPCLT 신호가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 좌회전 교통량을 변화를 준 9개의 시나리오를 구축하여 분석한 결과에서도 TPCLT 신호가 가장 효율적인 것으로 연구되었다.

Corey et al.(2012)는 한주기에 두 번의 좌회전 신호를 제공하는 신호운영 방법인 ‘Left Turn Phase Reservice’의 효과를 검증하기 위해, 특정 교차로를 대상으로 운영 평가를 실시하였다. 분석결과, 한주기에 두 번의 좌회전 신호를 제공할 경우 좌회전 지체가 크게 감소될 뿐만 아니라, 교차로 전체의 평균 제어지체가 약 30초 이상 감소하는 것으로 나타났으며 대향차로의 경우 3초 지체가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, ‘Left Turn Phase Reservice’ 적용 시 교차로의 지체 감소율은 두 번의 신호를 제공하는 좌회전 교통량과 대향차로의 교통량에 따라 달라지는 것으로 연구되었다.

2. TPCLT 관련 설계 기준

‘Signal Timing Manual 2nd’에서는 교차로의 좌회전 용량 부족 문제와 관련하여 개선방안으로 물리적인 용량 증대를 제시하고 있으며 이것이 불가능한 경우 신호주기 조정, 좌회전 교통류의 보호/비보호 운영 방법 고려, 직진 차로를 직진 좌회전 공용으로 조성하는 방법 등을 제시하고 있다. 또 한 가지의 방법으로 한 주기 동안 특정방향의 교통류 현시를 두 번 제공하는 신호 운영 방법인 ‘Phase Re-Service’를 제시하고 있다. ‘Phase Re-Service’의 운영 여부는 교차로에 대한 공학적 판단과 현장 여건을 고려하여 결정하도록 제시하고 있다.

‘Traffic Signal Phase Sequence’에서는 회전차로의 길이가 짧은 문제를 해결하기 위한 대안으로 한주기 동안 두 번의 좌회전 신호 현시를 제공하는 신호운영 방법인 TPCLT를 제시하고 있다. TPCLT의 운영 여부에 대한 정형화된 시행 기준은 없으며 필요에 따라, 교차로의 주기길이의 적정성, 현시 제공방안 등에 대해 우선적으로 공학적인 검토를 거친 후 운영 여부를 결정하도록 제시하고 있다. 이때, 주요 고려 요인으로는 좌회전 대기 행렬의 길이, 교차로의 지체, 좌회전 교통류의 서비스 수준 등을 제시하고 있다. 또한 2개의 전용 좌회전 차로로 운영될 때 TPCLT 적용 효과가 더 높은 것으로 제시하고 있다.

‘Twice Per Cycle Left-Turn & Double Cycle Operation’에서는 한주기동안 두 번의 좌회전을 제공하는 신호 운영방법인 TPCLT를 제시하고 있으며, TPCLT 신호는 좌회전 길이가 충분하지 않아 직진 차량을 방해하는 경우 효과적이며 좌회전 전용차로가 2개로 운영 될 때 보다 효과적이라고 제시하고 있다.

3. 선행연구의 시사점

TPCLT 신호의 선행연구 고찰을 통해, 좌회전 교통량이 많고 좌회전 차로를 충분히 확보하지 못하는 교차로의 경우 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 제어지체 감소에 효과적인 것으로 나타났다. 또한, TPCLT 신호 적용 시 교차로의 총 제어 지체는 30초 이상 감소하며 대향차로의 경우 3초 정도의 작은 지체 증가를 나타내어 교차로의 지체 감소 및 대기행렬 감소 등 교차로 개선 효과가 큰 것으로 나타났다. TPCLT 신호 운영 여부에 대한 정형화된 시행 기준은 없으며 교차로의 신호 주기 및 현시, 좌회전 처리 방법 등에 대해 종합적인 검토 후 적용 여부를 결정하도록 제시하고 있다.

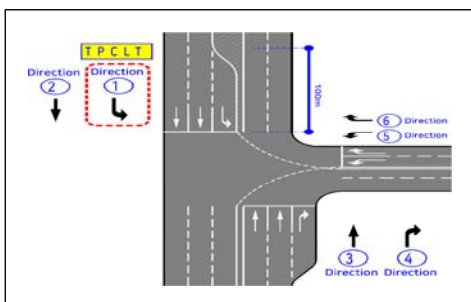
TPCLT 신호의 운영 효과는 좌회전 교통량에 따라 달라지며 교차로의 좌회전 차로 길이에 따라 적용 여부가 결정되어야 할 것이다. 그러나 현 기준에서는 TPCLT 신호를 좌회전 교통류 처리의 한 방법으로만 제시하고 있으며 TPCLT 적용 관련한 기준은 부재한 상황이다. 이에 따라, 본 연구에서는 주도로의 양방향 교통량 비율 및 좌회전 비율에 따라 TPCLT 신호 적용 시 교차로 지체감소에 얼마나 효과적인지를 제시하고자 한다. 또한, 적정 좌회전차로 길이에서 어느 정도의 수준의 좌회전 차로 길이를 확보하였을 경우 TPCLT가 3현시 최적화 신호 보다 지체감소에 효과가 있는지도 제시하고자 한다.

Ⅲ. 시뮬레이션 분석 시나리오 구축

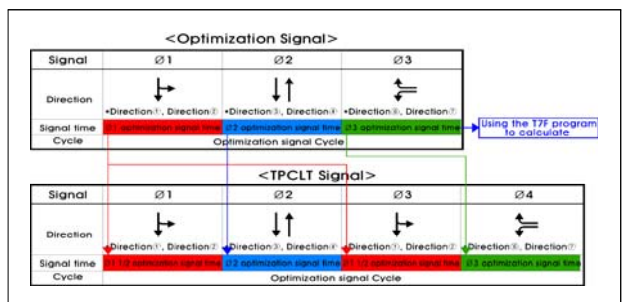
1. TPCLT 분석 시나리오 구축

TPCLT 분석 대상 3지 교차로의 교통량은 4,600대/시로 설정 하였으며, 교차로의 주도로와 부도로의 교통량 비율은 TPCLT 신호가 시범 운영 되고 있는 국도 3호선의 ‘도평리 입구 교차로’의 주도로와 방향별 교통량 비율을 고려하여 설정하였다. 도평리 입구 교차로의 교통량 현황 조사 결과 첨두시간 교차로 도착 교통량은 7,104대/시로 조사되었다. 현황 조사 교통량을 기준으로 VISSIM 시뮬레이션의 분석 기하구조를 구축하여 시뮬레이션 분석한 결과, 교차로 통과 교통량은 5,257대/시로 나타났다. 이중, 부도로의 교통량은 전체 교차로 교통량 중 약 16%를 차지함에 따라, 분석 교통량 또한 4,600대/시의 16%인 750대/시를 적용 하였다.

각 방향의 접근로는 2차로로 구축하였으며 전용 좌회전 차로 및 우회전 차로를 구축하였고 좌회전 차로의 길이는 90m로 설정하였다. 분석 시나리오의 기하구조는 경사가 없는 평지 및 직선 구간이며, 모든 차로 폭은 3.5m로 구성되어 있으며 횡단보도가 없는 표준 3지 교차로를 구축하였다.




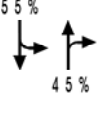


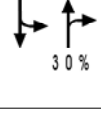
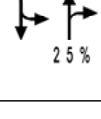
<Fig. 1> Analysis intersection model and the three-leg traffic direction



<Fig. 2> TPCLT and the optimization signal timing table

교차로의 총 분석 교통량 4,600대/시중 부도로의 교통량(⑤, ⑥directions)은 750대/시, 주도로의 교통량(①, ②, ③, ④directions)은 3,850대/시로 설정하였다. 교차로의 총 교통량(4,600대/시)와 부도로의 교통량(750대/시)은 일정하며, 주도로의 중방향 교통량(①, ②directions)의 비율은 50%에서 75%까지 증가시키고, 주도로의 좌회전 교통량(①direction) 비율을 10%에서 50%까지 증가시켜 교통량별 시나리오를 구축하였다. 또한, 시나리오 분석결과, TPCL 적용 시 교차로 지체 감소 효과가 높은 것으로 나타난 좌회전 교통량 비율인 30~40% 구간은 좌회전 교통량을 2.5% 증가시켜 추가로 분석을 실시하였다. 이에 따라, 교통량 별 총 48개의 시나리오를 구축하였으며 48개 시나리오의 방향별 교통량은 <Table 1>과 같다. 이때 부도로의 교통량(⑤direction)은 750대/시로 일정하여 <Table 1>에서는 생략하고 나머지 방향별 교통량 값을 제시하였다.

<Table 1> VISSIM analysis scenarios according to traffic volume by directions

Main line traffic percentage	Direction	Left turn traffic percentage and volume(v/h)							
		10.00%	20.00%	30.00%	32.50%	35.00%	37.50%	40.00%	50.00%
	①direction	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4	scenario 5	scenario 6	scenario 7	scenario 8
	②direction	193	385	578	626	674	722	770	963
	③direction	1,733	1,540	1,348	1,299	1,251	1,203	1,155	963
	④direction	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733	1,733
	⑤direction	193	193	193	193	193	193	193	193
	①direction	scenario 9	scenario 10	scenario 11	scenario 12	scenario 13	scenario 14	scenario 15	scenario 16
	②direction	212	424	635	688	741	794	847	1,059
	③direction	1,906	1,694	1,482	1,429	1,376	1,323	1,271	1,059
	④direction	1,559	1,559	1,559	1,559	1,559	1,559	1,559	1,559
	⑤direction	173	173	173	173	173	173	173	173
	①direction	scenario 17	scenario 18	scenario 19	scenario 20	scenario 21	scenario 22	scenario 23	scenario 24
	②direction	231	462	693	751	809	866	924	1,155
	③direction	2,079	1,848	1,617	1,559	1,502	1,444	1,386	1,155
	④direction	1,386	1,386	1,386	1,386	1,386	1,386	1,386	1,386
	⑤direction	154	154	154	154	154	154	154	154
	①direction	scenario 25	scenario 26	scenario 27	scenario 28	scenario 29	scenario 30	scenario 31	scenario 32
	②direction	250	501	751	813	876	938	1,001	1,251
	③direction	2,252	2,002	1,752	1,689	1,627	1,564	1,502	1,251
	④direction	1,213	1,213	1,213	1,213	1,213	1,213	1,213	1,213
	⑤direction	135	135	135	135	135	135	135	135
	①direction	scenario 33	scenario 34	scenario 35	scenario 36	scenario 37	scenario 38	scenario 39	scenario 40
	②direction	270	539	809	876	943	1,011	1,078	1,348
	③direction	2,426	2,156	1,887	1,819	1,752	1,684	1,617	1,348
	④direction	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040
	⑤direction	116	116	116	116	116	116	116	116
	①direction	scenario 41	scenario 42	scenario 43	scenario 44	scenario 45	scenario 46	scenario 47	scenario 48
	②direction	289	578	866	938	1,011	1,083	1,155	1,444
	③direction	2,599	2,310	2,021	1,949	1,877	1,805	1,733	1,444
	④direction	866	866	866	866	866	866	866	866
	⑤direction	96	96	96	96	96	96	96	96

2. 시뮬레이션 분석 방법

시뮬레이션 분석 시나리오는 VISSIM을 활용하여 48개의 분석시나리오를 구축하였다. 또한 각 시나리오별로 T7F를 활용하여 교통량에 따른 최적화 3현시 신호의 주기 및 현시값을 산출하였으며, 최적화 신호 중 주도로의 직진·좌회전 신호의 절반 값을 각각 1현시와 3현시에 적용한 TPCLT 신호를 산출하였다. 3현시 최적화 신호를 기준으로 하여 TPCLT 신호를 산출한 방법은 <Fig. 2>와 같으며, 총 시나리오의 신호주기 및 현시값은 <Table 2>과 같다.

<Table 2> The optimization and TPCLT signal time table

Classification	Optimization signals				TPCLT signals				
	↔	↑↓	↙	Cycle	↔	↑↓	↔	↙	Cycle
Scenario1	20	88	8	125	9	88	8	8	125
Scenario2	34	74	8	125	16	74	15	8	125
Scenario3	45	64	7	125	21	64	21	7	125
Scenario4	47	62	7	125	22	62	22	7	125
Scenario5	49	60	7	125	23	60	23	7	125
Scenario6	52	57	7	125	25	57	24	7	125
Scenario7	53	56	7	125	25	56	25	7	125
Scenario8	67	57	7	140	32	57	32	7	140
Scenario9	23	84	9	125	10	84	10	9	125
Scenario10	39	69	8	125	18	69	18	8	125
Scenario11	50	59	7	125	24	59	23	7	125
Scenario12	52	57	7	125	25	57	24	7	125
Scenario13	55	54	7	125	26	54	26	7	125
Scenario14	56	53	7	125	27	53	26	7	125
Scenario15	58	51	7	125	28	51	27	7	125
Scenario16	73	51	7	140	35	51	35	7	140
Scenario17	25	82	9	125	11	82	11	9	125
Scenario18	44	64	8	125	21	64	20	8	125
Scenario19	56	53	7	125	27	53	26	7	125
Scenario20	58	51	7	125	28	51	27	7	125
Scenario21	60	49	7	125	29	49	28	7	125
Scenario22	62	47	7	125	30	47	29	7	125
Scenario23	64	45	7	125	31	45	30	7	125
Scenario24	79	45	7	140	38	45	38	7	140
Scenario25	33	75	8	125	15	75	15	8	125
Scenario26	50	58	8	125	24	58	23	8	125
Scenario27	62	47	7	125	30	47	29	7	125
Scenario28	64	45	7	125	31	45	30	7	125
Scenario29	66	43	7	125	32	43	31	7	125
Scenario30	68	41	7	125	33	41	32	7	125
Scenario31	66	38	7	120	32	38	31	7	120
Scenario32	92	42	7	150	45	42	44	7	150
Scenario33	38	70	8	125	18	70	17	8	125
Scenario34	56	52	8	125	27	52	26	8	125
Scenario35	68	41	7	125	33	41	32	7	125
Scenario36	70	39	7	125	34	39	33	7	125
Scenario37	72	37	7	125	35	37	34	7	125
Scenario38	74	35	7	125	36	35	35	7	125
Scenario39	76	33	7	125	37	33	36	7	125
Scenario40	99	35	7	150	48	35	48	7	150
Scenario41	44	64	8	125	21	64	20	8	125
Scenario42	64	44	8	125	31	44	30	8	125
Scenario43	74	35	7	125	36	35	35	7	125
Scenario44	76	33	7	125	37	33	36	7	125
Scenario45	78	31	7	125	38	31	37	7	125
Scenario46	80	29	7	125	39	29	38	7	125
Scenario47	77	27	7	120	37	27	37	7	120
Scenario48	105	29	7	150	51	29	51	7	150

각 시나리오 별 3현시 최적화 신호 적용 시와 TPCLT 신호 적용시의 교차로 총 제어 지체와 각 접근로별 지체를 비교 분석하였다.

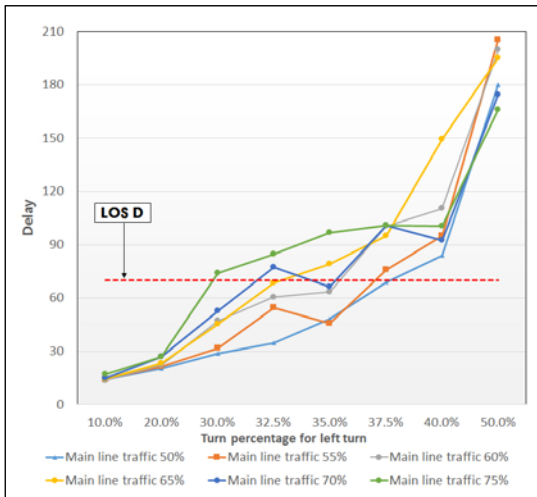
IV. 시뮬레이션 분석 결과

1. 교차로 교통량에 따른 분석 결과

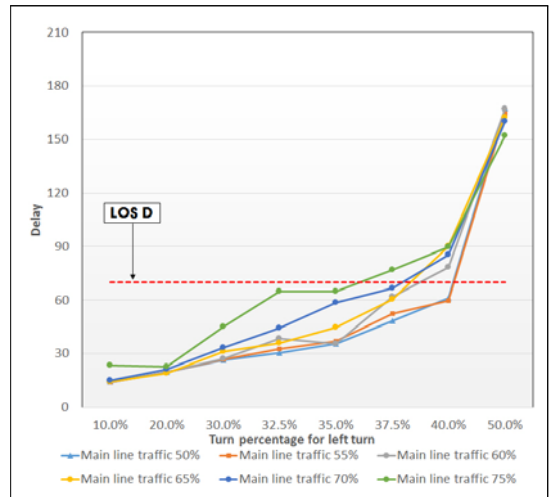
3현시 최적화 신호 적용 시와 TPCLT신호 적용 시 교차로의 중방향 교통량 비율 및 좌회전 교통량 비율에 따른 교차로 총 제어 지체는 <Fig. 3>, <Fig. 4>와 같다.

3현시 최적화 신호 적용 시 교차로 총 제어지체를 살펴보면 주도로의 좌회전 교통량의 비율이 증가할수록 교차로의 제어 지체가 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 중방향 비율이 높아질수록 증가 폭도 커지는 것으로 나타났다. 교차로의 주도로 좌회전 비율이 40%, 50%일 때에는 중방향 교통량 비율에 상관 없이 모든 경우, 교차로의 서비스 수준이 E로 나타났으며, 좌회전 비율이 37.5%인 경우 중방향교통량 비율이 50%인 경우를 제외하고 모두 서비스 수준이 E로 나타났다.

TPCLT 신호 적용 시 교차로 총 제어지체를 살펴 본 결과, 좌회전 교통량 증가에 따른 교차로의 총 제어 지체 증가의 폭이 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 작은 것으로 나타났다. 교차로의 주도로 좌회전 비율이 50%인 경우에는 모두 서비스 수준이 E로 나타났으며 좌회전 비율이 40%인 경우에는 중방향 비율이 50%, 55%인 경우를 제외하고 모두 서비스 수준이 E로 나타났다. 교차로의 좌회전 교통량이 35% 이하인 경우 중 방향의 비율과 상관없이 모두 서비스 수준이 D 이상인 것으로 나타났으며 좌회전 교통량이 37.5% 인 경우, 중방향의 비율이 75% 인 경우를 제외하고 모두 서비스 수준이 D 이상인 것으로 나타났다.



<Fig. 3> Control delay when applying the optimization signal



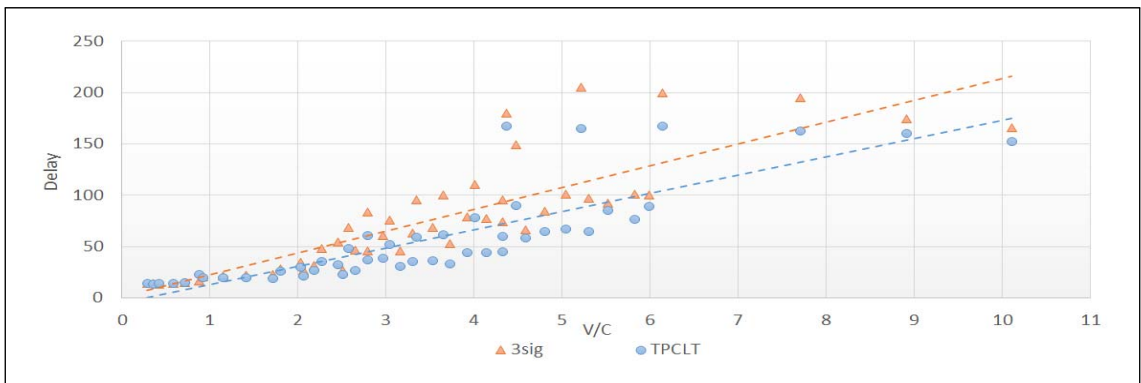
<Fig. 4> Control delay when applying the TPCLT signal

3현시 최적화 신호 적용 시와 TPCLT 신호 적용 시, 교차로의 총 제어지체 차이를 비교한 결과 <Table 3>과 같이 나타났다. 대부분의 시나리오에서 TPCLT 신호 적용 시 지체 감소가 있는 것으로 나타났으며 지체 감소의 폭도 큰 것으로 나타났다. 전체 시나리오 중 좌회전 교통량 비율이 10%인 3개의 시나리오(Scenario 1, 17, 41)에서는 3현시 최적화 신호 적용 시 지체가 더 낮게 나타났으나 TPCLT 신호 적용 시와 지체 차이가 크지 않은 것으로 분석되었다. 전체 시나리오에서 TPCLT 신호 적용 시 평균 지체 감소 값은 17.72초로 나타났으며, 좌회전 교통량 비율이 32.5% 이상인 경우 전체 평균지체가 20초 이상 감소하는 것으로 나타났다.

<Table 3> Control delay and LOS when applying the optimization signal and TPCLT signal

Main line traffic percentage	Signal type	Left turn traffic percentage							
		10.00%	20.00%	30.00%	32.50%	35.00%	37.50%	40.00%	50.00%
50%	① Optimization	14.1(A)	20.4(B)	28.67(B)	34.81(C)	48.13(C)	68.97(D)	83.86(E)	180(F)
	② TPCLT	14.22(A)	19.74(B)	26.4(B)	30.26(C)	35.62(C)	48.18(C)	61.15(D)	167.56(F)
	① - ②	-0.12	0.66	2.27	4.55	12.51	20.79	22.7	12.44
55%	① Optimization	14.15(A)	21.33(B)	31.92(C)	54.67(D)	45.56(C)	75.86(E)	95.16(E)	205.38(F)
	② TPCLT	13.76(A)	19.6(B)	26.63(B)	32.49(C)	36.9(C)	52.19(D)	59.6(D)	164.77(F)
	① - ②	0.4	1.73	5.29	22.18	8.66	23.66	35.57	40.61
60%	① Optimization	13.69(A)	22.32(B)	47.01(C)	60.59(D)	63.54(D)	100.35(F)	110.36(F)	199.74(F)
	② TPCLT	13.89(A)	19.67(B)	27.19(B)	38.6(C)	35.46(C)	61.82(D)	78.23(E)	167.3(F)
	① - ②	-0.2	2.65	19.83	22	28.07	38.53	32.13	32.43
65%	① Optimization	14.53(A)	23.14(B)	45.47(C)	68.65(D)	79.13(E)	95.18(E)	149.33(F)	194.93(F)
	② TPCLT	14.14(A)	19.15(B)	30.92(C)	36.01(C)	44.51(C)	60.37(D)	90(E)	162.28(F)
	① - ②	0.39	3.99	14.55	32.64	34.61	34.81	59.33	32.65
70%	① Optimization	14.94(A)	26.91(B)	52.56(D)	77.19(E)	66.2(D)	100.71(F)	92.27(E)	174.33(F)
	② TPCLT	14.82(A)	21.16(B)	33.2(C)	44.42(C)	58.74(D)	66.82(D)	85.37(E)	160.24(F)
	① - ②	0.12	5.75	19.36	32.77	7.46	33.89	6.9	14.09
75%	① Optimization	17(B)	26.95(B)	73.9(E)	84.57(E)	97.02(E)	101.02(F)	100.35(F)	166.06(F)
	② TPCLT	23.24(B)	22.71(B)	45.13(C)	64.8(D)	64.82(D)	76.82(E)	89.6(E)	152.03(F)
	① - ②	-6.24	4.24	28.77	19.77	32.2	24.2	10.74	14.02

전체 시나리오의 분석 결과 값 중 좌회전 대기차로의 용량대비 주도로의 좌회전 교통류(①direction)의 교통량을 이용하여 v/c 값을 계산하여 좌회전 교통류의 v/c 값에 따른 차량 당 평균 제어지체를 비교해 본 결과 <Fig 5>와 같이 나타났다. TPCLT와 3현시 최적화 신호 적용시의 좌회전 교통류(①direction)의 평균 제어 지체를 비교해 본 결과, v/c 값이 2 이하인 경우 TPCLT와 3현시의 지체 차이 값이 적은 것으로 나타났다. 그러나 v/c 값이 2이상인 경우 TPCLT 적용 시, 지체 감소가 더 큰 것으로 나타났다.



<Fig. 5> Control delay by v/c of left turn traffic(①direction) when applying the optimization signal and TPCLT signal

TPCLT 신호와 3현시 최적화 신호 적용시의 교차로 총 제어 지체와 두 신호간의 지체 차이를 고려하여 주도로의 중방향 교통량 비율과 주도로 좌회전 비율에 따라 TPCLT 신호 적용 시 효과가 높은 부분을 <Table 4>와 같이 제시하였다. 빗금 친 부분은 TPCLT 신호 적용 시와 3현시 최적화 신호 적용시의 교차로 지체 차이가 10초 이하인 구간으로 두 신호간의 지체 차이가 작아 TPCLT 신호 적용 효과가 없거나 미미한 부분이다. 음영 부분의 경우 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 총 제어 지체 감소가 큰 부분이며, 음영 또는 빗금치 채워지지 않은 부분은 TPCLT 신호 적용 시 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 교차로 제어 지체가 25초 이상 감소하여 지체 감소 효과는 높으나, 교차로의 서비스 수준이 E 이하로 나타나 교차로의 혼잡 완화를 위해서는 물리적인 용량 증대가 필요한 부분이다.

<Table 4> Control delay and LOS when applying TPCLT signal and differences of control delay when applying the optimization signal and TPCLT signal

Main line traffic percentage	Left turn traffic percentage							
	10.00%	20.00%	30.00%	32.50%	35.00%	37.50%	40.00%	50.00%
50%	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4	scenario 5	scenario 6	scenario 7	scenario 8
	14.22(A) (-0.12)	19.74(B) (0.66)	26.40(B) (2.27)	30.26(C) (4.55)	35.62(C) (12.51)	48.18(C) (20.79)	61.15(D) (22.70)	167.56(F) (12.44)
55%	scenario 9	scenario 10	scenario 11	scenario 12	scenario 13	scenario 14	scenario 15	scenario 16
	13.76(A) (0.40)	19.60(B) (1.73)	26.63(B) (5.29)	32.49(C) (22.18)	36.90(C) (8.66)	52.19(D) (23.66)	59.60(D) (35.57)	164.77(F) (40.61)
60%	scenario 17	scenario 18	scenario 19	scenario 20	scenario 21	scenario 22	scenario 23	scenario 24
	13.89(A) (-0.20)	19.67(B) (2.65)	27.19(B) (18.83)	38.60(C) (22.00)	35.46(C) (28.07)	61.82(D) (38.53)	78.23(E) (32.13)	167.30(F) (32.43)
65%	scenario 25	scenario 26	scenario 27	scenario 28	scenario 29	scenario 30	scenario 31	scenario 32
	14.14(A) (0.39)	19.15(B) (3.99)	30.92(C) (14.55)	36.01(C) (32.64)	44.51(C) (34.61)	60.37(D) (34.81)	90.00(E) (59.33)	162.28(F) (32.65)
70%	scenario 33	scenario 34	scenario 35	scenario 36	scenario 37	scenario 38	scenario 39	scenario 40
	14.82(A) (0.12)	21.16(B) (5.75)	33.20(C) (19.36)	44.42(C) (32.77)	58.74(D) (7.46)	66.82(D) (33.89)	85.37(E) (6.90)	160.24(F) (14.09)
75%	scenario 41	scenario 42	scenario 43	scenario 44	scenario 45	scenario 46	scenario 47	scenario 48
	23.24(B) (-6.24)	22.71(B) (4.24)	45.13(C) (28.77)	64.80(D) (19.77)	64.82(D) (32.20)	76.82(E) (24.20)	89.60(E) (10.74)	152.03(F) (14.02)

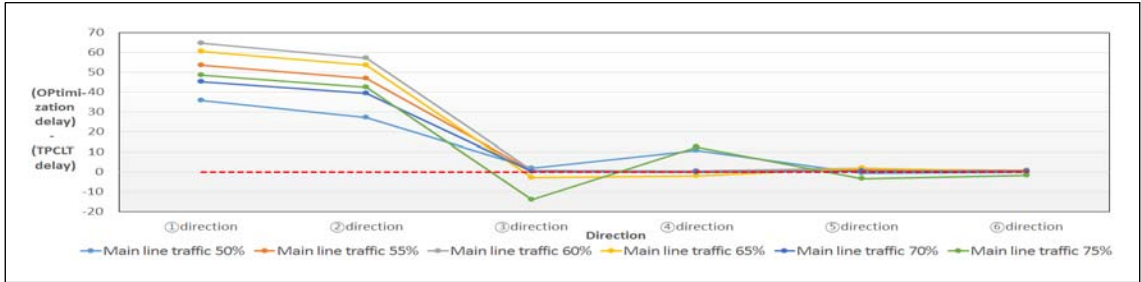
TPCLT 신호 적용 시 교차로 혼잡 완화에 효과가 있다고 판단되는 음영 부분에 해당하는 22개의 시나리오에서 대해서 3현시 최적화 신호 적용 시와 TPCLT 신호 적용시의 접근로별 제어지체를 비교·분석 하였으며, 분석한 결과는 <Table 5>, <Fig. 6>, <Fig. 7>, <Fig. 8>과 같다.

접근로별 제어지체의 평균값을 살펴보면 <Table 5>와 같다. 주도로에서 좌회전 신호가 제공되는 방향의 좌회전교통류(①direction)의 경우 TPCLT 신호 적용 시 지체가 60.95초, 3현시 최적화 신호 적용 시 지체가 117.70초로 50.75초의 지체 감소가 있는 것으로 나타났다. 같은 방향의 직진 교통류(②direction)의 경우 TPCLT 신호 적용 시 40.88초, 최적화 3현시 신호 적용 시 84.69초로 43.82초의 지체 감소를 나타냈다. 대향차로 교통류의 경우 직진 교통류(③direction)와 우회전 교통류(④direction)의 두 신호 간의 지체 차이는 각각 -2.36초, 3.75초로 나타났으며 부도로(⑤direction, ⑥direction)의 경우 1초 이하의 지체 차이를 나타냈다.

<Table 5> Control delay when applying the optimization signals and TPCLT signals

Classification		①direction		②direction		③direction		④direction		⑤direction		⑥direction	
		Optimization	TPCLT	Optimization	TPCLT	Optimization	TPCLT	Optimization	TPCLT	Optimization	TPCLT	Optimization	TPCLT
Main line traffic 50%	scenario 4	55.44	40.60	17.20	10.13	24.89	22.43	41.72	40.51	74.69	74.24	20.61	20.78
	scenario 5	80.26	41.78	41.02	12.28	29.97	50.63	48.29	31.87	75.09	75.45	21.34	21.55
	scenario 6	82.80	40.89	45.92	11.86	72.32	58.76	93.97	81.97	73.95	75.50	19.93	20.03
	scenario 7	110.30	63.08	71.49	33.05	102.44	90.43	79.28	66.17	74.33	75.95	20.10	19.97
	Average	82.20	46.59	43.91	16.83	57.40	55.56	65.82	55.13	74.51	75.29	20.50	20.58
Main line traffic 55%	scenario 12	100.96	47.82	66.09	20.00	17.61	16.94	39.21	38.91	74.59	74.12	16.93	17.49
	scenario 13	68.80	48.94	36.02	22.58	27.39	25.14	50.23	47.60	76.30	74.06	18.44	16.98
	scenario 14	131.07	75.52	96.89	49.15	33.16	30.96	56.55	54.32	75.24	74.21	18.05	17.18
	scenario 15	158.29	72.32	125.94	45.93	74.27	77.58	49.61	53.34	75.83	74.83	17.96	16.77
	Average	114.78	61.15	81.23	34.42	38.11	37.65	48.90	48.54	75.49	74.30	17.84	17.11
Main line traffic 60%	scenario 20	104.34	55.59	75.05	32.86	17.35	16.53	41.34	41.99	76.71	73.96	14.96	14.97
	scenario 21	105.68	45.16	76.92	23.88	21.84	20.72	47.64	46.88	75.53	74.08	15.06	14.68
	scenario 22	176.58	91.68	146.88	70.51	28.45	27.80	55.44	54.53	75.66	74.04	14.75	14.83
	Average	128.87	64.15	99.62	42.42	22.55	21.68	48.14	47.80	75.97	74.03	14.92	14.83
Main line traffic 65%	scenario 27	73.68	40.94	46.78	22.75	39.61	39.89	12.45	13.02	76.99	74.76	11.99	12.01
	scenario 28	112.95	47.46	87.96	29.34	15.36	15.83	43.76	44.16	76.95	74.33	11.90	12.12
	scenario 29	130.12	59.58	105.54	42.13	19.03	19.29	48.79	49.16	74.96	74.26	12.02	12.39
	scenario 30	154.55	81.93	131.47	63.80	23.43	33.71	56.02	62.49	75.38	73.46	12.41	11.87
	Average	117.82	57.48	92.94	39.51	24.36	27.18	40.26	42.21	76.07	74.20	12.08	12.10
Main line traffic 70%	scenario 35	79.34	42.07	59.12	27.51	42.50	43.47	11.85	11.53	76.21	75.04	9.55	9.73
	scenario 36	121.22	59.24	100.84	44.60	13.51	13.25	45.30	46.95	75.31	75.59	9.81	9.56
	scenario 37	98.53	81.27	78.94	67.63	15.84	15.07	50.24	50.92	75.87	75.77	10.02	9.65
	scenario 38	156.15	91.82	135.66	77.86	22.20	21.08	59.95	58.75	74.94	74.42	9.59	9.50
	Average	113.81	68.60	93.64	54.40	23.51	23.22	41.83	42.04	75.58	75.21	9.74	9.61
Main line traffic 75%	scenario 43	98.27	47.85	82.52	37.19	3.07	41.81	41.58	4.52	176.16	185.60	22.55	23.96
	scenario 44	116.30	80.98	99.69	70.29	3.27	5.01	43.33	43.29	175.85	169.04	20.30	18.85
	scenario 45	136.51	76.80	119.47	66.75	3.77	5.27	45.12	44.95	178.35	186.23	19.44	24.95
	Average	117.03	68.54	100.56	58.08	3.37	17.36	43.34	30.92	176.79	180.29	20.76	22.59
Total Average delay by direction		111.70	60.95	84.69	40.88	28.46	30.82	48.04	44.29	93.12	93.01	16.02	16.19
Optimization delay TPCLT delay		50.75		43.82		-2.36		3.75		0.11		-0.17	

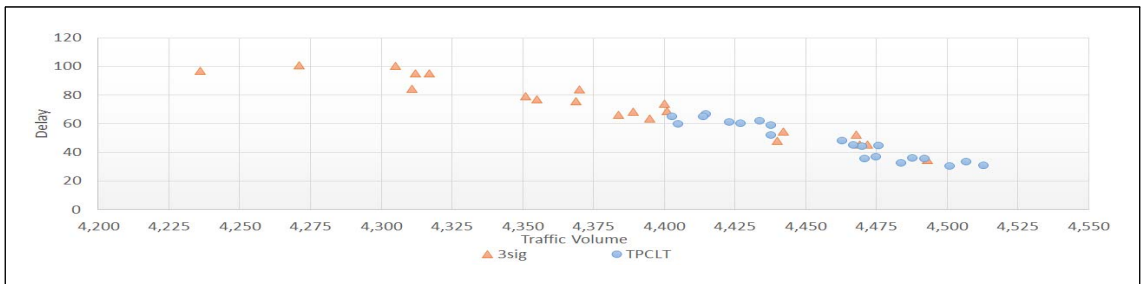
접근로별 제어지체를 중방향 교통량을 기준으로 좌회전 교통량에 따른 접근로별 제어지체의 평균값을 산출하여 비교·분석한 그래프는 <Fig. 6>과 같다. 즉 중방향 교통량 비율이 50%인 경우, 좌회전 교통량이 10~50%인 경우의 시나리오 결과 값의 평균값을 산출하여 비교·분석하였다. 분석결과, 주도로의 ①direction, ②direction의 지체는 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났으며 대향차로인 ③direction, ④direction의 지체는 조금 감소하거나 증가 한 것으로 나타났다. 부도로의 ⑤direction, ⑥direction의 경우 지체 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.



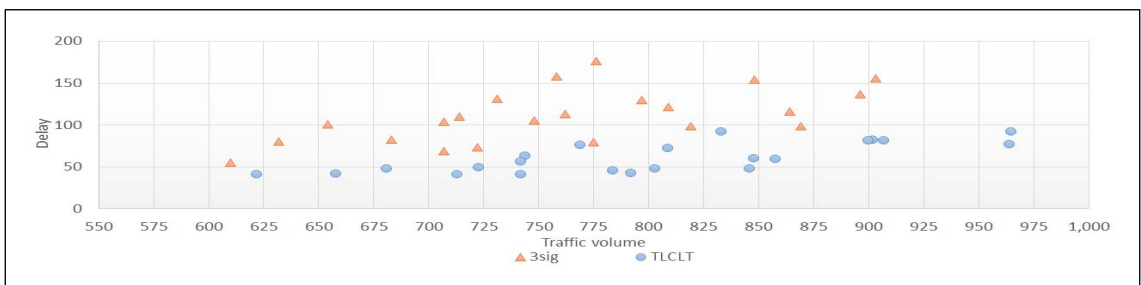
<Fig. 6> Differences of control delay by main line traffic volume when applying the optimization signal and TPCLT signal

TPCLT 적용 시와 3현시의 최적화 신호 적용시의 교차로 총 처리 교통량에 따른 교차로 총 제어지체를 비교·분석해 보면 <Fig. 7>과 같다. 분석 결과, TPCLT 적용 시, 처리교통량에 따른 교차로 총 평균 제어지체가 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 낮게 나타났다. 3현시 최적화 신호의 경우, 좌회전 교통량이 일정 수준 이상으로 증가하는 교통류와, 중방향 차이가 일정수준 이상으로 증가하는 교통류에 대해서는 TPCLT보다 교통량 처리 효율이 낮은 것으로 나타났으며, TPCLT의 경우 위와 같은 교통류 상황에서도 4,400대 이상의 교통류 처리가 가능하며, 교차로 총 제어지체 또한 70초 이하로 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 낮은 것으로 나타났다.

주도로의 좌회전 교통류(①direction)의 처리 교통량에 따른 평균 제어지체를 비교해 본 결과, <Fig. 8>과 같이 나타났다. TPCLT 적용 시 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 더 낮은 지체로 교통류 처리가 가능한 것으로 나타났다. 3현시 최적화 신호 적용 시 좌회전 처리 교통량이 증가함에 따라 지체가 높아지는 것으로 나타났으나 TPCLT 신호 적용 시의 경우 증가의 폭이 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 낮게 나타났다. 또한 TPCLT 적용 시 100초 이하의 제어지체를 나타냈으나 3현시의 최적화 신호의 경우 제어지체가 170초 까지 증가하는 것으로 나타났다.



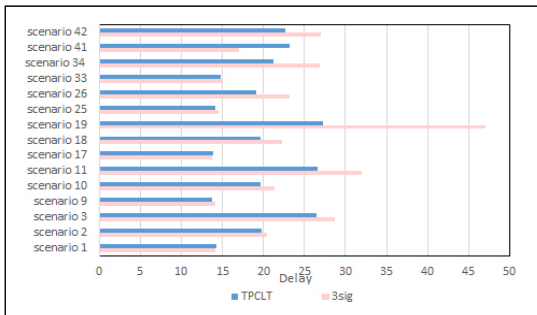
<Fig. 7> Control delay by traffic volume when applying the optimization signals and TPCLT signals



<Fig. 8> Control delay by traffic volume of left turn(①direction) when applying the optimization signal and TPCLT signal

<Table 4>에서 TPCLT 신호 적용 시 교차로 혼잡 완화에 효과가 없다고 판단되는 빗금 친 부분(15개 시나리오)과 음영 또는 빗금이 채워지지 않은 부분(11개 시나리오)에 해당하는 26개의 시나리오에서 대해서 3현시 최적화 신호 적용 시와 TPCLT 신호 적용시의 접근로별 제어지체를 비교·분석 하였다.

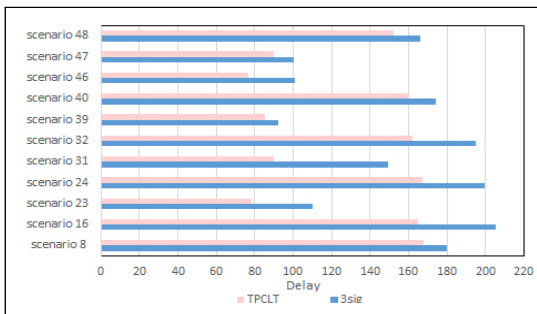
빗금 친 부분에 해당되는 15개의 시나리오 접근로별 제어지체 값과 시나리오의 평균 제어지체 값을 비교해 본 결과, <Fig. 9>와 같이 나타났다. TPCLT 신호 적용 시, 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 지체는 낮게 나타났으나 지체 차이 값이 크지 않은 것으로 나타났으며 두 신호 방법의 시나리오 대부분에서 교차로 총 제어지체가 30초 이하로 서비스 수준 B 이상을 나타냈다. 시나리오의 접근로별 제어지체의 평균값을 살펴보면, <Fig. 10>과 같이 나타났다. 주도로에서 좌회전 신호가 제공되는 방향의 좌회전교통류(①direction)와 같은 방향의 직진 교통류(②direction)의 경우 TPCLT 신호 적용 시 지체 감소가 있는 것으로 나타났으나, 대향차로의 직진 교통류(③direction) 및 부도로의 좌회전 교통류(⑤direction), 우회전 교통류(⑥direction)의 경우 TPCLT 적용 시 지체가 늘어나는 것으로 나타났다.



<Fig. 9> Control delay when applying the optimization signal and TPCLT signal(Slanting line sections)



<Fig. 10> Average of control delay by directions when applying the optimization signal and TPCLT signal(Slanting line sections)



<Fig. 11> Control delay when applying the optimization signal and TPCLT signal(Red line sections)



<Fig. 12> Average of control delay by directions when applying the optimization signals and TPCLT signals(Red line sections)

음영 또는 빗금이 채워지지 않은 부분에 해당되는 11개의 시나리오의 접근로별 제어지체 값과 시나리오의 평균 제어지체 값을 비교해 본 결과, <Fig. 11>과 같이 나타났다. TPCLT 신호 적용 시 3현시 최적화 적용 시 보다 교차로의 총 제어지체는 낮게 나타났으나 모든 시나리오에서 두 신호 적용 시 모두 교차로 총 제어지체가

70초 이상으로, 서비스 수준이 E 이하로 나타났다. 시나리오의 접근로별 제어지체의 평균값을 살펴보면, TPCLT 적용 시, 3현시 최적화 적용 시 보다 모든 방향의 교통류에서 평균 제어지체 값이 낮게 나타났으나, 두 신호 모두, 우회전 교통류(④direction)를 제외한 모든 방향 교통류의 평균 제어지체 값이 70초 이상으로 나타났다<Fig. 12>.

2. 교차로 좌회전 차로 길이에 따른 분석 결과

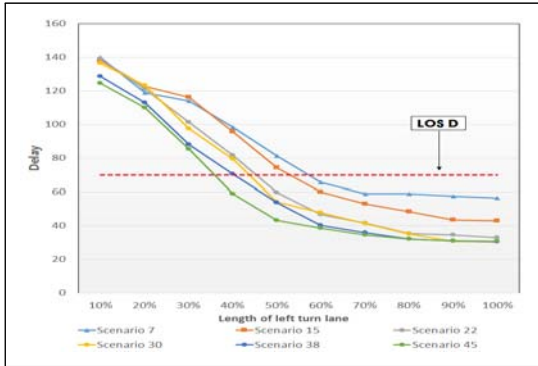
TPCLT 신호 적용 시 교차로 혼잡 완화에 효과가 있다고 판단되는 부분과 물리적인 용량 확보가 필요한 부분의 경계가 되는 구간에서 좌회전 차로 확보 길이에 따른 지체 변화를 분석하기 위해, <Table 4>의 TPCLT와 3현시 최적화를 비교 분석한 표에서, TPCLT 적용 시 서비스 수준이 D이고 최적화 신호 적용 시 서비스 수준이 E가 되는 시나리오 7, 15, 22, 30, 38, 45에 대하여 추가 분석을 수행하였다. 해당되는 시나리오에 대해서, 좌회전 전용차로의 길이에 따른 서비스 수준 변화를 비교·분석하기 위해, 적정 좌회전 차로 길이에서 10%를 확보하였을 때부터 100%를 확보 하였을 때 까지 시나리오 60개를 추가로 구축하여 분석을 하였다.

60개의 시나리오별 교통량 및 좌회전 차로길이는 <Table 5>와 같다. 각 시나리오별 좌회전 교통량에 따라, 적정 좌회전 차로 길이에서 10%를 확보한 경우부터 100%를 확보한 경우의 좌회전 차로 길이를 산출하였으며, 좌회전 차로 길이 및 교통량에 따라 시나리오를 구축하였다.

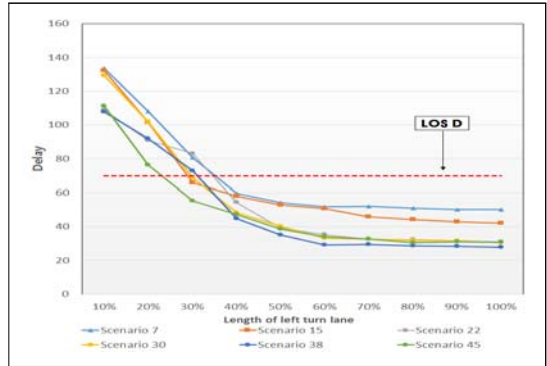
<Table 6> VISSIM analysis scenarios according to length of left turn lanes

Main line traffic percentage	Traffic volume by Direction		Length of left turn lane									
			scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
50%	①direction	770	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,155	7-1	7-2	7-3	7-4	7-5	7-6	7-7	7-8	7-9	7-10
	③direction	1,733	17m	34m	51m	6868m	86m	103m	120m	137m	154m	171m
	④direction	193	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)
55%	①direction	847	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,271	15-1	15-2	15-3	15-4	15-5	15-6	15-7	15-8	15-9	15-10
	③direction	1,559	20m	39m	59m	78m	98m	118m	137m	157m	176m	196m
	④direction	173	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)
60%	①direction	866	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,444	22-1	22-2	22-3	22-4	22-5	22-6	22-7	22-8	22-9	22-10
	③direction	1,386	21m	42m	63m	8484m	105m	125m	146m	167m	188m	209m
	④direction	154	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)
65%	①direction	938	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,564	30-1	30-2	30-3	30-4	30-5	30-6	30-7	30-8	30-9	30-10
	③direction	1,213	24m	48m	72m	96m	120m	143m	167m	191m	215m	239m
	④direction	135	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)
70%	①direction	1,011	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,684	38-1	38-2	38-3	38-4	38-5	38-6	38-7	38-8	38-9	38-10
	③direction	1,040	27m	54m	82m	109m	136m	163m	190m	218m	245m	272m
	④direction	116	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)
75%	①direction	1,011	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
	②direction	1,877	45-1	45-2	45-3	45-4	45-5	45-6	45-7	45-8	45-9	45-10
	③direction	866	28m	57m	85m	114m	142m	170m	199m	227m	256m	284m
	④direction	96	(10%)	(20%)	(30%)	(40%)	(50%)	(60%)	(70%)	(80%)	(90%)	(100%)

분석결과, 최적화 3현시 신호 적용 시 적정 좌회전 차로의 길이에서 40%, 50%를 확보 한 경우 일부 시나리오의 교차로 제어지체가 70초 이상으로 서비스 수준 E이하를 나타냈다. TPCLT 신호 적용 시의 경우에는 적정 좌회전 차로의 길이에서 40%만 확보한 경우에도 모든 시나리오에서 서비스 수준이 D 이상으로 나타났다. 적정 좌회전 차로 길이에서 70% 이상 좌회전 차로 길이를 확보한 경우에는 두 신호 적용 시 교차로의 제어지체 차이가 10초미만으로 나타나 TPCLT 신호 적용 효과 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.



<Fig. 13> Control delay according to length of left turn lane when applying the optimization signals



<Fig. 14> Control delay according to length of left turn lane when applying the TPCLT signals

좌회전 차로 길이별로 TPCLT 신호와 최적화 3현시 신호 적용시의 교차로 제어 지체를 비교한 결과 좌회전 차로 길이에 따라, TPCLT 신호 적용 시 효과가 높은 부분을 <Table 6>와 같이 제시하였다. 빗금 친 부분은 TPCLT 신호 적용 시와 3현시 최적화 신호 적용시의 교차로 지체 차이가 10초 이하인 구간으로 두 신호 간의 지체 차이가 작아 TPCLT 신호 적용 효과가 없거나 미미한 부분이다. 음영 부분의 경우 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 총 제어 지체 감소가 큰 부분이며, 빗금 또는 음영이 채워지지 않은 부분은 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 서비스 수준이 E 수준 이하로 나타나 교차로 혼잡 완화를 위해서는 물리적인 용량 증대가 필요한 부분이다.

<Table 7> Differences of Control delay according to length of left turn lane when applying the optimization signals and TPCLT signals

Classification	Left turn lane length									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Scenario 7 (Main line traffic 50%)	133.67 (6.37)	108.06 (10.87)	80.69 (33.46)	59.55 (38.82)	54.35 (27.03)	51.95 (13.78)	52.05 (6.92)	51.02 (7.89)	50.29 (7.26)	50.22 (6.22)
Scenario 15 (Main line traffic 55%)	132.16 (6.07)	101.50 (21.14)	65.72 (50.73)	58.02 (37.73)	52.90 (21.54)	50.68 (9.22)	45.87 (7.02)	44.29 (4.02)	42.86 (0.69)	42.28 (0.60)
Scenario 22 (Main line traffic 60%)	108.88 (30.32)	90.83 (30.23)	83.17 (18.25)	54.52 (26.98)	39.24 (20.61)	35.38 (11.39)	32.68 (8.94)	32.37 (3.05)	31.78 (2.95)	31.02 (1.89)
Scenario 30 (Main line traffic 65%)	129.38 (7.23)	102.00 (21.33)	68.80 (28.69)	48.25 (31.33)	40.16 (13.83)	33.37 (14.49)	32.70 (8.76)	31.99 (3.22)	31.70 (-0.95)	30.68 (0.01)
Scenario 38 (Main line traffic 70%)	107.87 (20.69)	91.98 (21.07)	72.76 (15.45)	44.98 (25.47)	35.05 (18.66)	29.35 (10.93)	29.45 (6.59)	28.61 (3.56)	28.54 (2.44)	27.84 (2.65)
Scenario 45 (Main line traffic 75%)	111.31 (13.41)	76.36 (33.74)	55.33 (30.20)	47.20 (11.81)	38.66 (4.52)	34.02 (4.57)	32.80 (1.78)	30.63 (1.48)	31.11 (-0.13)	30.81 (-0.01)

V. 결 론

TPCLT는 한 주기에 두 번의 좌회전 신호를 제공하는 신호 운영 방법으로 좌회전 교통량이 많고 적정 좌회전 차로 길이 확보가 어려운 교차로에서 사용 될 수 있는 신호 운영 개선 방법이다. 국내의 일부 교차로에서는 시범운영 중에 있으며, 시범 운영 중인 교차로를 대상으로 TPCLT 신호의 운영 효과를 분석한 결과 교차로 총 운영지체 감소에 효과적인 것으로 제시하고 있다.

본 연구에서는 현재 시범 운영 되고 있는 TPCLT 신호의 적용 방안에 대해 연구하기 위해, 표준화된 3지 교차로를 구축하고 교차로의 방향별 교통량을 증감 및 감소시켜 교통량별 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 제어지체 감소 효과를 3현시 최적화 신호와 비교·분석하였다. 주도로와 부도로의 교통량 비율은 TPCLT 신호가 시범 운영 되고 있는 국도 3호선의 ‘도평리 입구 교차로’의 주도로와 부도로의 교통량 비율을 고려하여 설정하였으며 분석 총 교통량은 도평리 입구 교차로의 통과 교통량의 약 85%인 해당 교차로의 근 포화 수준인 4,600대/시로 가정하여 시나리오를 분석하였다. 3지 교차로의 주도로 중방향 교통량을 50%에서 75% 까지 증가시키고, 주도로의 좌회전 교통량을 10%에서 50%까지 증가시켜 각각의 시나리오에 대해서 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 총 제어지체와 방향별 제어지체의 감소 효과를 분석하였다. 또한, 좌회전 차로 길이에 따른, TPCLT 적용 방안 연구를 위해, 좌회전 교통량에 따른 적정 좌회전 차로 길이에서 좌회전 차로를 10%를 확보한 경우부터 100%를 확보한 경우까지 시나리오를 구축하여 총 108개의 시나리오를 분석하였다.

분석결과, 본 연구에서 구축한 대다수의 시나리오에서 TPCLT 신호 적용 시 지체 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 중방향 교통량의 비율과 상관없이 좌회전 교통량 비율이 10%~30%인 경우 TPCLT 신호 적용 시 효과가 없거나 미미한 것으로 나타났으며, 좌회전 교통량 비율이 30%~40%인 경우 TPCLT 신호 적용 시 교차로의 총 제어지체의 감소가 큰 것으로 나타났다. 좌회전 교통량 비율이 40% 이상인 경우에는 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 TPCLT 적용 시 교차로의 총 제어지체는 감소하나 교차로의 서비스 수준이 E 이하로 분석되어 물리적인 용량 증대가 필요한 것으로 나타났다.

좌회전 교통량 비율이 10~30%인 경우 기존 최적화 3현시 신호 운영 만으로도 좌회전 교통류 처리가 가능하여 추가적인 교통신호 개선이 불필요한 것으로 나타났다. 좌회전 비율이 40% 이상인 경우, TPCLT 적용시 3현시 신호 적용시 보다 교차로 지체가 감소하고, 더 많은 좌회전 교통류 처리가 가능하나, 서비스 수준이 E 이하로 분석되어, 원활한 교통류 처리를 위해서는 좌회전 차로 용량 증대와 같은 물리적인 개선이 필요한 것으로 나타났다.

접근로 별 제어지체를 비교한 결과, TPCLT 신호 적용 시 주도로 중 좌회전 신호가 제공되는 방향의 교통류의 경우, 직진은 약 44초, 좌회전은 약 50초의 지체 감소를 나타냈으며, 대향차로의 직진은 약 2초 지체가 증가하였고 우회전은 약 3초 지체가 감소하였다. 부도로의 경우 지체 차이가 약 0.1초로 나타났다.

좌회전 차로의 길이에 따른 TPCLT 적용 효과를 분석한 결과, 좌회전 차로 길이를 적정 좌회전 차로 길에서 30%~60% 확보한 경우, TPCLT 신호 적용 시, 3현시 최적화 신호 적용 시 보다 교차로 혼잡 완화에 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

TPCLT 신호는 일반적으로 교차로에 적용되는 신호 운영 체계와 다른 한 주기에 한 방향 교통류의 신호를 두 번 제공하는 새로운 신호 운영 체계이다. 또한 현재 경기지역의 일부 교차로를 대상으로 시범 운영 되고 있어 한국의 운전자에게는 익숙하지 않은 신호 운영 체계이다. 이에 따라, TPCLT 적용 시, 교차로의 교통류 처리 효율뿐만 아니라 안전에 대한 부분을 우선적으로 검토해야 할 것이다. TPCLT 신호는 좌회전 교통량이 많고 물리적인 제약으로 인해 적정 좌회전 차로 길이 확보가 어려운 교차로에 적용하였을 때 효과적인 신호 운영 방법이다. 이에 따라, TPCLT 신호 적용 고려 시에는 좌회전 차로 길이, 주기 길이 및 현시, 횡단보도의

유무 및 횡단보도의 보행시간 등 해당 교차로에 대한 공학적인 검토를 우선적으로 진행해야 할 것이다. 이러한 공학적인 검토를 거쳐 교차로의 개선이 어렵다고 판단될 경우, TPCLT 적용 여부를 고려 할 수 있다. TPCLT 적용 시에는 TPCLT 신호 체계에 대한 안내 및 주의 표지판을 충분히 설치하여 운전자가 기존 익숙한 신호 운영 체계를 예측하여 출발하는 예측 출발 등의 문제가 발생하지 않도록 주의해야 할 것이다. 또한, TPCLT 신호의 경우, 3현시 신호와 달리, 주도로의 좌회전 신호가 제공된 후 주도로의 대향차로 직진 신호가 제공되므로 이에 따른 교차로 꼬리 물기, 대향차로의 직진차량과 좌회전 차량의 사고 위험 등에 대한 고려도 충분히 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 3지 교차로를 대상으로 TPCLT 신호 적용 방안을 분석하였지만 4지 교차로를 대상으로 한 추가 분석이 필요할 것으로 판단되며 보행량과 보행신호 및 곡선반경, 종단경사 등 교차로 설치위치의 기하구조를 고려한 추가 분석 또한 필요 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 3지 교차로의 총 분석 교통량을 4,600대/시로 한정하여 분석이 수행되었으므로 교차로의 총 분석 교통량을 증감 및 감소 시켜 교차로의 총 교통량 값에 따른 TPCLT 및 3현시 신호의 효과에 대한 비교·분석이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Corey et al.(2012), “Improving Intersection Performance with Left Turn Phase Reservice Strategies,” *International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2012 15th*, pp.406-408.
- NAZTEC(2000), *TecNote 1102 - Twice Per Cycle Left-Turn & Double Cycle Operation*.
- Oh et al.(2017), “A Study of TPCLT(Twice Per Cycle Left-Turn) Operation Impact at Three-legged Signalized Intersection,” *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 3, pp.50-58.
- SHA(State Highway Administration)(March 2011), *Traffic Signal Phase Sequence Guidance Document*, p.27.
- TRB(Transportation Research Board)(2015), *NCHRP REPORT 812 Signal Timing Manual(Second Edition)*, pp.9-4,12-9,12-10.