

■ 政策研究 ■

# 민감도 분석을 통한 다지교차로의 효율성 분석 연구 (4지·5지 교차로를 중심으로)

A Study on the Efficiency of Multi-Legged Intersection Through Sensitivity Analysis  
(Based on the Four or Five Legged Intersection)

**박 창 수**

(경주대학교 도시공학과 조교수)

**김 정 위**

(경주대학교 도시공학과 석사과정)

## 목 차

I. 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적
- 2. 연구내용, 방법 및 범위

II. 문헌 고찰

- 1. Roundabout의 특성 및 변천과정
- 2. 사례연구

III. 본론

- 1. 분석방법
- 2. 교통량 변화에 따른 민감도 분석
- 3. 민감도 분석을 통한 대안 제시

IV. 결론

참고문헌

Key Words : 신호교차로, Roundabout, V/C비, 회전교통량, 지체시간, 포화교통량

## 요 약

본 연구는 민감도 분석을 통한 다지교차로의 효율성 분석 연구로 신호교차로, Roundabout, 그리고 Modern Roundabout의 특성을 고찰하고 교통류의 특성에 따른 민감도 분석을 통한 교차로 형태를 검토하는 것에 그 목적을 두고 있다.

이를 위해, 첫째, 신호교차로와 Roundabout의 특성과 사례를 고찰하였다. 둘째, 4지교차로와 5지교차로의 교통류 특성별로 교통량을 산정하여, TSIS Tool을 이용한 분석을 통해 교통류 특성별 신호교차로와 Roundabout의 민감도를 비교하였다. 셋째, 민감도 비교를 통한 교통류 특성별 효율적인 교차로 형태를 도출하였다.

4지교차로의 경우, 첫째, 일반적으로 V/C비의 변화에 대해 V/C비가 0.7이하일 때는 Roundabout가 V/C비가 0.7을 초과할 때는 신호교차로가 효율적인 것으로 나타났다. 둘째, V/C비별 회전교통량의 변화와 회전교통량 변화별 V/C비 변화에서도 V/C비의 변화의 분석결과와 비슷한 양상을 보였다.

5지교차로의 경우, 첫째, 4지교차로와는 달리 전반적으로 신호교차로 보다는 Roundabout가 더 효율적인 교차로 형태로 나타났다. 둘째, V/C비별 회전교통량의 변화와 회전교통량 변화별 V/C비 변화에서는 V/C비가 0.8을 초과하고 우회전교통량비가 30%~40%인 경우에 신호교차로가 조금 더 효율적인 것으로 나타났다.

## 1. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

우리 나라의 경우 교통수요의 급증에 대비하여 교통부문에 대한 투자부족과 비효율적인 관리운영체계 등으로 인해 많은 교통문제가 노출되고 있다.

앞으로 다가올 미래에는 국내외의 정세변화, 국민들의 소득향상으로 인한 소비 행태의 변화, 교통수요의 급증, 국가투자자원의 한계 등 더욱 많은 여건변화가 예상되고 있고 이러한 여건은 현재의 교통문제를 더욱 어렵게 할 것으로 생각된다. 따라서, 교통부문에 대한 투자를 증대함과 더불어 교통부문의 체계적이고 과학적인 연구와 교통운영개선 및 교통수요관리 등의 방법을 연구하여야 할 것이다.

교통운영개선 부문에서는 교차로에서의 효율적인 교통운영이 매우 중요한 요소로 작용한다.

특히 교차로의 형태를 본다면, 신호교차로와 무신호 교차로 그리고 Roundabout을 들 수 있을 것이다. 현재 우리 나라의 경우는 교통량의 증가로 인하여 기존의 Roundabout들이 신호교차로로 전환되고 있는 실정이다. 교통의 선진국이라고 하는 외국의 사례를 본다면, 현대적인 형태로의 변형을 통하여 다각적인 활용을 하고 있는 것과는 상당한 차이를 보인다. 따라서 우리 나라에서 일반적으로 나타나는 교차로 형태인 4지·5지 교차로의 교통환경을 고려하여 교통류 특성에 따른 교차로 형태에 관하여 신호교차로 혹은 Roundabout의 특성에 따른 민감도를 비교 제시하고자 한다. 또한, 우리 나라 교통환경을 고려한 교통류 특성에 따른 4지·5지 교차로에서의 교차로 운영이나 교차로 개선 연구에 기초적인 자료로써 활용하는데 도움이 될 것이다.

### 2. 연구 내용, 방법 및 범위

영국과 프랑스 등 유럽에서는 Roundabout의 장점을 살려 운영방법과 설계를 지속적으로 개선하여 사용하고 있는 반면에 우리 나라에서는 Roundabout의 운영에서 발견된 문제를 극복하지 못하고 획일적으로 신호교차로화 함으로써, 최근에 들어서는 신호교차로의 단점을 극복하기 위하여 노력하고 있다. 따라서 4지 교차로와 5지 교차로에서 신호교차로와

Roundabout을 동일조건, 동일한 상황(차로수, 회전포켓, 교통량, 회전교통량, 현시 및 신호시간 등)에서 교통류 특성의 변화에 따른 민감도를 비교, 분석하여 교차로의 효율성을 검토하고 교통류 특성에 따른 효율적인 교차로 형태를 검토하였다. 교통류 특성에 따른 효율적인 형태의 교차로를 검토하기 위해 4지·5지 교차로에서의 교통류 특성변화에 따른 교통량을 토대로 NETSIM 분석 Tool을 이용하여 분석을 하였다. 분석을 바탕으로 교통류의 특성에 따른 교차로 형태별 효율성을 검토하고, 이를 통하여 각 교통류 특성별 효율적인 교차로 형태를 제시하였다.

## II. 문헌고찰

### 1. Roundabout의 특성 및 변천과정

Roundabout는 교차로의 중앙에 원형섬을 두고 차량이 이를 우회해 가며 가고자 하는 방향을 찾아가게 하는 교차로의 한 형태이며, 우리 나라에도 많이 사용되었으나 근래 들어 거의 신호교차로로 개조되어 찾아보기 힘들다. 우선 Roundabout의 장점과 단점을 살펴보면 Roundabout의 장점은 첫째, 차량의 흐름이 중단되지 않고 연속적으로 흘러간다는 것이다. 둘째, 교차로 중앙에 위치한 중앙 교통섬(Central Island)에 의해 교차로에 접근하는 차량들의 운행속도가 감소한다는 것이다. 셋째, 진입부에 부가차로를 두는 방법으로 외곡부(Flare)를 설치함으로써 교차로의 용량 증대를 가져온다. 넷째, 접근로를 굴절(Deflection) 시킴으로 차량의 운행궤적 굴절에 따른 속도가 감소한다. 다섯째, 반시계방향의 일방향 흐름에 따른 상충횟수 및 상충면적의 감소를 가져온다. 여섯째, 차량의 속도 감소와 상충의 감소에 따라 사고의 심각성이 저하된다.

Roundabout의 단점은 첫째, 차량 흐름의 엇갈림 현상에 의하여 교통용량이 신호 교차로에 비해 떨어진다. 둘째, 교통량이 많아지면 차량의 흐름이 엉키어 교차로 전체가 마비되는 잠금현상(Locking-up)이 발생한다. 셋째, 명확한 Roundabout의 운행 우선순위 규정을 배제할 때, 운전자의 혼란을 초래하는 결과를 가져온다.

Roundabout의 변천과정<sup>4)</sup>을 보면, Roundabout의 기원은 프랑스의 건축가 M. Eugene Henard(1903)의 저서에서 발견할 수 있다. 1905년 미국 뉴욕시에

Columbus Circle이란 최초의 Roundabout(로터리형 교차로)가 건설되는 계기가 되고 1907년에는 프랑스 파리의 12개 방사선 도로가 만나는 the Place de L'Etoile와 10개의 도로가 만나는 the place de la Nation에 프랑스 최초의 Roundabout가 건설되었다. 영국에서는 Sollershatt Circle 이라는 영국 최초의 Roundabout를 1910년에 건설하였다. 1929년에는 Roundabout의 계획과 설계에 관한 최초의 공식적인 지침서 - Ministry of Transport Circular No. 302 - 가 영국 교통성과 도시계획국(Town Planning Institute)에서 발간되었다. 그리고 중앙교통섬의 정다각형으로 인한 코너 주행시의 주행궤적의 이탈 현상과 주행속도의 저하는 운행효율에 영향을 준다는 연구결과는 Royal-Dawson(1936)에 의하여 제안되고 그 결과는 현재까지 활용하고 있는 원형 중앙교통섬으로 바꾸는 계기가 되었다. 현대식 Roundabout의 경우, 1957년 Wardrop의 연구 발표 이후 약 10년 동안은 로터리형 교차로의 잠김현상(locking-up)을 풀려고 노력한 시대였다. 그리고, 1966년에 세계 최초로 영국에서는 Roundabout에서의 순환차량우선(원점통행우선 : Offside Priority Rule)에 대한 연구결과를 전국에 적용하였다. 순환차량우선 통행법은 잠김현상(locking-up)을 해결하였고, 용량의 증가와 교차로에서의 안전사고를 감소시켰다. 현대식 Roundabout는 종전의 Roundabout의 형태에 두 가지 큰 변화를 가져왔다. 첫째는 교차로의 통행구간의 길이가 용량에 큰 영향을 주지 못하므로 자연적으로 같은 용량을 얻기 위해서 중앙교통섬의 크기를 크게 할 필요가 없게 되어 과거에는 설치할 수 없던 지역에서도 쉽게 교차로 설치가 가능하게 되었다. 두 번째는 기존의 교차로의 용량을 손쉽게 늘일 수 있다. 즉 중앙교통섬의 크기를 줄이고 대신 진입차선을 중앙교통섬의 가까이에 두든지 혹은 진입차로 수를 증가시킴으로써 용량을 증가시킬 수 있다. 현대식 Roundabout의 발전은 주로 중앙 교통섬의 형태 변화에 따라 이루어져 왔다.

초기의 원형 로터리는 이동류의 분리와 작은 규모의 교차로 용량 증대에 관점을 두고 설계되었으나, 현대식 Roundabout는 교차로 규모와 교통량의 정도에 따라 각각의 목적과 교통소통 유지를 위해 다양한 발전을 하고 있다.

Roundabout의 운영 사례를 보면, 우선 1930년대 중반 영국 교통사고의 30%가량은 교차로에서 발

생한 것으로 분석되었다<sup>3)</sup>. 이에 영국 교통당국은 교차로 기술로 신호등과 Roundabout를 고려하였다.

Roundabout는 차량처리 속도는 떨어지지만 차량의 흐름을 중단 없이 지속적으로 유지할 수 있는 장점으로 Roundabout를 설치하여 처리함으로써 차량 속도 문제를 절대적인 수준까지 줄이고 차량소통도 성공적으로 해결해 왔다. 1960년대 중반에는 Roundabout를 운영하는 기본원리(진입차량우선권 → 순환차량우선권)를 수정함으로써, Locking-up 현상을 해결하였다. 영국에 이어 프랑스, 스페인, 네덜란드 등 유럽 각국이 신호등 교차로의 위험성(속도를 줄이지 않고 교차로를 통과하려는 것에 의한 심각한 사고의 위험)으로 인하여 Roundabout를 도입하였다. 프랑스는 Roundabout의 차량소통 능력보다는 차량의 속도를 줄이는 Traffic Calming용으로 활용을 하였다. 네덜란드는 1980년대부터 Roundabout가 설치되기 시작하여 큰 성과를 경험하였다. 심각한 충돌사고가 감소하였고, Roundabout로 인하여 개선된 횡단보도의 능력으로 차량들의 흐름이 나아졌으며, 유지와 시행의 비용이 줄어들고, 용량의 증대로 인하여 400개 이상의 Roundabout가 설치되었다. 노르웨이의 Roundabout의 경우, 1980년에서 1990년 사이에 350개가, 1992년에는 500개로 늘어났으며, 스위스는 1987년 Yield-at-entry 규칙을 채용하였고, 1980년에 19개에서, 1992년 초에 220개가 설치되었으며, 1992년에는 Roundabout의 개수가 500개였다.

미국에서도 90년대에 교통량이 적은 minor road 간 교차로는 Roundabout를 도입하여 1995년까지 워싱턴주와 메릴랜드주를 중심으로 800개 이상 교차로를 개선하였다.

이처럼, 미국, 유럽 각 국가들에서는 Roundabout 교차로 처리 방법이 교차로 운영에 있어 그 기능의 우수함을 경험하게 되어, 활발하게 활용되고 있는 교차로 기술로 자리를 잡아가고 있다.

## 2. 사례연구

우리 나라에서의 교차로들은 대부분 신호등으로 통제하고 있다. 이는 주어진 도로여건에서 많은 차량을 동시에 처리할 수 있으며, 신호등이 통제를 하기 때문에 사고 발생 가능성도 적다는 점으로 신호교차로는 다른 형태의 교차로 보다 안전하다고 평가를 받고 있다. 신호교

차로의 장점으로는 첫째, 질서있게 교통류를 이동시킨다. 둘째, 직각충돌 및 보행자충돌과 같은 종류의 사고가 감소한다. 셋째, 교차로의 용량이 증대된다. 넷째, 교통량이 많은 도로를 횡단해야 하는 차량이나 보행자를 횡단시킬 수 있다. 다섯째, 인접교차로를 연동시켜 일정한 속도로 긴 구간을 연속 진행시킬 수 있다. 여섯째, 수동식 교차로 통제보다 경제적이다. 일곱째, 통행우선권을 부여받으므로 안심하고 교차로를 통과할 수 있다.

이런 장점으로 신호교차로는 차량이 집중하는 도심, 통과차량이 거의 없는 외곽지역의 교차로에서까지 폭넓게 활용되고 있다.

그러나 일부에서는 신호교차로가 비효율적이라는 지적이 있어 왔고, 신호교차로의 비효율적인 면을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 신호교차로는 모든 방향에서 접근하는 차량들을 효과적으로 처리하기에는 효율성이 떨어진다. 일례로 사거리 교차로에서 한 개 방향으로만 차량이 정체하는 경우 이를 효과적으로 처리하지 못하는 단점이 있다. 둘째, 차량이용이 낮은 지역에 신호등을 설치하면 다른 방향에서 진입하는 차량이 유무에 관계없이 모든 차량이 일단 정지하여 신호를 기다려야 하기 때문에 차량흐름을 오히려 단절시키는 결과를 가져온다. 셋째, 4지 이상의 대형 교차로에서는 기능이 급속도로 떨어진다는 점이다. 이는 신호교차로가 안고 있는 한계로 구조적으로 개선이 불가능하다. 즉 신호주기는 극히 제한적인데 반해 차량을 처리해야 할 방향(도로)이 많기 때문에 신호대기 시에 발생하는 손상시간이 늘어나 비효율적인 운영이 불가피하다. 넷째, 신호등이라는 하나의 기준에 따라 확립적으로 운영됨으로써 운전자들이 교차로 통과시 양보나 상황과약 노력을 할 필요가 전혀 없어 사고 발생 잠재력을 가지고 있다.

이처럼 신호교차로가 교통류에 따라서는 비효율적이라, 선진 각국은 신호교차로의 한계를 극복하기 위해 여러 가지 방안을 연구하며 현장에 적용해 왔다. 세계 여러 나라들이 가장 많이 이용하는 방법은 입체화로 평면적인 교차로를 입체화시킴으로써 차량처리 능력을 높이고 안전도도 향상시켜 왔다. 그리고, 다른 한가지 중요한 기술은 최근 유럽과 미국으로 보급이 확대되고 있는 Roundabout를 꼽을 수 있다.

Roundabout는 도시지역과 외곽지역 등 주어진 환경에 따라 서로 다르게 적용된다. 도시지역의 경우는 첫째, 이용차량이 많다는 점, 둘째, 시간대 별로 이용차량 수에 큰 차이가 있다는 점, 셋째, 공간이 극

히 제한된다는 점 등을 주요 특징으로 꼽을 수 있다.

외곽지역의 경우는 첫째, 차량들의 통과속도가 높다는 점, 둘째, 시간대 별로 이용차량 수에 큰 차이가 없다는 점, 셋째, 공간활용에 큰 제약이 없다는 점 등이다.

이에 상대적으로 이용차량이 적고 공간활용에 여유가 있는 외곽지역에서는 비교적 대형의 Roundabout를 그리고 공간 활용에 어려움이 있는 도시지역에서는 Mini-Roundabout를 설치하는 것이 보통이다.

현재 Netsim 분석을 적용하여 운영되고 있는 국내의 Roundabout 사례를 살펴보면, 대구광역시 두류네거리 Roundabout 교통체계와 울산광역시의 공업탑로타리 Roundabout 신호체계를 들 수 있다<sup>5)</sup>. 우선 두류 네거리의 경우 지하철 2호선 공사로 인한 지하공간 개발을 위해 신호교차로 체계에서 Roundabout 체계로 변환한 사례이다. 신호교차로를 Roundabout로 변환한 개선효과는 첫째, 개선전에는 지체시간이 58.9(초/대)에서 Roundabout체계로 변환한 후에는 61.2(초/대)로 나타나 지체도는 다소 악화된 것으로 나타났다. 이는 기존의 교통처리방식과 비교하여 대등한 교통처리 효과를 나타내는 것이다.

둘째, 공사기간 중 공사를 위한 공간의 확보와 공사비(약30억원)의 절감 및 차선의 변경 없이 소통이 가능하여 상대적으로 안전성 증대의 효과가 발생하였다.

셋째, 경제적, 시간적으로 효율적인 교통처리방안으로 분석되었다. 그리고, 5지 교차로인 울산의 공업탑로타리<sup>6)</sup>는 출퇴근 시간대, 극심한 교통정체로 주변 도로의 교통소통에 지장을 초래하였고, 하루 6~7건(2,300건/년)의 교통사고로 교통정체 및 사회비용이 증가하였다. 그리고 무신호 횡단보도 운영으로 보행자 및 차량 사고 위험과 무질서한 습관의 고착으로 교통소통에 악영향을 초래하여, 신호 운영체계의 Roundabout로 전환하여, 성과를 얻은 사례라고 할 수 있다. Roundabout의 개선후 횡단보도를 존치하면서 신호를 운영함으로써 보행자의 안전 및 편의성이 증진되었고, 상시 교통관리인력의 절대 감축효과(시행전 1일 24명에서 시행후 1일 1명)를 나타냈으며, 교통량은 출퇴근시간대에 감소하는 결과를 얻었다. 그리고, 평균지체시간은 로타리내 통과속도가 22.3km/h에서 37.6km/h로 증가함으로 감소하는 결과를 나타냈다.

이와같은 사례연구를 통하여 본 논문에서는 4지 5지 교차로의 교통량 및 회전교통량을 변화시켜 신호교차로와 Roundabout 사용을 위한 기준값을 제시하고자 한다.

### III. 본론

#### 1. 분석방법

본 연구에서는 NETSIM을 분석 Tool로 사용하였으며, 분석을 위한 기본 Data 중 기하구조(차로수, 회전 포켓 등), 교통량(회전교통량 포함), 현시, 등을 신호교차로와 Roundabout에 동일하게 적용하였다.

교통량 산정에 있어서는 4지교차로의 경우, 경주시의 대구로타리의 실교통량을 적용하여, V/C별 교차로 교통량을 산정하였으며, 5지교차로의 경우, 울산광역시 신북로타리의 실교통량을 적용하여, V/C별 교차로 교통량을 산정하였다.

교차로의 실교통량은 방향별, 차종별로 실시간 조사된 교통량으로 peak시 가장 많은 교통량이 조사된 실교통량을 적용하였다. 포화교통량의 산정에 있어서는 교차로 접근로에서 각 이동류의 최소방출차두시간(Minimum Departure Headway) 즉, 포화차두시간(saturation headway)을 구하여 계산하였다. 본 연구에서는 실교통량을 적용한 교차로의 차종비를 통한 중차량비를 보정을 하였으며, 그 외의 보정은 이상적인 조건 상태로 한정하였다.

교차로 전체의 V/C의 산정에 있어서, 신호주기당 손실시간은 도로용량편람에 제시되어 있는 출발손실시간은 2.3초, 진행연장시간은 2.0초를 적용하여 산정하였으며, 신호주기는 고정시켜, 각 V/C별 교통량을 산정 하였다.<sup>1)</sup>

주기결정에 있어서는 시뮬레이션과 현장 관찰에 근간을 둔 기법으로 지체를 최소화하는 주기 산정법인 Webster 방식을 이용하였다.<sup>2)</sup>

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=0}^n y_i}$$

여기서,

C : 최소 주기길이(sec)

L : 주기당 사용되지 않은 시간(총손실시간 = nI + R)

Y<sub>i</sub> : 임계차로교통량(i번째현시, vph)/현시 i의 포화교통유율(vph)

n : 현시의 수

I : 현시당 평균 손실시간

R : 주기당 모든 All-Red Time

교차로 전체 V/C는 다음의 식을 이용하여 도출하였다.<sup>2)</sup>

$$X_c = \frac{C}{C-L} \times \sum_{i=1}^n y_i$$

여기서,

X<sub>c</sub> : 교차로 임계 v/c비

L : 주기당 총 손실시간으로서 주기에서 총 유혹색시간을 뺀 값





y<sub>i</sub> : i현시때 주이동류의 교통량비(v/s)

<표 1>과 <표 4>에서 기본교통량은 실측된 교통량으로 좌회전 비율과 우회전 비율변화에 따른 교통량은 기본교통량을 바탕으로 방향별 전체 교통량대비 회전교통량을 산정하였으며, 그외 교통량은 방향별 전체 교통량에서 각 방향별 비중을 토대로 작성되었다. 5지교차로의 경우 좌회전 교통량은 좌회전과 반방향을 합쳐서 좌회전 교통량으로 산정하였다.

신호주기는 실교통량 기준의 최적 주기로 고정하여 분석을 하였으며, 4지교차로는 150초의 주기이며, 5지교차로는 250초의 주기이다.

Roundabout는 4지교차로의 경우 순환차선을 3차선으로 설계하여 1차선은 직진전용, 2차선은 직진과 우회전 공용으로 3차선은 우회전 전용으로 설정하였다. 그리고, 5지교차로의 경우 순환차선의 차선수를 5차선으로 설계하여, 1·2·3차선은 직진전용차선, 4·5차선은 우회전 전용차선으로 설정하여 DATA를 구성하였고, 그 외 DATA의 입력에 있어 고려되지 않은 값들은 기본 값으로 입력하여 분석을 하였다.

4지교차로의 산정된 교통량 및 현시방법은 <그림 1>과 같다.

방향				
번호	1	2	3	4

<그림 1> 4지교차로 방향표

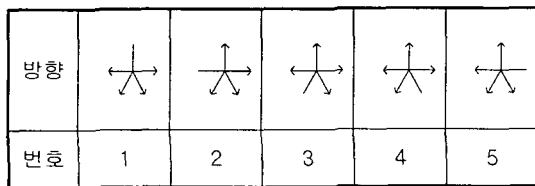
〈표 1〉 4지교차로 실교통량

교차로 방향	진행 방향	기본 교통량 (PCU)	좌회전비율(%)					우회전비율(%)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	직진	477	492	437	383	328	274	627	557	488	418	349
	좌회전	110	86	172	257	343	429	145	129	113	97	80
	우회전	271	280	249	218	187	155	86	172	257	343	429
2	직진	231	274	243	213	182	152	415	369	323	277	230
	좌회전	214	89	178	267	356	445	385	342	299	256	214
	우회전	444	526	468	409	351	292	89	178	267	356	445
3	직진	419	540	479	420	359	300	444	394	345	296	247
	좌회전	230	76	153	229	306	382	244	217	190	162	135
	우회전	115	148	132	115	99	82	76	153	229	306	382
4	직진	222	298	265	232	199	165	250	222	194	167	138
	좌회전	155	47	94	141	188	236	174	155	136	116	97
	우회전	94	126	112	98	84	70	47	94	141	188	236

〈표 2〉 V/C 0.7일 때 교통량(4지교차로)

교차로 방향	진행 방향	기본 교통량 (PCU)	좌회전비율(%)					우회전비율(%)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	직진	425	440	391	342	293	244	554	492	431	369	307
	좌회전	99	76	152	228	304	380	129	115	100	86	72
	우회전	235	243	216	189	162	135	76	152	228	304	380
2	직진	204	242	215	188	161	134	367	326	286	245	204
	좌회전	188	78	157	235	314	392	339	301	263	225	188
	우회전	392	464	412	361	309	258	78	157	235	314	392
3	직진	374	481	427	374	321	267	396	352	308	264	220
	좌회전	204	68	136	204	272	340	216	192	168	144	120
	우회전	102	131	117	102	87	73	68	136	204	272	340
4	직진	204	274	243	213	182	152	230	204	179	153	128
	좌회전	143	43	87	130	174	217	161	143	125	107	89
	우회전	87	117	104	91	78	65	43	87	130	174	217

5지교차로의 산정된 교통량은 〈그림 2〉, 〈표 4. 5〉와 같다.



〈그림 2〉 5지교차로의 방향표

## 2. 교통량 변화에 따른 민감도 분석

### 1) V/C 변화에 따른 민감도 분석

#### (1) 4지 교차로

〈표 6〉과 〈그림 3〉에서 4지 신호교차로의 지체 시간과 4지 Roundabout의 지체시간을 비교하면, V/C의 변화에 따라 다른 양상을 나타내고 있다. 신호교차로의 경우는 V/C의 변화에 따라, 변화 양상이 고른 반면, Roundabout의 경우는 V/C가

〈표 3〉 V/C 0.8일 때 교통량(4지교차로)

교차로 방향	진행 방향	기본 교통량 (PCU)	좌회전비율(%)					우회전비율(%)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	직진	486	503	447	391	335	279	634	563	493	423	352
	좌회전	113	87	174	260	347	434	147	131	115	98	82
	우회전	269	278	247	217	186	155	87	174	260	347	434
2	직진	233	276	245	215	184	153	419	373	326	280	233
	좌회전	215	90	179	269	358	448	387	344	301	258	215
	우회전	448	530	472	412	354	295	90	179	269	358	448
3	직진	428	550	488	428	367	305	453	403	353	302	252
	좌회전	233	78	156	233	311	389	247	219	192	165	137
	우회전	117	150	134	117	100	84	78	156	233	311	389
4	직진	233	313	279	244	209	174	262	233	204	175	146
	좌회전	164	50	99	149	198	248	184	164	143	123	102
	우회전	99	133	118	103	89	74	501	99	149	198	248

〈표 4〉 5지교차로의 실교통량

교차로 방향	진행 방향	기본 교통량 (PCU)	좌회전비율(%)					우회전비율(%)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	좌회전	135	27	53	80	107	134	136	121	106	91	75
	반방향	330	65	131	196	261	326	332	295	258	221	184
	직진	358	651	579	507	434	362	360	320	280	240	200
	우회전	97	177	157	137	118	98	92	184	276	368	460
2	좌회전	52	11	21	32	43	54	68	60	53	45	38
	반방향	489	100	202	302	403	503	637	566	495	424	354
	직진	229	401	356	312	267	223	298	265	232	199	166
	우회전	344	602	535	468	401	334	111	223	334	446	557
3	좌회전	400	82	164	246	327	410	473	420	368	315	262
	반방향	212	43	87	130	174	217	251	223	195	167	139
	직진	342	602	535	468	401	334	404	359	314	270	224
	우회전	299	526	467	409	351	292	125	251	376	501	627
4	좌회전	290	36	72	109	145	181	292	260	227	195	162
	반방향	426	54	107	160	213	267	429	381	333	286	238
	직진	85	381	339	296	254	212	86	76	67	57	48
	우회전	95	425	378	331	284	236	90	179	269	358	448
5	좌회전	131	58	116	173	231	289	162	144	126	108	90
	반방향	188	83	166	249	332	415	232	206	181	155	129
	직진	707	823	731	640	549	457	873	776	679	582	485
	우회전	382	444	395	346	296	247	141	282	422	563	704

0.7이후로 급격하게 지체시간이 증가함을 알 수 있다.

(2) 5지 교차로

〈표 7〉과 〈그림 4〉에서 신호교차로와 Roundabout는

〈표 5〉 V/C 0.8일 때 교통량(5지교차로)

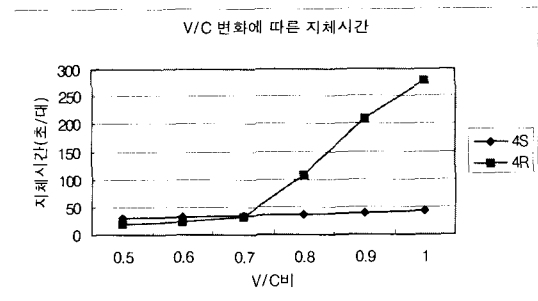
교차로 방향	진행 방향	기본 교통량 (PCU)	좌회전비율(%)					우회전비율(%)				
			10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
1	좌회전	115	22	45	68	90	113	115	102	89	77	64
	반방향	275	54	108	161	216	269	275	244	214	183	153
	직진	298	548	487	426	365	304	298	265	232	198	165
	우회전	76	140	124	109	93	78	76	153	229	306	382
2	좌회전	47	10	19	29	38	48	61	54	48	41	34
	반방향	416	85	170	255	340	425	542	482	422	362	301
	직진	189	333	296	259	222	185	246	219	192	164	137
	우회전	293	517	460	402	345	287	95	189	284	378	473
3	좌회전	348	71	142	213	284	355	412	367	321	275	229
	반방향	185	38	75	113	151	189	219	195	170	146	122
	직진	293	517	460	402	345	287	347	309	270	231	193
	우회전	261	461	410	359	307	256	109	217	326	435	544
4	좌회전	232	29	58	87	116	145	235	209	182	157	130
	반방향	349	44	87	131	174	218	353	314	274	236	196
	직진	65	293	260	228	195	163	66	58	51	44	37
	우회전	80	360	321	280	241	200	73	145	218	290	363
5	좌회전	107	46	93	140	186	233	132	117	103	88	73
	반방향	167	73	146	218	291	364	206	183	160	137	114
	직진	597	698	620	542	465	387	736	654	572	491	409
	우회전	322	376	334	293	251	209	119	239	358	477	597

〈표 6〉 4지교차로의 V/C 변화에 따른 지체시간비교

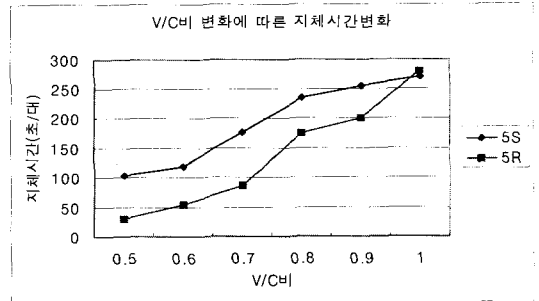
V/C	4지신호교차로(초/대)	4지 Roundabout(초/대)
0.5	29.4	20.4
0.6	32.4	24.6
0.7	34.2	32.4
0.8	36.0	108.0
0.9	37.8	209.4
1.0	42.6	279.0

〈표 7〉 5지교차로의 V/C비 변화에 따른 지체시간비교

V/C	5S(초/대)	5R(초/대)
0.5	103.2	31.2
0.6	119.4	54.0
0.7	176.4	85.8
0.8	233.4	174.6
0.9	255.0	199.2
1.0	269.4	279.6



〈그림 3〉 4지교차로의 V/C비 변화에 따른 지체시간비교



〈그림 4〉 5지교차로의 V/C 변화에 따른 지체시간비교



V/C가 증가함에 따라, 일정하게 지체시간이 증가함을 보인다. 신호교차로는 V/C가 0.6부터 급격히 지체시간이 증가하며, Roundabout는 V/C가 0.7부터 급격히 증가함을 알 수 있다. V/C가 0.9~1.0사이에서 Roundabout의 지체시간이 신호교차로의 지체시간을 초과함이 나타났다.

2) V/C비와 회전교통량의 변화에 따른 민감도 분석

(1) 4지 교차로

회전 교통량별 V/C의 변화에 따른 지체시간을 비교하면, <표 8>과 <표 10>에서 좌회전비율이 10%~30%, 50%에는 V/C가 0.7과 0.8 사이에서 교차가 이루어져, 지체시간이 신호교차로 보다 Roundabout가 높게 나타났다. 좌회전 비율이 40%의 경우는 V/C가 0.6~0.7사이에 교차가 일어나 Roundabout가 신호교차로보다 지체시간이 증가함을 보여주고 있다.

신호교차로의 경우 회전비 변화에 따른 V/C 변화에 따른 지체시간의 증가는 완만하게 나타나고 있으나, Roundabout는 V/C가 0.7이후부터 지체시간이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

<표 9>와 <표 10>에서 우회전비율이 10%~40%에서는 V/C가 0.7과 0.8사이에서 Roundabout의

지체시간이 신호교차로의 지체시간보다 높게 나타나기 시작한다. 우회전비율이 50%일 때는 V/C가 0.6과 0.7사이에서 Roundabout의 지체시간이 높게 나타난다. 신호교차로의 우회전 교통량비별 V/C 지체시간은 완만하게 증가함을 보여주고 있다. 그러나, Roundabout는 우회전비가 20%까지는 V/C가 0.7이후에 지체시간이 급격히 상승하며, 30% 이후부터는 V/C가 0.8 이후에 급격히 증가함을 보인다.

V/C에 대한 회전교통량 변화에 따른 지체시간의 변화는 V/C가 0.7일 때, 좌회전교통량비가 40%~50% 사이에서 반전되어서 반전되기 이전에는 신호교차로가 Roundabout보다 지체시간이 높게 나타났으며, 반전 이후는 Roundabout가 신호교차로보다 지체시간이 높게 나타난다.

우회전교통량 또한, 좌회전과 동일하게 V/C가 0.7일 때, 우회전교통량비가 40%~50%사이에서 교차가 이루어져, 교차이전에는 신호교차로가 교차 이후에는 Roundabout가 지체시간이 높게 나타남을 보인다.

(2) 5지 교차로

회전 교통량별 V/C의 변화에 따른 지체시간을 비교하면, <표 10>과 <그림 6>에서 좌회전교통량변화에

<표 8> 좌회전교통량별 V/C 변화에 따른 지체시간 비교 (지체시간:단위 초/대)

V/C	좌회전 10%		좌회전 20%		좌회전 30%		좌회전 40%		좌회전 50%	
	4S	4R	4S	4R	4S	4R	4S	4R	4S	4R
0.5	28.8	18.6	29.4	19.2	29.4	19.8	31.2	20.4	33.6	21.6
0.6	29.4	22.2	31.2	22.2	33.0	22.8	33.6	25.2	37.8	27.0
0.7	32.4	29.4	33.6	30.6	34.2	33.6	36.6	37.2	48.6	44.4
0.8	33.0	64.8	32.4	77.4	36.0	90.6	40.2	121.8	51.0	139.2
0.9	35.4	162.6	39.0	194.4	42.6	243.6	45.0	227.4	64.8	270.6
1.0	34.8	247.2	40.8	243.6	44.4	271.2	52.2	283.2	89.4	294.0

<표 9> 우회전교통량별 V/C 변화에 따른 지체시간 비교 (지체시간:단위 초/대)

V/C	우회전 10%		우회전 20%		우회전 30%		우회전 40%		우회전 50%	
	4S	4R	4S	4R	4S	4R	4S	4R	4S	4R
0.5	38.4	21.0	34.8	19.8	31.2	19.2	28.2	19.2	23.4	18.0
0.6	40.2	25.8	37.8	24.0	34.2	22.8	29.4	22.2	24.6	21.0
0.7	45.0	37.2	39.0	33.6	34.8	31.2	30.0	28.2	26.4	27.6
0.8	45.6	119.4	42.0	132.6	37.2	61.2	30.6	54.0	27.6	36.0
0.9	94.8	211.2	60.0	216.6	54.0	202.2	36.6	147.0	28.8	80.4
1.0	77.4	279.6	83.4	273.0	68.4	259.8	51.0	243.0	39.0	169.0

〈표 10〉 좌회전교통량별 V/C 변화에 따른 지체시간 비교

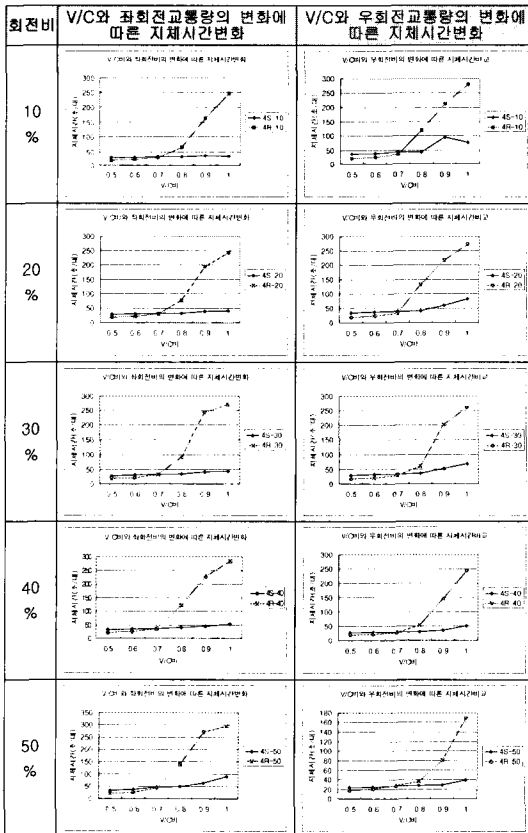
(지체시간:단위 초/대)

V/C비	좌회전 10%		좌회전 20%		좌회전 30%		좌회전 40%		좌회전 50%	
	5S	5R	5S	5R	5S	5R	5S	5R	5S	5R
0.5	128.4	23.4	107.4	22.8	88.2	24.0	75.0	29.4	77.4	24.0
0.6	245.4	15.0	132.0	57.0	104.4	62.4	79.2	42.6	88.2	88.8
0.7	319.2	55.2	232.8	81.6	150.0	96.0	120.0	88.2	132.0	99.0
0.8	393.6	93.0	313.8	90.0	207.0	94.2	153.6	102.0	207.0	108.6
0.9	427.2	97.8	379.2	121.2	257.4	134.4	219.0	155.4	267.6	166.8
1.0	468.0	142.8	386.4	155.4	301.2	180.6	286.8	177.0	319.8	253.8

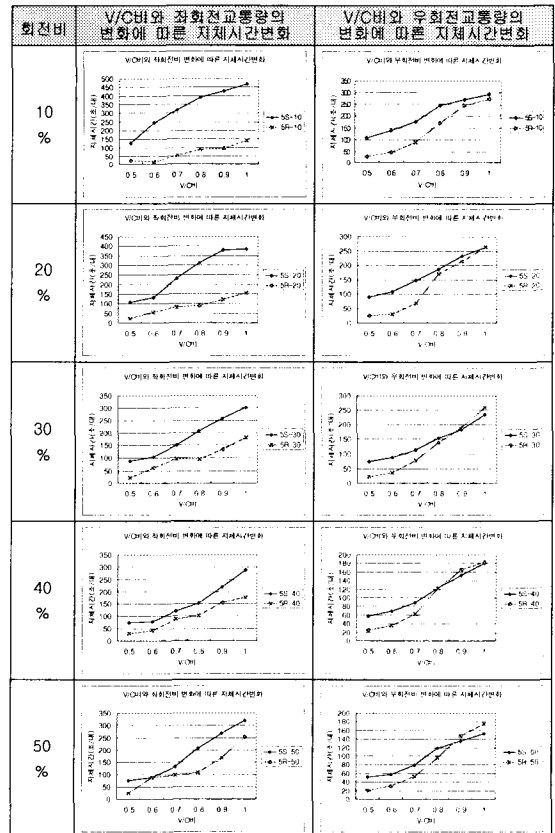
〈표 11〉 우회전교통량별 V/C 변화에 따른 지체시간 비교

(지체시간:단위 초/대)

V/C비	우회전 10%		우회전 20%		우회전 30%		우회전 40%		우회전 50%	
	5S	5R	5S	5R	5S	5R	5S	5R	5S	5R
0.5	106.2	27.6	89.4	25.8	75.0	24.0	57.0	25.8	51.6	21.0
0.6	138.6	46.8	108.0	30.6	88.2	37.8	68.4	35.4	57.0	30.6
0.7	176.4	88.8	148.2	67.8	114.6	78.0	88.8	61.8	79.8	53.4
0.8	246.0	172.2	186.0	171.0	153.6	137.4	123.0	121.8	118.2	95.4
0.9	271.2	246.0	232.2	213.6	183.0	189.6	153.0	165.0	136.2	147.0
1.0	294.0	272.4	264.6	264.0	234.0	259.2	180.6	183.0	152.4	175.2



〈그림 5〉 4지교차로의 V/C와 회전교통량변화에 따른 지체시간비교



〈그림 6〉 5지교차로의 V/C와 회전교통량변화에 따른 지체시간비교

따른 V/C별 지체시간은 신호교차로가 Roundabout보다 낮게 나타났다. 이는 좌회전교통량 변화에 따른 민감도가 신호교차로가 높다는 것을 알 수 있다.

〈표 11〉과 〈그림 6〉에서 우회전비율이 10%와 20%일 때는 신호교차로가 Roundabout보다 지체시간이 높게 나타났다. 우회전이 30%이후부터는 V/C가 0.8과 0.9사이에서 서로 교차가 이루어져 Roundabout가 지체도가 높게 나타났다.

V/C에 대한 회전교통량 변화에 따른 지체시간의 변화를 비교하면, 좌회전교통량 변화에 따른 지체시간은 전반적으로 신호교차로가 Roundabout보다 높게 나타났으며, 우회전교통량 변화에 따른 지체시간은 V/C가 0.9, 1.0일 때, 우회전교통량비가 20%~30% 사이에서 교차가 일어나 신호교차로가 Roundabout보다 지체시간이 낮게 나타남을 알 수 있다.

### 3. 민감도 분석을 통한 대안 제시

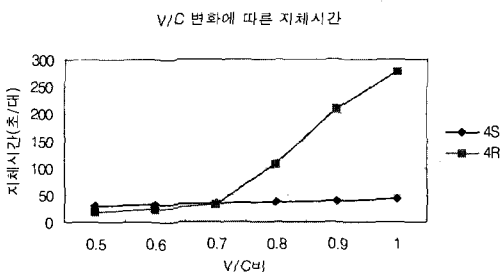
#### 1) 4지 교차로

〈그림 7〉에서 보듯이 V/C의 변화에 따른 지체시간을 비교해 보면, Roundabout의 경우, V/C가 0.7 이후 지체시간이 급격히 상승함을 알 수가 있다.

따라서, V/C가 0.7이하일 때는 Roundabout가 신호교차로보다 효율적이고, V/C가 0.7을 초과할 때에는 신호교차로가 Roundabout보다 효율적임을 알 수가 있다.

〈그림 5〉에서 좌회전교통량비가 10%~30%, 50%일 때는 V/C가 0.7에서 0.8사이에서 교차가 이루어지고 있으며, 좌회전교통량비가 40%일 때는 V/C가 0.6~0.7사이에서 교차가 이루어짐을 알 수가 있다.

따라서, 좌회전교통량이 변화할 때의 지체시간을



〈그림 7〉 4지교차로의 V/C 변화에 따른 지체시간 비교

비교해본 결과, 좌회전교통량의 변화시는 V/C가 0.7 이하일 때는 Roundabout가 신호교차로보다 효율적이며, V/C가 0.8이상일 때는 신호교차로가 Roundabout보다 효율적임을 알 수가 있다. 여기서 좌회전교통량비가 40%이고, V/C비가 0.7일 때의 신호교차로와 Roundabout의 지체시간 차이는 0.6초/대로 나타났다.

우회전교통량비가 10%~40%일 때는 V/C가 0.7과 0.8사이에서 신호교차로와 Roundabout의 지체시간이 교차를 이루며, 우회전교통량비가 50%일 때는 V/C가 0.6~0.7사이에서 지체시간이 교차를 이룬다. 우회전교통량비가 50%이고 V/C가 0.7일 때 Roundabout와 신호교차로의 지체시간 차이는 0.8초/대로 나타났다.

따라서, 우회전교통량이 변화할 때의 지체시간을 비교해본 결과, 우회전교통량의 변화시 V/C가 0.7이하일 때는 신호교차로보다 Roundabout가 더 효율적이고, V/C가 0.8이상일 때는 신호교차로가 Roundabout보다 더 효율적임을 알 수가 있다.

다시 요약을 하면, 〈표 12〉처럼 나타낼 수 있다.

#### 2) 5지 교차로

〈그림 8〉은 5지 교차로의 V/C 변화에 따른 지체시간을 비교한 것으로 지체시간을 비교해 보면, 신호교차로의 경우 S자형의 지체시간의 변화를 보이고 있으며, Roundabout는 기하급수적인 증가 형태를 갖는 특징이 있음을 알 수 있다. 그림을 보면 V/C가 0.9~1.0사이에서 교차가 이루어진다.

따라서, V/C가 0.9이하일 때는 Roundabout가 신호교차로보다 효율적이며, V/C가 0.9를 초과할 때에는 신호교차로가 Roundabout보다 효율적임을 알 수가 있다.

〈그림 6〉에서 좌회전교통량이 변화할 때의 지체시간을 비교해본 결과, 좌회전교통량의 변화와 V/C의 변화에 있어, 전반적으로 신호교차로가 Roundabout보다 지체시간이 높게 나타났다. 이는 V/C와 좌회전교통량 변화는 5지교차로에서는 신호교차로보다는 Roundabout가 더 효율적임을 나타내는 것이다.

우회전교통량비가 10%, 20%일 때는 V/C와 우회전교통량의 변화에도 불구하고, 신호교차로가 Roundabout보다 지체시간이 높게 나타났다. 이는 신호교차로보다 Roundabout가 더 효율적이라는 것을 말한다.

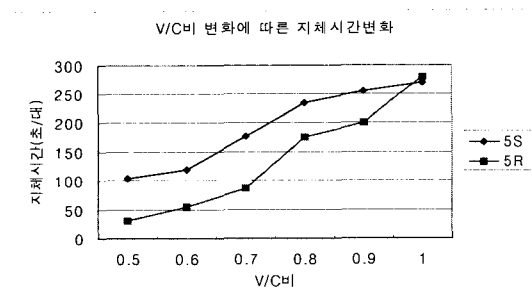
<표 12> 4지 교차로의 교통류 특성별 효율성 비교

(a) 4지 신호교차로

V/C비	효율성 비교															
	좌회전 10%			좌회전 20%			좌회전 30%			좌회전 40%			좌회전 50%			
0.5	4S1)	<	4R2)	4S	<	4R	4S	<	4R	4S	<	4R	4S	<	4R	
0.6		<			<			<			<			<		<
0.7		<			<			<			>			<		<
0.8		>			>			>			>			>		>
0.9		>			>			>			>			>		>
1.0		>			>			>			>			>		>

(b) 4지 Roundabout

V/C비	효율성 비교															
	우회전 10%			우회전 20%			우회전 30%			우회전 40%			우회전 50%			
0.5	4S	<	4R	4S	<	4R	4S	<	4R	4S	<	4R	4S	<	4R	
0.6		<			<			<			<			<		<
0.7		<			<			<			<			<		>
0.8		>			>			>			>			>		>
0.9		>			>			>			>			>		>
1.0		>			>			>			>			>		>



<그림 8> 5지교차로의 V/C비 변화에 따른 지체시간 비교

그리고, 우회전교통량비가 30~50%일 때는 V/C가 0.8~0.9사이에서 지체시간이 교차를 이룬다.

따라서, 우회전교통량이 변화할 때의 지체시간을 비교해본 결과, 우회전교통량이 30%~50%를 이룰 때는 V/C가 0.8이하일 때는 Roundabout가 효율적이고, V/C가 0.8을 초과 할 때에는 신호교차로가 더 효율적인 것을 알 수가 있다. 그리고, 좌회전의 변화나 우회전교통량비가 20%이하일 때는 신호교차로보다 Roundabout가 더 효율적임을 알 수 있다.

다시 요약을 하면, <표 13>처럼 나타낼 수 있다.

#### IV. 결론

영국과 프랑스 등의 유럽에서는 Roundabout의 장점을 살려서 운영방법과 설계를 꾸준히 개선하여 온 것에 반해 우리 나라에서는 Roundabout의 운영에서 발견된 문제점을 극복하지 못하고 획일적으로 신호교차로로 전환함으로써, 신호교차로의 단점(소통과 안전)들을 극복하기 위해 새롭게 노력하고 있다.

본 연구에서는 4지교차로와 5지교차로에서의 신호교차로와 Roundabout를 동일한 조건 동일한 교통량을 가지고, 비교 분석을 통하여 교통류 특성에 따른 효율적인 교차로 형태를 검토하고자 하였다.

분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 4지교차로의 경우, V/C가 0.7이하일 때는 Roundabout가 효율적인 것으로 나타났으며, V/C가 0.7을 초과할 경우는 신호교차로가 더욱 효율적인 것으로 나타났다.

둘째, 4지교차로에서 V/C의 변화와 회전교통량의 변화에서는 V/C가 0.7이하일 경우는 Roundabout가 0.7을 초과할때는 신호교차로가 효율적인 것으로 나타났다.

<표 13> 5지 교차로의 교통류 특성별 효율성 비교

(a) 5지 신호교차로

V/C비	효율성 비교														
	좌회전 10%			좌회전 20%			좌회전 30%			좌회전 40%			좌회전 50%		
0.5	5S	<	5R	5S	<	5R	5S	<	5R	5S	<	5R	5S	<	5R
0.6		<			<			<			<			<	
0.7		<			<			<			<			<	
0.8		<			<			<			<			<	
0.9		<			<			<			<			<	
1.0		<			<			<			<			<	

(b) 5지 Roundabout

V/C비	효율성 비교														
	우회전 10%			우회전 20%			우회전 30%			우회전 40%			우회전 50%		
0.5	5S1)	<	5R2)	5S	<	5R	5S	<	5R	5S	<	5R	5S	<	5R
0.6		<			<			<			<			<	
0.7		<			<			<			<			<	
0.8		<			<			<			<			<	
0.9		<			<			>			>			>	
1.0		>			>			>			>			>	

셋째, 5지교차로의 경우는 4지교차로와는 다르게 전반적으로 Roundabout가 더 효율적으로 분석되었다. 특히, V/C의 변화에 따른 효율성은 V/C가 1.0에 근접하여서 신호교차로가 더 효율적으로 분석되었다.

넷째, V/C의 변화와 회전교통량의 변화에 따른 효율성 분석에서는 좌회전교통량의 변화에 대해서는 전반적으로 Roundabout가 좋은 결과가 나왔으며, 다만 우회전교통량의 변화에 있어, V/C가 0.8을 초과하고 우회전교통량비가 30%~40%인 경우에 신호교차로가 조금 더 효율적인 것으로 나타났다.

따라서, 확일적으로 신호 교차로화를 하기보다는 교통류의 특성에 따라 적절한 교차로 형식을 이용한다면, 보다 효율적인 교차로를 운영할 수 있으리라고 생각한다.

현대식 Roundabout의 유용성 검토와 적용을 위해서는 아직 많은 연구가 이루어져야 하며, Roundabout에 대한 우리 나라의 운전 행동 특성에 따른 운영방식과 세부적인 설계지침이 국가적으로 마련되어야 하며, 운전자의 운전습관의 변화도 도모되어야 할 것이다.

본 연구는 우리 나라 교통환경을 고려한 교통류의 특성에 따른 교차로 운영이나 교차로 개선 연구에 기초적 자료로써 활용하는데 도움이 되리라고 생각한다.

그러나, 본 연구에서는 교통량 산정과 분석에 있어, 변수가 많음에도 불구하고, 변수를 최소화하였으며, 그 외의 변수들은 고정시켜 보다 많은 변수를 고려하지 못하였다. 또한, 교차로 분석에 있어서도 신호교차로와 Roundabout로 한정을 하였다. 따라서, 본 연구의 차후 과제로 고정되었던 변수들을 고려하고 보다 포괄적이고 상세한 연구가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

1. 대한교통학회(1992), "도로용량편람", 건설교통부.
2. 도철웅(1997), "교통공학원론(上, 下)", 기문당.
3. 임양재(1997), "교통문제, 그 해답을 찾는다", 예원출판사.
4. 이용재(2001), "현대식 회전교차로의 기원과 발전 전망", 대한토목학회지.
5. 대구광역시(1998), "두류네거리 신호로터리 교통처리방안".
6. 울산광역시(2000), "공업탑로터리 교통개선사업 추진계획".
7. 원재무·최재성(1996), "교통공학", 박영사.
8. 김종식(1998), "광장형 교차로내에서 공사중 교통

처리방안 연구”, 계명대학교 석사학위논문.

9. Edward J. Myers(1994), “Modern Roundabouts for Maryland”, ITE Journal.
10. Federal Highway Administration(1999), “TSIS User’s Guide Version 4.3”, ITT Industries, Inc.
11. Bruce W. Robinson(2000), “Roundabout : An informational guide”, Federal Highway Administration.
12. Kenneth G. courage and Lap T. Hoang (1997), “Design And Evaluation Of Modern Roundabout In Florida”, Resource Papers for the 1997 International Conference.
13. Rod Troutbeck(1988), “Guide to Traffic Engineering Practice(Part6-Roundabout)”, Austroads.

♣ 주 작 성 자 : 박창수

♣ 논문투고일 : 2002. 7. 19

논문심사일 : 2002. 9. 5 (1차)

2002. 9. 18 (2차)

심사판정일 : 2002. 9. 18

♣ 반론접수기간 : 2003. 2. 28