

■ 論 文 ■

회전교차로의 서비스수준 기준 정립 연구

A Study of Level of Service Criteria for Roundabouts

김 응 철

(인천대학교 토목환경공학과 조교수)

지 민 경

(여주군청 지역경제과 교통전문직)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 기존문헌고찰
 - 1. 회전교차로에 대한 문헌고찰
 - 2. 비신호교차로 서비스수준 이론적 고찰
 - III. 효과척도(MOE) 선정
 - 1. 서비스수준 및 효과척도의 정의
 - 2. 효과척도의 선정
 - IV. Simulation 분석 및 결과
 - 1. Simulation 네트워크 구축
 - 2. Simulation 분석
 - 3. Simulation 분석결과
 - V. 서비스수준 기준 정립
 - 1. 지방지역 1차로 서비스수준 기준 정립
 - 2. 지방지역 2차로 서비스수준 기준 정립
 - VI. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 회전교차로, 효과척도, 서비스수준, VISSIM, 비신호교차로
 - Roundabout, MOE, LOS, VISSIM, Nonsignalized intersection

요 약

국내에서 제정된 도로용량편람(2001)은 무통제 교차로와 양방향정지 교차로의 서비스수준 분석 방법만을 제시하고 있으며, 회전교차로 서비스수준 분석 방법에 대해서는 다루고 있지 않은 뿐만 아니라, 회전교차로라는 명칭조차 포함하고 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 회전교차로를 위한 적절한 효과척도를 선정하고, 시뮬레이션 분석을 통하여 서비스수준의 기준을 정립 하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 우선 적절한 효과척도(MOE)를 선정하는 방법을 고찰하고, 서비스수준을 개발하는 수순으로 연구를 수행하였다. 회전교차로에 적용할 효과척도로 진입교통량, v/c 비, 평균차량지체로 선정되었으며, 선정된 효과척도를 토대로 VISSIM을 이용하여 서비스수준의 기준을 정립 하였다. 연구결과, 지방지역 1차로 회전교차로에서의 서비스수준 F의 진입교통량은 1,700pcph이며, 평균차량지체는 18초로 분석 되었다. 서비스수준 A에 대해서 진입교통량은 700pcph이며, 이때 평균차량지체는 3초, v/c비는 0.41로 분석되었다. 지방지역 2차로 회전교차로는 서비스수준 F의 진입교통량은 2,900pcph이며, 평균차량지체는 31초로 분석되었다. 서비스수준 A인 경우 진입교통량은 1,500pcph이며, 이때 평균차량지체는 8초, v/c비는 0.52로 분석되었다.

Korea Highway Capacity Manual(2001) proposes only LOS(Level of Service) analysis method on non-control and two-way-stop intersections, not dealing with the analysis method on LOS for roundabouts, nor even including the term 'roundabout'.

This study selects proper MOEs for roundabouts and criteria the LOS through simulation analysis. To attain this goal, the authors reviewed the methods to select proper MOEs in the first step, criteria the LOS. For this study, the MOEs were chosen from existing literature, and used for the criteria. The MOEs to be applied to roundabouts in this research were entry traffic volume, v/c(volume/capacity) ratio, and average vehicle delays. The results showed that the maximum entry traffic volume(LOS F) at local one-lane roundabout was analyzed to be 1,700pcph and average vehicle delay 18 seconds. LOS A was analyzed as 700pcph and average vehicle delay 3 seconds and v/c 0.41 in this case. Maximum entry traffic volume(LOS F) at local area 2 lane roundabouts was analyzed as 2,900pcph and their average vehicle delay as 31 seconds. LOS A was analyzed to be 1,500pcph and average vehicle delay 8 seconds, v/c 0.52.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

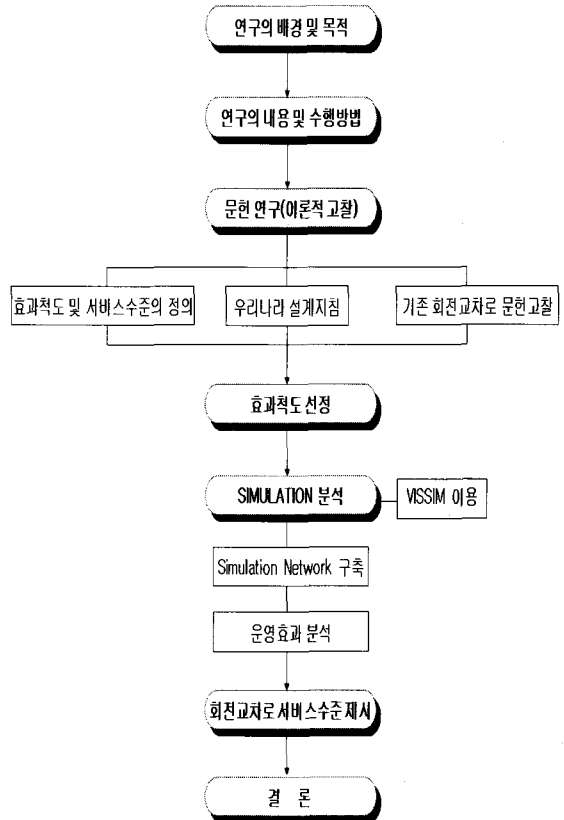
영국에서 70년대 초부터 발전한 회전교차로는 획기적인 교통사고감소와 용량증대 효과가 입증되어 서구 여러 나라와 호주, 뉴질랜드를 거쳐 90년대부터는 미국과 캐나다에까지 도입되기 시작하였다. 최신기술만을 채택하는 두바이에서도 특수한 입체교차로를 제외하고는 모든 교차로를 입체식 혹은 평면식 회전교차차로로 건설하고 있다는 사실은 회전교차차로의 우수성을 확인 시켜준다. 우리나라에서도 건설교통부가 2004년 회전교차차로의 설계 지침을 ‘잠정지침’으로 발표한 바 있으나, 회전교차차로 설계 사례는 찾기 어렵다. 회전교차차로에 대한 선행연구에서는 지체감소 및 사고감소효과가 일반 신호교차차로 보다 크게 나타난다는 분석결과가 발표되고 있으나, 아직 우리나라에서는 회전교차차로가 활발히 도입되지 못하고 있는 실정이다.

국내 도로용량편람(2001)에서 비신호교차차로에 대한 정의를 살펴보면, 교차차로에서 직진, 좌회전, 우회전하는 각 방향별 교통류가 신호등에 의하여 통행권을 부여받지 못하고, 양보·정지등의 교통제어 방법이나 운전자들의 판단과 통행 우선순위에 의하여 통행권을 부여받으면서 통과하는 교차차로 지점으로 제시하고 있다. 유형으로는 무통제교차차로, 양방향정지 교차차로, 전방향정지 교차차로, 로터리식 교차차로 4개로 나누고 있다. 그러나 국내의 도로용량편람(2001)에서는 무통제 교차차로와 양방향정지 교차차로의 서비스수준 분석방법만을 제시하고 있으며, 회전교차차로 서비스수준 분석방법에 대해서는 다루고 있지 않을 뿐만 아니라 회전교차차로라는 명칭조차 포함되어 있지 못한 실정이다. 미국의 HCM2000에서도 회전교차차로에 대한 서비스수준에 대한 평가 기준은 없으며, 국내 외에서도 회전교차차로의 용량 및 운영효과에 대한 연구는 이루어지고 있으나 충분하지 못한 상태이며, 서비스수준에 대한 연구는 아직 시도되고 있지 않다.

본 연구에서는 회전교차차로를 중심으로 효과척도를 선정한 후 시뮬레이션 분석을 통하여 서비스수준의 기준을 정립 하는데 목적을 두고 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 회전교차차로 서비스수준 기준을 정립하



〈그림 1〉 연구의 흐름도

기 위하여 국내·외의 회전교차차로 관련 참고문헌을 통하여 이론적 배경을 습득한 후 적절한 효과척도를 선정한다. 선정된 효과척도로 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 회전교차차로 Simulation 분석 결과를 가지고 정량화 작업을 통해 서비스수준 기준 정립을 하기로 하였다. 본 연구의 수행과정을 도식화 하면 〈그림 1〉과 같다.

II. 기존문헌고찰

1. 회전교차차로에 대한 문헌고찰

회전교차차로에 대한 기존 연구들을 살펴보면, 신부용(2003)은 회전교차차로 도입을 반대하는 의견에 대한 반론제시와 함께 컴퓨터 Animation을 통해 4현시 교통신호로 운영되는 4지교차차로에 비해 회전교차차로의 용량이 월등하게 크다는 사실을 보여 주었다. 정용일(2005)은 2차로 접근 4지 교차차로의 경우 그 운영효과가 교통량 및 방향별 회전교통류의 영향을 받는 것으로 분석하였다.

진입교통량이 늘어남에 따라 직진 및 방향별 회전교통량이 균등한 경우는 회전교차로의 운영효과가 각기 우수한 것으로 분석되었다. 또한, 도심 2차로 회전교차로는 시간당 진입교통량 최대 5,000대/시 까지 그 운영효과가 우수하게 유지되고 있으며, 특히 좌회전 교통류가 많은 경우나 방향별로 균등한 경우 그 운영효과는 신호교차로에 비해 뛰어난 것으로 밝혔다. 전우훈(2003)은 회전교차로에 대한 진입용량 모형의 개발과, 교통량에 관한 준거 마련을 목적을 두고 연구를 하였다. 분석결과는 진입용량에 크게 영향을 주는 도로조건은 중앙섬직경과 회전차로폭인 것으로 나타났다. 향후 연구과제로 도로용량편람(2001)에서 회전교차로용량과 서비스수준 분석방법이 제시되지 못하였으므로 이 부분에 대한 연구의 필요성을 제시하였다. 박병호(2003)는 회전교차로는 재래식 회전교차로(로터리)와 비교하여 더 짧은 지체, 증가된 용량, 개선된 안전성과 심미성 등의 장점을 가지고 있다고 밝혔고, 회전교차로를 6가지 형태로 구분하여 진입속도, 차로수, 내입원직경, 용량 등의 특성을 비교분석하여 정리하였으며, 교차로 계획에서 십자형 혹은 T자형의 기하구조나, 진입교통량이 많아지면 단순히 신호등을 설치하는 관행을 벗어나, 회전교차로를 적정 장소와 시기에 도입하는 노력이 요구된다고 밝혔다. 이용재(2002)는 용량보정계수를 일관성, 동질성, 교차로의 경사도에 대하여 도출하였다. 도출된 일관성 용량보정계수는 비일관성과 관련된 임의의 분포에 대하여도 적용이 가능하며 이미 다른 연구에서 경험한 사실들과 그 수식결과가 동일함을 확인할 수 있었다. 예수영(2003)은 제주대학교 앞 회전교차로 사례를 통해 분석한 결과, 회전교차로가 신호교차로로 운영하는 경우보다 시간당 차량 지체가 79.93% 감소하는 것으로 분석되었다. 추후 교통량이 10%증가 할 경우에도 회전교차로의 지체의 증가가 2.2초/대 인 반면에 신호교차로의 경우에는 17.3초/대로 크게 분석되었다. 도로교통안전관리공단(2006)에서는 양방향 2차로도로의 교통운영 및 안전성 개선연구를 회전교통류를 중심으로 분석하였다. 분석Tool은 교통류 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 모의실험을 하였다. 모의실험결과 비신호 Y형 교차로를 회전교차로로 변형하면, 비신호 Y형 교차로 일 때 보다 수용할 수 있는 교차로 전체교통량이 증가 하고 안전성이 크게 개선되었다. 특히, 접근로의 규모가 다르고 회전교통류 비율이 커질수록 수용할 수 있는 교통량은 감소하였으며, 최대용량은 2,500~2,600대/시로 제시하였다.

외국문헌을 살펴보면, Tove Hels(2007)는 회전교차로의 설계적인 특징이 자전거사고에 미치는 영향을 분석하였다. 자전거 사고의 연간 비율과 회전교차로의 기하구조, 설치년도, 교통량(차량 및 자전거)등의 변수들이 어떠한 영향을 미치는지 포아송과 로지스틱 회귀분석을 통해 통계적인 관계를 성립하는것을 목표로 하였다. 모든 회전교차로에서의 자전거 사고 기록은 1999~2003 사이의 Odense에 있는 병원에서 자료를 취득하였고(N=171), 모든 회전교차로의 다양한 기하구조특징과 교통량 그리고 설치년도 등을 수집하였다(N=88). 이 연구에서 개발한 모델에서 중요한 예측을 하였는데, 이는 자전거와 차량의 교통량이 높을 수록 많은 사고가 발생하는 것이었다. 게다가 회전교차로의 설치년도가 오래될수록 높은 사고 발생가능성을 가지는 것으로 나타났다. Andras Varhelyi(2002)는 소형 회전교차로의 배기량과 연료소모량에 대한 영향을 차량추종방법론을 이용하여 사전/사후 연구를 통하여 평가하여 보았다. 그 결과 신호교차로를 회전교차로로 바꾸었을 경우 CO배기량은 29%, NOx배기량은 21%, 연료 소모량은 28% 감소하였다. 양보통제교차로를 회전교차로로 바꾸었을 때에는 CO배기량이 평균 4%, NOx배기량이 6%, 연료 소모량이 3% 감소하는 것으로 나타났다.

상기에서 살펴본 바와 같이 우리나라 회전교차로에 대한 문헌에서는 기존의 신호교차로 운영보다는 현대식 회전교차로의 운영효과가 더 높다는 연구결과가 많은 것으로 나타났으며, 외국문헌에서는 환경과 안전에 대한 연구가 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 회전교차로 용량, 안전, 환경 등에 대한 연구는 이루어지고 있으나, 회전교차로에 대한 서비스수준에 대한 연구는 미흡한 실정임을 알 수 있었다.

2. 비신호교차로 서비스수준 이론적 고찰

비신호 교차로의 서비스수준 분석에 대한 기존연구를 살펴보면, 김정현(2003)은 무통제 교차로의 서비스수준을 평가할 수 있는 효과적도 선정에 위한 분석을 수행하였다. 교통량, 상충횟수, 교차로 통행시간(지체) 등을 분석한 결과, 상충횟수와 교통량이 선형의 관계를 가지고 있는 것으로 나타나 이 2가지를 효과적도로 선정하였다. 서비스수준 E와 F의 경계가 되는 교통량(용량)은 1985 USHCM의 전방향정지식 교차로의 용량을 참고로 2,000대/시로 하였으며, 이때 상충횟수는 300회가 되

었다. 그리고 서비스수준별 상충횟수와 교통량을 용량상태를 기준으로 비례적으로 배분하였다. 이동민(2000)은 기존의 2차로도로 서비스수준 분석방법의 문제점을 보완하기 위한 새로운 분석방법의 정립을 위해 일반지형의 서비스수준 분석방법을 주 연구대상으로 수행하였다. 그 결과 총지체율을 최종대안으로 결정하고 그에 따른 새로운 서비스수준 분석방법을 제시하였다. 이수범(1996)은 무신호 교차로의 서비스수준 측정방법은 지체도에 의해서 판정되어 지고있는 방법을 안전도를 기준으로 서비스수준을 측정하는 방법을 제시하였다.

III. 효과척도(MOE) 선정

1. 서비스수준 및 효과척도(MOE) 정의

서비스 수준이란 교통류 내에서의 운행상태를 나타내는 것으로서, 운전자나 승객이 느끼지는 정성적인 평가

〈표 1〉 서비스수준별 교통류의 상태

LOS	구분	교통류의 상태
A	자유 교통류	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않는다. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수하다.
B	안정된 교통류	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주위를 기울이게 된다. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스수준 A보다 어느 정도 떨어진다. 이는 교통류 내의 다른 사용자의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문이다.
C	안정된 교통류	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작한다. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전자가 주위를 기울여야 한다. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어진다.
D	안정된 교통류 높은밀도	속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어진다. 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하여도 운행 상태에 문제가 발생한다.
E	용량상태 불안정 교통류	교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법을 필요로 한다. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 위해 상태가 발생한다.
F	강제류 또는 위해상태	도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이다. 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실된 상태이다.

도로용량편람(2001)

〈표 2〉 각 시설별 효과척도

시설		효과척도(MOE)
고속도로	기본구간	v/c비, 밀도(pc/km/차로)
	엇갈림구간	밀도(pc/km/차로)
	연결로구간	밀도(pc/km/차로)
다차로도로		평균통행속도(kph)
2차로도로		교통량, 총 지체율(%)
신호교차로		평균운영지체(초/대)
비신호교차로		평균운영지체(초/대), 진입교통량(vph), 상충횟수
도시 및 교외 간선도로		평균통행속도(kph)
대중교통		탑승인원(명), 운행시격(분), 운행시간(시간/일)
보행자		보행교통량(인/분/m), 점유공간(m ² /인)
자전거		상충회수(회), 정지지체(초/대), 평균통행속도(kph)

교통공학원론(2005)

기준이다. 도로조건이나 교통운영조건이 일정하다면 서비스 수준은 주로 교통조건에 따라 좌우된다. 서비스수준은 통행속도, 통행시간, 통행자유도, 쾌적성, 교통안전 등을 설명하는 개념으로 당해 시설물의 운영 상태를 어느 정도까지 허용할 것인가를 결정하는 기준이 되는 척도이다. 일반적으로 A~F의 6단계로 구분하여 나타내며 시설물의 설계기준은 서비스수준 C와 D가 된다. 우리나라에서는 도로시설물의 서비스 수준을 건설교통부에서 발간한 「도로용량편람(2001)」에서 정한 기준에 따라 정하고 있다. 〈표 1〉은 서비스수준별 교통류의 상태를 나타낸 것이다.

서비스수준을 규정하기 위해서는 효과척도(MOE: Measure of Effectiveness)가 사용되는데, 서비스 수준은 각 시설물의 서비스 상태를 가장 잘 나타내는 한 가지 또는 몇 가지의 척도를 기본으로 하도록 규정된다. 일반적으로 통행속도, 정지수, 통행시간, 교통밀도, 운행비용 등 여러 가지가 있으나 운전자나 승객이 느끼는 것은 속도 및 통행시간, 이동의 자유도, 쾌적감, 편리성, 안전감이다. 그러나 효과척도는 측정하기가 쉽고 또 다른 효과척도들을 대표할 수 있는 것이어야 한다. 〈표 2〉는 각 시설의 서비스 수준을 결정하는데 사용되는 효과척도를 나타낸 것이며, 이 값의 크기에 따라 그 시설의 서비스 수준이 결정된다.

2. 효과척도 선정

교차로나 도로의 서비스수준을 판단할 때 가장 기본

이 되는 효과적도는 교통량이라고 볼 수 있다. 국내 도로 용량편람의 비신호 교차로 중 회전교차로와 유사한 운영 형태를 보이고 있는 무통제교차로에서는 효과적도를 진입교통량을 사용하고 있다. 평면교차로 설계지침에서도 회전교차로는 진입교통량을 기준으로 용량분석을 하였으므로, 본 연구에서는 진입교통량을 효과적으로 선정하기로 하였다. 이때, 최대진입교통량을 기준으로 v/c비를 이용하여 서비스수준 기준을 정립하기로 하였다. 또한, 일반적으로 단속교통류에서는 지체를 가지고 서비스수준을 판단한다. 국내 도로용량편람의 비신호교차로 중앙방향정지교차로에서 효과적도는 평균운영지체를 이용하고 있다. 회전교차로 또한 단속교통류이므로 지체를 가지고 분석하는 것이 적절하다고 판단하였으며, 본 연구에서는 VISSIM을 이용하여 평균차량지체에 대한 회전교차로 서비스수준 기준을 정립하기로 하였다.

이처럼 기존의 문헌 및 연구에서 제시하였던 효과적도를 이용하여 본 연구의 효과적도로 선정하였다. 이로써 회전교차로의 효과적도는 진입교통량, v/c비, 평균차량지체로 선정하여 서비스수준 기준을 정립하기로 하였다.

IV. Simulation 분석 및 결과

1. Simulation 네트워크 구축

본 연구에서는 지방지역 회전교차로를 중심으로 분석을 하기로 하였으며, 지방지역 1차로와 2차로 회전교차로 서비스수준 분석을 위해 VISSIM 시뮬레이션 네트워크를 구축하기로 한다. 먼저, 지방지역 1차로 회전교차로 서비스수준을 분석하기 위해 시뮬레이션 네트워크 구성은 평면교차로 설계지침(2004) 회전교차로(잠정) 부분의 지방지역 1차로 회전교차로를 기준으로 <표 3>과 같이 회전차로 설계속도 25km/h, 내접원 직경 40m, 중앙섬 직경 32m, 회전차로 폭 4m, 진입부 최대설계속도 40km/h이며, 평지 이고 승용차로만 구성된 교통량을 시뮬레이션에 적용하여 <그림 2>와 같이 구축하였다.

지방지역 2차로 회전교차로 서비스수준을 분석하기 위해 시뮬레이션 네트워크 구성은 지방지역 1차로 회전교차로와 마찬가지로 평면교차로 설계지침(2004) 회전교차로(잠정)부분의 지방지역 2차로 회전교차로를 기준으로 <표 4>와 같이 회전차로 설계속도 30km/h, 내접원 직경 60m, 중앙섬 직경 40m, 회전차로 폭 9m(1차로 4.5m), 진입부 최대설계속도 50km/h이며, 평지 이

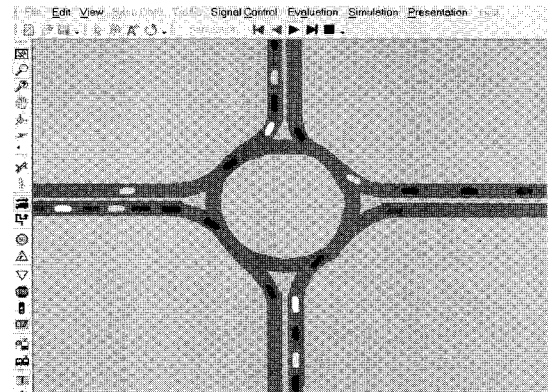
고 승용차로만 구성된 교통량을 시뮬레이션에 적용하여 <그림 3>과 같이 구축하였다.

<표 3> 지방지역 1차로 회전교차로 설계기준

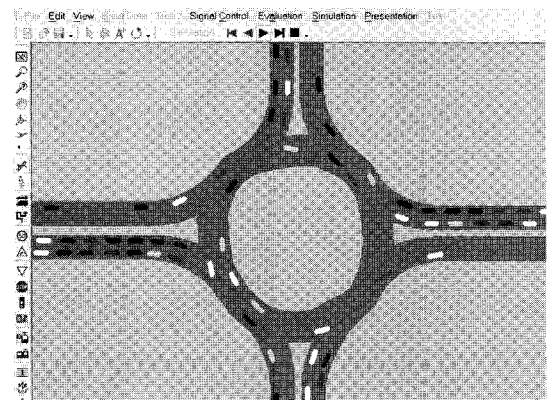
구분	기준	회전교차로 설계기준	시뮬레이션적용
회전차로 설계속도(km/h)		23~30	25
내접원 직경(m)		30~40	40
중앙교통섬 직경(m)		23~32	32
회전차로 폭(m)		4~6	4
진입부 최대설계속도(km/h)		40	40

<표 4> 지방지역 2차로 회전교차로 설계기준

구분	기준	회전교차로 설계기준	시뮬레이션적용
회전차로 설계속도(km/h)		25~35	30
내접원 직경(m)		55~60	60
중앙교통섬 직경(m)		35~42	40
회전차로 폭(m)		9~10	9
진입부 최대설계속도(km/h)		50	50



<그림 2> VISSIM 네트워크 구성(지방 1차로)



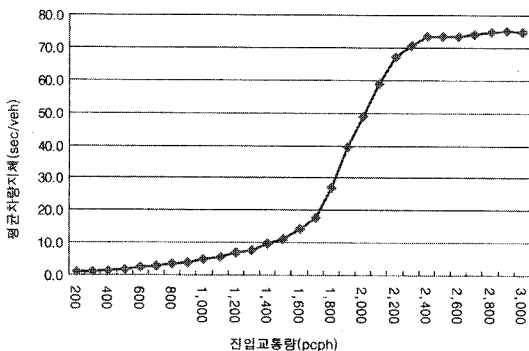
<그림 3> VISSIM 네트워크 구성(지방 2차로)

2. Simulation 분석

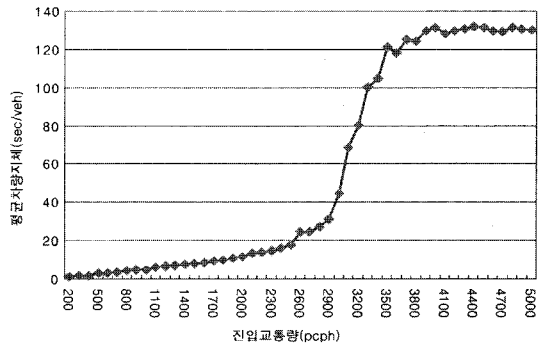
시뮬레이션 분석을 위해 지방지역 1차로 회전교차로의 진입교통량을 평면교차로 설계지침(2004)에서 제시한 1,200대/시를 기준으로 100~3,000pcph까지 100대씩 증가시키며 시뮬레이션을 분석하였으며, 지방지역 2차로 회전교차로의 경우는 최대용량을 정용일(2005)의 연구결과인 5,000대/시/2차로와 평면교차로 설계지침의 2,400대/시/2차로를 기준으로 100~5,000pcph까지 100대씩 증가시키며 분석하였다. 이때, 회전교차로 우회전 임계간격은 시뮬레이션 상황에서 3~4초는 사고나 상충이 발생하는 현상을 보였으며, 5초이상은 넓은 간격을 보였다. 미국HCM에서도 회전교차로 임계간격의 범위를 4.1~4.6초로 권장하고 있으며, 도로용량 편람 양방향정지 교차로의 우회전 임계간격인 4.4초가 회전교차로 시뮬레이션 상황에서도 적정한 값으로 나타나 4.4초를 적용하였다. 평균차량지체의 경우 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 분석하였다. 각 진입차로 교통량에 대한 방향별 분포는 주·부도로에 균등하며, 좌·우회전비율을 20%씩 배분하였다.

3. Simulation 분석결과

시뮬레이션 분석결과 지방지역 1차로 회전교차로의 경우, <그림 4>와 같이 1,700pcph 이상의 교통량에서부터 지체가 급격히 증가하는 그래프를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 이 그래프를 기준으로 지방지역 1차로 최대진입교통량은 1,700pcph이며, 이때 지체는 17.7초로 분석되었다. 본 연구의 결과 값은 평면교차로 설계지침(2004)의 1,800대/시 이상일 경우에는 1차로



<그림 4> 진입교통량과 지체의 관계(지방1차로)



<그림 5> 진입교통량과 지체의 관계(지방2차로)

로 운영이 어렵다는 연구결과와 유사하게 분석되었으며 또한, 지방지역 1차로 용량이 1,700pcph 이상일 경우에는 2차로 회전교차로로 설치하거나 신호교차로로 설치해야 한다는 분석결과를 나타내고 있다.

지방지역 2차로 회전교차로의 분석결과, <그림 5>와 같이 진입교통량이 2,900pcph 이상일 때 지체가 급격히 증가하는 것으로 분석되어 이때, 진입교통량을 최대 진입교통량으로 선정하였다. 2,900pcph 이상의 교통량에서는 회전교차로가 적합하지 않으며, 일반 신호교차로로 설치하는 것이 타당하다고 볼 수 있다. 지방지역 2차로의 최대진입교통량 2,900pcph로 분석된 결과와 타 연구결과를 비교해 보면, 정용일(2005)에서 제시하는 도심 2차로 4지교차로에서의 5,000대/시를 처리할 수 있다는 연구와는 2,100대의 많은 차이를 보였으나, 평면교차로 설계지침(2004)의 지방지역 2차로 회전교차로의 경우 최대 진입교통량을 2,400대/시라고 분석한 결과와는 500대/시 정도의 차이가 나타나는 분석결과를 보였다.

V. 서비스수준 기준 정립

진입교통량, v/c비, 평균차량지체의 효과적으로 회전교차로를 분석한 후 서비스 수준을 A~F까지로 6개 등급으로 나누어 제시하기로 한다.

앞에서 분석된 최대진입교통량을 선정한 후 시뮬레이션 수행과정에서 <표 1>서비스수준별 교통류의 상태에서의 서비스수준A에 해당하는 자유교통류를 찾아 서비스수준A로 선정하기로 하였다. A~F까지 배분은 김정현(2003)의 상충횟수와 교통량을 용량상태를 기준으로 비례적으로 배분한 것과 비신호교차로의 양방향정지 교차로의 서비스수준을 기준으로 배분하는 것을 고려하였

〈표 5〉 양방향정지 교차로의 서비스수준

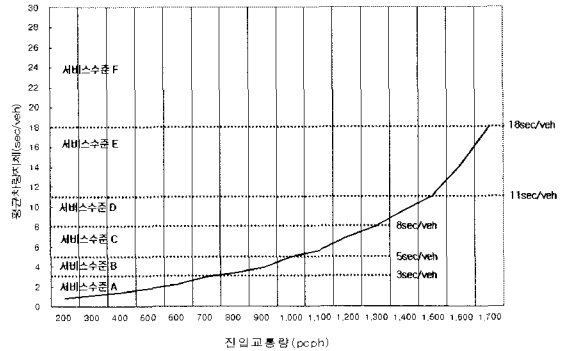
LOS	평균운영지체(sec/veh)
A	≤10
B	≤15
C	≤25
D	≤35
E	≤50
F	> 50

다. 국내 도로용량편람에서는 양방향정지 교차로의 서비스수준을 평균운영지체를 효과적으로 〈표 5〉와 같이 제시하고 있어 본 연구에서의 회전교차로 서비스수준 기준을 정립하는데 참고하기로 하였다.

1. 지방지역 1차로 서비스수준 기준 정립

지방지역 1차로 회전교차로는 앞의 〈그림 4〉에서와 같이 1,700pcph 이상일 때 회전교차로의 효율이 급격히 감소함으로 최대진입교통량 1,700pcph를 서비스수준 F의 상한값으로 정하였다. 1,700pcph를 기준으로 시뮬레이션 분석한 결과 평균차량지체는 18초에 서비스수준이 F인 것으로 분석되었다. 서비스수준 A를 선정하기 위해서는 1,700pcph를 기준으로 점차 교통량을 감소시킨 결과 값을 분석한 결과, 교통량 700pcph이하(평균차량지체 3초, v/c 0.41)일 때, 〈표 1〉의 서비스수준A에 해당하는 자유교통류 상태에서 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수한 것으로 판단되어 서비스수준 A로 선정하였다.

지방지역 1차로 회전교차로의 A~F까지 배분은 〈그림 6〉과 같이 1,300~1,700pcph 까지는 교통량에 대한 지체 기울기가 급격하며, 1,300pcph 이하의 교통량에서는 지체에 대한 기울기가 완만한 것으로 분석되었다. 이에 따라 김정현(2003)의 연구방법과 같이 비례적으로 배분하는 것은 타당하지 않은 것으로 판단하였다. 그러나 양방향정지 교차로 서비스수준(표 5)를 살펴보면 E~D 15초, D~B 10초, B~A 5초의 지체간격으로 서비스수준A에 가까울 수록 지체간격이 감소하였는데, 이는 본 연구 결과 〈표 6〉에서 나타내고 있는 지체간격인 E~D 7초, D~B 3초, B~A 2초로써 양방향정지 교차로 서비스수준의 지체간격과 유사하게 감소하는 것으로 분석되었다. 서비스수준 E~C까지는 교통량을 200대씩 감소하였지만 지체가 3초와 7초의 간격을 보였고, C~A까지는 교통량을 300대씩 감소하였지만 지체



〈그림 6〉 평균차량지체-진입교통량 곡선과 서비스수준 (지방지역 1차로)

〈표 6〉지방지역1차로 회전교차로 서비스수준

LOS	평균차량지체 (sec/veh)	진입 교통량 (승용차/시/1차로)	v/c비
A	≤3	≤700	≤0.41
B	≤5	≤1,000	≤0.59
C	≤8	≤1,300	≤0.76
D	≤11	≤1,500	≤0.88
E	≤18	≤1,700	≤1.00
F	>18	-	-

가 3초와 2초의 간격을 보이는 결과를 나타내었는데, 이는 양방향 정지 교차로 서비스수준을 배분하는 과정에서 본 연구와 유사한 결과를 나타내었기 때문에 서비스수준이 높아질수록 지체간격이 일정한 감소를 나타낸 것으로 판단된다.

v/c비의 경우는 최대진입교통량에 각 서비스수준별 교통량을 나누어 제시하였다. 서비스수준 A의 경우 0.41로 높게 분석되었는데, 이는 회전교차로 설치의 경우 교통량이 많지 않은 곳을 기준으로 설치하하는 것이 원칙이기 때문에 0.41를 서비스수준 A로 선정할 수 있을 것으로 판단된다. 〈표 6〉은 지방지역 1차로 회전교차로 서비스수준을 나타내었다.

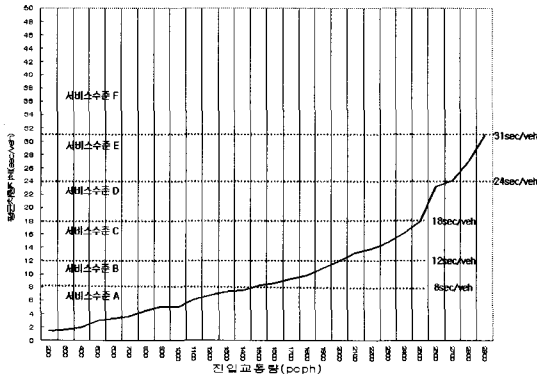
2. 지방지역 2차로 서비스수준 기준 정립

지방지역 2차로 회전교차로는 〈그림 5〉와 같이 2,900pcph 이상일 때 회전교차로의 효율이 급격히 감소함으로 최대진입교통량 2,900pcph를 서비스수준 F의 상한값으로 정하였다. 2,900pcph를 기준으로 시뮬레이션 분석한 결과 평균차량지체는 31초에 서비스수준이 F인 것으로 나타났다. 이때 서비스수준 A는 진입교통량 1,500pcph이하(평균차량지체 8초, v/c 0.52)일

때 시뮬레이션상에 운전자가 다른 차량에 전혀 방해받지 않는 <표 1>의 서비스수준A에 해당하는 교통류의 상태로 판단되어 선정하였다.

지방지역 2차로 회전교차로 A~F까지 배분은 <그림 7>과 같이 2,500~2,900pcph 까지는 교통량에 대한 지체기울기기가 급격하며, 2,500pcph이하의 교통량에서는 지체에 대한 기울기가 완만한 것으로 분석되어, 지방지역 1차로 분석에서와 마찬가지로 비례적으로 배분하는 것은 타당하지 않은 것으로 판단하였다. 지방지역 2차로 회전교차로 결과 또한 E~D 7초, D~B 6초, B~A 3초로 양방향정지 교차로 지체간격과 유사하게 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 서비스수준 E~C까지는 교통량을 200대씩 감소하였지만 지체가 6초와 7초의 간격을 보였고, C~A까지는 교통량을 500대씩 감소하였지만 지체가 3초와 6초의 간격을 보이듯, 서비스수준이 높아질 수록 교통량에 대한 지체가 점점 민감한 것으로 분석되었다.

v/c비의 경우는 최대진입교통량에 각 서비스수준별 교통량을 나누어 제시하였는데, 서비스수준 A의 경우 0.52로 분석 되었다. <표 7>은 지방지역 2차로 회전교차로 서비스 수준을 나타내었다.



<그림 7> 평균차량지체-진입교통량 곡선과 서비스수준 (지방지역 2차로)

<표 7> 지방지역 2차로 회전교차로 서비스수준

LOS	평균차량지체 (sec/veh)	진입 교통량 (승용차/시/2차로)	v/c비
A	≤8	≤1,500	≤0.52
B	≤12	≤2,000	≤0.69
C	≤18	≤2,500	≤0.86
D	≤24	≤2,700	≤0.93
E	≤31	≤2,900	≤1.00
F	>31	-	-

<표 8> 회전교차로 서비스수준

LOS	지방지역 1차로			지방지역 2차로		
	평균차량지체 (sec/veh)	진입 교통량 (pcph)	v/c비	평균차량지체 (sec/veh)	진입 교통량 (pcph)	v/c비
A	≤3	≤700	≤0.41	≤8	≤1,500	≤0.52
B	≤5	≤1,000	≤0.59	≤12	≤2,000	≤0.69
C	≤8	≤1,300	≤0.76	≤18	≤2,500	≤0.86
D	≤11	≤1,500	≤0.88	≤24	≤2,700	≤0.93
E	≤18	≤1,700	≤1.00	≤31	≤2,900	≤1.00
F	>18	-	-	>31	-	-

<표 8>은 지방지역 1차로 회전교차로와 지방지역 2차로 회전교차로의 서비스수준을 함께 제시하였다. 1차로와 2차로로 나누어 제시한 이유는 각각의 경우에 대한 분석결과가 <표 8>과 같이 다르게 분석되어 회전교차로에 대한 지체와 v/c비를 통일한 하나의 표로 제시할 수가 없었다. 신호교차로나 양방향정지교차로와 같은 경우는 지체 하나의 효과적으로 다른 조건에 구분 없이 서비스수준을 분석하게 되어있는데, 회전교차로의 경우 회전차로수에 큰 영향을 받으므로 차로수에 따른 각각의 서비스수준을 제시하여 서비스수준을 분석하는 것이 보다 정확한 서비스수준을 파악 할 수 있을 것이라고 판단하였다. 3차로이상에 대한 서비스수준은 제시하지 않은 이유는 평면교차로 설계지침상에도 2차로까지 기준이 제시되어있으며, 3차로 이상의 회전교차로에서는 사고가 빈번히 이루어져 3차로 이상의 회전교차로가 적합하지 않은 것으로 분석되어 지고 있어 본 연구에서는 회전 2차로까지 제시하였다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 회전교차로 서비스수준 분석을 위하여 회전교차로의 적정 효과척도를 우리나라 도로용량편람(2001)의 비신호교차로 부분과 기존문헌을 토대로 선정하였으며, 평면교차로 설계지침(2004)의 회전교차로(잠정)에서 지방지역을 중심으로 미시적 교통류 시뮬레이션 프로그램 VISSIM을 이용하여 회전교차로 서비스수준 기준을 정립하여 보았다.

회전교차로 분석을 위한 효과척도는 진입교통량, v/c비, 평균차량지체가 선정되었다. 선정된 효과척도로 분석한 결과 지방지역 1차로 회전교차로에서 서비스수준 F의 진입교통량은 1,700pcph이며, 평균차량지체는 18초로 분석되었다. 서비스수준 A인 경우 진입교통량은

700pcph이며, 이때 평균차량지체는 3초, v/c비는 0.41로 분석되었다. 지방지역 2차로 회전교차로의 서비스수준F의 진입교통량은 2,900pcph이며, 평균차량지체는 31초로 분석되었다. 서비스수준 A인 경우 진입교통량은 1,500pcph이며, 이때 평균차량지체는 8초, v/c비는 0.52로 분석되었다.

향후 본 연구를 바탕으로 회전교차로에 대한 연구가 활발히 이루어져 현재 평면교차로 설계지침상 잠정적으로 제시되어있는 회전교차로설계지침 부분을 확정된 지침으로 변경할 수 있도록 노력해야 하며, 국내 도로용량 편람(2001) 비신호교차로 부분에도 로터리라는 표현을 삭제하고 회전교차로라 지칭하며, 회전교차로에 대한 효과적도 및 서비스수준분석 방법에 대한 내용을 포함시켜야 할 것이다.

향후연구과제를 살펴보면 첫째, 본 연구의 결과는 지방지역 4지 1차로와 2차로 회전교차로에서 적용될 수 있는 서비스수준에 대한 적용 방법을 연구하였다. 향후 초소형 회전교차로와 도시지역 소형 1차로 회전교차로, 3지 1~2차로 회전교차로의 분석이 필요할 것이다. 둘째, 본 연구에서는 3가지 효과적도(진입교통량, v/c비, 평균차량지체)를 이용하여 서비스수준을 분석하였지만, 이 3가지 효과적도 이외에 밀도, 상충을 효과적으로 선정하여 서비스수준을 분석하는 연구도 필요할 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제58회 학술발표회(2008.2.23)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), "평면교차로 설계지침".
2. 건설교통부(2001), "도로용량편람".
3. 김정현·김영찬(2003), "무통제 교차로의 서비스수준 결정 방법론에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.31~40.
4. 도로교통안전관리공단(2006), "양방향 2차로도로의 교통운영 및 안전성 개선 연구(II) -회전교통류 중심-".
5. 도철웅(2005), "교통공학원론(상)".
6. 박병호·송대섭(2003), "교차로계획에서 현대식 회전교차로(Modern Roundabout)의 도입 타당성", 충북대학교 건설기술연구소 논문집, 제22권 제2호, pp.134~146.
7. 신부용·김기준(2003), "서구식 회전교차로 도입의 장애요소와 해결책", 2003 토목학회 정기 학술대회, pp.214~219.
8. 신부용(1995), "서구식 로터리 도입할만한가?", 교통환경연구원 제3회 교통정책발표회.
9. 예수영(2003), "라운드어바웃(Roundabout) 설치방안 연구", 명지대학교, 석사졸업논문.
10. 이동민·최재성(2000), "2차선도로의 새로운 서비스수준분석방법의 개발", 대한교통학회지, 제18권 제3호, 대한교통학회, pp.101~112.
11. 이수범(1996), "무신호 교차로의 안전수준 진단 모델", 대한교통학회지, 제 14권 제2호, pp.191~222.
12. 이용재·김석근(2002), "현대식 회전교차로의 용량보정계수에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제22권 제2-D호, pp.185~195.
13. 전우훈·도철웅(2003), "Roundabout의 용량분석", 대한교통학회지, 제21권 제3호, 대한교통학회, pp.59~69.
14. 정용일·류승기·변상철(2005), "도시지역 회전교차로 도입효과에 관한 연구 -균등한 진입 교통류를 가정으로-", 대한토목학회 정기학술대회, pp.4061~4066.
15. AASHTO(2001), "A Policy on Geometric Design of Highways Streets".
16. Andras Varhelyi(2002), "The effects of small roundabouts on emissions and fuel consumption:a case study", Transportation Research Part D, pp.65~71.
17. Bram De Brabander, Lode vereeck(2007), "Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users", Accident Analysis and Prevention 39, pp.591~599.
18. Christer Hyden, Andras Varhelyi(2000), "The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study", Accident Analysis and Prevention 32, pp.11~23.
19. Hashim M.N. Al-Madani(2003), "Dynamic vehicular

- delay comparison between a police-controlled roundabout and a traffic signal", *Transportation Research Part A* 37, pp.681~688.
20. Margarida C. Coelho, Tiago L. Farias, Nagui M. Rouphail(2006), "Effect of roundabout operations on pollutant emissions", *Transportation Research Part D* 11, pp.333~343.
 21. Ruili Wang, Heather J. Ruskin(2002), "Modeling traffic flow at a single-lane urban roundabout", *Computer Physics Communications* 147, pp.570~576.
 22. S.C. WONG(1995), "On The Reserve Capacities of PRiority Junctions and Roundabouts", *Transpn Res.-B*, Vol. 30, No.6, pp.441~453.
 23. Srinivas Mandavilli, Margaret J. Rys, Eugene R. Russell(2006), "Environmental impact of Modern Roundabouts", *International Journal of Industrial Ergonomics*.
 24. Tove Hels, Ivanka Orozova-Bekkevold(2007), "The effect of roundabout design features on cyclist accident rate", *Accident Analysis and Prevention* 39, pp.300~307.
 25. Transportation Research Board.(2000), "Highway Capacity Manual", National Research Council, Washington, D.C.
 26. US Department of Transportation.(2000), "Roundabouts: An Informational Guide", Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-00-067.

✉ 주 작성자 : 김응철

✉ 교신저자 : 지민경

✉ 논문투고일 : 2008. 2. 23

✉ 논문심사일 : 2008. 4. 16 (1차)

2008. 6. 10 (2차)

2008. 10. 10 (3차)

2008. 12. 31 (4차)

✉ 심사판정일 : 2008. 12. 31

✉ 반론접수기한 : 2009. 6. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필