

# 비보호 좌회전에서의 KHCM P값 검증

The Verification for P Value of KHCM On the Unprotected Left-turn

전 석 봉

(도로교통안전관리공단, 사원)

오 영 태

(아주대학교, 교수)

## 목 차

I. 서론	III. 자료 수집 및 분석
1. 연구배경 및 목적	1. 자료 수집
2. 연구범위 및 절차	2. 자료 분석 및 비교
II. 이론 고찰	IV. 결론 및 향후과제
1. 수락간격(gap acceptance)모형 이론	참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

신호교차로의 특성상 시간할당을 하면 현시수가 증가하고, 출발지연, 황색시간이 증가하게 되어 주기가 길어지고 교차로의 효율이 감소하기 때문에 현시수가 될 수록 적은 것이 좋다. 이러한 이유로 좌회전 운영 방식 중 좌회전 교통수요와 대향직진 교통수요가 적은 교차로에서는 현시수가 적어 교차로 운영이 효율적이고, 교통처리능력도 뛰어난 비보호좌회전 운영의 활성화가 필요하다. 하지만 비보호좌회전 운영의 활성화를 위해서는 비보호좌회전이 허용되는 신호교차로에서의 비보호좌회전 용량과 좌회전 보정계수 등 교통운영의 정확한 분석이 선행되어야 하나 우리나라에서는 비보호좌회전에 관해 학문적인 연구가 미흡한 실정이다.

한국도로용량편람(이하:KHCM)에서는 비보호 좌회전 용량을 구함에 대향직진 교통량에 따른 gap당 평균 비보호좌회전 가능대수(이하: P값)를 현장자료에 기초하지 않고 전용차로를 기준으로 이론적 모형인 수락간격확률 모형을 통해 구하고 있다. 그러나 공용차로에서는 좌회전 차량만이 이용하는 것이 아니라 직진차량도 이용하게 된다. 이로 인해 공용차로에 좌회전 차량이 도착하기 전에 직진 차량이 사용할 수 있고, 좌회전 차량 사이에 직진차량이 위치할 수 있어 직진 차량의 출발 지연시간, 차선변경행위

등의 변수로 대향직진 교통류에 발생된 수락간격기회를 놓치거나, 좌회전할 수 있는 신호시간이 감소하게 된다. 만약, 주기가 짧아 직진녹색 신호시간이 짧은 경우는 직진차량의 영향이 더 크게 나타날 것이다. 이로 인해 P값에 달리 나타날 것이다. 그러므로 P값은 공용차로와 전용차로에 다르게 적용되어야하나, KHCM에서 전용차로의 P값을 전용차로와 공용차로에 모두 적용하고 있어 공용차로를 가진 비보호좌회전 교차로의 교통운영에 정확한 분석이 이루어지고 있지 못하다.

따라서, 본 연구에서는 공용차로로 운영되는 교차로의 P값이 어떻게 나타나는지 연구대상 교차로의 실측을 통해 분석하고 그 값을 KHCM에서 제시된 전용차로에서의 P값과 비교하여 P값의 차이를 파악하고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 절차

#### 1)연구의 범위

교통량과 대향직진교통량이 비교적 적은 교차로에서 비보호좌회전 도착교통량이 포화용량보다 적을 경우에 그 차로를 직진교통류도 이용하게 된다. 만약, 비보호좌회전 교통량이 포화용량을 초과하게 되면 과포화주기(cycle failure)가 일어나고, 직진 교통이 이 차로를 이용하지 못하여 결국 전용차로와 같은 역할을 하는 실질적 좌회전전용차로(de facto left turn lane)가

된다.

공용차로에서 비보호좌회전 분류를 하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 공용차로에서 비보호좌회전의 분류

도로조건 교통조건	좌회전 공용차로	
$V_L < D_L$	$\frac{V_L}{S_L} \geq \frac{V_{TR}}{S_{TR}}$	(a)
	$\frac{V_L}{S_L} \leq \frac{V_{TR}}{S_{TR}}$	(b)

주)  $V_L$ : 비보호좌회전 도착교통량

$D_L$ : 비보호좌회전의 용량(실제 현장조건에서)

$\frac{V_L}{S_L}$ : 좌회전 차로의  $\frac{V}{S}$ 비

$\frac{V_{TR}}{S_{TR}}$ : 직진 및 우회전 공용차로의  $\frac{V}{S}$ 비

본 연구에서는 공용차로를 이용하는 비보호좌회전 형태 중 교통상대가 혼잡하지 않아 직진과 좌회전 차량이 공용차로를 이용하는 (b)의 운영방식인 경우로 한정하여 분석한다.

연구대상 교차로는 우리나라의 교통안전시설 실무편람의 비보호좌회전 시행기준에 의해 시행되는 교차로중 편도2차로로 운영되며, 한 개의 공용차로를 가지는 교차로만을 연구 대상으로 한다. 그리고 대향직진 교통량의 범위는 선정된 교차로에서 실측을 통해 얻을 수 있는 대향직진 교통량 범위에서만 연구를 진행한다.

## 2) 연구의 절차

본 연구를 수행하기 위한 연구절차는 다음과 같다.

- ① KHCM에서 제시한 P값 산정 수락간격(gap acceptance)모형의 유도과정과 임계간격 및 좌회전 차량의 추종시간에 관해 살펴본다.
- ② 본 연구의 진행을 위해 연구 대상 교차로를 선정한다. 현장조사를 통해 연구 대상 교차로의 대향직진 교통량별 각 이동류의 교통량을 수집하고 정리한다. 연구 대상 교차로 운영 현황 및 조건형태별(도로조건, 교통조건, 신호조건)로 자료를 조사·정리한다.
- ③ 조사된 대향직진 교통량별 자료를 통해 KHCM을 기준으로 비보호좌회전 허용 접근로 지체를 구한다. 또한 실측을 통해 조사된 대향직진 교통량별 P값을 구한다.

④ 미시적 분석 시뮬레이션(VISSIM)을 통해 조사된 대향직진 교통량별 비보호좌회전 허용 접근로 지체를 구하고, KHCM의 접근로 지체와 비교하여 조사된 대향직진 교통량별 임계간격(Critical gap)을 구한다.

⑤ VISSIM모형에서 구한 각 대향직진 교통량별 임계간격을 기준으로 각각의 대향직진 교통량별 P값을 구한다.

⑥ KHCM과 VISSIM, 실측모형을 통해 분석된 P값을 비교하여 차이를 파악하고 본 연구의 결과를 정리하고, 본 연구의 문제점 및 한계, 향후 연구 과제를 제시한다.

## II. 이론 고찰

### 1. 수락간격(gap acceptance)모형식

KHCM에서는 비보호좌회전 분석을 위해 좌회전 전용차로를 기초로 수락간격(gap acceptance)확률 모형을 이용하여 P값을 구하고 있다. KHCM에서는 좌회전 차량이 적색신호에 대기하던 대향직진 차량이 녹색신호가 시작되면서 임의 방출된다는 형태를 가정하고 분석되었다.

좌회전 전용차로에서 수락간격확률 모형 유도식을 살펴보면 다음과 같다.

대향직진 교통류의 차두시간 분포함수가 음지수분포(Negative Exponential Distribution)를 갖는다고 가정하고 대향직진 교통류가 교차로를 통과하는 전체 녹색시간동안 비보호좌회전이 가능하다는 가정하에 대향직진 교통량을  $V_0$ (vph)라 하고 주기를 C, 녹색신호 시간을 G라 하면, 적색신호에 대기해 있던 대향직진차량이 녹색신호 G초 동안 정지선을 통과할 때의 평균차량대수( $\mu$ )는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = \frac{V_0 C}{3600 G} \text{ (veh/sec)} \quad (1)$$

따라서 대향직진 교통류의 차두시간 분포함수는 식(2)와 같다.

$$P(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (2)$$

여기서  $V_0 > 0$  즉,  $\mu > 0$  이다.

대향직진 교통류의 임계 차두시간(Critical gap)을  $\tau$ 라 하고, 이 교통류의 차두시간동안에 최대 한대의 좌회전만 그 간격을 수락한다고 할 때, 한 주기당 좌회전할 수 있는 차량대수  $LV_1$ 은 식(3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$LV_1 = \frac{V_0 C}{3600} \int_h^G \mu e^{-\mu t} dt$$

$$= \frac{V_0 C}{3600} [e^{-\mu h} - e^{-\mu G}] \quad (3)$$

여기서  $h$ 는 임계차간 시간에 해당되는 차두시간으로서,  $V_0 C/3600$ 은 한 주기의 녹색신호 당 방출되는 대향직진 차량의 대수 즉, 간격수이다. 그러나 차두시간이 길면 한 간격에 한대 이상의 좌회전 차량이 그 간격수를 수락할 수 있다. 수락하는 차량들의 차두시간을  $d$ 라 한다면 2대 이상이 수락하는 간격수는 식(4)과 같이 구할 수 있다.

$$LV_2 = \frac{V_0 C}{3600} \int_{h+d}^G \mu e^{-\mu t} dt$$

$$= \frac{V_0 C}{3600} [e^{-\mu(h+d)} - e^{-\mu G}] \quad (4)$$

마찬가지 방법으로  $n$ 대 이상이 수락하는 간격수는 식(5)과 같이 구할 수 있다.

$$LV_n = \frac{V_0 C}{3600} [e^{-\mu(h+(n-1)d)} - e^{-\mu G}] \quad (5)$$

(단,  $h+(n-1)d \leq G$ )

따라서 한 주기동안 대향직진 교통류 간격을 수락할 수 있는 비보호좌회전 차량의 총 대수  $Q_c$ 는  $LV_1 + LV_2 + \dots + LV_n$ 로 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_c = \frac{V_0 C}{3600} \left[ \frac{e^{-\mu h} - e^{-\mu(G+d)}}{1 - e^{-\mu d}} - \left( \frac{G-h+d}{d} \right) e^{-\mu G} \right] \quad (6)$$

위 식에서  $G$ 의 값이 충분히 크므로 이 식을 간단히 하면,

$$Q_c = \frac{V_0 C}{3600} \left[ \frac{e^{-\mu h}}{1 - e^{-\mu d}} \right] \quad (7)$$

식(7)에서 얻은 값은 한 주기당 비보호좌회전할 수 있는 최대교통량 즉 비보호좌회전의 용량이므로, 이를 시간당 용량  $D_L$ 로 나타내면

식(8)과 같다.

$$D_L = Q_c \frac{3600}{C}$$

$$= V_0 \left[ \frac{e^{-\mu h}}{1 - e^{-\mu d}} \right] \quad (8)$$

여기서  $\left[ \frac{e^{-\mu h}}{1 - e^{-\mu d}} \right] = P$ 라 두면

$$D_L = V_0 P \quad (9)$$

식(9)에서  $P = \left[ \frac{e^{-\mu h}}{1 - e^{-\mu d}} \right]$ 가 대향직진 교통량에 따른 gap당 평균 비보호좌회전 가능대수를 나타내는 이론적 모형식이다.

KHCM에서는 식(10)에 임계간격과 좌회전 추종시간을 대입하여 이론적  $P$ 값을 <표 2>과 같이 제시하고 있다.

$$P = \frac{e^{-\mu \tau}}{1 - e^{-\tau d}} \quad (10)$$

$P$  = 대향교통류 한 gap당 평균 비보호좌회전 대수

$\mu$  = 대향교통유율(=  $V_0/3600$ )

$\tau$  = 임계차두시간(4.9초)

$d$  = 긴 gap에서 연속 비보호좌회전 할 때, 좌회전의 평균 추종차두시간(2.3초)

<표 2> 대향직진 교통량에 따른 gap당 평균 비보호좌회전 대수

$V_0$	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
$P$	14.1	6.350	2.572	1.388	0.841	0.543	0.365	0.252	0.177	0.126

주)보간법을 사용할 것

### III. 자료 수집 및 분석

#### 1. 자료수집

##### 1) 조사지점 선정

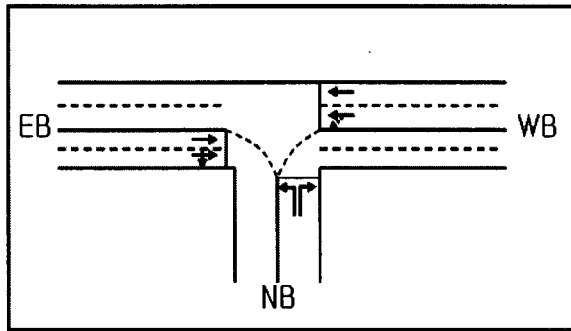
본 연구를 진행하기 위해 연구대상 교차로는 다음의 기준을 통해 선정하였다.

- 공용차로를 이용하는 비보호좌회전 형태 중 교통상태가 혼잡하지 않아 직진과 좌회전 차량이 공용차로를 이용하는 곳.
- 대향직진 교통류의 수락간격을 인지할 수 있는 시거가 확보된 접근로가 직선이고 구

배가 없는 곳.

- 차선폭이 3.0m 이상인 곳.
- 분석의 간편성을 위해 3지 형태의 교차로로 한 방향에서만 비보호좌 회전이 허용된 곳.
- 버스 정거장이나 불법주차 등으로 노변마찰이 심하지 않은 곳

위의 선정조건에 의해 서울시 여의도에 위치한 T형 3갈래 교차로인 여의도 삼부APT가 선정되었다. 연구 대상 교차로의 접근로별 차로수는 각각 동측 편도2차로, 서측 편도2차로, 남측 편도1차로이며, 동측 접근로는 직진과 좌회전 차량이 같이 이용하는 공용차로를 가지고 있다. 연구 대상 교차로의 차로수 및 교차로의 형태는 <그림 2>과 같다.



<그림 2> 조사 대상교차로의 차로수 및 형태

2)수집자료 정리

대향직진 교통량별 조사된 자료를 CASE I, II,III로 분류하여 <표 3>와 같이 정리하였다.

<표 3> 대향직진 교통량별 방향별 교통량

접근로 및 이동류	서측접근로			동측접근로			남측접근로		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
소형		397	15	106	439		74		193
대형		31	10	12	25		5		10

<CASE I >대향직진 교통량: 459(대/시)

접근로 및 이동류	서측접근로			동측접근로			남측접근로		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
소형		348	17	98	375		64		129
대형		15	10	8	18		4		9

<CASE II >대향직진 교통량: 378(대/시)

접근로 및 이동류	서측접근로			동측접근로			남측접근로		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
소형		225	20	90	295		51		98
대형		11	5	7	11		6		5

<CASEIII >대향직진 교통량:247대(대/시)

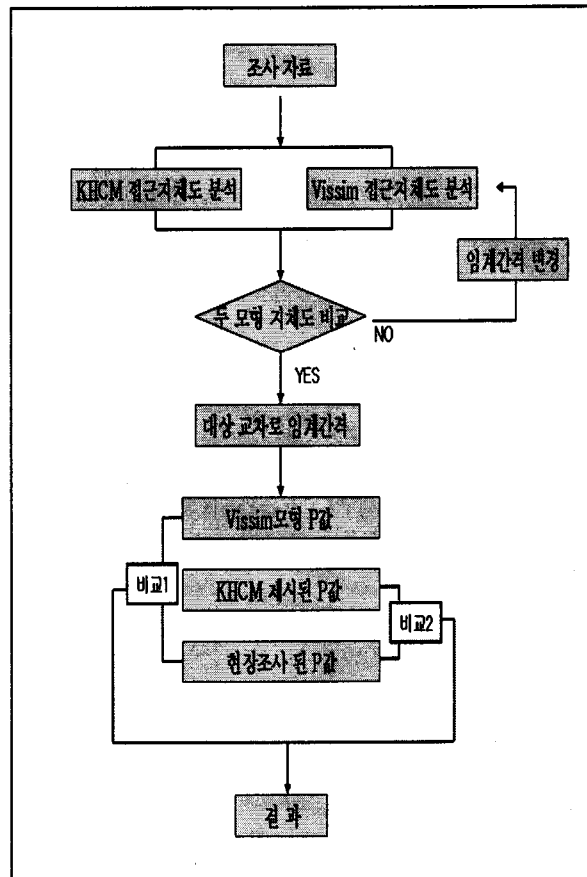
연구 대상 교차로를 조사한 결과 신호운영현황은 3현시 80초 주기로 운영되고 있으며, 보행자 녹색시간은 20초, 황색시간은 각각 3초로 운영되고 있다. 현시 방법 및 신호시간은 <표 4>와 같다.

<표 4> 현시 방법 및 신호시간

신호현시	← →	↕	↙ ↘
신호시간(초)	39(3)	20	15(3)

2. 자료분석 및 비교

본 연구의 분석 절차는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 분석 절차

1) KHCM접근 지체 분석

KHCM에서는 접근지체(가감속지체, 정지지체 포함)와 초기지체를 모두 포함한 제어지체를 신호차로의 효과척도(MOE)로 규정하고 있다. 따라서 조사된 CASE별 자료를 이용하여 비보호좌회전 허용 접근로(WB)에 대해 제어지체를 KHCM을 기준으로 분석하였다.

제어지체란 접근부의 감속지체 및 정지지체, 출발시의 가속지체를 모두 합한 접근지체를 말하며 분석기간 시작 전에 남아 있는 대기차량에 의한 영향도 포함되지만, 본 연구에서는 분석기간 이전의 대기차량은 없으므로 식(11)의 차량당 평균제어지체를 구하는 공식에서  $d_3=0$ 이 된다.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (11)$$

여기서  $d$  : 차량당 평균제어지체(초/대)

$d_1$  : 균일제어지체(초/대)

$PF$  : 신호연동에 의한 연동보정계수

$d_2$  : 임의도착과 과포화를 나타내는 증분지체로서, 분석기간 바로 앞 주기 끝에 잔여차량이 없을 경우(초/대)

$d_3$  : 분석기간 이전의 잔여 대기차량에 의해 분석기간에 도착하는 차량이 받는 추가지체(초/대)

①균일지체(uniform delay)

교통량이 교차로에 정확하게 일정한 차두간격으로 도착한다고 가정할 때의 차량당 평균지체는, i)초기 대기차량이 없는 경우, ii)초기 대기차량이 있으나 분석기간 이내에 다 해소될 경우, iii)초기 대기차량이 있고 분석기간이 끝난 후에도 대기차량이 남아 있는 경우 각각에 대해 확정모형으로 구할 수 있으나 본 연구에서는 초기 대기차량 대수( $Q_b$ )가 없으므로 식(12) 과 같이 구한다.

$$d_1 = \frac{0.5c(1 - \frac{g}{c})^2}{1 - \min(1, X) \frac{g}{c}} \quad (Q_b=0\text{때}) \quad (12)$$

여기에서,  $Q_b$  : 초기 대기차량 대수(대)

$d_1$  : 균일지체(초/대)

$c$  : 주기(초)

$g$  : 해당 차로군에 할당된 유효녹색시간(초)

$x$  : 해당 차로군의 포화도

분석된 균일지체는 <표 5>과 같다.

<표 5>균일지체 분석결과

분류	동측접근로(WB) 균일지체(초/대)
CASE I	13.9
CASE II	13.1
CASE III	12.3

②증분지체(incremental delay)

증분지체는 비균일 도착에 의한 임의지체(random delay)와 분석기간 내에서 몇몇 과포화 주기(cycle failure)에 의한 과포화 지체(overflow delay)를 포함한다. 따라서 분석기간의 시작과 끝 부분에는 잔여 대기행렬이 없는 상태이다. 어느 차로군의 증분지체는 그 차로군의 포화도( $X$ ), 분석기간의 길이( $T$ ) 및 그 차로군의 용량에 크게 좌우되며 식(13)와 같이 구할 수 있다.

$$d_2 = 900\pi(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}} \quad (13)$$

여기에서,  $d_2$  : 임의도착 및 분석기간 안에서의 과포화 영향을 나타내는 증분지체

$T$  : 분석기간 길이(시간)

$X$  : 해당 차로군의 포화도

$c$  : 해당 차로군의 용량(vph)

분석된 증분지체는 <표 6>과 같다.

<표 6>증분지체 분석결과

분류	동측접근로(WB) 증분지체(초/대)
CASE I	1.2
CASE II	0.7
CASE III	0.4

③연동계수(PF)

정주기 신호시스템에서 연동방향의 접근로에서 발생하는 지체는 연동의 효율에 크게 영향을 받는다. 특히 연동효과는 앞에서 설명한 균일지체에 가장 크게 작용하므로 연동계수는 균일지체에만 적용한다. 이 연동계수는 연동의 효과를 나타내는 모든 이동류에 대해서 적용한다. 정확히 말하면, 연동의 주된 대상이 되는(주로 직진) 이동류와 동일한 신호현시에 진행되는 모든 이동류들에 적용한다. 동일한 현시에 움직이는 이 이동류들이 같은 차로군이든 다른 차로군이든 상관없이 같은 연동계수가 적용되며, 동

시신호의 경우 모든 이동류가 동시에 진행하므로 모두 연동계수를 적용한다. 만약 직진교통을 연동시킬 때 좌회전 신호가 직진과 다른 현에서 움직인다면, 이 좌회전은 연동효과를 적용하지 않고 연동계수를 1.0으로 사용한다.

정주기 신호에서 연동계수는 옵셋 편의를 (TVO)과 유효녹색시간비(g/C)로부터 <표 7>를 이용해서 보간법으로 구한다. 만약 TVO가 1.0보다 크거나 0보다 작으면 적절한 값의 정수를 빼거나 더하여 TVO의 값이 0~1.0 사이의 값을 갖도록 한다.

$$TVO = \frac{T_c - offset}{C}$$

여기서 TVO : 옵셋 편의율

C : 간선도로의 연동에 필요한 공통주기(초)

g : 연동방향 접근로의 유효녹색시간 (초)

$T_c$  : 상류부 교차로의 정지선에서 분석교차로의 정지선까지의 구간 길이를 순행속도로 나눈 값(초)

offset : 상류부 교차로와 분석 교차로간의 연속 진행방향 녹색신호 시간의 차이(초), 주기보다 적은 값 사용

분석결과 옵셋 편의율(TVO)은 0.99로 나타났으며, 유효녹색시간비(g/C)는 0.484로 나타났다. 이 값을 <표 7>를 이용해서 보간법으로 구한 결과 연동계수(PF)는 0.78로 분석되었다.

<표 7> 고정시간신호 연동계수(PF)

TVO	g/C								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	1.04	0.86	0.76	0.71	0.71	0.73	0.78	0.86	1.06
0.1	0.62	0.56	0.54	0.55	0.58	0.64	0.72	0.81	0.92
0.2	1.04	0.81	0.59	0.55	0.58	0.64	0.72	0.81	0.92
0.3	1.04	1.11	0.98	0.77	0.58	0.64	0.72	0.81	0.92
0.4	1.04	1.11	1.20	1.14	0.94	0.73	0.72	0.81	0.92
0.5	1.04	1.11	1.20	1.31	1.30	1.09	0.83	0.81	0.92
0.6	1.04	1.11	1.20	1.31	1.43	1.47	1.22	0.81	0.92
0.7	1.04	1.11	1.20	1.31	1.43	1.56	1.63	1.27	0.92
0.8	1.04	1.11	1.20	1.31	1.43	1.47	1.58	1.76	1.00
0.9	1.04	1.11	1.15	1.08	1.06	1.09	1.17	1.32	1.59
1.0	1.03	1.01	0.89	0.80	0.74	0.71	0.71	0.81	1.08

주) \* 주차로군(주로직진)과 동일한 현시에 진행하지 않는 차로군은 1.0 적용

\*\* 보간법 사용

이와 같이 분석된  $d_1$ ,  $d_2$ , 연동계수(PF)를 토대로 구한 평균제어지체( $d$ )는 <표 8>과 같다. 분석대상 접근로는 직진과 좌회전차량이 공용

으로 이용하므로 분석시 직진, 좌회전 공용차로군으로 분류되므로 접근 지체는 평균제어지체와 같은 값을 갖는다.

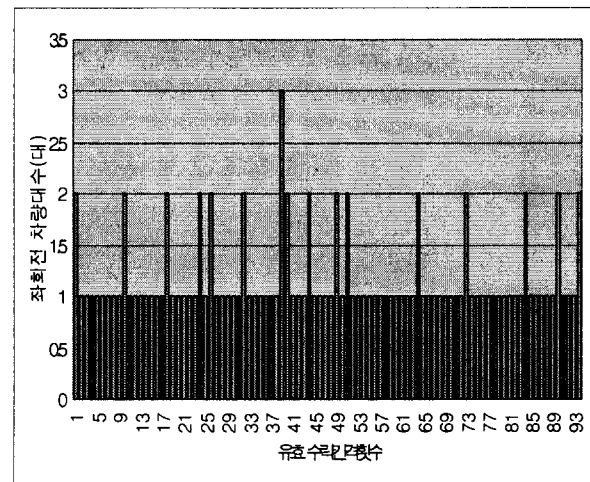
<표 8> 평균제어지체 분석결과

분류	동측 접근로 평균제어지체(초/대)
CASE I	12
CASE II	10.9
CASE III	10

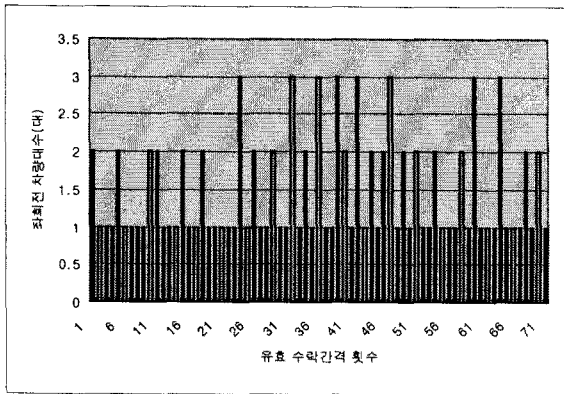
## 2)실측에 의한 P값 분석

조사지점의 주기는 80(초)로써 한 시간 동안 총 45번의 직진신호가 주어진다. 따라서 비보호 좌회전 교통류는 한 시간 동안 총 45번의 좌회전 기회를 갖게 된다. 45번의 좌회전 기회 중에서 실질적으로 좌회전이 허용되는 시간은 적색신호에 대기하고 있던 대향직진 교통류가 녹색신호가 시작되면 초기의 출발지연시간이 지난 후 포화유율로 방출되고, 그 이후에 밀도가 점차 감소하여 도착교통이 그대로 방출되는 임의 방출 시점에서 직진녹색신호가 끝나 적색신호로 변경될 때까지로 보았다. 조사지점을 분석한 결과 주기당 실질적 좌회전 허용시간 내에 좌회전의 기회는 2~4회로 분석되었다. 그러나 본 연구는 수락간격당 비보호좌회전 평균 가능 대수를 파악해야하므로 대향직진 교통류에 수락간격의 기회가 주어져도 좌회전 차량이 없는 경우는 제외시켰다. <그림 4>는 대향 직진 교통량별 한 시간 동안 유효수락간격(수락간격 중 차량이 좌회전을 한 수락간격)당 좌회전한 대수를 나타낸 것이다.

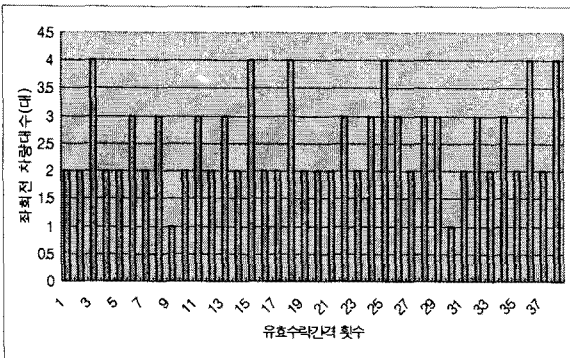
<CASE I >대향직진 교통량: 458(대/시)



<CASE II>대향직진 교통량: 378(대/시)



<CASE III>대향직진 교통량: 247(대/시)



<그림 4>대향직진 교통량별 유효수락간격당 좌회전 차량대수

- CASE I 은 대향직진 교통량 459(대/시)에 발생하는 대향직진 교통류의 총 수락간격중 유효수락간격당 좌회전한 차량대수를 나타낸 것으로 유효수락간격 횟수는 총94회이며, 총 130(대/시)의 비보호좌회전 차량 중 불법 좌회전한 차량 19대는 분석에서 제외되었다. 분석 결과 총 유효수락간격94회에 111(대/시)의 좌회전 차량이 통과하여 유효수락간격당 평균 비보호좌회전 대수는 1.181(대)로 나타났다.
- CASE II 은 대향직진 교통량 378(대/시)을 분석한 결과이며, 유효수락간격은 총 71회이며, 비보호좌회전 차량 114(대)중 불법 좌회전 차량 9(대)는 제외하였다. 분석 결과 유효수락간격당 평균 비보호좌회전 대수는 1.479(대)로 나타났다.
- CASE III 은 대향직진 교통량 247(대/시)을 분석한 결과이며, 유효수락간격은 총38회이며, 비보호좌회전 차량 104(대)중 불법 좌회전 7(대)는 제외되었다. 분석 결과 유효수락간격당 평균 비보호좌회전 대수는 2.553(대)로 나타났다.

분석 결과를 정리하면 결과 대향직진 교통량이 459(대)일 경우 발생한 유효수락간격수는 대향직진 교통량이 247(대)보다는 많이 나타나지만 발생한 유효수락간격의 시간이 짧아 수락간격당 좌회전할 수 있는 차량대수가 낮게 나타났다. 반면 대향직진 교통량이 247(대)의 경우 대향직진 교통류가 포화유율로 방출되고 도착하는 직진차량이 적어 실측된 유효수락간격수는 적으나 발생하는 유효수락간격시간이 길어 수락간격당 좌회전할 수 있는 차량대수가 459(대)보다 높게 나타났다.

3)VISSIM모형을 이용한 접근 지체 분석

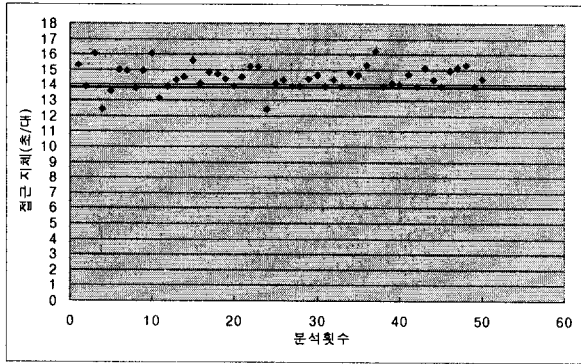
VISSIM모형을 이용한 접근 지체 분석은 비보호좌회전 허용 접근로만을 분석하였으며, VISSIM모형 설계단계에서는 다음과 같은 환경으로 설계되었다.

- ① 현장조사를 통해 수집된 교차로의 조건형태(도로조건, 교통조건, 신호조건)을 반영하였다.
- ② 비보호좌회전 대향직진 교통류의 방출패턴은 대향직진 교통류가 녹색 신호가 시작되면 포화유율로 방출되고, 그 이후에 밀도가 점차 감소 하여 도착교통이 그대로 방출되는 임의 방출의 형태로 설정하였다.
- ③ 초기분석에서의 임계간격과 좌회전 추종시간은 KHCM에서 제시하고 있는 4.9초와 2.3초로 설정하였다.
- ④ 녹색신호시 비보호좌회전 차량의 위치는 김석근(2003)의 연구에서 정위치와 부위치로 분류하고 있다. 좌회전 차량이 녹색신호시 수락간격이 허용될 때 까지 정지선 이전에 합법적으로 정지하여 대기하는 경우를 “정위치”, 그렇지 않은 경우를 “부위치”라 정의하였다. 본 연구의 현장조사 결과 좌회전 차량의 위치는 거의 모든 차량이 “부위치”형태를 보이고 있어 VISSIM모형 설계시 직진 신호시 좌회전 차량의 위치를 부위치가 되도록 구성하였다.

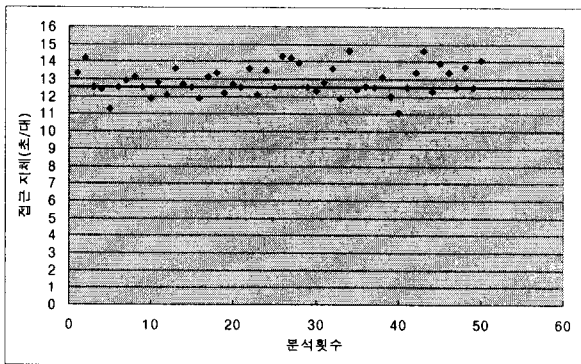
미시적 시뮬레이션인 VISSIM의 분석결과 조건형태별로 같은 입력값을 넣어도 분석가의 설계방법(예: 좌회전 차량의 정지 위치, 좌회전 차량 운전자의 수락간격 판단 위치 등)에 의해 결과값의 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서는 결

과값의 정확성을 위해 설계 방법을 조금씩 변화시켜 1시간 단위로 총 50회를 분석하였다. 총 50회를 통해 분석된 지체 결과 값 중 가장 빈도가 높은 결과 값(최빈값)을 분석 결과값으로 선정하였다. <그림 6>은 각 CASE별로 총 50회를 분석하였을 때의 최빈값을 나타내고 있다.

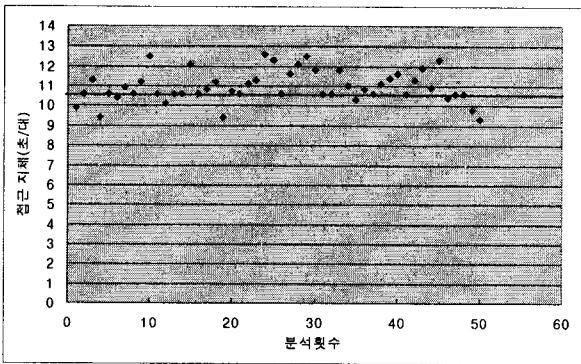
<CASE I >대향직진 교통량: 459(대/시)



<CASE II >대향직진 교통량: 378(대/시)



<CASE III >대향직진 교통량: 247(대/시)



<그림 6>대향직진 교통량별 접근 평균제어지체 분석

이와 같이 분석된 결과

- CASE I에서는 분석된 결과 범위가 12.4~16.2로 나타났으며 이 중 최빈값은 13.9로 나타났다.
- CASE II에서는 11.1~14.6의 결과 범위에서 12.5가 최빈값으로 분석되었다.

- CASE III에서는 9.3~12.6의 결과 범위가 나왔으면 이 중 최빈값은 10.6으로 나타났다.

#### 4)임계간격(Critical gap)추정

비보호좌회전의 용량은 접근 지체를 구하는데 사용되는 주요 변수이다. 비보호좌회전의 용량은 제2장에서 살펴보았듯이 대향직진 교통량, 녹색신호시간, 주기 및 비보호좌회전의 간격수락 행태에 의해 영향을 받는다. 차로수, 교통량, 신호시간, 주기는 기본적으로 주어지는 도로, 교통 및 신호조건이지만, 비보호좌회전의 간격수락 행태는 임계간격 및 좌회전 차두시간에 의해 결정된다. 그러므로 KHCM모형과VISSIM모형을 비교할 때 기본 주어진 조건을 같게 적용하므로 비보호좌회전의 용량은 임계간격과 좌회전 추종시간에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 즉 접근 지체는 임계간격과 좌회전 추종시간에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 따라서 KHCM과 VISSIM 두 모형의 접근 지체를 비교하여 연구 대상교차로의 임계간격을 추정하였다. VISSIM모형 분석시 좌회전 추종시간은 KHCM에서 제시된 2.3초를 적용하였으며, 교차로를 통과하는 차량의 종류(승용차, 트럭, 버스 등)간의 간격수락 형태에는 차이가 발생하지 않으며, 운전자 집단(정상시력의 운전자 집단, 노인 운전자 집단, 여성 운전자 집단 등)은 동일하게 하였다. <표 10>는 임계간격의 변화에 따른 분석기간별 접근 지체를 나타내고 있다.

<표 10> 임계간격의 변화에 따른 분석기간별 접근 지체

지체(초/대)	15분	30분	45분	60분	Total
2.1	11.5	11.1	13.1	11.4	11.7
2.3	11.5	11.1	13.1	11.4	11.7
2.5	11.9	11.6	13.5	11.5	12.1
2.7	11.9	11.4	13.5	11.4	12.0
2.9	11.9	11.4	13.5	11.4	12.0
3.1	11.8	11.4	13.5	11.4	12.0
3.3	11.6	11.9	13.1	13.2	12.4
3.5	11.6	12.5	13.9	14.1	13.0
3.7	11.9	13.4	14.5	13.4	13.3
3.9	11.9	13.1	14.1	13.2	13.0
4.1	12.1	13.2	14.2	13.7	13.3
4.3	12.1	13.0	14.5	13.4	13.2
4.5	12.4	13.0	15.9	13.4	13.7
4.7	12.4	13.3	16.4	13.7	13.9
4.9	12.4	13.3	16.4	13.7	13.9

<CASE I >대향직진 교통량: 459(대/시)



지체(초/대) 임계간격(초)	15분	30분	45분	60분	Total
2.1	10.4	9.1	11.3	11.9	10.6
2.3	10.5	9.2	11.4	12.0	10.7
2.5	10.5	9.2	11.4	12.0	10.7
2.7	10.7	9.2	11.6	12.0	10.8
2.9	10.7	9.2	11.5	12.1	10.8
3.1	10.6	9.6	12.2	12.3	11.1
3.3	10.7	9.0	14.2	12.5	11.6
3.5	11.1	9.8	13.5	13.0	11.8
3.7	10.6	10.1	14.2	13.1	12.0
3.9	10.6	10.4	14.2	13.1	12.1
4.1	10.6	10.4	14.2	12.7	12.0
4.3	10.6	10.4	14.2	12.7	12.0
4.5	10.6	10.4	14.2	12.8	12.0
4.7	10.8	9.8	15.4	13.6	12.4
4.9	11.2	10.9	15.0	12.9	12.5

<CASEⅡ>대향직진 교통량: 378(대/시)

지체(초/대) 임계간격(초)	15분	30분	45분	60분	Total
2.1	8.9	8	11.2	11.2	9.8
2.3	9.1	8	11.4	11.9	10.1
2.5	9.1	8	11.4	11.9	10.1
2.7	9.1	8	11.4	11.9	10.1
2.9	9.2	8	12.3	12.2	10.2
3.1	9.2	8	12.3	12.2	10.2
3.3	9.2	8	12.3	12.2	10.2
3.5	9.2	8	12.3	12.2	10.4
3.7	9.2	8	12.3	12.2	10.4
3.9	9.2	8	12.3	12.2	10.4
4.1	9.2	8	13.1	12.2	10.6
4.3	9.2	8	13.1	12.2	10.6
4.5	9.2	8	13.1	12.2	10.6
4.7	9.2	8	13.1	12.2	10.6
4.9	9.2	8	13.1	12.2	10.6

<CASEⅢ>대향직진 교통량: 247(대/시)

분석 결과 CASE I에서는 임계간격이 2.7~3.1(초)에서 KHCM분석 결과와 같은 12.0(초/대)의 접근 지체가 나타났으며, CASEⅡ에서는 2.7~2.9(초)에서 KHCM의 10.9(초/대)와 유사한 10.8(초/대)의 접근 지체를 보였다. CASEⅢ에서는 2.3~2.7(초)에서 접근 지체가 10.1(초/대)로 KHCM의 10(초/대)와 유사한 접근 지체가 분석되었다. 각 CASE별로 분석된 임계간격의 평균치는 <표 11>과 같다.

<표 11> CASE별 분석된 임계간격 평균치

CASE	평균 임계간격(초)
CASE I	2.9
CASEⅡ	2.8
CASEⅢ	2.5

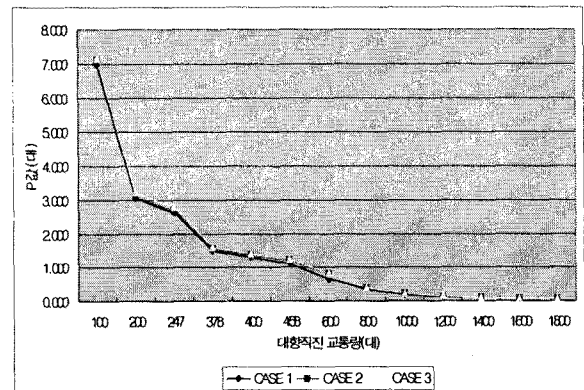
### 5)VISSIM모형을 이용한 P값 분석

KHCM에서 제시한 대향직진교통량별 P값을 모두 현장에서 실측이 불가능하므로 낮은 대향직진 교통량부터 높은 대향직진 교통량조건을 가상조건에서 VISSIM을 이용하여 P값을 분석하였다. 분석에 사용된 임계간격은 각 CASE별로 분석된 평균 임계간격 CASE I-2.9(초), CASEⅡ-2.8(초), CASEⅢ-2.5(초)을 적용하였으며, 좌회전 도착교통량의 차이로 발생하는 P값의 차이를 없애기 위해 각 CASE별로 좌회전 교통량을 동일하게 입력하여 분석하였다. <표 12>는 분석된 각 대향직진 교통량별 P값을 나타내며, <그림 7> CASE별 P값의 변화를 나타낸다.

<표 12>대향직진 교통량에 따른 P값

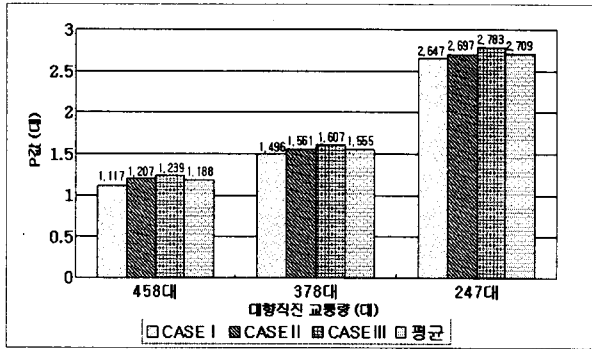
$V_0$	100	200	247	378	400	458	600
CASE1	6.960	3.060	2.647	1.496	1.303	1.117	0.663
CASE2	7.080	3.105	2.697	1.561	1.370	1.207	0.808
CASE3	7.170	3.205	2.783	1.607	1.410	1.239	0.820

$V_0$	800	1000	1200	1400	1600	1800
CASE1	0.344	0.205	0.119	0.097	0.069	0.055
CASE2	0.390	0.219	0.140	0.104	0.076	0.060
CASE3	0.401	0.239	0.148	0.104	0.079	0.062



<그림 7>CASE별 대향직진 교통량에 따른 P값의 변화

분석된 P값 중에 실측을 통해 조사된 CASE별 대향직진 교통량 458(대), 378(대), 247(대)의 P값 분석한 결과<그림 8>와 같이 나타났다.

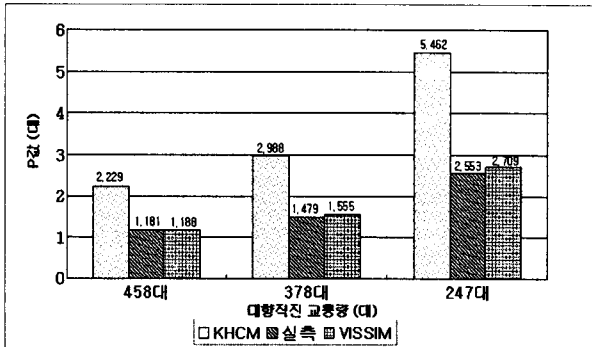


<그림 8> CASE별 보간법에 의한 P값 비교

분석 결과 대향직진 교통량이 같은 조건에서 각 CASE별로 적용된 임계간격에 의해 P값의 차이를 보이고 있다. 임계간격이 클수록 P값은 적게 나타나고 있다.

#### 6) 각 모형의 P값 비교 결과

KHCM에서 제시하고 있는 P값(보간법을 사용함)과 실측된 P값, VISSIM모형을 통해 구한 CASE별 평균 P값을 비교하면 <그림 9>과 같다.



<그림 9> 각 모형의 P값 비교

실측된 P값과 VISSIM모형 P값의 차이는 0.007~0.156(대)로 비슷한 분석결과가 나타났으나, KHCM에서 제시된 전용차로의 P값과 공용차로에서 실측된 P값의 차이는 1.048~2.909(대)로 매우 큰 차이를 보였다.

#### IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 공용차로에서 P값과 KHCM에서 제시된 전용차로에서의 P값 차이를 알아보기 위하여 연구를 진행하였다. 연구 결과 실측된 대향직진 교통량 247(대), 378(대), 458(대)에 대한 P값과 KHCM의 전용차로를 기준으로 제시된 P값 중 본 연구에서 분석된 범위의 P값은 큰 차이를 보였다. <그림 9>과 같이 그 차이는 작

게는 1.048(대)에서 크게는 2.909(대)로 나타났다. 따라서 KHCM의 전용차로를 기준으로 제시된 P값을 공용차로에 적용하는 것은 공용차로의 비보호좌회전 용량에 산출에 오류가 나타날 것으로 판단된다. 이로 인해 공용차로로 운영되는 비보호좌회전 교차로에 대한 정확한 분석에 오류와 문제점이 발생할 것이다.

본 연구는 공용차로에 적용될 정확한 P값을 산출하는데 초점을 맞추기 보다는 P값이 전용차로와 공용차로에서 서로 다른 값을 보여 비보호좌회전 용량 분석에 있어 전용차로와 공용차로에 서로 다른 P값이 적용되어야 한다는 문제점을 제시함으로써 계속적으로 많은 연구가 이루어질 수 있는 계기를 마련할 것으로 보인다.

본 연구는 현장조사를 통해 조사된 대향직진 교통량 247(대), 378(대), 458(대)의 제한된 범위에서 연구를 진행하였다. 그러므로 본 연구에서 분석되지 못한 범위의 대향직진 교통량별 P값의 연구가 지속적으로 이루어져야하며, 연구결과가 보편타당성을 확보하기 위해서 다양한 조건(대향직진 차로수, 교차로의 기하구조 등)에서 많은 공용차로 비보호좌회전 교차로에 대한 현장자료 수집을 통한 연구가 이루어져야한다.

#### 참고문헌(參考文獻)

1. 도철웅, "비보호좌회전 용량 및 보정계수에 관한 이론적 연구", 대한교통학회지 제 18 권, 1999
2. 김경환, "좌회전 운전자의 수락간격행태 모형, 대학교통학회지", 제 4 권 제 2호, 1986
3. 윤수정, "공용차로에서의 비보호좌회전 보정계수 산정방안 연구", 한양대학교 석사 논문, 2000
4. 경찰청, 도로교통안전관리공단, 교통안전시설실무편람, 2000
5. 건설교통부, 도로용량편람, 2001
6. E. S. Parras and R. P. Roess, Left-Turn Adjustment for Permitted Turns from Shared Lane Groups: Another Look, TRR1398, TRB, 1993
7. Fambro, D.B., C.J. Messer and D.A. Anderson, "Estimation of Unprotected Left-Turn Capacity at Signalized Intersection". TRR 644, TRB, 1977