

■ 論 文 ■

방향별 교통량에 따른 적정 차로수 결정모형 개발

Development of An Optimal Lane Assignment Model

김 동 재

(명지대학교 교통공학과 석사과정)

이 의 은

(명지대학교 교통공학과 부교수)

강 호 익

(제일건설교통연구원 원장)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 방법
 - II. 모형개발
 - 1. 효과척도(MOE) 선정
 - 2. Transyt-7F를 이용한 차로 결정 기준 산정
 - III. Tsis를 이용한 모형검증
 - IV. 모형의 현장 적용
 - 1. 자료수집
 - 2. 현황
 - 3. 현황분석 및 모형 적용 후 분석
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 회전교통량, 적정 차로수, 공간관리, 차로배정, 완충구간, 신호교차로

요 약

방향별 교통량은 교차로 설계 및 운영에 있어 중요하게 고려되어야 할 요소 중 하나이다. 미국 등의 경우에는 회전교통량이 많지 않기 때문에 일반적으로 도로의 기능에 따라 방향별 차로수를 일률적으로 설계·운영하고 있다. 우리나라 또한 대부분의 교차로에서 방향별 교통량에 대한 특별한 고려 없이 일률적으로 방향별 차로수가 결정되고 있다. 우리나라 도시가로는 외국에 비해 차로수가 많으며, Super Block으로 이루어져 회전교통량이 많기 때문에 회전 교통량이 많은 교차로에서는 회전 교통류의 대기행렬이 직진차로에까지 영향을 미쳐 직진교통류의 흐름에 큰 방해가 될 뿐 아니라, 교통사고 유발 등 안전에도 좋지 못한 영향을 미친다. 그동안 신신호시스템 등과 같이 회전교통량을 효율적으로 처리하려는 시도들이 이루어지고 있으나, 신호현시시간 만으로 회전교통량을 처리하는데 한계를 지닌다. 더욱이 아직까지 방향별 교통량에 따른 적정 차로수 기준조차 마련되어 있지 못한 실정이다.

본 연구에서는 교차로 설계 및 운영에 있어 선행되어야 할 전제조건인 방향별 교통량에 따른 적정 차로수를 결정하는 모형을 개발하였다. 즉, 교차로 운영의 효율화를 위해 “공간관리” 개념의 도입을 시도해 보았다. 우선, 신호교차로 분석 tool인 Transyt-7F를 이용하여 방향별 교통량에 따른 적정 차로수를 결정하였다. 결정된 방향별 적정 차로수를 이용하여 방향별 교통량에 따른 『차로수 결정 기준표』를 작성하였다. 다음단계로 TSIS를 이용하여 모형을 검증한 결과, 모형이 적정한 것으로 판단되었다. 마지막으로 좌회전 교통량이 많은 서울시 간선도로 상의 교차로를 선정하여 모형을 적용한 후 분석을 실시한 결과로도 모형의 타당성이 입증되었다.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

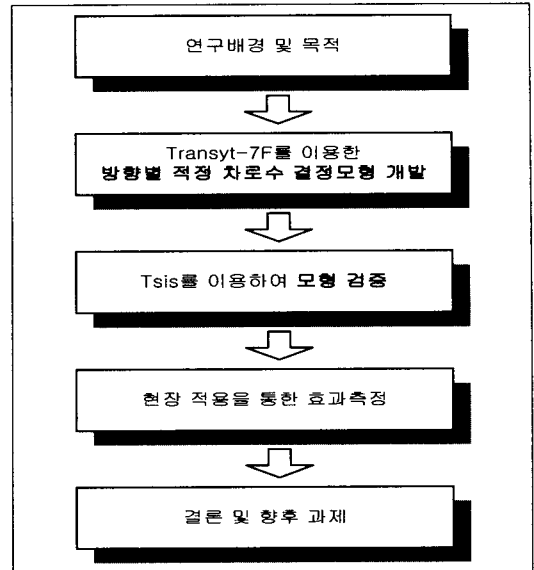
신호교차로에서 차로수를 결정하는 방법은 일반적으로 도로의 기능에 따른 방법과 방향별 교통량에 따른 방법으로 구분된다. 미국 등의 경우에는 회전교통량이 많지 않기 때문에 일반적으로 도로의 기능에 따라 방향별 차로수를 일률적으로 설계·운영하고 있다. 우리나라 또한 대부분의 교차로에서 방향별 교통량에 대한 특별한 고려 없이 단순히 접근로 교통량에 의해 일률적으로 방향별 차로수가 결정되고 있다. 우리나라 도시가로는 외국에 비해 차로수가 많으며, Super Block으로 이루어져 회전교통량이 많다. 따라서 회전 교통량이 많은 교차로에서는 회전 교통류의 대기행렬이 직진차로에까지 영향을 미쳐 직진교통류의 흐름에 큰 방해가 될 뿐 아니라 교통사고 유발 등 안전에도 좋지 못한 영향을 미친다. 그동안 신신호시스템 등과 같이 회전교통량을 효율적으로 처리하려는 시도들이 이루어지고 있으나, 신호현시시간 만으로 회전교통량을 처리하는데 한계를 지닌다. 더욱이 아직까지 방향별 교통량에 따른 적정 차로수 기준조차 마련되어 있지 못한 실정이다.

각 방향별 교통량은 차로배정을 결정하는데 중요한 영향을 미친다. 직진 및 우회전교통량이 많은 경우 직진 용량을 충분히 확보해 주어야 하고, 좌회전교통량이 많은 경우 좌회전 용량을 확보해 주어야 한다. 따라서 각 방향별 교통량에 따라 차로 배정이 적절하게 이루어져야 하며, 그 기준이 산정 되어야 한다.

본 연구에서는 교차로 설계 및 운영에 있어 선행되어야 할 전제조건인 방향별 교통량에 따른 적정 차로수를 결정하는 모형을 개발하였다. 즉, 교차로 운영의 효율화를 위해 “공간관리” 개념의 도입을 시도해 보았다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 신호교차로에서 방향별 교통량에 따른 최적의 차로수를 결정 할 수 있는 모형을 개발하였다. 우선, 신호교차로 분석 tool인 Transyt-7F를 이용하여 방향별 교통량에 따라 최적화된 적정 차로수를 결정하였다. 결정된 방향별 적정 차로수를 이용하여 방향별 적정 차로수 결정모형(nomograph)을



(그림 1) 연구 절차

개발하였다. 다음단계로 TSIS를 이용하여 개발된 모형을 검증하였다. 마지막으로 좌회전 교통량이 많은 서울시 간선도로 상의 교차로를 선정하여 개발된 모형을 적용 한 후, 그 효과를 분석해 보았다.

II. 모형 개발

1. 효과척도(MOE) 선정

신호교차로의 효과척도(MOE)는 평균제어지체이다. 평균제어지체는 각 차로군별로 계산되며, 이를 각 접근로별로 종합하고, 또 각 접근로별의 지체를 종합하여 교차로 전체에 대한 평균지체값을 계산한다. 지체는 현장에서 측정을 하거나 계산에 의해서 구할 수 있는 것으로서, 주기길이, 녹색시간비, 연동형식 및 차로군의 v/c비에 의해서 좌우된다. 신호교차로에서는 신호현시시간 비율 뿐 아니라, 기하구조 또한 평균제어지체에 많은 영향을 미친다. 교통량에 따른 적절한 차로배정은 제어지체를 줄이는 방법 중의 하나이다.

1) 가중지체 산정

Transyt-7F를 실행시켜 얻은 결과를 이용하여 교차로 접근로의 가중지체를 산정 하였다. 교차로 접근로의 방향별 차량당 평균제어지체가 다르기 때문에 교차로 접근로를 대표할 수 있는 가중지체를 산정한

것이다. 가중지체를 구하는 식은 다음과 같다.

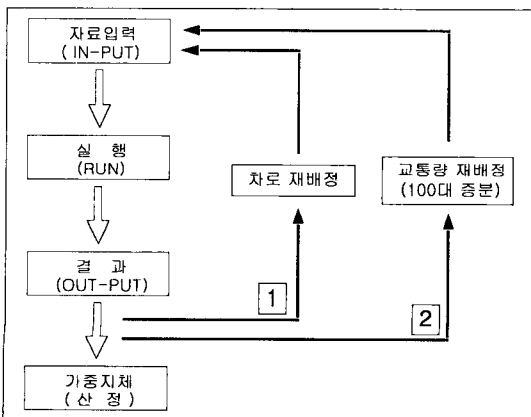
$$\begin{aligned} & \text{가중지체} \\ &= \frac{(\text{직진교통량} \times \text{직진차량의 평균제어지체})}{\sum(\text{직진교통량} + \text{좌회전교통량})} \\ &+ \frac{(\text{좌회전교통량} \times \text{좌회전차량의 평균제어지체})}{\sum(\text{직진교통량} + \text{좌회전교통량})} \end{aligned} \quad (1)$$

2. Transyt-7F를 이용한 차로 결정 기준 선정

Transyt-7F는 신호최적화(Optimization)와 모의실험(Simulation)이 동시에 가능한 모형이다. 본 연구에서는 차로 결정 기준을 선정하기 위한 몇 가지 사항을 전제하였다. 전제조건에 의하여 신호는 항상 최적이어야 하며, 지체 계산이 용이해야 한다. 따라서 차로 결정 기준을 선정하기 위한 tool로 Transyt-7F를 이용하였다.

Transyt-7F의 실행순서는 크게 자료입력(Input)-실행(Run)-결과(Output)이다. 본 연구에서는 방향별 교통량과 차로배정을 달리하면서 신호차로 분석에 있어 MOE(효과적도)인 평균제어지체를 계산하였다. 본 연구에서의 Transyt-7F실행 순서도는 <그림 2>와 같다.

<그림 2> Transyt-7F 실행 순서도에 의하여 가중지체를 선정하면 한번의 Simulation이 종료된다. 다음으로 교통량은 고정시킨 후 차로 배정을 달리하여 실행 순서도에 따라 Simulation을 실시하였다. 두번의 Simulation 결과에 선정된 가중지체를 비교하여 정해진 교통량에서 가중지체가 최소가 되는 차로 배정 형태를 결정하였다.



<그림 2> Transyt-7F실행 순서도

1) 전제조건

Transyt-7F를 실행하는데 있어, 설정된 몇 가지 전제조건은 다음과 같다.

- 신호조건은 항상 최적이다.

각 방향별 차로수는 방향별 교통량 뿐 아니라, 신호주기 및 현시시간에 의해서도 크게 영향을 받는다. 따라서 신호현시는 항상 최적인 상황에서 Simulation을 실시하였다.

- V/C는 1을 초과하지 않는다.

각 차로수에 대한 최대교통량은 V/C가 1을 초과하지 않는 상태에서의 최대교통량이다. 모든 조건이 이상적일 때의 최대교통량(기본포화교통유율) So는 직진의 경우 2,200(pcpghpl), 좌회전의 경우 1,800(pcpghpl)이다.

- 신호조건 뿐 아니라, 교통조건 및 도로조건 또한 이상적인 상태이다.

직진의 기본포화교통유율과 좌회전의 기본포화교통유율은 이상적인 상태에서의 포화교통유율이다. 신호조건 뿐 아니라, 교통조건 및 도로조건도 이상적인 상태이어야 한다. 따라서 Simulation에 있어서 교통조건 및 도로조건 또한 이상적인 상태에서 Simulation을 실시하였다.

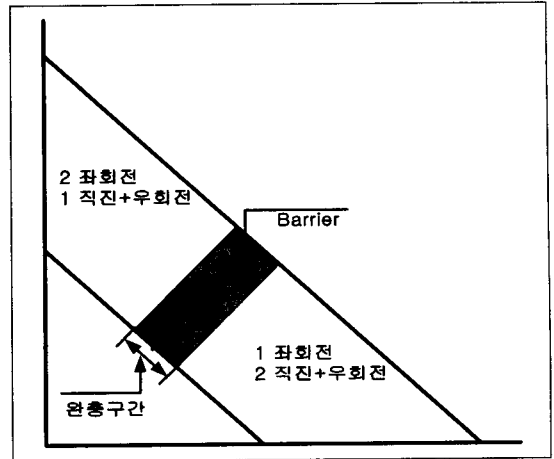
- 편도3차로 이상(좌회전 포켓 포함)인 접근로에서는 직진+좌회전 공용차로를 제외시켰다.

직진+좌회전 공용차로의 경우, 교통신호 운영은 동시신호로 운영하여야 한다. 동시신호의 경우 직진과 좌회전의 교통량 비율이 일정하지 않을 경우 차로의 이용율이 떨어져 비효율적인 운영이 된다. 또한, 좌회전의 포화교통유율이 직진의 포화교통유율에 비해 적다. 직진+좌회전 공용차로로 운영될 경우 좌회전 교통유에 의해 직진의 교통유가 영향을 받게 됨으로써 직진의 포화교통유율도 감소하게 된다. 동시신호의 운영은 분리신호로 운영될 때보다 비효율적인 운영방식이다. 따라서 동시신호로 운영되어야 하는 직진+좌회전 공용차로는 제외시키고 직진 및 좌회전 각각의 독립차로만 고려하였다.

2) 최적 차로수 결정 기준표(nomograph) 작성

교통량 분포에 따른 최적의 차로수를 결정하여 그

래프로 나타낸 것이 <그림 3> 차로수 결정 기준표이다. <그림 3> 차로수 결정 기준표는 정해진 방향별 교통량에서 최적의 차로수를 나타낸다. 예를들어, 직진교통량이 1700(pcp), 우회전교통량이 320(pcp)이고 좌회전교통량이 370(pcp)인 경우 최적의 차로수는 다음과 같다. 직진교통량 + 우회전교통량 = 2020 (pcph) 좌회전교통량 = 370(pcp) 이므로, <그림 3>의 차로수 결정 기준표에 의하여, 좌회전전용차로 → 두 개 차로, 직진 및 우회전차로 → 세 개 차로로 배정될 때 최적의 차로운영 형태가 되며, 지체가 최소가 된다.



<그림 4> 완충구간

(1) Infeasible Region

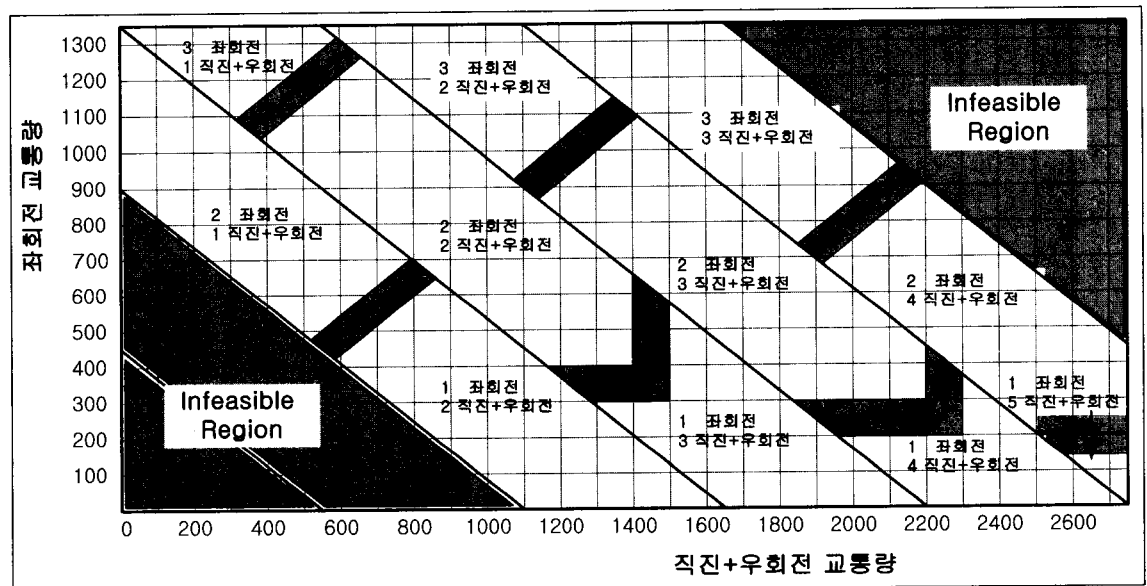
<그림 3>에서 Infeasible Region은 1차로의 경우 방향별 차로 구분이 없으며, 2차로의 경우 일반적으로 좌회전 교통류를 비보호로 처리 또는 직좌 공용차로로 운영한다. 앞의 전제조건에 설명하였듯이 본 연구에서는 동시신호로 운영되는 공용차로는 제외시켰다. 편도 7차로의 경우는 우리나라 도로에서 거의 찾아볼 수 없는 형태이다.

(2) 완충구간

교차로의 경우 직진 교통량의 변화는 다소 가변적일 수 있으나, 좌회전 교통량의 경우 매 주기별로 교통수요가 급변하는 경향이 있다. 교통수요가 급변하

는 경우 제어의 안정성을 잃을 수 있으므로, 각 결정 기준 Barrier에서 완충구간을 고려하였다.

완충구간은 정해진 교통량 하에서 차로배정에 관계없이 평균지체의 차이가 10(sec/veh)가 넘지 않는 범위에서 설정하였다. 즉, 완충구간에서는 차로배정에 따라 평균지체가 크게 영향을 받지 않는 구간으로서 교통수요의 급변화에 능동적으로 대처하기 위한 구간이다. 완충구간에서의 Band 길이는 교통량에 따라 다소 차이가 있으나, 차로운영변경 기준표의 단순화를 위하여 경계선으로부터 ±50(vph)로 동일하게 적용하였다.



<그림 3> 차로수 결정 기준표

〈그림 4〉는 완충구간을 나타낸 것이다.

III. TSIS를 이용한 모형 검증




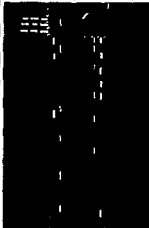
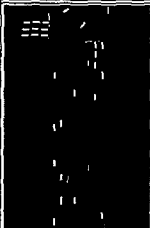
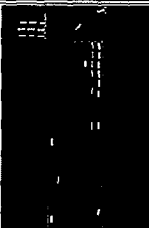
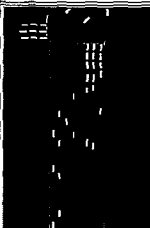



Tsis를 이용하여 개발된 모형에 대한 검증을 실시하였다. 모형 검증에 있어서 우리나라에 실정에 가장 많이 적용될 4차로와 5차로 중 좌회전 차로가 한 차로인 경우와 두 차로인 경우에 대해서만 검증을 실시하였다.

〈그림 5〉와 〈그림 6〉에서의 접근로 교통상황을 나타내는 그림은 분리신호의 경우, 일반적인 현시순서가 좌회전→직진이므로 직진녹색신호가 끝나고 적색신호로 전환되기 직전의 상황을 나타낸 것이다. 즉, 교차로에 도착한 차량이 녹색시간동안 교차로를 통과하지 못하고 다음녹색신호를 기다리는 교통상황을 나타낸 그림이다.






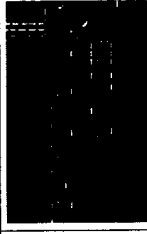
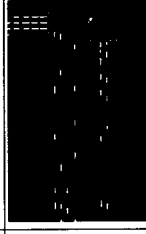
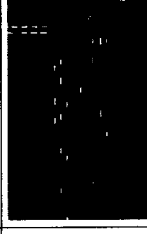
모형 검증에 있어 평균제어지체는 Transyt-7F를 이용하여 작성된 표에 의하여 차로수가 결정되는 경계선의 교통량에 ± 50 (pcph)를 한 것이다. 가령, 직진교통량이 ≥ 1450 (vph)인 경우는 직진교통량이 1500(vph), 좌회전교통량 < 350 (vph)인 경우는 좌회전교통량이 300(vph)에서의 지체를 의미한다.

차로배정은 좌회전 차로가 한 개차로인 경우와 두 개 차로인 경우 중 평균제어지체가 작은 경우의 차로배정을 의미한다.

Transyt-7F를 이용하여 작성된 차로수 결정 모형을 TSIS를 이용하여 검증하였다. 〈그림 3〉에서 보면 직진교통량이 1450(pcph) 이상, 좌회전교통량이 350(pcph) 이상인 경우는 좌회전 1차로, 직진 3차로가 이상적인 형태이다. 〈그림 5〉를 보면 제어지체가 각각 42.1(sec/veh), 44.4(sec/veh)로써 차로결정 기준표와 같은 결과를 보인다. 직진교통량이 1450(pcph) 이상, 좌회전교통량이 350(pcph) 이하인 경우에도 좌회전 1차로, 직진 3차로가 이상적인 형태이며, 〈그림 5〉에서 보듯이 역시 일치한다. 같은 방법으로 〈그림 3〉 차로 결정 기준표와 〈그림 6〉를 비교한 결과 또한 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, Transyt-7F를 이용하여 작성된 차로수 결정 모형이 TSIS를 이용하여 계산된 결과와 일치한다는 것을 알 수 있다.

Lane Assignment			
신호운영 방식		분리신호	분리신호
직진 교통량 ≥ 1450	좌회전 교통량 ≥ 350		
	제어 지체	42.1	44.4
	차로 배정	1 좌회전, 3 직진+우회전	
	좌회전 교통량 < 350		
	제어 지체	46.3	48.1
	차로 배정	1 좌회전, 3 직진+우회전	
직진 교통량 < 1450	좌회전 교통량 ≥ 350		
	제어 지체	50.2	44.6
	차로 배정	2 좌회전, 2 직진+우회전	
	좌회전 교통량 < 350		
	제어 지체	48.3	49.7
	차로 배정	1 좌회전, 3 직진+우회전	

〈그림 5〉 차로배정에 따른 효과적도 비교(4차로)

Lane Assignment			
신호운영 방식		분리신호	분리신호
직진 교통량 ≥ 2250	좌회전 교통량 ≥ 250		
		제어 지체	47.0
	차로 배정	1 좌회전, 4 직진+우회전	
	좌회전 교통량 < 250	접근로 교통 상황	
제어 지체		43.9	50.2
차로 배정	1 좌회전, 4 직진+우회전		
직진 교통량 < 2250	좌회전 교통량 ≥ 250		
		제어 지체	50.8
	차로 배정	2 좌회전, 3 직진+우회전	
	좌회전 교통량 < 250	접근로 교통 상황	
제어 지체		41.0	50.3
차로 배정	1 좌회전, 4 직진+우회전		

〈그림 6〉 차로배정에 따른 효과척도 비교(5차로)

M. 모형의 현장 적용

작성된 차로수 결정 모형을 이용하여 현장 적용 후, Simulation를 실시하였다. 모형 적용 전·후의 분석을 통하여 모형 적용에 의한 신호교차로에서의 제어 지체 감소와 서비스수준 향상 정도를 살펴보았다.

모형의 효과를 분석하기 위한 절차는 다음과 같다.

1단계	2단계	3단계
현황분석	신호최적화를 통한 분석	모형 적용 후 분석
현황분석을 통한 평균제어지체 및 서비스수준 분석	신호최적화를 통한 평균제어지체 및 서비스수준 분석	모형 적용 후 평균제어지체 및 서비스수준 분석



■ 현황분석 및 신호최적화를 통한 분석과 모형 적용 후 분석을 통하여 모형적용에 의한 제어지체의 감소와 서비스수준의 향상 정도를 살펴보았다.

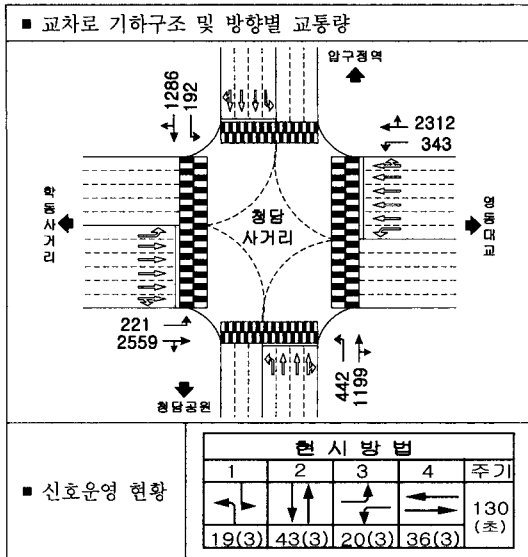
〈그림 7〉 분석절차

1. 자료수집

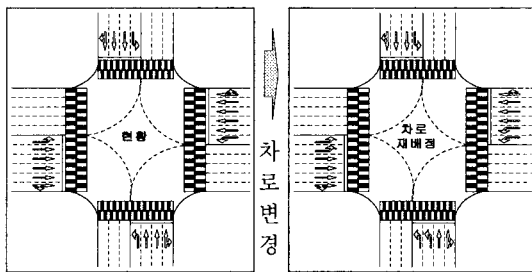
모형의 현장 적용을 위하여 좌회전교통량이 많은 청담사거리를 선정하여 현황조사를 실시 하였다. 청담사거리는 신신호에 의해 제어되고 있는 지역으로 교통대응식으로 운영되고 있어 인근교차로와 연동이 되지 않는 독립교차로로서 본 연구의 현장 적용에 적합한 장소이다. 교통량 조사는 2002년 2월25일에 실시하였으며, 하루 중 교통량이 가장 많은 18:00~19:00 교통량을 적용하였다.

2. 현황

청담사거리의 기하구조는 남-북으로 4차로(좌회전 포켓 포함), 동-서로 6차로(좌회전 포켓 포함)이다. 차로수 결정 기준표에 의하면, 네 방향의 접근로 중 세 방향 접근로에서 좌회전이 두차로씩 배정되어야 한다. 즉, 압구정역 방면(North bound)과 학동사거리 방면(West bound) 및 영동대교방면(East bound)에서 좌회전이 두 개 차로로 배정되어야 한다.



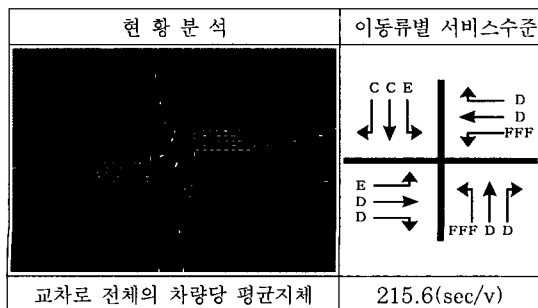
〈그림 8〉 현장조사 자료



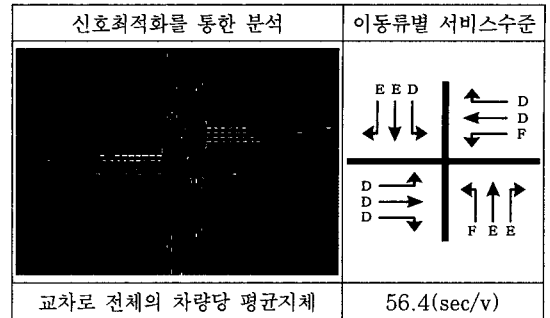
〈그림 9〉 방향별 차로수 재배정

3. 현황분석 및 모형 적용 후 분석

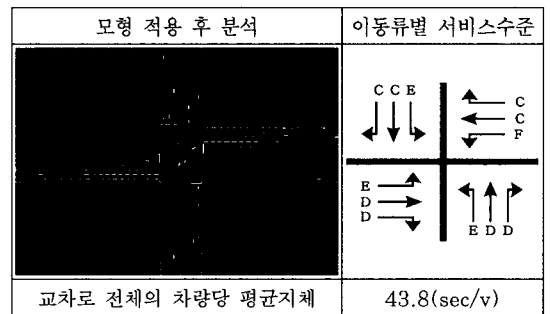
모형의 타당성을 판단하기 위하여 현황분석과 모형 적용 후의 교차로 평균지체 및 제어지체를 비교하여 모형적용의 효과를 알아보았다. 〈그림 10〉은 청담사거리의 현황 및 서비스수준을 나타낸 것이다.



〈그림 10〉 교통상황 및 서비스수준 분석



〈그림 11〉 교통상황 및 서비스수준 분석



〈그림 12〉 교통상황 및 서비스수준 분석

현황을 살펴보면, 영동대교 방면(East bound), 학동사거리 방면(West bound) 및 압구정역 방면(North bound)으로 좌회전 교통량이 많아 좌회전 이동류의 서비스수준은 FFF 및 E이다.

신호최적화를 실시하였을 경우, 학동사거리 방면(West bound) 및 압구정역 방면(North bound)의 좌회전 이동류의 서비스수준은 F이다. 현황보다는 서비스수준이 다소 향상되었지만, 좌회전 이동류의 서비스수준은 여전히 좋지 못하다.

차로 재배정 및 신호최적화를 실시하였을 경우, 영동대교 방면(East bound), 학동사거리 방면(West bound) 및 압구정역 방면(North bound)의 좌회전 이동류의 서비스 수준이 향상되었다. 또한 각 이동류의 지체 및 대기행렬이 균등하게 분포됨으로써 특정 이동류에서 발생하는 극심한 지체를 막을 수 있다.

본 연구에서 개발된 모형에 의하여 차로를 재배정하였을 경우, 특정 이동류에 대한 극심한 지체가 발생하지 않았고, 결과적으로 교차로 전체의 평균제어지체도 줄어들어 서비스수준이 향상되었다.

V. 결론 및 향후과제

신호교차로에서의 회전교통류 특히, 좌회전교통류는 교차로 운영에 가장 큰 영향을 미친다. 좌회전교통류를 효율적으로 처리하는 것은 교차로 전체를 효율적이고 안전하게 처리하는 것이다. 우리나라 도시가로의 특징은 차로수가 많고 Super Block으로 이루어져 있어 각 교차로마다 좌회전 교통량이 많다는 것이다. 이러한 좌회전교통류는 신호교차로에서 지체에 큰 영향을 줌으로 좌회전 교통류에 대한 차별한 고려가 필요하다.

방향별 적정 차로수 결정 모형은 이러한 좌회전교통류를 효율적으로 처리하여 신호교차로 지체 감소 및 안전한 교차로 운영에 적합한 모형이다. 청담사거리에 모형을 적용하여 Simulation를 실시한 결과 신호시간만을 최적화했을 때보다 평균지체가 12(초/대) 정도 감소하였다. 또한 대기행렬 및 지체가 분산되어, 특정 이동류에서 발생하는 극심한 지체를 막을 수 있다. 이러한 지체 및 대기행렬의 분산은 운전자로 하여금 교차로 접근로에서 무리한 차로변경을 방지할 수 있어 추돌사고 감소 등의 안전에도 긍정적인 효과가 기대된다.

도시가로의 교통류는 오전첨두, Mid-Day, 오후첨두에 다른 경향을 나타낸다. 따라서 각 시간대에 따른 회전교통량 변화에 신속하게 대응할 수 있도록 방향별 차로수 변경에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

또한, 보다 많은 상황별 사례연구 뿐 아니라, TSIS 외에 HCM 등의 다른 tool를 통하여 모형의 검증이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), "도로용량편람".
2. 김영찬 외(2001), "과포화시 대기행렬길이 균형화 전략에 따른 교통신호제어모형의 개발", 대한교통학회, 제40회 학술발표회 발표논문집.
3. 신언교·홍성표·김동녕(2001), "차로공용이용화를 위한 신호최적화모형 개발 연구", 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.75~88.
4. Anthony P. Voigt and Merrell E. Goolsby (1999), "Evaluation of Changeable Lane Assignment System for Daily Operations", Texas Transportation Institute, Texas A&M University.
5. Dr. Vergil G. Stover, Ph.D., P. E.(1988), "City Street Design", The Texas A&M University.
6. James A. Bonneson, P. E. and Michael D. Fontaine(2001), "Engineering Study Guide for Evaluating Intersection Improvements", Texas Transportation Institute, Texas A&M University.

✉ 주 작 성 자 : 김동재

✉ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사관정일 : 2003. 1. 3

✉ 반론접수기한 : 2003. 4. 30