

현장 임계간격을 이용한 다지 회전교차로 분석

Evaluation of Multi-legged Roundabout Using Surveyed Critical Gap Acceptance

박순용*, 김동녕**, 정준화*

한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로교통연구실*, 단국대학교 토목환경공학과**

Soon-Yong Park(psy@kict.re.kr)*, Dong-Nyong Kim(kdng@dankook.ac.kr)**,
Jun-Hwa Jeong(jhjeong@kict.re.kr)*

요약

본 연구에서는 한국 운전자의 특성을 고려한 회전교차로 진입 임계간격을 조사하여 이를 기반으로 다양한 교통조건 및 다지 회전교차로에 대하여 그 효과를 분석하였다. 회전교차로의 임계간격은 4지, 5지, 6지, 그리고 7지에 대하여 현장조사를 수행하였으며, Raff의 추정기법을 이용하여 임계간격을 도출하였다. 도출된 임계간격은 모의실험을 위한 정산 및 통계적 검증과정을 거쳤으며, 이를 기반으로 다양한 조건에서 회전교차로 운영 분석을 수행하였다. 그 결과 운영 교통량 및 회전비율 등에 따른 다지 회전교차로의 설계요소인 내접원 직경을 서비스수준별로 제시하였다. 이는 향후 회전교차로 설계지침에 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 다지 회전교차로 | 임계간격 | 정산 및 검증 | 회전교차로 설계 |

Abstract

In this paper, considering the characteristics of the driver at roundabouts by investigating the critical gap acceptance on various traffic conditions, multi-legged roundabouts were evaluated. The gap acceptance and rejection of 4-legged, 5-legged, 6-legged, and 7-legged roundabout were surveyed on real fields, and the critical gap acceptance was estimated using Raff's methods. Derived the critical gap acceptance was processed calibration and validation for micro-simulation, and then multi-legged roundabouts under variable conditions such as variations of traffic volume, turning ratio, and size of inscribed circle diameter were evaluated to verify operating conditions of roundabouts. As the results, according to the operating traffic volume and turning ratio, the inscribed circle diameters were proposed at each level of service. These inscribed circle diameters were able to reflect the guideline of geometric design for multi-legged roundabouts.

■ keyword : | Multi-legged Roundabout | Critical Gap Acceptance | Calibration and Validation | Roundabout Design |

1. 서론

1. 연구의 배경

행정안전부에서 2010~2011년도 회전교차로 시범사업을 추진하였으며, 전국에 걸쳐 약 200여소가 설치 운

영 중에 있다[1]. 회전교차로를 설치 운영함에 있어서 기하구조 설계 방법은 회전교차로 설계지침[2]에 제시되어 있으며, 운영·평가를 위한 용량산정 방법은 도로용량 편람[3] 및 회전교차로 설계지침에 명시되어 있다. 이중 운영·평가를 위한 운전자 행태는 국토해양부

* 본 논문은 한국콘텐츠학회 JCCC 2013 제1회 융합콘텐츠 제주학술대회 우수논문입니다.

* 본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(일반연구자지원사업) “교통량 조건을 고려한 다지교차형태의 회전교차로 상세 설계방안(3차년도)” 연구비 지원에 의해 수행되었음.

접수일자 : 2013년 07월 31일

수정일자 : 2013년 08월 26일

심사완료일 : 2013년 09월 03일

교신저자 : 김동녕, e-mail : kdng@dankook.ac.kr

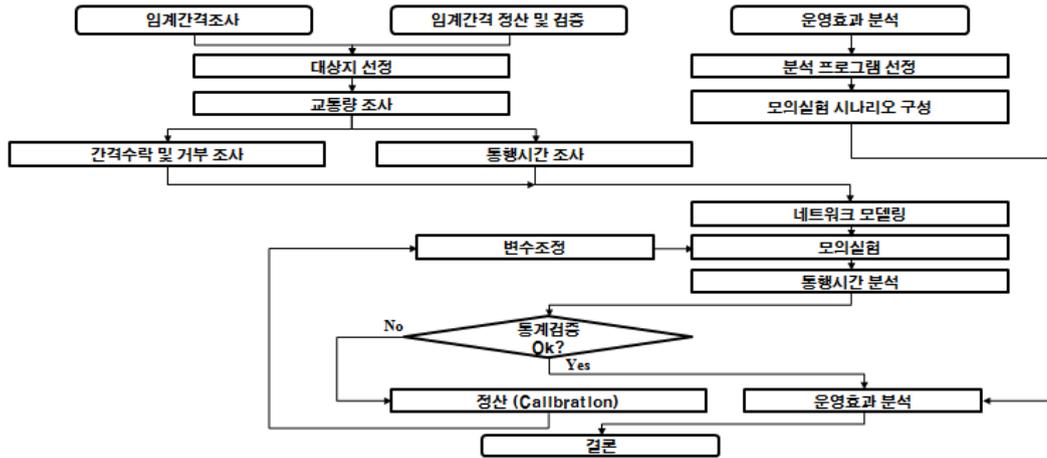


그림 1. 연구의 흐름도

2011년 “회전교차로 활성화 방안”의 임계간격 산정 결과를 사용하고 있다. 그러나 여기서 제시하고 있는 임계간격 4.8초는 현장 조사 결과가 아닌 피실험자를 대상으로 실시한 실험결과이다. 이를 미국 Highway Capacity Manual (HCM)의 임계간격과 비교해 보면, 약 1초 정도 크게 나타났으며, 이에 따라 용량산정 및 운영평가를 실시할 경우 용량이 과다 추정되거나 운영평가 시 서비스 수준이 상향되는 결과를 초래할 수 있다. 단순한 예로서 임계간격이 4.8초인 경우는 시간당 750대/시(=3600/4.8)의 차량 진입이 가능하지만 임계간격이 3.8초인 경우는 948대/시(=3600/3.8)의 진입이 가능하다. 두 임계간격에 의한 차이는 시간당 198대로서 적절한 임계간격을 사용하지 않을 경우 용량 및 서비스 수준의 급격한 변화를 초래할 수 있다. 따라서 국내 실정에 적합한 임계간격 도출이 요구되며, 이에 대한 연구가 필요하다.

2. 연구의 목적

임계간격은 교통 용량을 판단하기 위한 중요한 요소이며, 이와 더불어 모의실험 등에 사용되는 주요 변수이다. 따라서 이에 관한 명확한 이해와 연구가 수행되어야 회전교차로의 용량산정 및 모의실험의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 4지, 5지, 6지 그리고 7지 회전

교차로의 운전자 특성인 임계간격을 조사 분석하고, 이를 통해 모의실험에 사용할 수 있는 변수를 조정·검증하며, 이를 기반으로 국내 운전자 특성을 고려한 다지 회전교차로의 운영효과를 분석하는 것이 주요 목적이다. 연구의 주요 흐름은 [그림 1]과 같다.

II. 문헌고찰

1. 회전교차로 용량

정용일 등(2005)은 SIDRA를 이용하여 도심지역의 회전교차로 도입효과를 분석하였다. 그 결과 진입교통량이 많아짐에 따라 또한 진입교통량의 비율 차이가 클수록 회전교차로의 운영효과가 좋은 것으로 나타났다. 또한 좌회전 교통류가 많은 경우, 회전비율이 균등한 경우, 방향별 진입교통량의 비율 차이가 클수록 회전교차로가 신호교차로에 비해 운영효과가 우수하다고 결론지었다.

박병호 등(2009)은 회전교차로와 신호교차로의 효과를 비교 분석하였다. 그 결과 회전교차로는 좌회전 교통량 비율이 높을수록 지체가 커지고, 우회전 비율이 많을수록 지체가 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 1차로 회전교차로에서는 교통량이 2,000대/시 미만, 2차로 회전교차로에서는 교통량이 3,200대/시 미만일 때 신호

교차로보다 지체가 감소하는 것을 확인하였다.

박희철(2011)은 Micro-simulation인 VISSIM을 이용하여 도시지역 2차로 신호교차로와 회전교차로의 운영 효과를 분석하였다. 그 결과 회전교차로 회전차로의 직경이 37m일 때, 25m 보다 회전비율에 따라 250~500대/시까지 지체가 감소하는 것을 확인하였다.

박은미 등(2011)은 시뮬레이션 분석을 통한 국내 회전교차로 모형정립 방안에 대하여 연구를 수행하였다. 그 결과 현재 제시되어 있는 국내 회전교차로의 용량 분석시 사용되는 변수가 적어 경험적 모형보다는 해석적 모형이 적합하다고 판단하였다.

2. 임계간격

Raff와 Hart(1950)에 의해 제안된 임계간격 추정기법은, 진입차량이 주도로의 진입을 성공한 차량들의 수락된 간격 누적분포(Accepted Gap)와 수락이 거부된 간격의 누적분포(Rejected Gap)를 이용하여 임계간격을 추정하는 방법으로 두 곡선의 교차점을 임계간격으로 정의하였다.

Ashworth(1969)는 주도로의 차량에 의해 치우친 간격분포에 대해 오류를 입증, 치우침을 제거한 방법으로 서로 다른 주도로 교통량 수준에 대해 일관적인 임계간격 추정식을 제시하였다.

Miller(1970)는 Raff의 추정기법에 대하여 추가로 해석을 하였으며, 임계간격보다 작은 간격을 수락할 확률과 큰 간격을 거부할 확률이 동등하다는 전제를 바탕으로 임계간격 추정식을 제시하였다.

Siegloch(1973)는 주도로의 차량 사이의 간격 t 와 통과 차량대수 n 을 측정하여 n 명의 운전자에 의해 수락된 평균 시간간격을 계산하여, 평균 시간간격 동안 교차로로 진입한 차량과의 선형 회귀분석을 실시한 후 임계간격을 추정하였다.

Troutbeck(1992)의 최우추정법은 관찰된 표본이 나올 가능성을 최대로 만드는 분포를 찾는 방법으로, 이 추정기법에서는 임계간격이 운전자의 최대 거부간격과 수락간격 사이에 존재할 확률로 계산된다.

김석근(2002)은 TWSC (Two Way Stop Control) 교차로의 임계간격 추정기법에 대하여 유용성 평가를 실

시하였다. 그 결과 난수발생기법에 의해 구축된 총 10 세트의 가상 데이터는 각각의 임계간격 추정기법에 적용되었고, 임계간격의 분포는 대수-정규분포로 가정하여 임계간격 값(6.845초)을 도출하였다. 또한 여러 가지 임계간격 추정기법에 의해 도출된 임계간격의 평균값은 6.357~8.150초로 나타났고, Troutbeck에 의해 제시된 임계간격 값과 가장 유사한 결과를 도출하였다.

김태영 등(2012)은 국내 회전교차로 수락간격과 거절간격의 자료를 수집하여, 로짓모형을 이용한 수락간격모형을 도출하였다. 도출된 모형을 통해 산출된 회전교차로의 임계간격은 2.6초로 확인되었다. 또한 도시지역은 2.7초, 지방지역은 2.4초로 분석하였다.

대부분 문헌에서 제시된 회전교차로 용량분석 모형에서는 임계간격에 대한 고려를 하지 않았으며, 단순히 기하구조의 특성만을 이용하여 용량을 산출하였다. 또한 임계간격 연구는 국외의 경우, 임계간격을 추정하는 방법론적 연구이었으며, 국내 회전교차로의 임계간격 연구 또한 미비한 실정이었다.

III. 본 론

1. 임계간격

1.1 현장조사

회전교차로의 현장조사 대상지는 전국110개소 중에서 장단점 등을 고려하여 후보 대상지를 선정하였다. 후보 대상지는 총 41개소로 이중 4지 회전교차로 1개소 5지 회전교차로는 31개소, 6지 회전교차로는 5개소, 7지 이상 회전교차로는 4개소로 정리되었다. 각 개별 후보 대상에 대한 내접원직경, 접근차로 수, 회전차로 수, 과속방지 시설 등의 기하구조 및 회전교차로 이용 교통량 등의 장단점을 살펴본 결과, 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 대상지역을 평택시, 안성시, 횡성군, 서산시 지역으로 선정하여 임계간격 현장조사를 실시하였다. 다음 [표 1]은 현장조사 대상지역의 기하구조 및 특성을 보여주고 있다.

표 1. 현장조사 대상지역 기하구도 특징

구분		현장사진
택	교차형태	4지 회전
	접근차로 수	1차로
	회전차로 수	1차로
	내접원직경	30m
조사 횟수	3회	
상	교차형태	5지 회전
	접근차로 수	1,2차로
	회전차로 수	2차로
	내접원직경	45m
조사 횟수	3회	
산	교차형태	6지 회전
	접근차로 수	1차로
	회전차로 수	2차로
	내접원직경	45m
조사 횟수	3회	
안성	교차형태	7지 회전
	접근차로 수	1,2차로
	회전차로 수	2차로
	내접원직경	45m
조사 횟수	3회	

1.2 임계간격 조사 및 분석 방법

회전교차로의 임계간격 조사 방법은 현장에서 비디오 촬영을 통해 수행 되었다. 회전교차로로 차량이 진입했을 때 회전차로를 회전하고 있는 차량 간의 차두간격을 조사하여 진입이 수락된 간격과 거부된 간격을 산출하였다. 이후 Raff의 추정기법을 이용하여 임계간격을 추정하였다. [그림 2]와 같이 회전차로로 차량이 진입했을 때 회전하고 있는 차량의 차두간격을 기록하였으며, 진입이 수락 및 수락 거부된 것을 나누어 차두간격을 기록하여 각각을 분석하였다. 차두간격은 1/30초 단위(1초 30frames) 까지 분석 하였으며, 현장조사도중 돌발 상황 등에 의해 문제가 되는 부분은 분석에서 제외 하였으며, 교통량이 용량상태에 도달했을 시에도 분석이 의미가 없으므로, 이 또한 제외하였다.

이와 더불어 기하구조, 교통량, 그리고 통행시간 조사를 병행하였다. 임계간격 이외의 조사항목은 정산 및 검증에 위한 기초자료로 사용하기 위해서 조사되었다. 기하구조 조사에서는 접근차로 수, 회전차로 수 및 차

로 폭, 교통량 조사는 임계간격 조사시간과 동일한 시간(오전 첨두시 : 오전 7시~오전 9시) 대의 시간당 교통량 및 회전비율, 그리고 통행시간은 각 방향별 기준점(상류 교차로)과 기준점(하류 교차로) 사이를 실험차량을 이용한 통행시간을 측정하였다. 실험차량은 해당 교통류 흐름에 맞춰 운행하며, 저속 및 과속 운행을 하지 못하도록 하였다.

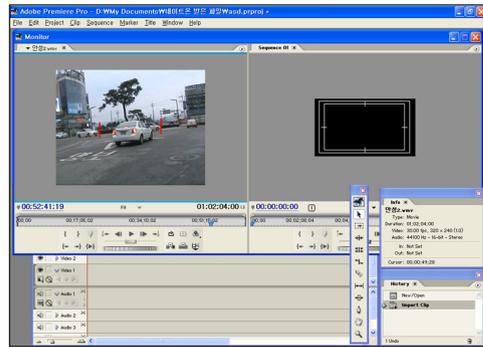


그림 2. 임계간격 비디오 분석과정

1.3 임계간격 조사 결과

현장조사를 통해 수집된 자료를 바탕으로 Raff의 추정기법을 통해 임계간격을 추정한 결과 3.6~4.1초로 나타났다. 이는 미국 HCM에서 제시하고 있는 3.7~4.4초와 비슷하거나 다소 낮으며, KHCM의 4.4~4.8초 보다는 0.8초 정도 작게 나타났다. 접근로수와 임계간격 상호간에는 상관관계가 없는 것으로 보인다. 세부적인 결과는 다음 [표 2]와 같다.

2. 임계간격 정산 및 검증

본 절에서는 모의실험에서 중요변수인 접근로 속도와 임계간격에 대하여 통행시간 현장조사 값을 사용하여 정산 및 검증 과정을 수행하였다. 정산에 사용된 변수는 임계간격 및 주행속도이며, 이를 현장에서 도출된 값을 기초로 하여 조정과정을 수행하였다. 검증과정의 종속변수는 현장에서 측정된 통행시간이며, 정산과정을 거친 변수는 모의실험을 수행하여 종속변수와 통계적 검증을 수행하였다.

표 2. 회전교차로 형태별 임계간격 현장조사 결과

회전교차로 형태	수락간격(sec)		수락거부간격(sec)		임계간격(sec)
	평균	표준편차	평균	표준편차	
4지	5.34	1.36	2.63	0.81	3.7
5지	5.51	1.28	2.71	1.04	4.1
6지	4.81	1.1	2.95	0.95	3.6
7지	5.06	0.98	2.61	1.45	3.7

2.1 임계간격 정산

정산 지표인 통행시간을 측정하기 위해 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로에 대하여 각각 상류 및 하류 교차로의 실험차량 통행시간을 측정하였다. 측정된 통행시간은 [표 3]의 4지 회전교차로 접근로 통행시간과 같이, 5지, 6지 7지 회전교차로 모두 정리하였다.

또한 조정과정을 수행하기 위하여, 현장에서 조사된 기하구조를 기반으로 모의실험 네트워크를 구축하였다. 네트워크 구축에 사용된 모형은 미시적 분석이 가능한 VISSIM 5.3을 이용하였다. VISSIM을 사용한 이유는, 회전교차로 진입차량의 임계간격을 변수로 사용할 수 있으며, 구간별 통행시간 산출이 가능하고, 차량의 지체를 산출할 수 있기 때문이다. 조정에 사용된 변수 및 조정치는 [표 4]와 같다.

본 정산 및 검증과정 이후 교통량 및 기타 변수에 따른 효과분석에서도 동일한 모형을 사용하였다.

표 3. 4지회전교차로 접근로별 통행시간

구분	통행시간 (초)			
	시점	회전차로 진입	회전차로 진출	종점
A ⇒ B	0	34	34	44
A ⇒ C	0	30	30	41
A ⇒ D	0	20	35	57
B ⇒ A	0	24	24	36
B ⇒ C	0	29	32	41
B ⇒ D	0	25	26	40
C ⇒ A	0	24	24	36
C ⇒ B	0	21	26	39
C ⇒ D	0	20	20	29
D ⇒ A	0	37	40	49
D ⇒ B	0	21	21	31
D ⇒ C	0	27	46	65

표 4. VISSIM의 조정변수 및 조정 값

구분	변수 조정치			
	Default	1차 조정	2차 조정	3차 조정
임계간격 (초)	3.0	3.0	3.7	3.7
접근로속도 (km/h)	50	40	50	40

2.2 네트워크 검증

모형의 검증을 위한 방법으로 본 연구에서는 통계적 검정을 사용하였다. 검증 지표로 사용된 통행시간은 현장의 실측값을 사용하였으나, 이는 모집단인 해당시간에 해당지역을 통과한 전수 차량을 관측한 값이 아니라 실험차량을 통해 얻어진 값이다. 따라서 현장에서 수집된 통행시간은 임계치로 사용하기에는 다소 제한적이다. 또한 각 접근로 별로 통행시간을 조사하였기 때문에 독립표본 T 검증은 제한적이다. 따라서 본 검증에서는 접근로 별 실측치와 모의실험 결과를 비교 검증하기 위하여 대응표본 T검정을 수행하였다. 조정된 변수를 이용하여 산출된 통행시간과 실측 통행시간의 대응표본 T검정 결과는 다음 [표 5]와 같이 나타났으며, 임계간격은 3.7초, 접근로속도는 40km/h를 사용하는 것이 신뢰수준 95%에서 실측 통행시간과 다르지 않다는 결론을 도출하였다.

3. 운영효과 분석

국내 문헌 및 연구[4-8]에서는 외국의 교통특성(임계간격 및 접근속도)을 사용하거나 이를 전혀 고려하지 않고 모의실험을 수행하였다. 본 운영효과 분석에서는 앞 절들의 현장조사 및 정산·검증과정을 수행한 변수를 사용하여 회전교차로의 운영효과를 분석하였다.

표 5. 네트워크 정산 및 검증 결과

구분	Default Value			1차 조정			2차 조정			3차 조정		
	VISSIM 변수		대응 t 검증									
	접근로 속도 (km/h)	임계 간격 (초)	유의 확률	접근로 속도 (km/h)	임계 간격 (초)	유의 확률	접근로 속도 (km/h)	임계 간격 (초)	유의 확률	접근로 속도 (km/h)	임계 간격 (초)	유의 확률
4지 회전교차로	50	3.0	0.001이하	40	3.0	0.002	50	3.7	0.002	40	3.7	0.763
5지 회전교차로	50	3.0	0.001이하	40	3.0	0.270	50	3.7	0.001이하	40	3.7	0.480
6지 회전교차로	50	3.0	0.001이하	40	3.0	0.001이하	50	3.7	0.001이하	40	3.7	0.149
7지 회전교차로	50	3.0	0.001이하	40	3.0	0.001이하	50	3.7	0.003	40	3.7	0.054

3.1 모의실험 시나리오

분석 시나리오는 회전차로 및 진입차로가 1차로인 경우, 교통량을 1,200대/시 부터 400대/시 단위로 증가시키며 2,400대/시까지, 2차로인 경우는 교통량을 2,400대/시 부터 800대/시 단위로 증가시키며 4,800 대/시까지 분석하였다. 또한 내접원 직경은 1차로의 경우 25m, 30m, 40m, 50m에 대하여, 2차로는 45m, 55m, 60m, 65m에 대하여 분석을 수행하였다. 세부적인 분석 시나리오는 다음 [표 6-표 8]과 같다.

표 6. 진입 및 접근로 2차로의 내접원직경 및 교통량

구분	구성				비고
내접원 직경(m) [회전속도(km/h)]	45 [30]	55 [30]	60 [30]	65 [30]	진입속도 (40km/h)
교통량(vph)	2,400	3,200	4,000	4,800	

표 7. 진입 및 접근로 1차로의 내접원직경 및 교통량

구분	구성				비고
내접원 직경(m) [회전속도(km/h)]	25 [30]	30 [30]	40 [30]	50 [30]	진입속도 (40km/h)
교통량(vph)	1,200	1,600	2,000	2,400	

표 8. 교차로 형태별 회전비율 시나리오

구분		구성			
교차로 형태		4지	5지	6지	7지
접근각도(도)		90(4지)	72(5지)	60(6지)	약51.4(7지)
회전비율% (좌/직/우)	1	접근로별 33.3	접근로별 25.0	접근로별 20.0	접근로별 16.7
	2	15/70/15	15/35/35/ 15	15/15/40/ 15/15	15/15/20/ 20/15/15

3.2 모의실험 네트워크 구축

모의실험을 위해 앞서 설명한 시나리오에 대해 [그림 3]과 같이 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로에 대하여 회전 및 접근차로 1차로 및 2차로 네트워크들을 구축하였다. 운영효과 분석을 위해 구축된 회전교차로는 회전교차로 설계지침에 제시되어 있는 내접원 직경 및 다양한 교통량에 대하여 분석을 수행하였다.

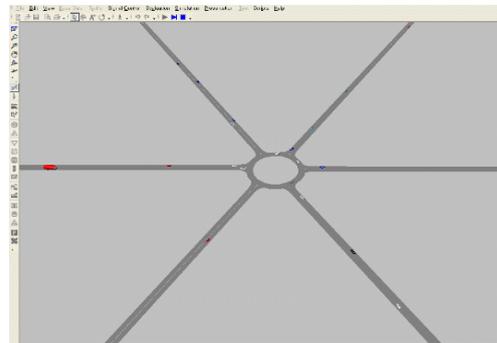


그림 3. 접근 및 회전 1차로 6지 회전교차로

3.3 분석결과

3.3.1 접근 및 회전차로 1차로

교통량 변화에 따른 분석으로는 모든 경우에서 교통량 증가로 인해 평균 지체시간이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 평균 통행속도 또한 감소하는 것으로 나타났다. 4지, 5지, 6지 및 7지 회전교차로에서 교통량이 1,600대/시까지는 각 회전교차로간의 차이가 거의 없었으나, 교통량이 1,600대/시를 초과하면 차량 지체가 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

내접원 직경이 25m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 1,850대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 약 2,000대/시까지는 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

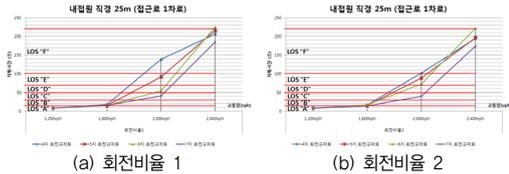


그림 4. 접근 및 회전차로 1차로 내접원직경 25m 결과

내접원 직경이 30m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 1,800대/시, 회전비율 2의 경우 교통량이 약 1,900대/시까지는 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

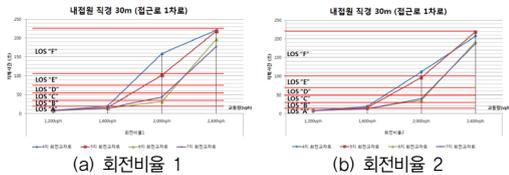


그림 5. 접근 및 회전차로 1차로 내접원직경 30m 결과

내접원 직경이 40m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 1,800대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 약 1,800대/시까지는 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

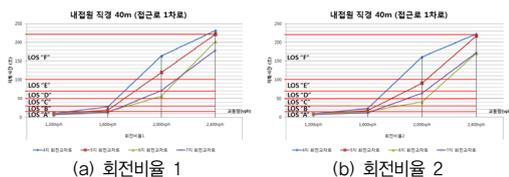


그림 6. 접근 및 회전차로 1차로 내접원직경 40m 결과

내접원 직경이 50m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 1,800대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 약 1,750

대/시까지는 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E”를 확보할 수 있을 것으로 분석되었다.

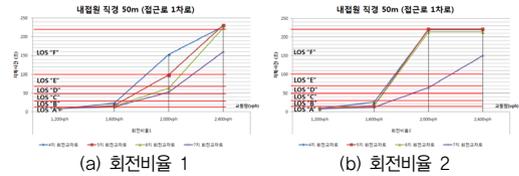


그림 7. 접근 및 회전차로 1차로 내접원직경 50m 결과

3.3.2 접근 및 회전차로 2차로

회전차로수가 증가하면 차량지체가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 교통량이 증가하면서, 차두간격이 짧아져 차량이 회전부로 진입하는데 필요한 임계간격을 확보하는 것이 어려워지기 때문인 것으로 판단된다.

내접원 직경이 45m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 3,400대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 약 3,500대/시까지는 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

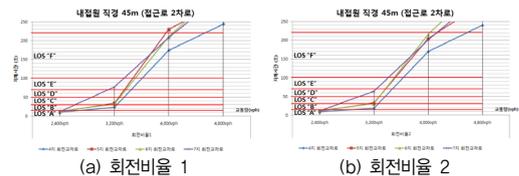


그림 8. 접근 및 회전차로 2차로 내접원직경 45m 결과

내접원 직경이 55m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 3,350대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 약 3,300대/시까지 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

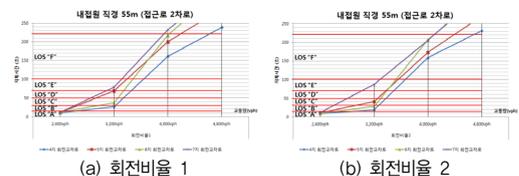


그림 9. 접근 및 회전차로 2차로 내접원직경 55m 결과

내접원 직경이 60m인 경우, 회전비율 1에서 교통량이 약 3,400대/시, 회전비율 2에서는 교통량이 3,500대/시까지 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

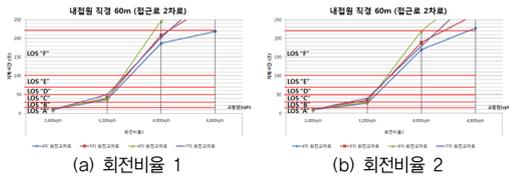


그림 10. 접근 및 회전차로 2차로 내접원직경 60m 결과

내접원 직경이 65m인 경우는 회전비율에 상관없이 교통량이 약 3,300대/시까지 4지, 5지, 6지, 7지 회전교차로의 서비스 수준은 “E” 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

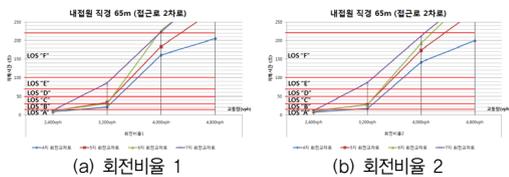


그림 11. 접근 및 회전차로 2차로 내접원직경 65m 결과

교통량, 회전비율, 그리고 내접원 직경별 지체시간을 분석한 결과 [표 9]와 같이 교통량 및 회전비율에 따라 일정 서비스 수준을 발휘할 수 있는 내접원 직경을 제시할 수 있었다. 이를 살펴보면, 용량을 초과하지 않은 상태에서는 교통량이 증가하면 내접원 직경을 증대시켜 서비스 수준을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 교통량이 용량상태를 초과하면, 내접원 직경을 증대시키더라도 일정 서비스 수준을 유지할 수 없는 것으로 확인되었다. 따라서 향후 회전교차로 설치 및 운영을 위해서 [표 9]에서 제시된 용량상태의 교통량을 충분히 고려하여 설계 및 운영이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 회전교차로 특성에 대해 검토해 보았으며, 이를 기반으로 모의실험에서 보다 현실적 분석결과를 도출하기 위한 과정을 수행하였다.

임계간격 연구에서는 현장조사 자료를 활용하여 Raff의 추정기법을 통해 회전교차로 임계간격을 도출하였다. 그 결과 5지 회전교차로를 제외하고 약 3.7초를 확인하였다. 그러나 5지 회전교차로 임계간격인 4.1초는 당시 교통량이 1,051대/시로 다른 회전교차로에 비해 교통량이 적은 것을 감안하면, 3.7초의 임계간격이 전반적인 회전교차로의 임계간격을 대표할 것으로 사료된다.

모의실험을 위한 조정 및 검증과정에서는 실차 통행시간을 기반으로 모의실험 통행시간과 비교 평가하였다. 그 결과 회전교차로의 접근속도 40km/h, 임계간격 3.7초가 통계적으로 현장의 통행시간과 차이가 없다는 결론을 내렸다.

또한 이를 기반으로 여러 형태의 회전교차로의 운영 분석을 수행하였으며, 그 결과를 설계에 반영할 수 있도록 기준을 제시하였다.

이후 다양한 형태의 회전교차로에 대하여 교통량, 회전비율, 내접원 직경 등의 조건을 변경하며 모의실험 수행하여 다지형태 및 서비스 수준별 설계가능 교통량 및 내접원 직경을 제시하였다.

이는 회전교차로 기하구조 설계에 있어서 반영되지 못하였던 국내 운전자 특성을 회전교차로의 접근로 수에 따라 세분화하여 반영하였으며, 본 결과를 바탕으로 다양한 교통량에 따라 적용 가능한 설계기준을 제시하였다.

향후 도출된 결과를 토대로 회전교차로 설계지침에 반영하는 정책적 과정이 요구되며, 회전교차로 설계기준 이외에 용량 증대를 위한 추가적 연구를 통해 운영 효과 분석이 가능하도록 하여야 할 것이다. 이러한 정책반영 과정 및 용량 연구를 통해 회전교차로의 활성화 및 효과 증대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

표 9. 서비스 수준에 따른 설계 교통량 및 내접원 직경 (* 표시는 용량 초과로 설계 적용이 어려운 교통량임)

교통량(대/시)		회전교차로 유형	서비스수준 C 경우의 적정 내접원 직경 (m)			
			4지 회전교차로	5지 회전교차로	6지 회전교차로	7지 회전교차로
접근회전 1차로	1,200		25	25	25	25
	1,600		25	25	25	25
	2,000		>50	30	30	25
	2,400*		>50	>50	>50	>50
접근회전 2차로	2,400		45	45	45	60
	3,200		45	45	45	60
	4,000*		>65	>65	>65	>65
	4,800*		>65	>65	>65	>65

교통량(대/시)		회전교차로 유형	서비스수준 D 경우의 적정 내접원 직경 (m)			
			4지 회전교차로	5지 회전교차로	6지 회전교차로	7지 회전교차로
접근회전 1차로	1,200		25	25	25	25
	1,600		25	25	25	25
	2,000		>50	30	25	25
	2,400*		>50	>50	>50	>50
접근회전 2차로	2,400		45	45	45	45
	3,200		45	45	45	45
	4,000*		>65	>65	>65	>65
	4,800*		>65	>65	>65	>65

교통량(대/시)		회전교차로 유형	서비스수준 E 경우의 적정 내접원 직경 (m)			
			4지 회전교차로	5지 회전교차로	6지 회전교차로	7지 회전교차로
접근회전 1차로	1,200		25	25	25	25
	1,600		25	25	25	25
	2,000		>50	25	25	25
	2,400*		>50	>50	>50	>50
접근회전 2차로	2,400		45	45	45	45
	3,200		45	45	45	45
	4,000*		>65	>65	>65	>65
	4,800*		>65	>65	>65	>65

참 고 문 헌

[1] 한국교통연구원, 한국건설기술연구원, *회전교차로 활성화 방안*, 국토해양부, 2011.

[2] 국토해양부, *회전교차로 설계지침*, 국토해양부, 2010.

[3] 국토해양부, *도로용량편람*, 국토해양부, 2013.

[4] 박순용, 최대규, 이석기, 김동녕, “지방부 신호교차로와 회전교차로의 효과분석”, 한국콘텐츠학회 2010 춘계종합학술대회지, Vol.2010, No.3, pp.322-324, 2010.

[5] 정용일, 류승기, 변상철, “도심지역 회전교차로 도입효과에 관한 연구”, 2005 대한토목학회 정기학술대회, pp.4083-4088, 2005.

[6] 박병호, 김태영, 한상욱, 양정모, “회전교차로와 4지 신호교차로 효과에 관한 비교분석”, 한국ITS학회논문지, Vol.8, No.2, pp.27-35, 2009.

[7] 박희철, *5지 회전교차로의 운영효과 분석*, 관동대학교 대학원 석사학위논문, 2011.

[8] 박은미, 최수연, 오현선, “시뮬레이션 분석을 통한 국내 회전교차로 모형정립 방안 연구”, 한국ITS학회 2011 정기학술대회, pp.173-177, 2011.

[9] M. S. Raff and J. W. Hart, *A Volume Warrant to Urban Stop Sign*, Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Connecticut, 1950.

[10] R. Ashworth, “The Capacity of priority-type Intersection with a Non-uniform Distribution of Critical Acceptance Gaps,” *Transportation Research*, Vol.3, pp.273-278, 1969.

[11] A. J. Miller, *Nine Estimators of Gap-Acceptance Parameters*, Transport Section, University of Melbourne, Australia, 1970.

[12] W. Siegloch, *Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung (in German)*. In: *Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 154, 1973.

[13] R. J. Troutbeck, *Estimating The Critical*

Acceptance Gap form Traffic Movements, Physical Infrastructure Centre, Queensland University of Technology, Research Report 92-1, 1992.

[14] 김석근, *임계간격 추정기법에 관한연구*, 중앙대학교 석사학위논문, 2002.

[15] 김태영, 박민규, 박병호, “국내 회전교차로의 임계간격 모형”, *대한교통학논문지*, 제30권, 제2호, pp.93-100, 2012.

정 준 화(Jun-Hwa Jeong)

정회원



- 2001년 8월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 1990년 10월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구실 선임연구위원

<관심분야> : 교통안전, 교통공학, 도로공학

저 자 소 개

박 순 용(Soon-Yong Park)

정회원



- 2013년 2월 : 단국대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원

<관심분야> : 교통공학, 교통운영 및 제어

김 동 녕(Dong-Nyung Kim)

정회원



- 1990년 8월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 1984년 9월 ~ 현재 : 단국대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야> : 교통공학, 도로공학