

■ 論 文 ■

U턴의 交通 特性 및 多重 U턴 容量 分析

-전용 U턴 차로를 대상-

Traffic Characteristics of U-TURN and Capacity Analysis of Multiple U-TURNS

문 재 필

(단국대학교 토목공학과 대학원)

김 동 녕

(단국대학교 토목공학과 교수)

목 차

- | | |
|-------------------|----------|
| I. 서론 | IV. 분석결과 |
| II. 문헌고찰 | V. 결론 |
| III. 조사지점 선정 및 방법 | 참고문헌 |

요 약

본 연구는 U턴의 효율적 운영에 필요한 기초자료 즉, U턴 이동류에 대한 차두시간, 출발손실시간, 승용차 환산계수 그리고 포화교통류율을 산정하였다. 또한 다중 U턴 횡수, U턴 허용 길이별 U턴 용량 특성을 분석하였다.

연구 결과를 보면, U턴 평균 차두시간은 2.43초이고 이에 따른 포화교통류율은 1,480(pcpH)로 분석되었다. 출발손실은 두 번째 차량까지 손실이 있어 1.57초로 산정 되었다. 승용차 환산계수는 대형차 혼입율에 따라 1.98에서 1.35사이에 분포하며 평균값은 1.78이다. 그리고 주기당 다중 U턴 횡수가 많을수록 포화교통류율이 커졌으며 횡수가 1회, 2회 및 3회일 때 포화교통류율이 각각 1,600, 1,650 및 1,800pcph로 나타났다. U턴 허용 길이가 늘어 나면 포화교통류율이 늘어나며 18m, 21m 및 30m로 증가될 때 1,570, 1,610, 및 1,640pcph로 증가하는 것으로 분석 되었다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 최근 도로연장증가율은 0.9~2.0%에 불과한 반면 자동차는 년 평균 20%의 증가율을 보이고 있다.

교통 수요와 시설 공급 사이의 불균형을 극복하는 가장 손쉬운 방법은 시설 공급을 증가시키는 것이나, 투자 재원의 한계라는 장벽에 부딪히게 된다. 따라서 도로 신설 등의 시설공급과 더불어 기존 시설을 최대한 효율적으로 운영하고 관리함과 동시에 여러가지 개선 기법들을 통해 수요와 시설 공급의 조화를 꾀하는 교통체계관리(Transportation Systems Management:TSM)의 적용을 통해 교통문제를 완화하려는 노력을 집중시키고 있다.

이러한 교통체계관리는 도시간선도로의 운영측면에서 매우 중요한 일이다. 현재 도시내의 교차로는 극심한 교통 혼잡을 유발할 뿐만 아니라 전국 교통사고의 약 60%가 교차로 및 그 부근에서 발생하고 있다. 따라서 도로 교통을 안전하고 원활하게 처리하기 위하여 어떻게 교차로를 적절히 운용할 것인가 하는 것은 매우 중요한 과제이다. 도심지 가로 교차로는 대부분 4지 교차로서 4현시 이상의 운영체계는 교차로에서 신호주기의 증가와 손실시간의 증가로 교차로 용량의 감소와 서비스 수준이 저하되며 전체 도시가로망의 운영에 상당히 불리한 영향을 미치게 된다. 교차로의 용량 증대와 지체감소를 위한 방안으로 좌회전 이동류를 인위적으로 통제하여 P-턴, U-턴 등 주변도로를 우회하는 여러가지 전략이 적용되고 있다. 이런 방안은 통행 거리가 증가되는 반면 신호 현시수와 상충이 줄어 교차로 내의 교통 소통과 안전 측면에서 좋은 장점이 있다.

현재 좌회전 금지시 우회 이동류 운영방안에 관한 연구가 많이 수행되고 있다. 그러나 U턴에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 지금까지 발표된 U턴에 대한 연구는 외국에서 U턴이 좌회전 포화교통류율에 미치는 영향에 관한 연구, 국내에서는 U턴의 용량 및 U턴이 미치는 영향을 좌회전 보정계수에 적

용한 연구, 좌회전 금지시 도시간선도로의 운영방안 연구가 수행되었다. 위의 기존 연구들은 U턴 교통류가 좌회전교통류에 미치는 영향을 좌회전 보정계수와 U턴 용량 산정 및 교통량에 따른 운영방안 등에 관한 것이었다.

그러므로 본 연구는 좌회전 금지시 우회이동 방안으로 전용 U턴의 효율적인 운영을 위해 필요한 U턴 이동류의 특성(차두시간, 기본 포화교통류율, 승용차환산계수, 출발손실시간)과 다중 U턴(Multiple U-Turns)의 용량 증대 효과를 분석하고자 한다. 다중 U턴에 대한 효과 분석의 목적은 좌회전을 금지하고 U턴을 허용할 경우 U턴 용량이 부족하여 또 다른 교통정체를 유발할 수 있기 때문에 U턴 용량을 증가시키기 위한 것이다.

2. 연구의 범위

본 연구의 범위는 보호 현시에 의한 U턴 지점에서 수집한 자료를 기초로 U턴의 차두시간 분포, 출발손실시간, 승용차환산계수 등 미시적 특성과 U턴 대수와 소요 시간의 관계식 도출, 다중 U턴에 의한 포화유율(Saturation Flow) 변화, 그리고 U턴 허용 길이에 의한 포화유율 변화와 같은 거시적 특성을 분석하고자 한다. 또한 한 지점을 선택하여 교통 유도 시설 예를 들면, 가이드봉, 안내판, 임시 도로 차선표시 등을 이용하여 적극적인 다중 U턴을 유도한 경우와 교통 유도 시설이 없는 경우를 비교하고자 한다.

연구의 범위를 좀 더 구체적으로 살펴보면 첫째, 각 지점별 U턴에 대한 차두시간분포를 분석하고 아울러 출발손실시간을 분석한다. 둘째, 중차량의 비율에 따라 U턴 이동류의 승용차환산계수를 분석한다. 셋째, 다중 U턴이 있을 때와 없을 때의 U턴 대수와 소요시간에 대한 회귀분석 모형을 설정하고자 한다. 마지막으로 단독 U턴의 포화교통류율을 구한 다음 다중 U턴과 비교하며 또한 U턴 허용 길이에 따라 포화교통류율의 변화를 비교해 본다. 여기서 유출부 차로수가 5차로 이상인 경우만을 대상으로 하였는데 유출부 폭의 변화에 의한 U턴 포화교통류율 변화는 고려하지 않았다.

II. 문헌고찰

1. 외국의 U턴에 관한 연구 문헌고찰

John Clifton Adams와 Joseph E. Hummer⁷⁾는 좌회전차선의 포화교통류율에서 U턴의 영향을 조사하였고, U턴 비율에 기초를 둔 U턴 이동류의 보정계수를 산출하였다. 분석결과를 정리하면 U턴 비율이 50%이하인 경우 좌회전 포화교통류율과 상관이 없는 것으로 분석되었다. U턴 비율이 65%~85%일 때는 포화교통류율이 10% 감소하여 보정계수는 0.9, U턴 비율이 85% 이상일 때는 포화교통류율이 20% 감소하여 보정계수 0.8을 제시하였다. 또한 좌회전이 두 차선으로 운영되고 있는 경우는 65%에 대해서는 보정계수 0.95, 85%의 혼입율에 대해서는 보정계수 0.9를 제시하였다.

〈표 1〉 미국의 U턴 비율에 따른 좌회전 보정계수

U턴 비율(%)	좌회전 공용 1개차선	좌회전 공용+좌회전전용차선
	U턴 보정계수	
50%이하	1.00	1.00
65~85%	0.90	0.95
85%이상	0.80	0.90

2. 외국의 U턴에 관한 연구

오영태⁸⁾의 '신호교차로에서의 U턴에 대한 용량 산정 및 좌회전보정계수의 적용' 논문에서는 전용 U턴 차선의 용량 및 U턴 비율에 따른 좌회전 보정계수를 산정하여 좌회전 신호시간을 최적화하는데 연구목적 을 두었다. 분석결과를 정리하면 U턴의 차두시간은 2.34(초/대)로 포화교통류율은 1,540pcphgpl 으로 산정 되었다. 그리고 U턴 비율에 따른 좌회전 보정계수는 U턴 비율이 10%~20%인 경우 좌회전에 대한 영향이 거의 없고, 30%이후부터는 좌회전 포화교통류율이 급격히 감소되는 것으로 분석되었다.

손한철⁹⁾은 U턴의 차선형태(전용차선, 공용차선), 현시형태(보호, 비보호)별로 포화교통류율과 보정계수를 산정하고 이를 적용하여 U턴 운영방안을 제시했다. 그 결과는 먼저 U턴 전용차선의 포화교통류율이 1,550(pcphgpl)으로 분석되었고 유출부의 차선수와 중앙분리대의 유무에 따라 포화교통류율에 영향을 미

치는 것으로 나타났다.

〈표 2〉 국내의 U턴 비율에 따른 좌회전 보정계수

U턴 비율(%)	좌회전 공용 1개차선	좌회전 공용+좌회전전용차선
	U턴 보정계수	
10	0.987	0.95
15	0.972	0.95
20	0.962	0.95
25	0.956	0.94
30	0.950	0.94
35	0.931	0.93
40	0.879	0.91
45	0.876	0.90
50	0.875	0.90
100	0.713	0.82

〈표 3〉 차선수와 중앙분리대에 대한 포화교통류율 보정계수

구분	포화교통류율(pcphgpl)	보정계수
5차선(중앙분리대 무)	1,550	1.00
4차선	1,520	0.98
3차선	1,330	0.86
중앙분리대 유	1,460	0.94

III. 조사지점 선정 및 방법

1. 조사지점 선정

U턴 교통류의 특성을 분석하는데 있어서 대체적으로 도로의 기하구조와 교통류 자체가 가지는 요소에 따라서 조사내용이 상당히 달라진다. 따라서 본 연구에서는 전절에서 언급하였듯이 U턴 교통류를 하나의 교통류로 보고 U턴에 대한 출발순실시간, 승용차환산계수, 다중 U턴에 의한 포화율 변화, U턴 허용 길이에 의한 포화율을 변화를 분석하기 위해 다음과 같이 조사지점 선정 기준을 제시한다.

- ① 전용차로 및 전용현시를 가질 것
(교차로 사이에 있는 U턴 전용차로 등)
- ② 모든 차량이 U턴 할 것(좌회전 금지 : 횡단보도 앞 U턴)
- ③ 평지부일 것
- ④ U턴 유출부에서 우회전 이동류와 상충이 없을 것
- ⑤ 유출부 도로폭이 5차로 이상일 것
(대형차의 U턴 반경이 확보되는 지점)
- ⑥ 유출부에 주차/버스정류장의 방해가 없을 것
- ⑦ 유출부 정체로 인해 U턴 차량이 방해받지 않을 것
- ⑧ 다중 U턴이 가능할 것

〈표 4〉 조사지점 현황

지점명	교차로 형태	유출부폭 (m)	유출부 차로수	좌회전 유무	U턴가능 시간	U턴가능 시간(초)	버스전용 차로유무	U턴 차로폭(m)	중앙분리대 유무	U턴 베이 길이(m)	경사도 (%)
도산대로	횡단보도	154	5	무	횡단보도	40	무	34	무	100m이상	0
강남대로	횡단보도	150	5	무	횡단보도	38	무	3	무	15	0
삼각지	교차로	165	4	무	교차도로 현시	46	유	3	무	32	0

- ⑨ U턴 차량이 대기할 수 있는 충분한 베이를 가질 것
- ⑩ 비공개로 U턴 차량을 촬영할 수 있을 것

상기 기준에 의해 선정된 3개 지점은 아래의 표와 같이 현장 관측전에 예비조사를 실시하여 각 지점에 대해 도로기하학적 구조 즉 차로수, U턴차로폭, 유출부폭, 경사도, 버스 전용차로 유무, 중앙 분리대 유무 등을 조사하였다. 또한 유출부 도로에서 정체가 일어나지 않는 시간대도 조사하였다.

여기서 삼각지 지점은 T자 교차로로서 한 접근로에 U턴 베이가 32m이고, 부도로의 좌회전 현시일 때 U턴 회전이 이루어진다. 부도로의 좌회전 교통량이 매우 작기 때문에 U턴 차량이 회전하는데 전혀 영향을 미치지 않는다. 삼각지 지점을 제외한 다른 2개 지점 즉 강남대로와 도산대로는 가로구간 중간쯤 횡단보도 앞에 U턴 차로가 설치되었으며, U턴 가능 시간은 횡단 보도 현시에 의해 이루어진다. 강남대로는 U턴 베이가 15m이고 도산대로는 한 차선이 U턴 전용 차선이다. U턴 유출부 차로수가 삼각지 지점이 4차로로 가장 작지만 유출부 폭은 16.5m로 가장 넓다. 3개 지점 모두 중앙분리대는 없다.

특히 3개 지점 중 도산대로 지점은 U턴 교통량이 많은 편이고 U턴 전용차로가 길기 때문에 교통 표지판 등에 의해 적극적으로 '다중 U턴'을 유도하는 방법을 적용하여 교통 유도 시설이 없는 경우와 비교 실험하였다.

2. 자료수집 방법 및 조사 내용

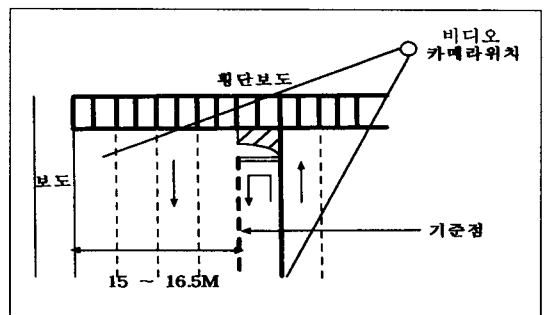
1) 다중 U턴 유도시설 없을 때의 자료수집 및 조사내용
 유출부 도로가 정체되어 있을 때는 U턴 차량이 원활한 이동을 방해하기 때문에 본 연구에서 요구하는

자료를 얻지 못한다. 따라서 각 지점마다 조건을 충족하는 시간대를 각 CASE마다 조사하였다. 또한 U턴 교통량 패턴에 영향을 주는 인자를 최소화하기 위해 날씨가 맑은 주간에 관측을 실시했다.

본 연구에서는 각 조사 지점에서 다음과 같은 항목을 조사하였다.

- ① U턴 차량 대수(대)
- ② 개별 U턴 차량의 차두시간(초)
- ③ 차종별(승용차, 버스, 트럭) 대수 및 비율
- ④ 차종별 평균 차두시간
- ⑤ 전체 평균 차두시간
- ⑥ 다중 U턴 대수 및 비율
- ⑦ U턴이 이루어지는 총 소요시간

위와 같은 조사항목을 측정하는 방법은 아래의 그림과 같이 건물 옥상에서 소형 비디오 카메라를 설치하여 각 지점에 대해 촬영을 하였다. 촬영시 화면에 기준선을 통과하는 U턴 차량뿐만 아니라 대기하는 차량까지 볼 수 있는 곳, 그리고 U턴 현시를 나타내는 신호등 즉, 보행자 신호등을 화면에서 볼 수 있도록 하였다. 이것은 U턴 시작 시간을 알 수 있도록 하기 위한 것이다. 촬영하는 동안 U턴차량에 방해가 되는 상황이 발생하면 결과 분석시 제외하였다.



〈그림 1〉 조사지점의 형태 및 카메라 위치



<그림 2> 도산대로 U턴 지점 현황 사진



<그림 3> U턴하는 행태 사진

3개 지점에 대한 촬영 테이프를 화면에 재생 후 Key Board와 U턴 분석 프로그램을 이용하여 아래와 같이 각 차량의 차두시간(초)을 측정하였다. 여기서 차두시간이라 함은 차량 후미가 기준선(중앙선)을 통과하는 시간 간격을 말한다.

# 1 OBSERVATIONS	# 2 OBSERVATIONS
S : 18 31 4 5	S : 18 33 25 43
P : 18 31 8 34	P : 18 33 28 84
P : 18 31 8 34	T : 18 33 32 79
P : 18 31 11 36	P : 18 33 35 65
P : 18 31 11 36	P : 18 33 38 34
T : 18 31 15 64	P : 18 33 40 37
P : 18 31 18 50	E
P : 18 31 18 99	.
T : 18 31 24 82	.
P : 18 31 27 62	.
P : 18 31 30 3	.
P : 18 31 31 35	.
P : 18 31 34 10	.
P : 18 31 35 91	.
P : 18 31 35 91	.
E	.

<그림 4> U턴 프로그램에 의한 통과시각 출력 (예 I)

여기서 첫 번째 줄의 S는 START의 의미로 U턴이 가능한 현시의 시작점이다. 첫 번째 칸은 기준선을 통과한 차량의 종류를 나타낸다. 각 관측회수 마지막 줄의 E는 END의 약자로 한 관측이 끝났음을 뜻하며, P는 승용차, T는 트럭, B는 버스를 의미한다. 각 줄의 숫자는 하나의 U턴 차량이 기준점을 통과한 시각을 시, 분, 초, 1/100초로 나타낸 것이다.

OBSERVATION # 1	OBSERVATION # 2
0 S S 18 31 4 4	0 S S 18 33 25 42
1 P S 0 0 4 29	1 P S 0 0 3 41
2 P P 0 0 0 0	2 T P 0 0 3 94
3 P P 0 0 3 1	3 P T 0 0 2 85
4 P P 0 0 0 0	4 P P 0 0 2 69
5 T P 0 0 4 28	5 P P 0 0 2 2
6 P T 0 0 2 85	* Total Time Interval : 0H 0M 14.93S
7 P P 0 0 0 49	* NUMBER OF TRUCKS = 1(Veh)
8 T P 0 0 5 82	* THE AV. HEADWAY OF TRUCK = 3940S
9 P T 0 0 2 79	* NUMBER OF CARS = 4(Veh)
10 P P 0 0 2 41	* THE AV. HEADWAY OF CAR = 2743S
11 P P 0 0 1 32	* NUMBER OF BUSES = 0(Veh)
12 P P 0 0 2 75	* THE AV. HEADWAY OF BUS = .000S
13 P P 0 0 1 80	* AVERAGE HEADWAY = 2986S
14 P P 0 0 0 0	* SATURATION FLOW RATE = 1205(V/H)
* Total Time Interval : 0H 0M 31.85S	.
* NUMBER OF TRUCKS = 2(Veh)	.
* THE AV. HEADWAY OF TRUCK = 5.050S	.
* NUMBER OF CARS = 12(Veh)	.
* THE AV. HEADWAY OF CAR = 1806S	.
* NUMBER OF BUSES = 0(Veh)	.
* THE AV. HEADWAY OF BUS = .000S	.
* AVERAGE HEADWAY = 2275S	.
* SATURATION FLOW RATE = 1582(V/H)	.

<그림 5> U턴 프로그램에 의한 차두시간 출력 (예 II)

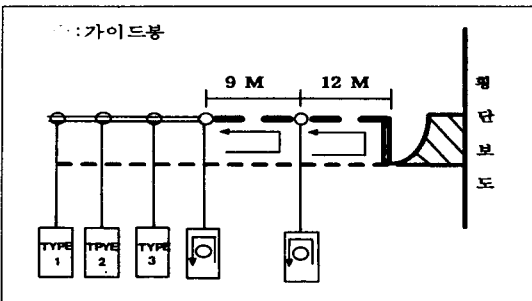
<그림 5>는 차종별 차두시간과 포화유율을 계산하는 프로그램의 출력 예이다. 여기서 첫 번째 줄에서 S는 앞에서 설명했듯이 U턴 현시가 시작되었음을 나타내며 첫 번째 칸은 U턴하는 차량의 순서, 두 번째 칸은 기준선을 통과하는 당해 차량, 세 번째 칸은 당해 차량의 선두 차량을 뜻하며, 숫자는 차량의 차두시간(초)을 나타낸다. 차두시간이 0초로 보이고 있는

차량은 선두 차량과 동시에 U턴(다중 U턴)함을 나타낸다.

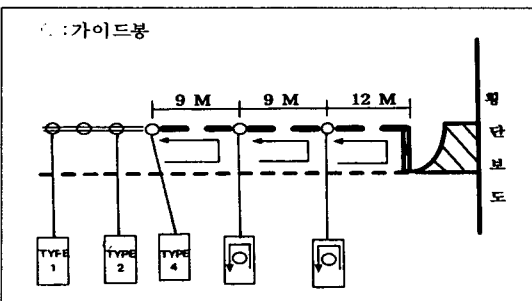
2) 다중 U턴 적극 유도에 대한 조사방법

도산대로 지점은 경찰청의 도움을 받아 <그림 6>에서 <그림 8>에 보인 바와 같이 교통유도시설 즉, 가이드봉, 안내판, 임시 중앙선 표시 등을 이용하여 동시에 2대씩 또는 3대씩 U턴을 유도하는 방법을 실시했다.

먼저 동시에 2대씩 U턴을 유도하는 경우를 보면, 소형차 회전반경을 고려하여 9m 간격으로 가이드봉을 설치하되 맨 처음 구간은 대형차가 회전할 수 있도록 12m간격을 설정하였다. 따라서 정지선으로부터 12m 지점, 21m 지점에 각각의 가이드봉을 설치하여 U턴 가능 구간을 두 개로 지정하였다. 그래서 대형차는 맨 앞에서, 승용차는 모든 지점에서 동시에 U턴을 하도록 하였다. 불법 U턴을 금지시키기 위해서 21m 이후부터는 일정한 간격으로 가이드봉을 설치하였다. 그리고 본 연구에서 의도하는 것(동시 U턴 2대)을 운전자에게 홍보하기 위해 본 연구에서 자체로 만든 임시 안내 표지판을 제작하여 가이드봉과 같이 설치하였다. (<그림 6> 및 <그림 8> 참조)



<그림 6> 다중 U턴 안내 체계도 (2대 다중 U턴 유도)



<그림 7> 다중 U턴 안내 체계도 (3대 다중 U턴 유도)

동시에 3대씩 U턴을 유도하는 경우는 12m, 21m 그리고 30m 지점에 가이드봉과 임시 안내표지판을 설치하여 대형차는 맨 앞에서, 승용차는 모든 지점에서 동시에 U턴 할 수 있도록 하였다.(<그림 7> 참조)

본 연구에서 제작한 표지판 종류는 아래의 그림과 같고, 표지판의 크기는 23(Cm)×45(Cm)로 바탕은 흰색, 글씨는 흑색으로 제작되었다. 또한 표지판의 높이는 포장면에서 1.2m로 가이드봉에 부착시켰다.

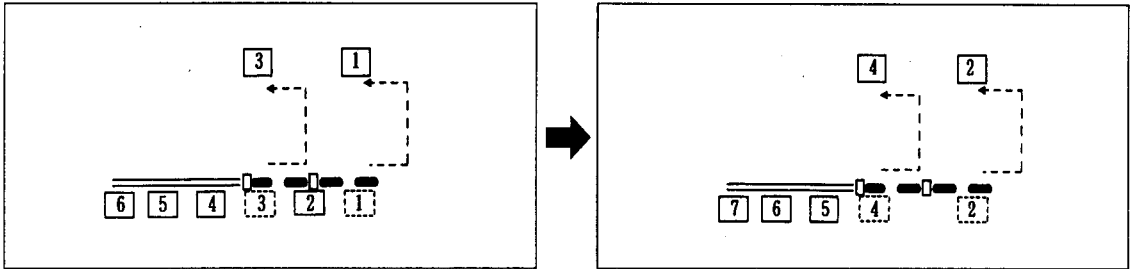
구분	TYPE 1	TYPE 2
	 왼쪽 회전 차량 표시	 왼쪽 회전 표시
	 동시 2차 회전	 동시 3차 회전

<그림 8> 표지판 종류 및 설치높이

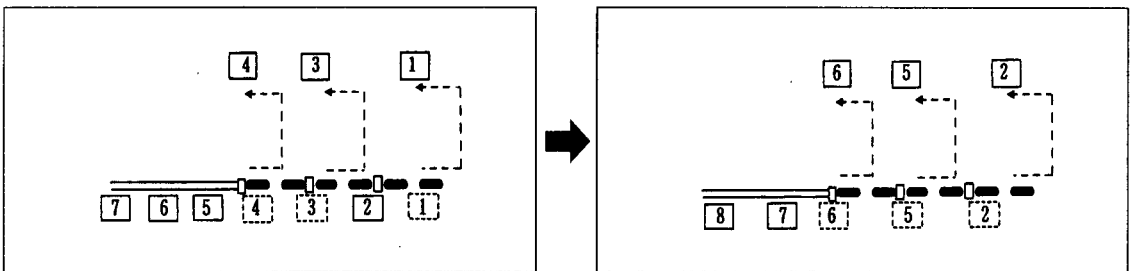
조사는 정기적으로 이곳을 이용하는 운전자들에게 동시 U턴 구간이라는 것을 인식시키기 위해 다중 U턴 유도 시설을 설치한 5일 후부터 현장 자료를 수집하였다. 아래의 그림에서는 다중 U턴이 이루어지는 바람직한 상태와 단일 U턴이 이루어지는 바람직하지 않은 상태를 나타내었다. 마지막으로 교통 유도시설을 제거 후 단순히 U턴 가능 구간 길이의 영향을 알아보기 위하여 U턴 가능 구간 길이를 조정하여 실험을 하였다.

IV. 분석결과

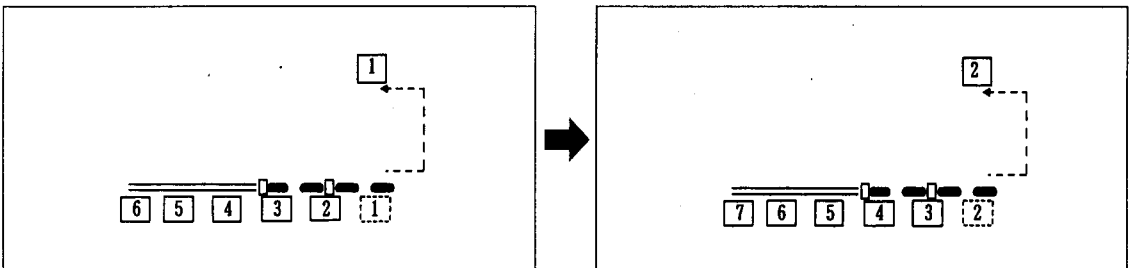
앞 장에서 제시한 조사 방법에 의해 7개의 CASE 별로 현장 자료를 수집했다. 강남대로 지점과 삼각지 지점은 기존 상태에 대해서 조사하였고 도산대로 지점은 U턴 허용길이, 운영방법 등을 바꾸어 가며 5가지 CASE로 구분하였다. 강남대로와 삼각지의 유효한 관측 표본의 수는 각각 39개와 20개정도로써 보조 자료로 활용하였고, 자료가 많은 도산대로 자료를 주



<그림 9> 바람직한 U턴 상태 (2대 동시)



<그림 10> 바람직한 U턴 상태 (3대 동시)



<그림 11> 바람직하지 않은 U턴 상태 (단독)

로 활용하였다. 본 연구에서는 U턴 차량대수가 5대 미만인 자료는 분석 대상에서 제외하였다.

각 CASE별 구분을 아래와 같이 설정하였다.

<표 5> 지점별 표시

구분	지점 (U턴 허용길이)	비고
CASE I	도산대로 (18m)	기존 상태
CASE II	도산대로 (21m)	동시 U턴(2대) 적극 유도 가이드봉 설치
CASE III	도산대로 (21m)	U턴 허용 길이 증가 가이드봉 미설치
CASE IV	도산대로 (30m)	동시 U턴(3대) 적극 유도 가이드봉 설치
CASE V	도산대로 (30m)	U턴 허용 길이 증가 가이드봉 미설치
CASE VI	삼각지 (32m)	기존 상태
CASE VII	강남대로 (15m)	기존 상태

1. U턴 교통류의 차두시간 분포

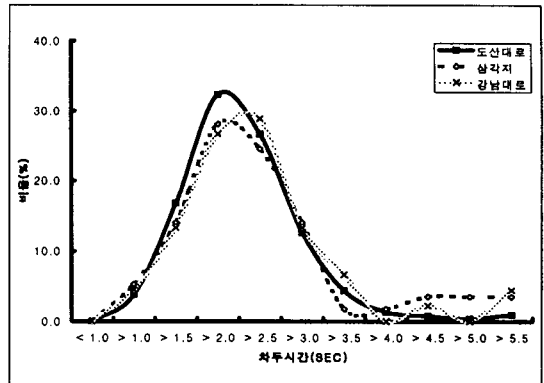
포화교통류의 기초가 되는 U턴 차량의 평균 차두시간을 구하기 위해 각 지점에서 관측된 자료 중 소형차로만 단독 U턴한 경우를 선택하여 아래의 표와 같이 분석을 했다. 대형차가 혼합된 자료를 쓸 경우 대형차의 영향이 반영되기 때문 이를 배제하였고, 다중 U턴 자료를 제외하여 한 대씩 U턴하는 경우의 자료를 기본으로 하였다. 먼저 각 지점에 대한 차두시간 분포를 통계치와 빈도 분포도로 나타냈다. 표 4.2에 나타난 통계치를 살펴보면, 도산대로 지점의 평균 차두시간은 2.53초, 삼각지는 2.81초 그리고 강남대로는 2.74초로 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 또한

중앙값의 경우는 도산대로 지점이 2.46초, 삼각지는 2.53초, 강남대로는 2.58초로 분석되었다.

〈표 6〉 각 지점별 차두시간 통계치

지점별	도산대로	삼각지	강남대로
관측수(회)	530	56	45
평균(초)	2.53	2.81	2.74
표준편차	0.71	1.13	1.01
중앙값(초)	2.46	2.53	2.58
최빈값(초)	2.25	1.8	1.98
최소값(초)	1.04	1.14	1.15
최대값(초)	6.09	6.64	6.26

주 : 소형차만을 대상으로 함



〈그림 12〉 각 지점별 차두시간 분포도

차두시간 빈도 분포를 보면, 도산대로의 차두시간이 1.5~2.0초 사이가 32.3%로 가장 많은 분포비율을 보이고 있고, 2.0~2.5초는 26.7%, 1.0~1.5초는 16.8%, 2.5~3.0초는 12.7%의 분포로 나타났다. 삼각지의 경우는 1.5~2.0초에서 28.1%, 2.0~2.5초는 24.6%, 1.0~1.5초와 2.5~3.0초는 14.0%의 분포를 보이고 있다. 강남대로는 2.0~2.5초에서 28.9%로 가장 높은 분포를 보였고, 1.5~2.0초는 26.7%, 1.0~1.5초와 2.5~3.0초는 13.3%의 분포를 보이고 있다.

〈표 7〉 각 지점별 차두시간 빈도 분포

차두시간 간격(초)	도산대로		삼각지		강남대로	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%
<1.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
>1.0	20	3.8	3	5.3	2	4.4
>1.5	89	16.8	8	14.0	6	13.3
>2.0	171	32.3	16	28.1	12	26.7
>2.5	141	26.7	14	24.6	13	28.9
>3.0	67	12.7	8	14.0	6	13.3
>3.5	23	4.3	1	1.8	3	6.7
>4.0	7	1.3	1	1.8	0	0.0
>4.5	4	0.8	2	3.5	1	2.2
>5.0	2	0.4	2	3.5	0	0.0
>5.5	5	0.9	2	3.5	2	4.4

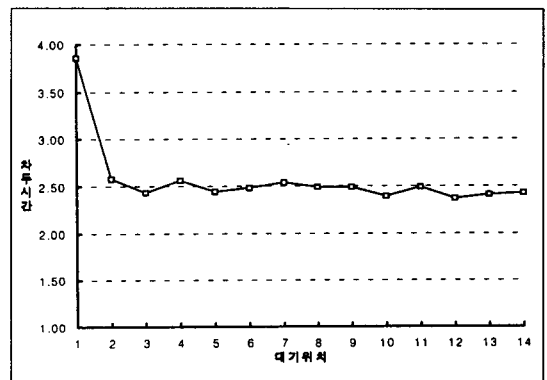
주 : 소형차만을 대상으로 함

대기위치별 차두시간 분포를 보면, U턴 가능한 현시가 시작되었을 때 U턴 대기 기준선을 통과한 평균 차두시간은 대기 순서별로 3.85초, 2.58초, 2.44초, 2.56초 등으로 점차 감소하다가 2.5초에서 수렴하고 있으며, 전체 평균 차두시간은 2.57초로 나타났다. 차두시간 분포가 대략적으로 세 번째 차량부터 일정하게 분포된다는 것을 알 수 있다.

〈표 8〉 대기위치별 U턴 평균 차두시간 (단위 : 초)

대기위치	구분	CASE I	CASE II	CASE III	CASE IV	CASE V	CASE VI	CASE VII	평균
		1	386	316	340	376	397	560	
2	347	277	223	233	261	193	273	2.58	
3	200	249	229	241	270	297	220	2.44	
4	237	247	244	232	243	263	327	2.56	
5	272	230	247	254	192	267	249	2.44	
6	226	254	266	243	261	263	225	2.48	
7	234	251	245	247	255	245	304	2.54	
8	215	249	283	239	222	273	265	2.49	
9	219	244	250	239	275	267	-	2.49	
10	222	226	253	245	237	252	-	2.39	
11	225	236	265	268	239	260	-	2.49	
12	236	234	248	276	240	189	-	2.37	
13	-	224	265	249	227	-	-	2.41	
14	-	200	258	277	236	-	-	2.43	
전체평균									2.57

주 : 승용차만을 대상으로 함

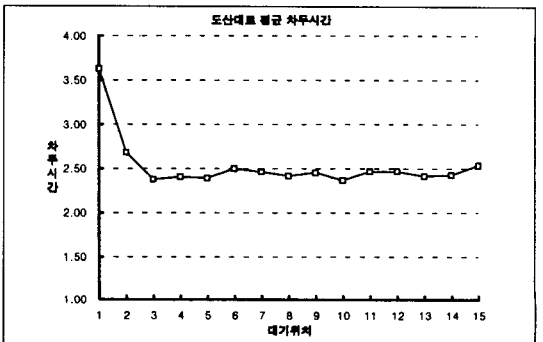
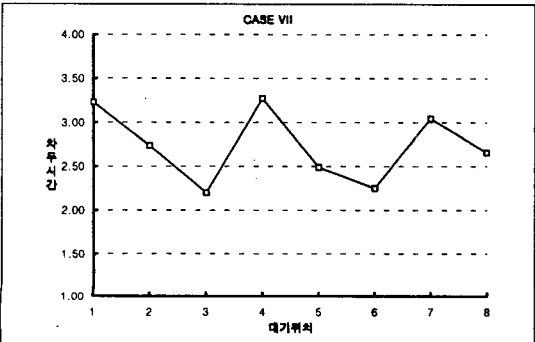
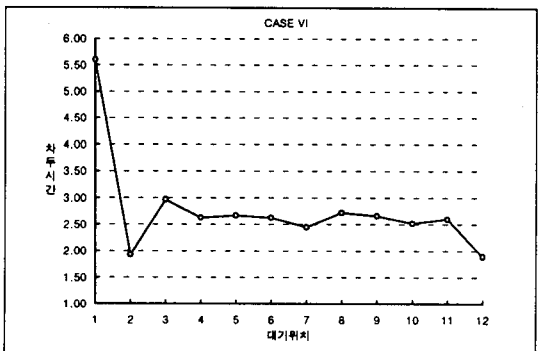
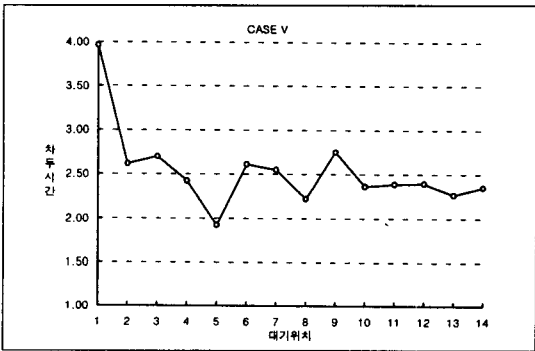
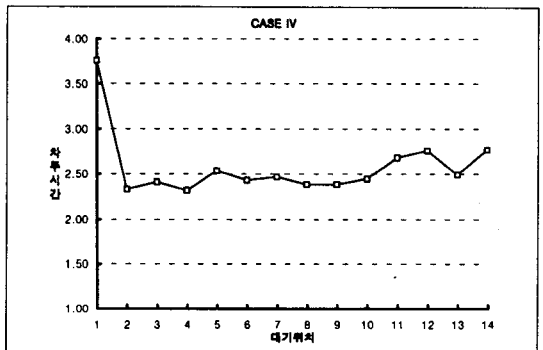
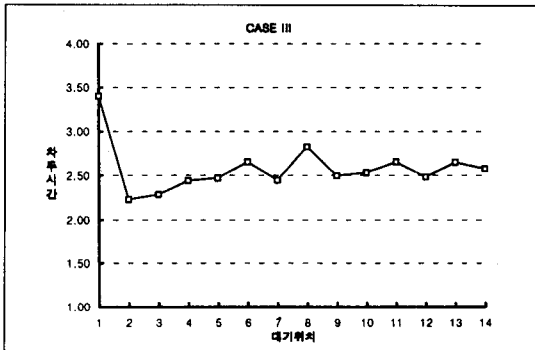
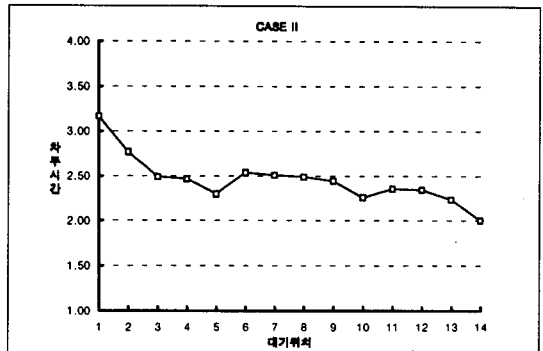
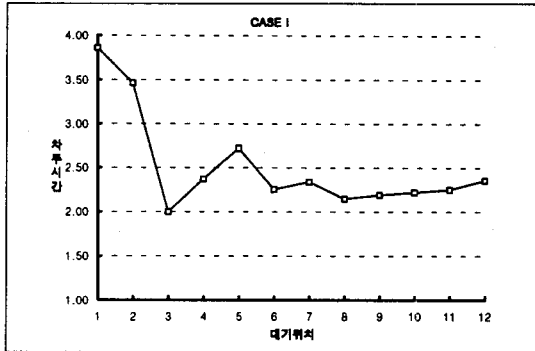


〈그림 13〉 대기 위치별 평균 차두시간

각 지점별 평균 차두시간은 전체 평균 차두시간과 마찬가지로 세 번째 차량부터 거의 일정하게 된다는 것을

알 수 있다. 그러나 강남대로 지점만 평균 차두시간이

대기 위치에 관계없이 다소 변화가 심하게 나타났다.



〈그림 14〉 각 지점별 대기 위치별 평균 차두시간

2. 출발손실시간 분석

출발손실은 직진이나 좌회전 교통류의 경우에는 보통 3번째 차량까지 나타나며 4번째 차량 이후부터 차두시간이 일정한 것으로 보고 있다. 그러나 U턴 교통류인 경우 앞에서 설명했듯이 세 번째 차량 이후부터 출발 손실이 없다는 것을 그림 4.2에서 알 수 있다. 따라서 U턴 차량의 평균 차두시간은 첫 번째와 두 번째 차량을 제외한 2.43(초/대)이고, 출발 손실 시간은 다음과 같은 공식에 의해 1.57초로 산정되었다.

$$L = A_r - (2 \times H)$$

여기서,

L : 출발 손실 시간(초) ($6.43 - (2 \times 2.43) = 1.57$ 초)

A_r : 대기 차량 중 두 번째 차량이 기준선을 통과한 평균시간 ($3.85 + 2.58 = 6.43$ 초)

H : 평균 차두시간(초) (여기서는 2.43초)

일반적으로 신호교차로에 적용되는 출발 손실 시간은 3초로 U턴 차량의 출발 손실 시간이 거의 절반 정도 작은 값으로 나타났으며 그 이유는 조사지점의 교차로 간격이 좁은 횡단보도이기 때문에 바로 앞 현시의 소거시간이 짧은 데에 있을 것으로 추정된다.

출발손실을 더 정확하게 산정하기 위해서는 대기 위치별 차두시간 자료를 이용한 통계적 분석이 필요할 것이다. 여기서는 자료 및 시간의 제약으로 인하여 그래프로부터 직관적으로 대기위치를 결정하였으므로 그 근거가 미약하다고 볼 수 있다. 출발손실은 유효녹색시간 계산에 필요하므로 녹색시간비(Ge/C)에 이용되며 따라서 용량산정에도 관련 된다.

3. U턴 포화교통류율 산정

U턴 포화교통류율의 산정은 승용차만으로 구성된 자료들의 평균 차두시간을 이용하여 분석하였다. 앞에서 제시한 평균 차두시간은 2.43(초/대)으로 분석되었고, 이것을 이용하여 U턴 포화교통류율(S_0)을 산정하였다.

$$S_0 = 3,600 / \bar{h}_0 = 3,600 / 2.43 = 1,481(\text{pcphgpl})$$

지금까지 기존 연구²⁴⁾에서 보고된 포화교통류율은 1,540과 1,550(pcphgpl)으로 본 연구에서 제시한 1,481(pcphgpl)과 약 4% 차이를 보이고 있다. 이 차이는 현장조건과 조사방법에서 나타날 수 있는 정도로서 큰 차이는 아닌 것으로 생각된다.

4. 승용차 환산계수 산정

본 장에서 대형차에 대한 승용차 환산계수를 산정하고자 하며 분석자료는 단독 U턴 자료만 이용하였다. 버스가 U턴하는 자료는 많지 않았기 때문에 분석하기가 곤란하였다. 따라서 트럭에 대한 승용차 환산계수만을 산정하고자 하며 여기서는 2.5Ton이상의 트럭을 대상으로 하였다.

승용차 환산계수 산정 방법은 거시적 방법과 미시적 방법으로 구분할 수 있으며 용량과 관련된 승용차 환산계수는 아래와 같은 거시적 방법으로 산정함이 타당하다고 판단된다. 승용차환산 계수(PCE)는 아래의 공식에 의해 산정되었다.

$$PCE = \frac{1}{P} \left(\frac{q_B}{q_M} - 1 \right) + 1$$

여기서, P : 대형차의 혼입율

q_B : 기본 교통류율(pcph)

q_M : 혼합 교통류율(vph)

이에 대한 결과는 <표 9>와 같이 혼합비율에 따라서 PCE 값이 감소하는 것으로 나타났다. 대형차 혼입 비율이 0~10%인 경우 평균 승용차 환산계수가 1.98이고, 10~20%는 1.93, 20~30%는 1.51, 30% 이상은 1.35로 나타났고, 전체적인 평균 승용차 환산계수는 1.78로 분석되었다. U턴 교통류의 PCE 값은 좌회전이나 직진 교통류의 값보다 훨씬 큰 것으로 추정되었으며, 이것은 대형차가 작은 회전반경으로 U턴하기 때문에 당연한 결과로 해석된다. 최대값과 최소값의 범위를 보면, 0~10%는 1.00~3.35, 10~20%는 1.21~3.45, 20~30%는 1.11~2.04, 30% 이상은 1.65~1.15로 혼입 비율이 20%이하의 승용차 환산 계수의 분포가 상당히 넓게 분포되었고 따라서 표준편차도 0.71로서 크게 나타났다.

〈표 9〉 대형차 혼입율별 PCE 값 비교

대형차혼입율(%)	0~10	10~20	20~30	30이상	전 체
관 측 수	15	20	12	6	53
평 균	1.98	1.93	1.51	1.35	1.78
표준편차	0.71	0.55	0.29	0.19	0.44
최 대	3.35	3.45	2.04	1.65	3.45
최 소	1.00	1.21	1.11	1.15	1.00

5. U턴대기 댓수별 소요시간 비교

〈표 10〉 및 〈표 11〉과 같이 다중 U턴이 포함된 경우와 한 대씩 U턴을 한 경우로 분리하여서 U턴 차량 대수 순서로 나열하여 U턴 대기 댓수와 소요시간과의 관계를 분석하였다. 그 결과 5대가 단독 U턴한 경우 평균 소요시간은 14.45초이고 평균 차두시간은 2.89초로 나타났다. 19대가 단독 U턴한 경우 평균 소요시간과 평균 차두시간은 47.40초, 2.49초로 나타났다. 한편 다중 U턴한 경우 U턴 차량 대수 5대를 보면 평균 소요시간은 11.57초로 단독 U턴한 경우보다 약 3초 정도 짧고, 차두시간도 2.32초로 짧아졌다. 19대를 보면 평균 소요시간이 42.46초로 약 5초 정도 짧아졌고, 차두시간은 2.24초로 단독 U턴 때 보다 짧은 편이다. 따라서 단독 U턴 보다 다중 U턴에 의한 방법이 소요시간과 차두시간이 짧다는 것을 알 수 있다. 그러나 다중 U턴을 하면 선행 U턴하는 차량에 방해될 준다는 인식이 크기 때문에 기대했던 만큼 다중 U턴이 많이 일어나지 않았다. U턴이 개시된 직후

에는 다중 U턴이 비교적 많이 발생하는 편이지만, 3회 이상 다중 U턴하는 경우는 많지 않았다. 그러나 다중 U턴 유도차선을 그려주고 다중 U턴의 장점을 홍보하여 소통에 도움이 된다는 인식이 확산되면 다중 U턴의 횟수는 증가할 것으로 생각한다.

다중 U턴과 단독 U턴의 소요시간을 U턴 댓수의 함수식으로 나타내기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 이들에 대한 함수식은 다음과 같다.

단독 U턴 : $T = 3.111 + 2.352N$ ($R^2 = 0.991$)

다중 U턴 : $T = 0.438 + 2.415N$ ($R^2 = 0.979$)

여기서, T : 소요시간(초)

N : U턴 대수

식에서 보는 바와 같이 U턴 대수와 U턴 소요시간 변수간에 직선의 상관 관계가 있는 것으로 나타났다.

6. 다중 U턴 횟수별 포화교통류를 비교

기존 U턴에 관한 연구⁵⁷⁾에서 한 대씩 처리하는 것으로 교통류 특성을 분석하고, 포화교통류율은 1,500(pcphpl)으로 보고되었다. 그러나 U턴은 항상 한 대씩 이루어진다고 볼 수 없으며 실제 다중 U턴이 이루어지는 경우가 많다. 본 연구에서는 다중 U턴이 이루어지는 표본을 선택하여 다중 U턴 횟수별로 포화유율을 분석하였다. 분석 자료는 도산대로 지점에

〈표 10〉 지점별 단독 U턴의 평균 소요시간 및 차두시간

U턴대수	도 산 대 로			강 남 대 로			삼 각 지			전 체		
	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)
5	10	14.58	2.92	3	14.32	2.86	-	-	-	15	14.45	2.89
6	15	17.13	2.85	2	15.48	2.58	-	-	-	17	16.35	2.72
7	14	18.18	2.60	4	21.61	3.09	-	-	-	18	19.90	2.85
8	23	22.20	2.77	1	21.81	2.73	1	23.88	2.98	25	22.63	2.83
9	19	24.98	2.77	1	23.51	2.61	2	23.80	2.64	22	24.10	2.68
10	18	26.43	2.64	-	-	-	-	-	-	18	26.43	2.64
11	10	28.67	2.61	-	-	-	-	-	-	10	28.67	2.61
12	10	32.78	2.73	-	-	-	3	32.77	2.73	13	32.78	2.73
13	9	34.00	2.62	-	-	-	1	33.56	2.58	10	33.78	2.60
14	13	36.51	2.61	-	-	-	-	-	-	13	36.51	2.61
15	5	38.31	2.55	-	-	-	2	41.14	2.74	7	39.73	2.65
16	3	42.95	2.69	-	-	-	1	37.67	2.35	4	40.31	2.52
17	3	41.56	2.44	-	-	-	-	-	-	3	41.56	2.44
18	2	44.38	2.47	-	-	-	-	-	-	2	44.38	2.47
19	1	47.40	2.49	-	-	-	-	-	-	1	47.40	2.49

주 : 소형차만을 대상으로 함

<표 11> 지점별 다중 U턴의 평균 소요시간 및 차두시간

지점	도산대로			강남대로			삼각지			전체		
	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)	관측횟수	평균소요시간(초)	평균차두시간(초)
5	15	1188	238	3	1126	225	-	-	-	18	1157	232
6	13	1390	232	3	1613	269	-	-	-	16	1502	250
7	30	1643	235	4	1742	249	-	-	-	34	1693	242
8	36	1978	247	-	-	-	1	1851	231	37	1915	239
9	43	2198	244	2	2395	270	-	-	-	45	2297	255
10	48	2493	249	1	2696	270	1	2488	249	50	2559	260
11	54	2792	254	1	3098	282	1	2587	235	56	2826	242
12	33	2988	249	2	3048	254	-	-	-	33	2988	249
13	23	3176	244	-	-	-	2	3199	246	27	3188	245
14	9	3602	257	-	-	-	-	-	-	9	3602	257
15	9	3983	266	-	-	-	-	-	-	9	3983	266
16	7	3827	239	-	-	-	-	-	-	7	3827	239
17	8	4287	252	-	-	-	-	-	-	8	4287	252
18	6	4328	240	-	-	-	1	3537	197	7	3933	218
19	2	4246	224	-	-	-	-	-	-	2	4246	224

주 : 소형차만을 대상으로 함

서 실시한 5가지 CASE를 사용하였고, 각 CASE별로 동시 U턴 대수에 관계없이 동시 U턴을 한 횟수에 따라서 정리를 하였다. 또한 앞장에서 제시한 승용차 환산계수 1.78을 트럭에 적용하여 각각의 포화교통류율을 대/시에서 승용차/시로 환산하였다. 이에 대한 결과는 <표 12>, <표 13> 및 <그림 15>로 나타났다.

CASE I의 U턴 횟수별 포화교통류율을 보면, 다중 U턴이 없을 경우 1,487pcph이고 3회 다중 U턴이 있는 경우는 1,943으로 증가되었고, CASE II는 1,517에서 1,811로, CASE III는 1,621에서 1,695로, CASE IV는 1,464에서 1,682로, CASE V는 1,482에서 1,869로 증가되었다. 전체 평균으로 보면 다중 U턴이 없을 때는 1,514pcph, 1회 다중 U턴이 이루어졌을 때는 1,598pcph, 2회는 1,649pcph, 3회는 1,800pcph로 다중 U턴 횟수가 많을수록 포화교통류율도 증가된다는 것을 알 수 있다.

이 표에서 알 수 있는 바와 같이 다중 U턴 횟수가

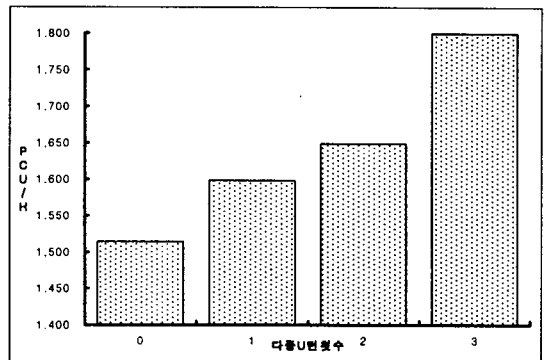
<표 12> 다중 U턴 횟수별 포화교통류율(vph)

주기당 다중U턴 횟수	CASE I (18m)	CASE II (21m)	CASE III (21m)	CASE IV (30m)	CASE V (30m)	평균	표준편차
0회	1,300	1,354	1,399	1,330	1,361	1,349	36.85
1회	1,440	1,400	1,405	1,488	1,514	1,449	50.41
2회	1,577	1,497	1,440	1,500	1,608	1,524	67.50
3회	1,605	1,580	1,529	1,516	1,724	1,591	82.88
동시U턴 비율(%)	18.44	15.65	19.48	26.85	22.39		

계속 증가할 수만 있다면, U턴의 용량은 매우 증가할 것은 분명하다. 현재 U턴 차량 중 다중 U턴하는 차량의 비율은 도산대로의 경우 16%에서 27% 수준에 이르고 있고, U턴의 길이가 길수록 다중 U턴 횟수가 많아지고 있다. 더욱 많은 차량이 동시에 U턴할 수 있도록 하기 위해서 9m 간격으로 안내봉을 설치하였

<표 13> 다중 U턴 횟수별 포화교통류율(pcph)

주기당 다중U턴 횟수	CASE I (18m)	CASE II (21m)	CASE III (21m)	CASE IV (30m)	CASE V (30m)	평균	표준편차
0회	1,487	1,517	1,621	1,464	1,482	1,514	62.67
1회	1,581	1,566	1,582	1,608	1,651	1,598	33.46
2회	1,652	1,589	1,628	1,617	1,758	1,649	65.34
3회	1,943	1,811	1,695	1,682	1,869	1,800	112.12
동시U턴 비율(%)	18.44	15.65	19.48	26.85	22.39		



<그림 15> 다중 U턴 횟수에 따른 포화교통류율의 비교

으나 안내봉이 전혀 없었을 때보다 동시 U턴하는 차량이 증가하지 않았으며 안내봉이 장애물로 작용하는 경향도 나타났다. 따라서 안내봉과 같은 물리적 시설보다는 노면 마킹으로 구획을 나누는 방안을 생각해 볼 필요가 있다.

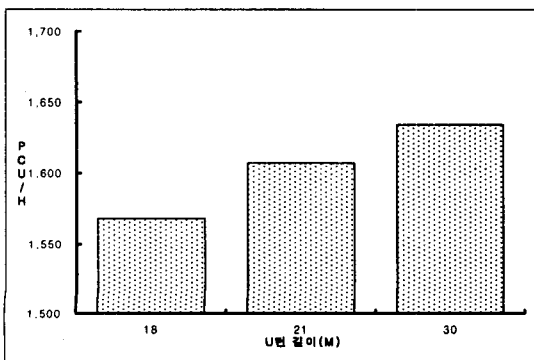
7. U턴 허용 길이별 포화교통류율의 비교

앞 장에서는 다중 U턴 횟수에 의한 포화교통류율을 비교하였고, 여기서는 다중 U턴 횟수 대신에 U턴 허용 길이에 따른 포화교통류율의 변화를 분석하고자 한다. U턴의 길이가 길어지면 다중 U턴이 늘어나기 때문에 포화교통류율이 늘어나게 될 것이다. 이 분석도 도산대로 지점에서 관측된 자료를 이용하였으며 18m, 21m, 30m로 구분하였다. 그리고 관측된 포화교통류율을 승용차 계수를 적용하였다. 이에 대한 결과는 <표 14>과 <그림 16>으로 나타났다.

U턴 허용 길이가 18m인 경우 포화교통류율은 1,568pcu/h이고, 21m일 때는 1,607pcu/h, 30m일 때는 1,634pcu/h로 나타났다. U턴 가능길이가 증가할수록

<표 14> U턴 허용 길이별 교통류율 비교 (5대 이상)

구분	U턴 허용 길이 (m)	관측 횟수	포화 교통류율 (vph)	대형차 혼입률	pcph	최대 pcph	최소 pcph	동시 U턴 비율 (%)
CASE I	18	77	1,410	7.06	1,568	2,135	1,203	18.4
CASE III	21	72	1,416	8.13	1,607	2,123	1,320	19.5
CASE V	30	74	1,500	5.20	1,634	2,252	1,247	22.4



<그림 16> U턴 허용 길이에 따른 포화교통류율의 변화

포화교통류율도 점진적으로 증가하고 있다. 또한 동시 U턴의 비율도 각각 18.4%, 19.5%, 22.4%로 증가하고 있다.

V. 결론

본 연구는 좌회전 금지시 우회이동 방안으로 전용 U턴의 효율적 운영에 필요한 기초자료 즉, U턴 이동류에 대한 차두시간, 출발손실시간, 승용차 환산계수 그리고 포화교통류율을 산정하였다. 또한 다중 U턴, U턴 베이 길이 그리고 적극 동시 U턴 유도하는 방법을 적용하여 포화교통류율의 변화를 비교, 분석하였다.

연구 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 각 지점별 U턴 차두시간을 보면, 도산대로는 2.53초, 삼각지는 2.81초, 강남대로는 2.74초로 나타났다.
- ② U턴 차량의 출발손실시간의 분석 결과, 세 번째 차량 이후부터 출발 손실이 없는 것으로 나타났고, 출발 손실시간은 1.57초로 산정되었다.
- ③ U턴 포화교통류율 산출한 결과 U턴 대기 차량 중 첫 번째와 두 번째 차량을 제외한 평균 차두시간 (2.43 초/대)을 이용하여 약 1,480(pcp/h)으로 분석되었다.
- ④ U턴 이동류에 대한 승용차 환산계수는 대형차 혼입 비율이 0~10%인 경우 1.98, 10~20%는 1.93, 20~30%는 1.51, 30% 이상은 1.35로 나타났고, 전체적인 평균 승용차 환산계수는 1.78로 분석되었다.
- ⑤ 단독 U턴과 다중 U턴에 대한 U턴 차량 대수에 따른 소요시간 모형을 아래와 같이 도출하였다.

• 단독 U턴에 의한 소요시간

$$T = 3.111 + 2.352N (R^2 = 0.991)$$

• 다중 U턴에 의한 소요시간

$$T = 0.438 + 2.415N (R^2 = 0.979)$$

여기서, T : 소요시간(초)

N : U턴 대수

- ⑥ 주기당 U턴 횟수에 따른 평균 포화교통류율은 다중 U턴이 없을 경우는 1,515pcph, 다중 U턴 횟수 1회는 1,600, 2회는 1,650, 3회는 1,800으로 U턴 횟수가 증가할수록 U턴의 용량이 증가한다는 것을

알 수 있다.

- ⑦ U턴 허용 길이에 따른 포화교통류율의 변화는 18m인 경우 1,570pcph, 21m는 1,610, 30m는 1,640으로 U턴 허용 길이가 증가할수록 포화교통류율도 점진적으로 증가하는 것으로 분석되었다.

추후 연구 과제로는 다중 U턴 차로에 대한 도로의 기하학적 설계(노면 마킹 및 유도시설 등)와 설치 기준에 관한 분석이 필요하다. 또한 출발순실시간의 산정을 더 심층적으로 분석하기 위하여 대기위차별 차두시간 자료의 통계적 분석이 필요하다. 또한 도로용량편람과 관련하여 U턴 용량에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 건설부, "도로의 구조, 시설 기준에 관한 규정", 1993.
2. 오영태, "신호차로에서의 U-TURN에 대한 용량산정 및 좌회전 보정계수 에의 적용", 대한교통학회지, 1995.
3. 최기주, "U-TURN을 포함한 가로망 표현 및 최단경로의 구현", 대한교통학회지, 1995.
4. 손한철, "좌회전 금지시 도시간선도로의 운영방안", 계명대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
5. 김동녕, "승용차 환산계수 산정에 관한 이론적 연구", 대한교통학회지, 1991.
6. "Highway Capacity Manual," Transportation Research Board, Special Report 209, 1985.
7. John Clifton Adams and Joseph E. Hummer, "Effects of U-TURN on Left-Turn Saturation Flow Rates", Transportation Research Record 1398, TRB, pp.90~100.
8. Adolf D. May, "Traffic Flow Fundamentals", New York, Prentice - Hall, 1990, pp.50~80
9. Daniel, Gerlough and Matthew, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, TRB, Washington D. C, 1975.
10. "A Policy on Geometric Design of Highway and Streets", AASHTO, Washington, D. C., 1990.