

■ 論 文 ■

Roundabout의 용량분석

Analysis of the Entry Capacity of Roundabouts

전 우 훈

(한국건설기술연구원 연구원)

도 철 응

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| I. 서론 | 1. 진입용량 모형 |
| 1. 연구배경 | 2. 각 Roundabout의 일반모형 적용결과 |
| 2. 연구목적 | 3. 기하구조를 고려한 일반적인 진입용량 모형 |
| 3. 연구범위 및 수행방법 | 4. 모형의 선택 |
| II. 문헌조사 | 5. 외국 모형과의 비교 |
| III. 자료수집 및 처리 | V. Roundabout과 신호교차로와의 효율성 비교 |
| 1. 조사지점 선정 | VI. 결론 및 연구의 한계와 향후과제 |
| 2. 조사방법 | 참고문헌 |
| IV. 진입용량 모형의 개발 | |

Key Words : roundabout, 진입용량, 회전교통류율, 수락간격, 신호교차로

요 약

우리나라 대부분의 도시 교차로는 신호 또는 '정지', '양보'표지로 운영되고 있다. 그러나 교통량이 비교적 적은 교차로를 roundabout으로 처리하는 것이 지체측면에서 볼 때 신호교차로보다 우수하다고 알려지고 있으며, 실제 외국에서는 이 통제방법을 많이 사용하고 있다. 우리나라에서 이 방법을 꺼리는 이유는 물론 교차로부지를 많이 차지하는 단점 때문이기도 하지만, 어떤 교통조건에서 roundabout을 사용해야 효율적인지에 대한 연구가 없기 때문이다.

본 논문의 목적은 roundabout에 대한 진입용량 모형의 개발과, 교통량에 관한 준거를 마련하는데 있다. Roundabout의 진입용량은 회전교통류율과 기하구조에 의해서 결정되며, 이 기하구조 요소는 중앙섬직경과 진입차로폭 그리고 회전차로폭이다. 분석에 필요한 현장자료는 4개의 roundabout에서 수집되었으며, 분석결과는 다음과 같다. 1)진입용량에 크게 영향을 주는 도로조건은 중앙섬직경과 회전차로폭이며, 2)본 연구에서 개발한 국내의 진입용량 모형에서 얻은 용량은 독일과 이스라엘 모형의 진입용량보다 더 높다. 그 이유는, 이들 모형에 내재하는 도로조건 파라미터가 서로 다름으로 단순비교가 어렵지만, 본 연구에서 선택된 roundabout의 외경(外徑)이 외국의 값보다 비교적 크며, 우리나라 운전자들의 수락간격이 다른 나라에 비해서 짧기 때문인 것으로 판단된다.

Roundabout과 신호교차로의 효율성을 비교하기 위해 SIDRA를 이용하였으며, 시뮬레이션은 단지 1차로로 구성된 roundabout에 대해서만 수행되었다. 분석 결과에 따르면, 각 방향의 접근로에서의 교통량이 600pcph 이하일 때 신호교차로보다 roundabout의 효율성이 우수한 것으로 분석되었다.

본 연구는 ERC의 연구비 지원으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한데 대해 깊은 감사를 드립니다.

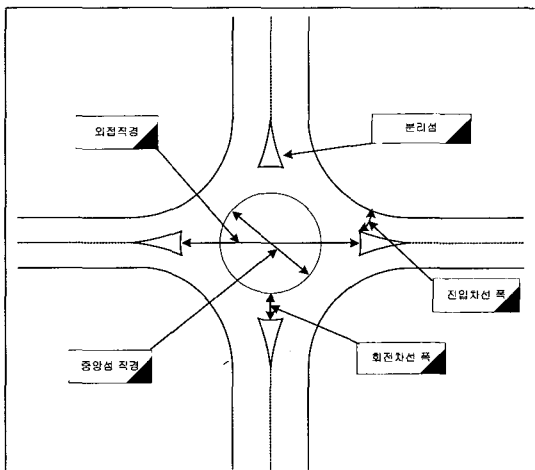
1. 서론

1. 연구배경

교차로는 도로의 중요한 일부분으로서, 도로의 효율성이나 안전성, 속도, 운영비용 및 용량은 교차로의 설계에 좌우된다. 교차로는 의사결정 지점인 동시에 교통류 간에 많은 상충이 생길 가능성이 있는 지점이다. 교차로에 대한 공학적 분석은 기본적으로 이와 같은 모든 상충문제에 관한 연구이다. 훌륭한 교차로 설계는 상충의 횡수와 정도를 최소화하고, 운전자의 노선 선정을 단순화시키기 위한 것이다. 평면교차로의 형태 가운데 roundabout은 이러한 상충점이 최소화는 교차방식이다. <그림 1>은 roundabout의 기하구조 요소를 보여주고 있다.

Roundabout의 성공적인 사례는 유럽에서 쉽게 찾을 수가 있다. 프랑스, 노르웨이, 스웨덴, 스위스 등이 대표적인 예이며, 호주는 roundabout의 설계 및 용량분석, 지체도 산정, 운영비용, 환경요인과 조경설계에 이르기까지 자세한 roundabout 설계지침을 세워놓고 있다. 또한 최근 roundabout을 교차로 설계에 이용하기 시작한 미국의 플로리다주에서는 주차장의 설계, 운영 지침서를 적용하고 있으며, FHWA에서도 일반적인 지침서를 제시하는 등 roundabout에 관한 계속적인 연구개발이 이루어지고 있다.

Roundabout은 상충점 감소 이외에도 지체감소, 용량증대, 사고감소, 안전편익 증가 등 많은 장점을 가진다고 알려져 있고, 현재 유럽을 비롯한 호주, 미



(그림 1) Roundabout의 기하구조 요소

국 등지에서 교차로의 설계에 많이 적용되는 실정이지만 우리 나라에서는 현재 있는 roundabout조차도 신호화 할 계획을 하고 있다. 이처럼 우리 나라에서 교차로 설계시 roundabout이 기피되는 이유는 이에 대한 인식부족으로 인해 설계의 지침은 물론이고 성능평가방법조차 연구되어 있지 않기 때문이다. 또한 이용자들은 회전차량의 우선권 같은 기본적인 운영원리를 지키지 않아 오히려 지체를 가중시킨다는 인식만 주고 있는 실정이다.

그러나 교차로 통제시에 검증되지 않은 신호화를 우선으로 하는 관행에서 벗어나 roundabout의 중요한 장점을 잘 살려 활성화하는 방안이 연구되어야 할 것이다. roundabout은 모든 교차로에 적용이 가능하지 않고 일정교통량 이하에서만 가능하며, 이러한 교차로 통제방법을 국내에 적용할 수 있는가를 판단하기 위해 먼저 roundabout의 설계기준 및 평가방법 등에 관해 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

2. 연구목적

Roundabout의 운영방식은 roundabout 내에서 회전하고 있는 교통류가 통행우선권을 가지며 진입하는 교통류는 반드시 회전교통류에 양보하여야 한다. 비신호 교차로에서는 운영방식에 따라 평균운영지체와 방향별 교차로 진입 교통량, 시간당 상충횡수 등을 효과적으로 분석하고 있으며 국내에서는 roundabout의 지체식을 제시한 적은 있으나(전진숙, 1998) 진입용량에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 또한 2001년에 개정된 도로용량편람에서도 로터리식 교차로에 대한 용량과 서비스수준 분석방법이 제시되지 못하고 있으며, 그 이유는 roundabout의 진입용량과 지체 등에 관한 국내의 연구가 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 여기서 진입용량이란 roundabout에 진입할 수 있는 시간당 최대교통량이며, 회전교통류율이란 진입교통류와 상충을 일으키면서 회전한 교통량을 1시간단위로 환산한 교통량을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 roundabout 진입용량과 회전교통량, 그리고 기하구조와의 관계를 제시하고자 한다. roundabout의 진입용량을 결정하는 요소는 회전교통류율과 중앙섬직경, 진입차로폭, 회전차로폭 등과 같은 기하구조이다. 진입용량과 회전교통류율 그리고 기하구조와의 관계에 대한 모형은 각 나라별로 제시

가 되어 있으나 이러한 식을 우리 나라에 적용하기에는 문제가 있다. 그것은 각 나라별로 차이를 보이는 운전자의 행태나 기하구조 설계의 특징 등이 진입용량에 영향을 끼친다고 알려져 있기 때문이다.

3. 연구범위 및 수행방법

일반적인 교차로 분석모형을 크게 두 가지로 나누면, 경험론에 근거한 경험적 모형과 해석적 모형으로 나눌 수 있다.

경험적 모형은 기하구조와 용량, 지체 등의 효과적 도간의 관계를 개발하기 위하여 현장 자료를 바탕으로 개발한 모형이다. 반면 해석적 모형은 간격수락모형의 개념을 바탕으로 한다. 경험적 모형은 일반적으로 더 정확하다고 알려져 있으나 데이터의 검증을 위해 많은 종류의 roundabout에 대한 자료수집이 필요하다. 그러나 간격수락모형은 이론적인 것이므로 용량 상태에 도달되지 않은 비혼잡 roundabout에 대해서도 적용이 가능하다. 일반적으로 용량 추정에 대해서 간격수락모형은 용량을 과대 추정하는 경향이 있다고 알려져 있다(Hashem and Fadda-h, 1997). 간격수락모형에 대한 연구는 국내에서 연구된 적이 있으나(전진숙, 1998) 경험적 모형에 대한 연구는 아직 이루어진 바가 없다. 본 연구에서는 경험적 모형을 개발하고, 이를 실제 국내에서 운영되고 있는 roundabout에

적용하여 분석하고자 한다. <그림 2>는 본 연구의 진행과정을 나타낸 것이다.

II. 문헌조사

경험적 모형은 실제 교통조건에서 관측된 값을 기본으로 하여 용량을 결정하거나 분석하는 방법으로서, 영국에서 출발한 새로운 접근방법으로 현재 여러 나라에서 이용되고 있다. 회귀분석방법은 현재 운영되고 있는 roundabout의 관측자료를 토대로 분석되므로 현장 관측 및 조사에 신중을 기해야 한다. 각 나라별로 사용되고 있는 진입용량모형을 살펴보면 다음과 같다.

1. 영국

영국에서 이용되고 있는 roundabout의 용량 분석 방법은 초기에는 간격수락이론을 기본으로 하였으나, 1980년대 Kimber(1987)에 의해 roundabout의 진입, 회전교통류들 간의 상호관계를 회귀식으로 표현하는 기법으로 발전되었다.

Kimber의 용량모형은 복잡한 무신호 교차로의 분석을 단순하게 발전시켰고, roundabout에서 각 진입로를 T-교차로로 분리하여 분석하였으며, 간단하게 진입용량과 회전교통류들 사이의 선형관계를 고려하도록 만들어졌다.

최대 진입교통류율과 회전교통류율간의 관계식으로 정의된 Kimber의 용량모형은 식(1)과 같다.

$$Q_e = K(F - f_c a_c) \tag{1}$$

여기서,

Q_e : 접근 진입교통용량(pcph)

a_c : 회전교통류율(pcph)

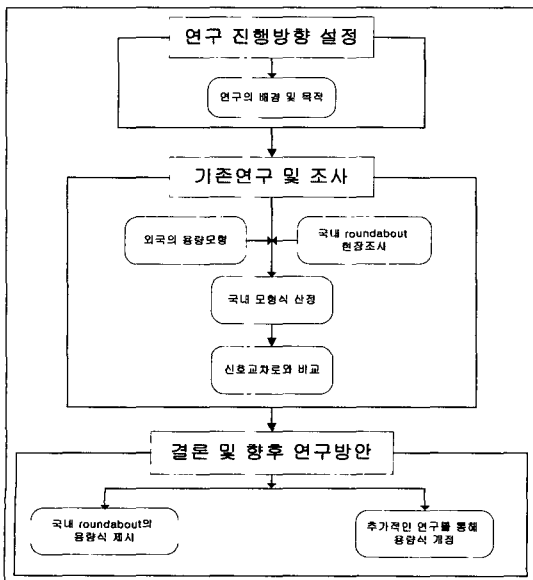
K : 진입각, 진입반지름을 고려한 변수

F : 접근폭, 진입폭, 퍼진거리를 고려한 변수

f_c : 내접직경, 접근폭, 진입폭 퍼진거리를 고려한 변수

2. 호주

호주에서 이용되고 있는 roundabout 용량 분석 방법은 영국의 경험적 접근방법인 회귀분석법과 다르게



<그림 2> 연구의 진행과정

전통적인 간격수락기법을 이용하고 있다(Austroads, 1993). 이 용량 분석방법은 Troutbeck(1991)의 개념에 기초하고 있으며, roundabout의 기하구조, 회전교통류율과 진입교통류율간의 간격수락변수(Gap Acceptance parameter) 등이 가장 중요한 변수로 작용하고 있고, 접근차로를 주, 부 차로로 구분하여 설계하도록 하고 있다.

모형식에서는 roundabout 진입차로의 용량이 회전하는 교통류가 주 교통류($Q_m = q_c$)로서 이용된 것을 제외한 2방향 신호운행에 대한 것과 같이 기본적인 식을 이용하여 계산하도록 하고 있으며, 계수(f_{od})를 진입 기종점 교통류율과 대기형태의 영향을 받는 간격수락 용량에 응용할 수 있도록 하고 있다. 용량(진입차로당 용량)모형은,

$$Q_e = \max(f_{od} Q_g, Q_m) \tag{2}$$

여기서,

$$Q_g = \frac{3600}{\beta} (1 - \Delta_c q_c + 0.5\beta\phi_c q_c) e^{\lambda(\alpha - \Delta_c)}$$

$$f_{od} = 1 - f_{qc}(P_{od} + P_{cd})$$

Q_e : 접근 진입교통용량(pcph)

q_c : 회전교통류율(pcph)

Q_g : 예측된 용량(veh/h)

Q_m : 대향흐름의 최소용량(veh/h)

f_{od} : O-D 교통류 형태와 접근로 대기차량의 영향 조정계수

P_{od} : 주 roundabout 접근로에서 대기하는 차량의 비율

P_{cd} : 주 접근로에서 진입하는 교통류의 총 순환 교통류에 대한 비율

α : 진입교통류의 평균 한계간격(초)

β : 진입교통류의 Follow-up headway(초)

λ : 도착headway 분포(지수분포) model의 계수

Δ_c : roundabout 순환교통류에서 Intra-bunch headway(초)

ϕ_c : 순환교통류에서 자유교통류의 비율

또한 호주의 Austroads에서 작성한 교통관련 설계 지침서 "Guide to Traffic Engineering Practice"를 보면, roundabout의 용량 분석을 7단계로 구분하고 있으며, 각 과정의 내용을 상세히 설명하고 있어 분석이 용이하다.

3. 독일

독일에서는 영국의 용량 분석방법과 같이 회귀분석법을 이용하여 roundabout의 용량을 분석하고 있다. 독일의 Stuwe(1991)의 여러 명의 연구에 의해 지수 회귀곡선이 roundabout에서 용량을 분석하는데 가장 잘 맞는 것으로 조사되었으며, 이 식은 영국과 스위스에서 이용되고 있는 선형곡선식보다 더 상세하게 용량을 분석할 수 있는 것으로 조사되었다. 그 이유는 roundabout에서 회전교통량이 아무리 많아도 진입하려는 차량들은 무리를 해서라도 진입을 하기 때문이다. 용량모형은,

$$Q_e = A * e^{(-B/10000)*q_c} \tag{3}$$

여기서,

Q_e : 최대 진입교통류율(pcph)

q_c : 회전교통류율(pcph)

A, B : 결정계수(진입차로수, 회전차로수에 따라 결정)

식(3)에서 수학적인 개념은 Siegloch 용량식을 가지고 정의하였으며, 매개변수 A, B 는 회귀식에 의해 결정되었다(Stuwe, 1991).

<표 1> 차로수에 따른 매개변수의 값

| 차로수 | | 매개변수 | |
|-------|-------|-------|------|
| 회전차로수 | 진입차로수 | A | B |
| 3 | 2 | 2,018 | 6.68 |
| 2 | 2 | 1,553 | 6.69 |
| 2~3 | 1 | 1,200 | 7.30 |
| 1 | 1 | 1,089 | 7.42 |

4. 스위스

스위스의 용량모형은 Bovy(1991)에 의해 개발되었으며, 스위스 내의 7개 roundabout을 분석 평가한 결과가 이용되었다.(Michel J. Simon,1991) 용량모형을 살펴보면 식(4)와 같다.

$$Q_e = 1500 - 8/9 * Q_g \tag{4}$$

여기서,

- Q_e : 접근 진입교통용량(pcpH)
- Q_g : $\beta \times a_c + \alpha \times q_s$
- a_c : 회전교통류율(circulation flow)
- q_s : 유출교통류율(exiting flow)
- α : 유출교통류율에 대한 진입교통류율의 영향
- β : 회전차로의 수에 대한 영향

5. 이스라엘

이스라엘의 용량모형은 Polus(1997)에 의해서 만들어 졌다. 5개의 roundabout을 분석 평가하였다. 용량모형은,

$$Q_e = 394 D^{0.31} e^{-0.00095 a_c} \tag{5}$$

- 여기서,
- Q_e : 진입용량(pcpH)
- D : 외접직경(m)
- a_c : 회전교통류율(pcpH)

III. 자료수집 및 처리

1. 조사지점 선정

본 연구에서는 영주, 안성, 서산, 이천에서 운영되고 있는 roundabout을 대상으로 조사된 자료를 이용하였다. 각 roundabout은 5지 또는 6지로 구성되어있다. 4개의 roundabout에서 15개의 진입차로만이 조사의 대상이 되었다. 15개의 진입차로만이 선택된 이유는 교통량이 현저히 낮아서 용량상태에 도달하는 경우가 없는 진입차로는 대상에서 제외시켰기 때문이다.

2. 조사방법

각 roundabout에 대한 조사는 비디오 카메라를 이용하여 진입차로의 측정이 가능한 건물에서 촬영되었으며, 사전에 기하구조(중앙섬직경, 진입차로폭, 회전차로폭)가 측정되었다. 용량모형 산정을 위한 데이터는 정확성을 기하기 위해 교차로의 진입차로에서 진입차량의 뒤에 대기하는 차량이 있는 경우에만 측정되었다.

진입용량을 각 roundabout에서 측정하기 위해 진

입로에서 대기행렬이 발생하는 시점부터 1분 간격으로 샘플을 수집하였다. 회전교통류율은 진입차량의 첫 번째 차량과 마지막 차량까지의 진입동안 진입차량들의 진입을 지체시키면서 회전한 차량들을 측정하였다.

데이터 수집기간에는 보행자 통행으로 인한 차량의 통행방해의 경우를 제외하였다. 중차량을 보정해 주기 위해서 회전교통류율과 진입교통류율에 대한 승용차 환산이 이루어졌다. 보정은 독일(Stuwe, 1991)의 보정방법을 이용하였다. 그 이유는 본 연구에서 제시되는 모형이 독일의 모형을 근거로 하기 때문이다. 대형트럭의 경우는 2.0, 소형트럭은 1.5를 보정해 주었으며, 오토바이는 0.5를 보정해 주었다.

IV. 진입용량 모형의 개발

1. 진입용량 모형

진입용량과 회전교통류율간의 관계가 진입교통량과 회전교통량의 데이터를 이용하여 조사되었다. 식(6)에서 진입용량과 회전교통류율간의 관계를 음지수분포로 정의한 이유는 앞에서도 언급했듯이 roundabout에서는 회전교통량이 아무리 많아도 운전자들은 무리를 해서라도 진입을 하게 되며, 또한 일반적인 간격수락모형(gap acceptance model)은 음지수분포를 따르기 때문이다.

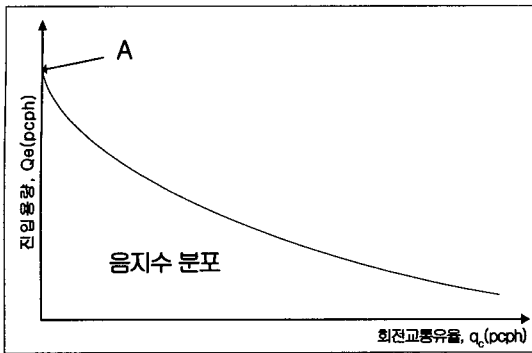
진입용량과 회전교통류율 간의 일반적인 모형식은 식(6)과 같다

$$Q_e = A e^{-B a_c} \tag{6}$$

- 여기서,
- Q_e : 진입용량(pcpH)
- a_c : 회전교통류율(pcpH)
- A, B : 모형의 특성을 반영하는 매개변수

이러한 모형의 형태는 <그림 3>과 같다.

매개변수에 대해 살펴보면, Q_e 는 회전교통류율에 대한 진입교통류율의 가능용량이다. 매개변수 A 는 매우 적은 회전교통류율 상에서의 진입용량을 반영한다. 매개변수 B 는 진입용량-회전교통류율 그래프에서 모형의 곡률(curvature)을 반영하며, 진입용량에 대해 회전차량의 영향정도를 설명하는 변수이다.



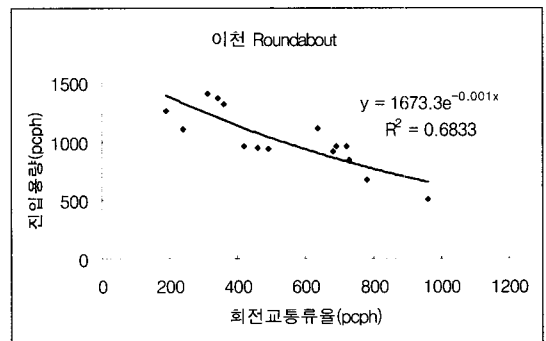
〈그림 3〉 일반적인 진입용량-회전교통류율 관계(음지수분포)

2. 각 roundabout의 일반모형 적용결과

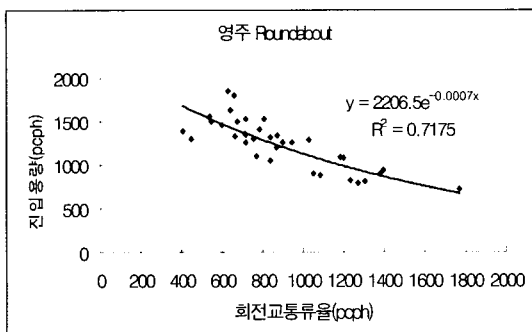
〈그림 4〉에서 〈그림 7〉은 4개 지역에서 관측된 진입용량과 회전교통류율간의 관계를 표시한 것이며, 조사대상지 별로 진입교통류와 회전교통류간에 회귀식선형의 차이를 보여 각 그래프를 각각 제시하였다.

〈그림 8〉은 4개의 지점에서의 회귀식을 종합해서 비교하였다. 모든 지점에서 회전교통류율이 늘어남에 따라 진입용량이 감소하는 추세를 보이고 있다. 결정

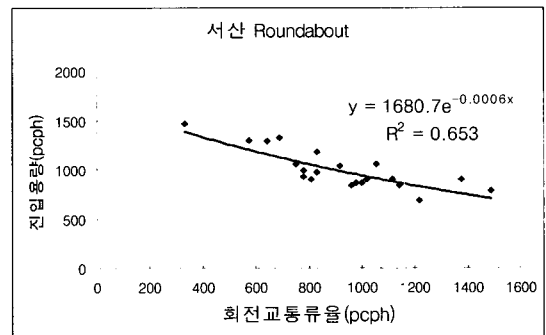
계수는 가장 좋은 곳이 0.71이고 가장 낮은 곳은 0.65로서 나타났다. 여기서 제시된 모형들이 비선형을 가지는 이유는 선형모형에서는 X축인 회전교통류율이 많아지면 진입용량이 0이 되지만 비선형 roundabout에서는 그렇지 않기 때문이다. 현장에서는 회전교통류율이 아무리 많아진다고 해도 roundabout에 진입하고자 하는 운전자들은 일반적으로 평소보다 더 작은 간격이라도 수용하고 무리한 진입을 하려고 하기 때문이다.



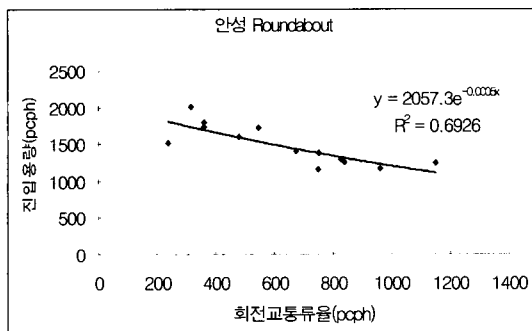
〈그림 6〉 이천 Roundabout의 진입용량-회전교통류율 관계



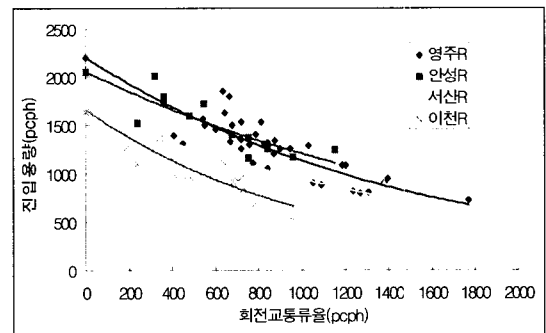
〈그림 4〉 영주 Roundabout의 진입용량-회전교통류율 관계



〈그림 7〉 서산 Roundabout의 진입용량-회전교통류율 관계



〈그림 5〉 안성 Roundabout의 진입용량-회전교통류율 관계



〈그림 8〉 4개 Roundabout의 진입용량-회전교통류율 관계

3. 기하구조를 고려한 일반적인 진입용량 모형

일반적인 독일모형은 기하구조의 영향을 고려하지 않고 회전교통류율과 진입용량간의 관계를 나타내고 있다. 진입용량에 영향을 끼치는 요소로는 회전교통류율 뿐만 아니라 기하구조 역시 영향을 끼친다고 알려져 있다(Hashem and Fadda-h, 1997). 독일의 Stuwe(1991)는 이러한 기본모형에 진입차로수와 회전차로수를 고려하고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 고려되는 기하구조 요소를 이용하여 모형을 제시하고자 한다.

국내의 4개 roundabout 의 일반적인 진입용량 모형을 개발하기 위하여 다중 회귀분석이 시행되었다. 진입용량에 큰 영향을 끼치는 것으로 고려되는 기하구조가 변수에 첨가되었다. 고려된 변수는 회전교통류율 이외에 중앙섬직경, 진입차로폭, 그리고 회전차로폭이다. <표 2>는 각 변수의 요소값을 보여주고 있다.

<표 2> 각 Roundabout의 기하구조

| Roundabout | 진입로 번호 | 진입차로 폭 (m) | 회전차로 폭 (m) | 중앙 섬 직경 (m) | 외접 직경 (m) |
|---------------|--------|------------|------------|-------------|-----------|
| 영주 roundabout | E1 | 7 | 22 | 16 | 59 |
| | E2 | 4 | 20 | 16 | 59 |
| | E3 | 5 | 24 | 16 | 59 |
| | E4 | 6 | 21 | 16 | 59 |
| | E5 | 10 | 20 | 16 | 59 |
| 안성 roundabout | E1 | 3 | 17 | 19 | 53 |
| | E2 | 4 | 17 | 19 | 53 |
| 서산 roundabout | E1 | 4 | 12 | 19 | 43 |
| | E2 | 4 | 12 | 19 | 43 |
| | E3 | 3 | 12 | 19 | 43 |
| | E4 | 5 | 13 | 19 | 43 |
| 이천 roundabout | E1 | 4 | 10 | 10 | 31 |
| | E2 | 4 | 10 | 10 | 31 |
| | E3 | 3 | 11 | 10 | 31 |
| | E4 | 5 | 10 | 10 | 31 |

1) 통계적 분석

다중회귀분석에서 독립변수간에 상관관계가 높을수록 실제보다 과장된 결정계수가 계산되며 이는 현상에 대해 적절한 회귀식을 정의하는데 있어 주의해야 할 점이다. 진입용량과 회전교통류율 간의 기본적인 관

계는 음지수 함수를 이용하였다. 이는 앞에서도 언급되었지만 비신호로 운영되는 roundabout에서 회전교통류율이 크게 증가하더라도 운전자는 억지로라도 진입을 시도하기 때문이다.

본 연구에서 제시한 기하구조의 변수 중에서 진입차로폭과 회전차로폭의 상관계수의 값이 0.64 에 이르는 것으로 나타났다. 이러한 것은 본 연구에서 선택한 4개의 roundabout만의 특징일 수도 있지만 설계단계에서 교통량에 따라 진입차로폭과 회전차로폭을 같이 고려한 결과라고 생각된다. <표 3>은 기하구조의 각 변수간 상관계수를 보여주고 있다.

<표 3> 기하구조의 각 변수간 상관계수와 유의확률

| | 회전 교통류율 | 중앙섬 직경 | 진입차로 폭 | 회전차로 폭 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 회전 교통류율 | 1.00000 | 0.33077 | 0.00824 | 0.18343 |
| | 0.0 | 0.0019 | 0.9400 | 0.0909 |
| 중앙섬 직경 | | 1.00000 | 0.00952 | 0.37373 |
| | | 0.0 | 0.9307 | 0.0004 |
| 진입차로폭 | | | 1.00000 | 0.64123 |
| | | | 0.0 | 0.0001 |
| 회전차로폭 | | | | 1.00000 |
| | | | | 0.0 |

또한 고려된 기하구조 요소들을 회귀 분석하면 진입차로폭의 부호가 일반적으로 알고 있는 양의 값이 아닌 음의 값이 제시되고 t 통계량 역시 회귀식을 설명하지 못하는 값으로 나타내어진다. 이것은 진입차로폭이 비록 2차로로 이루어졌다 하더라도 교통량이 막힘현상을 보이지 않는 한 대부분의 차량들이 1차로를 이용하였기 때문이다. 왜냐하면 운전자들은 진입차로로 빨리 진입하기 위해 1차로를 선호하기 때문이다.

따라서 처음에 제시된 기하구조의 변수 중 진입차로폭을 제외하고 제시되는 회귀식은 <표 4>와 같다.

<표 4> 제시된 「모형 1」

| 「모형 1」 | |
|---|--------------|
| $Q_e = 445.03 D^{0.379} e^{(0.027RW - 6.8 a_c / 10,000)}$ | |
| 여기서, Q_e : | 진입용량(pcpH) |
| D : | 중앙섬 직경(m) |
| RW : | 회전차로폭(m) |
| a_c : | 회전교통류율(pcpH) |

〈표 4〉에서 제시한 회귀식의 통계적 특성을 살펴 보면 회귀식과 모든 매개변수들이 95% 신뢰도에서 확신을 가진다고 볼 수 있었다. 식에 대한 결정계수는 0.753 이다.

식에 대한 결과를 분석하면, 조사된 roundabout 에서 중앙섬직경과 회전차로폭이 진입용량에 큰 영향을 미치는 기하구조의 요소라고 볼 수 있다.

〈표 4〉에서 제시한 모형은 회전교통류율 이외에 섬직경, 회전 차로폭을 변수로 고려하였고, 식에 대한 개발은 회귀분석으로 이루어졌다. 그러나 데이터가 4 개의 roundabout 을 대상으로 조사된 한계로 인해, 데이터의 수가 회귀식으로 표현하기에는 무리가 있다. 이러한 점을 고려할 때 회귀식 개발은 조심스럽게 다루어져야 할 것이다.

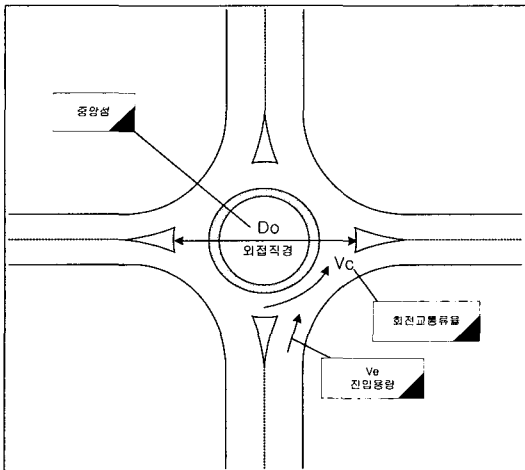
그러한 이유로 Polus와 Shmueli(1997)가 제시했던 기존의 진입용량-회전교통류율 관계에 회전 차로폭과 중앙섬을 함께 고려한 일반식을 고안해 보고자 한다.

처음에 식(6)에서 제시한 일반적인 진입용량-회전 교통류율 식의 A 값에 회전 차로폭과 중앙섬을 동시에 고려한 외접직경을 사용하였다. y 절편 값을 외접 직경을 이용하여 구하면 〈그림 10〉과 같다.

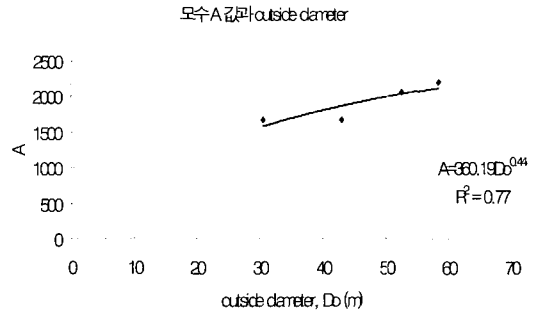
제시되는 식은 식(7)과 같다

$$A = 360.19 D_o^{0.44} \tag{7}$$

매개변수 B는 4개의 roundabout에서 나타난 값들의 평균값을 사용하였다. 이러한 과정으로 제시된 모형은 〈표 5〉와 같다.



〈그림 9〉 「모형 2」에서의 기하구조



〈그림 10〉 외접직경과 A 값의 관계

〈표 5〉 제시된 「모형 2」

「모형 2」

$$Q_e = 360.19 D_o^{0.44} e^{-0.0007 q_c}$$

여기서, Q_e : 진입용량(pcph)
 D_o : 외접직경(m)
 q_c : 회전교통류율(pcph)

4. 모형의 선택

「모형 1」과 「모형 2」의 예측력을 평가하기 위해서 현장에서의 진입용량 수치와 예측치간의 오차를 산출하는 통계량을 사용하였다. 사용된 도구는 Root Mean Square Error(RMSE)이다.

$$(RMSE) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [X(t) - \hat{X}(t)]^2} \tag{8}$$

여기서,

- N : 비교평가되는 값의 개수
- $\hat{X}(t)$: 진입용량 예측치
- $X(t)$: 진입용량 관측치

〈표 6〉를 살펴보면, 「모형 1」의 예측력이 높음을 알 수 있다. 「모형 2」는 4개의 roundabout만을 대상으로 하였기 때문에 통계적인 오차를 줄이기 위해

〈표 6〉 모형의 비교

| 통계량 | 모형 | 「모형 1」 | 「모형 2」 |
|------|----|--------|--------|
| RMSE | | 153 | 170 |

도입한 Polus와 Shmueli(1997)의 방법이었다. 그러나 「모형 2」는 회귀식을 근간으로 하는 「모형 1」보다 예측력이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 「모형 1」을 국내 roundabout의 진입용량모형으로 정의하기로 한다.

5. 외국 모형과의 비교

본 논문에서 제시한 「모형 1」을 외국의 다른 모형들과 비교해 보았다. 우선 현장에서 관측된 회전교통류율에 따라 현장의 진입용량과 각 모형이 산출하는 진입용량을 <그림 11>로 나타내었다. 각 나라들의 모형은 기하구조의 고려요소가 달라 정확한 비교는 어렵지만 개략적인 비교는 <그림 11>과 같다.

본 논문에서 제시된 모형과 외국에서 제시되는 모형이 실제 현장에서의 데이터를 얼마나 설명하는지를 파악해보았다. 외국의 여러 모형들 중에 본 논문에서 조사된 기하구조를 반영할 수 있는 모형인 독일과 이스라엘 모형을 비교 대상으로 선택하였다. 독일 모형은 진입차로폭과 회전차로폭의 고려대신에 차로 수를 고려하는데, 차로 폭이 비교적 큰 국내모형과 비교하기 위하여 진입 2차로, 회전 2차로를 설정하였다. 이스라엘 모형은 회전교통류율과 외접직경을 고려한다.

독일과 이스라엘의 모형 형태를 보면 국내 roundabout과 형태는 유사하나 국내 roundabout이 더 큰 진입용량을 가짐을 알 수 있다. 그 이유는 단순비교하기에는 기하구조의 고려요소 등 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서 현장조사를 통해 본 가장 큰 이유는 운전자들의 운전 행태라고 판단된다. 국내 운전자들은 아주 짧은 gap에도 진입을 시도하고, round-

about의 일반적인 원칙인 회전차량 우선권을 무시함으로써 진입용량이 상대적으로 커지게 된다.

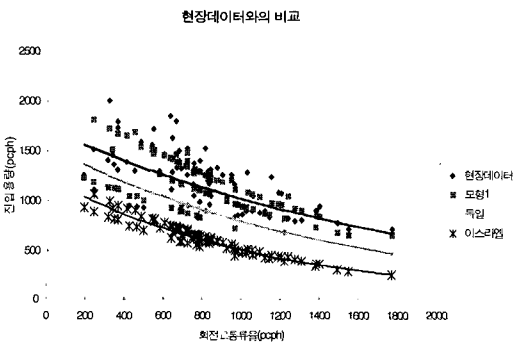
무리한 진입으로 인해 진입용량이 커지면 상대적으로 roundabout은 일시적인 막힘 현상이 자주 생겨 오히려 지체를 유발하는 결과를 보이는 것을 현장조사를 통해 알 수 있었다. 또한 독일과 비교해 볼 때 비교적 큰 외접직경이 진입용량을 증가시킨 것으로 보여진다. 교통량에 따른 외접직경의 적절한 길이가 고려되어야 할 것이다. 제시된 모형과 외국모형을 현장에서의 값들과 비교할 때 외국의 모형을 국내에 그대로 적용시키면 진입용량을 낮게 평가할 수 있으므로 국내에 적합한 모형을 사용해야 할 것이다.

V. Roundabout과 신호교차로와의 효율성 비교

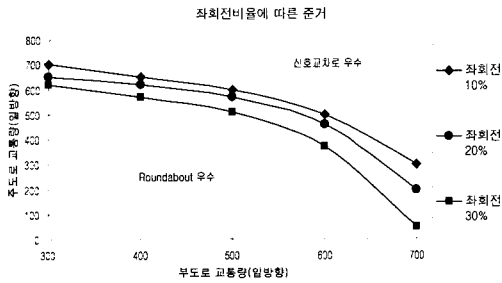
현재 국내에서 이용되고 있는 교차로 운영방법은 대부분 신호기 설치를 기본으로 하고 있다. 이것은 신호교차로에 익숙한 국내 운전자들과, 교통량의 증가시 발생하는 비신호 교차에서의 혼잡 등을 쉽게 해소시키기 위한 방편이라고 볼 수 있다. 그러나 신호등 설치하는 roundabout과 비교할 때 어느 수준의 교통량 이하에서는 오히려 큰 지체를 보이게 된다. 또한 roundabout은 지체 이외에 상충점 감소, 용량증대, 사고감소, 안전편익 증가 등의 장점이 많음에도 불구하고 신설되는 대부분의 교차로에는 신호등 설치를 하는 실정이다. 본 연구에서는 roundabout의 설치가 요구되는 곳과, 교통량을 통한 신호교차로와의 일반적인 기준을 마련해 보고자한다.

본 연구에서는 이러한 기준을 제시하기 위해 교통량에 따른 일반적인 준거를 제시해 보고자 한다. 분석은 ARRB에서 만들어진 SIDRA Version 5.2를 사용하였다. SIDRA는 신호교차로와, 2방향 정지와 roundabout을 포함한 비신호 교차로를 모두 평가할 수 있다.

Roundabout과 신호교차로의 비교는 4지 교차로에서 이루어졌으며 1차로 진입차로를 가진 roundabout에 국한되었다. 신호교차로는 비보호 좌회전으로 운영하기 위해 1차로 진입차로에 10m의 좌회전 전용차로를 부여하였다. 현시는 2현시로 이루어졌으며 각 교통량에 따른 현시율은 SIDRA에서 최적화시켜서 사용하도록 하였다.



<그림 11> 국내 모형과 외국 모형의 비교



〈그림 12〉 좌회전 비율에 따른 준거

본 연구에서는 동서 방향과 남북 방향의 교통량을 각 경우에 적용시켜 평균지체(average delay)를 기준으로 준거를 제시하였다. roundabout에서 좌회전 교통량의 증가가 신호교차로보다 지체를 더 크게 증가시키는 것으로 분석되어 각 이동류에서 좌회전 비율을 10%, 20%, 30%로 적용하여 각각의 지체변화를 살펴보았다.

〈그림 12〉은 일반적인 4갈래 교차로에서 주도로와 부도로의 한방향 교통량에 따라 설계가 우선시 되는 기준을 제시한 것이다. 〈그림 12〉을 표로 나타내면 〈표 7〉과 같으며, 주도로(교통량이 큰 접근로)의 교통량이 〈표 7〉에 주어진 값보다 크면 신호교차로, 적으면 roundabout으로 운영하는 것이 유리함을 의미한다.

신호교차로는 좌회전 전용차로를 가지고 비보호좌회전을 원칙으로 운영됨을 원칙으로 하였기 때문에 동시신호등과 비교할 때 지체가 크게 감소함을 보였다. 예를 들어, 주도로와 부도로의 교통량이 각각 500pcph로 측정되었다면 좌회전비율에 관계없이 roundabout가 지체면에서 신호교차로보다 우수하나 주도로교통량이 600pcph이상 이 되면 신호교차로 운영방식이 지체면에서 우수함을 알 수 있다. 결과적으로 한방향 교통량이 600pcph 이하에서는 roundabout이 우수함을 보이고 있다.

〈표 7〉 Roundabout운행을 위한 주도로 임계교통량

| 부도로 교통량 (vph) | 좌회전 비율(%) | | |
|---------------|-----------|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 |
| 300 | 700 | 650 | 620 |
| 400 | 650 | 620 | 570 |
| 500 | 600 | 570 | 510 |
| 600 | 500 | 460 | 370 |
| 700 | 300 | 200 | 50 |

VI. 결론 및 연구의 한계와 향후과제

지금까지의 연구에서는 국내 roundabout의 운영 형태를 살펴보고, 경험론에 근거한 모형을 국내의 현장자료를 이용하여 적절한 모형을 제시하였다.

제시된 모형 중, 「모형 1」은 조사된 진입용량과 회전교통류율의 수치에 각각의 기하구조요소(중앙섬직경, 회전차로폭, 진입차로폭)를 적용하여 표현되었다. 식을 정립하는 과정에서 조사된 데이터의 특성으로 인해 진입차로폭이 제외되긴 하였으나, 이러한 방식의 모형은 현실적으로 접근로별로 상이한 진입차로폭, 회전차로폭과 교차로별로 규모가 다른 중앙섬직경을 쉽게 식에 적용하여서 진입용량을 계산할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 4개의 roundabout만이 조사되었고 통계적 접근을 이용한 방법으로 식이 제시되었기 때문에 결과에 대해서 신중할 수밖에 없다. 더 많은 roundabout이 조사되어 많은 데이터를 가지고 이러한 방식을 사용하면 훨씬 더 확신을 가질 수 있는 모형이 제시될 것으로 보여진다.

「모형 2」에서는 이러한 통계적인 단점을 극복하기 위해 대략적인 모형을 제시하였다. 변수 가운데 진입로 폭은 「모형 1」에서 제외되는 것으로 분석되었기 때문에 간단한 모형을 제시하기 위해 섬 직경과 회전차로폭을 함께 고려한 외접직경을 이용하였다. 물론 분석된 변수의 값들이 평균값과 추정치를 사용하였기 때문에 통계적으로는 나빠질 수 있으나 대략적인 roundabout의 진입용량 식을 제시하는 것에는 무리가 없을 것으로 보인다. 본 연구에서 제시하는 국내 roundabout의 진입용량 모형은 예측력을 비교할 때, 「모형 1」이 적합하다고 보여진다.

본 연구에서 제시된 모형을 외국의 모형과 비교할 때, 진입용량이 상대적으로 큰 이유중의 하나는 roundabout에서 기다리며 진입을 하는 운전자의 행태가 다른 나라와 차이가 나기 때문이라고 판단된다. 앞으로 이 부분에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Roundabout과 신호교차로간의 준거는 시뮬레이션 프로그램인 SIDRA를 이용하여 제시하였다. 프로그램의 특성상 1차로 roundabout과 접근1차로 신호교차로의 비교가 이루어졌다. 신호교차로는 비보호 좌회전을 이용한 2현시로 이루어졌으며 roundabout은 중앙섬직경이 10m, 회전차로가 10m로 규정되었다.

결과는 교차로에서 한방향 교통량이 600pcph 이하에서는 roundabout이 우수함을 알 수 있었다. SIDRA 프로그램이 1차로만을 분석할 수 있기 때문에 1차로으로 제한된 준거만이 제시되었지만 앞으로 2차로 등에도 적용해 보다 광범위한 roundabout의 준거를 마련할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. 전진숙(1998), "간격수락함수를 이용한 Roundabout 진입로의 차량 지체모형", 명지대 석사학위 논문.
2. Austroads(1993), "Roundabouts: Guide to Traffic Engineering Practice", Sydney, Australia.
3. Hashem R. Al-Masaeid and Mohammad Z. Fadda-h(1997), "Capacity of Roundabouts in Jordan", Transportation Research Record 1572, National Research Council, Washington, D. C.
3. Abishai Polus and Sitvanit Shmueli(1997), "Analysis and Evaluation of the Capacity of Roundabouts", Transportation Research Record 1572, National Research Council, Washington, D. C.
4. Signalized and unsignalized Intersection Design and Research Aid(SIDRA)(1995), User's Manual, Version 5.2, Australian Road Research Board.
5. R. J. Troutbeck(1991), "Capacity and Design of Traffic Circles in Australia", Proceedings of an International Workshop.
6. Birgit Stuwe(1991), "Capacity and Safety of Roundabouts-German Results", Proceedings of an International Workshop.
7. Michel J. Simon(1991), "Roundabouts in Switzerland", Proceedings of an International Workshop.
8. R. M. Kimber(1987), "Capacity Analysis of Roundabouts".
9. Ph.H.Bovy(1991), "Guide Suisse des Giratoires", VSS/OFR + FSR, Lausanne.

✉ 주 작 성 자 : 전우훈
 ✉ 논문투고일 : 2002. 9. 18
 논문심사일 : 2002. 11. 28 (1차)
 2003. 3. 4 (2차)
 2003. 5. 16 (3차)
 2003. 6. 3 (4차)
 심사판정일 : 2003. 6. 3
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 10. 31

Evaluatin the Alternative Options for Redevelopment of Airport Idle Facilities

PARK, Yonghwa

Over the last few years, the major airports in Asia have been operating at or close to their capacity. As a result, Korea, Japan, China, Hong Kong, Thailand, Malaysia, and Indonesia decided to expedite the development of new airports. Accordingly, some of the existing airports have been completely used as other functions or purposes and the others operated as a domestic airport. In the latter case, re-development plans are needed for idle facilities.

This paper evaluates the alternative options for re-development of idle airport facilities of Seoul Gimpo International Airport. The proposed methodology makes it possible to provide a practical and applicable evaluation of airport re-development plan. In particular, it can take into account the qualitative aspects of different interesting groups such as airport experts, passengers and airport peripheral community.

The interview was conducted in order to obtain the different groups' view. To evaluate and select the best option of the airport re-development, this study adopted a fuzzy linguistic approach.

Impact Analysis of Transit Oriented Street Design (A Case Study for Kangnam Street in Seoul)

HWANG, Kee Yeon · LEE, Jo-Young

Considering the high density developments along the major traffic corridors in Seoul, transit-oriented street designs will be a very effective to control traffic congestion along the corridors. For testing the effectiveness, we selected, for our case study, Kangnam Street, which is one of the most highly developed corridors in Seoul. The traffic study on Kangnam street in 2000 shows that the daily average bus speed is 11.73km/h, which is 5km/h lower than the auto speed. The Central Bus Lane

system was applied on the Kangnam street to test impact on bus speed as well as auto speed. Simulation results show that with Central Bus Lane have been improved the travel speeds of bus as well as auto on Kangnam street from 14.4km/hr to 35.0km/hr and from 25.1km/hr to 26.1km/hr, respectively. The bus market share increases about 6-8 percentages. Especially, 13.4% of bus users are increased for long-distance trips.

Analysis of the Entry Capacity of Roundabouts

JEON, Woo Hoon · DOH, Tcheol Woong

Signalized intersections are widely used in urban street network. However, it was reported that a roundabout is better than a signalized intersection in terms of delay when the approaching traffic volume for each bound is low.

The objective of this study is to develop entry capacity models of roundabout and establish the warrant for signalized intersection based on the delay. The entry capacity of a roundabout is determined by the circulating traffic volume and the geometric design of the roundabout such as the diameter of central island, entry lane widths, and the circulating roadway width.

The traffic and geometric characteristics of four roundabouts were collected and analyzed. The study reveals that: i)among the geometric features, the diameter of central island and the circulating roadway width influence the entry capacity, and ii)even though it is difficult to compare the models of each country due to different geometric features considered in the models, the models developed in this study show higher capacity than the models from Israel or Germany. These seem to be attributed to the facts that: i)the outside diameters of the roundabouts selected in this study are larger than in the other studies, and ii)the acceptable gap in Korea is smaller than that in the other countries.

In order to compare the performances of roundabout and signalized intersection, the performance of roundabouts was evaluated with the SIDRA. The simulation was conducted only for the roundabouts composed of single lane.

According to the result of the analysis, it may be concluded that when the approaching traffic volume for each bound is lower than 600pcph, a roundabout is better than a signalized intersection in terms of its operational performance.

Development of the Traffic Actuation Signal Control System Based on Fuzzy Logic on an Arterial Street

JIN, Sun-mi · KIM, Seong Ho · DOH, Tcheol Woong

An arterial street control is performed for the purpose of the progression of a traffic flow using the arterial. However, during the progression in the arterial, the change according to the time is one of the most representative problems occurring at a signal plan. This paper intends to efficiently operate the arterial progression by applying fuzzy logic, which is thought to be the most possible one in the inference as that of the human logic, to the traffic responsive control system. Fuzzy Logic controller is applicable to the daily human language (linguistic), can be dealt with the uncertain traffic data and is useful on planning the signal control to sensitively confront the randomly changing traffic condition.

This study, based on the signal control part of the isolated intersection in "A Development of a Real-time, Traffic Adaptive Control Scheme Through VIDs"(Seong Ho, Kim, 1996), suggested the strategy for the progression control in the arterial and analyzed its effect by comparing the effect of the existing control method. In addition, the study compared each effect by using TRAF-NETSIM which is the traffic simulation software to analyze each control method.

Simulation Analysis about Effects on Highway Network and Drivers under Information Providing Service

BYUN, Wan Hee · IIDA, Yasunori ·
KIM, Ju Hyun · UNO, Nobuhiro

To build traffic information providing services by ITS technology should be carried out effect analysis in the first step for social and individual advantages.

The propose on this study is to make clear what influences of highway network by traffic information are, and what differences between drivers who use traffic information and drivers who do not use that for route choice are. For these propose, travel time and forecast error of travel time on network and traffic information dependence of driver are analyzed by simulation.

As a result of analysis travel time and forecast error of travel time is that the efficiency and reliability of travel time were increased when getting more drivers using traffic information in network. Drivers who using traffic information had advantage of decrease of travel time and forecast error in only definite situation. traffic information dependence analysis presented that drivers are dependent upon information and reliability of traffic information is also increased when drivers using traffic information become on increasing in network.

In conclusion, considering the range of the traffic information user ratio in this simulation, this study presents that the traffic information service provides an advantage to the highway network and the drivers, and increases the dependence of information.

Drivers' Learning Mechanism and Route Choice Behavior for Different Traffic Conditions

DO, Myungsik · SHEOK, Chong Soo ·
KIM, Myung Soo · CHOI, Byung-Kuk

When a route choice is done under uncertainty, a driver has some expectation of traffic conditions