

좌회전 비율에 따른 회전교차로 전환기준 교통량 산정

Traffic Volume Criteria for Roundabouts Based on Left-Turn Ratio

조 한 선*
(Hanseon Cho)
(The Korea Transport Institute)

김 영 춘**
(Young-chun Kim)
(The Korea Transport Institute)

안 우 영***
(Woo-young Ahn)
(Kongju National University)

요 약

현재 국내에 설치되는 회전교차로는 「회전교차로 설계지침, 국토교통부, 2014」에 따라 설계되고 있으며, 다양한 설계요소에 대해 기준을 제시하고 있다. 그 중 가장 중요하다고 할 수 있는 회전교차로 설치를 위한 교통량 기준으로 12,000~32,000대/일의 계획교통량을 제시하고 있으며 접근로 차로 당 125~450대/시/차로로 제시하고 있다. 그러나 이는 회전교차로 용량에 지대한 영향을 미치는 좌회전 비율 및 접근로 차로 수 등이 고려되지 않은 교통량 기준으로 해당지역의 교통 및 기하구조 특성에 따라 회전교차로 용량은 큰 차이를 보일 수 있다. 즉, 좌회전 비율이 높을수록 또는 접근로 차로 수가 많은 수록 차로 당 용량은 떨어질 가능성이 크다. 이러한 교통 및 기하구조 특성을 고려하지 않고 회전교차로를 설치할 시 오히려 교통 흐름의 효율성이 떨어질 수 있어 회전교차로 설치 시 정확한 용량 산정은 매우 중요한 사항이다. 본 연구는 기존 지침에 제시된 교차로 기하구조 및 교통여건이 고려되지 않는 회전교차로 전환기준을 보완하기 위해 교차로 운영 방법, 접근로 차로수에 따른 교차로 유형과 좌회전비율에 따른 용량의 변화를 분석하였다. 그 결과, 회전교차로 전환기준은 접근로수와 좌회전비율에 따라 변화됨을 알 수 있었으며 접근로수와 좌회전비율에 따른 회전교차로 전환기준을 회전교차로 설계지침에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 회전교차로, 좌회전비율, 전환기준 교통량, 용량분석, 차로수

ABSTRACT

All roundabouts are designed based on 「Roundabout Design Guideline, Ministry of Land and Transportation, 2014」 in Korea. The guideline also provides the traffic volume criteria to convert from signalized intersections to roundabouts. While the criteria are based on capacity of roundabouts, left-turn ratio and the number of lane on approaches are not considered to calculate the capacity of roundabouts. Therefore it is difficult to apply the traffic volume criteria in the real world. In this study, we studied the impact of left-turn ratio and the number of lane on approaches into capacity of roundabouts using micro-simulation. It was found that the capacity of roundabouts is changed according to left-turn ratio and the number of lane on approaches.

Key words : Left-Turn Ratio, Traffic Volume Criteria for Roundabout, Capacity Analysis, Number of Lane

* 주저자 및 교신저자 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구위원

** 공저자 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구위원

*** 공저자 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

† Corresponding author : Hanseon Cho(The Korea Transport Institute), E-mail h-cho@koti.re.kr

† Received 23 June 2016; reviewed 28 July 2016; Accepted 3 August 2016

I. 서론

회전교차로는 2010년도 시범사업을 시작으로 국내에 도입되기 시작하여 그 효율성과 안전성을 인정받아 점차 확대 설치되고 있는 상황이다. 현재 국내에 설치되는 회전교차로는 Korean Roundabout Design Guideline(2014)에 따라 설계되고 있으며, 이 지침에는 다양한 설계요소에 대해 기준을 제시하고 있다. 그 중 가장 중요하다고 할 수 있는 회전교차로 설치를 위한 교통량 기준으로 12,000~32,000대/일의 계획교통량을 제시하고 있으며 접근로 차로당 125~450대/시/차로로 제시하고 있다[1].

그러나 이는 회전교차로 용량에 지대한 영향을 미치는 좌회전 비율 및 접근로 차로 수 등이 고려되지 않은 교통량 기준으로 해당지역의 교통 및 기하구조 특성에 따라 회전교차로 용량은 큰 차이를 보일 수 있다. 즉, 좌회전 비율이 높을수록 또는 접근로 차로 수가 많은 수록 차로 당 용량은 떨어질 가능성이 크다. 이러한 교통 및 기하구조 특성을 고려하지 않고 회전교차로를 설치할 시 오히려 교통흐름의 효율성이 떨어질 수 있어 회전교차로 설치 시 정확한 용량 산정은 매우 중요한 사항이다.

Korea Highway Capacity Manual(2013)에서는 상층교통량을 이용하여 좌회전 비율에 따른 회전교차로 용량감소를 고려하고 있으며, 접근로/회전차로가 2차로일 경우 진입차로 영향계수 1.7을 적용함으로써 접근로 차로수가 2차로일 경우 1차로의 경우보다 차로당 용량을 약 85%로 보고 있다[2]. 이렇듯 도로용량편람에서는 중요한 요소로 다루어지는 항목이 설계지침에서는 고려되고 있지 않으며, 설계지침의 기준은 현실과도 맞지 않는 실정이다.

이 외에도 회전교차로의 차로당 용량에 영향을 끼칠 수 있는 요인으로는 신호교차로에서와 마찬가지로 차로폭, 접근로 경사, 회전반경 등이 있겠으나, Korea Highway Capacity Manual(2013)에서도 이 요인들에 대해서는 따로 고려하고 있지 않다. 이는 회전교차로 이용 시 반드시 서행을 해야 하므로, 서행 시에는 이러한 기하조건이 용량에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단한 것으로 보인다. 중차량 비

율도 용량에 영향을 미칠 수 있으나, 이는 현장 적용 시 간단한 계산으로 검토가 가능할 것으로 판단된다.

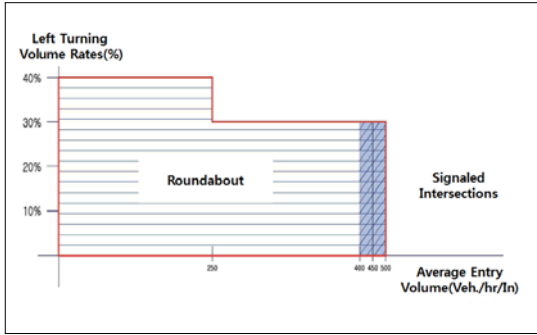
또한, 회전교차로 용량에 보행자 교통량이 크게 영향을 미칠 것이다. 도로용량편람에서도 이를 반영하고 있으나, Korean Roundabout Design Guideline(2014)에서는 전혀 고려하고 있지 않다. 본 연구에서는 보행자가 없는 상태를 가정하였으며, 보행자가 있을 경우 회전교차로 전환기준 산정 시 이는 반드시 고려되어야 할 것이다.

그러므로 본 연구에서는 접근로/회전차로 차로 수 및 좌회전 비율에 대한 용량 변화만을 검토하기로 하였다. 시뮬레이션을 이용하여 접근로/회전차로 차로 수 및 좌회전 비율 등을 반영한 신호교차로 및 회전교차로의 용량을 비교함으로써 교통특성 및 해당 기하구조에 따른 회전교차로 전환기준 교통량을 제시하고자 한다.

II. 문헌고찰

1. 회전교차로 설계지침

Korean Roundabout Design Guideline(2014)에서는 교통소통 향상을 위해 교통량 비율과 접근로 교통량을 고려하여 <Fig. 1>과 같이 회전교차로 전환기준을 제시하고 있다. 접근로의 차로당 교통량은 좌회전 교통량 비율이 30%미만인 경우 접근로 당 평균 450대/시/차로 범위 내에서 회전교차로 설치가 가능하도록 하였다. 좌회전 교통량 비율이 30~40%인 경우 접근로 당 교통량이 250대/시/차로 범위 내에서 회전교차로 설치가 가능하도록 하였으며 40% 이상인 경우에는 회전교차로보다 신호교차로를 설치하는 것을 권장하고 있다[1]. 이와 같이 지침에서는 교차로 접근로/회전차로 차로 수에 관계없이 좌회전 교통량 비율이 30%미만인 경우 좌회전 0, 10, 20, 30% 모두 동일한 진입부 교통량 기준을 제시하고 있는 상황으로, 교차로 기하구조와 좌회전 교통량 비율에 따른 접근로 교통량 기준 마련이 시급하다[1].



〈Fig. 1〉 Traffic Volume Criteria based on Left-Turn Ratio for Roundabout

2. 국내 연구

Lee(2013)에서는 교차로 분석용 교통시뮬레이션 프로그램인 SIDRA를 이용하여 교통류 조건에 따라 회전교차로 계획 및 설계를 위한 평면교차로 유형별 적정 교통량 기준을 마련하였다. 교통시뮬레이션 분석결과 방향별로 진입교통량이 100-150대/시/차로 이상인 1차로 비신호교차로(TWSC, AWSC)와 진입교통량이 400-500대/시/차로 이하인 신호교차로 경우에는 회전교차로 전환에 따라 교통운영 효율화를 기대할 수 있다고 제시하였다. 또한, 좌회전 교통류율이 30%가 넘는 교차로에서는 회전교차로 보다는 신호교차로를 설치함이 바람직한 것으로 분석하였다[3]. 이 연구의 경우 교차로 운영형태에 따른 처리용량만을 비교하였으며, 다양한 형태 및 교통량 조건에 따른 회전교차로 전환기준을 적용하기에는 한계가 있다고 판단된다.

Kim(2014)은 실측 교통량 자료와 프로빗 모형을 이용하여 임계간격과 추종시간을 산정하였으며, 임계간격은 1차로형 회전교차로의 경우 2.685초, 2차로형 회전교차로의 경우 2.611초로 분석하였으며, 추종시간은 차로 수 구분 없이 3.28초로 나타났다. 이를 근거로 국내 회전교차로의 기본용량모형을 개발하였다[4].

Kim(2012)은 국내 회전교차로 실측자료를 수집하여 간격수락모형을 개발하였다. 개발된 모형을 이용하여 산정한 임계간격은 도시부 2.744초, 지방부 2.416초로 분석하였다[5].

3. 국외 연구

Suh(2015)은 회전교차로 용량모델에 진출차량을 고려할 경우의 영향을 파악하기 위하여 회전교차로의 실측 데이터를 이용하여 진출차량을 고려한 모델과 진출차량을 고려하지 않는 모델을 개발하고 비교분석을 통해 그 영향을 파악하였다. 진출차량을 제외한 경우 임계시간과 추종시간은 각각 4.747초와 3.265초로 분석되었으며 HCM 2010 기본값(5.0초와 3.2초)과 유사한 값으로 나타났으며 진출차량을 고려한 모델이 진출차량을 고려하지 않는 모델보다 진입용량이 약 100~200대/시(상층교통량에 따라) 높은 것으로 분석하였다[6].

미국의 Florida Roundabout Guide(1996)에서는 회전교차로의 설치 및 전환을 위한 조건을 <Table 1>과 같이 설명하고 있다[7].

〈Table 1〉 Standard for the Installation of Roundabout in Florida DOT

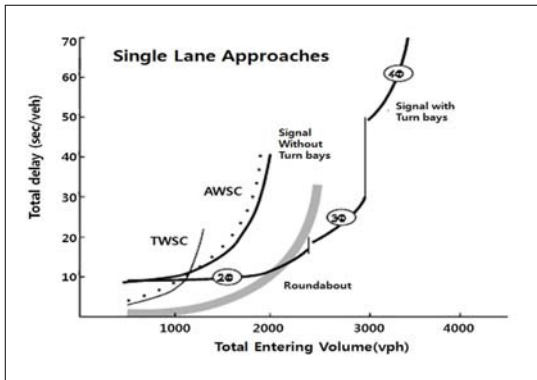
Category and Description	AWSC Warrant Met	AWSC LOS	Signalized Warrant Met	Signalized LOS	# of lane
Community Enhancement	N/A	N/A	N/A	N/A	1
Traffic Calming	NO	A	NO	A	1
Safety Improvement	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AWSC Alternative	YES	B-D	NO	A-B	1
Low Volume Signal Alternative	YES	D-F	YES	A-C	1
Medium Volume Signal Alternative	YES	F	YES	B-D	2
Special Conditions (Unusual Geometrics, High Volumes, ROW, etc.)	Y/N	N/A	Y/N	N/A	1~3 +

Note : Florida DOT (1996), Florida Roundabout Guide, pp.2-6-3-9.

회전교차로는 교통운영 및 안전측면에서 교통정온화, 교통안전개선, 전방향정지교차로 개선대안, 교통량이 많지 않은 신호교차로, 특이한 기하구조,

통행우선권이 제한되는 교차로에 설치하면 효과가 있는 것으로 설명하고 있다. 7개의 기준별로 교차로 운영에 따른 서비스수준을 비교하여 회전교차로 전환기준을 제공하고 있다. 예를 들면, 비신호교차로(AWSC)를 설치할 경우 서비스수준 B~D이며 신호교차로를 설치할 경우 서비스수준 A~B가 되는 교차로는 회전교차로를 설치하도록 제시하고 있다.

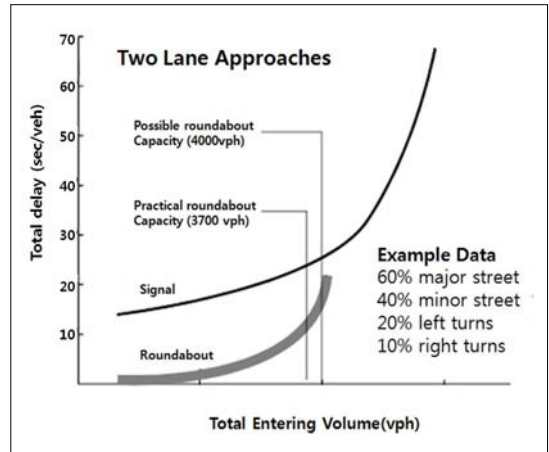
또한, <Fig. 2>와 같이 접근로/회전차로 1차로 회전교차로는 교통량에 관계없이 비신호교차로와 좌회전 전용차로가 없는 신호교차로보다 지체발생이 적은 것으로 설명하고 있다. 좌회전 전용차로가 있는 신호교차로와 비교 시 약 2,100대/시까지는 회전교차로가 신호교차로보다 지체가 적게 발생하고 2,100대/시 이후에는 신호교차로가 회전교차로보다 지체가 적게 발생하는 것으로 설명하고 있다.



<Fig. 2> Warrants for 1 lane RBT

Note : Florida DOT (1996), Florida Roundabout Guide, pp.2-6-3-9.

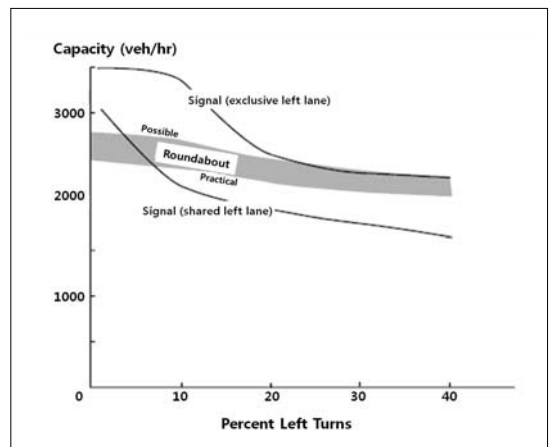
2차로 회전교차로의 경우에는 <Fig. 3>과 같이 교차로 총 진입교통량 3,700대/시를 회전교차로의 실제용량으로 보고 있으며, 4,000대/시를 임계용량으로 설명하고 있다.



<Fig. 3> Warrants for 2 lane RBT

Note : Florida DOT (1996), Florida Roundabout Guide, pp.2-6-3-9.

<Fig. 4>와 같이 회전교차로의 좌회전 비율에 따른 용량변화를 보면 0~30%는 감소하는 것으로 나타났으며 30%이상은 거의 변화가 없는 것으로 설명하고 있다. 좌회전 전용차로가 있는 신호교차로의 경우 좌회전 비율이 10~20%는 용량이 크게 감소하다가 30% 이상부터는 거의 변화가 없는 것으로 제시하고 있다.



<Fig. 4> Effect of left turns on roundabout and signal capacity

Note : Florida DOT (1996), Florida Roundabout Guide, pp.2-6-3-9.

미국에서도 이렇듯 좌회전 비율에 따라 변화하는 회전교차로 용량을 고려하여 설계에 적용하고 있는 것을 알 수 있으며, 우리나라에서도 회전교차로의 효율적인 운영을 위해서는 회전교차로 설계 시 반드시 좌회전 비율을 감안한 용량을 고려하여야 할 것이다.

Ⅲ. 교차로 유형별 영향요인 및 시나리오 설정

1. 영향요인

1) 교통량

교통량은 교차로 서비스수준의 척도인 차량 당 평균제어지체에 직접적인 영향을 주는 변수로 시뮬레이션을 이용하여 회전교차로의 용량을 평가하기 위해서는 다양한 교통량 수준을 분석해야 한다. 또한, 신호교차로, 회전교차로에 대해 다양한 교통량 수준을 고려하여 비교분석함으로써 교차로 유형별 용량을 제시할 수 있을 것이다.

교통량은 교차로 유형에 관계없이 서비스 수준 A 정도의 한산한 상태에서부터 서비스 수준 F의 극심한 혼잡 상태까지를 구현할 수 있도록 전체 통과 교통량 최소 400대/시에서 최대 5,800대/시까지 즉, 1차로 회전교차로는 교통량 수준 100~1,000대/시/차로, 2차로 회전교차로는 교통량 수준 50~725대/시/차로로 설정하여 교차로 유형에 따라 10등급으로 구분하였다.

2) 좌회전 비율

회전교차로 특성상 우회전, 직진, 좌회전 중 상충횡수가 가장 많은 좌회전의 교통량 비율은 회전교차로의 서비스수준에 직접적인 영향을 미치므로 다양한 좌회전 비율을 고려하여 회전교차로의 용량분석을 수행하여야 한다. 좌회전 비율은 모든 접근로에 대해 모두 동일하게 적용하였으며 시나리오는 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 총 6등급으로 구분하였으며 우회전비율은 좌회전 비율 시나리오와 관계없이 모두 전체 교통량의 10%를 적용하였다.

우회전 교통량은 직진과 좌회전에 비해 상대적으로 상충횡수가 적어 용량분석에 미치는 영향 또한 좌회전과 직진에 비해 적기 때문에 우회전 비율은 고정 비율로 설정하여 분석을 수행하였다.

2. 시나리오 설정

본 연구에서는 교차로 접근로 수는 4지로 가정하였고, 차로수에 따른 기하구조 유형으로 회전차로 1차로, 회전차로 2차로 등 2가지 유형과 교차로 운영방법에 따른 유형으로 신호교차로, 회전교차로 등 2가지 유형을 조합하여 총 4개의 유형을 적용하였다.

기하구조 유형 2개, 교차로 운영 유형 2개를 조합한 총 4개의 교차로 유형에 교통량 10 Level, 좌회전 비율 6 Level 등을 반영하여 총 240개의 시뮬레이션 시나리오를 설정하였다.

<Table 2> Scenario for the Simulation

Type		Factors	Level	Number of Scenario
Signal led Inter sectio ns	Four approa ches - Single Lane	Volume (Veh./Hr) LTVR* (%)	400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 4000 0, 10, 20, 30, 40, 50	60
	Four approa ches - Two Lane	Volume (Veh./Hr) LTVR* (%)	400, 1000, 1600, 2200, 2800, 3400, 4000, 4600, 5200, 5800 0, 10, 20, 30, 40, 50	
Roun dabo ut	Four approa ches - Single Lane	Volume (Veh./Hr) LTVR* (%)	400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 4000 0, 10, 20, 30, 40, 50	60
	Four approa ches - Two Lane	Volume (Veh./Hr) LTVR* (%)	400, 1000, 1600, 2200, 2800, 3400, 4000, 4600, 5200, 5800 0, 10, 20, 30, 40, 50	
240 Scenario				

* : Left Turning Volume Rates

IV. 시뮬레이션 환경 설정

1. 시뮬레이션 모형

본 연구에 활용이 가능한 미시적 시뮬레이션 프로그램 중 상용화된 프로그램으로는 VISSIM, PARAMICS, AIMSUN 등이 있으나, 본 연구에서는 실제 교차로 기하구조와 차량을 구현할 수 있는 VISSIM을 선택하여 시뮬레이션을 수행하였다.

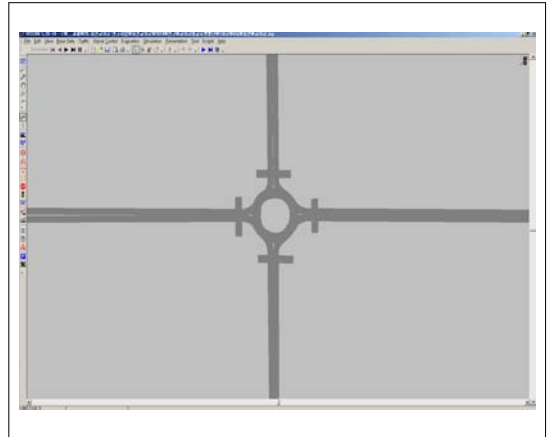
본 연구에서 사용될 VISSIM 시뮬레이션 프로그램은 차량추종, 차로변경, 신호운영 등을 구현할 수 있어 차량의 성능 및 차량흐름을 실제 상황과 근사하게 미시적으로 구현할 수 있고, 240개 시나리오에 대한 데이터 생성을 위한 빠른 시뮬레이션 수행이 가능하므로 본 연구를 수행하는데 가장 적합할 것으로 판단된다.

2. VISSIM 프로그램의 특징

VISSIM 프로그램은 행태기반 미시적 모의실험 모형으로써 교통류를 모사하는 Traffic Simulator(차량추종모형, 차로변경모형)와 Signal State Generator로 구성되어 있다. 내부 모형으로는 차량길이, 차량 총중량(kg), 엔진성능(kw), 최대속도, 잠재적 가·감 속도, 운전자 Psycho-physical 민감도 한계값, 운전자 기억(memory) 등의 운전자 특성 및 차량특성을 반영하며, Wiedermann(1974, 1999)에 의해 개발된 Psycho-physical 차량추종행태 모형과 강제차로변경 모형과 선택차로변경 모형을 적용하고 있어 현실에 근접하게 차량들의 교차로 주행 형태를 모사할 수 있다[8].

3) 네트워크 구축 및 시뮬레이션 방법

본 연구의 목적은 교차로 용량분석이므로 용량을 초과할 경우라도 네트워크에서 충분한 대기행렬이 구현될 수 있도록 하여야 할 것이다. 이를 위해서는 충분한 접근로 길이가 확보되어야 하므로 네트워크 구축범위는 교차로를 중심으로 반경 1km로 하였다.



〈Fig. 5〉 Network in VISSIM for the Study

교통량은 4,500초 동안 발생시켰으며 네트워크 시뮬레이션 수행 시간은 발생된 교통량이 모두 교차로를 통과할 수 있도록 7,200초로 설정하였다. warm up time은 900초로 설정하였으며 warm up time 이후 시간부터 7,200초까지 지체시간 자료를 수집하였다. 신호주기는 신호교차로의 경우 100초로 하였으며 현시는 <Table 3>과 같다.

〈Table 3〉 Traffic Signal Phase

Cycle	Phase			
100	←↑	↑→	↓→	↓←
	22(3)	22(3)	22(3)	22(3)

시뮬레이션 차종은 분석의 편의 상 모두 승용차로 적용하였으며 교차로 진입속도는 50km/h이고 회전교차로 회전부 설계속도는 20km/h로 설정하였다. 시뮬레이션 수행은 Random Seed에 따라 결과가 달라질 수 있으므로 Random Seed를 다르게 적용한 3번의 시뮬레이션 결과 값의 평균을 분석에 활용하였다.

V. 분석 결과

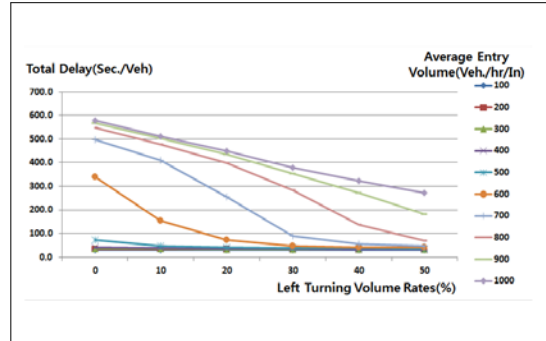
1. 좌회전 비율에 따른 교차로 유형별 지체시간 비교

1) 접근로 차로수 1차로

① 신호교차로

<Fig. 6>과 같이 접근로 교통량이 500대/시/차로 이하인 경우 평균 지체시간은 100초/대 이하로 서비스수준 C~E에 해당하며 600대/시/차로 이상인 경우는 좌회전 비율에 따라 서비스수준 C~FFF에 해당되는 것으로 분석되었다. 즉, 600대/시/차로일 경우 좌회전 비율 0%~10%는 100초 이상으로 서비스수준 F, 20%는 E, 30%~50%는 C에 해당되는 것으로 분석되어, 좌회전 비율이 높을수록 지체시간이 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 800대/시/차로인 경우 좌회전 비율 50% 이상일 때 서비스 수준 E로 나타나, 1차로 신호교차로의 차로당 용량은, 물론 좌회전 비율에 따라 다르겠지만, 대략 약 600~800대/시/차로 수준인 것으로 보인다.

접근로 교통량이 400대/시/차로 이하인 경우 좌회전 비율 0%~50%까지 비슷한 수준으로 나타나 좌회전 비율에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되며, 접근로 교통량이 500대/시/차로 이상인 경우 좌회전 비율이 증가할수록 지체시간이 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 교차로 진입교통량이 동일한 경우 좌회전 비율 0%일 때 좌회전 차로를 이용하는 차량이 없어 직진 1차로만 이용하지만 좌회전 비율이 10% 이상일 때는 좌회전 1차로와 직진 1차로를 모두 이용할 것이므로, 좌회전 비율이 클수록 교차로 진입차량이 2개의 차로를 고르게 사용함으로써 지체시간이 감소하는 것으로 판단된다. 좌회전 비율이 일정 수준을 넘으면 오히려 지체시간이 증가하는 현상은 보이지 않으며, 이는 신호교차로의 특성상 주기적으로 각 접근로에 신호를 할당함으로써 좌회전 차량이 직진차량에 미치는 영향이 어느 정도 상쇄하기 때문인 것으로 판단된다.

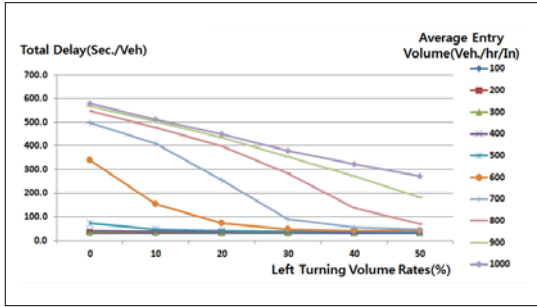


<Fig. 6> Average Delay according to Traffic Volume and Left-Turn Ratio on Approaches(Signalized intersection with 1 lane)

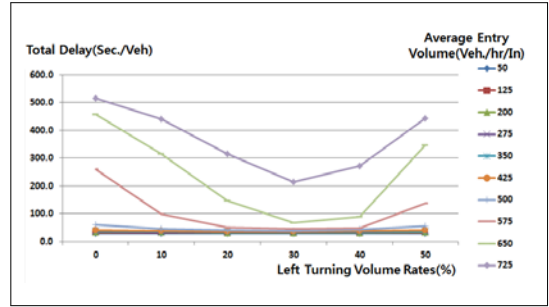
② 회전교차로

<Fig. 7>과 같이 접근로 교통량이 400대/시/차로 이하인 경우 평균 지체시간은 20초/대 이하로 서비스수준 A~C에 해당하며 500대/시/차로의 경우 좌회전 비율에 따라 서비스 수준 C~F에 해당하는 것으로 분석되었고 600대/시/차로 이상인 경우 50초/대 이상으로 서비스수준 F인 것으로 나타났다. 이를 통해, 1차로 회전교차로의 차로당 용량은 좌회전 비율에 따라 대략 약 500~600대/시/차로 수준인 것으로 보인다.

접근로 교통량이 400대/시/차로 이하인 경우 좌회전 비율 0%~50%까지 비슷한 수준으로 나타나 좌회전 비율에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되며, 접근로 교통량이 500대/시/차로 이상인 경우 좌회전 비율이 클수록 지체시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 신호교차로에서는 좌회전 전용차로에 의한 영향으로 좌회전 비율이 클수록 지체시간이 감소하는 것으로 나타났지만 회전교차로의 경우 좌회전 전용 포켓이 없고 직진차량에 비해 좌회전 차량이 상충횟수가 많으므로 좌회전 비율이 증가할수록 지체시간도 증가하는 것으로 판단된다.



〈Fig. 7〉 Average Delay according to Traffic Volume and Left-Turn Ratio on Approaches(Roundabout with 1 lane)



〈Fig. 8〉 Average Delay according to Traffic Volume and Left-Turn Ratio on Approaches(Signalized intersection with 2 lanes)

2) 접근로 차로수 2차로

① 신호교차로

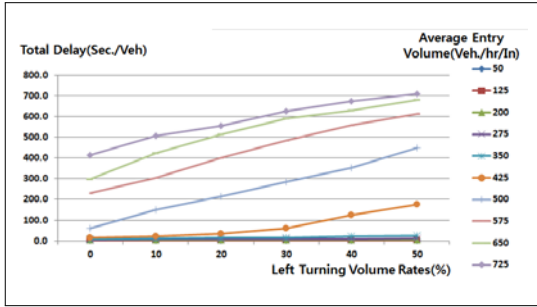
접근로 교통량이 425대/시/차로 이하인 경우 평균 지체시간은 50초/대 이하로 서비스수준 B~C에 해당하며 500대/시/차로의 경우 좌회전 비율이 0%일 때 서비스수준 D, 좌회전 비율 30%일 때 C, 좌회전 비율 50%일 때 D로 변화하는 것으로 분석되었다. 접근로 교통량 575대/시/차로 이상인 경우에도 500대/시/차로와 유사한 패턴으로 나타났다. 또한, 575대/시/차로일 경우 좌회전 비율 0%는 100초 이상으로 서비스수준 F, 10%는 E, 20%~40%는 C에 해당되는 것으로 분석되었으며, 650대/시/차로인 경우 좌회전 비율 30%~40%일 때 서비스 수준 E로 나타났다. 즉, 2차로 신호교차로의 차로당 용량은 좌회전 비율에 따라 대략 약 575~650대/시/차로 수준인 것으로 보이며, 1차로 신호교차로에서의 차로당 용량보다 감소한 것을 알 수 있다.

접근로 교통량이 500대/시/차로 이하인 경우 좌회전 비율 0%~50%까지 비슷한 수준으로 나타나 좌회전 비율에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되며, 접근로 교통량이 575대/시/차로 이상인 경우 좌회전 비율 30%까지는 지체시간이 감소하다가 이 후 다시 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 패턴이 나타나는 이유는 좌회전 비율이 30%까지는 좌회전 차로의 영향으로 지체시간이 감소하였으나 좌회전 비율 30% 초과부터는 좌회전 차로의 용량보다 교통량이 더 많아 좌회전 차량의 대기행렬이 직진차로에도 영향을 미쳐 지체시간이 증가한 것으로 분석되었다.

② 회전교차로

접근로 교통량이 350대/시/차로 이하인 경우 평균 지체시간은 35초/대 이하로 서비스수준 A~D에 해당하며 425대/시/차로의 경우 좌회전 비율이 0%일 때 서비스수준 C에서 좌회전 비율 50%일 때 서비스수준 F로 좌회전 비율이 증가함에 따라 지속적으로 지체시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 접근로 교통량 500대/시/차로 이상인 경우에도 425대/시/차로와 유사한 패턴으로 나타났다. 즉, 2차로 회전교차로의 차로당 용량은 좌회전 비율에 따라 대략 약 425~500대/시/차로 수준인 것으로 보이며, 1차로 회전교차로에서의 차로당 용량보다 감소한 것을 알 수 있다.

접근로 교통량이 350대/시/차로 이하인 경우 좌회전 비율 0%~50%까지 비슷한 수준으로 나타나 좌회전 비율에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되며, 접근로 교통량이 425대/시/차로 이상인 경우 좌회전 비율이 클수록 지체시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 신호교차로에서는 좌회전 전용차로에 의한 영향으로 좌회전 교통량 0%보다 10~50%에서 지체시간이 적은 것으로 나타났지만 회전교차로의 경우 좌회전 전용 포켓이 없고 직진차량에 비해 좌회전 차량의 상충횟수가 많으므로 좌회전 비율이 증가할수록 지체시간도 증가하는 것으로 판단된다.



(Fig. 9) Average Delay according to Traffic Volume and Left-Turn Ratio on Approaches(Roundabout with 2 lanes)

2. 교차로 유형별 용량분석

1) 접근로 차로수 1차로

교차로 유형과 좌회전 비율에 따라 설계서비스 수준 D의 처리교통량과 용량 수준을 파악하기 위하여 서비스수준 D와 E, E와 F 경계에 해당하는 교통량 수준을 분석하였다.

서비스수준 D와 E경계에 해당하는 접근로 교통량 수준은 신호교차로 평균 631대/시/차로, 회전교차로 평균 491대/시/차로로 분석되었으며 신호교차로가 회전교차로보다 접근로 차로당 처리할 수 있는 교통량이 많은 것으로 나타났다.

신호교차로에서는 좌회전 비율이 증가할수록 서비스수준 D에서 처리할 수 있는 교통량이 증가하는 것으로 분석되었다. 즉, 좌회전 비율 0%일 때 신호교차로에서의 처리가능 교통량은 495대/시/차로로 나타났으며, 좌회전 비율 50%일 때 가장 많은 801대/시/차로로 나타났다. 회전교차로는 좌회전 비율 0%일 때 가장 많은 546대/시/차로, 좌회전 비율 50%일 때 가장 적은 432대/시/차로로 나타나 좌회전 비율이 높을수록 처리가능 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

주목할 점은, 좌회전 비율 0%에서 신호교차로에서 보다 회전교차로에서의 처리가능 교통량이 많은 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 가정한 기하구조와 신호현시에 기인한 것으로 일반적인 결과라 할 수는 없다. 본 연구에서는 신호교차로 분석 시 좌회전 비율별로 같은 조건 하에서 분석을 수행하

기 위하여 신호현시를 고정해 두었는데, 현실적으로 좌회전 비율 0%에서는 신호현시를 달리하여야 할 것이다. 신호최적화를 시행할 시 처리가능 교통량은 회전교차로에서 보다 많을 것이다. 좌회전 비율 10%이상에서는 회전교차로보다 신호교차로에서 처리가능 교통량이 많은 것으로 나타났다.

서비스수준 E와 F 경계에 해당하는 접근로 교통량 수준은 신호교차로 평균 661대/시/차로, 회전교차로 평균 516대/시/차로로 분석되었으며 신호교차로가 회전교차로보다 접근로 차로당 처리할 수 있는 교통량이 많은 것으로 나타났다.

신호교차로에서는 좌회전 비율이 증가할수록 서비스수준 E에서 처리할 수 있는 교통량이 증가하는 것으로 분석되었다. 즉, 좌회전 비율 0%일 때 신호교차로에서의 처리가능 교통량은 511대/시/차로로 나타났으며, 좌회전 비율 50%일 때 가장 많은 827대/시/차로로 나타났다. 회전교차로는 좌회전 비율 0%일 때 가장 많은 584대/시/차로, 좌회전 비율 50%일 때 가장 적은 458대/시/차로로 나타나 좌회전 비율이 높을수록 처리가능 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

신호교차로의 경우 좌회전 차량이 없을 때보다 있을 때 처리할 수 있는 교통량이 증가한 이유는 좌회전 전용차로가 있기 때문인 것으로 판단되며 회전차로의 경우 좌회전 전용차로가 없고 좌회전 차량이 증가할수록 교차로에서의 상충횟수가 증가하여 그만큼 지체시간이 더 발생하므로 좌회전 비율이 높을수록 처리할 수 있는 교통량이 감소하는 것으로 분석된다.

신호교차로와 회전교차로에서 각 서비스수준별 처리가능 교통량이 좌회전비율에 따라 차이가 나는 것으로 보아 좌회전비율이 접근로 차로당 처리가능 교통량에 영향을 미치므로 회전교차로 전환기준 교통량을 산정하는데 있어서 좌회전 비율을 반드시 고려하여 용량을 분석한 후에 최적 교차로 유형을 결정하여야 할 것이다.

〈Table 4〉 Traffic Volume Criteria between LOS D and LOS E/between LOS E and LOS F according to Left-Turn Ratio on Approaches with 1 lane

Intersection Type	Volume(Veh./hr/lane)													
	LOS(D/E)							LOS(E/F)						
LTVR* (%)	0	10	20	30	40	50	Ave	0	10	20	30	40	50	Ave
Signaled Intersections	495	521	596	656	717	801	631	511	549	616	706	754	827	661
Roundabout	546	517	504	489	458	432	491	584	533	514	506	500	458	516

* : Left Turning Volume Rates

Note : 서비스수준 D와 E 경계에 해당하는 평균운영지체는 비신호 및 회전교차로의 경우 35초/대, 신호교차로로의 경우 70초/대이며, 서비스수준 E와 F 경계에 해당하는 평균운영지체는 비신호 및 회전교차로의 경우 70초/대, 신호교차로로의 경우 100초/대임

1) 접근로 차로수 2차로

교차로 유형과 좌회전 비율에 따라 교차로의 용량을 비교하기 위하여 서비스수준 D와 E, E와 F 경계에 해당하는 교통량 수준을 분석하였다.

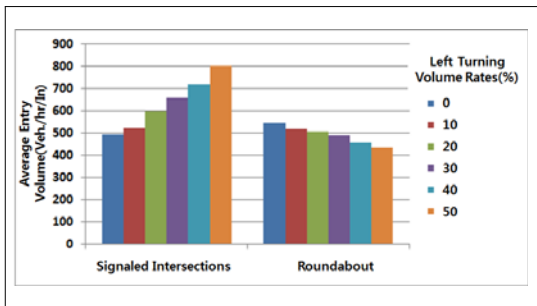
서비스수준 D와 E경계에 해당하는 접근로 교통량 수준은 신호교차로 평균 568대/시/차로, 회전교차로 평균 402대/시/차로로 분석되어 회전교차로보다 신호교차로에서 접근로 차로당 처리할 수 있는 교통량이 많은 것으로 나타났다.

신호교차로에서는 좌회전 비율이 증가할수록 서비스수준 D에서 처리할 수 있는 교통량이 증가하다가 일정 수준 이상에서는 다시 감소하는 것으로 분석되었다. 신호교차로에서는 좌회전 비율 30%일 때 가장 많은 652대/시/차로로 나타났으며 좌회전 비율 0%일 때 가장 적은 503대/시/차로로 나타났다. 회전교차로는 좌회전 비율 0%일 때 가장 많은 457대/시/차로, 좌회전 비율 50%일 때 가장 적은 355대/시/차로로 나타나 좌회전 비율이 높을수록 처리가능 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

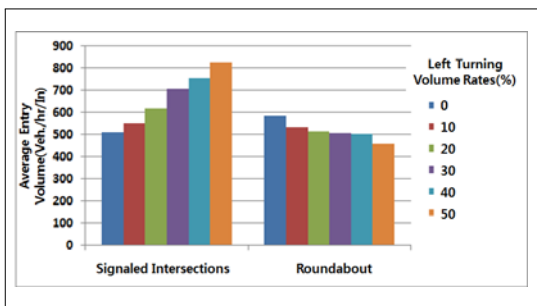
서비스수준 E와 F 경계에 해당하는 접근로 교통량 수준은 신호교차로 평균 595대/시/차로, 회전교차로 평균 417대/시/차로로 분석되어, 회전교차로보다 신호교차로에서 접근로 차로당 처리할 수 있는 교통량이 많은 것으로 나타났다.

신호교차로에서는 좌회전 비율이 증가할수록 서비스수준 E에서 처리할 수 있는 교통량도, 서비스수준 D의 경우와 같이, 증가하다가 일정 수준 이상에서는 다시 감소하는 것으로 분석되었다. 신호교차로의 경우 좌회전 비율 30%까지는 처리가능 교통량이 증가하는 것으로 나타났으며, 40% 이후 감소하는 것으로 나타났다. 회전교차로는 좌회전 비율 0%일 때 가장 많은 482대/시/차로, 좌회전 비율 50%일 때 가장 적은 363대/시/차로로 나타나 좌회전 비율이 높을수록 처리가능 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

신호교차로의 경우 좌회전 차량비율이 어느 정도까지는 좌회전 차량이 없을 때보다 처리할 수 있는 교통량이 증가하였는데, 이는 접근로 1차로 교차로에서와



〈Fig. 10〉 Traffic Volume Criteria between LOS D and LOS E according to Left-Turn Ratio on Approaches with 1 lane



〈Fig. 11〉 Traffic Volume Criteria between LOS E and LOS F according to Left-Turn Ratio on Approaches with 1 lane

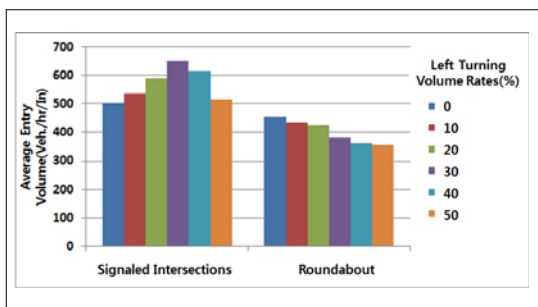
같이 좌회전 전용차로가 있기 때문인 것으로 판단되며, 좌회전 차량이 일정수준 이상일 경우 좌회전 차량으로 인해 직진차량이 방해받기 때문인 것으로 판단된다. 회전차로의 경우 1차로 회전교차로와 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 모든 유형의 교차로에서 각 서비스수준별 처리가능 교통량이 좌회전 비율에 따라 차이가 나므로 회전교차로 전환기준 교통량은 좌회전 비율을 반드시 고려하여 용량을 분석한 후에 결정하여야 할 것이다.

〈Table 5〉 Traffic Volume Criteria between LOS D and LOS E/between LOS E and LOS F according to Left-Turn Ratio on Approaches with 2 lanes

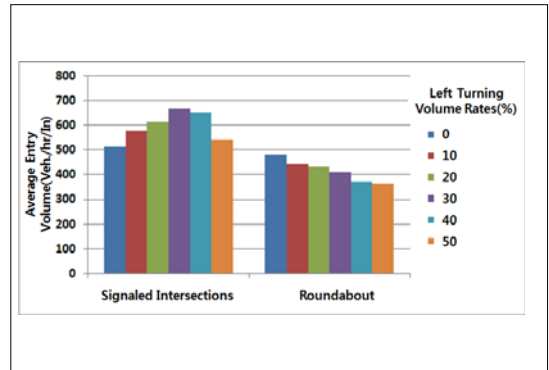
Intersection Type	Volume(Veh./hr/lane)													
	LOS(D/E)							LOS(E/F)						
LTVR* (%)	0	10	20	30	40	50	Ave	0	10	20	30	40	50	Ave
Signaled Intersections	503	535	590	652	615	515	568	515	576	614	667	654	542	595
Roundabout	457	433	426	382	361	355	402	482	442	432	409	371	363	417

* : Left Turning Volume Rates

Note : 서비스수준 D와 E 경계에 해당하는 평균운영지체는 비신호 및 회전교차로의 경우 35초/대, 신호교차로로의 경우 70초/대이며, 서비스수준 E와 F 경계에 해당하는 평균운영지체는 비신호 및 회전교차로의 경우 70초/대, 신호교차로로의 경우 100초/대임



〈Fig. 12〉 Traffic Volume Criteria between LOS D and LOS E according to Left-Turn Ratio on Approaches with 2 lanes



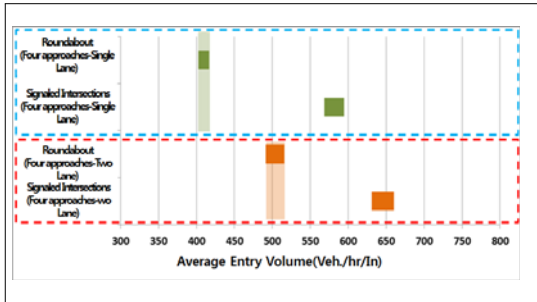
〈Fig. 13〉 Traffic Volume Criteria between LOS E and LOS F according to Left-Turn Ratio on Approaches with 2 lanes

3. 회전교차로 전환기준 제시

교차로 유형별 용량은 신호교차로가 회전교차로보다 높은 것으로 나타났다. 또한, 신호교차로, 회전교차로 모두 접근로 차로 수 2차로보다 1차로가 차로당 처리 가능한 교통량이 많은 것으로 나타났다. <Table 6>과 같이 접근로 1차로 신호교차로의 용량은 661대/시/차로, 회전교차로는 516대/시/차로로 분석되었다. 접근로 2차로 신호교차로의 용량은 595대/시/차로, 회전교차로는 417대/시/차로로 분석되었다.

〈Table 6〉 Traffic Volume Criteria between LOS D and LOS E/between LOS E and LOS F according to Intersection Type and Number of Lane on Approaches

Intersection Type		Average Entry Volume(Veh./hr/ln)	
		LOS(D/E)	LOS(E/F)
Single Lane	Signaled Intersections	631	661
	Roundabout	491	516
Two Lane	Signaled Intersections	568	595
	Roundabout	402	417



〈Fig. 14〉 Traffic Volume Capacity based on Intersection Type and Number of Lane on Approaches

회전교차로에서 신호교차로로 전환할 수 있는 교통량 기준은 접근로 1차로와 2차로 모두 회전교차로의 처리용량이 신호교차로보다 적은 것으로 나타났으므로 이를 이용한 전환기준 제시가 가능할 것으로 판단된다. 일반적으로 교차로를 설치할 때 도시부의 경우 설계서비스수준 D를 기준으로 계획하고 있으므로 회전교차로와 신호교차로의 전환기준을 서비스수준 D에서 처리가능한 교통량으로 하되, 용량 이하 상태에서의 운영은 어느 정도 가능하므로 서비스수준 E 범위 내의 교통량일 경우는 대상지역의 교통특성, 교차로 주변여건 등에 따라 유동적으로 교차로 운영방식을 결정할 수 있도록 하고자 한다. 또한, 회전교차로에서 신호교차로로 또는 신호교차로에서 회전교차로로 전환할 수 있는 전환기준 교통량은 실무 적용의 용이성을 고려하고 보수적으로 접근하기 위해 10대/시/차로 단위로 내림하여 기준을 마련하였다.

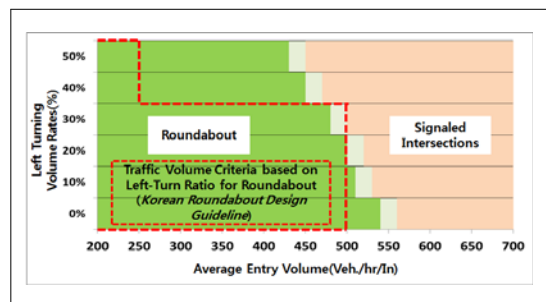
접근로 차로 수 및 좌회전 비율에 따라 회전교차로의 차로당 용량이 달라지므로, 운영효율성 제고 측면에서 접근로 차로수와 좌회전 비율을 고려하여 회전교차로 전환기준 교통량 및 버퍼구간(서비스수준 E 범위)을 <Table 7>, <Table 8>와 같이 제시한다.

접근로 1차로 4지 신호교차로에서 회전교차로 전환기준은 좌회전 비율이 0%일 때 540대/시/차로이며 좌회전 비율이 50%일 때 430대/시/차로로 분석되었다.

회전교차로 설계지침의 기준과 비교했을 때 좌회전 비율 30%이하인 경우 본 연구의 전환기준이 설계지침보다 30~90대/시/차로 많은 것으로 분석되었으며 좌회전비율 40~50%인 경우 180~200대/시/차로 많은 것으로 나타났다. 이는 설계지침상의 교통량은 차종에 관계없이 단위가 대/일이었으나, 본 연구에서는 분석의 편의상 교통량 단위를 pce/시로 승용차만을 고려한 결과라 판단된다. 그러므로 현장에서는 중차량비율을 고려하여 교통량을 승용차 단위로 환산 후 본 연구에서 제시한 기준과 비교해야 할 것이다.

〈Table 7〉 Traffic Volume Criteria for Converting between Signalized Intersection and Roundabout according to Left-Turn Ratio in Four-leg Intersection with 1 lane Approaches

Left Turning Volume Rates (%)	Average Entry Volume(Veh./hr/ln)			
	Threshold Criteria		Buffer	
	Research	Koera Roundabout Design Guideline	Research	Koera Roundabout Design Guideline
0%	540	450	540~560	400~500
10%	510		510~530	
20%	500		500~520	
30%	480	250	480~500	250
40%	450		450~470	
50%	430		430~450	



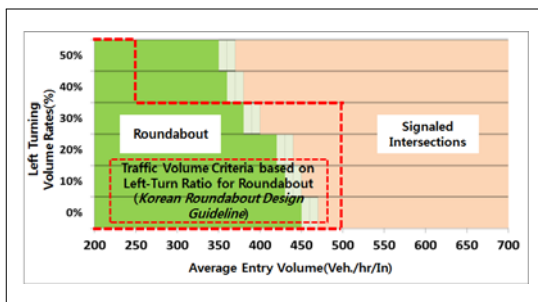
〈Fig. 15〉 Traffic Volume Criteria for Converting between Signalized Intersection and Roundabout according to Left-Turn Ratio in Four-leg Intersection with 1 lane Approaches

접근로 2차로 4지 신호교차로에서 회전교차로 전환기준은 좌회전 비율이 0%일 때 450대/시/차로이며 좌회전 비율이 50%일 때 350대/시/차로로 분석되었다. 사실 좌회전 비율이 0%일 경우는 현실에서 거의 존재하지 않는 경우로, 이는 기준마련을 위한 극단적인 경우를 상정한 것으로 보아야 할 것이다.

회전교차로 설계지침의 기준과 비교했을 때 좌회전 비율 30%이하인 경우 본 연구의 전환기준이 설계지침보다 0~70대/시/차로 적은 것으로 분석되었으며 좌회전비율 40~50%인 경우 100~110대/시/차로 많은 것으로 나타났다.

〈Table 8〉 Traffic Volume Criteria for Converting between Signalized Intersection and Roundabout according to Left-Turn Ratio in Four-leg Intersection with 2 lane Approaches

Left Turning Volume Rates (%)	Average Entry Volume(Veh./hr/ln)			
	Threshold Criteria		Buffer	
	Research	Koera Roundabout Design Guideline	Research	Koera Roundabout Design Guideline
0%	450	450	450~470	400~500
10%	430		430~450	
20%	420		420~440	
30%	380		380~400	
40%	360	250	360~380	250
50%	350		350~370	



〈Fig. 16〉 Traffic Volume Criteria for Converting between Signalized Intersection and Roundabout according to Left-Turn Ratio in Four-leg Intersection with 2 lane Approaches

VI. 결론 및 향후연구방향

본 연구는 기존 기침에 제시된 교차로 기하구조 및 교통여건이 고려되지 않는 회전교차로 전환기준을 보완하기 위해 교차로 운영방법, 접근로 차로수에 따른 4개의 교차로유형과 좌회전 비율 6 Level, 교통량 10 Level을 조합하여 총 240개의 시나리오를 설정하였으며 시뮬레이션을 통해 4지 교차로에 대한 용량분석을 수행하였다. 접근로 차로수와 좌회전 비율에 따른 회전교차로 전환기준 교통량은 접근로 차로수 1차로인 경우 좌회전 비율에 따라 430~540대/시/차로로 분석되었으며, 2차로인 경우 좌회전 비율 350~450대/시/차로로 분석되었다.

본 연구 결과를 통해 기존 지침에서 모든 유형의 교차로에 동일하게 적용되던 회전교차로 전환기준이 접근로 차로수와 좌회전 비율에 따라 변화됨을 알 수 있었으며 접근로 차로수와 좌회전 비율에 따른 회전교차로 전환기준을 회전교차로 설계지침에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 좌회전 비율에 따른 신호교차로 분석 시 신호 최적화를 수행하지 않은 결과이므로 신호교차로에 대한 용량분석 결과에 대한 한계가 있었으며, 3지 교차로, 보행자 교러, 우회전 비율 고정 등에 대한 분석의 한계가 있었다.

향후에는 3지 교차로에 대한 회전교차로 전환기준과 보행자, 우회전 비율과 우회전 전용차로, 신호교차로 신호 최적화에 따른 용량분석 및 전환기준 교통량에 대한 연구를 수행하여 다양한 기하구조 조건과 교통환경에 따라 회전교차로 전환기준을 적용할 수 있는 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] MOLIT(2010), Korean Roundabout Design Guideline, pp.20-21.
- [2] MOLIT(2013), Korea Highway Capacity Manual, pp.496-497.
- [3] Lee D. M. and You J. H.(2013), "A Study on Appropriate Traffic Volume Calculation for Revitalizing Roundabout Installation," *Journal*

- of *Korean Society of Transportation*, vol. 31, no. 6, pp.43–52.
- [4] Kim T. Y., Beak T. H. and Park B. H.(2014), “Development of Capacity Models Based on the Travel Characteristics at Roundabout,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 6, pp.651–661.
- [5] Kim T. Y., Park M. K. and Park B. H.(2012), “A Critical Gap Model for Roundabouts in Korea,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 30, no. 2, pp.93–100.
- [6] Suh W., Barry C., Schmitt L., Anderson J., Rodgers M. O. and Hunter M.(2015), “Impact of Including Exiting Vehicles in Single-Lane Roundabout Capacity Models,” TRB, No. 2517, *Transportation Research Board, Washington, D.C.*, 2015, pp.87–95.
- [7] Florida DOT(1996), Florida Roundabout Guide, pp.2–6–3–9.
- [8] PTV(2009), Vissim 5.20 User Manual, p.123.

저자소개



조 한 선(Cho, Hanseon)

2004년 6월~현재 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구위원
 2003년 11월~2004년 6월 : Texas Transportation Institute, Post Doctoral Research Associate
 2003년 12월 : Texas A&M University 공학박사(토목공학과)
 1995년 2월 : 아주대학교 대학원 공학석사(교통공학과)
 e-mail : h-cho@koti.re.kr



김 영 춘(Kim, Youngchun)

2011년 1월~현재 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구원
 2008년 9월~2010년 2월 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구원
 2008년 8월 : 전남대학교 도시계획석사(교통물류과)
 e-mail : kyc@koti.re.kr



안 우 영(Ahn, Woo-Young)

2006년 4월~현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수
 1993년 1월~2006년 3월 : 한국교통연구원, 부연구위원
 2004년 9월 : 런던대학교(University College London) 공학박사(토목공학과)
 1992년 12월 : Ohio State University 공학석사(도시계획과)
 e-mail : ahnwy@kongju.ac.kr