

신호교차로에서 유턴에 의한 좌회전·유턴 공용차로 용량 및 영향도 분석

Analyses of Capacity and Effects at Left-Turn lane shared U-Turn movements by U-Turn

안 형 기

오 영 태

(아주대학교 일반대학원 건설교통공학과) (아주대학교 환경·도시공학부 교통공학전공 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 기존 연구의 고찰
 - 1. 포화대기위치 결정방법
 - 2. 포화교통류율 결정방법
 - 3. 국내 유턴현황
 - 4. 국내 연구사례
- III. 좌회전 및 유턴전용차로의 용량분석
 - 1. 좌회전 전용차로의 포화교통류율 산정
 - 2. 유턴 전용차로의 포화교통류율산정
- IV. 유턴 영향도 분석
 - 1. 유턴비율에 따른 포화교통류율 산정
 - 2. 유턴비율에 따른 보정계수 산정

I. 서론

현재 서울을 비롯한 대도시의 도시간선도로는 증가하는 교통량을 충분히 처리하고 있지 못하고 있는 실정이다. 이러한 현상의 대표적인 원인으로서는 슈퍼블럭으로 형성되어있는 가로망체계와 양방향 6차로 이상의 광로를 들 수 있다. 슈퍼블럭으로 형성된 도로망에서는 교차로간의 링크길이가 길어지게 되고 접근로의 수가 증가하게 되어 결과적으로 간선도로가 본연의 목적인 통과교통처리 이외에도 접근서비스도로 기능까지도 담당하게 하는 결과를 초래하였다. 이와 같은 체계적인 문제점은 도시간선도로의 교통류관리의 핵심이라고 할 수 있는 신호교차로의 운영측면에서도 문제점을 야기 시키는데, 대표적인 예가 회전교통량의 증가라고 볼 수 있다. 특히 교차로에 집중되는 좌회전 교통량으로 인하여 대부분의 신호교차로가 4현시 체계로 운영되고 있다. 그러나 증가하는 교통수요와 이에 대한 충분한 현시제공을 위해서 신호주기가 증가되어 운영되는 교차로가 많아지고 자연히 교차로의 지체 역시 증가하는 악순환이 되풀이되고 있다. 이와 같은 문제점의 완화를 위해서 좌회전 금지 등의 조치로 좌회전 이동류를 통제하고 대신 유턴, P-턴 등의 전략을 이용하여 교통류를 이동시키는 기법이 많이 사용되고 있

다.

현재 운영되고 있는 유턴의 유형을 살펴보면 유턴전용차로 혹은 좌회전·유턴 공용차로의 형태로 구분지을 수 있다. 특히, 많은 교차로에서 좌회전·유턴 공용차로의 형태로 운영되어 좌회전 현시에 공용차로의 유턴 교통류를 처리하는 전략을 사용하고 있다. 그러나 이는 유턴 교통류로 인하여 발생할 수 있는 좌회전 교통류의 용량저하를 야기 시키고 있는 실정이다. 또한 도로시설의 용량과 서비스 수준의 산정을 위한 도로용량편람에서도 공용차로에서 유턴 교통류로 인한 좌회전 교통류의 용량저하에 대한 보정이 되어있지 않다.

이에 본 연구에서는 좌회전·유턴 공용차로에서 유턴 교통류가 좌회전 교통류에 미치는 영향을 분석하여 좌회전 신호시간의 최적화를 위한 적절한 보정계수를 제시하고자 한다.

II. 기존 연구의 고찰

1. 포화대기위치 결정방법

포화교통류율의 산정을 위한 포화차두시간 산출에는 아래와 같은 몇가지 방법이 있다. 신호교차로의 직진 교통류에 대한 포화 대기 위치

의 결정은 교차로를 통과하기 위해 대기한 차량 중 녹색신호를 받고 출발 시 출발손실시간을 경험하는 처음 몇 대의 차량을 제외하고는 일정한 차두시간을 형성한다는 전제를 바탕으로 하여 이때의 차두시간인 포화 차두시간이 발생하는 차량의 대기위치를 결정한다. 이러한 포화 대기위치를 결정하기 위한 방법으로는 평균 분석을 이용하여 포화구간을 설정하는 방법 그리고 통계적인 검증방법인 분산분석(ANOVA)의 후속단계인 다중비교(Multiple comparison) 방법 중에서 Duncan Test, 투키의 방법 등을 들 수 있다.

1) 평균분석을 이용한 포화대기위치 설정

평균분석은 대기차량군을 몇 개의 군으로 나누어 군별 평균차두시간을 산출한 다음 연속되는 군별 평균차두시간을 비교하면서 포화차두시간이 나타나는 포화대기위치 이후의 포화구간을 설정하는 방법으로 평균분석의 적용절차는 다음과 같다.

절차 1: 개별차량의 차두시간자료를 수집한다.

절차 2: 대기차량군을 몇 개의 군으로 나눈다.

$$1 \leq n_1 \leq n_k, \dots, n_{k-1} \leq n_i \leq n_k$$

여기서,

n_i : 대기위치 i 번째 차량

n_k : 대기한 전체 차량

절차 3: 군별 평균차두시간을 산출한다.

절차 4: 연속되는 군별 평균차두시간이 동일한 위치에서 포화구간을 설정한다.

2) Duncan's Test

포화대기위치의 결정을 위해서는 통계적인 검증방법인 분산분석(ANOVA)의 후속단계인 다중비교방법중에서 Duncan's test를 이용한다. Duncan's Test는 다중비교 방법 중에서 오류확률이 작다고 알려져 있다. 다중비교 방법은 분산분석의 결과가 다수 집단간 차이가 있을 경우 개별집단의 차이 여부를 검증하는 방법으로 Duncan's Test는 다음의 판단역에 대하여 검증을 실시한다.

$$|a_i - a_j| > Q' \sqrt{\delta^2/n}$$

여기서,

a_i = a 요인의 i 처리평균

Q' = Significant Studentized range table에 있어서, p, \emptyset, α 에 의한 Q 값

δ^2 = 분산

n = 처리당 관찰수

3) 투키의 방법

분석대상 신호교차로에서 수집한 대기위치별 개별 차두시간 자료를 기초로 다중 평균비교 분석법을 사용한다. 다중 평균비교 분석방법은 일원배치법(One-way ANOVA)에서 F비값이 유의하지 않을 때는 μ 's 들의 값은 차이가 없는 것이다. 하지만 귀무가설(H_0)이 기각(Reject) 되었을 때는 μ 's 들의 값은 차이가 있는 것을 나타내고 있는 것이다. 다중 평균비교 분석방법은 각각 데이터가 평균 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ 와 분산 σ^2 인 정규분포를 갖는 k 개의 서로 확률적으로 독립인 모집단을 가정할 수 있다. 이때 투키의 방법(Turkey's Procedure)은 반복수가 같은 경우와 다른 경우로 구분하여 모집단간에 차이가 있는지를 분석하는 방법이다. Scheffe에 의해 제안된 방법은 반복수에 관계없이 수행할 수 있는 방법이다. 투키의 방법과 Scheffe의 방법을 비교하면 다음과 같다.

첫째, 쌍(Pairwise)의 비교로만 사용되면 투키의 방법이 우수하고,

둘째, 일반적인 비교로 사용되면 Scheffe의 방법이 우수하다.

투키의 방법을 살펴보면 다음과 같다. 투키의 방법은 Studentized Range 분포를 사용한다. 이 분포는 두 개의 파라메타를 사용하는데 분자의 자유도(m)와 분모의 자유도(v)이다.

$Q_{\alpha, m, v}$ 는 유의수준 α 일 때, 분자의 자유도(m)와 분모의 자유도(v)를 나타내고 있는 것이다. 이 값은 Studentized range 분포의 분포표에서 찾을 수 있다.

샘플의 자료수가 $J_1, J_2, J_3, \dots, J_I$ 로 I 개이고, 모든 $i(i=1,2,\dots,I)$ 와 $j(j=1,2,\dots,J)$ 가 $i \neq j$ 일 때,

$$W_{ij} = Q_{\alpha, I, n-I} \times \sqrt{\frac{MSE}{2} \left(\frac{1}{J_i} + \frac{1}{J_j} \right)}$$

두 모집단의 평균 차에 대한 신뢰구간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(\overline{X_i} - \overline{X_j} - W_{ij}) \leq \mu_i - \mu_j \leq (\overline{X_i} - \overline{X_j} + W_{ij})$$

2 포화교통류율의 결정방법

본 연구에서는 포화교통류율 결정시 실측된 승용차만으로 구성된 포화교통류의 차두시간을 측정하여 회귀분석을 통하여 결정하는 방법을 사용했다. 이 방법을 이용하여 포화교통류율을 산정할 시에는 포화차두시간이 발생하는 포화 대기위치를 결정한 아래에 소개한 회귀분석모형을 이용하여 포화차두시간을 구한다. 이렇게 구해진 포화차두시간을 이용하여 다음의 식에 따라 포화교통류율을 산정하게 된다.

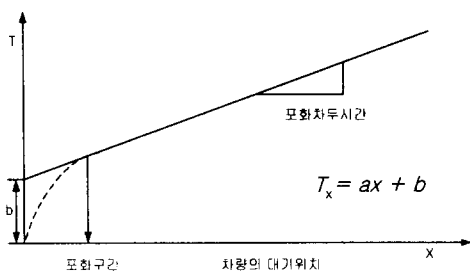
$$\text{포화교통류율(대/시간)} = \frac{3,600(\text{초/시간})}{\text{포화차두시간(초/대)}}$$

선형회귀 분석방법은 차두시간의 누적 치에 해당하는 차량의 정지선 통과시간에 대한 선형 회귀분석을 차량의 대기위치별로 제거해 가면서 수행하는 방법이다.

이 모형은 자료가 이상적인 차두시간의 특징에 잘 부합되는 경우 대기위치의 결정, 포화차두시간의 결정과 출발손실시간의 결정을 동시에 유추할 수 있는 특징을 지니고 있다. 이 방법의 회귀분석 모형은 단순직진모형으로 다음과 같으며 [그림 1]은 이 관계를 나타낸다.

$$T_x = ax + b$$

여기서, T_x = 대기위치 x 의 정지선 통과시간이며, a = 포화차두시간, b = 출발손실시간이다.



[그림 1] 정지선 통과시간을 이용한 선형회귀 분석모형의 형태

이 모형은 차량의 정지선 통과시간이 차이가

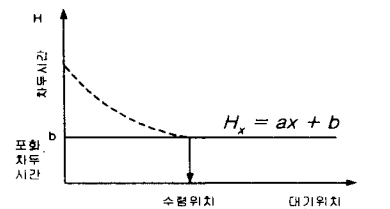
처음에는 크게 나타나다가 어느 정도의 차량이 지나가고난 후는 포화차두시간으로 일정하게 된다는 가정하에서 정지선 통과시간에 대해 대기위치별로 점점 제거해 나가면서 회귀분석을 실시한다. 회귀분석을 실시해나감에 따라 수렴 위치에서 포화차두시간을 결정하게 된다. 이렇게 대기위치별로 제거시키는 모형은 대기위치별 차두시간에 대해서도 적용이 가능하다. 즉 어느 대기위치 이후로 일정한 포화차두시간으로 차량이 출발한다고 하면, 그 위치 이후의 대기행렬에 대한 직선선형회귀분석을 통해 그 포화차두시간을 결정할 수 있다. 이 관계는 다음과 같으며 [그림 2]에서 나타내고 있다.

$$H_x = ax + b$$

여기서, H_x = 대기위치 x 의 차두시간

x = 대기위치

b = 포화차두시간 (단, 이때 $a=0$)



[그림 2] 차두시간을 이용한 직선선형회귀 분석모형의 형태

3. 국내 유턴 현황

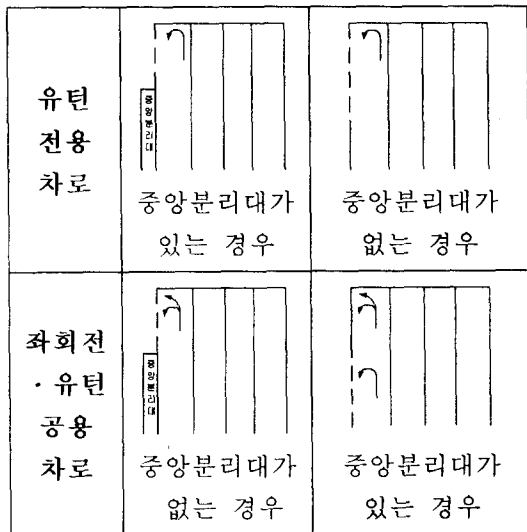
현재 우리 나라 도심지 가로교차로의 경우 대부분 4지 교차로로 운영되고 있다. 또한 교차로의 현시 운영 시 4현시 이상으로 운영되는 체계의 경우, 교차로에서의 신호주기 및 손실시간의 증가를 야기시켜 교차로의 용량 감소와 서비스 수준의 저하를 가져오고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위하여 좌회전 통제 등의 운영방법을 도입하고 있으며 동시에 유턴이나 P턴 등의 전략을 활용하여 교차로 및 가로망의 운영효율증가를 도모하고 하고 있다.

유턴의 경우에는 유턴 전용차로, 좌회전·유턴 공용차로의 2가지 방식으로 운영되고 있으며 또한 유턴 구역선을 제공하여 동시다발적인 유턴이 가능한 지역과 중앙분리대로 인하여 단독

유턴만이 가능한 지역으로 구분되고 있다. 이와 같은 유턴 구역선의 경우에는 아래와 같은 설치기준에 의하여 제공되고 있다.

- 편도 3차로 이상인 도로로서 편도 폭원이 9m 이상인 도로
- 교통량이 시간당 1,200대 이하인 도로
- 유턴 허용차량은 가급적 승용차로 제한
- 가급적 좌회전 전용차로가 있는 도로
- 인접교차로간 거리 및 신호주기 등 주변 교통여건을 감안

그러나 이러한 설치기준에도 불구하고 특별한 유턴 행동 특성과 유턴차량 교통량을 근거로 그 길이에 대한 기준 설정이 없는 상태이다. 현재 우리 나라에서 운영되고 있는 유턴차로의 유형을 살펴보면 다음의 [그림2-5]와 같다.



이외에도 좌회전 2개 혹은 3개차로중 1차로에 한하여 좌회전·유턴 공용차로로 이용하고 있는 경우도 있다.

4. 국내 연구 사례

오영태의 '신호교차로에서의 유턴에 대한 용량 산정 및 좌회전 보정계수의 적용' 논문에서는 전용 유턴 차로의 용량을 산정하고 유턴의 특성 및 유턴으로 인한 좌회전 교통류율의 영향도를 분석하여 좌회전 신호제어시 유턴·좌회전 공용차로의 유턴비율에 따른 보정계수를 제시함으로써 좌회전 신호시간을 최적화하고자 하였다. 이 연구에서는 평균 차두시간 방법을 이용하여 유턴·좌회전 공용차로의 교통류율을

분석하였다. 그 결과를 보면 유턴·좌회전 공용차로에서 유턴 차량의 비율의 범위는 10%~40%인 것으로 조사되었으며 유턴 비율에 따른 포화교통류율은 부의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이 연구에 따르면 유턴·좌회전 공용차로에서 유턴비율이 10%~20% 사이의 경우는 좌회전 교통이 크게 영향을 받지 않지만 30%이후부터는 평균 교통류율이 급격히 감소되는 결과를 제시하고 있다. 그밖에 오영태의 연구에서는 좌회전·유턴 공용차로의 대기행렬에서 유턴차량의 위치에 따른 영향도의 분석을 실시하여 결과로서 유턴의 영향도는 대기위치 내에서 유턴 차량과 좌회전 차량의 순서에 상관없이 일정함을 보인바 있다.

5. 외국의 사례

포화교통류율에 대한 외국의 연구사례를 살펴보면 John Clifton Adams와 Joseph E. Hummer는 유턴이 좌회전 차로의 포화교통류율에 끼치는 영향도와 유턴 보정계수산정에 관한 연구결과를 발표하였다. 이 연구결과 중 유턴·좌회전 공용차로에서의 좌회전 보정계수를 살펴보면 다음의 <표1>과 같다.

<표1> 미국의 유턴비율에 따른 좌회전 보정계수

유턴 비율(%)	유턴보정계수
50% 이하	1.00
65%~85%	0.98
85% 이상	0.80

III. 좌회전 및 유턴전용차로의 용량분석

1. 좌회전 전용차로의 포화교통류율 산정

1) 조사방법 및 자료정리

좌회전 전용차로의 포화교통류율산정을 위해서는 좌회전·공용차로와의 비교분석을 위해서 공용차로에서의 좌회전 포화교통류율을 산정한다. 본 연구를 위한 주요 조사지점 선정기준은 다음과 같다.

- 이상적인 기하구조 조건을 가지고 있는 지점
- 카메라 촬영시 차간거리(Spacing)를 정확하게

체크하기 위해서 높은 건물이 있는 지점

- 양방향 8차로 이상인 도로
- 좌회전 차량과 유턴(U-Turn) 차량이 많이 통행하는 곳
- 우회전 교통의 영향이 없는 교통상황
- 앞막힘 현상이 없는 교통상황

2) 분석방법 및 결과

좌회전 포화교통류율산정을 위해서는 먼저 수집된 자료를 통하여 포화차두시간을 분석하고 이를 통하여 포화교통류율을 산정한다. 포화차두시간의 산정을 위해서는 대기위치별 차량들의 차두시간을 분석하고, 평균분석이나 Duncan's test등을 통하여 포화차두시간을 산정한다. 본 연구에서는 강남역과 신사역을 대상으로 조사하였으며 24주기동안의 자료를 통하여 포화차두시간을 산출하였다. 포화차두시간의 산출 결과는 아래 <표2>와 같다.

<표2> Duncan's test 결과

분석 방법	grouping	차량대기위치
Duncan test	A	1-6, 8-9, 13
	B	2, 7-9, 13
	C	5-13
포화 차두시간	1.71	
좌회전 포화교통류율	3600 / 1.71 = 2105 (pcphgpl)	

2. 유턴 전용차로의 포화교통류율 산정

1) 조사방법 및 자료수집

전용 유턴차로의 포화교통류율산정을 위한 조사지점의 선정에 대해서는 아래의 사항을 유의하여 선정한다.

- 동시다발적인 유턴이 발생하지 않는 중앙분리대가 있는 지점
- 대형차의 유턴반경이 확보되는 지점
- 유출부에 다른 교통류 및 교통시설과의 상충이 없는 지점

2) 분석방법

전용 유턴차로의 포화교통류율산정방법은 전용 좌회전차로의 포화교통류율산정 방법과 동일하다.

IV. 유턴 영향도 분석

1. 유턴비율에 따른 포화교통류율 산정

본 연구에서는 평균 차두시간 방법을 이용하여 유턴으로 인한 포화교통류율을 산정하였다. 차량들의 유턴이 동시다발적으로 발생하는 상황에서는 기존의 포화차두시간의 산출이 실질적으로 어렵기 때문에 평균 차두시간을 이용한다. 평균 차두시간은 비디오로 촬영한 자료를 컴퓨터 CPU 타임을 이용하여 첫 차량이 녹색 신호를 받고 출발하는 시점과 대기차량의 마지막 차량이 정지선을 통과하는 시점의 통과시간을 구하고 이를 총 통과대수로 나누어 산정하며, 그에 따른 주기별 시간당 교통량으로 환산하여 유턴 비율에 따른 교통량의 변화를 분석한다.

본 연구에서는 유턴 비율에 따른 평균 차두시간의 경향에 따라 포화교통류율도 같은 경향으로 변화한다는 가정 하에 포화교통류율을 산정하였다. 즉, 유턴 비율에 따라 5%의 간격으로 평균 차두시간을 산정하였다. 그리고 유턴 비율이 0%일 경우 즉, 교통류내에 좌회전 차량만이 있을 경우의 평균 포화교통류율과 유턴 비율이 100%인 경우의 평균 포화교통류율을 유턴 비율에 따른 평균 차두시간의 변화 경향과 비교하여 각각의 유턴 비율에 따른 포화교통류율을 산정하였다.

2. 유턴비율에 따른 보정계수 산정

유턴 비율에 따른 보정계수의 산정을 위해서는 유턴 비율에 따른 좌회전 포화교통류율을 기반으로 아래의 식에 따라서 보정계수를 산정한다.

$$f_{LT} = \frac{S_{UT}}{S_{LT}}$$

여기서,

f_{LT} = 유턴 비율에 따른 좌회전 보정계수

S_{LT} = 좌회전 포화교통류율(vphgpl)

S_{UT} = 유턴 비율에 따른 좌회전 포화교통류율(vphgpl)

이와같은 방법으로 산정한 유턴비율에 따른 포화교통류율과 그때의 보정계수는 아래 <표3>과 같다.

<표 3> 유턴비율에 따른 보정계수

유턴 비율	평균 차두시간	평균 포화교통류율	보정 계수
0	1.71	2105	
10	1.851	1945	0.924
20	1.890	1904	0.905
25	1.956	1938	0.921
30	1.858	1508	0.749

참고문헌

1. 오영태, “ 신호교차로에서의 U-TURN에 의 한 용량산정 및 좌회전 보정계수에의 적용”, 대한교통학회지, 1995.
2. 손한철, “좌회전 금지시 도시간선도로의 운영 방안”, 계명대학교 대학원 석사학위논문, 1996
3. 문재필, 김동녕, “U턴의 교통특성 및 다중 U 턴 용량 분석, 대한교통학회지, 1998
4. John Clifton Adams and Joseph E. Hummer, “Effect of U-TURN on Left-Turn Saturation Flow Rates”, Transportation Research Record 1398, TRB, pp.90~100.