

□ 論 文 □

비신호교차로에서의 교통류특성 및 접근지체모형 개발

-상충지역 통행속도 이용-

Traffic Flow Characteristics and Approach Delay Models
of Unsignalized Intersections Based on the Travel Speed

朴 龍 鎮

(계명대학교 교통공학과 교수)

— 목 차 —

I. 서 론

- 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 비신호교차로의 운영방식에 따른 상충교통량 및 운영실태
- II. 비신호교차로 지체모형의 이론적 도출
- 1. 용어정의
 - 2. 통행속도모형을 이용한 접근지체모형

III. 자료수집

IV. 분석

- 1. 속도의 누적분포 및 Percentile속도
- 2. 상충방향의 영향도 및 통행속도모형 도출
- 3. 접근지체모형 도출

V. 결론

— ABSTRACT —

The purposes of this study are to identify Traffic Flow characteristics and to develop approach delay model of unsignalized intersection based on the travel speed in the conflicting area.

The results of this study are as following;

- 1. The cumulative frequency distributions of Left-turning speed show a few differences among approaches and they are distributed to lower range of speeds. On the other hand, those of through speed show obvious differences among bounds. The similar results also show in the analysis of Percentile speed.
- 2. The effectiveness of conflicting movements to travel speed in the conflicting area are analyzed using regression analysis. Left-turning speed model shows that Left- and Right-Conflicting speed. Through-speed model is also developed, when approaching through volume is less than 420vph.
- 3. Since the lost time due to the acceleration stop, and deceleration is occurred in the conflicting area, approach delay model is delivered using the travel speed models under the condition of small queuing delay.

* 이 논문은 1993년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

신시가지의 대규모 주거지역은 격자형 도로구조로 계획되어 4지 교차로가 많은 것이 특징으로 비신호체계로 운영되는 곳이 많다. 비신호 운영체계는 신호교차로와는 달리 표지판(우선멈춤, 양보)이나 선입·선출(first-come, first-served) 법칙에 의하여 운영되며 운영방식에 따라 두 방향이 우선멈춤 표지판으로 통제되는 교차로 (Two-Way Stop Controlled Intersection: TWSCI)와 모든 방향이 우선멈춤표시판으로 통제되는 교차로 (Multi-Way Stop Controlled Intersection: MWSCI)로 나눌 수 있다.

두 방향이 우선멈춤 표지판으로 통제되는 교차로(TWSCI)는 주도로가 부도로에 비해 교통량이 많거나 통행속도가 높아 부도로에 우선멈춤 표시판을 설치하여 주도로 차량에 우선권을 주고, 부도로의 차량은 주도로 교통류의 차두간격을 이용하여 교차로를 통과하는 형태로 운영되는 교차로이다. 모든 방향이 우선멈춤 표시판으로 통제되는 교차로(MWSCI)는 각 방향에 우선멈춤표시판을 설치하여 차량들의 도착순서에 의하여 차례로 통과하는 형식으로 운영되는 교차로이다.

비신호교차로를 신호교차로처럼 일정한 시간 동안 우선권을 지정해 주는 등화없이 사용자(운전자와 운전자)들간의 개별적인 판단에 의하여 운영되는 교차로이다. 그러나 우리나라의 경우 교통법규의 불명확성 및 자동차 문화의 미정착으로 인하여 사용자간에 규칙이 뚜렷하게 인식되어 있지 않아 비신호교차로내에서 교통사고 위험성은 매우 심각한 실정이다. 특히 주거지역

에 위치하고 있는 대부분의 비신호교차로는 우선멈춤 표지판이 없고 횡단보도 표지판이 우선멈춤 표지판을 대신하고 있어 MWSCI의 운영형태를 갖추고 있으나 운영에 있어서는 MWSCI의 운영방식인 선입·선출방식 및 양보규칙들이 잘 시행되지 않고 있다. 이것은 사용자들 간의 규칙이 무시되고 있을 뿐만 아니라 교통특성의 분석 없이 일률적으로 MWSCI운영방식을 도입하는데 있다. 또한 비신호교차로의 분석을 위한 지체도나 용량을 산출하는 모형이 없어 비신호교차로 분석에 어려움이 있는 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 신개발 주거지역내의 비신호교차로 운영특성을 분석하고, 회귀분석을 통하여 교차로 통과속도에 영향을 미치는 상충(相衝)방향의 영향을 분석하여 보다 실질적인 비신호교차로 운영 방안을 제시하고, 상충지역 통과속도모형을 근거로 접근지체모형을 도출하는데 있다.

2. 비신호교차로의 운영방식에 따른 상충 교통량 및 운영실태

비신호교차로는 신호등과 같이 사용자에게 우선방향을 지정해주는 등화가 설치되어 있지 않아 사용자들간에 우선방향이 결정되어 운영되는 교차로이므로 주진행방향이 결정되면 그 방향에 방해가 되는 상충방향들이 결정된다. 상충방향의 결정은 <표1>과 같이 비신호교차로의 운영방식과 진행방향에 따라 달라진다. TWSCI운영방식에 주도로의 좌회전 차량은 대향방향의 직진차량에 영향을 받아 대향방향의 직진 교통량이 상충 교통량이 된다. 반면에 주도로의 직진방향은 우선권이 주어졌으므로 아무런 상충교통량 없이 교차로와 상충지역을 통과할 수 있게 된다. TWSCI의 부도로에서는 좌회전과 직진방향이 주

도로와 대향방향의 차량에게 방해받으므로 상충교통량은 주도로의 교통량과 대향방향의 좌회전과 직진교통량이 된다. 그러므로 TWSCI의 분석은 부도로의 분석을 주도로의 차두시간간격, move-up time과 도착 분포등을 이용한 용량 모형과 지체 모형이 개발되었다.^{2,3,4,5,6,15} 또한 TWSCI의 분석을 위한 모형은 미국의 도로용량 편람에 제시되었으나 효과척도에서 사용된 예비용량(reserve capacity)과 모형이론에 문제점들이 여러 연구^{13,14,15}에서 제시되고 있다.

모든 방향이 우선멈춤으로 통제되는 MWSCI

의 운영방식은 모든 진입로의 차량이 선입·선출의 원칙하에 상충지역에 진입하기 전에 완전한 멈춤을 하고 좌·우·앞을 살피고 진입하게 되어 있다. 그러므로 MWSCI에서 각 방향의 상충교통량은 TWSCI의 부도로 경우와 같이 좌·우 상충방향과 대향방향의 좌회전 및 직진교통량이 상충교통량이 된다.

우회전에 대한 상충교통량은 좌측에서 오는 직진교통량 및 우회전 교통량이나 본 연구에서는 우회전에 대한 분석은 제외한다.

〈표 1〉 비신호교차로 운영방식에 따른 각 이동방향의 상충교통량

운영방식	도로형태	이동방향	상충교통량
TWSCI	주 도로	좌 회 전 직 진	대향방향의 직진 교통량 없음
	부 도로	좌 회 전 직 진	좌·우 상충방향의 좌회전 및 직진과 대향방향의 좌회전 및 직진 교통량
MWSCI	부 도로	좌 회 전 직 진	좌·우 상충방향의 좌회전 및 직진과 대향방향의 좌회전 및 직진 교통량

MWSCI의 용량모형은 Kyte⁷에 의한 각 방향의 교통량의 비를 이용한 모형과 주방향의 교통량 비를 이용한 Herbert⁹ 모형이 있고, 지체모형으로는 Kyte, Zegger, & Lall⁸이 제시한 지체모형은 용량산정모형을 이용한 정지지체모형으로 기본 전제가 선입·선출의 조건에서 개발 되었기 때문에 교차로 운행질서가 지켜지지 있지 않는 우리나라 현실에 적용하기에는 적합치 않다.

Kyte, Zegger, & Lall⁸의 지체모형은 각 방향의 교통량 비(比)를 변수로 용량을 산정하였으나 좌·우상충방향의 직진 교통량은 용량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 산정된 용량과 교통량의 비를 변수로한 정지지체모형(D)을 도출하였다. 도출된 모형은 〈식1〉과 같다.

$$D = e^{\frac{38}{C} \cdot SAV} \dots\dots\dots \langle \text{식1} \rangle$$

여기서

SAV=주방향 교통량

C =주방향용량

$$= 1000\%SAV + 700\%OAV + 200\%SAL - 100\%OAL - 300\%OALV + 200\%OARV - 300\%LRALV + 300\%LRARV$$

%SAV=주방향 교통량비

%OAV=대향방향 교통량비

SAL=주방향 차선수

OAL=대향방향 차선수

%OALV=대향방향 좌회전 교통량비

%OARV=대향방향 우회전 교통량비

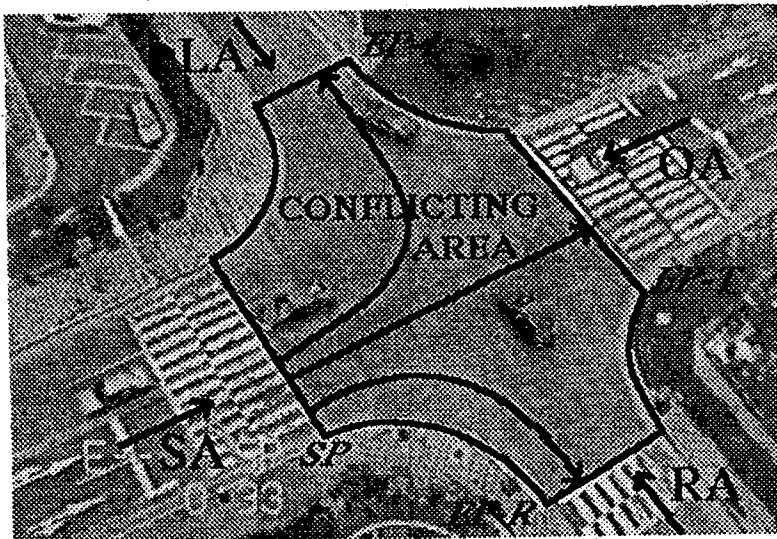
%LRALV=좌우상충방향 좌회전 교통량비

%LRARV=좌우상충방향 우회전 교통량비

현재 지방국도의 비신호교차로를 제외하고 거의 모든 비신호교차로는 횡단보도 표지판이 우선멈춤 표지판을 대신하는 MWSCL의 형태를 갖추고 있으나 비신호교차로에서의 사고 유형을 보면 교차로 통행위반이 87%¹⁰로 나타나 MWSCL의 운영방식인 선입·선출의 법칙이 실제적으로 무시되고 있는 실정이며 상충지역을 진입하기 전에 완전한 멈춤이 지켜지지 않고 있다. 외국의 경우도 지난 50년간 비신호교차로에서의 멈춤 상태를 조사한 1983년 연구에서 비신호교차로에서의 우선 멈춤은 실질적으로 완전한 멈춤보다 rolling stop의 비율이 점점 높아지고 있는 것으로 나타났으며¹¹ 최근의 연구에 의하면 비신호교차로에서의 우선 멈춤의 형태는 작게는 60%에서 최고 93%까지 rolling stop으로 나타나 완전한 멈춤을 하지 않고 교차로를 통과하는 차량이 평균 75%로 나타났다.¹² 따라서 비신호교차로에서는 정지지체시간을 예측하는 모형을 직접 도출하기는 어려운 실정이다.

II. 비신호교차로 지체모형의 이론적 도출

〈그림1〉 비신호교차로



1. 용어정의

본 연구에서 사용되는 용어를 다음과 같이 정의하였다. 〈그림1〉에서와 같이 연구진행방향을 주진행방향(Subject Approach:SA)으로 하고 교통량은 SAV로 정의하면 AS는 3가지 상충방향을 갖는다. SA의 정반대 방향에 있는 대향방향(Opposing Approach:OA)과 SA의 좌·우에서 있는 좌·우상충(相衝)방향(Left- & Right-Conflicting Approach:LA & RA)등 3가지 상충방향을 갖게 되고 그 교통량을 각각 OAV, LAV, RAV로 나타낸다. 또 이런 교통류가 교차하는 지역으로 교차로횡단보도선을 경계로 안쪽지역을 상충지역(Conflicting Area)이라고 하고 상충지역을 통과하는데 소요되는 시간을 통행시간(Travel Time:TT)으로 정의한다. TT는 차량이 상충지역 시작지점(횡단보도선)인 SP(Starting Point)를 통과할 때부터 상충지역이 끝난 지점 EP(Ending Point)를 통과할 때 까지의 시간으로 하며 상충지역이 끝나는 지점은 주진행방향 차량의 회전방향에 따라 EP-L(좌회전), EP-T(직진), EP-R(우회전)로 표기 된다.

2. 동행속도모형을 이용한 접근지체모형

현재 우리나라 비신호교차로는 선입·선출법칙 및 양보규칙들이 잘 시행되지 않아 상충지역 통행시간(TT)은 상충방향의 교통량이 많을 수록 상충방향의 차두시간간격이 좁아져 상충지역을 통과하는 시간이 길어지고 반면에 상충방향의 교통량이 적을 수록 상충방향의 차두시간간격이 커져 통과하는데 용이하여 상충지역 통행시간이 짧아진다. 따라서 상충지역 통행시간은 상충방향 교통량의 함수로 나타낼 수 있다.

현재 비신호교차로는 MWSCI의 운영방식을 갖추고 있으므로 이에 따른 이동방향별 유출·입 차선수별 상충교통량을 보면 <표2>에서와 같다. 좌회전의 경우 상충교통량은 유출부 차선수에 따라 다르므로 유출부가 2차선수인 경우 대향방

향의 좌회전 및 직진교통량(OALTV)과 좌·우 상충방향의 좌회전 및 직진 교통량(LALTV, RALTV)이 상충교통량이 되고, 1차선인 경우는 대향방향의 우회전이 합류되므로 대향방향의 좌회전, 직진 및 우회전 교통량(OALTRV)과 좌·우 상충방향의 좌회전 및 직진 교통량(LALTV, RALTV)이 상충교통량이 된다.

직진의 경우 대부분 유입과 유출 차선수가 같으므로 차선수와 관계없이 상충교통량은 대향방향의 직진교통량(OATV)과 좌회전교통량(OALV), 좌측방향의 좌회전 및 직진 교통량(LALTV)이 되고 우측방향의 상충교통량은 우회전 교통량이 직진교통류에 합류 되므로 좌회전, 직진 및 우회전교통량(RCLTRV)으로 이루어진다.

<표 1> MWSCI운영방식의 유출·입 차선에 따른 이동방향별 상충교통량

운영방식	이동방향	차선수 유입=>유출	상 충 교 통 량
MWSCI	좌 회 전	2=>1	대향방향의 LT+TH 교통량(OALTV) 좌·우 상충교통량 (LALTV, RALTV)
		1=>2	대향방향의 LT+TH+RT 교통량(OALTRV), 좌·우 상충교통량(LALTV, RALTV)
	직 진	2=>1	대향방향 교통량(OALV, OATV) 좌방향 LT+TH 교통량(LALTV) 우방향 LT+TH+RT 교통량 (RALTRV)
		1=>1	대향방향 교통량(OALV, OATV) 좌방향 LT+TH 교통량(LALTV) 우방향 LT+TH+RT 교통량 (RALTRV)

이동별 통행시간은 장소나 이동방향에 따라 다르므로 통행거리를 적용한 동행속도의 개념을 도입하여 상충지역 동행속도 모형을 도출한다. 동행속도 모형은 이동방향별로 상충교통량이 다

르므로 좌회전과 직진을 분리하여 <식2>과 <식3>에서 처럼 상충방향 교통량과 주진행방향의 교통량의 함수로 나타낼수 있다.

$$SP_L = \frac{TT_L}{D_L} = \frac{f(SALV, SATV, SARV, OALTV, LALTV, RALTV)}{D_L} \dots\dots\dots \langle \text{식}2 \rangle$$

$$SP_R = \frac{TT_R}{D_R} = \frac{f(SALV, SATV, OALV, OATV, LALTV, RALTRV)}{D_R} \dots\dots\dots \langle \text{식}3 \rangle$$

여기서

- SP_L=좌회전 통행속도
- D_L=좌회전 통행거리
- TT_L=좌회전 통행시간
- SALV=주방향 좌회전 교통량
- OALV=대향방향 좌회전 교통량
- OALTV=대향방향 좌회전 및 직진 교통량
- LALTV=좌측상충방향 좌회전 및 직진 교통량
- RALTV=우측상충방향 좌회전 및 직진 교통량
- RALTRV=우측상충방향 좌회전, 직진 및 우회전 교통량
- SP_T=직진 통행속도
- D_T=직진 통행거리
- TT_T=직진 통행시간
- SATV=주방향 직진 교통량
- OATV=대향방향 직진 교통량

MWSCI형식을 갖고 있는 비신호교차로에서 상충지역에 진입한 차량은 상충교통량이 있으면 속도를 줄여서 상충교통량을 피해 통과하며, 상충교통량이 많아지면 정지한 후 통과하게 된다. 앞에서도 언급되었듯이 비교적 규칙이 잘 지켜지는 외국의 경우도 비신호교차로 통과시 최고 93%가 rolling stop으로 교차로를 통과하는 것으로 나타났다. 이는 정지선에서 진입 결정이 이루어지는 것이 아니고 교차로 내에 진입하면서 속도를 조정하여 교차로를 빠져 나가는 경우를 의미하며 우리나라의 경우도 예외는 아니다. 이와 같이 감속을 하거나 정지하거나 가속에 의한 지체는 상충지역안에서 발생하므로 상충지역 통과시간은 대기행렬에 의한 지체시간이 아주 작은 비신호교차로의 경우 접근지체시간으로 나타낼 수 있다.

그러므로 비신호교차로의 방향별 접근지체시간(초/대)은 좌회전과 직진 통행속도모형과 교통량 및 통행거리를 가중평균을 이용하여 방향

별 접근지체시간모형(AD_b)은 (식4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$AD_b = \frac{L V_b(D_{Lb}/SP_L) + TV_b * (D_{Tb}/SP_T)}{L V_b + TV_b} \dots\dots\dots (식4)$$

여기서

- L V_b=방향별 좌회전 교통량
- D_{Lb}=방향별 좌회전 통행거리
- AD_b=방향별 접근지체시간
- TV_b=방향별 직진 교통량
- D_{Tb}=방향별 직진 통행거리

Ⅲ. 자료수집

본 연구는 대구시 주거지역내의 비신호교차로 중에서 시야가 양호하고, 평지로 되어있는 4개 지점을 선정하였다. 장소1은 4방향 모두 편도 2차선이고 그 외의 장소는 동서방향은 편도2차선, 남북방향은 편도 1차선으로 되어 있다. 노면방향 지시표시는 2차선인 경우는 좌·직진+직진·우회전으로 되어 있으며 1차선인 경우는 좌·직진·우회전으로 표시되어 있다. 자료수집은 Video Camera를 이용한 방법으로 교차로의 상충지역이 충분히 녹화될 수 있고, 운전자가 자료수집활동으로 인하여 운전행동에 영향을 미치지 않고, 사상오차(Parallax Error)⁴를 최소화하기 위하여 교차로에 인접한 15층 아파트 옥상에 Camera를 설치하여 오전첨두시간에 녹화 하였다. 수집된 자료는 VTR에 부착된 TIMER(1/30초단위)를 이용하여 SP에 도착한 시간 및 EP에 도착한 시간을 각 방향별 이동방향에 따라 수작업으로 실시하였다. 또한 각 장소별 이동방향의 통행거리는 실측에 의해 이루어 졌다.

조사자료에서 SP에 도착한 시간과 EP에 도착한 시간을 각 시간대별, 접근방향별 및 회전방향

별로 FORTRAN Program을 이용하여 교통량과 상충지역 통행시간(TT)을 계산하였다. 각 방향의 시간대별 교통량 및 분포율은 <표3>과 같다. 평균 교통량 분포는 256-1034vph로 접근방향에

따라 차이를 나타내고 있으며 장소별 접근방향의 분포율은 교통량이 많은 장소1의 동서방향과 그 외 장소의 남북방향이 63%에서 68%의 분포를 나타내고 있다.

<표 3> 각 장소별 접근 방향별 교통량 및 분포율

장소	접 근 방 향								vph
	동 방 향		서 방 향		남 방 향		북 방 향		
	vph	%	vph	%	vph	%	vph	%	
1	454	23	860	43	294	15	368	19	1976
2	352	28	470	16	596	25	1034	43	2452
3	308	12	514	21	657	26	1029	41	2508
4	256	18	278	20	492	35	402	28	1428

접근방향별 및 회전방향별 상충지역 평균 통행시간은 <표4>에서와 같이 좌회전인 경우 통행거리가 긴 장소1에서는 9.2초에서 19.2초로 분포되어 있고 그 외 지역은 10초 이내로 분포되어 있다. 직진인 경우 교통량이 많은 장소1의 동서

방향은 5초내외이며, 그 외의 지역의 남북방향은 3초내외로 분포되어 있고, 교통량이 적은 방향은 10-14초 내외로 분포되어 있어 큰 차이를 보이고 있다.

<표 4> 각 장소에 따른 접근방향별 및 회전방향별 평균 통행시간(초)

장소	접 근 방 향											
	동 방 향			서 방 향			남 방 향			북 방 향		
	L	T	R	L	T	R	L	T	R	L	T	R
1	12.1	5.4	7.2	9.2	5.0	5.2	19.2	14.3	12.0	13.2	14.7	7.4
2	10.4	9.9	3.7	0.0	14.1	6.0	7.0	3.2	3.6	6.5	3.2	1.8
3	9.5	8.8	4.6	4.9	13.6	5.1	7.9	3.6	2.3	6.9	3.3	1.4
4	10.4	11.5	2.5	10.8	13.8	5.2	4.1	2.2	2.7	7.7	2.1	2.6

IV. 분석

상충지역을 통과하는 속도를 분석하기 위해 장소별, 이동방향(LT, TH, RT)별 누적분포를 접근방향(EB, WB, SB, NB)별로 작성하고, Percentile속도를 비교하였다. 상충지역 통행시간은 상충방향의 교통량, 주방향의 교통량과 통행거리를 변수로 방향별 통행속도모형을 도출한다. 도출된 좌회전 및 직진 통행속도모형과 각 이동방향별

통행거리와 교통량을 가중평균하여 방향별 접근 지체모형을 도출한다. 본 분석에서 사용된 교통량은 진행방향별 유입교통량으로 단위는 대/15분으로 한다.

1. 속도의 누적분포 및 Percentile속도

통과 속도는 매 5Km/h 간격으로 각 장소에 따른 이동류의 속도 분포도를 방향별로 <그림2>

에 나타났다. 좌회전(LT)의 통행속도의 누적분포는 장소나 접근 방향에 따라 뚜렷한 차이를 나타내고 있지 않으며 비교적 낮은 속도 분포를 나타내고 있다. 반면에 직진(TH)의 속도는 장소별 약간의 차이는 있으나 동방향과 서방향이 비슷하고, 남방향과 북방향이 비슷하나, 동서방향과 남북방향의 속도 차이는 뚜렷하게 나타나고 있다. 장소1은 남북방향은 낮고 동서방향은 높은 속도에 분포되어 있고 그 외의 지역은 동서방향은 낮고 남북방향은 높은 속도에 분포되어 동서와 남북방향의 속도 분포는 분명한 차이를 보이고 있다. 우회전의 경우는 다소 차이는 있으나 거의 같은 분포를 나타내고 있다.

장소에 따른 방향별 50 및 85 Percentile 속도를 이동류별로 나타내면 <표5>와 같다. 좌회전에서 자료수가 적은 경우를 제외한 85Percentile 속도는 15Km/h에서 26Km/h사이 에 분포되어 있고, 50Percentile 속도는 8-17Km/h의 분포를 나타내고 있다. 유출부차선에 따른 85Percentile속도의 분포는 2차선인 경우(장소1과 그의 장소의 동서방향) 15-23Km/h를 나타내고 1차선인 경우는 20-28Km/h의 분포를 보이고, 50Percentile 속도

의 분포는 유출부가 2차선인 경우와 1차선인 경우 각각 9-14Km/h의 분포와 13-17Km/h의 분포를 나타내고 있다. 85Percentile속도분포는 유출부 차선에 따라 다소 차이를 나타내고, 50Percentile속도는 매우 작은 차이를 보이고 있으나 유출부의 차선수에 따라 상충교통량이 다르므로 좌회전의 통행속도모형은 유출부 차선에 따라 분석이 이루어 진다.

직진의 경우 85Percentile 및 50Percentile속도는 각각 15-45Km/h와 9-36Km/h의 분포를 보이고 있어 좌회전에 비하여 분포 차이가 큰 것으로 나타내고 있다. 분포의 차이는 접근방향이 2차선이고 교통량이 많은 방향의 속도를 보면 38Km/h에서 46Km/h의 분포를 나타내고, 교통량이 적은 방향의 속도는 15-24Km/h의 분포를 나타내고 있다. 50Percentile속도 또한 접근 방향의 교통량에 따라 25-36Km/h와 9-15Km/h의 분포를 나타내고 있어 직진차량의 속도는 접근 방향의 교통량에 따라 2배 이상의 차이를 보이고 있다. 따라서 직진의 통행속도는 주방향의 교통량변화에 따른 분석이 이루어진다.

<표 5> 각 장소별 진행방향에 따른 이동류의 Percentile속도(Km/h)

장소	PER-CENTILE	접 근 방 향											
		동 방 향			서 방 향			남 방 향			북 방 향		
		LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
1	50	12.8	24.6	17.5	13.8	29.8	18.0	7.6	10.6	14.3	10.5	10.0	12.8
	85	22.2	37.8	23.5	23.5	39.8	23.1	15.0	19.6	20.1	18.2	19.3	19.2
	n	91	548	42	103	1027	158	119	121	202	71	292	189
2	50	9.1	13.9	12.4	-	8.6	11.4	14.5	28.8	12.5	16.2	29.0	-
	85	17.4	21.6	16.6	-	15.3	17.8	22.5	44.0	17.6	23.6	42.1	-
	n	115	27	36	0	43	190	37	190	75	99	418	1
3	50	11.6	15.3	15.0	-	9.2	12.8	17.2	26.6	15.0	15.6	28.4	-
	85	20.5	24.4	19.9	-	16.1	19.5	27.8	39.2	18.7	23.9	41.4	-
	n	209	39	62	1	102	416	108	410	144	183	849	2
4	50	8.9	12.9	17.1	-	10.6	12.1	13.3	36.5	23.1	-	24.6	-
	85	16.5	18.9	21.5	-	15.5	18.2	20.8	46.4	33.9	-	45.9	-
	n	92	22	14	3	24	112	36	126	38	5	235	7

* 자료수가 10개 미만인 경우임.

2. Literature Review

Even though a few researchers have attempted to combine regional input-output models with other urban models (Moses (1960), Wilson (1970), Hewings (1985), and Kim et al (1983)), there have been very limited attempts to develop a metropolitan input-output model. Here, I will review several researches on combining the regional input-output model with the spatial allocation model.

2.1 A. G. Wilson

Wilson (1970) derived four types of linkage between input-output and commodity flow models: 1) the unconstrained gravity input-output model, 2) the production constrained gravity input-output model, 3) the attraction constrained gravity input-output model, and 4) the production-attraction constrained gravity input-output model. This review explores the unconstrained gravity input-output model because the other three models have the same functional forms except the equation(s) added into constraints such as demand or (and) supply constraints. Basically his model is a modification of the Leontief-Strout model (1963) by integrating gravity and input-output models using entropy-maximizing principles. Wilson's unconstrained gravity input-output model has the following objective function and constraints.

$$\text{Max } S = - \sum_{ijm} X_{ij}^m \ln X_{ij}^m \quad (2.1)$$

st.

$$\sum_j X_{ji}^m = \sum_n (a_{mn}^i \sum_j X_{ij}^n) + Y_i^m \quad (2.2)$$

$$\sum_{ij} c_{ij}^m X_{ij}^m = C^m \quad (2.3)$$

where X_{ij}^m = the flow of commodity m between zone i and j ; a_{mn}^i = input-output coefficients defining the requirements of sector m 's output per unit output of sector n in zone i ; Y_i^m = the exogenously pre-specified demand for m in zone i ; c_{ij}^m = the average cost of movement of m between zone i and j ; and C^m = total transportation cost for the commodity m .

Wilson's contribution is the integration of a gravity model and an input-output model with the entropy maximization principle. In his non-linear programming model, interregional (zonal) commodity flows are determined, given interindustrial linkages and interregional transportation costs, while minimizing transportation cost or maximizing entropy. While his model can explain interindustrial linkages over space, it still falls short of providing an urban context. Since his model ignores commuting and shopping trips, his model cannot explain consumption patterns over space. Consumption patterns are one of the important factors in economic impact analysis not only because the allocation of induced impacts should be made based on money flows for the consumption activities but because the largest part of the exogenous sector is household consumption in the urban area (Artle, 1961)

2.2 S. M. Macgill

Macgill (1977) presents the Lowry model (1964) as an input-output model. Since the Lowry model is regarded as a metropolitan economic model which is a combination of the economic base model and the spatial interaction model, Macgill's formal presentation of the Lowry model as input-output model can be stated as the first attempt to build a metropolitan input-output model.

By extending the spatially aggregated model into the spatially disaggregated input-output Lowry model, Macgill fully incorporates trip matrices (work and nonwork trip flows) into the input-output Lowry model representation. This section presents an input-output transaction matrix by assuming two sectors and two zones, even though she assumed two nonbasic sectors and three zones.

(Table 2.1) Macgill's Spatially Disaggregated Model

	HH1	HH2	NB11	NB12	NB21	NB22	BAS	TOT
HH1	0	0	NB1T111	NB1T112	NB2T211	NB2T212	BTB1*	XH1
HH2	0	0	NB1T121	NB1T122	NB2T221	NB2T222	BTB2*	XH2
NB11	S111	S112	0	0	0	0	0	XR11
NB12	S121	S122	0	0	0	0	0	XR12
NB21	S211	S212	0	0	0	0	0	XR21
NB22	S221	S222	0	0	0	0	0	XR21

Table 2.1 shows the transaction matrix of the spatially disaggregated input-output Lowry model representation. HH, NB, and BAS in the table mean the household, nonbasic, and basic sectors. The first and second subscripts are sector and zone, respectively. Of initial interest are 1) the endogenous transactions in the table, and 2) the exogenously pre-specified basic employment. The first two rows present labor input from the household to nonbasic and basic industries by zone. NB_k and B present the wage rate for nonbasic industry k and basic industry, respectively. $T1_{ij}$, $T2_{ij}$, and TB_{ij} are the work trip flow matrix which can be presented as the singly constrained

model (destination constrained model) as follows:

$$T_{ij} = \frac{E_j^k f(c_{ij})}{\sum_j f(c_{ij})} \quad (2.8)$$

where E_j^k means the number of employed by type k (basic or nonbasic) in zone j, and the other part of equation is the probability matrix of commuting.

The third to last rows in the table show the shopping trips household in each zone make to purchase nonbasic industries 1 and 2. Like Romanoff's (1974) presentation of the economic base model in a matrix form, all intermediate transactions between

nonbasic and basic and among nonbasic industries are zero because no interdependence among nonbasic and between nonbasic and basic are assumed in the Lowry model. Moreover, the vector of basic sectors in the Table 2.1 is consistent with Romanoff's presentation. Since none of nonbasic industries output is consumed as final demand within the region or as exports to outside the region, all the cells representing the basic industries' purchase from nonbasic sectors are zero.

A significant modification to the overall model mechanism was made in order to overcome these limitations. A full set of interactions both within and between the basic and nonbasic sectors is accommodated into the input-output representation of the Lowry model, and all the cells with zero coefficients in the Table 2.1 are filled with non-zero coefficients.

Macgill presents the full extension of the Lowry model as an input-output model in a different way by incorporating the entropy maximizing concept. Unlike the endogenous variable of the previous matrix presentation of the model, X^m_j (total output in sector m in zone j), the maximum entropy representation of the extended model estimates the flow of commodity m between zone i and j , X^{m}_{ij} . From Wilson's (1970) entropy maximizing methods, the maximum entropy formulation of the Lowry model extensions depends on the expression of the underlying assumptions of that model in the form of constraining equations (Macgill, op. cit.). The entropy maximization of the ex-

tensions of the Lowry model has the same equational forms as Wilson's model has.

In summary, the multipliers of Macgill's Lowry input-output model accommodating all sectoral interactions are not very different conceptually from the so-called Type II multipliers in the input-output model, because both models have endogenous household consumption sector. One argument against Macgill's model, however, is that the multipliers from Macgill's model is not the same as those from the closed input-output model. Coefficients of the household sector in Macgill's model (shopping and labor input) are computed by using the wage rate and expenditure pattern, while coefficients of the household sector in the closed input-output model are computed directly from the transaction matrix. Therefore, Macgill's model cannot take account of the Type II multiplier effects as in the closed input-output model.

Another problem of Macgill's model is its applicability to the real world. In her model, zone- and sector-specific commuting and shopping flow information is ideal in Isard's sense but unrealistic, in particular, if zone and sector are highly detailed.

An alternative to overcome Macgill's limitations will be suggested in the following section.

3. An Integrated Urban Model

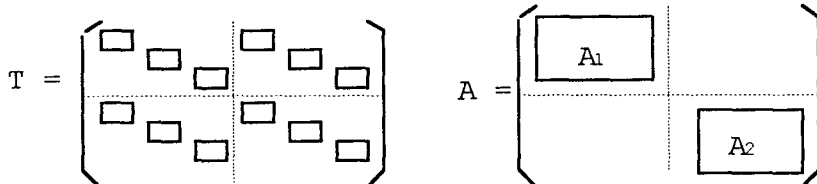
The characteristics of an urban economy, compared with a regional economy, are 1) high dependence of urban economic growth

on indigenous demand (household consumption), 2) a high degree of industrial linkage (agglomeration economy), and 3) free flows for commuting and shopping.

This section introduces a new urban model which includes the three above characteristics for urban economic models. The Integrated Urban Model (hereafter the IUM) is an extension of the combination of the regional input-output model and the gravity type model with the entropy maximization principle, modeled by Wilson. The IUM incorporates the Lowry type models within an input-output framework relieving several unrealistic assumptions in Macgill's input-output representation of Lowry model. The major difference of the IUM from Wilson's model is that the IUM has three types of flow matrices (work trips, non-work trips, and commodity flows) within the model, while Wilson's model has focused on estimating Leontief-Strout type commodity flows.

The IUM will be presented in two ways: 1) a matrix inverse multiplier model, and 2) a non-linear mathematical programming model.

3.1 The Integrated Urban Model as a Matrix Inverse Multiplier Model



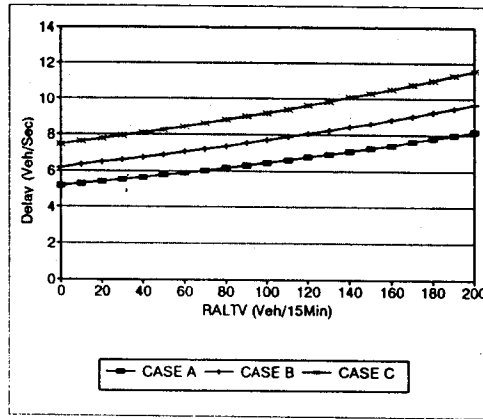
(Figure 3.1) The Structure of Matrices of Trade Flow and Technical Coefficients

The IUM is presented as a matrix inverse multiplier model in this section with three entropy maximization models as submodels. This section mainly consists of two parts: 1) estimating net indirect multipliers, and 2) estimating net induced multipliers. For calculating net indirect multipliers, interzonal trade flows will be estimated via an entropy maximization model. Given the trade flows, a multizonal input-output model will be introduced. For calculating the net induced multipliers, interzonal trip flows (commuting and shopping trips) will be estimated via two submodels with the entropy maximization principle and the multizonal input-output model will be adjusted via the trip matrices.

The IUM has a Leontief-Strout-type multiregional input-output model as its basic component. The multiregional input-output model can be written as follow:

$$X = (I - TA)^{-1} * TF \quad (3.1)$$

where X =total output; T =trade flow coefficients¹; and F =final demand. The inverse matrix represents output multipliers. If we assume two zones and three sectors in each zone, the T and A matrices will be presented as follow:



〈그림 5〉 지체도와 RALTV의 관계

5. 결 론

본 연구는 신개발 주거지역내의 비신호교차로 운영특성을 분석하고, 회귀분석을 통하여 교차로 통과속도에 영향을 미치는 상충(相衝)방향의 영향을 분석하여 보다 실질적인 비신호교차로운영 방안을 제시하고, 상충지역 통과속도모형을 근거로 접근지체모형을 도출하는 것이며 본 연구 결과는 아래와 같다.

1. 통행속도의 누적분포 및 Percentile속도

좌회전 통행속도의 누적분포는 일반적으로 진입방향에 따라 차이가 적고 비교적 낮은 속도에 분포되어 있고 직진 통행속도는 동서방향과 남북방향의 속도분포 차이가 뚜렷하게 나타났다.

상충지역 좌회전 통과속도는 진행방향이나 유출입차선수에 따라 Percentile속도의 차이는 없는 것으로 나타났으나 직진 통과속도는 접근방향의 유입교통량에 따라 현저한 차이를 보여 접근방향의 교통량에 따라 운영실태가 변함을 나타내고 있다.

직진통행속도모형은 주방향의 직진 교통량의 범위가 SATL≤130인 경우 현재의 MASCI의 상황을 가장 잘 나타내며 주방향의 직진과 좌회전은

양의 상관관계를 보였으며 좌·우상충방향(LCNT, RANT)과 좌회전과 직진을 합한 대향방향(OPP)의 상충교통량은 음의 상관을 나타내고 있다. ($R^2 = 0.8173$)

현재 MWSCI방식으로 운영되는 교차로에서 SATV가 130대/15분 보다 큰 교차로는 실제적으로는 TWSCI방식으로 운영되므로 주거지역내의 비신호교차로의 유입차선이 2차선이며 직진 교통량이 130대/15분 보다 크면 MWSCI의 운영방식 보다는 TWSCI운영이 바람직 한다.

3. 접근지체모형

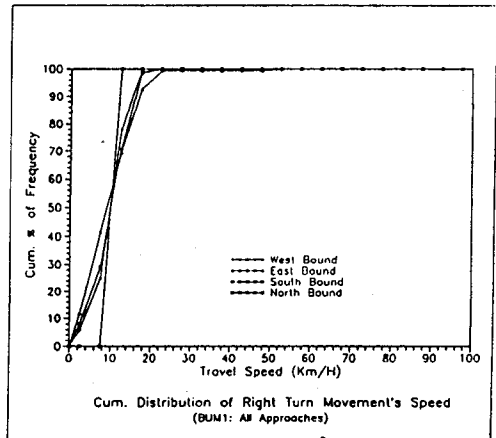
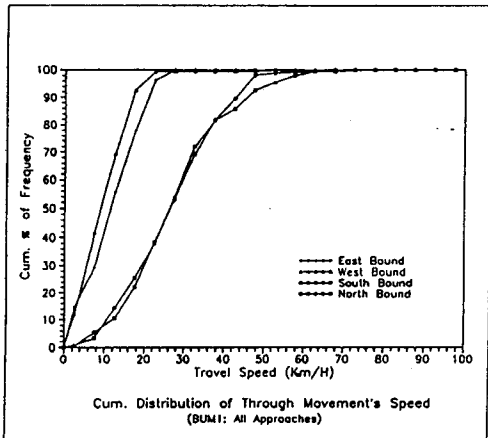
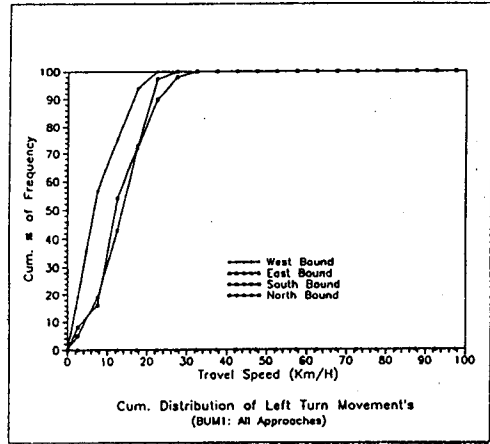
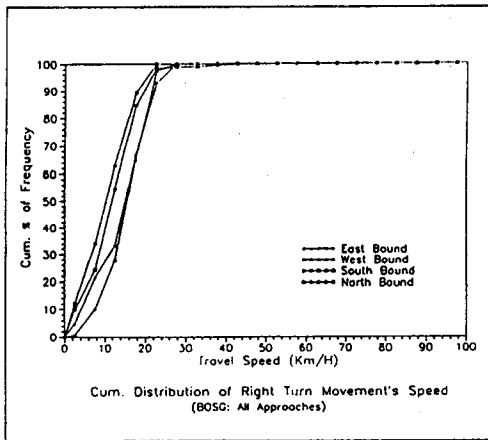
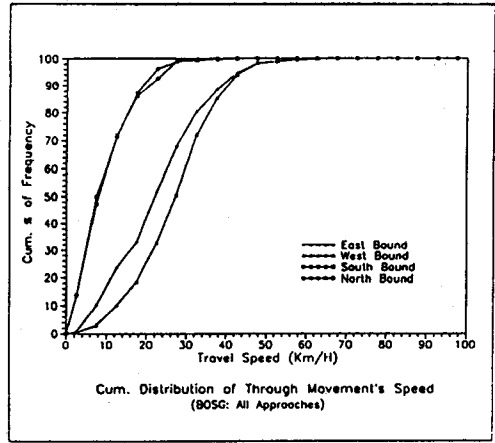
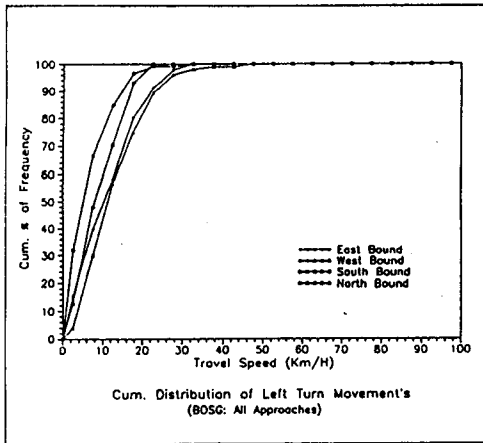
MESCI형식을 갖고 있는 비신호교차로에서 상충지역안에서의 가·감속 및 정지에 의한 지체는 상충지역안에서 발생하므로 상충지역 통과시간은 대기행렬에 의한 지체시간이 아주 작은 비신호교차로의 경우 접근지체시간으로 나타낼 수 있다. 따라서 회귀분석을 통하여 도출된 좌회전과 직진의 통행속도모형을 가중평균하여 접근지체모형을 유도하였다.

본 연구는 대구시 신개발 주거지역내의 비신호교차로를 대상으로 오전첨두시간 운영특성에 제한을 두어 오전첨두시간 이외의 시간에 교차로 통

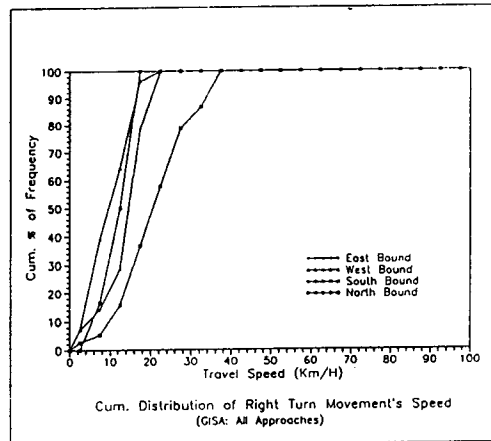
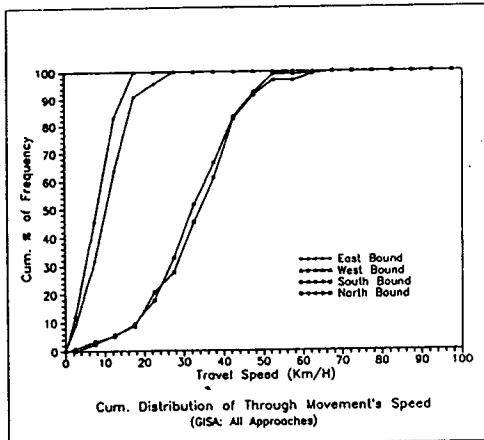
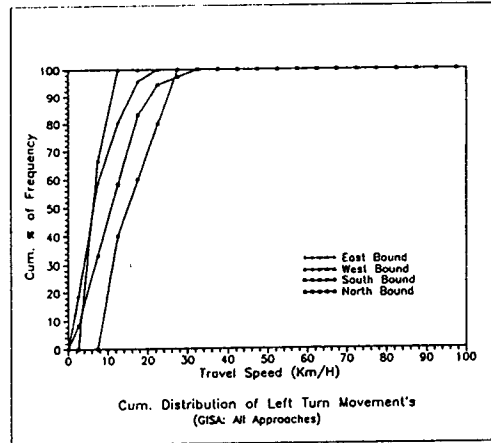
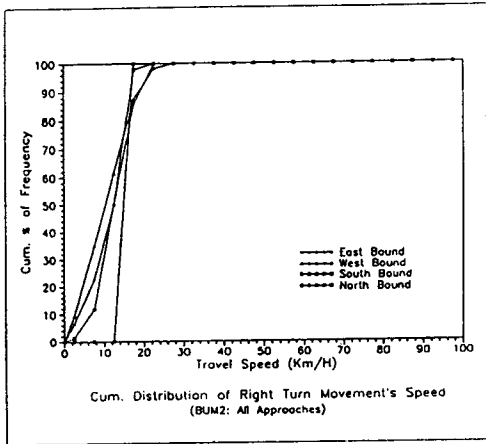
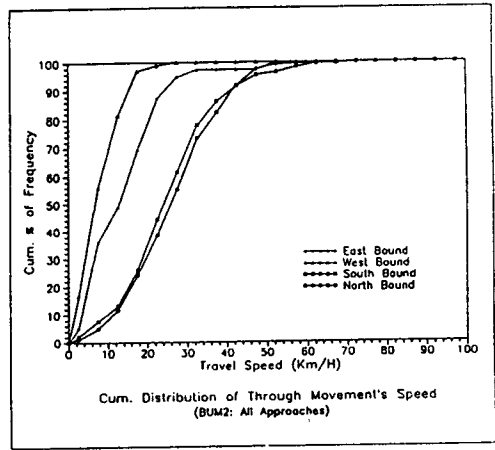
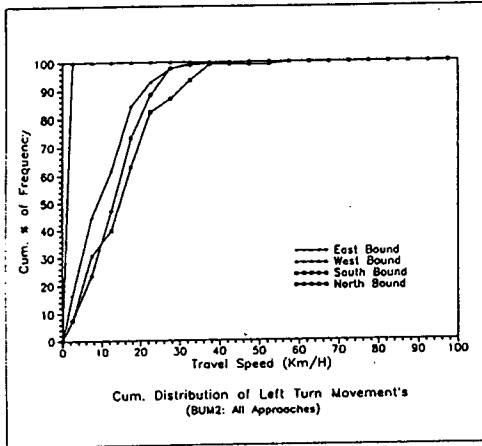
행속도에 영향을 미치는 보행자의 빈도수나 주변의 상인들의 활동 등 다른 변수들에 대한 영향이 포함된 비신호교차로의 분석이 추후 계속해서 연구되어야겠다.

참고 문헌

1. 도로교통안전협회(1993), 안전운전관리
2. Transportation Research Board (1985), Highway Capacity Manual, *Special Report 209*, TRB, Washing, D. C., Chapter 10.
3. Brilon, W. and Gerbmann, M. (1991), "The New German Guideline for Capacity of Unsignalized Intersections", *Proceeding of International Workshop on Intersections without Traffic Signals*, Bochum, FRG, pp. 62-82.
4. Kimber, R. and Coombe, R. D. (1980), "The Traffic Capacity of Major-Minor Priority Junctions", *Supplementary Report 582*, Transportation Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, U. K.
5. Tanner, J. C. (1962), "A Theoretical Analysis of Delay at Uncontrolled Intersections", *Biometrika Vol. 49*, pp. 163-170.
6. Dunne, M. C. and Buckley, D. J. (1972), "Delays and Capacities at Unsignalized Intersections", *Australian Road Research Board Proceedings, Vol. 6, No. 3*, pp. 345-358.
7. Kyte, M. (1991), "Estimating Capacity of an All-Way-Stop-Controlled Intersection", *TRR 1287*, Transportation Research Board, Washington, D. C., pp. 70-81.
8. Kyte, M., Zegeer, J., and Lall, B. K. (1991), "Empirical Models for Estimating Capacity and Delay at Stop-Controlled Intersections in the United States", Intersection without Traffic Signals, *Proceeding of International Workshop on Intersections without Traffic Signals*, Bochum, FRG, pp. 335-361.
9. Herbert, J. (1963), "A Study of Four-Way Stop Intersection Capacities", *Highway Research Record 27*, HRB, National Research Council, Washington, D. C.
10. 도로교통안전협회(1993), 1993년 교통사고통계분석
11. Rosenbaum, M. J. (1983), "A Review of Research Related to the Safety of STOP versus YIELD Sign Traffic Control", *Public Roads, Vol. 47, No. 3*.
12. Noyes, P. B. (1994), "Response to citizen Requests for Multivay Stops", *ITE Journal, Vol. 64, No. 1*.
13. Zegeer, Jhon D. (1988), "Status of Unsignalized Intersection Capacity Research in the United States", *Proceeding of International Workshop on Intersections without Traffic Signals*, Bochum, FRG, pp. 35-47.
14. Brilon, W. (1988), "Recent Developments in Calculation Methods for Unsignalized Intersections in West Germany", *Proceeding of International Workshop on Intersections without Traffic Signals*, Bochum, FRG, pp. 35-47.
15. Brilon, W. (1988), "Recent Developments in Calculation Methods for Unsignalized Intersections in West Germany", *Proceeding of International Workshop on Intersections without Traffic Signals*, Bochum, FRG, pp. 111-153.
16. Park, Y. (1992), A New Procedure for Analysis of Rural Two-Way Stop-Controlled Intersections. Ph.D. Dissertation, University of Cincinnati



〈그림 2〉 각 장소에 따른 방향별 및 이동방향별 통행속도의 누적분포도



(그림 2) 각 장소에 따른 방향별 및 이동방향별 통행속도의 누적분포도

(표7) 주방향의 직진교통량 변화에 따른 회귀분석

	SATV ≤ 80 (n=32)		SATV ≤ 90 (n=36)		SATV ≤ 100 (n=38)	
	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T
INTERCEP	0.678991	0.0030	1.177340	0.0001	1.230335	0.0001
SATV	0.008348	0.0131	0.009006	0.0217	0.008288	0.0287
SALV	0.019043	0.0002	0.013309	0.0112	0.012492	0.0135
OALV	0.012314	0.0047	0.001699	0.6085	0.001087	0.7272
OATV	0.006055	0.0059	-0.000363	0.8083	-0.000472	0.7484
LALTV	-0.002319	0.0028	-0.001539	0.0675	-0.001579	0.0549
RALTRV	-0.002327	0.0052	-0.002990	0.0022	-0.002957	0.0020
Prob > F	0.0001		0.0001		0.0001	
R-square	0.8534		0.8114		0.8224	

	SATV ≤ 80 (n=32)		SATV ≤ 90 (n=36)		SATV ≤ 100 (n=38)	
	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T
INTERCEP	1.397315	0.0001	1.369632	0.0001	1.408281	0.0001
SATV	0.004240	0.2014	0.007511	0.0011	0.006359	0.0007
SALV	0.007977	0.0594	0.009710	0.0120	0.008504	0.0178
OALV	-0.000788	0.7628	-0.001601	0.5322	-0.001579	0.5370
OATV	0.000525	0.7089	-0.000873	0.3917	-0.000453	0.6169
LALTV	-0.001921	0.0208	-0.001557	0.0452	-0.001743	0.0208
RALTRV	-0.002374	0.0079	-0.002902	0.0004	-0.002703	0.0005
Prob > F	0.0001		0.0001		0.0001	
R-square	0.8063		0.8176		0.8210	

	SATV ≤ 80 (n=32)		SATV ≤ 90 (n=36)		SATV ≤ 100 (n=38)	
	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T
INTERCEP	1.447585	0.0001	1.605532	0.0001	1.617630	0.0001
SATV	0.005482	0.0004	0.003217	0.0013	0.003033	0.0002
SALV	0.007805	0.0245	0.003241	0.2188	0.002963	0.2319
OALV	-0.001350	0.5945	-0.003163	0.1996	-0.003207	0.1798
OATV	-0.000218	0.8009	0.000733	0.3330	0.000799	0.2700
LALTV	-0.001939	0.0075	-0.002271	0.0020	-0.002306	0.0012
RALTRV	-0.002593	0.0006	-0.002210	0.0027	-0.002190	0.0023
Prob > F	0.0001		0.0001		0.0001	
R-square	0.8249		0.8145		0.8253	

	SATV ≤ 80 (n=32)		SATV ≤ 90 (n=36)		SATV ≤ 100 (n=38)	
	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T	Parameter Estimate	Prob > T
INTERCEP	1.640528	0.0001	1.646462	0.0001	1.647349	0.0001
SATV	0.002678	0.0001	0.002585	0.0001	0.002426	0.0001
SALV	0.002777	0.2385	0.002825	0.2260	0.002979	0.1992
OALV	-0.003134	0.1769	-0.003182	0.1664	-0.003094	0.1762
OATV	0.000878	0.2105	0.000914	0.1862	0.000965	0.1598
LALTV	-0.002384	0.0006	-0.002370	0.0005	-0.002399	0.0004
RALTRV	-0.002193	0.0017	-0.002230	0.0012	-0.002218	0.0012
Prob > F	0.0001		0.0001		0.0001	
R-square	0.8320		0.8332		0.8327	