Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 35, No. 5: 1111-1121/ October, 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.5.1111

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering **교통공학**

SIDRA6를 이용한 Two Signals Roundabout 분석방법 제안

안홍기* · Yue, Weng Long** · 김동선***
An, Hong Ki*, Yue, Weng Long**, Kim, Dong Sun***

A Proposal of Two Signals Roundabout Analysis Method Using SIDRA6

ABSTRACT

Roundabouts face a congestion problem when there are unbalanced traffic conditions, especially during peak times. The congestion at roundabouts results in long delay times and low level of service. Some research has addressed congestion problems of the metering roundabout, however, few studies have focused on the congestion issues of the double signals metering roundabout. This research bridges this gap through analyzing the congestion issues of the Old Belair double signals roundabout in Adelaide. The research proposes a new analysis method based on a four-nodes intersection in order for double signals roundabout analysis to be carried out as follows: firstly, at the modeling stage, a connection of four individual intersections, adjustment of lane geometry, input of directional traffic volumes, priority and phase time set up are proposed. Secondly, for calibration, PFF, critical gap, follow-up headway and extra bunching values have been applied. The results from the analysis show that the new method is able to analyze the delay time, level of service, degree of saturation and allow for further analysis.

Key words : SIDRA INTERSECTION6, Double signals metering roundabout, Modelling, Calibration

초 록

회전교차로는 각 접근로의 진입교통량이 불균형할 경우 주 접근로의 대기행렬이 길어지게 됨으로 회전교차로 전체의 용량이 감소되는 단점이 있다. 이에 보통 1대의 신호등으로 운영되는 Metering 회전교차로의 연구가 활발히 진행되고 있지만 2대의 신호등에 의해 운영되는 Metering 회전교차로의 연구는 미흡하다. 교차로 분석에 널리 사용되는 SIDRA6 또한 2대의 신호등으로 구성된 회전교차로의 분석에 제약이 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 2대의 신호등으로 운영되는 호주 Adelaide의 Old Belair 회전교차로를 대상으로 4-nodes Intersection을 이용한 새로운 분석방법을 제시하고 분석을 실시하였다. 모형 구축 방법에서 4개의 독립 교차로 연결, 기하구조 반영, 방향별 교통량 입력, 우선권 및 신호현시에 대해 설명하였으며 정산방법에서는 PFF, Critical Gap, Follow-up Headway 그리고 Extra Bunching 값의 적용에 대하여 제시 하였다. 그 결과 회전교차로의 효과척도인 지체시간 및 서비스 수준의 분석이 가능하며 그 외 포화도 및 상충교통량 등 다양한 분석이 가능한 것으로 나타났다.

검색어 : SIDRA INTERSECTION6, 미터링 회전교차로, 모델링, 모형정산

* 정회원 · University of South Australia대학교 토목공학과 박사과정 (University of South Australia · hong_ki.an@mymail.unisa.edu.au)
** University of South Australia대학교 토목공학과 교수 (University of South Australia · Wen.Yue@unisa.edu.au)
*** 정회원 · 교신저자 · 대진대학교 도시공학과 교수 (**Corresponding Author** · Daejin University · kimdns@daejin.ac.kr)

Received May 11, 2015/ **revised** May 26, 2015/ **accepted** August 3, 2015

Copyright ⓒ 2015 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

회전교차로는 신호교차로와 비교 시 용량증대, 안전성 및 환경오염 측면에서 장점을 보임으로 일찍이 호주, 미국을 비롯한 여러 나라에서 사용되고 있다(Azhar and Svante, 2011; An et al., 2014a). 그러나 각 접근로의 진입 교통량이 불균형할 경우(Unbalanced Traffic Conditions) 교통량이 가장 많은 주 접근로의 대기행렬이 계속 쌓이는 현상이 나타난다(Akçelik, 2011). 따라서 주 접근로에(Controlling Approach)에 검지기를 설치하고 부도로(Metered Approach)에 신호등을 설치하여 운영되는 Metering 회전교차로가 대안으로 떠오르고 있다. Fig. 1은 Metering 회전교차로의 일반적인 형태를 나타낸 것으로 주 접근로 상류부 50~120m 사이에 설치된 검지기에 의해 대기행렬이 검지되면 좌측 부도로의 신호가 적색으로 바뀜으로 주도로를 통한 차량의 진입을 수월하게 만드는 System이다(Akçelik, 2006a, 2006b).

최근까지 호주를 중심으로 Metering 회전교차로의 연구가 활발히 진행되고 있으나 대부분 1대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 연구에 편중되어 있다고 할 수 있다. 또한 교차로분석에 널리 사용되고 있는 Analytical Model의 대표적인 Software인 SIDRA INTERSECTION6 역시 1대의 신호로 운영되는 Metering 회전교차로의 분석은 가능하나 2대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 분석에는 제약이 있다. 따라서 본 연구는 오전 첨두시 2대의 신호등에 의해 운영되는 호주 Adelaide의 Old Belair 회전교차로를 대상으로 SIDRA INTERSECTION6 Network 기능을 활용한 새로운 분석방법을 제시하고 회전교차로의 지체시간, 서비스수준, 회전교통량, 연료 소모율 등 다양한 분석을 실시하고자 한다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 SIDRA INTERSECTION6 Software를 사용하여 2대의 신호등으로 운영되는 회전교차로에 대한 새로운 분석방법을 제시하고자 한다. 분석에 필요한 교통량, 신호시간, 대기행렬 길이, Critical Gap 및 Follow-up Headway Data는 2014년 3월 6일 DPTI (Adelaide Department of Planning, Transport and Infrastructure)의 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) Data와 현장조사를 통해 얻어진 Data를 사용하였다. 또한, 각 접근로의 방향별 교통량 비율은 2009년 Jiban의 연구논문에 사용된 비율을 적용하여 분석하였다.

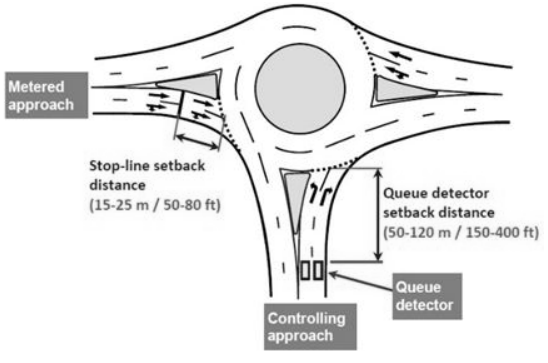


Fig. 1. Metering Roundabout

2. 이론적 고찰

2.1 Analytical Model 및 Microscopic Simulation Model 고찰

교차로 분석에 있어서 Software의 활용은 시간단축의 장점 뿐 아니라 편리하고 정확한 예측이 가능하다는 점에서 교통 분석가들에게 필수적이라 할 수 있다. 교차로의 분석 Model은 크게 Analytical Model을 활용하는 방법과 Microscopic Simulation Model을 활용하는 방법으로 구분된다. Analytical Model의 대표적인 예로 SIDRA가 있으며 Microscopic Simulation Model의 경우 VISSIM, AIMSUN 그리고 Paramics 등의 Software가 널리 사용된다(Zadid and Yue, 2009). Analytical Model 및 Microscopic Simulation Model 모두 교통류 이론을 바탕으로 분석된다는 공통점이 있다. 하지만 Analytical Model은 경험적 관측자료 및 교차로의 기하학적 구조(진입차로 폭, 차로 수, 회전차로의 길이 등)에 관련된 Parameter의 변화에 따른 결과 값이 도출되는 반면, Microscopic Simulation Model의 경우 차량 Parameter, 운전자 Parameter 그리고 Network Parameter의 보다 복잡한 Parameter의 변화에 의해 결과 값이 산정된다(Yin and Qiu, 2011).

Table 1은 VISSIM과 SIDRA의 입력값 및 출력값 그리고 처리속도를 비교한 것으로 SIDRA의 경우 VISSIM과 비교시 모형구축 및 입력값이 간단하지만 처리시간이 빠르고 다양한 결과값을 도출

Table 1. Comparison between VISSIM and SIDRA

Classfication		VISSIM	SIDRA
Input	Road Network Construction	Complex	Simple
	Signal Timing	Complex	Simple
	Vehicle Composition Input	Complex	Simple
	Flow Input	Complex	Simple
Output	Output Information	Rich Information	Rich Information
	Output Speed	Long	Short
	Output-Error	Small	Large

Source: Tianzi et al., (2013)

할 수 있다는 장점이 있다. 또한 Analytical Model의 경우 결과값이 일정한데 반해 Microscopic Simulation Model은 실행시마다 다른 결과값을 나타내는 점에서 차이가 있다. 그러나 정확한 Parameter 값의 적용 시 두 가지 Model간의 결과값 차이는 크지 않다고 할 수 있다(Zadid and Yue, 2009; Yin and Qiu, 2011).

2.2 선행연구 고찰

현재 회전교차로에 대한 국내외 연구는 신호교차로와의 용량비교 및 용량 증대방안에 집중되어 있으며 Metering 회전교차로에 대한 연구는 신호등 1대로 운영되는 회전교차로의 연구가 주를 이루고 있다. Lim et al. (2010)는 회전교차로의 용량증대를 위한 방법으로 4지 1차로 회교차로의 우회전차로에 우회도로(Bypass)를 설치하고, VISSIM Software를 활용하여 시행 및 미시행시 효과를 비교·분석하였다. 우회전 교통량이 많을수록 우회도로의 효과가 뛰어나며 특히, 총 교통량 4,000pcph일 때, 진입교통량 방향별(좌회전:직진:우회전) 비율이 1:4:8일 경우 가장 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. Kim et al. (2010)는 VISSIM Software를 활용하여 4지 회전교차로를 대상으로 진입차로 퍼짐, 진출차로 퍼짐 그리고 진출·입 차로 동시 퍼짐에 따른 회전교차로의 서비스 수준 분석을 실시하여 총 교통량 3,600pcph, 진출·입 차로 퍼짐 길이가 40m 일 때, 가장 우수한 효과를 보인다고 분석하였다. Qian et al. (2008)에 따르면 회전교차로는 용량을 초과하거나, 계속되는 정체 및 교통량 증가 구간에서는 신호교차로가 효과적이지만 그렇지 않을 경우 회전교차로가 장점을 보인다고 하였다. 또한 Metering 회전교차로는 진입 교통량 불균형시 회전교차로의 단점을 해결할 수 있지만, 회전교차로 계획시에는 차후 Metering 회전교차로로의 전환을 고려해서는 안된다고 주장하였다.

Stevens (2005)는 'Signals and meters at roundabouts'의 연구를 통해 신호교차로와 Metering 회전교차로의 효과를 분석하고 Metering 회전교차로 설치에 대한 가이드라인을 제시했다. 또한 회전교차로가 불균형 상태이거나 회전차로 내 차량속도가 높을수록 Metering 회전교차로가 필요하다고 주장하였다. An et al. (2014b)는 SIDRA INTERSECTION6 Software를 사용하여 Metering 회전교차로의 적정 교통량을 분석하였으며, 3지 1차로 회전교차로의 경우 1시간 교통량 1600~2200일때, 4지 1차로 회전교차로의 경우 1시간 교통량 1800~2200일때 Metering 회전교차로의 효과가 뚜렷하게 나타난다고 주장하였다. 또한 총 교통량 대비 주 접근로가 차지하는 교통량 비율이 50% 미만일 때는 Metering 회전교차로의 효과가 거의 나타나지 않으며, 주 접근로의 좌회전 교통량 비율에 따라 Metering 회전교차로의 운영효과가 달라진다고 분석 하였다.

2.3 연구의 차별성

앞서 말한바와 같이, 최근 회전교차로에 대한 국내의 연구는 용량, 지체시간 그리고 안전성에 대한 연구 및 Software를 활용한 신호교차로와의 비교분석 연구에 집중되어 있다. 또한 Metering 회전교차로에 대한 연구는 Metering 회전교차로의 적용 시 도출되는 효과분석에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 국외 연구 역시 1대의 신호등으로 운영되는 Metering 회전교차로의 운영효과 연구에 편중되어 있다고 할 수 있으며 2대로 운영되는 Metering 회전교차로에 대한 연구는 미미한 실정이다. 본 연구와 기존 연구와의 차별성으로는 첫째, 실제 오전 첨두시 2대의 신호등으로 운영되는 호주 Old Belair 회전교차로를 대상으로 연구를 실시한 점. 둘째, 2대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 분석에 제약이 있는 SIDRA INTERSECTION6 Software를 사용한 새로운 분석방법을 제시한 점. 셋째, 2대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 모형구축 방법 및 정산방법을 제시한 점. 이렇게 크게 세 가지로 구분된다.

3. 연구 대상지 및 분석 방법

3.1 연구 대상지

호주 Adelaide의 남측에 위치한 Old Belair Roundabout은 오전첨두시 2대의 교통신호등에 의해 운영되고 있다. Metering 회전교차로의 설치 목적은 남측 접근로의 지체를 해소하기 위함으로, 남측 접근로 상류부 100m 지점에 검지기를 설치하고 북측 및 동측 접근로에 신호등을 설치하여 운영하고 있다(Fig. 2 참조).

3.1.1 교통량

Old Belair 회전교차로의 첨두시간 분포는 오전 07:00~10:00 사이이며, 이 시간대 남측 접근로의 교통량이 다른 접근로의 교통량

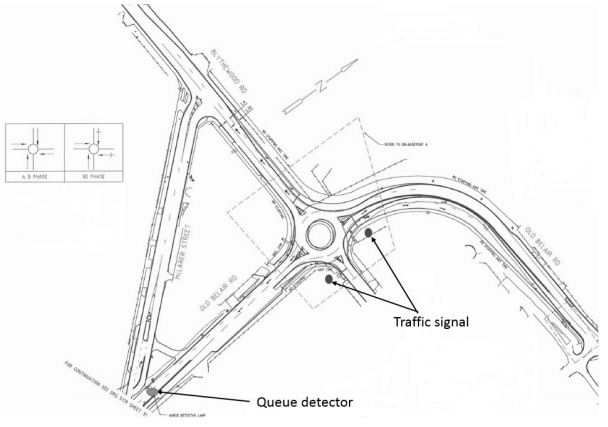


Fig. 2. Drawing of Old Belair Roundabout

Table 2. Directional Traffic Volumes (08:00~09:00 AM)

Approach	Traffic Volumes	Directional Ratio		
		Left turn	Straight	Right turn
East	37 veh	23.8 %	66.7 %	9.5 %
West	555 veh	87.6 %	1.1 %	11.3 %
South	922 veh	0.6 %	99.3 %	0.1 %
North	712 veh	0.3 %	31.7 %	68.0 %
Total	2226 veh			

Source: Jiban (2009)

보다 많은 것으로 나타났다. 아래 Table 2는 가장 혼잡한 오전 08:00~09:00 사이의 접근로별 교통량 및 방향별 비율을 나타낸 것으로 남측 접근로의 진입교통량은 922대 서측, 동측 그리고 북측 접근로의 진입교통량은 그 보다 적은 555대, 37대 그리고 712대로 각각 나타났다.

3.1.2 신호주기 및 현시

오전 08:00~09:00 Old Belair 회전교차로의 신호주기는 120초로 운영된다. Fig. 3(a)와 같이 대기행렬 길이가 검지되지 않으면(Phase A) 모든 접근로의 차량은 진입 가능하지만, 대기행렬의 길이가 100m를 넘을 경우(Phase B) 북측 및 동측 접근로의 차량진입은 차단된다. 동 시간대 북측 및 동측 신호의 최대 적색 시간은 82.8초, 최소 적색시간은 42초로 나타났다. 또한, 1시간 평균 56초의 녹색시간, 64초의 적색시간으로 운영된 것으로 나타났다(Fig. 3(b) 참조).

3.1.3 현장조사 자료

2014년 3월 6일 08:00~09:00 사이 현장조사를 통해 얻어진 접근로별 최대 대기행렬 길이는 동측(14m), 서측(260m), 남측(120m) 그리고 북측 접근로(220m)로 조사되었다. 또한 주 접근로인 남측 접근로보다 서측 접근로의 대기행렬 길이가 약 140m 긴 것으로 나타났다.

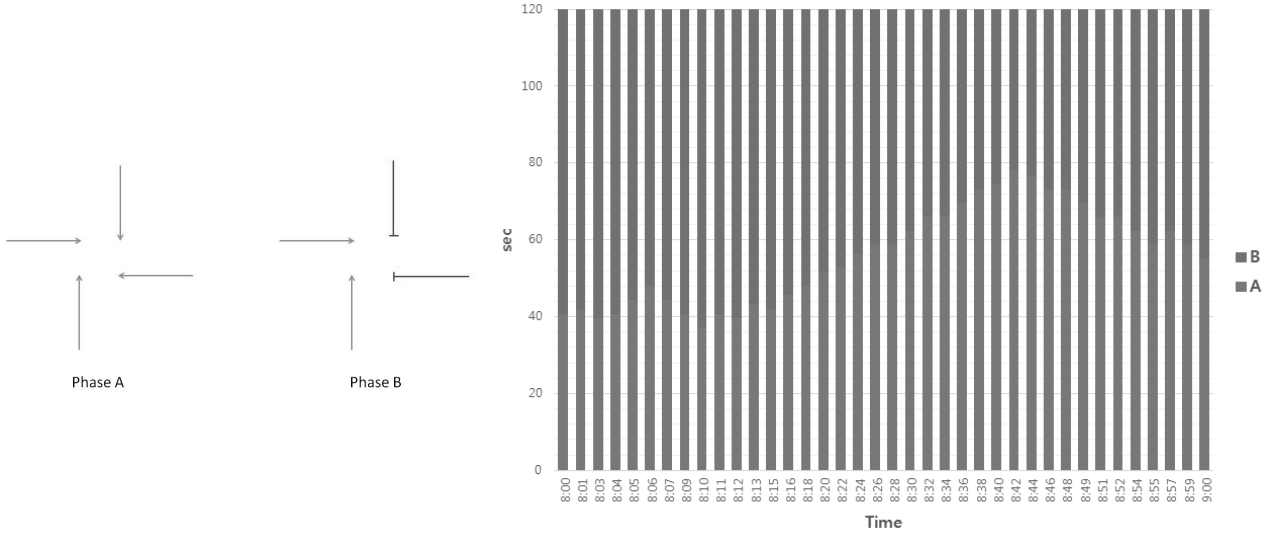
3.2 모형구축 방법

3.2.1 독립적인 4개의 교차로 연결

호주의 경우 우리나라와 달리 차량의 진행방향이 도로의 좌측임으로 Standard Left 방식을 적용하여 분석하였다. 모형구축의 기본 개념은 1개의 전체 회전교차로를 4개의 독립적인 교차로로 구분하는 것으로, 아래 Fig. 4와 같이 4개의 독립적인 교차로(교차로 1과 2는 양보에 의한 교차로, 교차로 3과 4는 신호교차로)로 구분한 후 Network 기능을 이용하여 서로 연결하여 4-nodes 회전교차로를 구성하였다.

3.2.2 Approach 및 Lane 기하구조 설정

아래 Fig. 5(a)는 Old Belair 회전교차로의 기하학적 구조를 반영한 것으로 동측 진입 및 진출 차로는 1차로, 북측 및 남측 진입/진출 차로는 2차로로 수정 하였다. 각각의 접근로는 양방향 통행(기본값)으로 설정되어 있으나 회전교차로의 운영방식과 같은 일방향으로 통일 시켰다. Fig. 5(b)는 교차로 1을 설명한 것으로 교차로 1은 남측 진입차로, 서측 진출차로 그리고 회전차로(Internal Approach)를 포함하는 것을 나타낸다. 또한 각 회전차로



(a) Phase Sequence (b) Signal Time Phases

Fig. 3. Phase Sequence and Signal Time Phases (08:00~09:00 AM)

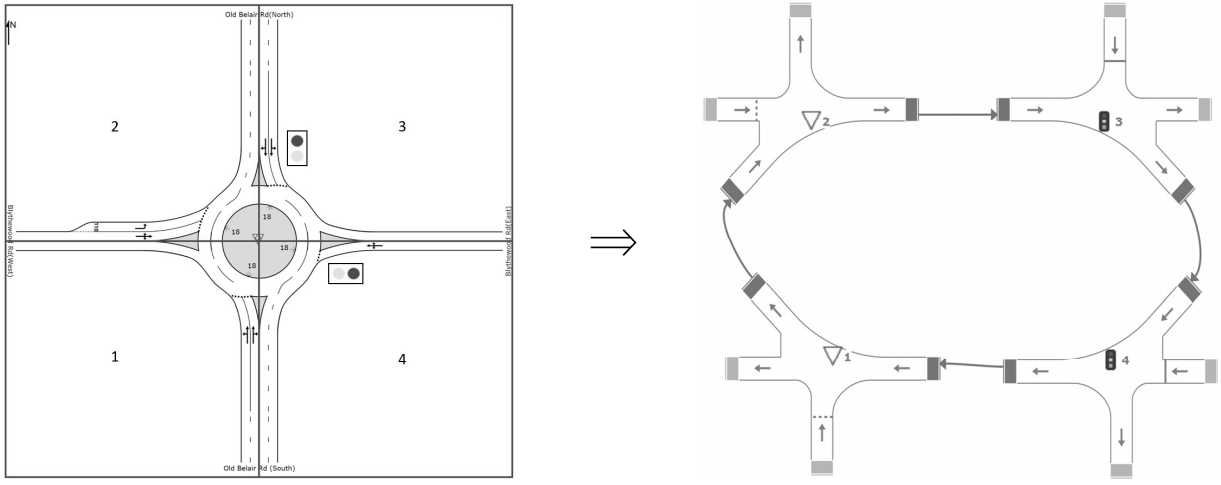
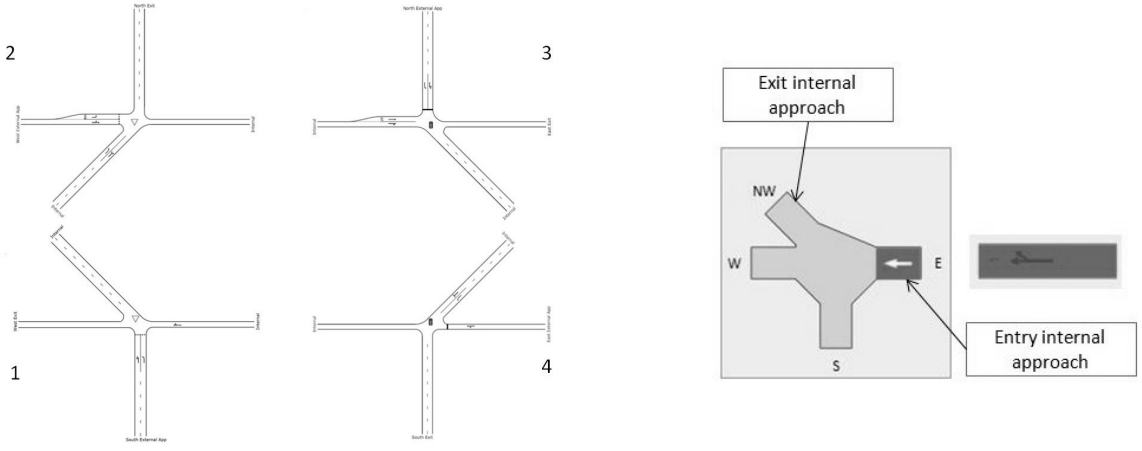


Fig. 4. Representation of the Roundabout as a Network of Four Intersections



(a) Lane Geometry Modification (b) Lane Discipline Modification

Fig. 5. Lane Geometry and Lane Discipline Modification

Movement Classes

Always Included (Standard)

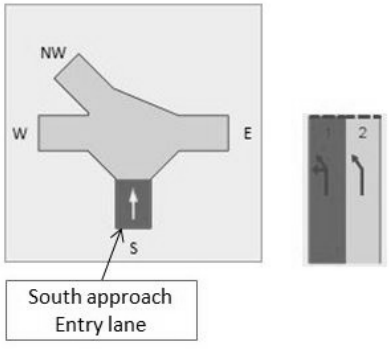
	Name	ID	Model Designation
☑	Light Vehicles	LV	Light Vehicle
☑	Heavy Vehicles	HV	Heavy Vehicle

Select to Include (Standard)

	Name	ID	Model Designation
☐	Buses	B	Heavy Vehicle
☐	Bicycles	C	Light Vehicle
☐	Large Trucks	TR	Heavy Vehicle
☐	Light Rail / Trams	LR	Heavy Vehicle

Select to Include (User)

	Name	ID	Model Designation
☑	Right Turn LV	TL	Light Vehicle
☑	Right Turn HV	TH	Heavy Vehicle



(a) Vehicle Movement Modification (b) Entry Lane Movement

Fig. 6. Vehicle Movement Modification and Entry Lane Movement

의 길이는 40m로 설정하여 지름 20m의 회전교차로 중앙섬을 구현하였다.

생성된 개별 교차로의 회전차로는 모두 좌회전을 기본 값으로 포함하고 있으며 이는 개별 교차로의 진입차로와 상충을 발생시킨다. 따라서 Movement Classes 기능을 사용하여 회전차로내의 좌회전을 금지시키고 우회전 차량을 위한 별도의 방향 지정을 Fig. 6(a)과 같이 실시하였다. 또한 각각의 차로 이용률은 100%를 적용하여 분석하였으며 각 교차로의 진입차량 주행방향은 회전교차로와 같이 좌측방향으로 통일 시켰다(우회전은 금지시킴). Fig. 6(b) 또한 교차로 1을 설명한 것으로 남측 접근로를 통해 진입하는 차량들은 서쪽 진출로(W) 또는 북-서측 회전차로(NW)를 목적지로 가지도록 주행방향을 설정하였다.

3.2.3 교통량 입력

Fig. 7은 각 접근로 및 회전차로의 방향별 교통량을 나타낸 것이다. SIDRA INTERSECTION6의 Network 기능에서는 각 교차로의 Entry Internal Approach를 Dummy로 인식한다. 따라서 4-nodes Intersection 모델은 개별 Intersection간의 회전 교통량을 서로 연결해주지 못하기 때문에 각 교차로별 진입교통량 및 회전교통량에 대한 방향별 교통량을 직접 입력하였다.

3.2.4 주행우선권 및 현시시간 설정

앞서 언급한바와 같이 Old Belair 회전교차로는 오전첨두시 2대의 신호등으로 운영됨으로 따라서 Fig. 8과 같이 Phase A, B에 맞는 주행 우선권을 설정하였다. Fig. 8(a)의 경우(Phase A) 일반적인 회전교차로의 운영원리와 같이 개별 교차로의 회전차로에 주행 우선권을 부여하였고 진입차로에 양보신호를 부여하였다. Fig. 8(b)의 경우(Phase B) 신호등에 의해 북측 및 동측 접근로의 진입이 차단됨으로 정지신호를 부여하였으며 그 외 남측 및 서측 접근로는 양보신호를 부여하고 각 회전차로에 주행 우선권을 부여하였다. Phase time은 08:00~09:00 사이의 평균값인 A현시 56초, B현시 64초가 적용 되었고 3초의 Yellow time이 적용되었다.

3.3 모형 정산

모형정산은 실제 현장조사를 통해 얻어진 Maximum Queue Length와 SIDRA INTERSECTION6 Network 모델을 통해 얻어진 Maximum Queue Length 값을 최대한 매칭 시키는 것이 목적이며 아래와 같은 방법으로 진행하였다.

3.3.1 Peak Flow Factor (PFF) 조정

PFF는 얼마나 많은 차량이 특정시간에 집중되는지를 나타내는 Parameter로 Eq. (1)과 같이 표현된다. SIDRA User-guide (2009)에서는 기본 30분 단위를 제안하며 Table 3과 같은 결과 값이 계산되었다.

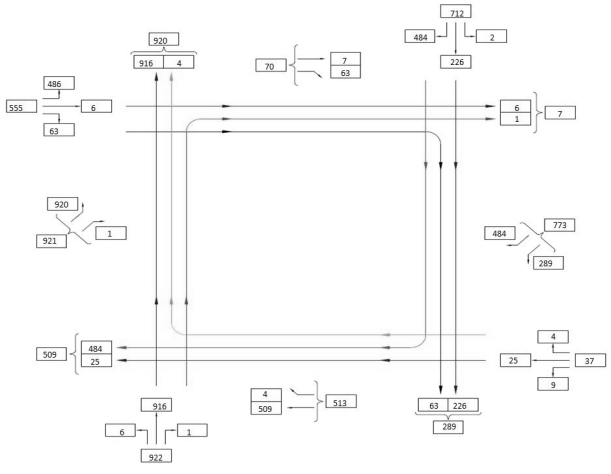
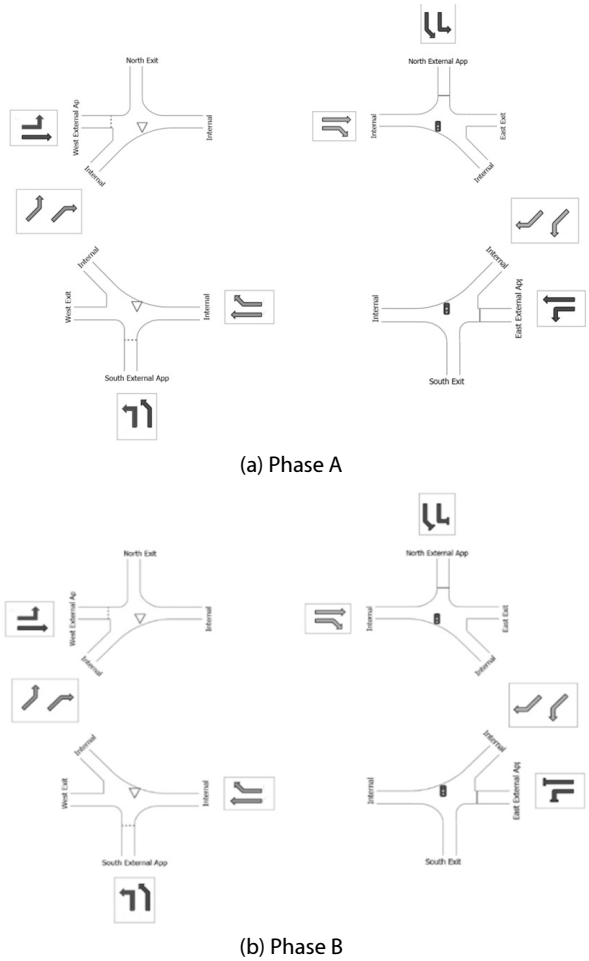


Fig. 7. Directional Traffic Volumes



(a) Phase A

(b) Phase B

Fig. 8. Priorities During Phase A and B

$$PFF = (A + B) \div 2 \div C \quad (1)$$

여기서, A = 08:00~08:30 교통량, B = 08:30~09:00 교통량, 그리고 C = A 또는 B 중 많은 교통량.

3.3.2 Extra Bunching Value

Extra Bunching Value는 상류부의 신호등에 의해 하류부 차량들이 어떤 영향을 받는지를 설명하는 Parameter이다(Akçelik 2009). Old Belair 회전교차로의 경우 오전 첨두시 북측 및 동측 접근로의 경우 신호등에 의해 차량의 진입이 제한되기 때문에 알맞은 Extra Bunching Value의 적용이 필요하다. Table 4는 상류부 신호등의 거리에 따른 Extra Bunching Value를 나타낸 것으로 북측 및 동측 접근로의 진입차량들은 100m 이내의 신호등에 의해 영향을 받음으로 인해 25%의 값이 적용되었다.

3.3.3 Critical Gap and Follow-up Headway

무신호로 운영되는 회전교차로에서 Critical Gap과 Follow-up Headway는 회전교차로의 용량을 결정하는 중요한 Parameter이다. 2014년 3월 6일 오전 08:00~09:00, Old Belair 회전교차로의 Critical Gap 및 Follow-up Headway 값은 아래와 같으며 차로별(Lane-by-lane) 결과 값은 Table 5와 같다.

4. 결과분석

4-nodes Intersection 모형과 실제 관측된 접근로별 대기행렬 비교 값은 Table 6과 같다. 동측 접근로를 제외한 나머지 접근로는 모두 96% 이상 일치하는 것으로 나타났으며 동측 접근로의 경우 3.6m 길이 차이는 차량 1/2 크기에 해당하므로 거의 일치한다고 볼 수 있다.

Table 3. Traffic Volumes in Each Approach (08:00~09:00 AM)

Time	Traffic Volumes (veh)			
	East	West	South	North
08:00~08:30	21	255	550	302
08:30~09:00	16	300	372	410
PFF	88.1%	92.5%	83.8%	86.8%

Table 4. Extra Bunching Data

Distance to upstream signals (m)	<100	100-200	200-400	400-600	600-800	>800
Extra bunching (%)	25	20	15	10	5	0

Table 5. Critical Gap and Follow-up Headway

Approach	Description	Critical gap	Follow-up headway
South	Dominant lane	5.2s	3.0s
	Sub-dominant lane	4.9s	2.6s
East	Dominant lane	4.2s	2.7s
North	Dominant lane	4.7s	2.3s
	Sub-dominant lane	4.9s	2.5s
West	Dominant lane	5.5s	3.5s
	Sub-dominant lane	6.3s	4.0s

Table 6. Comparison of Queue Length

Direction	Queue length (m)		Matching ratio (%)
	Observed queue length	SIDRA model queue length	
East	14	10.4	65.3
West	260	270.7	96.0
South	120	118.2	98.4
North	220	221	99.5

4.1 효과척도 분석

회전교차로 분석의 효과척도는 신호교차로와 마찬가지로 지체시간이며 Table 7과 같이 서비스 수준 또한 지체시간에 의해 결정된다(TRB 2010).

2014년 3월 6일 오전 08:00~09:00, Old Belair 회전교차로의 남측 접근로 지체시간은 22.6초로 나타났으며 서측 접근로는 가장 긴 163.7초의 지체시간이 발생하는 것으로 분석 되었다(Table 8 참조).

서비스 수준은 Fig. 9과 같이 남측 및 동측 접근로는 C로 나타났으며 북측 접근로의 경우 D로 나타났다. 대기행렬이 가장 긴 서측 접근로의 서비스 수준은 F로 분석 되었다.

Table 7. Level of Service Criteria

LOS by Volume-to-Capacity Ratio		Signalized Intersection	Roundabout
v/c≤1.0	v/c>1.0	Control Delay (s/veh)	Control Delay (s/veh)
A	F	≤ 10	0-10
B	F	>10-20	>10-15
C	F	>20-35	>15-25
D	F	>35-55	>25-35
E	F	>55-80	>35-50
F	F	>80	>50

Table 8. Delay Time in Each Approach

Approach	Delay time (s)	Approach	Delay time (s)
East	21.9	South	22.6
West	163.7	North	39.8

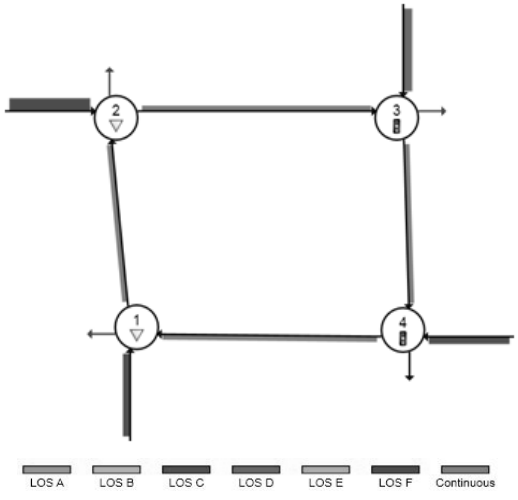


Fig. 9. LOS of Old Belair Roundabout During 08:00~09:00 AM

4.2 기타 분석

새롭게 제안된 4-nodes Intersection 회전교차로는 지체시간 및 서비스 수준 분석 외 다양한 분석이 가능하다. Table 9는 각 접근로의 통행속도를 정리한 것으로 동측 38.35km/h, 서측 12.40km/h, 남측 36.15km/h 그리고 북측 32.80km/h의 속도 분포가 나타났다.

Fig. 10은 각 접근로별 Degree of Saturation 및 Speed Efficiency를 분석한 것으로 남측 및 북측 접근로의 포화도는 0.8~0.9로 나타났고 서측 접근로의 포화도는 1을 초과하는 것으로 분석되었다. 또한 남측 접근로의 경우 Metering 회전교차로의 적용으로 설계속도 대비 50~70%의 속도로 주행하는 것으로 나타

Table 9. Travel Speed

Classfication	East	West	South	North
Travel Speed	38.35km/h	12.40km/h	36.15km/h	32.80km/h

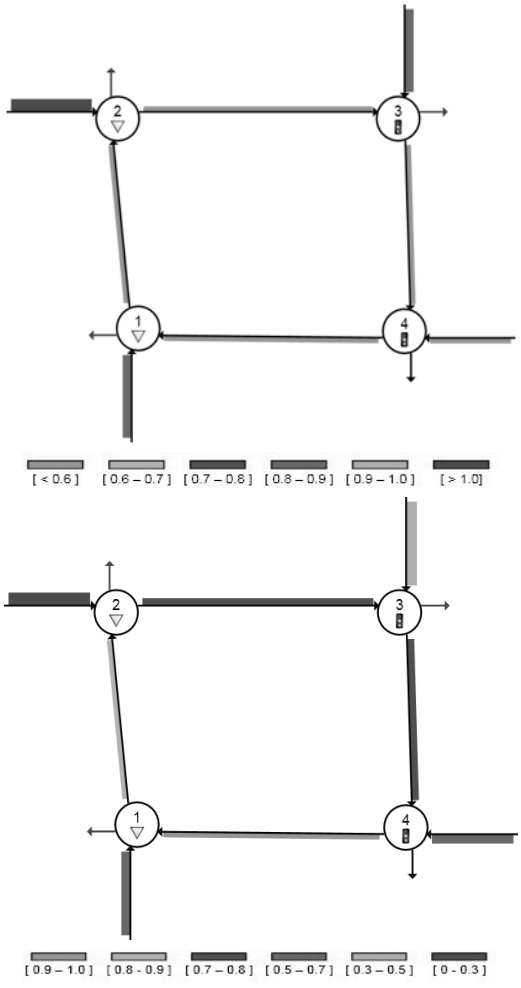


Fig. 10. Degree of Saturation and Speed Efficiency

Table 10. Fuel Consumption, Emission and Cost Rate

Direction	Cost rate ($/km)	Fuel rate (L/100km)	Co2 rate (g/km)	Co rate (g/km)	HC rate (g/km)	Nox rate (g/km)
East	0.92	10.9	255.5	0.29	0.024	0.090
West	1.97	12.3	289.0	0.23	0.031	0.067
South	1.11	7.1	166.7	0.12	0.019	0.053
North	1.51	16.4	384.3	0.42	0.040	0.164

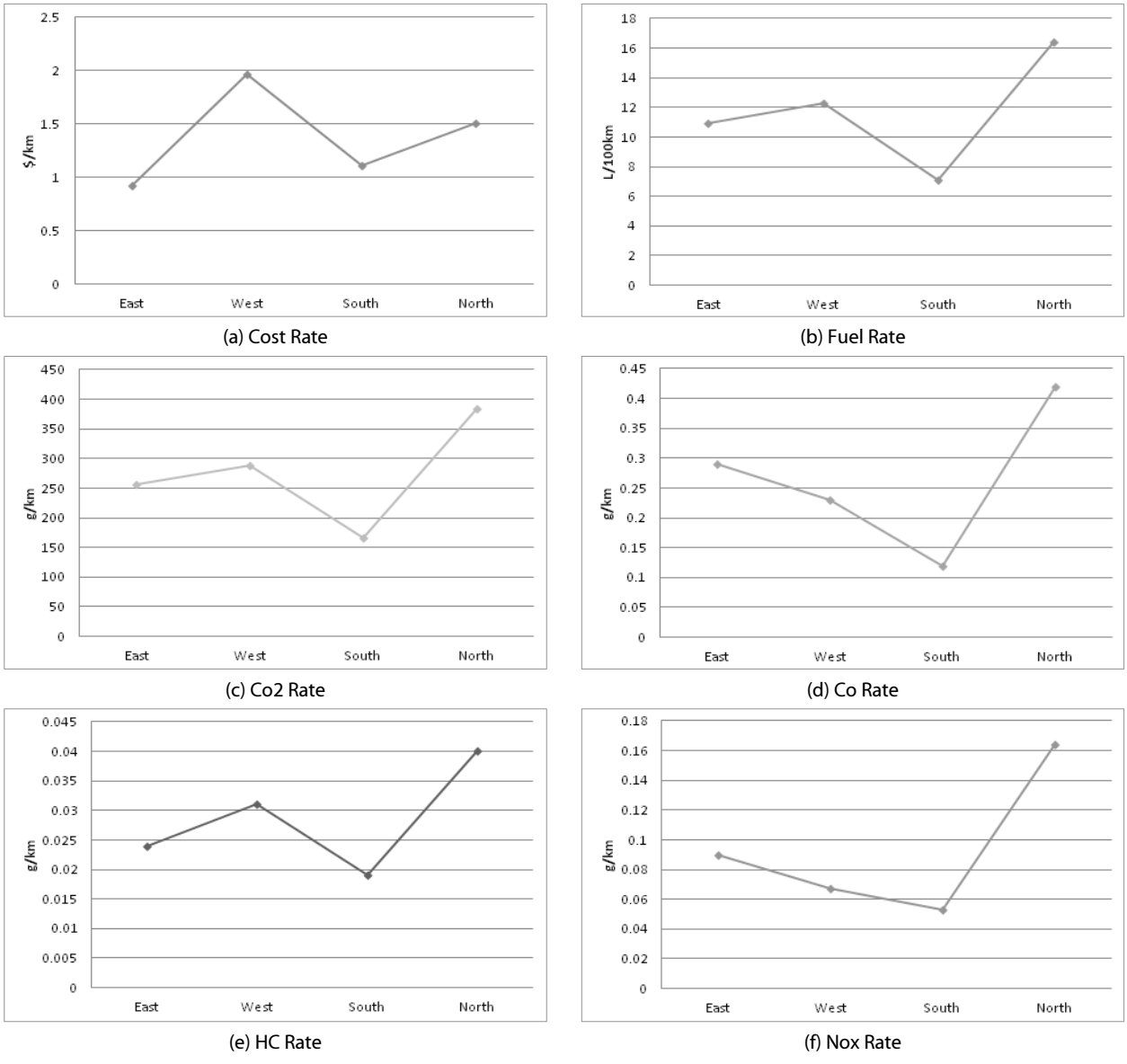


Fig. 11. Fuel Consumption, Emission and Cost Rate in Each Approach

났으나 서측 접근로의 경우 설계속도보다 현저히 낮은 통행속도로 주행하는 것으로 나타났다.

SIDRA Software의 장점은 연료 소비율, 대기오염 및 통행비용 산정 또한 가능하다는 점이다. 또한 대기오염 분석은 Co2, Co, HC 그리고 Nox에 대한 분석이 가능하며 Table 10은 각 접근로별 결과값을 나타낸 것이다.

Table 11. Conflict Volumes

	East	West	South	North
Conflict Volumes	880	1099	584	86

Fig. 11과 같이 북측 및 동측 접근로의 경우 신호등에 의한 차량 진입이 제한적이므로 연료소모, 배출가스 및 비용측면에서 교통량 대비 높은 결과값이 나타났으나 교통량이 가장 많은 남측 접근로는 Metering 회전교차로의 시행으로 인해 북측 및 서측 접근로보다 모든 면에서 효율적인 것으로 나타났다.

회전교차로의 상충교통량 또한 4-nodes Intersection 방법을 사용하여 분석이 가능하며 그 결과는 Table 11과 같다. 동측 접근로의 상충교통량은 880대 이며 서측 접근로의 상충교통량은 1099대 남측 및 북측 접근로의 상충교통량은 각각 584대 와 86대로 분석되었다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 기존 1대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 분석만이 가능했던 SIDRA INTERSECTION6 Software를 이용하여 2대의 신호등으로 운영되는 회전교차로의 새로운 분석방법(4-nodes Intersection)을 제안 하였다는데 의의가 있으며 교통분석 실무에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

또한, 4-nodes Intersection을 활용한 분석을 위해 모델링 방법으로 첫째, 4개의 독립교차로 연결, 둘째, Approach 및 Lane 기하구조 설정, 셋째, 방향별 교통량 입력, 넷째, Priorities 및 Phase time 설정에 대해 제안하고 설명하였다. 또한 모형정산 부분에서는 SIDRA 모델과 현장 관측값(Maximum Queue Length)을 매칭시키기 위한 목적으로 첫째, PFF 값 조정, 둘째, Extra Bunching Value의 조정 및 적용 그리고 마지막으로 Criticap Gap 및 Follow-up Headway 값의 입력에 대해 제안하였다.

실제 오전 첨두시 2대의 신호등으로 운영되는 호주 Adelaide의 Old Belair 회전교차로를 대상으로 분석을 실시한 결과 지체시간, 서비스 수준, 통행속도, 속도 효율성, 포화도, 상충교통량, 연료소모 비율, 대기오염 비율 및 통행 비용 등 다양한 분석이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 2014년 3월 6일 오전 08:00~09:00 사이 Old Belair 회전교차로의 지체시간은 동측 접근로 21.9초, 서측 접근로 163.7초, 남측 접근로 22.6초 그리고 북측 접근로 39.8초 분석되었다. 서비스 수준의 경우 C(동측), F(서측), C(남측) 그리고 D(북측)로 나타났다. 그 외 통행속도, 연료소비 등의 분석 결과 또한 Metering 회전교차로의 설치 목적인 남측 접근로의 지체해소가 이루어졌으며 대기오염 발생 측면에서도 효과적임을 본 연구를 통해 확인할 수 있다.

하지만 새롭게 제안된 4-nodes Intersection 분석방법은 회전교차로의 운영에 영향을 미치는 접근로 진입각도, 접근로 반경 등 Analytical Model의 장점인 기하구조 Parameter의 반영이 제한적인 단점이 있다. 따라서 향후 회전교차로의 기하구조를 반영할 수 있는 Microscopic Simulation Model과의 비교분석이 필요할 것으로 보인다.

References

Akçelik, R. (2006a). “Analysis of roundabout metering signals.” *AITPM National Conference*, Melbourne, Australia.

Akçelik, R. (2006b). “Operating cost, fuel consumption and pollutant emission savings at a roundabout with metering signals.” *ARRB 22nd Conference, Canberra, Australian Capital Territory*, Australia.

Akçelik, R. (2011). “Roundabout metering signals: capacity, performance and timing.” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, pp. 686-696.

Akçelik, R., ASSOCIATES. (2009). *SIDRA INTERSECTION User Guide (for Version 6)*, AKÇELIK and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia.

An, H. K., Yue, W. L. and Holyoak, N. (2014a). “Signal metering roundabout evaluation using fuzzy logic.” *The 32nd Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR)*, University of New South Wales, Sydney, Feb 2014.

An, H. K., Kim, Y. S., Bae, G. M. and Yue, W. L. (2014b). “Comparative analysis of Roundabout and Metering Roundabout with 3-legs, 4-legs(with 1 lane).” *Korea Planners Association 2014 National Conference*, Chungbuk University, Korea (in Korean).

AZHAR, A. M. and SVANTE, B. (2011). “Signal control of roundabouts.” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, pp. 729-738.

Jiban, S. (2009). *METERING ROUNDABOUT CAPACITY AND PERFORMANCE ANALYSIS USING aaSIDRA 2.0 SOFTWARE*, Master Dissertation, University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.

Kim, T. Y., Kim, K. H. and Park, B. H. (2010). “A study of effectiveness of entry/exit flare at roundabout.” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 28, No. 6, pp. 25-32 (in Korean).

Lim, J. K., Kim, T. Y. and Park, B. H. (2010). “Effectiveness questions on the installation of right-turn bypass lane in roundabout.” *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 12, No. 12, pp. 29-37 (in Korean).

Qian, H. B., Li, K. P. and Sun, J. (2008). “The development and enlightenment of signalized roundabout.” *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 2008 International Conference, IEEE, 2, pp. 538-542.

Stevens, C. R. (2005). “Signals and meters at roundabouts.” *Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa, August 2005.

Tianzi, C., Shaochen, J. and Hongxu, Y. (2013). "Comparative study of VISSIM and SIDRA on signalized intersection." *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 96, pp. 2004-2010.

TRB (2010). "Highway capacity manual 2010." *Transportation Research Board*, National Research Council, Washington D.C.

Yin, D. and Qiu, T. Z. (2011). "Comparison of macroscopic simulation models in modern roundabout analysis." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2265, pp. 244-252.

Zadid, M. A. and Yue, W. L. (2009). "Comparison of a roundabout model using AASIDRA and PARAMICS." *32nd Australasian Transport Research Forum (ATRF)*, Auckland, New Zealand.