

교차로 좌회전 궤적에 따른 용량 및 정지선 위치결정에 관한 연구

A Study on Decision of Stop-line Position and Capacity according to the Left-turn Trajectory at Intersection

김 기 용

(단국대학교 토목공학과 석사과정)

김 동 녕

(단국대학교 토목공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- 1. 연구의 배경 및 목적
- 2. 연구의 범위와 방법
- II. 현장실험장소의 선정 및 실험방법
- 1. 좌회전시 요구되는 곡선반경
- 2. 현장실험장소의 선정
- 3. 현장실험 방법
- III. 조사자료의 분석 및 개선방안제시
- 1. 용량분석
- 2. 인근차로의 침범수준 분석
- 3. 정지선의 후퇴길이산정
- IV. 결론 및 제안
- V. 참고문헌

ABSTRACT

교차로 좌회전 이동류에 대해 곡선반경의 확보여부는 용량 및 안전성측면에 많은 영향을 주게 된다. 좌회전 곡선반경의 결정은 설계기준차량의 회전궤적에 따라 결정되며 곡선반경의 모양은 원곡선의 형태를 유지하는 것이 바람직한 형태로 제시되고 있다. 교차로 설계시 곡선반경의 확보 방안으로 정지선을 후퇴시키는 방안을 제시함으로써 좌회전 이동류에 대해 용량 및 안전성을 개선할 수 있도록 하였다.

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도심부에서 발생하는 교통체증은 교차로의 정체현상으로 인한 영향이 크며 이로 인한 사회적·경제적 손실이 막대하다. 교차로의 용량 및 안전성을 증대시키는 방안으로는 크게 교통운영체계의 개선과 기하구조의 개선으로 구분된다. 본 연구에서는 후자의 개선을 통한 방안을 모색하였다.

교차로를 설계하는데 있어 우회전과 달리 좌회전차로는 설계기준차량의 좌회전시 운행특성에 대한 고려가 부족한 실정이다. 이로 인해 용량의 감소는 물론 안전상에도 문제가 발생할 수 있으므로 좌회전차량의 궤적을 고려한 곡선반경의 확보는 중요하리라 생각된다. 곡선반경

의 확보방안으로는 교차로 정지선을 뒤로 후퇴시키는 방법을 제시할 수 있다. 그러나 우리나라의 많은 교차로가 차량정지선을 뒤로 후퇴시켜가면서까지 좌회전 곡선반경을 확보하고 있는 경우는 드물며 있다고 하더라도 기하구조가 부적절하여 비효율적으로 운영되는 경우가 많다. 이러한 원인은 도로설계자의 교차로 용량에 대한 인식부족과 교차로 설계안 마련시 좌회전 곡선반경설치에 대한 기준을 마련해주지 못함으로써 시공업자로 하여금 임의대로 설치하도록 방치하는데 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구는 교차로 좌회전시의 곡선반경 설치를 설계기준차량의 유형별로 제시해 주고 곡선반경의 확보방안으로 제시한 차량정지선의 후퇴 길이를 제시함으로써 좌회전 용량의 증대와 좌회전시의 안전성을 높일 수 있음을 보이고 좌회전 곡선반경이 확보된 교차로가 어느 정도의

효과를 나타내는지 분석하고, 시공업자로 하여금 보다 쉽게 좌회전 곡선반경을 설치할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구는 다중좌회전차로로 운영되고 있는 도시부 신호교차로를 대상으로 하였으며, 교차각이 직각인 교차로에서 곡선반경의 충분·불충분 상태가 좌회전 이동류에 미치는 영향을 분석하고 곡선반경의 확보방안을 제시하고자 한다. 따라서 현장실험을 통하여 해당 교차로의 기하구조 및 대표적인 신호시간 특성에 대하여 교통처리능력 및 MOE(교차로 접근부의 용량, 인근차로 침범횟수)를 분석하였다. 즉 교차로상에 좌회전하는 차량에 대해 다양한 곡선반경의 제시해주고 각 곡선반경별 좌회전차로의 용량 분석과 더불어 인근차로의 침범수준을 산출하여 안전성을 평가하는 지표로 삼았다.

연구의 방법은 실험대상지점을 선정하여 교통혼과 같은 교통통제장비를 이용하여 좌회전 차량이 회전하는데 필요로 하는 곡선반경을 충분한 상태와 불충분한 상태를 살펴볼 수 있도록 다양한 좌회전 곡선반경을 제시해주고 좌회전 차량으로 하여금 설치된 곡선반경에 따라 좌회전을 하도록 유도를 하고 이에 따르는 좌회전차량의 행태를 비디오 카메라를 이용하여 촬영하였다.

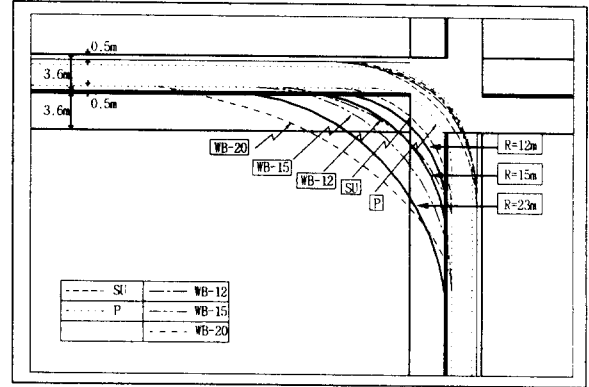
II. 현장실험장소의 선정 및 실험방법

1. 설계기준차량별 좌회전시 요구되는 곡선반경

미국의 AASHTO에서는 좌회전차량의 교차로 통과속도를 15~25km/h의 범위에서 주행하는 좌회전차량의 궤적을 <그림1>와 같이 보여주고 있고, 설계차량에 따른 좌회전 설치곡선반경(Control Radius)을 다음<표1>과 같이 제시해 주고 있다.

<표1> 설계차량별 설치곡선반경

설계차량의 적합성	설치곡선반경(Control Radius) (단위:m)		
	12	15	23
적합	P (승용차)	SU (트럭)	WB-12 (세미트레일러)
부적합	SU (트럭)	WB-12 (세미트레일러)	WB-15 (세미트레일러)

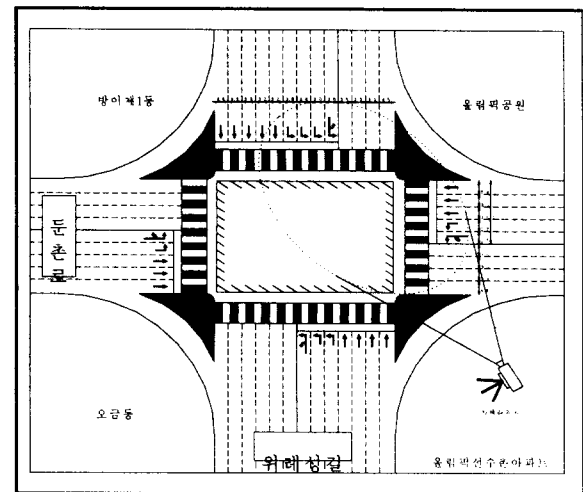


<그림1> 설계기준차량별 좌회전시 회전궤적

2. 현장실험장소의 선정

실험지점의 선정은 좌회전이 다차로로 운영되고 있고, 좌회전곡선반경이 충분한 지역을 선정하여 신호교차로의 지체에 영향을 주는 도로 조건(접근로의 경사, 차로수 및 폭, 주차상태 등), 교통조건(중차량구성비, 보행자횡단활동, 주차활동 등), 신호조건(주기, 녹색시간, 현시시간 등)을 고려하여 조사지점을 선정하며 도로조건, 교통조건, 신호조건이 분석에 다른 영향을 미치지 않도록 다음과 같은 사항을 현장실험지점 선정기준으로 선정하였다.

- 3개이상의 전용좌회전차로를 제공하는 지점
- 좌회전차량의 궤적에 맞는 충분한 곡선반경을 갖추고 있는 지점
- 좌회전차량의 교차로 통과시 우회전 및 버스정류장의 영향을 받지 않는 지점
- 교차로 진입차로의 폭과 진출차로의 폭이 3.0m~3.5m의 도로로 차로폭에 의한 영향을 받지 않는 지점
- 좌회전대기차량이 충분한 곳



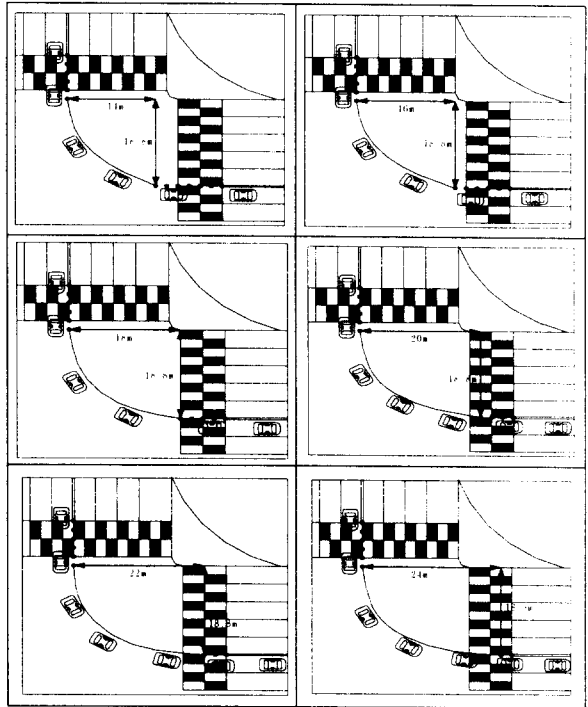
<그림2> 현장실험장소의 기하구조



<그림3> 현장실험장소의 현황

3. 현장실험 방법

실험대상지점으로 선정된 올림픽공원 앞의 교차로는 대상 접근로의 좌회전 차량에 대하여 좌회전 곡선반경이 18.8m(약19m)로 충분히 주어져 있는 상태로 곡선반경에 의한 영향이 차량이 좌회전하는데 영향을 주지 않는 상태이다. 이러한 상태에서 좌회전 곡선반경의 한 변은 19m로 고정시키고 다른 한 변에 변화를 주어 곡선반경을 불충분하게 만들어 주면서 실험을 수행한다. 불충분의 정도는 곡선반경의 반지름을 서로 다르게 주는 것으로 나타내었다. 즉, 원곡선의 한 변 대 다른 한 변의 비를 19:10, 19:12, 19:14, 19:16, 19:18, 19:20, 19:22, 19:24로 변화 시켜주고 그에 따른 다중좌회전차로의 영향을 분석하고자 한다.



<그림4> 현장실험 방법

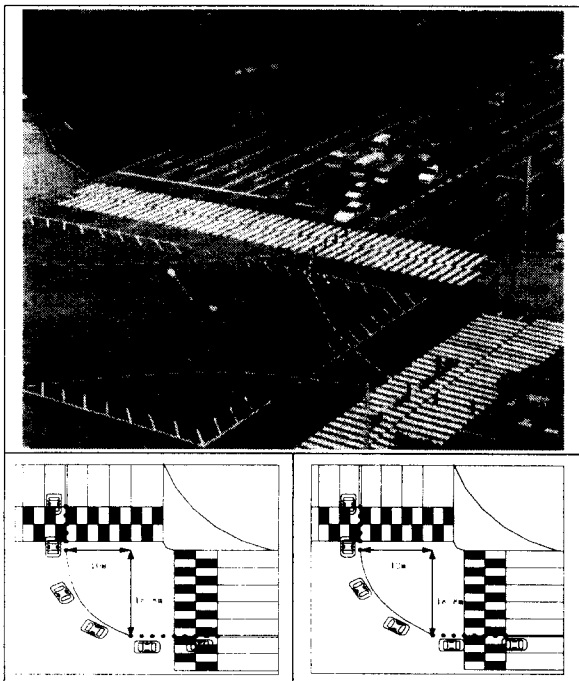
위의 <그림4>에서 보여주고 있는 방법으로 부채꼴 모양의 곡선반경에 대해 한쪽변의 길이는 18.8m(19m)로 고정하고, 다른 한 변의 길이를 10m, 12m, 14m, 16m, 18m, 20m, 22m, 24m로 변화를 주고 각 상황에 대하여 비디오 카메라로 녹화하여 좌회전 곡선반경이 불충분한 상태와 충분한 상태일 경우의 다중좌회전차로에 대한 그 영향을 분석하고자 한다.

III. 조사자료의 분석 및 개선방안제시

1. 용량분석

현장 실험의 대상이 된 올림픽공원 앞 교차로 중 대상접근로는 3개의 차로가 전용좌회전으로 운영되며 1개의 차로가 U턴·좌회전 공용으로 운영되고 있는 상태이다. 1, 2차로는 주로 승용차가 주행하며 3, 4차로는 대형차량이 혼입되어 주행하고 있는 특성을 보이고 있으며, 주기 C=150초, g/C=0.12로 운영되고 있다. 중차량의 혼입율은 곡선반경에 따라 3차로가 6%~14%, 4차로가 16%~21%으로 각기 다양하게 변화를 보이고 있다.

아래의 <표 2>에서 나타내고 있듯이 곡선반경이 확보되어 질수록 평균차두시간이 짧아지는 것을 알 수 있으며, 3, 4차로의 경우는 혼합교통류이므로 중차량의 혼입율에 의해 많은 영향을 받게 된다. 따라서 평균차두시간이 승용차



로만 구성된 1, 2차로에 비해 변화가 심함을 알 수 있다.

<표 2> 곡선반경에 따른 개별차량에 대한 차두시간

곡선 반경	차로	차량대기위치별 차두시간(초)										5번째차량 이후 평균차두시간	표준편차
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10m	1차로	2.35	2.24	2.19	2.15	2.29	2.21	2.26	2.39	2.32	2.31	2.30	0.075
	2차로	2.42	2.31	2.24	2.15	2.16	2.14	2.11	2.12	2.10	2.06		
	3차로	2.36	2.28	2.21	2.14	2.11	2.33	2.25	2.15	2.17	2.14		
	4차로	2.37	2.27	2.21	2.15	2.26	2.12	2.07	1.97	2.07	2.16		
12m	1차로	2.41	2.32	2.21	2.14	2.05	2.09	2.19	2.19	2.18	2.15	2.14	0.105
	2차로	2.39	2.28	2.21	2.14	2.00	1.99	2.03	2.10	2.09	2.03		
	3차로	2.39	2.31	2.24	2.11	2.06	2.16	2.14	2.13	2.06	2.04		
	4차로	2.38	2.31	2.23	2.14	2.08	2.12	2.06	2.12	2.10	1.98		
14m	1차로	2.37	2.26	2.21	2.15	1.96	2.07	2.01	1.93	1.98	1.95	1.98	0.151
	2차로	2.36	2.26	2.17	2.03	1.95	1.94	1.96	1.93	1.95	1.93		
	3차로	2.43	2.29	2.20	2.14	1.98	1.97	1.95	1.95	1.97	1.96		
	4차로	2.44	2.34	2.20	2.16	2.22	2.03	1.96	2.20	2.07	1.75		
16m	1차로	2.34	2.24	2.18	2.06	1.96	1.92	1.93	1.93	1.92	1.88	1.92	0.162
	2차로	2.42	2.31	2.18	1.94	1.88	1.85	1.83	1.84	1.83	1.82		
	3차로	2.49	2.31	2.23	2.17	1.97	2.01	1.95	1.96	1.92	1.96		
	4차로	2.38	2.30	2.22	2.19	2.30	1.92	1.88	2.04	1.88	2.01		
18m	1차로	2.41	2.35	2.26	2.07	1.85	1.84	1.87	1.83	1.83	1.86	1.85	0.236
	2차로	2.36	2.24	2.18	1.96	1.81	1.80	1.79	1.81	1.78	1.77		
	3차로	2.38	2.28	2.21	2.13	1.94	1.88	1.92	1.86	1.91	1.90		
	4차로	2.41	2.33	2.19	2.15	2.04	1.97	2.02	1.96	1.98	2.03		
20m	1차로	2.36	2.31	2.22	1.95	1.82	1.79	1.78	1.79	1.77	1.78	1.79	0.242
	2차로	2.41	2.31	2.16	2.08	1.75	1.76	1.75	1.73	1.75	1.74		
	3차로	2.46	2.32	2.27	2.13	1.92	1.88	1.91	1.89	1.92	1.76		
	4차로	2.37	2.26	2.22	2.18	2.13	1.94	2.08	1.88	1.97	1.92		
22m	1차로	2.45	2.36	2.24	1.94	1.77	1.76	1.73	1.76	1.74	1.74	1.75	0.287
	2차로	2.38	2.21	2.15	1.98	1.76	1.72	1.74	1.73	1.72	1.74		
	3차로	2.51	2.29	2.19	2.08	1.83	1.80	1.84	1.82	1.85	1.84		
	4차로	2.41	2.34	2.23	2.16	2.04	1.96	2.09	2.02	1.95	1.94		
24m	1차로	2.42	2.33	2.19	1.97	1.74	1.75	1.73	1.72	1.73	1.72	1.73	0.280
	2차로	2.44	2.24	2.19	1.95	1.74	1.71	1.69	1.70	1.71	1.70		
	3차로	2.45	2.32	2.17	2.07	1.85	1.78	1.81	1.85	1.79	1.80		
	4차로	2.46	2.37	2.28	2.13	2.15	2.21	1.93	1.83	1.80	1.84		

혼합교통량에 대해 중차량보정계수를 적용하여 포화교통류율을 산정하면 다음과 같다.

<표 3> 곡선반경에 따른 차로별 평균포화교통류율

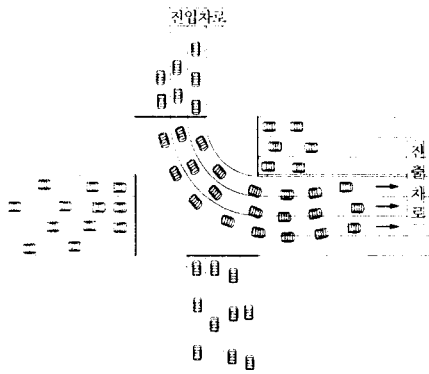
곡선반경	차로	포화교통류율	곡선반경	차로	포화교통류율	곡선반경	차로	포화교통류율	곡선반경	차로	포화교통류율
10m	1차로	1565	12m	1차로	1682	14m	1차로	1818	16m	1차로	1875
	2차로	1698		2차로	1765		2차로	1856		2차로	1957
	3차로	1733		3차로	1891		3차로	1923		3차로	1992
	4차로	1986		4차로	1960		4차로	2015		4차로	2103
	평균	1746		평균	1825		평균	1903		평균	1982
18m	1차로	1946	20m	1차로	2011	22m	1차로	2057	24m	1차로	2081
	2차로	2011		2차로	2057		2차로	2069		2차로	2105
	3차로	2034		3차로	2069		3차로	2079		3차로	2096
	4차로	2063		4차로	2064		4차로	2080		4차로	2112
	평균	2014		평균	2050		평균	2071		평균	2099

2. 인근차로의 침범수준 분석

차량이 좌회전하는데 있어서 회전궤적이 부족하게 되면 인근차로를 침범하게 되는 경우가 발생하게 된다. 좌회전차량이 회전하면서

인근차로를 침범하게 되면 용량을 감소시키는 원인으로 작용할 뿐 아니라 안전상에서도 문제를 야기할 수 있다. 안전상의 문제로는 차량의 진행이 원활하지 못함으로 인해서 차량이 인근차로를 침범하게 되므로 차량간의 추돌사

고의 원인으로 작용하기 때문이다. 회전계획적 확보가 부족할수록 인근차로를 침범하게 되는 경우가 많이 발생하게 된다. 인근차로의 침범이라 함은 좌회전시에 진로를 변경하는 행위가 아닌 교차로에 진입한 차로를 따라서 진로를 변경하지 않고 진행하였을 경우 진출부 쪽에서 자신의 차로로 들어갈 때 회전계획적 부족으로 부득이 인근차로를 차량이 넘게되는 것을 말한다. 인근차로의 침범상황은 다음의 <그림5>에서 설명하고 있다



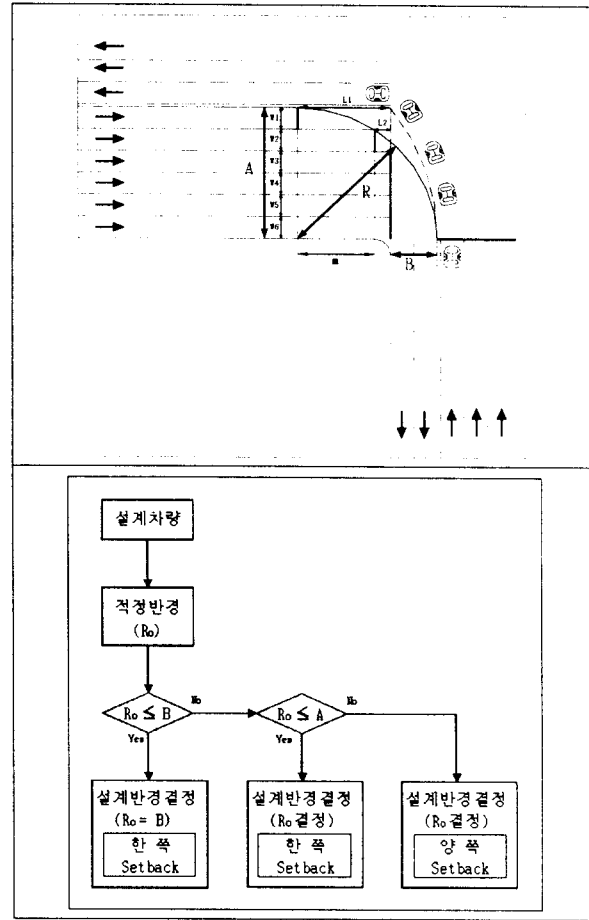
<그림5> 좌회전시 인근차로의 침범상황

<표 4> 한주기당 인근차로의 평균침범횟수

곡선반경	차로별 평균침범횟수(회)			계	평균
	1차로	2차로	3차로		
10m	8.90	7.95	5.30	22.15	7.38
12m	7.80	6.32	3.92	18.04	6.01
14m	5.91	4.61	3.17	13.69	4.56
16m	5.46	3.83	1.54	10.83	3.61
18m	3.88	2.00	1.00	6.88	2.29
20m	2.22	1.18	0.53	3.93	1.31
22m	1.18	0.27	0.18	1.63	0.54
24m	0.60	0.17	0.17	0.94	0.31

3. 정지선의 후퇴길이산정

차량이 좌회전하는데 있어서 차량의 회전계획적 충분하지 않은 곡선반경을 가지고 있는 교차로는 용량의 저하는 물론 안전상에도 문제를 일으킬 수 있는 요소를 내포하게 된다. 따라서 이러한 교차로의 경우 기하구조의 개선이 요구된다. 기하구조를 개선하는 방안으로는 좌회전하는 차량에 충분한 곡선반경이 확보될 수 있도록 정지선을 뒤로 후퇴시키는 방법을 제시할 수 있다.



<그림6> 정지선 후퇴여부판정 흐름도

위의 <그림6>에서 보듯이 진입부와 진출부의 차로 수가 달라 비대칭적인 모양을 하고있는 기하구조의 형태를 나타내고 있다. 이러한 비대칭적인 구조를 갖는 기하구조의 경우는 차량이 원활한 회전을 할 수 있도록 차량의 정지선을 후퇴시켜서 원곡선의 형태를 갖추도록 해야 한다. 차량정지선의 후퇴길이는 다음의 방법으로 구할 수 있다.

$$L_1 = A - B$$

L_2 를 구하기 위해서는 원의 방정식 $x^2 + y^2 = r^2$ 을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$m^2 + (A - w_1)^2 = R^2$$

$$\therefore m = \sqrt{R^2 - (A - w_1)^2}$$

$$\therefore L_2 = R - B - m$$

정지선의 곡선반경 결정에 있어서 우리나라의 경우 이에 대한 연구가 이루어진 전례가 없으므로 미국의 AASHTO에서 제시한 기준을 따르는 것으로 한다. AASHTO에서는 차량이 좌회전하는데 있어 확보되어야 하는 곡선

반경을 승용차(P)의 경우 12m, 트럭(SU)의 경우 15m, 세미트레일러(WB-12)의 경우 23m를 설치하도록 제시하고 있다. 따라서 AASHTO에서 제시한 설계차량별 곡선반경의 설치를 기준으로 이러한 곡선반경이 설치되지 않는 교차로의 경우 곡선반경이 확보될 수 있도록 정지선을 일정거리 만큼 후퇴시켜 곡선반경이 확보될 수 있도록 하는 것을 제시할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

- (1) 좌회전차로에 대한 곡선반경의 영향은 곡선반경이 커질수록, 즉 회전궤적이 충분해질수록 좌회전차로에 미치는 영향이 적어진다. 실험결과를 살펴보면 10m일때의 평균용량은 1746pcph이고, 곡선반경이 원곡선의 형태를 유지하는 20m인 경우의 평균용량은 2050pcph으로 나타났다.
- (2) 곡선반경이 증가할수록 용량도 증가의 형태를 나타내다 곡선이 원곡선의 형태(20m)를 갖춘 이후로는 용량의 변화가 크지 않게 나타났다.
- (3) 좌회전 이동류에 대해 곡선반경이 충분히 확보되지 않으면 교차로 회전시 인근차로를 침범하게 되는데 곡선반경이 충분하게 확보되어 질수록 인근차로의 침범횟수는 줄어들게 된다. 실험지점에서의 곡선반경에 따른 인근차로의 평균침범횟수는 10m인 경우 7.38회, 원곡선의 형태를 유지하게되는 20m의 경우는 1.31회로 나타났다.
- (4) 좌회전하는 차량의 궤적이 원곡선의 형태를 보이지는 않지만 교차로 설계시 안전성을 고려한 일관된 설계를 위해서는 좌회전곡선반경의 형태를 원곡선의 형태로 유지하는 것이 타당하리라 본다.
- (5) 좌회전궤적이 불충분한 교차로의 경우 좌회전궤적에 따른 곡선반경을 확보하기 위해 교차로를 확장하기에는 어려움이 있으므로 정지선을 후퇴시켜 곡선반경을 확보하는 방법을 제시할 수 있다.

V. 참고문헌

1. "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", AASHTO, Washington, D.C, 1994

2. "Use of WHI Offtracking Formula", TRB 1052, p45~p62.
3. "Geometric Design and Operational Considerations for Trucks", ITE Journal, 1992. 8, p12~p15
4. ITE, "Transportation and Traffic Engineering Handbook", p585~p626
5. "The Planning and Design of At-Grade Intersections", JSPE Applications
6. TRB, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, 1975
7. "Intersection Channelization Design Guide", TRB 279