

# Roundabouts의 교통운영 특성에 관한 연구 Operational Performance Measures of Roundabouts

오 주 삼, 윤 병 조  
(중앙대학교 대학원)

## 목 차

I. 조 사 현 황	IV. Roundabout에 대한 용량분석 모형
1.1 Roundabout의 교통현황	4.1 수락간격에 대한 모형
1.2 조 사 방 법	4.2 용량산정에 관한 이론
1.3 조 사 내 용	4.3 대기지체의 모형
II. 기 하 구 조	V. 사 례 분 석
2.1 안성 Roundabout 기하구조	5.1 안성 Roundabout
2.2 사천 Roundabout 기하구조	5.2 사천 Roundabout
2.3 서산 Roundabout 기하구조	5.3 서산 Roundabout
III. 교 통 량 및 속 도 현 황	5.4 회전교통량과 용량
3.1 교 통 량 현 황	5.5 지체시간과 차량군간의 비교
3.2 속 도 현 황	VI. 결 론 및 추 후 연 구 과 제

## ABSTRACT

Roundabout의 교통운영 특성에 대한 연구에서는 5거리 도로체계의 올바른 분석과 로타리에서 일어나는 진입로의 교통량, 회전교통량, 속도, 거부gap, 수락gap, 추종간격, 기하구조등을 조사 분석하여 수락간격 모형을 바탕으로 비신호교차로의 용량산정과 지체시간을 산정하기 위한 모형을 구축하는데 있다.

## I. 조 사 현 황

### 1.1 Roundabout의 교통현황

본 Roundabout연구의 범위는 5거리 도로체계의 올바른 분석과 로타리에서 일어나고 있는 각 Roundabout의 진입로별 교통량, 각 회전교통량, 진입로별 속도에 대한 현재의 교통여건 및 기하구조 등을 정확히 파악하는데 있다.

이를 위해 본 Roundabout의 연구에서는 현재 로타리를 운영하고 있는 3개의 지점인 경기도 안성시청앞 5거리, 경남 사천시 주공5거리, 충남 서산시청앞 5거리에서 조사를 실시하였으며, 본 연구를 위해 조사지점의 현황과 기하구조 실측 및 비디오 촬영은 평일의 오전 Peak 시간대를 구분하여 3대의 비디오로 1시간 교통량 조사를 동시에 실시하였다.

<표 1-1> 지점별 조사현황

조사지점	조사일시	조사시간	비고
안성시청 앞 5거리	1998. 8. 31	(AM 8:15分~9:15分)	
사천시 주공 5거리	1998. 9. 07	(AM 8:15分~9:15分)	
서산시청 앞 5거리	1998. 9. 24	(AM 8:15分~9:15分)	

## 1.2 조사 방법

- 조사방법으로는
- ◎ 조사원에 의한 현장조사
  - ◎ 조사원에 의한 비디오 촬영
  - ◎ 조사원에 의한 상세한 Roundabout의 기하구조 실측
  - ◎ 각 조사지점은 평일 오전 Peak 시간대를 선정하여 촬영

## 1.3 조사 내용

조사내용으로는 각 Roundabout 의 방향별 기하구조(차선폭, 차선수, 주행거리, 직경(내부, 외부)등으로 구분하여 조사하였다. 또한 각 조사지점의 진입로별, 시간대별 교통량 및 각 조사지점의 회전교통량, 각 조사지점의 진입로별, 시간대별 속도조사를 조사하였다. 상기와 같은 방법으로 상세한 Roundabout의 현황에 대한 비디오 촬영 및 기하구조 실측을 조사하였다.

# II. 기 하 구 조

## 2.1 안 성 Roundabout 기 하 구 조

본 Roundabout 지점 기하구조는 각 방향별 차선폭이 비봉로, 진천, 평택방은 편도 2차선으로 진입 교통량은 적은편이며, 공설, 장호원 방향은 편도 1차선으로 진입 교통량이 조금 있으며, 각 진·출입부의 길이가 각각 다르며, 또한 내부 직경과 외부직경 사이의 도로폭은 일정하지 않음으로 인해 교통량의 통행이 일정하지 않은 것으로 조사되었다.

<표 2-1> 차선 및 차선폭

조사지점	안 성 시 청 앞				
	공 설	비봉로	진 천	천 안	평 택
차 선 수 (편도)	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0
차 선 폭 (m)	3.5	3.0	3.3	3.3	3.5
내 부 직 경	18.8				
외 부 직 경	52.8				

주행거리는 가장 큰 값이 평택방향에서 진입하여 비봉로 방향으로 진출하는 것으로 조사되었다.

<표 2-1> 안성 Roundabout의 주행거리

조사지점	공 설	천 안	평 택	진 천	비봉로
공 설		88m	86m	125m	59m
천 안	66m		115m	45m	101m
평 택	76m	31m		62m	116m
진 천	31m	101m	87m		73m
비 봉 로	95m	73m	34m	90m	

## 2.2 사 천 Roundabout 기 하 구조

본 조사지점의 Roundabout은 현재는 교통량이 적으므로 회전교통량의 영향을 받지 않으며, 차선수는 편도 2차선, 차선폭은 상리 방향이 넓으며 다른 조사지점의 내부, 외부 직경보다 본 조사지점이 큰 것으로 조사되었다.

<표 2-3> 사천 Roundabout 차선 및 차선폭

조사지점	사 천 주 공 5 거 리				
	공 설	상 리	시외버스	시 청	부 두
차선수(편도)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
차 선 폭(m)	3.5	3.7	3.2	3.5	3.5
내 부 직 경	40.4				
외 부 직 경	67.3				

사천의 경우 직경이 안성 보다는 크고 따라서 가장 주행거리가 큰 방향은 상리 방향에서 부두 방향의 진출인 것으로 조사되었다.

<표 2-4> 사천 Roundabout 주행거리

구 분	시외버스	공 설	상 리	부 두	시 청
시외버스		162m	133m	109m	44m
공 설	67m		159m	146m	117m
상 리	96m	30m		161m	140m
부 두	161m	95m	65m		200m
시 청	134m	109m	87m	29m	

## 2.3 서 산 Roundabout 기 하 구조

본 조사지점 Roundabout의 경우 차선수는 편도 1차선으로 같고 차선폭은 시청이 5M로 넓으며 교통량은 태안 방향이 많으므로 홍성과 당진 방향에서 진입하는 교통량의 영향으로 서령고와 시청방향에서는 회전교통량이 많은 것으로 생각되며 특히 회전하는 내부, 외부 사이의 도로폭이 3차선으로 조사되었다.

<표 2-5> 차선 및 차선폭

조사지점	서 산 시 청 앞				
	시 청	태 안	홍 성	당 진	서령고
차선수(편도)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
차 선 폭(m)	5.0	3.0	4.0	3.5	4.0
내 부 직 경	40.4				
외 부 직 경	67.3				

서산의 경우 당진방향에서 진입하여 홍성방향의 진출이 102m 가장 큰 값을 갖는 것으로 조사되었으며 최소값으로는 홍성방향에서 진입하여 당진 방향으로 진출하는 우회전 거리가 10m로 가장 작은 값을 갖는 것으로 조사되었다.

<표 2-6> 주행거리

구 분	시 청	태 안	홍 성	당 진	서령고
시 청		27m	52m	56m	87m
태 안	82m		32m	40m	62m
홍 성	66m	69m		10m	46m
당 진	67m	70m	102m		47m
서 령 고	26m	42m	62m	68m	

### Ⅲ. 교통량 및 속도 현황

#### 3.1 교통량 현황

교통량은 진입로에 따라 300 PCU/시간~600 PCU/시간인 것으로 조사되었으며 방향에 따라서 편차값에는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다.

<표 3-1> 안성 Roundabout 진입교통량과 회전교통량

구 분	공 설	비봉로	진 천	천 안	평 택
진입교통량(PCU/시간)	639	644	650	331	427
진 입 평 균(PCU/5분)	53	54	54	28	36
표 준 편 차	8.62	9.86	9.32	7.27	7.06
회전교통량(PCU/시간)	533	1000	818	842	589
회 전 평 균(PCU/5분)	44	83	68	70	49
표 준 편 차	9	16	11	14	10

사천로타리의 교통량은 공설방향이 550(PCU/시간)으로 가장 많으며 회전교통량은 상리방향이 572(PCU/시간)으로 크며 회전평균은 시청방향이 626(PCU/시간)으로 나타내고 있다.

<표 3-2> 사천 Roundabout 진입교통량과 회전교통량

구 분	시외버스	공 설	상 리	부 두	시 청
진입교통량(PCU/시간)	226	550	281	413	203
진 입 평 균(PCU/5분)	19	46	23	34	17
표 준 편 차	8.72	17.50	3.32	7.44	5.26
회전교통량(PCU/시간)	465	324	572	421	626
회 전 평 균(PCU/5분)	39	27	48	35	52
표 준 편 차	5.89	8.32	15.53	7.60	7.92

서산의 경우 시청의 진입교통량이 575(PCU/시간)로 크며 회전교통량은 776(PCU/시간)으로 홍성방향을 주행하는 차량이 많음을 알 수 있다.

<표 3-3> 서산 Roundabout 진입교통량과 회전교통량

구 분	시 청	태 안	홍 성	당 진	서령고
진입교통량(PCU/시간)	575	527	413	419	525
진 입 평 균(PCU/5분)	48	44	34	35	44
진 입 표 준 편 차	9.96	8.49	5.40	10.02	8.97
회전교통량(PCU/시간)	704	715	776	621	763
회 전 평 균(PCU/5분)	59	60	65	52	64
회 전 표 준 편 차	9.67	11.27	6.79	6.93	11.10

### 3.2. 속 도 현 황

조사결과 안성의 경우 20km/시간대, 사천의 경우 30km/시간대 서산 10km/시간대인 것으로 조사되었다.

<표 3-5> 진입로별 평균주행속도 (단위: km/hr)

안성의 평균주행속도	천 안	진 천	공 설	비봉로	평 택
	24	19	31	25	21
사천의 평균주행속도	시의버스	공 설	상 리	부 두	시 청
	30	43	27	34	23
서산의 평균주행속도	시 청	태 안	홍 성	당 진	서령고
	16	15	13	20	14

## IV. Rroundabout에 대한 용량분석 적용모형

### 4.1 수락간격에 대한 모형

임계수락간격의 정의는 부도로의 비슷한 위치에서 모든 운전자가 수락하는 주도로의 차 두시간간격을 임계수락간격이라한다.

임계수락간격을 추정을 위한 2가지 방법

- 누적곡선을 활용한 방법
- 회귀식 활용한 이용
- 임계수락간격의 분포와 추종간격에 대한 확률분포 이용하는 방법

회귀식에 의한 방법 방법은 Siegloch(1973)에 의해서 제시된 방법으로 부도로에 연속적으로 대기차량이 있는 경우에 사용된다. 분석과정은 다음과 같다. 회귀식의 절편과 x축의 절편을 이용해서 구한다.

확률분포를 활용한 방법으로는 Miller( 1972), Ramsey and Routledge (1973), Troutbeck( 1975), Hewitt 1983);Hewitt( 1985)있다. 방법에서는 임계수락간격에 대한 확률 분포의  $E(t_c)$ ,  $Var(t_c)$ 는 파라메타에 대한 Log-Normal 함수이다.

$$E(t_c) = e^{\mu + 0.5\sigma^2} \quad \text{————— (식 1)}$$

$$Var(t_c) = E(t_c)^2(e^{\sigma^2} - 1) \quad \text{————— (식 2)}$$

임계수락의 계산에 사용되는 임계간격은  $E(t_c)$ 와 마찬가지로이다. 이값은 수락간격보다는 작아야 한다.

### 4.2 용 량 산 정 적 용 모 형

Roundabout에 대한 용량분석을 주로 비신호교차로의 용량분석 방식을 채택하고 있다. 비신호교차로의 용량분석은 부도로에 대한 용량  $q_m$ 에 대한 수학적인 유도는 다음과 같다.

t라는 Gap 동안에 주도로의 간격을 통해서 진입하는 차량의 대수를  $g(t)$ , 1시간 동안에 주어지는 t라는 간격(Gap)의 개수는  $3600 q_p f(t)$ 이다. 여기서  $f(t)$ 는 주도로의 간격(Gap)의 확률분포함수이고,  $q_p$ 는 주도로의 교통량 이다.

따라서 1시간 동안에 주어지는 t라는 Gap동안에 주도로의 흐름을 가로질러 가는 부도로의 교통량은  $3600 q_p f(t) g(t)$ 이다. 여기서,  $g(t)$ : 주도로의 t라는 Gap동안에 통과하는 부도로의 차량대수이며 초단위로된 총 교통량을 구하기 위해서 전체 시간에 대해서 적분을 하게 된다.

$$q_m = q_p \int_0^{\infty} f(t) \cdot g(t) dt \quad \text{----- (식 3)}$$

수락간격에 대한 차두시간간격 분포는 음지수분포, 음지수, 전이음지수분포를 있으나 보다 현실적인 분포 예를 들면 분할된(Dichotomized)분포를 보는것이 보다 일반적인 식이다.

$$q_m = \alpha q_p \cdot \frac{e^{-\lambda(t_c - t_a)}}{1 - e^{-\lambda t_f}} \quad \text{----- (식 4)}$$

여기서,

$$\text{감쇄상수(Decay Constant)} \lambda = \frac{\alpha q_f}{(1 - t_m q_f)} \text{이다.}$$

$\alpha$  : 자유차량비율

### 1) 용 량 산 정

$$C = \frac{3600(1 - \Theta)q_c e^{-\lambda(t_a - \tau)}}{1 - e^{-\lambda t_f}} \quad \text{----- (식 5)}$$

여기서, C : 진입로의 용량(대/시간)

$\Theta$  : 회전교통량 중에서 구름차량의 비율

$q_c$  : 회전교통량(대/초)

$t_a$  : 주도로나 부도로에 대한 임계수락간격

$t_f$  : 주도로나 부도로에 대한 추종간격

$\tau$  : 회전교통중 최소차두시간간격

$\lambda$  : 감쇄상수(Decay Constant)

$$\lambda: \text{Decay Constant로 } \lambda = \frac{(1 - \Theta)q_c}{1 - \tau q_c}$$

### 4.3 대기지체의 산정을 위한 적용모형

Roundabout으로 운영되는 도로 효과측정정도(MOE)의 하나인 지체시간을 산정하기 위해서 (식 6), (식 7)를 적용했다.

$$w_h = \frac{e^{\lambda(t_a - \tau)}}{(1 - \Theta)q_c} - t_a - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda\tau^2 - 2\tau\Theta}{2(\lambda\tau + 1 - \Theta)} \quad \text{----- (식 6)}$$

$$w_m = w_h + 900T \left[ Z + \sqrt{Z^2 + \frac{m \cdot x}{C \cdot T}} \right] \quad \text{----- (식 7)}$$

$w_m$  : 진입부 차량의 평균지체(초)/대

$w_h$  : 진입부의 최소지체(초)

T : 전체 조사시간중 차량이 통행한 시간

즉, 전체 조사시간중 평균수요인  $Q_m$ 이 유지된 시간

$Z = X - 1$  X: 진입부의 포화도로 (식 8)에 의하면

$$X = \frac{Q_m}{C} \quad \text{----- (식 8)}$$

$$m = w_h \cdot \frac{C}{450} \quad (C : \text{진입부의 용량}, m : \text{지체 파라메타로 다음과 같이 계산된다.})$$

## V. 사례 분석

사례분석에서는 각 Roundabout에 대한 용량과 지체분석을 하였으며 또한 용량산정에 이용된 각 변수의 상호관계에 대해서도 검토하였다.

### 5.1 안 성 Roundabout

#### 1) 용 량 분 석

안성 Roundabout의 경우 용량에 대해서 각 진입로별로 산정해본 결과 비봉로방향이 높은 것으로 나타났다.

<표 5-1> 안성 Roundabout의 용량산정

구 분	공 설	비봉로	진 천	천 안	평 택
용 량 (PCU/hr)	1,097	1,380	868	1,069	1,097
차 량 균 비 율	0.70	0.71	0.77	0.54	0.58
회 전 교통량 (PCU/초)	0.23	0.23	0.28	0.15	0.16
입 계 수 락 간 격 (초)	4.15	4.95	4.65	4.9	4.75
추 중 간 격 (초)	2.1	1.5	2.4	2.3	2.2
속 도 (km/hr)	31.1	25.0	18.6	23.8	21.1

#### 2) 지체시간의 산정

지체시간의 산정결과는 보면 공설방향과 진천방향이 각각 5.24, 5.40초/대로 비교적 높은 것으로 분석되었다.

<표 5-2> 방향별 지체시간 산정

지 체 시 간	공 설	비 봉 로	진 천	천 안	평 택
평균대기지체	5.24	3.80	5.40	2.49	2.25

### 5.2 사 천 Roundabout

#### 1) 용 량 분 석

사천 Roundabout의 용량산정에 용량산정결과는 <표 5-3>에서 보는바와 같다. 사천의 경우 모든 진입로의 용량이 1,100PCU/시간 이상인 것으로 분석되었다. 이는 기하구조상의 직경이 크고, 도류화가 양호하게 설치된데 연유한다고 볼수 있다.

<표 5-3> 사천 Roundabout의 용량산정

구 분	공 설	상 리	시외버스	시 청	부 두
용 량 (PCU/hr)	1,342	1,278	1,211	1,354	1,551
차 량 균 비 율	0.38	0.57	0.49	0.60	0.46
회 전 교통량 (PCU/초)	0.09	0.16	0.13	0.17	0.12
입 계 수 락 간 격 (초)	3.1	4.05	4.25	3.65	3.7
추 중 간 격 (초)	2.3	2	2.2	1.9	1.8
속 도 (km/hr)	42.5	27.0	30.3	23.5	33.8

#### 2) 지체시간의 산정

지체시간을 산정한 결과를 보면 공설방향과 부두 방향에서는 모든 차량들이 거의 정체를 이루지 않음을 알 수 있다.

<표 5-4> 방향별 지체시간 산정

구 분	공 설	상 리	시외버스	시 청	부 두
평균대기지체	0.49	1.45	1.17	1.36	0.82

### 5.3 서 산 Roundabout

#### 1) 용 량 분 석

서산Roundabout에 대한 용량분석결과 태안 방향이 1,340(PCU/시간) 가장 많음을 알 수 있다. 다음으로는, 서령고, 홍성, 당진, 시청 순서인 것으로 분석되었다.

<표 5-5> 서산로타리의 용량산정

구 분	당 진	서령고	시 청	태 안	홍 성
용 량 (PCU/hr)	997	1,167	920	1,340	1,051
차 량 균 비 율	0.64	0.65	0.68	0.60	0.67
회 전 교통량 (PCU/초)	0.20	0.20	0.22	0.17	0.21
임 계 수 락 간 격 (초)	3.95	3.9	4.15	3.8	4.4
추 종 간 격 (초)	2.5	2.1	2.6	1.9	2.2
속 도 (km/hr)	20.0	14.0	14.0	15.2	13.3

#### 2) 지체시간의 산정

각 진입로별 지체시간은 태안 방향이 2.23초/대로 가장 작고 시청방향이 5.38초/대로 가장 큰 값을 갖는 것으로 조사되었다.

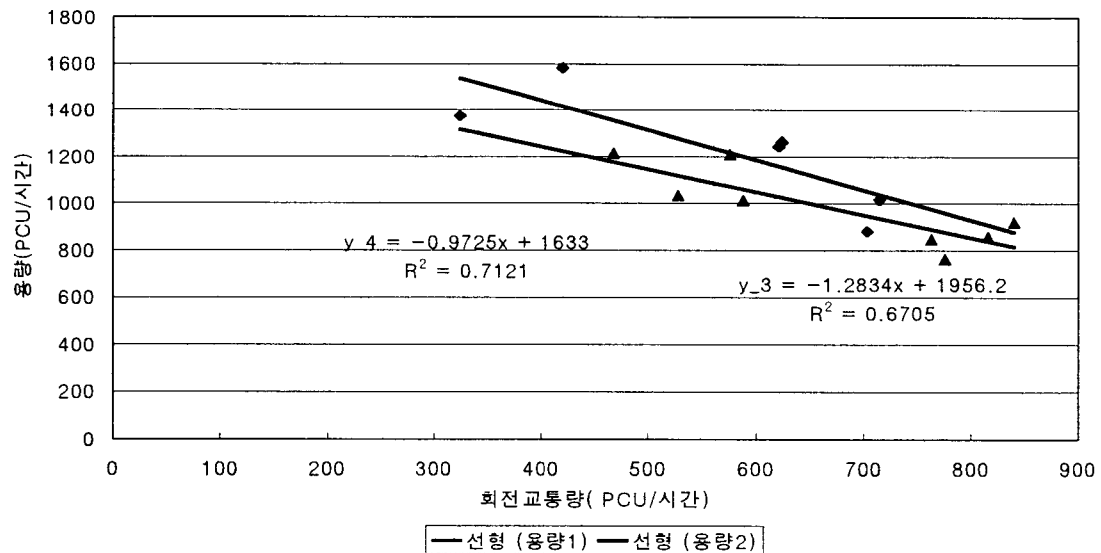
<표 5-6> 방향별 지체시간 산정(단위:초/대)

구 분	당 진	서령고	시 청	태 안	홍 성
평균대기지체	2.87	3.03	5.38	2.23	3.55

### 5.5 회전교통량과 용량

임계수락간격에 따른 회전교통량과 용량과의 관계를 살펴보면 <그림 5-1>에서 보는 바와 같다. 그림에서 용량1(임계수락간격 3-4초), 용량2(임계수락간격 4-5초)대에 대한 추정식에서 회전교통량이 증가하면 용량은 감소함을 할 수 있다.

회전교통량-용량



<그림 5-1> 임계간격에 따른 회전교통량과 용량 비교



### 5.6 지체시간과 차량군간의 비교

각 진입로별 회전차로의 차량군과 진입로에 따른 진입차량의 평균지체시간간의 비교를 해보면 아래의 <표 5-7>에서 보는 바와같다. 자료를 이용하여 회귀식을 구하면 차량군비의 단위 증가에 대해서 지체시간은 0.65초 증가하는 것으로 분석되었다.

$$Y = 6.5X - 2.17 \quad (R^2 = 0.82)$$

여기서,

X : 차량군비

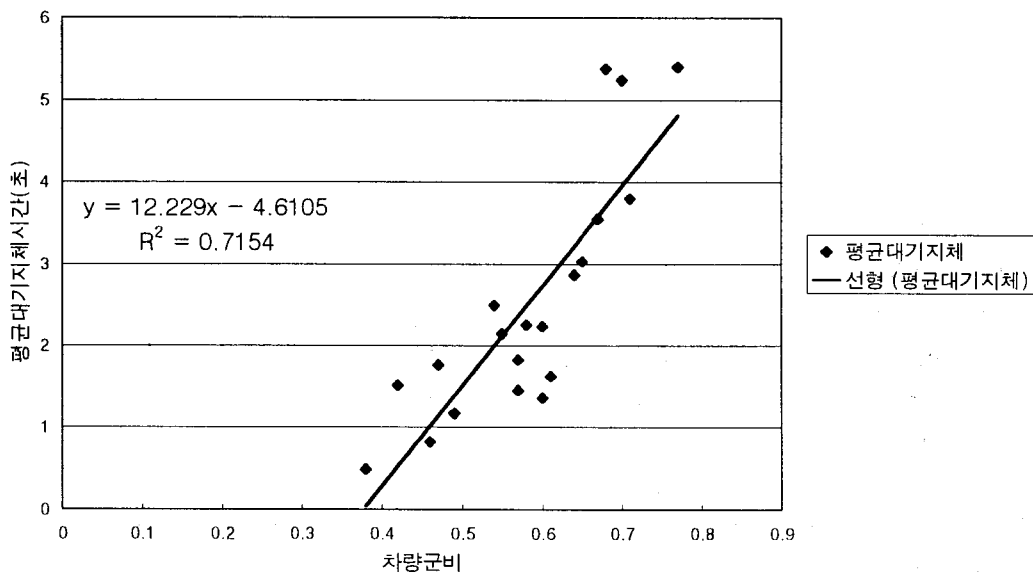
Y : 지체시간(초)

<표 5-9> 진입로별 평균대기 지체시간

차량군의 비	0.70	0.71	0.77	0.54	0.58	0.38	0.57	0.49	0.60	0.46
평균대기지체	5.24	3.80	5.40	2.49	2.25	0.49	1.45	1.17	1.36	0.82

차량군의 비	0.64	0.65	0.68	0.60	0.67
평균대기지체	2.87	3.03	5.38	2.23	3.55

평균대기지체-차량군비



<그림 5-2> 평균지체시간-차량군의 비교

## VI. 결론 및 추후 연구과제

Roundabout에 관한 연구가 활발한 유럽과는 달리 우리나라의 경우 Roundabout에 대한 연구가 미진한 실정이다. 본 연구에서 이러한 실정을 감안하여 대상지점이 일부에 국한되지만 5지-Roundabout에 대한 용량분석과 지체시간산정을 통하여 공용성분석을 시도하였다. 연구 결과 전반적으로 대상교차로에서 정체가 심하지 않음을 알 수 있었으며

- 회전교통량과 용량과의 관계에서는 임계수락간격을 기준으로 본 연구에서는 3초대와 4초대로 나누어 추종하는 것이 보다 나은 결과를 갖는다.
- 차량군비에 따른 평균지체시간은 선형관계가 있음을 알 수 있다.

또한 Roundabout에 관한 추후 연구할 과제로는

- 중앙교통섬의 크기에 따른 용량에 미치는 효과,
- Roundabout에서 임계수락간격에 대한 모형의 비교
- 비신호교차로와 Roundabout형식의 용량비교

등이 필요하다고 판단된다.

향후 보다 많은 Roundabout에 대한 연구를 바탕으로 서비스수준을 결정짓는 기준을 제하는 연구가 필요하다 하겠다.

---

### <참 고 문 헌>

1. TRB, Traffic Flow Theory, Special Report 165, 1997
2. Austroads, Guide to Traffic Engineering Practice(part 6)
3. R.J. Troutbeck, Recent Australian Unsignalised Intersections Research and Practies, Intersections without Traffic Signals II, Porceedings of an International Workshop 18-19 July, 1991 in Bochum, Germany, P253
4. TRB, Highway Capacity Manual, 1994.
5. Hashem R. Al-Masaied and Mohammad Z.Faddah, Capacity of Roundabouts in Jordan. NCHRP, No. 1572, 1997., P 76
6. Aimee Flannery and Tapan Datta, Operational Performance Measures of American Roundabouts, NCHRP, No. 1572, 1997, P68