

□ 論 文 □

# 5현시 신호체계 4지교차로의 좌회전 금지에 따른 효율성 분석

Efficiency Questions of the Left-turn Prohibit in Case of  
4-Leg Intersections with 5-Phase Signal System

변 상 철\*

Byun, Sang-Cheal

박 병 호\*\*

Park, Byung-Ho

目 次

- I. 서론
  - II. 기존이론의 검토
  - III. 분석방법의 정립
    - 1. 가상도로망의 구축
    - 2. 분석방법의 구축
    - 3. 분석의 전제조건
  - IV. 좌회전 금지의 효율성 평가
    - 1. 좌회전 금지전 · 후의 효율성 평가
    - 2. 좌회전 금지의 효율성 예측모형 검토
  - V. 결론 및 제언
- 참고문헌

Abstract

This paper deals with on the efficiency questions of the left-turn prohibit at an isolated intersection and a corridor with 5-phase signal system. Its objectives are three-fold : (1) to analyze the efficiency of the left-turn prohibit with the use of an imaginary network, (2) to evaluate various factors under consideration in decision-making on the left-turn prohibit, (3) to provide a framework for estimating and evaluating overall impacts of the left-turn prohibit in traffic network.

The major findings using an imaginary network and computer packages such as MINUTP, TRANSYT-7F and STATGRAPH are followings.

First, left-turn prohibit reduces cycle length by 33 seconds and delay time per vehicle by 36 seconds at an isolated intersection, and cycle length by 31 seconds and delay time per veicle by 43 seconds along a corridor.

Second, total vehicle mile of travel and total travel time at an isolated intersection seem up to increase 38.85 miles(57.36km), 14.4 hours on the average. Regarding to a corridor, total vehicle mile of travel is increased by 50.14 miles(80.22km), but total travel time is decreased by 129.9 hours.

Third, the efficiency of left-turn prohibit are affected the following eight factors including left-turn volume(veh/hr) and ratio(%), average delay time per vehicle(sec/veh) and others.

Finally, several simple and multiple regression models to evaluate the impacts on the left-turn prohibit are formulated from the above eight factors. It can be expected that these models will take an important role in decision-making of left-turn prohibit.

\* 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 \*\* 충북대학교 공과대학 도시공학과 교수

본 연구는 충북대학교 학술연구재단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## I. 서론

최근 자가용 승용차가 급증하여 도로시설이 크게 부족한 실정이다. 그러나 도로시설의 공급에는 지가상승으로 인한 과중한 건설비용 부담 문제, 대기오염, 소음과 같은 환경문제, 에너지 문제 등이 커다란 제약조건으로 대두되고 있다.

이러한 제약조건들을 극복하기 위해 기존시설의 운영효율을 극대화하고자 하는 여러 기법들이 이용되고 있다. 이 기법들은 크게 통행수요관리(TDM: Travel Demand Management), 교통체계관리(TSM: Transportation System Management)와 첨단도로교통체계(IVHS: Intelligent Vehicle Highway System)로 대별된다. 이 기법들은 각기 그의 적용전략 및 대상범위가 상이하지만, 교통체계 전반에 걸쳐 운영효율을 증진하고자 하는 목적에는 맥락을 같이하고 있다. 이 기법중 우리나라 도시에서 가장 폭넓게 적용되고 있는 것은 교차로 운영의 개선이며, 이중 좌회전 교통류의 처리문제는 교차로 운영효율의 제고에 있어서 큰 비중을 차지하고 있다.

이 연구는 5현시 신호체계로 운영되는 단독 교차로와 교통축을 대상으로 좌회전 금지에 따른 효율성 문제를 다루고 있다. 연구의 목적은 크게 세가지로, 첫째 가상도로망(imaginary network)을 이용하여 좌회전 금지가 교차로의 효율성에 미치는 영향을 분석하고, 둘째 좌회전 금지에 대한 의사결정시 반드시 고려해야 할 요소들을 파악하며, 셋째 좌회전 금지에 따라

발생하게 될 효율성을 예측하기 위한 모형을 개발한다.

## II. 기존 이론의 검토

좌회전 금지에 따른 효율성을 파악하기 위한 연구로는 하동익<sup>1)</sup>을 비롯하여, 도로교통안전협회<sup>2)</sup>, 최중수<sup>3)</sup>, 윤찬호<sup>4)</sup> 등이 수행한 연구논문과 보고서가 있다.

하동익은 서울시의 6개 지역에 대한 실측 자료를 토대로 좌회전 금지에 따른 효과를 비교 분석하고 있다. 효율성 평가에 사용된 변수로는 교통시간비용, 차량운행비용, 교통사고비용 등이다. 이 논문은 교통류 통제방법에서 가장 많은 영향을 미치는 요소로서 교차로의 총 교통량에 대한 우회교통량의 비율, 좌회전 금지시의 우회주행거리를 제시하고 있다. 그러나 이 논문은 교차로 운영형태가 변경됨에 따라 신호현시와 주기는 일반적으로 그 형태에 맞게 최적화되어 운영됨에도 불구하고 교차로 신호시간의 설정에 있어서 좌회전 금지전.후의 신호주기를 같게 사용하고 있어 현실성이 결여되고 있다.

도로교통안전협회와 윤찬호의 경우에는 편도 3차로의 두 도로가 교차되는 4지형 교차로를 대상으로 특정 도로상에서 좌회전 금지 대상 교차로와 인접교차로 2개를 포함한 연속된 3개 교차로(교차로 간격 500m)를 분석 대상으로 하고 있다. 이들 연구에서는 TRANSYT-7F를 이용하여 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 도로교통안전협회는 좌회전 금지전.후의 총지연시간, 윤찬

1) 하동익(1983), "좌회전 교통류의 교통편익과 비용분석", 대한교통학회지 제1권 제1호, pp.131~140.

2) 도로교통안전협회(1993), 신호교차로에서 좌회전금지 효율성평가 모형설정.

3) 최중수(1993), "좌회전 금지 효과측정에 관한 연구", 홍익대 환경대학원 석사학위 논문.

4) 윤찬호(1994), "좌회전 신호금지 효과측정에 관한 연구", 홍익대학교 환경대학원 석사학위 논문.

호는 연료소모량 차이를 종속변수로 하는 다중 회귀식을 도출하여 좌회전 금지의 타당성을 검증하고 있다. 도로교통안전협회의 효율성 평가 모형식은 다음과 같다.

① 인접교차로가 4현시 체제인 경우  

$$Y_T = -86.05 + (-2.184X_N^2 + 2.0717X_T^2 - 4.719X_L^2)X_D \times 10^{-7} - D_T / S_T \times V_T$$

② 인접교차로가 3현시 체제인 경우  

$$Y_T = -26.59 - 2.011X_N^2 \times 10^{-5} + (2.197X_T^2 - 1.860X_N^2 - 2.096X_L^2)X_D \times 10^{-7} - (D_T / X_T \times V_T)$$

여기에서,  $Y_T$  = 지연시간차(“0”이상이면 좌회전 금지가 효율적임)(대·시/시간)  
 $X_N$  = 인접교차로 한 방향 접근로의 총 진입 교통량(대/시)  
 $X_D$  = 좌회전 금지후 한 방향 접근로의 우회 교통량(대/시)  
 $X_T$  = 좌회전금지 교차로 한 방향 접근로의 총 진입교통량(대/시간)  
 $X_L$  = 인접교차로 한 방향 접근로의 좌회전 교통량(대/시)  
 $D_T$  = 총우회거리(km)  
 $S_T$  = 우회교통량의 주행속도(kph)  
 $V_T$  = 총 우회교통량(대/시간)

위 식은 “우회교통량이 인접교차로의 좌회전 교통량으로 변환된다는 점에서 교차로의 운영 효율에 보다 큰 영향을 미치게 되며, 4현시 보다 3현시 신호체계에서 인접교차로 총 진입교통량의 영향을 더 많이 받게 된다”는 것을 나타내고 있다.

그리고 최종수는 교통요인을 측정하는 방법을 크게 좌회전 금지전.후의 조사자료 분석에 의한 미시적 분석(Micro Analysis)과 모형 시뮬레이션(Model Simulation)에 의한 좌회전 금지전.후를 예측하는 거시적 분석(Macro Analysis)으로 구분하고, 이중 거시적 분석 방법을 이용하여 좌회전 금지에 따른 효율성을 파악하고 있다.

이와 같은 기존 이론들을 검토해 보면, 회전 금지의 효율성을 파악하기 위한 방법은 교통계획적 방법과 교통공학적 방법으로 구분할 수 있다.<sup>5)</sup> 우선 교통공학적 측면의 분석방법은 회전금지 교차로에 대해 미시적 분석자료를 토대로 지체시간의 변화, 지체시간에 의한 교통편익 비용의 변화, 교통사고와 교통공해 비용의 변화 등과 같은 미시적 분석의 수행을 의미한다. 반면에 교통계획적 측면의 분석방법은 교통수요 예측과정에서 각 노드(node)에서 회전금지를 적용했을 경우에 관한 교통망상의 효율성을 평가하는 방법이다.

공학적 방법은 각 교차로별로 차량사고 및 보행자 사고와 같은 안전측면의 분석과 교차로의 기하구조, 신호현시 및 주기 등을 고려한 교차로지체, 연료소비량 등과 같은 상세한 분석이 가능하다. 하지만 이 분석은 도시내 통행행태의 변화를 교차로의 기존 방향성 자료만으로는 설명하기 힘들고, 장래 교통여건의 변화에 따른 능동적 대처가 불가능하며, 교통계획적 통행행태를 반영할 수 없는 문제점을 갖게 된다.<sup>6)</sup> 특히 가장 큰 문제점은 ‘인위적인 회전금지가 기존 O/D의 최단경로를 변경시킴으로써 대상교차로

5) 회전금지의 효율성 분석방법은 직접적인 방법(실제조사)과 간접적인 방법(simulation), 거시적 방법과 미시적 방법, 그리고 교통공학적 방법과 교통계획적 방법 등으로 분류될 수 있다. 이 분류는 연구자들마다 다소 차이를 보이고 있지만, 크게 교통공학적 측면과 교통계획적 측면으로 구분하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

6) 최종수(1993), 전계서, p.13.

의 기존 교통량 자체를 변경시키게 된다'는 점에도 불구하고, '기존의 좌회전 금지대상 교차로에서 좌회전 교통류가 모두 우회할 것이다'라는 가정하에서 분석한 것이다. 따라서 이 분석은 장기적인 교통운영 효율성 보다는 단기간의 운영 효율성 파악에 그 의미가 있을 것이다.

계획적 방법은 교차로 지체나 사고와 같은 사항들을 고려할 수 없으나, 교차로 운영형태의 변경이후 장기적인 안목에서 새로운 통행패턴이 평형상태를 이룬후의 대상문제를 적절히 평가할 수 있다는 장점이 있다.

이처럼 교통계획적 기법과 교통공학적 기법 간에는 서로 상반되는 한계점들을 갖고 있다. 이러한 두가지 기법이 갖는 한계점을 극복하기 위해, 이 연구에서는 분석 대상 교차로의 방향별 진입교통량을 교통계획적 기법을 이용하여 도출하고, 도출된 자료를 토대로 교통공학적 기법을 이용하여 교차로의 운영 효율성을 파악한다.

### Ⅲ. 분석방법의 정립

#### 1. 가상 도로망의 구축

가상도로망은 편도 3차로의 주간선도로와 편도 2차로의 보조간선도로로 구성되며, 21개의 존 센트로이드(centroids)를 포함한 226개의 노드, 그리고 더미링크(dummy link)를 포함한 744개의 양방향 링크로 구성된다. 또한 가상도로망

은 정방격자형 도로망으로 주간선 도로와 보조간선도로와의 간격은 500m로 하며, 설계속도는 주간선도로 80kph, 보조간선도로 60kph로 한다.

〈그림 1〉에 나타나듯이 좌회전금지 대상교차로는 주간선도로와 주간선도로가 교차하는 104번 노드이며, 교통축은 103, 104, 105, 106, 107, 108번 노드로서, 그림의 위쪽을 북쪽으로 했을 때 동서방향(WB, EB)의 좌회전을 금지하는 것으로 한다.

#### 2. 분석방법의 선택

가장 많이 이용되고 있는 교통계획 프로그램에는 TRANPLAN, EMME/2, MINUTP, TransCAD, THE 등을 들 수 있다. 이들은 각 단계별로 이용될 수 있는 모델의 종류와 형태에 있어서 다소 차이가 있을 뿐, 일반적으로 4단계 수요추정과정을 포함하고 있다. 그러므로 좌회전 금지에 대한 효율성을 파악하기 위한 가장 큰 문제는 결과물에 대한 전산화 과정이다. 이러한 요건에 가장 적합한 프로그램이 MINUTP라 판단된다.<sup>7)</sup>

공학적 기법에 이용될 수 있는 프로그램에는 MAXBND, PASSER-II, TRANSYT-7F, ZMODEL, TRAF-NETSIM, SIGNAL, SOAP 등이 있다. 이들 프로그램은 각기 이용상의 장단점이 있으나, 정밀도에 있어서 TRAF-NETSIM과 TRANSYT-7F가 가장 앞서고 있다. 위의 두 프로그램은 정밀도에 있어 큰 차이는 없

7) 이 중 THE는 구간교통량을 가지고 O/D표를 산출할 수 있는 기능을 가지고 있어 자료구축의 시간축면이나 비용축면에 많은 절감효과를 가져올 수 있으나, 유·출입 교통량의 처리문제와 결과물(output)의 통계처리를 위한 전산화가 어려운 단점이 있다(김영찬, 가로교통량 자료로부터 O-D표를 산출하는 모형개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1985, p.28.). TransCAD의 경우 GIS와 교통계획 및 공학적인 측면을 결합하여 그래픽적인 요소는 상당히 강력하나 분석적인 요소에 있어서 타 프로그램보다 성능이 다소 낮은 경향이 있다. 또한 나머지 프로그램의 경우는 결과물의 출력형태에 있어서 비슷하나, 현행적인 결과물의 출력과 특정노드나 링크에 대한 출력 및 연산이 가능한 MINUTP가 이 연구에 가장 적합한 것으로 판단된다.

지만, TRAF-NETSIM의 경우 방대한 입력자료를 필요로 하고 사용하기에 까다로운 단점을 지니고 있다.

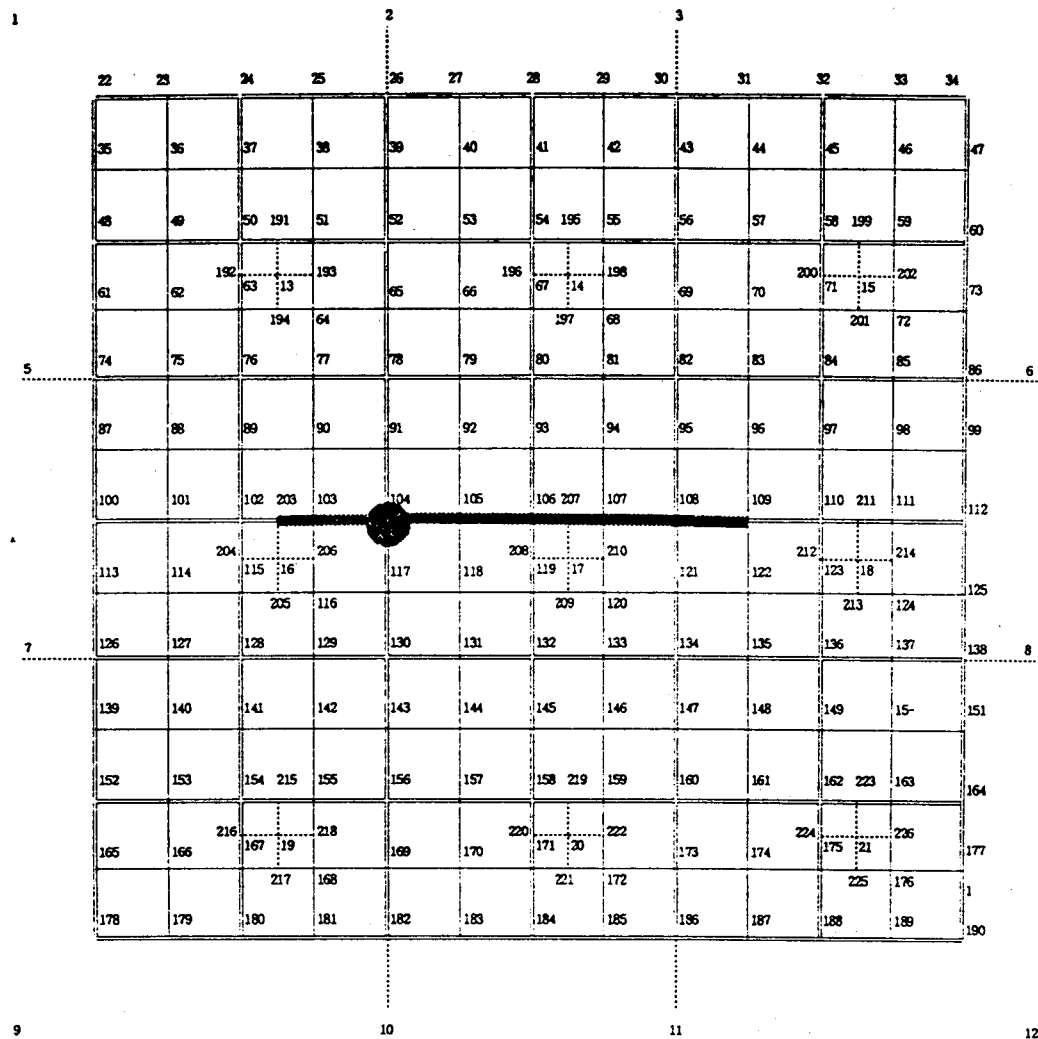
따라서 이 연구에서는 MINUTP를 이용하여 특정 교차로와 교통축에 대한 좌회전 금지전후의 방향별 교통량을 산출한 후, TRANSYT-7F를 이용하여 교차로의 운영효율성을 파악하기로 한다.

### 3. 분석의 전제조건

#### 1) 통행수요추정

일반적으로 계획기법에서는 4단계 수요추정 방법(통행발생, 통행배분, 수단선택, 노선배정의 4단계)이 적용된다. 그러나 이 연구에서는 교차로 진입교통량의 임의성을 달성하기 위해, 난수를 발생하여 각 존에 대한 통행발생량을 이용

〈그림 1〉 가상도로망과 분석대상 교차로



1~21 : 존 번호    ≡ : 6차로    — : 4차로    ---- : 존 연결로

하고, 도시내 모든 차량은 승용차로만 구성된 것으로 가정한다. 결국 4단계 수요추정 단계에서 통행발생과 수단선택의 단계는 제외되며, 나머지 2단계를 이용하여 교통량을 배정하게 된다. 통행배분과 노선배정에서는 가장 널리 이용되고 있는 중력모형과 균형배분모형이 각각 이용된다.

트리빌딩 기법의 경우, Moore, Dijkstra, D'sopo, RRL, Shimble 등에 의해 효과적인 알고리즘이 개발되어 왔다. 이러한 알고리즘은 크게 수형망(tree) 접근방법과 덩굴망(vine) 접근방법으로 구분될 수 있다. 이 두가지 방법에서 수형망 접근방법의 경우 덩굴망 접근방법에 비하여 처리속도가 약 2배 빠른 반면에 회전금지에 대한 문제를 적절히 해결할 수 없다는 단점을 갖고 있다.<sup>8)</sup> 따라서 이 논문에서는 덩굴망 접근방법을 이용한다.

2) 공학기법의 적용

통행수요 추정단계에서 도출된 좌회전 금지전.후의 방향별 교차로 진입교통량을 바탕으로 여기에서는 TRANSYT-7F를 이용하여 교차로의 운영효율에 대한 변화를 분석하게 된다. 이

분석에서는 차로수, 차로이용 및 폭원, 포화교통류율, 신호방법 등 새로운 입력자료들이 요구된다.

① 교차로의 기하구조 : 교차로의 기하구조는 신호현시의 운영방법에 따라 변경될 수 있다. 변경될 수 있는 교차로의 기하구조는 차로수, 차로의 운영방법, 차로폭 등을 들 수 있으며, 좌회전 금지전.후의 기하구조 전체조건은 <표 1>과 같다.

② 포화교통류율 : 이동류별 포화교통량은 건설부(1992)의 도로교통용량편람<sup>9)</sup>에서 제시하고 있는 기본포화교통류율 2,200pcphgpl을 기준으로 다음과 같이 설정한다.

- 좌회전+직진차로 : 2,150pcphgpl
- 직진차로 : 2,200pcphgpl
- 좌회전 전용차로 : 2,100pcphgpl
- 직진+우회전차로 : 2,140pcphgpl

③ 교차로 신호체계 : 좌회전 금지 이전의 현시는 5현시체계에 가정한다. 이것은 금지대상가로에 대해 선행 및 후행 보호좌회전(lead and lag left turns protected)의 3현시와 나머지 두개의 접근로에 각각 1현시씩 동시신호를 주는 방법이다.<sup>10)</sup> 물론 4지교차로에서 4현시 신호체계의

<표 1> 좌회전 금지전.후의 교차로 기하구조

구 분	좌회전 금지전의 기하구조	좌회전 금지후의 기하구조
차선수 (차선/방향)	4	3
차선이용과 폭원 (m/차선)	좌회전 전용차선 : 1차선 (2.5m) 직진+우회전차선 : 1차선 (2.6m) 직진+우회전차선 : 1차선 (3.5m)	직진 차선 : 2차선 (2.7m) 직진차선 : 2차선 (3.5m)

8) 임강원(1992), 도시교통계획 -이론과 모형-, 서울대학교 출판부, pp.146~151.

9) 건설부(1992), 도로교통용량편람, p.350.

10) 직진과 좌회전 동시신호후 직진신호, 다시 반대방향의 직진과 좌회전 동시신호를 주는 신호형태를 말함.

운영이 보다 일반적이지만, 이 연구에서는 5현시 신호체계가 주어진 교통량을 효과적으로 처리할 수 있으며, 필자들이 연구대상으로 삼고 있는 청주시의 간선도로가 현재 5현시 신호체계로 운영되고 있어 이를 선택하게 되었다. 좌회전 금지 이후의 현시는 3현시 체계로서 금지대상 가로의 현시가 3개 현시에서 양방향 직진 1개 현시만 주는 것으로 가정한다. 또한 황색신호시간은 3.0초로 하고, 보행속도는 1.2m/sec로 가정한다. 아울러 좌회전 금지전.후의 교차로 운영의 최적화를 위한 신호주기의 범위는 65~150초로 설정한다.

④ 최소 교통량 및 우회전 교통의 처리 : 방향별 교통량은 좌회전 금지전.후의 12방향 및 10방향의 교차로 진입교통량을 이용한다. 이중 TRANSYT-7F의 특성상 각 이동류에 대해 10대 미만의 교통량인 경우 오류(error)가 발생함으로 각 이동류중 교통량이 10대 미만인 경우 최소값 10을 이용한다. 또한 우회전 교통류의 이동은 직진현시에서 우회전하는 것으로 가정한다.

#### IV. 좌회전 금지의 효율성 평가

분석방법에서 설명된 바와 같이, MINUTP를 이용하여 단독교차로 총 186개, 교통축 184개의 자료가 산출되었다. 좌회전 금지전과 후의 상황을 한 쌍으로 한다면, 단독교차로의 경우 93개 쌍을, 축의 경우 92개쌍의 자료가 이 연구에 이

용된다.<sup>11)</sup> 효율성은 안전성의 측면과 소통의 측면에서 평가된다. 안전성의 측면의 평가는 상충수를 이용하며, 소통 측면의 평가는 신호운영의 변화에 따른 현시, 주기 등과 같은 신호운영의 효율성과 차량당 지체시간, 총 통행거리, 총 통행시간 및 인접교차로(축)의 차량당 평균지체를 이용한다. 이 중에서 상충수, 신호운영의 효율성 및 차량당 지체시간의 평가에서는 분석대상 교차로의 영향만을 고려하되, 총 통행거리, 총 통행시간 및 인접교차로(축)의 차량당 평균지체에 관한 평가에서는 네트워크 총체적인 상황과 우회교통량의 영향이 고려되고 있다.

#### 1. 좌회전 금지전.후의 효율성 평가

##### 1) 상충지점수

상충의 유형에는 교차상충, 합류상충, 분류상충의 세가지로 분류될 수 있으며,<sup>12)</sup> 좌회전 금지전·후의 상충수에 대한 비교는 <표 2>에 제시되어 있다.<sup>13)</sup> 여기에서 알 수 있듯이 좌회전 금지전과 후의 이동류는 좌회전 금지에 따라 2개의 좌회전 이동류가 감소한다. 이에 따라 상충수는 각각 30개와 20개로 10개의 감소를 보이고 있다. 특히 횡단상충은 안전성 측면에서 매우 중요한 요소이다. 따라서 좌회전을 금지함으로써 차량간 충돌가능성을 줄일 수 있으며, 이에 따른 사고발생 가능성도 줄일 수 있다.<sup>14)</sup>

11) 효율성 평가에 이용될 자료는 좌회전 금지전과 후의 상황을 한 쌍으로 하여, 총 100쌍의 통행발생량을 이용하여 산출되었다. 그러나 이중 일정 범주를 벗어나는 자료를 제외하면, 교통축은 92개, 단독교차로는 93개 쌍의 자료가 평가에 활용된다.

12) 도철웅(1995), 교통공학원론(상), 청문각, p.364.

13) 교차로의 형태는 일반적으로 접근로의 갯수에 따라 3지, 4지, 5지 교차로 등으로 분류될 수 있으나, 이 연구의 분석대상 교차로가 "+"자형 4지 교차로이므로 4지 교차로만 분석한다.

14) 상충수에 따른 안전성 분석은 신호교차로 보다 비신호 교차로에 더 적합하지만, 이 연구에서는 신호교차로의 경우도 상충수가 많으면 사고발생 가능성도 높아진다는 일반적인 전제조건을 받아들이고 있다.

〈표 2〉 좌회전 금지전·후의 상충수

구 분	기본 이동류	횡단상충수	분류상충수	합류상충수	총 상충수
좌회전 금지 전	12	16	6	8	30
좌회전 금지 후	10	8	6	6	20

주: 1) 좌회전 금지전의 경우 좌회전 전용차로의 설치에 따라 2개 접근로에 대한 분류상충 2개가 감소됨(좌회전 전 차로가 미 설치된 곳에서는 8개).

2) 차량당 지체시간 및 신호주기

차량당 평균지체시간에 대한 결과는 〈표 3〉에 제시되어 있다. 단독교차로에서 좌회전 금지전·후의 평균지체는 각각 76.73 초/대, 40.55 초/대이며, 교통축의 경우는 각각 110.64 초/대, 67.88 초/대로 나타났다. 즉 좌회전 이동류를 금지시킴에 따라 단독교차로는 차량당 평균 36.18 초, 교통축은 42.76초의 지체시간이 감소된다. 이것은 좌회전 금지전·후의 교차로 진입교통량 차이와 현시의 감소에 따른 신호주기의 감소에

서 그 이유를 찾을 수 있다.

〈표 4〉는 신호주기에 대한 분석결과를 나타내고 있다. 좌회전 금지전·후의 신호현시에 대한 운영이 각각 5현시와 3현시로 운영되어 황색시간에 의한 손실시간은 주기당 3초가 단축된다. 또한 좌회전 금지후의 신호현시는 좌회전 금지전에 비해 단독교차로의 경우 평균 33.01초, 교통축의 경우 평균 30.87초 감소한다. 이것은 차량당 평균 지체시간의 감소에 큰 영향을 주고 있다.

〈표 3〉 좌회전 금지전·후의 차량당 평균 지체시간의 비교(초/대)

(a) 단독 교차로

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	93	76.73	81.52	22.10	422.14
좌회전 금지후(B)	93	40.55	45.65	17.20	213.78
A - B <sup>1)</sup>	93	36.18	45.48	2.61	209.10

(b) 교통축

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	92	110.64	102.10	19.45	406.98
좌회전 금지후(B)	92	67.88	67.25	15.95	303.04
A - B <sup>1)</sup>	92	42.76	41.67	2.50	175.14

주: 1) A-B는 각 쌍에 대한 차(-)에 대한 통계처리 값을 의미함.



〈표 4〉 좌회전 금지전.후의 신호주기의 비교(초)

(a) 단독 교차로

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	93	105.59	31.35	75	170
좌회전 금지후(B)	93	72.58	17.13	65	150
A - B <sup>1)</sup>	93	33.01	26.63	-15	100

(b) 교통축

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	92	115.44	26.12	80	170
좌회전 금지후(B)	92	84.57	10.58	75	120
A - B <sup>1)</sup>	92	30.87	23.96	-5	95

주 : 1) A-B는 각 쌍에 대한 차(-)에 대한 통계처리 값을 의미함.

3) 총 통행시간 및 총 통행거리

교차로에서의 좌회전 금지는 해당 교차로의 효율성 뿐만 아니라 가로망 전체의 효율성에

영향을 미친다. 이에 대한 영향을 분석하기 위해 가로망 총통행시간과 총 통행거리에 대한 효율성을 분석하였으며, 이에 대한 결과는 〈표 5〉과 〈표 6〉에 제시되어 있다.

〈표 5〉 가로망 총통행시간 비교(시간)

(a) 단독 교차로

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	93	49,198.2	30,377.7	25,171	162,280
좌회전 금지후(B)	93	49,212.7	30,373.6	25,177	160,787
A - B <sup>1)</sup>	93	-14.4	742.4	-3,896	2,284

(b) 교통축

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	92	49,331.9	30,177.5	25,171	162,280
좌회전 금지후(B)	92	49,202.0	30,042.9	25,175	162,289
A - B <sup>1)</sup>	92	129.9	760.4	-2,092	3,027

주 : 1) A-B는 각 쌍에 대한 차(-)에 대한 통계처리 값을 의미함.

〈표 6〉 가로망 총통행거리 비교(마일)

## (a) 단독 교차로

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	93	168,753	78,867	49,915	337,131
좌회전 금지후(B)	93	168,803	78,202	49,999	337,213
A - B <sup>1)</sup>	93	-50.14	660	-2,221	3,041

## (b) 교통축

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	92	168,753	78,267	49,915	337,131
좌회전 금지후(B)	92	168,803	78,202	49,999	337,213
A - B <sup>1)</sup>	92	-50.14	660	-2,221	3,041

주 : 1) A-B는 각 쌍에 대한 차(-)에 대한 통계처리 값을 의미함.

표에서 나타나듯이 총통행시간 및 총통행거리는 단독교차로의 경우 각각 평균 14.4시간, 35.85 마일(57.36 km) 증가한다. 그러나 교통축의 경우 통행거리는 50.14 마일(80.22 km) 증가하지만, 통행시간은 129.9시간 감소한다. 물론 평균값에 따른 통행시간의 변화폭은 단독 교차로의 경우 0.03%, 교통축의 경우 0.26%로 매우 적다. 이것은 좌회전 금지에 따라 기존의 통행교통량이 혼잡하지 않은 타 노선으로 우회함에 따른 결과로 해석될 수 있다. 즉 좌회전 금지에 대한 영향은 대상교차로 뿐만 아니라 가로망 전체에 파급되므로 이에 대한 영향은 반드시

고려되어야 함을 의미하고 있다.

## 4) 인접교차로(축)의 차량당 평균지체

〈표 7〉은 좌회전 금지에 따른 인접교차로의 영향을 분석한 결과이다. 여기에서 인접교차로는 단독교차로의 경우 4방향 교차로의 평균값을 말하며, 교통축의 경우 대상축 상·하 각각 6개 교차로(90~95, 116~121), 102 및 109번 교차로의 평균값을 이용한다.

표에서 나타나듯이 평균지체시간이 단독교차로의 경우 12.88초/대, 교통축의 경우 9.67초/대 감소한다. 이것은 좌회전을 금지시킴에 따라 기존의 교통량 대부분이 대상교차로를 우회하기 때문에 인접교차로를 경유하지 않음을 보여주

〈표 7〉 인접 교차로의 차량당 평균 체시간 비교(초/대)

## (a) 단독 교차로

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	93	218.63	234.59	20.84	859.97
좌회전 금지후(B)	93	205.75	222.74	20.60	810.06
A - B <sup>1)</sup>	93	12.88	37.66	-73.67	213.32

(b) 교통측

구 분	표본수(개)	평균 지체시간	표준편차	최소 지체시간	최대 지체시간
좌회전 금지전(A)	92	235.39	237.90	20.98	806.63
좌회전 금지후(B)	92	225.72	227.86	20.90	769.15
A - B <sup>1)</sup>	92	9.67	25.32	-45.02	85.34

주 : 1) A-B는 각 쌍에 대한 차(-)에 대한 통계처리 값을 의미함.

는 결과이다. 즉 좌회전 금지에 따라 기존의 운행패턴이 변화되고 있음을 나타내고 있다.

2. 좌회전 금지의 효율성 예측모형 검토

좌회전 금지에 따른 효율성을 분석하기 위해서는 효과적도(MOE)와 이에 영향을 주는 변수들이 선정되어야 한다. 이 연구에서는 효과적도를 좌회전 금지전.후의 차량당 평균지체시간의 차이를 이용하고, 영향을 주는 변수는 좌회전 교통량, 좌회전 교통량의 비율을 포함하여 총 8가지 변수를 이용하고 있다. 효과적도를 종속변수로 그리고 영향을 주는 변수를 독립변수로 사용한 함수식은 다음과 같다.

$$MOE=f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8)$$

여기에서, MOE=좌회전금지 전후의 차량당 평균지체 시간의 차(sec/veh)

$X_1$  = 네트워크 총 통행교통량 (vph/10,000)

$X_2$  = 좌회전금지 이전의 교차로차량당 평균지체 시간(sec/veh)

$X_3$  = 좌회전금지 대상가로의 좌회전 교통량 합(vph)

$X_4$  = 좌회전 교통량의 비율(%)

$X_5$  = 좌회전금지 대상가로의 차로당 진입 교통량(vphpl)

$X_6$  = 좌회전금지 대상가로 이외 2개 접근로의 차로당 교통량(vphpl)

$X_7$  = 교차로 차로당 총 진입교통량 (vphpl)

$X_8$  = 인접 교차로(측)의 차량당 평균지체 시간(sec/veh)

여기에서 교통측의 경우는 6개 교차로의 평균값을 이용하며, 효과적도와 이들 각 독립변수들간의 관계는 우선 신뢰수준 95%에서 단순회귀식과 중회귀식을 이용하여 분석한다. 단순회귀식으로는 선형함수, 멱함수, 지수함수, Reciprocal 함수를 적용하며, 중회귀식에서는 단계적 회귀(stepwise regression) 분석방법을 사용하고, 통계분석에는 STATGRAPHICS 프로그램을 이용한다. 또한 이들 회귀식의 유의성 검정을 위해 t-test, F-test 및 Durbin-Watson test의 통계량을 이용하며,<sup>15)</sup>

이들에 대한 검정값의 한계치는 각각  $\alpha=0.05$ 에서의 통계값 1.645, 2.4, 1.75~2.25를 적용한다.

1) 단순회귀분석

전술한 함수식을 이용하여 독립변수별로 MOE에 대한 회귀분석 결과 가장 통계적 유의성이 높은 함수식과 통계처리 결과는 <표 8>에 나타나 있다.

15) t-test는 회귀식내 각 모수의 유의성을 검정하는 것이고, F-test는 회귀식 자체에 대한 유의성을 검정하는 것이며, Durbin-Watson 통계량은 각 변수에 대한 오차항간의 독립성을 검정하는 것이다.

우선 MOE와  $X_1$ 의 관계에서는 단독교차로의 경우 지수함수의 통계적 유의성이 가장 높고, 교통축의 경우 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높은 것으로 분석된다. 이 회귀식은 네트워크상의 총 통행교통량의 증가, 즉 도시내 교통혼잡도가 증가하게 되면, 좌회전 금지 대상교차로의 효율성이 증가하는 것을 보여준다. 이는 도시내 교통혼잡이 비교적 양호한 중소도시보다는 혼잡의 정도가 심각한 대도시지역에서 좌회전 금지의 효율성이 더 높다는 것을 의미한다.

MOE와  $X_2$ 와의 관계에서는 멱함수 모형의 통계적 유의수준이 가장 높다. 이는 좌회전 금지에 따른 교차로 운영 효율성의 개선효과가 좌회전 금지전 교차로의 혼잡상태에 영향을 받으며, 혼잡상태가 심해질수록 개선효과가 폭이 커지고 있음을 보여준다. 이 결과는 교차로의 혼잡도가 비교적 양호한 외곽지역보다는 교차로의 혼잡도가 높은 중심업무지구(CBD)의 경우에 대한 개선효과가 더 높다는 것을 의미한다.

MOE와  $X_3$ 에 대한 회귀분석 결과, 단독교차로의 경우와 교통축의 경우 모두 지수함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이는 좌회전 교통량이 많아질수록 좌회전 금지에 대한 효율성이 높아지는 것을 나타낸다.

MOE와  $X_4$ 의 관계에서는 교통축의 경우 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이는 좌회전 교통량의 비율이 높을수록 좌회전 금지에 따른 효율성이 높아지는 것을 보여주고 있다. 그러나 단독교차로는 4가지 모형식 모두 통계적 유의성이 낮아 이들의 관계를 설명하기 어렵다.

MOE와  $X_5$ 에 대한 회귀분석 결과, 단독교차

로는 지수함수, 교통축은 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이 회귀식은 좌회전 금지 대상가로의 차로당 진입교통량 증가, 즉 대상가로의 V/C가 높아질수록 좌회전 금지 대상교차로의 효율성이 증가하는 것을 보여준다.

MOE와  $X_6$ 의 관계에서는 단독교차로의 경우 지수함수, 교통축의 경우 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이는 좌회전 금지 대상가로 이의 2개 접근로의 차로당 교통량이 증가함에 따라 교차로의 운영 효율성이 향상되는 것을 보여준다. 즉 금지대상 교차로 이외의 접근로가 혼잡할 경우 이 접근로로 진입하는 좌회전 교통량을 통제함으로써 교차로에 대한 효율성을 증진시킬 수 있다는 것을 의미한다.

MOE와  $X_7$ 의 관계에서는 단독교차로의 경우 지수함수, 교통축의 경우 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이것은 좌회전 금지 대상 교차로의 차로당 진입교통량 증가, 즉 대상교차로의 혼잡도가 높아질수록 좌회전 금지 대상교차로의 효율성이 증가하는 것을 나타낸다.

MOE값과  $X_8$ 값에 대한 회귀분석 결과, 단독교차로는 지수함수, 교통축은 멱함수의 통계적 유의성이 가장 높다. 이 회귀식은 좌회전 금지 인접 교차로 및 교통축의 차로당 평균지체, 즉 인접교차로의 혼잡도가 높아질수록 좌회전 금지 대상교차로의 효율성이 증가하는 것을 나타낸다. 이러한 결과는 대상항목 자체로서 교차로의 효율성을 파악하기 보다는 기타 다른 변수들간의 상호관련된 분석, 즉 중회귀 분석이 필요할 것으로 생각된다.

## 2) 중회귀분석

여기에서는 MOE에 영향을 주는 2개 이상의

16) 독립변수간의 비직교성, 즉 강한 선형관계를 의미하며, 다중 공선성의 경우 세계 이상 독립변수간의 강한 선형관계를 뜻한다.

〈표 8〉 MOE와 독립변수들간의 회귀분석 결과

(a) 독립 교차로

모 형 식	회 귀 식	t - test		R <sup>2</sup>	F
		a	b		
X <sub>1</sub>	$Y = e^{(1.2153 + 2.9260 \times 10^{-2} X_1)}$	6.48	10.23	53.51	104.73
X <sub>2</sub>	$Y = 0.1237X_2^{1.2766}$	-10.42	25.70	87.89	660.49
X <sub>3</sub>	$Y = e^{(1.0333 + 5.4168 \times 10^{-3} X_3)}$	10.09	21.19	83.16	449.22
X <sub>4</sub>	$Y = 0.7275 \times X_4^{1.2290}$	-0.52	5.39	24.20	29.06
X <sub>5</sub>	$Y = e^{(0.7079 + 5.8732 \times 10^{-3} X_5)}$	3.08	10.39	54.27	107.92
X <sub>6</sub>	$Y = e^{(0.5823 + 6.3311 \times 10^{-3} X_6)}$	2.59	11.18	57.89	125.09
X <sub>7</sub>	$Y = e^{(0.5878 + 5.1935 \times 10^{-4} X_7)}$	2.59	11.06	57.35	122.39
X <sub>8</sub>	$Y = e^{(2.1906 + 3.5085 \times 10^{-3} X_8)}$	20.70	10.60	55.25	112.35

(b) 교통축

모 형 식	회 귀 식	t - test		R <sup>2</sup>	F
		a	b		
X <sub>1</sub>	$Y = 7.8064 \times 10^{-3} X_1^{2.0235}$	-12.96	21.57	83.79	465.19
X <sub>2</sub>	$Y = 0.1363X_2^{1.2026}$	-10.02	26.48	88.62	701.08
X <sub>3</sub>	$Y = e^{(0.2184 + 1.4053 \times 10^{-3} X_3)}$	7.45	23.58	86.07	556.02
X <sub>4</sub>	$Y = 6.5728 \times 10^{-3} X_4^{3.5291}$	-6.26	10.23	53.78	104.70
X <sub>5</sub>	$Y = 2.4940 \times 10^{-6} X_5^{2.7383}$	-16.50	20.57	82.46	423.23
X <sub>6</sub>	$Y = 2.9725 \times 10^{-4} X_6^{1.9738}$	-15.50	21.61	83.84	467.06
X <sub>7</sub>	$Y = 2.0395 \times 10^{-5} X_7^{2.4022}$	-16.59	21.49	83.69	461.87
X <sub>8</sub>	$Y = 0.5375X_8^{0.7897}$	-2.64	18.01	78.28	324.39

독립변수를 이용한 회귀식, 즉 중회귀식(multiple regression model)을 개발한다. 우선 독립변수선택에 있어서 변수들간의 다중공선성(multicollinearity)<sup>16)</sup> 문제를 배제하기 위하여, 단계적 회귀(stepwise regression)분석 방법을 이용한다. 통계처리 결과 선택된 변수는 X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> 및 X<sub>8</sub>이다. 이에 대한 통계값은 〈표 8〉에 제시되어 있으며, 분석된 중회귀식은 다음과 같다.

단독 교차로의 경우,

$$MOE = -18.5630 + 0.4169X_2 + 8.0827 \times$$

$$10^{-2}X_3 - 2.7247 \times 10^{-2}X_8$$

교통축의 경우,

$$MOE = -18.7622 + 0.3300X_2 + 0.2208X_3 - 4.9093 \times 10^{-2}X_8$$

위 식들은 대상 교차로 및 교통축의 차량당 평균지체와 좌회전 교통량이 증가할수록 그리고 인접 교차로 및 교통축의 차량당 평균지체가 감소할수록 좌회전 금지에 따른 교차로의 운영 효율성이 증가하는 것을 나타내고 있다.

각 변수에 대한 영향정도를 보면, 교차로의 효율성에 가장 크게 영향을 미치고 있는 변수

〈표 8〉 중회귀분석 처리결과

(a) 단독 교차로

변 수	추정치	표준오차	t-값	유의수준
Constant	-18.56296	4.350464	-4.2669	0.0000
X <sub>2</sub>	0.416905	0.047150	8.8422	0.0000
X <sub>3</sub>	0.080827	0.015798	5.1163	0.0000
X <sub>8</sub>	-0.027247	0.012799	-2.1289	0.0360

R<sup>2</sup> = 85.23

F-Ratio = 171.24

DurbWat = 1.792

(a) 단독 교차로

변 수	추정치	표준오차	t-값	유의수준
Constant	-18.762213	4.208407	-4.4583	0.0000
X <sub>2</sub>	0.329965	0.058395	5.5605	0.0000
X <sub>3</sub>	0.220807	0.036805	5.9993	0.0000
X <sub>8</sub>	-0.049093	0.024112	-2.0361	0.0447

R<sup>2</sup> = 86.41

F-Ratio = 181.50

DurbWat = 1.81671

는 좌회전 금지전의 대상 교차로 및 축의 차량당 평균지체이다. 또한 변수들의 영향 정도를 보면, X<sub>2</sub>의 경우 교통축 보다 단독교차로에서 더 큰 영향을 미치고 있으며, X<sub>3</sub>와 X<sub>8</sub>의 경우엔 단독 교차로보다 교통축에서 더 큰 영향을 미치고 있다.

#### IV. 결 론

이 연구에서는 단독 교차로 및 교통축에서의 좌회전 금지에 따른 효율성을 평가하고, 좌회전 금지에 대한 의사결정시 고려되어야 할 요소들과 관련 모형들을 제시하고 있다. 단독교차로와 교통축에 대해 각각 93개, 92개 쌍의 자료를 바탕으로 분석된 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 좌회전 금지는 단독교차로의 경우 신호 주기를 평균 33초, 차량당 지체시간을 36초 감소시키고, 교통축의 경우 신호현시를 평균 31초, 차량당 지체시간을 43초 감소시킨다.

둘째, 좌회전을 금지하면, 네트워크 총 통행거리 및 총 통행시간은 단독 교차로의 경우 각각 평균 14.4시간, 35.85마일(57.36 km) 증가한다. 그러나 교통축의 경우 총 통행거리는 50.14마일(80.22 km) 증가하지만, 총 통행시간의 경우 129.9시간 감소한다.

세째, 좌회전 금지에 따른 효율성에 영향을 미치는 요소로는 네트워크 총 통행교통량(vph/10,000), 좌회전 금지전 교차로 차량당 평균지체(sec/veh), 좌회전 교통량(veh/hr) 및 비율(%), 좌회전 금지 대상가로의 금지전 차로당 진입교통량(vphpl), 금지대상가로 이외 2개 접근로의 차로당 교통량(vphpl), 교차로 차로당 총 진입교통량(vphpl), 인접교차로(축)의 차량당 평균지체(sec/veh) 등 8가지로 분석된다.

네째, 효과척도(MOE)와 전술한 요소들간의 단순회귀 분석과 중회귀 분석을 실시하여 적정 함수식을 개발하였다. 이는 좌회전 금지에 대한 의사결정에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단

된다.

이 연구는 이론적 논문이어서 전제조건이나 가정상에 어느 정도 문제점을 내포하고 있어 실 상황에 적합하지 않을 수도 있으며, 전술한 바 교통계획적 기법과 교통공학적 기법이 갖는 고유의 한계성을 극복하지는 못하고 있다. 장래 연구과제로는 다양한 교차유형과 현시유형(3현시, 4현시 등)에 대한 연구를 포함하여 기존의 계획기법과 공학기법이 통합된 형태의 모형구축이 필요할 것으로 판단된다.

### 參 考 文 獻

#### 〈국내문헌〉

- 1) 건설부(1992), 도로교통용량편람, 대한교통학회, p.350.
- 2) 김영찬(1985), "가로교통량 자료로부터 O-D 표를 산출하는 모형개발에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위 논문집.
- 3) 노희철(1988), "교차로에서 좌회전 현시방법 결정에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문집, pp.26~28.
- 4) 도철웅(1995), 교통공학원론(상), 청문각, p.447.
- 5) 원제무(1991), 도시교통론, 박영사, p.754.
- 6) 윤찬호(1994), "좌회전 신호금지 효율측정에 관한 연구", 홍익대학교 환경대학원 석사학위 논문집.
- 7) 이상용(1992), "도시교통계획 PC Software의 최근 동향", 교통정보, p.93.
- 8) 임강원(1992), 도시교통계획 -이론과 모형-, 서울대학교 출판부, pp.146~151.
- 9) 도로교통안전협회(1993), 신호교차로에서 좌회전금지 효율성평가 모형설정.
- 10) 정천수(1994), "수요예측결과의 평가기준 및 평가방법에 관한 연구", 대한교통학회지

제12권 제1호.

- 11) 최종수(1993), "좌회전금지 효과측정에 관한 연구", 홍익대학교 환경대학원 석사학위 논문, pp.7~8.
- 12) 하동익(1983), "좌회전 교통류의 교통편익과 비용분석", 대한교통학회지 제1권 제1호, pp.131~140.
- 13) 한국건설기술연구소(1993), 도로교통 운영 개선 실무서, 건설부, pp.120~123.

#### 〈국외문헌〉

- 1) Arnold, E. D.(1993), "Evaluation of Congestion-Reducing Measures Used in Virginia", Transportation System Management, Parking, and Travel Demand Management, TRR No. 1404, p.5.
- 2) Bathelder, J. H., M. Golenberg and J. A. Howard(1983), "Simplified Procedures for Evaluating Low-Cost TSM Projects User's Manual", NCHRP Report 236, TRB, p.5.
- 3) Blaschke, Joseph D.(1988), Transportation System Management, Texas A & M University System College Station, p.1.
- 4) Dees, Dan C., et. al.(1980), Transportation Planing for Your Community-Traffic Planing, U.S. DOT Traffic Planning Programing Projects System Planning Transit Planning Monitoring & Forecasting, p.5.
- 5) FHWA(1981), Guidelines for Signalized Left-Turn Treatments, pp.36~38.
- 6) FHWA(1983), Traffic Devices Handbook, pp.4~16.
- 7) FHWA(1984), TRANSYS-7F User's Manual, U.S. DOT, p.iii-11.
- 8) Hutchinson, B.G.(1974), Principles of Urban

- Transport Systems Planning, McGRAW-HILL Book Company, pp.88~89.
- 9) Juan de Dios Ortazar and Luis G. Willumsen(1990), *Modelling Transport*, JOHN WILEY & SONS, 1990, p.136.
  - 10) Meyer, Michael D. and Eric J. Miller(1984), *Urban Transportation Planning : A Decision-Oriented Approach* , McGraw-Hill Book Company, pp.244-256.
  - 11) Misch, M.R., et. al.(1981), "Guidelines for Using Vanpools and Carpools as a TSM Technique", NCHRP Report 241, TRB, p.4.
  - 12) TRB(1994), *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, p.ix-3.
  - 13) Turnbull, Katherine F.(1993), "Travel Demand Management and Intelligent Vehicle- Highway System" , TDM Symposium, TRR, pp.123-133.
  - 14) Upchurch, J.E.(1986); "Guidelines for Selecting Type of Left-Turn Phasing" TRR No.1069, p.30.
  - 15) William R. McShane and Roger P. Roess(1990), *Traffic Engineering*, Prentice Hall, p.381.