

대기행렬 소거시간을 고려한 회전교차로 실시간 신호미터링 운영 연구

A Study on Real Time Signal Metering Operation at Roundabouts by Considering Queue Clearance Time

이 슬* · 안 우 영** · 이 선 하*** · 조 한 선****

* 주저자 : 국립공주대학교 건설환경공학과 박사과정
 ** 교신저자 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수
 *** 공저자 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수
 **** 공저자 : 한국교통연구원 연구위원

Sol Lee* · Woo-Young Ahn** · Seonha Lee*** · Han-Seon Cho****

* Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
 ** Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
 *** Dept. of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
 **** Dept. of Road Transport Research, The Korea Transport Institute
 † Corresponding author : Woo-Young Ahn, ahnwy@kongju.ac.kr

Vol.17 No.6(2018)

December, 2018

pp.133~133

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.6.133)

2018.17.6.133

Received 12 November 2018

Revised 20 November 2018

Accepted 22 November 2018

© 2018. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

회전교차로(Roundabouts)는 비교적 교통량과 보행자가 적은 교차로에 신호등 없이 설치되어 원형교통섬을 한 방향으로 회전하여 통행하는 비신호 교차로이다. 회전교차로 설치이후 비정상적인 교통수요 발생 및 보행량 증가 시 운영효율성 감소에 따른 대처방안으로 회전교차로 신호미터링(Signal Metering)에 대한 연구가 다수 진행되고 있다. 그러나 기존의 신호미터링 운영 알고리즘(Algorithm)은 양보선과 검지시간 사각지대 및 회전차로에 존재하는 차량의 대기행렬을 고려하지 못하는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)을 고려한 실시간 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘을 제시하고 VISSIM의 Com-Interface를 활용하여 그 효과를 분석하였다. 분석결과 총 진입교통량 3,200~4,800대/시에 대기행렬 소거시간 21~50초를 적용 시 차량 당 평균지체가 16.1~71.7%까지 크게 감소하는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 회전교차로, 원형교통섬, 신호미터링, 대기행렬 소거시간

ABSTRACT

Roundabouts are generally installed at which traffic and pedestrian volume is relatively small intersections, and hence traffic can flow one direction around a circular island without traffic lights. A number of researches for roundabout signal metering have been processing ways to deal with operation efficiency drops in conditions of unusual traffic and pedestrian volume increases. However, there is still a shortcoming exists in previous operation algorithm does not consider the hidden vehicles between yield lines and detectors and queueing vehicles in circular lanes. These queueing vehicles between them can be cleared by introducing the queue clearance time. The purpose of this research is developing a real time signal metering operation algorithm by considering the vehicle queue clearance time. The results of varying queue clearance time application show that there is a

substantial average vehicle delay reduction in VISSIM Com-Interface simulation. When the total number of entering vehicle is 3,200~4,800 vehicle/hour with varying queue clearance time application 21~50 seconds gives average delay reduction per vehicle by 16.1~71.7%.

Key words : Roundabouts, Circular Island, Signal Metering, Queue Clearance Time

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

행정안전부는 교통사고 예방과 교통운영체계 선진화 방안의 일환으로 2010년부터 회전교차로 설치사업을 추진해 오고 있으며, 일반 교차로 중에서 신호등이 없거나 상대적으로 신호대기시간이 불필요하게 길어 신호통제 필요성이 낮은 교차로를 회전교차로로 전환하는 사업을 진행하고 있다. 현재까지 회전교차로는 전국에 1,110개소가 설치되어 있으며 내년까지 신호등 없는 로터리 26개소를 추가적으로 회전교차로 예산에 반영해 지원할 계획이다.

일반적으로 회전교차로는 비교적 교통량(450대/시/차선 이하)과 보행자가 적은 교차로에 설치되며, 차량과 보행자간 상충횡수가 적고 진입속도가 낮다는 이유로 비신호 교차로로 운영되고 있다. 신호교차로와는 달리 신호등 없이 원형교통섬을 회전차량 우선원칙에 따라 한 방향으로 통행하는 회전교차로는 출·퇴근 시간대 및 특정 시간대에 접근로별 교통량 증가 시 일시적으로 지체가 증가하면서 회전교차로 본래의 기능을 상실할 수도 있다. 미국, 영국, 호주 등 회전교차로가 오래전에 정착된 선진외국의 경우 침두시 또는 비정상적인 교통수요 및 보행량 증가 시 지체발생에 대한 대처 방안으로 신호미터링을 도입하여 운영하고 있다.

최근 회전교차로 설치이후 비정상적인 교통수요 발생 및 보행량 증가 시 운영효율성 감소에 따른 대처방안으로 회전교차로 신호미터링(Signal Metering)에 대한 연구가 다수 진행되고 있다. 그러나 기존의 신호미터링 운영 알고리즘(Algorithm)은 양보선으로부터 50~100m 위치에서 검지기의 점유시간을 고려하여 신호미터링을 운영하는 알고리즘으로 양보선(Yield Line)과 검지기(Detector)간 사각지대에 존재하는 차량 및 보행신호 동안 진출부에서 대기 중인 차량들로 인해 회전차로 내에 존재하는 대기행렬을 고려하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)을 고려한 실시간 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘을 제시하고 VISSIM을 활용하여 그 효과를 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 교통류 분석프로그램인 VISSIM을 활용하여 효과적도(차량 당 평균제어지체)를 분석하였으며, 대기행렬 소거시간(Clearance Time)을 고려한 실시간 신호미터링 운영에 따른 효과평가를 수행하였다. 연구수행방법은 다음과 같다.

첫째, 기존 회전교차로의 신호미터링 운영에 관한 선행연구에 대해 이론적 고찰을 수행하고 시사점 및 연구방향을 도출하였다.

둘째, 회전교차로 신호미터링을 위한 차량 및 보행자 검지체계를 구축하고 미터링 신호, 신호 연장여부, 보행신호(Push Button)를 설정하였으며, 진입교통량에 따른 분석 시나리오를 설정하였다.

셋째, 포아송분포(Poisson Distribution)를 활용하여 진입교통량에 따른 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)을 분석하였다.

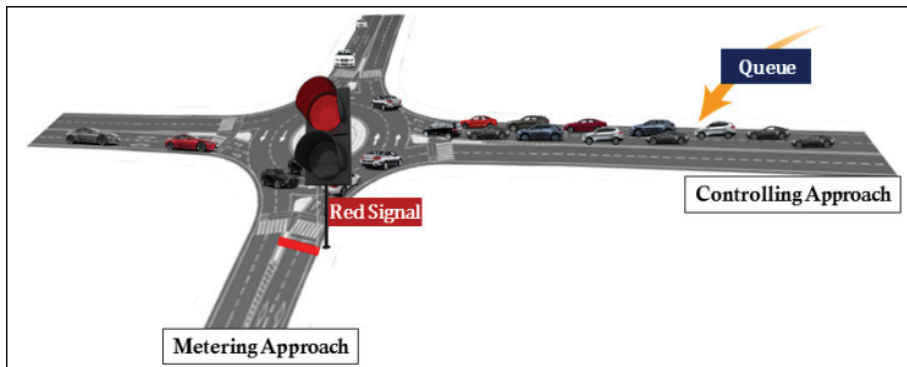
넷째, VISSIM에서 제공하는 COM Interface 모듈을 활용하여 진입교통량별 대기행렬 소거시간 시나리오에 따른 분석을 수행하였다.

다섯째, 시뮬레이션 분석결과를 바탕으로 대기행렬 소거시간을 고려한 회전교차로 실시간 Signal Metering 운영방안을 제시하였다.

II. 문헌고찰

1. 신호미터링(Signal Metering)

회전교차로에서 신호체계를 운영하는 것을 신호미터링(Signal Metering)이라 칭하며 회전교차로 실시간 신호미터링이란, 평상시에는 무신호 회전교차로로 운영되다가 불균등 교통상황 발생 시 대기행렬이 발생한 진입로(Controlling Approach)의 좌측 진입로(Metering Approach)에 적색시간을 부여하여 대기행렬이 발생한 진입로의 교통량이 빠르게 처리될 수 있도록 하는 방법이다. 즉 회전교차로의 소통이 원활하지 못할 경우, 좌측 진입로의 진입교통류를 통제함으로써 회전교통류에 적정 진입간격을 확보하여 진입교통류가 회전교차로에 원활히 진입할 수 있도록 하는 회전교차로 신호운영 기법으로 고속도로 진입로에 설치된 신호등의 녹색신호를 조정함으로써 진입교통량을 조절하여 지·정체를 완화하는 램프미터링(Ramp Metering)과는 다른 개념이다.



<Fig. 1> Roundabout Signal Metering

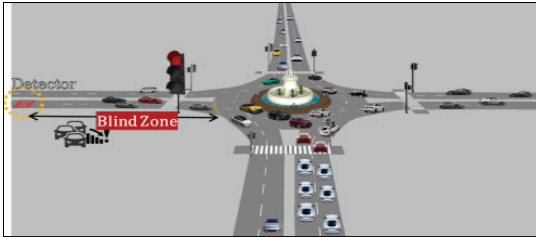
2. 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)

신호교차로에서는 각 접근로마다 정지선 후방으로 생성되는 대기행렬 길이는 한주기 동안 최대대기행렬(Maximum Queue)과 후방최대대기행렬(Maximum Back of Queue)의 두 가지 형태의 대기행렬 길이를 가지며, 적색과 녹색신호의 반복에 따라 대기행렬의 생성 및 소멸을 반복하게 된다. 차량의 흐름이 중단될 때마다 다른 방향의 교통류가 교차로에 진입하기 전 안전을 위해 교차로 정리시간이 필요하다. 이때 교차로 내 잔류차량의 소거를 위해 일정시간 모든 접근방향에 대해 적색등화를 시켜주는 전적색시간(All Red Time)을 통해 대기행렬 소거시간을 가지게 된다.

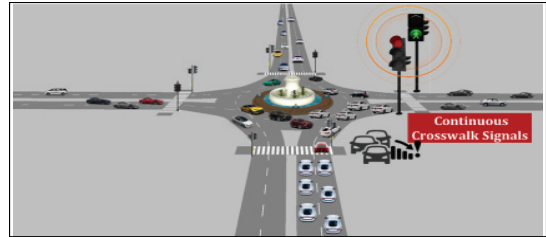
본 연구에서는 회전교차로 신호미터링 운영 시 다음과 같이 발생할 수 있는 잔류차량을 위해 일정시간 무신호회전교차로로 운영하는 것을 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)으로 정의한다.

Case 1 연속적으로 미터링신호 부여 시 양보선(Yield Line)과 검지기(Detector)간 사각지대에 존재하는 차량의 대기행렬을 고려하지 못하는 상황

Case 2 보행신호 동안 진출부에서 대기 중인 차량들로 인해 회전차로 내 대기행렬이 길어져 교차로를 빠져나가지 못하게 되는 상황



<Fig. 2> Case 1: Queue in Blind Zone



<Fig. 3> Case 2: Continuous Crosswalk Signals

3. 선행연구고찰 및 시사점

Akcelik(2011)은 호주 멜버른의 회전교차로에 신호미터링을 적용하여 회전 및 진입로 제어에 따른 지체시간, 대기행렬길이, 정지율 등을 효과적으로 하여 회전교차로 신호미터링 운영에 따른 효과분석을 수행하였다. 분석결과, 회전교차로에 일반적인 신호시간을 적용한 것 보다 더 낮은 신호주기를 제공하는 것으로 분석되었다.

Park(2015)은 회전교차로 진입차로별 교통량, 검지기의 이격거리, 진입차로 통제시간 등에 대한 시나리오를 구축하여 VISSIM을 활용한 다양한 조건의 시뮬레이션을 통해 회전교차로 신호미터링의 도입 전·후 결과를 VISSIM에서 제공하는 VisVAP 모듈을 활용하여 분석하였다. 분석결과, 진입교통류의 좌회전 비율이 증가할수록 신호미터링을 통한 회전교차로의 지체 감소 효과는 증가하였으며, 검지기 간격의 경우 40m일 때, 미터링 진입로의 적색시간 길이가 10초 혹은 20초 일 때, 통제접근로(Controlling Approach)의 교통량이 450~650대/시의 경우 신호미터링의 효과가 비교적 높은 것으로 분석되었다.

Lee(2015)은 전환 기준에서 진입교통량이 균등할 경우 회전교차로의 효율을 높이는 방법을 제시하고 검증하였다. 연구 결과, 회전교차로에 시계방향으로 120초 주기, 4현시 체계의 신호를 운영할 경우 회전교차로의 기하구조를 유지하면서 운영효율을 높일 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 신호교차로와 차량 1대당 평균지체를 비교분석한 결과 좌회전 비율이 10%일 때 575대/시/차로에서, 좌회전 비율이 20%일 때 500~600대/시/차로에서, 좌회전 비율이 30%일 때 425~600대/시/차로에서 신호교차로보다 운영효율이 우수한 것으로 나타났다.

Lee and Ahn(2016)는 1차로형 4지 회전교차로를 대상으로 동적 신호미터링 운영알고리즘을 제시하였고, 효과분석은 VISSIM의 COM Interface(Visual Basic Application) 기능을 활용하였다. 분석결과 인접한 두 진입로를 한 쌍(Pair)으로 묶고 미터링진입로의 교통량이 통제진입로의 교통량 보다 작은 경우 실시간 신호미터링 운영 효과가 높은 것으로 분석되었다. 특히, 1차로형 4지 회전교차로를 기준으로 총 진입교통량이 1,600대/시일 때 차량 당 평균지체가 70.9~102.2초/대로 73.8~77.8% 감소하는 것으로 분석되었다.

Martin-Gasulla et al.(2016)는 불균등한 교통량 패턴을 갖는 회전교차로의 운영을 개선하기 위해 미터링 시스템을 제시하였다. 분석결과, 미터링 시스템은 더 긴 대기행렬을 해소할 수 있으며 용량 증대는 길어진 간격의 비율 증가와 차량추종시간 감소로 인해 회전교차로에 진입하는 교통량이 증가 하는 것으로 나타났으며, 교통운영 및 불균등 교통류의 흐름이 개선되는 것으로 분석되었다.

Lee et al.(2017)는 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 차량 및 보행자를 고려한 신호미터링 운영알고리즘

에 대해 VISSIM의 COM Interface(Visual Basic Application) 기능을 활용하여 효과분석을 수행하였다. 분석결과 회전교차로에 고정식 보행신호를 설치하여 운영할 경우 차량 당 평균지체는 전체적으로 증가하는 것으로 분석되었으며, 특히 총 진입교통량 3,800대/시에서 최대 51.4초/대로 42.5%까지 증가하였다. 반면 보행자 Push Button과 차량 신호미터링을 접목하여 신호미터링을 운영할 경우 차량 당 평균지체는 총 진입교통량 3,000대/시에서 최대 40.6초/대로 42.7%까지 감소하였다.

기존 연구검토 결과, 회전교차로 신호미터링 운영에 대한 연구가 다수 진행되어왔으나 기존의 회전교차로 신호미터링 운영 알고리즘은 양보선으로부터 50~100m 검지기의 점유시간을 고려하여 신호미터링을 진행하는 알고리즘으로 양보선(Yield Line)과 검지기(Detector)간 사각지대에 존재하는 차량의 대기행렬을 고려하지 못하는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 기존 알고리즘의 단점을 보완하여 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)을 고려한 실시간 회전교차로 신호미터링 운영 방안을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 시뮬레이션을 활용한 실시간 신호미터링 효과분석

1. 분석시나리오 설정

본 연구에서는 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 실시간 신호미터링 운영 시 대기행렬 소거시간 미적용(Do-Not), 적용(Do)에 따른 분석을 위해 다음 <Table 1>과 같이 분석시나리오를 설정하였다.

미적용(Do-Not) : 기존 실시간 신호미터링 운영

적용(Do) : 대기행렬 소거시간을 고려한 실시간 신호미터링 운영

각 대안별 비교를 위해 회전교차로 설계지침(MOLIT, 2017)에 제시된 회전교차로 전환기준(신호교차로 검토 가능 영역)을 기반으로 총 진입교통량 3,200~4,800대/시 범위에서 보행량 250명/시, 좌회전 비율 30%, 차량검지기 이격거리 50m로 설정하였으며, 교통류 분석프로그램인 VISSIM의 COM-Interface 모듈과 연계하여 시나리오에 따른 분석을 수행하였다.

<Table 1> Scenarios for the Simulation Analysis

Target Intersection	4 Legs with 2 Lane entries Roundabout		
Volume(veh/h)	3,200 / 3,600 / 4,000 / 4,400 / 4,800		
Rate of Approach per Traffic Volume(%)	3 : 2 : 3 : 2 (Main Road: 60, Sub Road : 40)		
Turning Rates by Direction(%)	Turn Left : 30	Straight : 60	Turn Right : 10
Design Speed (km/h)	Entering Lane	60	
	Circular Lane	20	
Pedestrian Crosswalk Length (m)	14		
Pedestrian Signal Time (sec)	20		
Pedestrian Volume (ped/h)	250		
Detector Position (m)	50		
Queue Clearance Time	0 ~ 60 (units: 5sec)		
	Results of Poisson Distribution		

2. 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time) 산정

1) 대기행렬 소거시간 산정방법

대기행렬이 N대 이상이면 대기행렬이 녹색신호를 받을 때마다 1대당 h초씩 소모하고 여기에다 총 출발순 실시시간 만큼 더 소모하게 된다. 우리나라의 출발지연시간은 2.3초로 하고 있으며, 이상적인 도로조건과 승용차로만 구성된 교통류에서의 차두시간 h는 1.63초로 포화교통류용 S=2,200대로 사용한다. 교차로에 대기하고 있는 χ 대의 차량($n \geq 6$)이 정지선을 벗어나는데 소요되는 시간 T는 다음 식(1)과 같다.

$$T = 1.63n + 2.3 \quad (n \geq 6) \tag{1}$$

본 연구에서는 식(2)의 포아송 분포(Poisson Distribution)를 활용하여 누적확률 95% 수용범위로 설정하였으며, 좌회전 및 직진비율에 따라 진입교통량의 60% 교통량이 최대 미터링시간 40초 동안 1차로에 도착하는 것으로 가정하였다. 이때 도착한 차량 χ 대가 교차로를 빠져나가는데 소요되는 시간을 대기행렬 소거시간으로 산정하였다.

$$P(\chi) = \frac{\lambda^\chi e^{-\lambda}}{\chi!} \quad (\chi = 0, 1, 2, \dots) \tag{2}$$

여기서, $P(\chi)$: 최대 미터링 신호시간동안 χ 대가 도착 할 확률
 λ : 최대 미터링 신호시간동안 도착 할 평균차량대수

2) 교통량별 대기행렬 소거시간 산정결과

다음 <Fig. 4>와 같이 포아송 분포에 따른 진입교통량별 대기행렬 소거시간(누적확률 95%)은 21~27초로 분석되었다.

Number of Vehicles (n)	Queue Clearance Time (s)	Volume(veh/h)																
		3,200 $\lambda=6.40$	3,300 $\lambda=6.60$	3,400 $\lambda=6.80$	3,500 $\lambda=7.00$	3,600 $\lambda=7.20$	3,700 $\lambda=7.40$	3,800 $\lambda=7.60$	3,900 $\lambda=7.80$	4,000 $\lambda=8.00$	4,100 $\lambda=8.20$	4,200 $\lambda=8.40$	4,300 $\lambda=8.60$	4,400 $\lambda=8.80$	4,500 $\lambda=9.00$	4,600 $\lambda=9.20$	4,700 $\lambda=9.40$	4,800 $\lambda=9.60$
Cumulative Arrival Probability(%)																		
1	3.93	0.012	0.010	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
2	5.56	0.046	0.040	0.034	0.030	0.025	0.022	0.019	0.016	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004
3	7.19	0.119	0.105	0.093	0.082	0.072	0.063	0.055	0.048	0.042	0.037	0.032	0.028	0.024	0.021	0.018	0.016	0.014
4	8.82	0.235	0.213	0.192	0.173	0.156	0.140	0.125	0.112	0.100	0.089	0.079	0.070	0.062	0.055	0.049	0.043	0.038
5	10.45	0.384	0.355	0.327	0.301	0.276	0.253	0.231	0.210	0.191	0.174	0.157	0.142	0.128	0.116	0.104	0.093	0.084
6	12.08	0.542	0.511	0.480	0.450	0.420	0.392	0.365	0.338	0.313	0.290	0.267	0.246	0.226	0.207	0.189	0.173	0.157
7	13.71	0.687	0.658	0.628	0.599	0.569	0.539	0.510	0.481	0.453	0.425	0.399	0.373	0.348	0.324	0.301	0.279	0.258
8	15.34	0.803	0.780	0.755	0.729	0.703	0.676	0.648	0.620	0.593	0.565	0.537	0.509	0.482	0.456	0.430	0.404	0.380
9	16.97	0.886	0.869	0.850	0.830	0.810	0.788	0.765	0.741	0.717	0.692	0.666	0.640	0.614	0.587	0.561	0.535	0.509
10	18.6	0.939	0.927	0.915	0.901	0.887	0.871	0.854	0.835	0.816	0.796	0.774	0.752	0.729	0.706	0.682	0.658	0.633
11	20.23	0.969	0.963	0.955	0.947	0.937	0.926	0.915	0.902	0.888	0.873	0.857	0.840	0.822	0.803	0.783	0.763	0.741
12	21.86	0.986	0.982	0.978	0.973	0.967	0.961	0.954	0.945	0.936	0.926	0.915	0.903	0.890	0.876	0.861	0.845	0.828
13	23.49	0.994	0.992	0.990	0.987	0.984	0.980	0.976	0.971	0.966	0.960	0.952	0.945	0.936	0.926	0.916	0.904	0.892
14	25.12	0.997	0.997	0.996	0.994	0.993	0.991	0.989	0.986	0.983	0.979	0.975	0.970	0.965	0.959	0.952	0.944	0.936
15	26.75	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993	0.992	0.990	0.987	0.985	0.982	0.978	0.974	0.969	0.964
16	28.38	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994	0.993	0.991	0.989	0.987	0.984	0.981
17	30.01	***	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.995	0.993	0.992	0.990
18	31.64	***	***	***	***	***	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995
19	33.27	***	***	***	***	***	***	***	***	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998
20	34.90	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999
21	36.53	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1.000	1.000	1.000	1.000
22	38.16	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

<Fig. 4> Estimation of Queue Clearance Time by Traffic Volume

3. 실시간 신호미터링 운영방안

2차로형 4지 회전교차로의 실시간 신호미터링 운영을 위해 차량신호는 적색과 황색 신호로만 운영되며, 보행자 신호는 보행신호 압버튼(Push Button)에 의해 작동되는 형식(Pelican Crossing)으로 설정하였다.

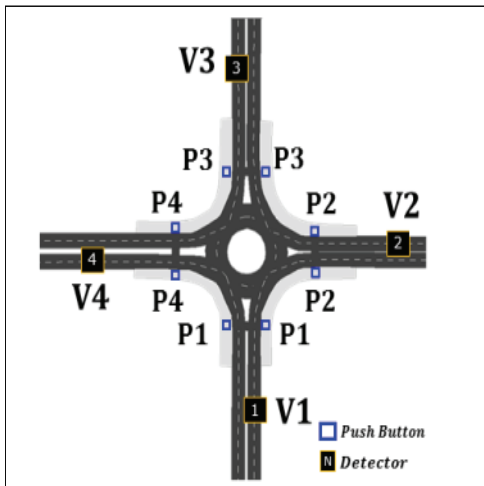
본 연구에서 회전교차로의 모든 진입로에 설치된 차량 및 보행자 검지기(<Fig. 5> 참조) 집합을 $G = [D_m^i, S_m^j]$ 그리고 후보검지기 집합을 $G^* = [D_m^i, S_m^j]$ 로 한다(여기서, m 은 검지기 번호 그리고 i, j 는 검지기 점유상태 및 속도 상태). 만약 검지기(D)가 비점유시 $i=0$, 점유시 $i=1$ 그리고 검지기의 속도(S)가 0보다 크면 $j=0$, 그렇지 않으면 $j=1$ 로 한다. 후보검지기 집합 G^* 은 $i=1$ 그리고 $j=1$ 인 상태의 검지기를 의미한다.

G 의 점유여부 및 속도에 따라서 실시간으로 통제진입로가 선정되며, 미터링진입로는 실시간 신호미터링 운영에 따라 선정된다. 최소미터링시간(r_{min}) 이후 미터링시간은 $t=r_{min}$ 에서 시작되어 최대미터링시간(r_{max})까지 1초 단위로 연장 된다($\Delta t=1$ 초). 본 연구에서 모든 진입로의 $r_{min} = 20s$ 그리고 $r_{max} = 20s$, $G_{ped} = 20s$)를 적용하였으며, $t=r_{min}$ 이후부터 다음 미터링을 위한 후보검지기(D^*)의 선정이 필요하다. 이때, 후보검지기는 진입로별 검지기의 점유순서를 고려한 FIFO(first-in-first-out) 원칙에 따라 G^* 에서 선정되며, 다음과 같은 경우 대기행렬 소거시간(5~60초)을 적용해준다(<Fig. 2>, <Fig. 3> 참조).

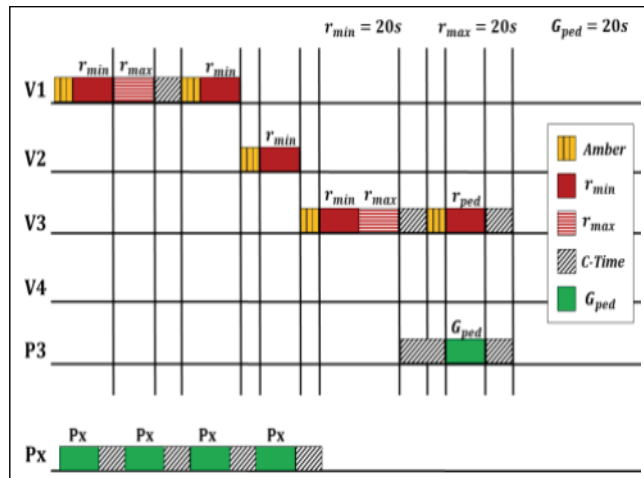
Case 1: 연속적으로 미터링신호 부여 시 검지기 사각지대에 존재하는 차량들을 위한 소거시간 적용

Case 2: 보행신호 부여 시 교차로를 빠져나가지 못해 진출부에서 대기 중인 차량들을 위한 소거시간 적용

만약, 최대 미터링시간 또는 대기행렬 소거시간 이후에 후보 검지기 집합이 빈 상태($G^* = \phi$) 이면 다시 무신호 회전교차로 상태로 돌아간다.



<Fig. 5> Detector Positions



<Fig. 6> Signal Phasing Diagram

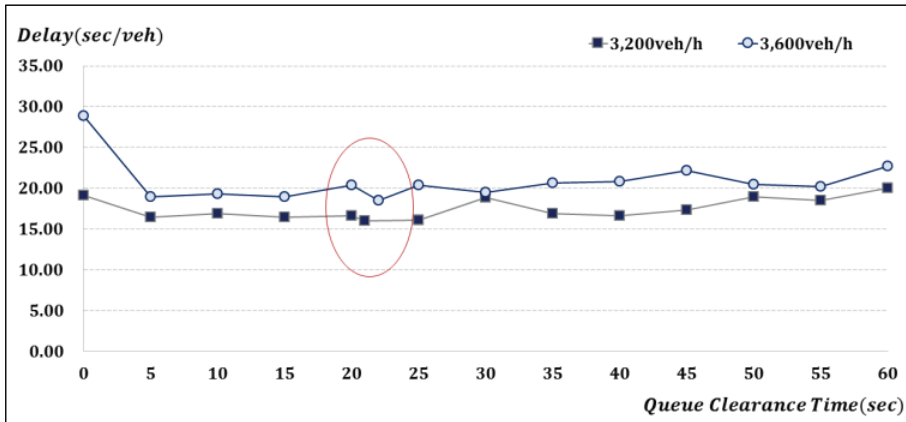
1) 보행자신호시간 : $G_{ped} = \text{초기진입시간} + \frac{\text{횡단보도길이}(14m)}{\text{보행속도}(1.0m/s)} = 20s$

4. 시나리오 분석결과

<Table 2>는 교통량별 대기행렬 소거시간에 따른 분석결과를 정리한 것이다.

총 진입교통량 3,200대/시 분석결과, 포아송분포에 따른 대기행렬 소거시간 21초를 적용할 경우 차량 당 평균지체가 19.09초/대에서 16.01초/대로 16.1%(3.08초) 감소하는 것으로 분석되었다.

총 진입교통량 3,600대/시 분석결과, 포아송분포에 따른 대기행렬 소거시간 22초를 적용할 경우 차량 당 평균지체가 28.59초/대에서 18.49초/대로 35.3%(10.1초) 감소하는 것으로 분석되었다.

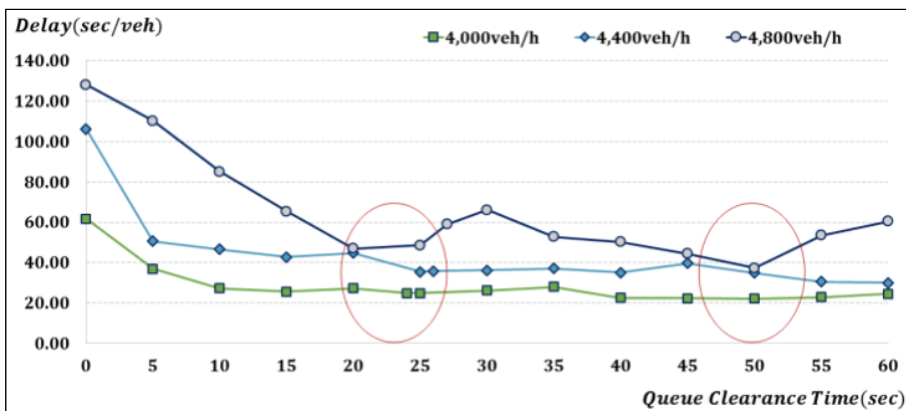


<Fig. 7> Analysis Result of Traffic Volume 3,200~3,600 veh/h

총 진입교통량 4,000대/시 분석결과, 대기행렬 소거시간 50초를 적용할 경우 차량 당 평균지체가 61.66초/대에서 22.10초/대로 64.2%(39.56초) 감소하는 것으로 분석되었다.

총 진입교통량 4,400대/시 분석결과, 대기행렬 소거시간 50초를 적용할 경우 차량 당 평균지체가 106.19초/대에서 30.06초/대로 71.7%(76.13초) 감소하는 것으로 분석되었다.

총 진입교통량 4,800대/시 분석결과, 대기행렬 소거시간 50초를 적용할 경우 차량 당 평균지체가 128.13초/대에서 37.27초/대로 71.0%(90.86초) 감소하는 것으로 분석되었다.



<Fig. 8> Analysis Result of Traffic Volume 4,000~4,800 veh/h

시나리오 종합분석결과, 총 진입교통량 3,200대/시의 경우 포아송분포에 따른 대기행렬 소거시간을 적용할 경우에 가장 효과가 좋은 것으로 분석되었으며, 총 진입교통량 3,600대/시의 경우 대기행렬 소거시간 22초, 4,000대/시 이상의 경우 50초를 적용할 경우에 가장 효과가 좋은 것으로 분석되어 포아송분포에 따른 대기행렬 소거시간을 적용한 경우와 차이를 보였다.

<Table 2> Analysis Results of Traffic Volume Scenarios

Category	3,200		3,600		4,000		4,400		4,800	
	Queue C-T(sec)	Delay (sec/veh)	Queue C-T(sec)	Delay (sec/veh)	Queue C-T(sec)	Delay (sec/veh)	Queue C-T(sec)	Delay (sec/veh)	Queue C-T(sec)	Delay (sec/veh)
Do-Not	0	19.09	0	28.86	0	61.66	0	106.19	0	128.13
Do	5	16.44	5	18.97	5	36.91	5	50.60	5	110.29
	10	16.85	10	19.27	10	27.22	10	46.57	10	85.07
	15	16.46	15	18.96	15	25.64	15	42.75	15	65.45
	20	16.63	20	20.36	20	27.28	20	44.78	20	46.98
	21*	16.01	22*	18.49	24*	24.98	25	35.41	25	48.62
	25	16.08	25	20.38	25	24.93	26*	35.81	27*	59.03
	30	18.81	30	19.51	30	26.24	30	36.26	30	66.14
	35	16.87	35	20.66	35	27.91	35	37.14	35	52.82
	40	16.60	40	20.84	40	22.46	40	35.03	40	50.26
	45	17.32	45	22.20	45	22.32	45	39.76	45	44.46
	50	18.97	50	20.44	50**	22.10	50**	30.06	50**	37.27
	55	18.49	55	20.17	55	22.95	55	30.51	55	53.46
	60	20.03	60	22.66	60	24.45	60	35.03	60	60.48

* : Poisson Distribution Calculated Clearance Time, **: VISSIM Calculated Clearance Time

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 회전교차로 실시간 신호미터링 운영 시 양보선과 검지기간 사각지대에 존재하는 잔여차량 및 보행신호 동안 대기행렬이 길어져 교차로를 빠져나가지 못하게 되는 차량으로 인한 지체를 최소화하기 위해 대기행렬 소거시간(Queue Clearance Time)을 고려한 실시간 신호미터링(Real Time Signal Metering) 운영 알고리즘을 제시하였다.

2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 회전교차로 설계지침(MOLIT, 2017)에 제시된 회전교차로 전환기준(신호교차로 검토 가능 영역)을 적용하여 총 진입교통량 3,200~4,800대/시 범위에서 보행량 250명/시, 좌회전 비율 30%, 차량검지기 이격거리 50m로 설정하였다. 실시간 제어상황과 연계한 효과검증을 위해 교통류 분석 프로그램인 VISSIM의 COM-Interface 모듈과 연계하여 신호미터링 운영 시 대기행렬 소거시간 미적용(Do-Not) 및 대기행렬 소거시간 적용(Do)에 따른 분석을 수행하였다. 포아송 분포(Poisson Distribution)에 따른 누적확률 95%를 수용범위로 설정하고 좌회전 및 직진비율에 따라 진입교통량의 60% 교통량이 최대 미터링시간 40초 동안 도착한 차량들이 교차로를 빠져나가는데 소요되는 시간을 대기행렬 소거시간으로 산정하였다.

본 연구의 결과 총 진입교통량 3,200대/시에 대기행렬 소거시간 21초 적용 시 차량 당 지체는 19.09초/대에서 16.01초/대로 16.1% 감소, 총 진입교통량 3,600대/시에 대기행렬 소거시간 22초 적용 시 차량 당 지체는 28.86초/대에서 18.49초/대로 35.3% 감소, 총 진입교통량 4,000대/시에 대기행렬 소거시간 50초 적용 시 차량 당 지체는 61.66초/대에서 22.10초/대로 64.2% 감소, 총 진입교통량 4,400대/시에 대기행렬 소거시간 50초 적용 시 차량 당 지체는 106.19초/대에서 30.06초/대로 71.7% 감소 그리고 총 진입교통량 4,800대/시에 대기행렬 소거시간 50초 적용 시 차량 당 지체는 128.13초/대에서 37.27초/대로 71.0% 감소하는 것으로 분석되었다.

분석결과를 요약해보면 총 진입교통량이 용량상대인 3,200~3,600대/시에서는 포아송 분포와 VISSIM 시뮬레이션에서 계산된 대기행렬 소거시간이 21~22초로 동일한 결과를 보였다. 그러나 총 진입교통량이 용량이 상상태인 4,000~4,800대/시에서는 포아송 분포에서 계산된 대기행렬 소거시간은 24~27초 그리고 VISSIM 시뮬레이션에서 계산된 대기행렬 소거시간은 모두 50초로 계산되어 두 계산 값 사이에 큰 차이를 보이고는 있으나 차량 당 지체개선효과에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 본 연구결과를 통해 회전교차로 설치이후 교통량 증가로 신호교차로 설치에 대한 재검토 전에 회전교차로 본래의 기능을 최대한 살리면서 효율적으로 운영 할 수 있는 신호미터링 운영 시 발생할 수 있는 단점을 보완하고 대기행렬 소거시간 적용에 따른 효과를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 효과분석 및 신호운영 측면에서 다음과 같은 한계를 갖는다. 따라서 향후 연구 시 다음과 같은 추가적인 연구를 통해 한계점을 극복하고 보다 정확한 분석결과를 이끌어 낼 수 있을 것이다.

첫째, 네트워크 차원에서의 인접교차로의 영향 및 실제 현장 파라미터(임계간격, 수락간격 등)를 적용한 신호미터링 운영 효과 분석이 필요하다.

둘째, 실시간 신호미터링 운영에 따른 효과평가 지표로 차량 당 평균지체 뿐만 아니라 차량 및 보행자 관점에서 안전도 및 상충 등 안전관련 지표분석이 필요하다.

셋째, 향후 자율주행차량(Autonomous Vehicle)과 연계하여 회전교차로 주변에 커넥티드 차량(Connected Vehicle) 기법을 접목한 도로운영 측면에 관한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지역특성화사업(18RDRP-B134591-06) 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Akcelik R.(2011), "Roundabout metering signals: capacity, performance and timing," *6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Transportation Research Board, Stockholm, Sweden. *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, vol. 16, pp.686-696.
- Do C. U.(2017), *Transportation Engineering*, Cheong Moon Gak Publishing, pp.69-70.
- Lee H. S.(2015), *A Study on The Effective Operation Strategy of Signalized Roundabouts*, Graduate School of Gachon University, pp.57-59.
- Lee S. and Ahn W. Y.(2016), "A Study on Dynamic Signal Metering Operation Method for Roundabouts Using VISSIM," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*,

vol. 15, no. 2, pp.74-84.

Lee S. et al.(2017), "A Dynamic Signal Metering Algorithm Development for Vehicles and Pedestrians at Roundabouts," *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 6, pp.53-66.

Martin-Gasulla M. et al.(2016), "Capacity and Operational Improvements of Metering Roundabouts in Spain," *International Symposium on Enhancing Highway Performance*, vol. 15, pp.295-307.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017), *Korea, Roundabouts Design Manual*.

Park J.(2015), *Development of an Application for Signal Metering on Roundabouts*, Graduate School of The University of Seoul, pp.48-49.