

■ 論 文 ■

도시 간선도로에서 제한적 좌회전 신호운영의 적용기준 및 효과분석에 관한 연구

An Analysis of Effectiveness for Permissive Warrants
on the Restrictive Left-Turn Signal Control in Urban Arterial Roads

정 인택

(서울대학교 환경대학원 조교)

이 영인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 구성
- II. 관련이론 및 선행연구 고찰
- III. 제한적 좌회전 신호운영 방법론 정립
 - 1. 제한적 좌회전 신호운영 기법
 - 2. 교통상황 조건에 따른 적용기준 정립
- IV. 본 신호제어 기법의 효과 검증
 - 1. 시뮬레이션 분석
 - 2. HCM 간선도로 분석
 - 3. 검증결과
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 제한적 좌회전 신호운영, 적용기준, 평균제어지체, 순행시간, 통행시간

Restrictive left-turn signal control, Installation warrants, Average control delay, Running time, Travel time

요 약

도시의 급변하는 교통수요에 대응하기 위해서 지속적으로 교통시설을 공급하는 데에는 한계가 있으므로 맹목적인 시설공급보다는 현재 교통시설에서의 운영관리 측면이 강조되고 있다. 특히 신호교차로들로 이루어진 단속류에서는 연동을 고려한 각 교차로별 최적신호시간 부여가 중요하다. 그러나 방향별로 부여된 신호시간이 단속류의 통과용량에 주요 변수인 것을 감안할 때 첨두시와 같이 교통수요가 급증하는 상황에서 보호좌회전 신호를 포함하는 4현시 신호운영을 지속적으로 유지하는 것은 방향별 통과용량에서의 한계가 있으며, 이에 대응하여 기존 과포화 신호제어 방법으로 내부미터링 기법에 대한 연구도 그동안 진행되어왔으나 실시간 신호제어시스템 상의 대기행렬 검지기 설치 부재로 인해 적용되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 도시 간선도로의 지정체를 완화하기 위한 새로운 방법으로 현재 삼성역 교차로에서 운영 중에 있는 제한적 좌회전 신호운영 방안을 간선가로축을 대상으로 적용하였다. 이것은 시간대에 따라 주방향에 대한 좌회전 흐름을 직진 후 U턴으로 유도하여 현시수를 감소시키고 직진 신호시간을 최대화하여 통과용량을 증가시키는 신호제어 방법을 적용하는 것이다. 단, 본 신호제어에 대한 적용은 대상구간의 기하구조와 교통상황 조건 등에 따라 결정되어야 하며, 이를 위해 기존의 교통 신호등 설치기준과 같이 각 교통상황 조건별로 명확한 적용기준이 필요하다.

There are many limitations in dealing with rapidly changing traffic demand in urban cities. Thus recently, traffic operation and management skills are more emphasized rather than the expansion of traffic facilities. In particular, in the interrupted flow formed by signalized intersections, it is quite important to give optimal signal timing to each intersection with consideration of progression. However, as fixed signal times per direction can affect passing capacity in signalized intersections, the present four-signal phase including a left-turn signal has many limitations, including reduction of directional road capacity when traffic demand is increases dramatically during peak hours. Because of this problem, lots of studies about internal metering techniques for oversaturated signal control skills have progressed but these techniques are not used widely due to the absence of detectors for queue sensing in real-time signal control systems. In this research, a new methodology called the "restrictive left-turn signal control", which is already used at the intersection above Samsung subway station, is suggested in order to reduce control delay of urban arterial roads. The restrictive left-turn signal control allows a driver to make a U-turn and then a right turn instead of turning left in that intersection. With this change, the restrictive left-turn signal control can contribute to increased intersection capacity by reducing the number of signal phases and maximizing the through phase time. However, road structure and traffic conditions at the target intersections should be considered before the adoption of the proposed signal control.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도시의 급변하는 교통수요에 대응하기 위하여 지속적으로 교통시설을 공급하는 데에는 한계가 있으므로 맹목적인 시설공급보다는 현재 기존 교통시설에 대한 운영관리 측면이 강조되고 있다. 특히 신호교차로들로 구성된 단속류에서는 신호시간이 통과용량에 주요 변수이므로 신호연동을 고려한 방향별 최적 신호시간 부여가 중요하다. 하지만 첨두시와 같이 교통수요가 급증할 경우 좌회전을 허용하는 4현시 신호운영체계에서의 지속적인 신호최적화는 각 방향별 통과용량을 증가시키는 것에 대한 한계를 드러낸다. 따라서 본 연구에서는 상시적인 지체체를 겪고 있는 도시 간선도로의 새로운 지체완화 방안으로 제한적인 좌회전 신호운영방법을 도입하고자 한다. 실제 삼성역 교차로에서 평일 오전7시부터 오후11시까지 잠실→개포IC 방향으로 일반 차량들의 좌회전 신호를 제한하고 노선버스만 허용하여 동서방향(선릉역↔잠실)에 대한 직진 신호시간을 최대한으로 부여하는 제한적 좌회전 신호가 운영 중에 있다. 여기서, 삼성역 교차로의 제한적 좌회전 신호운영을 다른 대상구간에 적용할 경우 과거 교통수집 자료를 토대로 기하구조, 좌회전 교통량의 비율, 접근방향과 대향방향의 교통상황, 신호현시 등의 교통상황 조건들을 고려한 구체적인 적용기준이 필요하며, 단순한 독립교차로에서 하나의 특정 방향에 대한 신호제어가 아닌 전체적인 교통축 단위로 확장하여 적용하고 그 효과를 검증할 필요성이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같이 크게 두 가지로 설정하였다. 첫째, 분석 가로구간에서 소요된 총 통행시간(지체시간+순행시간)을 평가지표로 설정하여 각 유형별 접근방향의 좌회전비율과 접근교통량, 대향방향의 접근교통량 등의 교통상황에 따른 본 신호제어의 적용 기준을 정립하였다. 둘째, 앞서 정립된 적용기준에 의거하여 사례 대상구간을 선정하고 시간대별 교통상황에 따른 분석 상황을 설정하여 단순한 독립교차로가 아닌 실제 도시 간선도로 축을 모의 네트워크로 구축한 뒤 본 신호 제어 기법의 적용에 따른 운영 효과를 검증하였다.

2. 연구의 내용 및 구성

앞서 언급한 삼성역 교차로의 경우는 일반차량에 대

한 좌회전 신호를 제약함으로써 좌회전 신호시간의 감소분을 직진 신호시간에 포함하여 직진에 대한 통과용량을 증가시키기 위한 제한적 좌회전 신호운영을 시행 중에 있다. 하지만 현재 이 신호제어 방법에 대한 구체적인 적용 기준이 존재하지 않는다. 즉, 좌회전 신호에 대한 제약은 그 흐름을 직진 후 U턴이나 P턴으로 방향 전환을 유도하므로 좌회전 교통량에 대한 통행거리 및 접근 교통수요의 증가가 발생하게 되어 다른 대상구간에 적용하기 위해서는 본 신호제어 기법에 대한 적용기준이 필요하다.

따라서, 본 연구는 유형별 모의 네트워크를 정하여 각 신호운영 방법에 따른 이동류별 총 지체시간과 총 순행시간을 합한 분석 대상구간에 소요된 총 통행시간을 평가 지표로 설정하고 각 교통상황별 민감도 분석을 실시하여 이를 최소화하는 신호운영방법을 선정하는 방식으로 각 교통상황 조건에 따른 적용기준을 정립하였다. 또한 정립된 적용 기준을 토대로 대상구간과 분석 시간대를 선정하고 실제 현장의 간선도로 축을 모의 네트워크로 구축하여 본 신호제어 기법의 운영 효과를 시뮬레이션 분석과 HCM 간선도로 분석방법을 통하여 검증하였다.

II. 관련이론 및 선행연구 고찰

1. 관련이론

본 연구에서 제안하는 신호제어 기법의 적용기준 정립을 위한 평가지표인 총 통행시간은 분석 네트워크에서 소요된 총 신호지체와 총 순행시간의 합이므로 이에 대해 관련이론을 고찰하였다.

1) 신호지체

일반적으로 신호교차로에서 지체란 “신호제어가 없는 상황에서 차량이 경험하게 되는 통행시간과 실제 신호교차로를 통과하면서 경험하게 되는 통행시간의 차이 또는 교차로 통과를 위해 운전자가 기대하는 시간과 실제 걸린 시간의 차이”로 정의된다. 또한 접근지체(Approach delay)는 정지지체(Stopped time delay)와 가속지체(Acceleration delay), 감속지체(Deceleration delay)의 합으로 나타낼 수 있다. 정지지체는 차량이 교차로를 통과하기 위하여 대개행렬 속에서 정지 상태로 있었던 시간을 의미하고 감·가속지체는 차량이 감·가속과정에서 손실된 시간을 의미한다.

2) 순행시간

차량들은 무리를 이루어서 이동하거나 측면 마찰을 받게 되면 속도가 떨어지게 된다. 즉, 어떤 구간을 달릴 때 교통류의 차량상호간 내부마찰과 도로변 주·정차, 버스 정류장, 접근 세가로에서의 유입교통량 등으로 인한 측면 마찰의 영향을 받아 속도는 떨어지게 된다. 이 때 신호등으로 인한 가·감속지체와 정지지체의 영향을 받지 않으며 순행하는 속도를 순행속도라 볼 수 있으며 자유속도보다 낮은 값을 갖는다. 또한 주어진 분석구간을 순행속도로 통과했을 때 걸린 시간을 순행시간으로 볼 수 있다.

2. 선행연구

본 연구와 관련되는 좌회전 금지의 효율성에 관한 연구들과 과포화 교차로에서의 지체 완화를 위한 신호운영 방안에 관한 문헌들로 구분하여 고찰하였다.

1) 좌회전 금지에 대한 효율성 평가

변상철, 박병호(1996)는 단독교차로와 교통축에 대해 각각 92개, 93 쌍의 자료를 바탕으로 좌회전 금지에 대한 의사결정시 고려되어야 할 요소들과의 관련 모형을 제시하였다. 효과적도와 진술한 8가지 요소들 간의 단순 회귀 분석과 중회귀 분석을 실시하여 적정 함수식을 개발하여 통계적으로 유의한 모형식을 개발하였다.

강성곤(1999)은 광주시에서의 좌회전 교통류 처리상의 운영적 측면에서의 문제점을 분석하여 교차로 또는 도로 접속부에서의 좌회전 교통류를 효율적으로 처리할 수 있는 방안을 제시함으로써 도로용량증대를 유도하고 교통 혼잡 완화를 도모하였다. 그 결과 도시부 교차로에서의 교차로 및 가로 효율 증대를 위한 좌회전 금지의 기법을 제시하고자 하는 상류부 교차로 횡단보도에서의 유턴우회 방안에 대한 효과적도 분석 결과 현행 보호좌회전 운영에 비해 총 주행거리는 첨두시에 2%씩 증가하는 것으로 나타났으나, 총 여행시간, 평균지체시간, 정지율, 연료소모량, 여행속도 등은 오전 첨두시에 있어서 각각 23%, 87%, 58%, 27%, 43%의 개선효과를 기대할 수 있어 좌회전 금지 후 상류부 횡단보도에서의 유턴을 통한 우회 기법은 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

2) 기존 실시간 신호제어시스템 알고리즘 개선

이승환, 이상수, 이성호(2003)는 기존 COSMOS 신

호제어 전략과의 병행 운영을 고려한 내부미터링 알고리즘 개발과 그 적용 절차를 제시하였고 이를 적용할 수 있는 교통 환경과 제어 범위를 제시하고 검지기 및 제어기 체계에 대해 제시하였다. 내부미터링 효과분석을 실시한 결과, 미터링 적용전보다 지체시간(veh-hours)은 2.1% 감소하였고, 평균통행속도(mph)는 0.9% 증가하였다.

이성호(2004)는 국내 도시 간선도로 내에서의 실시간 내부미터링 제어전략을 수행할 수 있도록 시뮬레이션 환경을 개발하였으며, 그 결과 COSMOS 환경처럼 긴 링크들로 구성되어 있고 양방향 과포화현상이 자주 일어나는 교통 환경에서 읍셋값은 내부미터링 제어전략의 주요목표인 생산량 최대화에 큰 영향을 미치지 못함을 확인하였다. 그리고 “희망대기행렬길이”는 미터링 수행시 내부미터링 제어구간의 시스템 생산량에 큰 영향을 미치는 변수이며, 연구에서 제시한 “희망대기행렬길이 산출식”이 시스템 생산량을 최대화할 수 있도록 적절하게 교통상황을 반영한다고 판단이 되며, 보다 안정적인 운영을 위해서 산출식에 운영자가 설정할 수 있는 여유저장 공간(Safe Buffer)을 제공하였다.

김수희(2007)는 기존 과포화 교통축 신호제어전략은 주로 공통주기를 유지하여 상류부 교차로의 교통수요 조절 및 읍셋(Offset)을 조정하는 방법이 아닌 도시부 도로 교통축 과포화시 비공통주기 기반의 신호운영방법론을 개발하는 것으로서, 과포화 진행 상황에 따라 일시적으로 중요교차로(CI)의 주기를 증가시켜, 중요교차로(CI)와 인접 비중요교차로(MI)와의 교통축의 주방향 현시 g/C 비율상 부족분의 보완 및 주기 증가로 인한 손실시간의 감소효과를 통해 중요교차로(CI)의 용량을 증대시키며, 중요교차로(CI)의 주기증가를 통해 과급되는 인접교차로와의 읍셋(Offset)의 파괴영향 최소화하는 신호운영방법론 개발하였다. 국도 1호선상 교통축의 모의 실험을 수행한 결과 비공통주기기반 신호운영방식이 내부미터링 기법(IMP)보다 통과교통량(Throughput)이 6% 증가하였고, 지체도는 17% 감소하는 개선효과를 나타냈다. 그러나 매 주기마다 읍셋(Offset)의 변화에는 적극적으로 대응하지 못했으며, v/c 1.2이상의 변화에 따른 주기증가를 변화 방안이 마련되어야 할 것이다.

Ping Yi, Chun Shao, Li Aheng(2007)은 기존의 신호제어 논리장치 운영에 대한 문제점과 과포화 교통상황에서의 개선 알고리즘과 모형(COP, EDEA)을 소개하였다. 이는 단기적인 교통 예측의 개선된 방법과 시스템 최적화 내에서의 지체 산정을 포함하고 있다. 새로운

모형에 대한 시뮬레이션 기반의 분석을 통하여 기존의 신호제어 기법과 비교·분석을 실시하였다. 그 결과, EDEA 제어가 과포화 상황에서 좀 더 안정적으로 수행되었다.

Lieberman, Chang(2007)은 MILP로 최적의 오프셋(Offset)과 대기행렬을 산출하고 NLP(Non-Linear Program)로 매주기 녹색현시를 보정하고, 도심 내 간선도로축을 구분하여 등급을 지정한 후 우선순위를 정하며, 네트워크 전체에 대한 신호운영 계획을 세웠다.

III. 제한적 좌회전 신호운영 방법론 정립

1. 제한적 좌회전 신호운영 기법

도시 간선도로에서 신호교차로의 통과용량은 신호시간에 의해서 크게 좌우하므로 접근로별 직진 3차로는 좌회전 1차로의 용량보다 3배입과 동시에 직진 이동류에 대한 신호시간의 증가는 좌회전 이동류의 신호시간 증가에 따른 통과용량보다 똑같이 3배의 효과가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 교통수요의 증가로 인해 상시적인 지체체를 겪고 있는 대상 구간의 신호계획 내에서 교차하는 도로들의 기능에 따라 분석 대상구간의 유형을 구분하고 유형별로 양방향 혹은 단일 방향에 대한 좌회전 신호에 제약을 가하고 방향별 직진 신호시간에 좌회전 신호시간을 더한 최대 직진신호시간을 부여함에 따라 신호교차로의 통과용량 및 통행 속도를 높임으로서 전체 교차로 접근로의 지체시간을 감소시키는 기법을 적용한다. 하지만 본 신호제어 기법의 적용에 있어 대상구간에 대한 기하구조, 교통량, 신호주기 등 기초적인 교통수집 이력자료를 통한 사전 분석이 필요하다. 즉, 도시 간선도로는 다양한 차로수와 도로 기능을 수행하는 도로들이 교차하여 여러 형태의 신호교차로들로 이루어져 있다. 각 도로들은 방향별 오전과 오후 침두시의 교통 패턴이 뚜렷하거나, 침두시의 구분 없이 양방향 교통량이 일정하게 많거나 적은 경우, 회전교통량이 많거나 적은 가로 구간 등 시간대별 요일별로 다양한 교통패턴이 존재하기 때문에 제한적인 좌회전 신호운영 기법을 적용함에 있어 U턴 차로 설치 등과 같이 물리적인 측면이 용이한 대상구간과 교통상황 측면에서 운영효과가 기대되는 대상구간을 선정하는 것에 대한 적용기준이 필요하다.

이에 따라 본 연구는 적용 대상구간의 교통수집 이력 자료를 바탕으로 기하구조, 이동류별 교통량, 주기, 신호

시간 등을 고려한 각 교통상황별 적용기준을 정립하여 이 결과를 토대로 실제 대상구간을 선정하여 모의 네트워크를 구축 후 시뮬레이션 분석을 통해 운영효과를 검증하였다.

1) 적용사례

제한적 좌회전 신호운영 방법은 대체적으로 좌회전 교통량이 적고 양방향 직진 교통량이 많은 주간시간대에서 좌회전을 제약하여 그 흐름을 직진 후 U턴이나 P턴으로 방향전환을 유도한다. 이를 통해 직진 이동류에 대한 통과용량을 높여 통행속도를 증가시킬 수 있다. 현장 적용사례로 삼성역, 르네상스호텔, 서울시교육연수원 교차로 등 총 10개소에서 운영 중에 있다. 단, 이 신호운영 방법을 적용하기 위한 기준이 명확하지 않아 적용 대상구간 선정시 많은 어려움이 존재한다.

<표 1> 제한적 좌회전 신호운영의 적용사례

대상 구간		운영방법
태헤란로	삼성역	잠실→개포IC방향 좌회전 07:00~23:00 : 노선버스만 좌회전 23:00~07:00 : 일요일 좌회전허용
	르네상스호텔	남북방향 좌회전 시간제 좌회전 허용(23:00~07:00)
을지로	을지로3가	초동→을지2가 방향 시간제 좌회전(23:00~07:00)
	을지로5가	남↔북 방향 좌회전 시간제 좌회전 금지(07:00~09:00)
	을지로6가	한양공고→광희동 방향 좌회전 시간제 좌회전(23:00~07:00)
기타	을지로7가 우체국	을지로6가→마장동방향 시간제 좌회전(22:00~05:00)
	서울시 교육연수원	전방향 좌회전 현시 평일, 토요일 07:00~20:00 좌회전허용 평일 좌회전 금지시간 20:00~07:00 일요일, 공휴일은 전시간대 금지
	종로3가	종로2가→종묘입구 방향 시간제 좌회전 (23:00~07:00)
	도로교통 공단후문	평일 북측연동 18:00~18:30 좌회전 허용 그 외시간 남↔북간 직진신호운영
동아일보	무교동→시청방향 좌회전 07:00~23:00 : 좌회전 금지 23:00~07:00 : 좌회전 허용	

자료 : 서울특별시 표준신호 제어시스템 중앙 및 지역장치 운영자료, 서울특별시청·도로교통안전관리공단, 2008.2

2) U턴 체계에 대한 일반적 적용기준

U턴이란 도로주행시 차량이 U자형태로 방향전환을 하는 것으로 적절한 운영을 통해 운전자들의 편의를 제

공하고 소통효율을 도모할 수가 있다. U턴차로는 대향차로가 3차로 이상인 편도 폭 9m이상의 도로에서 설치·운영해야 하며, 교통량이 시간당 평균 1,200대 이하이고 U턴차량 가급적으로 승용차로 제한을 한다.

<교통안전시설 실무편람의 설치기준>

- 차량이 U턴해야 할 장소나 지점에 설치해야 한다.
- 도로 우측에 설치해야 한다. 단, 광로에서 중앙에 설치할 수 있는 경우 중앙에 설치한다.
- 특정차종 또는 특정차종을 제외한 통행방법을 지시할 경우, 보조표지를 설치해야 한다.

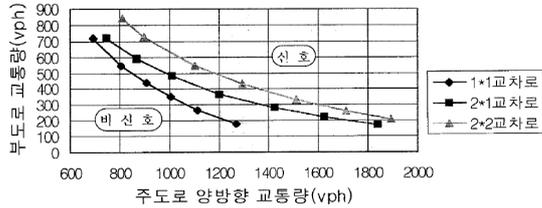
<미국 AASHTO¹⁾ 설치기준>

- 교차로나 인터체인지 지역에서 좌회전이 허용되지 않는 적은 양의 회전 이동을 수용하기 위한 교차로를 벗어난 지역에 설치한다.
- 중앙분리대 폭이 넓은 구간에 개구부가 없을 경우 연도지역에 접근하기 위한 U턴차로가 필요하다.
- 주요도로의 교차점, 통행속도가 높거나 교통량이 많은 도로에서는 부적합하며, 중앙분리대 폭이 충분하여야 한다.
- 중앙분리대 개구부의 간격은 400m~800m가 적절하며, 이 수치는 고정적인 것이 아니라 지형변화와 교통조건에 따라 가변적이다.

3) 본 신호제어의 적용기준을 정립하기 위한 이론적 근거

앞서 언급한 U턴차로의 설치기준과 더불어 교통신호기 설치기준에 관한 연구들도 꾸준히 진행되어 왔다. 대표적으로 미국 FHWA의 「MUTCD」, 도로교통안전협회의 「교통안전시설실무편람」, 「교통신호기 설치기준 연구(차량교통량 중심으로)」등에서 신호기 설치에 관한 구체적인 기준을 제시하고 있다. 특히 오철, 장명순(1997)²⁾의 논문에서는 각 유형별 T자형 교차로의 신호기 설치기준을 현장조사를 통해 수집한 자료를 이용하여 회귀분석 방법으로 설치 기준을 산정하였다. 하지만 본 논문에서 제시한 제한적인 좌회전 신호운영의 적용 기준에 관한 연구들은 전무한 실정이다.

오철, 장명순(1997)의 논문은 <그림 1>의 결과에서 보는 바와 같이 주·부도로 양방향 교통량이라는 정량적인 변수를 이용하여 교차로 유형에 따라 교통상황별로



<그림 1> T자형 교차로 신호기 설치기준

신호기 설치기준을 제시하고 있다. 이처럼 X, Y축으로 주방향 접근로 v/c, 대향방향 접근로 v/c, 좌회전 교통량 비율을 변수로 두어 총 통행시간을 최소화할 평가지표를 선정하여 각 교통 변수에 따른 제한적 좌회전 신호 운영의 적용기준을 정립하였다. 이 결과를 바탕으로 앞서 언급한 U턴 체계에 대한 적용기준 및 국가 교통정책 지침과의 연계도 가능할 것이다.

2. 교통상황 조건에 따른 적용기준 정립

교차하는 도로의 기능에 따라 유형별로 분석 네트워크를 구분하고 각 신호운영 방법에 따른 현시별 이동류들의 총 지체시간과 총 순행시간을 합한 총 통행시간을 평가지표로 하여 주방향에 대한 좌회전 비율과 v/c비, 대향방향의 v/c비에 따른 민감도 분석을 통해 총 통행시간을 최소화하는 신호운영방법을 채택하여 적용 기준을 정립하였다.

1) 평가지표 수립

단속류의 특성상 분석 네트워크에서 소요된 총 통행시간을 본 연구의 평가지표로 산정하였다.

$$\text{Estimation Index}(T_i) = f(T_d, T_r) \tag{a}$$

$$= \sum \left[\frac{D_i^{nk}}{S^n} \times V_i^{nk} \right] + \sum (d_i^{nk} \times V_i^{nk}) \quad \forall \Delta V, \Delta V^L \tag{b}$$

여기서,

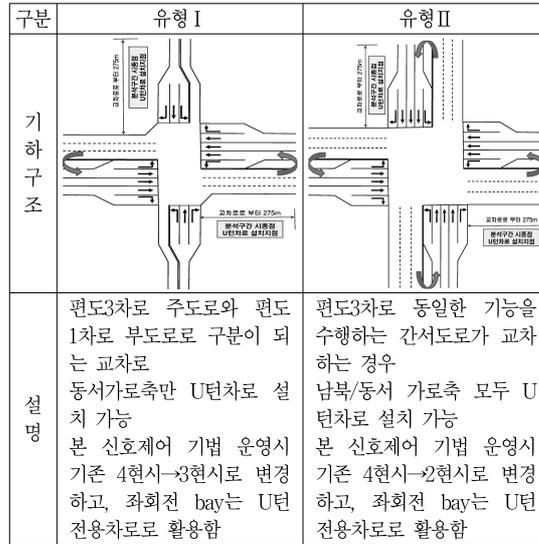
T_i : 분석 네트워크에서 소요된 총 통행시간
($T_i = T_d + T_r$)

T_d : 분석 네트워크에서 소요된 총 지체시간(sec)

1) AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)

2) 오철, 장명순(1997), “침투시간 교통량에 의한 T형 교차로 신호등 설치기준”, 대한교통학회지, 제15권 제3호

- T_r : 분석 네트워크에서 소요된 총 순행시간(sec)
- n : 교차도로의 기능에 따른 분석 네트워크 (1=CASE I, 2=CASE II)
- k : 교차로 신호운영 방법 (1=기존 4현시체계, 2=본 신호제어 기법)
- D_i^{nk} : n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류에 대한 통행거리(m)
- s^n : n 유형별 순행속도(km/h)
- V_i^{nk} : n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류의 교통량(veh/h)
- d_i^{nk} : n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류의 지체도(sec/veh)
- ΔV : 방향별 직진교통량의 민감도 변화량(veh/h)
- ΔV_L : 방향별 직진 1차로 당 교통량에 대한 좌회전 비율의 민감도 변화량(%)



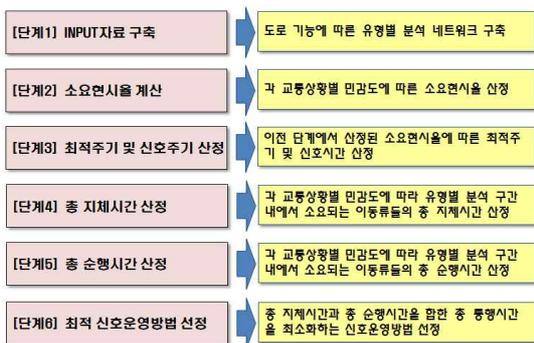
<그림 3> 유형별 분석 네트워크

2) 적용 기준 정립을 위한 방법론 구축

본 신호제어 기법의 적용기준 정립을 위하여 아래의 그림의 절차가 수행되어야 한다.

[단계 1] Input 자료 구축

- 분석 네트워크 기하구조 조건은 다음과 같음
 - 차로폭 3.5m
 - 이상적인 상태의 포화교통량(S_0) : 2,200 vphpl
 - 모든 접근로별 좌·우회전 bay 설치함
 - 차중 구성은 승용차로만으로 구성
 - 네트워크 분석 구간은 교차로로부터 275m 지점으로 함
 - 남북/동서 방향의 U턴 지점은 교차로로부터 275m에 설치함



<그림 2> 적용 기준 정립을 위한 분석 프로세스

- 간선도로의 기능 분류에 따른 유형별 분석 네트워크를 구축하였다.

[단계 2] 소요현시율 계산

- 각 교통상황별 민감도의 변화에 따른 경우의 수를 구하고 각 CASE별로 본 신호제어 기법의 적용 전, 후의 소요현시율($[(\Delta V_i^{nk}/S_0)]$)을 각 현시별 모든 이동류를 대상으로 구하였음

<표 2> 유형별 민감도 설정

구분	유형 I	유형 II
접근로 교통량 (직진)	동서방향 $\Delta V = 100vph$ $V_{min} = 100vph$, $V_{max} = 2,000vph$ 남북방향은 도로기능에 따라 동서방향의 30%수준으로 가정하였음	남북/동서방향 $\Delta V = 100vph$, $V_{min} = 100vph$, $V_{max} = 2,000vph$ 남북방향 교통량 수준은 동일함
좌회전 비율	남북/동서방향 : $\Delta V_L(\%) = 10$, $V_{Lmin}(\%) = 10$, $V_{Lmax}(\%) = 150$ 좌회전 비율은 직진 1차로 당 좌회전 1차로의 교통량 비율임	

[단계 3] 최적신호 주기 및 신호시간 산정

- 각 교통상황 민감도에 따라 CASE별로 산정된 최적주기(C_{opt}^{nk})에서 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 신호시간(g_i^{nk})을 최소 보행자 녹색시간(G_{pi})과 최소 좌회전 신호시간(g_{Lmin})을 고려하여 산

정하였음

$$g_i^{nk} = C_{opt}^{nk} \times \frac{(V_i^{nk}/S_o)}{\sum(V_i^{nk}/S_o)} \quad \forall \Delta V, \Delta V^L \quad (c)$$

여기서,

g_i^{nk} : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 녹색신호시간(sec)

C_{opt}^{nk} : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 최적주기(sec)

(V_i^{nk}/S_o) : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 i 현시별 소요현시율

[단계 4] 총 지체시간(T_d) 산정

- 지체 산정식은 HCM(1997)에서 제시하고 있는 Time dependent stochastic delay model을 이용하였음

$$T_d = \sum(d_i^{nk} \times V_i^{nk}) \quad \forall \Delta V, \Delta V^L \quad (d)$$

여기서,

d_i^{nk} : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 평균제어지체(sec/veh)

V_i^{nk} : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류들의 접근교통량(vph)

[단계 5] 총 순행시간(T_r) 산정

- 위에서 산정한 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 분석구간 총 이동거리에서(D_i^{nk}) 도로 기능에 따른 자유속도(s^n)를 나눈 순행시간에서 각 접근로 이동류별 교통량(V_i^{nk})을 곱하여 분석 네트워크를 이용한 차량들의 총 순행시간(T_r)을 산정하였음

$$T_r = \sum\left[\frac{D_i^{nk}}{\left(\frac{s^n}{3.6}\right)} \times V_i^{nk}\right] \quad \forall \Delta V, \Delta V^L \quad (e)$$

여기서,

D_i^{nk} : n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류에 대한 통행거리(m)

s^n : n 유형별 순행속도(km/h)

V_i^{nk} : 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류들의 접근교통량(vph)

[단계 6] 분석 대상구간의 총 통행시간(T_t)에 따른 최적 신호운영방법 선정

- 분석 구간의 총 통행시간(T_t)은 총 지체시간(T_d)과 총 순행시간(T_r)의 합으로서 교통상황별 민감도에 따른 각 CASE별 n 유형별 k 신호운영 방법에 따른 각 i 현시별 이동류들의 총 통행시간(T_{ti}^{nk})을 최소화는 신호운영 방법을 최적 신호제어로 선정하였음

$$\min T_{ti}^{nk} = T_{di}^{nk} + T_{ri}^{nk} \quad \forall \Delta V, \Delta V^L \quad (f)$$

$$= \sum(d_i^{nk} \times V_i^{nk}) + \sum\left[\frac{D_i^{nk}}{\left(\frac{s^n}{3.6}\right)} \times V_i^{nk}\right] \quad (g)$$

3) 적용 기준에 대한 분석결과

- 유형 I (편도3차로 주로도+편도1차로 부도로)
- 유형 II(남북방향 모두 편도3차로 간선도로)

<표 3> 유형 I의 적용 기준

주도로 v/c비	본 신호제어 기법의 적용 기준
0.1	대향방향 v/c비 0.1~0.7일 때, 좌회전 비율 110% 이내 대향방향 v/c비 0.8이상일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.2	대향방향 v/c비 0.1~0.7일 때, 20%≤좌회전 비율≤110% 대향방향 v/c비 0.8이상일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.3	대향방향 v/c비 0.1~0.8일 때, 20%≤좌회전 비율≤110% 대향방향 v/c비 0.8이상일 때, 좌회전 비율 20%이상인 경우
0.4	대향방향 v/c비 0.1~0.8일 때, 20%≤좌회전 비율≤110%
0.5	
0.6	대향방향 v/c비 0.9이상일 때, 좌회전 비율 20%이상인 경우
0.7	대향방향 v/c비 0.1~0.6일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.8	대향방향 v/c비 0.7~0.9일 때, 20%≤좌회전 비율≤120%
	대향방향 v/c비 1.0이상일 때, 좌회전 비율 20%이상인 경우
0.9	대향방향 v/c비 0.1~0.8일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
	대향방향 v/c비 0.9이상일 때, 20%≤좌회전 비율≤100%
1.0	대향방향 v/c비 0.1~0.7일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
	대향방향 v/c비 0.8이상일 때, 20%≤좌회전 비율≤90%
1.1 이상	대향방향 v/c비 0.1~0.6일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
	대향방향 v/c비 0.7~0.8일 때, 20%≤좌회전 비율≤120%
	대향방향 v/c비 0.9이상일 때, 20%≤좌회전 비율≤90%

주 : 제시된 적용 기준 이외의 교통 상황들에서는 당초 4현시체제가 유리함
좌회전 비율(%)은 주도로 직진1차로 당 교통량에 대한 좌회전 교통량의 비율임

<표 4> 유형II의 적용 기준

주도로 v/c비	본 신호제어 기법의 적용 기준
0.1	대향방향 v/c비 0.1일 때, 좌회전 비율 130% 이내 대향방향 v/c비 0.2일 때, 좌회전 비율 50%이내 대향방향 v/c비 0.3~1.0일 때, 좌회전 비율 30%이내 대향방향 v/c비 1.1이상일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.2	대향방향 v/c비 0.1일 때, 좌회전 비율 20%이상 대향방향 v/c비 0.2일 때, 20%≤좌회전 비율≤120% 대향방향 v/c비 0.3~0.9일 때, 좌회전 비율 30%이내에서 유리 대향방향 v/c비 1.0이상일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.3	대향방향 v/c비 0.1~0.3일 때, 좌회전 비율 20%이상
0.4	대향방향 v/c비 0.4~0.8일 때, 20%≤좌회전 비율≤70% 대향방향 v/c비 0.9이상일 때, 모든 좌회전 비율에서 유리
0.5	대향방향 v/c비 0.1~0.4일 때, 좌회전 비율 20%이상 대향방향 v/c비 0.5~0.8일 때, 20%≤좌회전 비율≤80% 대향방향 v/c비 0.9이상일 때, 좌회전 비율이 20%이상인 경우
0.6	모든 대향방향 v/c비에서 좌회전 비율이 20%이상인 경우 → 전체적인 교통상황에서 유리
0.7	
0.8	
0.9	
1.0	
1.1이상	

주 : 제시된 적용 기준 이외의 교통 상황들에서는 당초 4현시체제가 유리함
좌회전 비율(%)은 주도로 직진1차로 당 교통량에 대한 좌회전 교통량의 비율임

4) 분석대상 구간의 선정

(1) 기하구조 측면

양재대로 축(염곡사거리~수서IC)은 서울시 남부순환로와 더불어 강남지역의 동서를 연결하는 주요 간선도로의 역할을 수행하는 교통축으로서 연장 5.4km, 차로수 왕복 8차로, 도로 폭원 40m이다. 여기서, U턴 차로의 설치는 편도 3차로 이상에서 설치 가능하기 때문에 양재대로는 편도 4차로로 U턴 차로 설치가 용이하며, 현재 전체 양재대로축으로 U턴 전용차로 5개소, U턴 공용차로 6개소가 설치되어 있다. 또한 중앙분리대 폭원이 3.0m이므로 좌회전 신호의 제약시 중앙분리대를 이용하여 추가적인 U턴 전용차로 설치가 가능하다. 각 교차로간의 간격이 약 606~966m 정도로 떨어져 있어 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙'에서 제시한 주요 간선도로에서 교차로간 평균 간격인 550m보다 더 크므로 직진 후 U턴으로 인한 weaving은 크지 않을 것으로 판단된다.

(2) 교통상황 측면

양재대로축 동서방향으로 본 신호제어 기법을 적용하는 유형 I 에 가까우며, 기존 문헌의 자료를 바탕으로 주

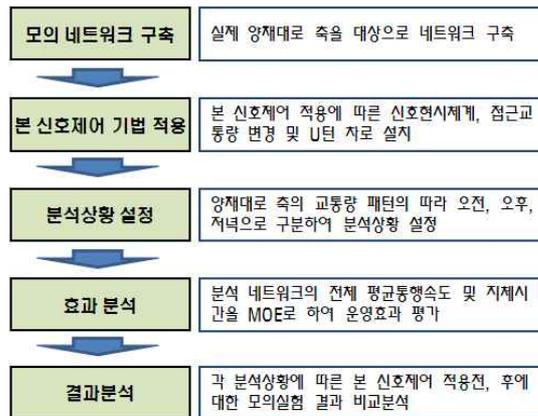
요 4개 가로구간에 대한 시간대별 v/c비와 좌회전 비율을 산정하여 앞서 각 유형별로 수립한 적용 기준에 부합되는지 판단하였다. 그 결과, 5번 교차로 개포3, 4단지에서 4번 교차로로 이동하는 가로 구간을 제외하고는 전체적인 시간대별로 본 신호제어 기법의 적용 기준에 부합되는 것으로 분석되었다.

IV. 본 신호제어 기법의 효과 검증

분석 대상구간인 양재대로 축에 대한 본 신호운영 방법의 효과 검증은 Corsim을 이용한 시뮬레이션 분석과 HCM에서 제시한 도시 간선도로 분석을 통하여 효과를 분석하였다.

1. 시뮬레이션 분석

본 연구에서 수립한 제한적 좌회전 신호제어의 적용 기준을 토대로 선정한 분석 대상구간인 양재대로 축(염곡사거리~수서IC)을 현장 실측치 그대로 모의 네트워크로 구축하여 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 분석 대상구간으로 선정된 전체 양재대로 축에서 본 신호제어 운영방법에 따른 운영효과를 검증하기 위한 모의실험 절차는 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 유형별 분석 네트워크

1) 시뮬레이션 모형

본 연구에서 제시한 신호제어 기법을 평가하기 위하여 현장실험은 교통상황을 악화시킬 위험이 있고, 현장 실험을 위한 막대한 재정적인 비용이 소요됨에 따라 현

실상 현장실험을 통한 모형의 검증은 수행하기가 어렵다. 따라서, 시뮬레이션 모형을 이용하여 본 연구의 신호 제어 기법에 대한 효과를 평가하였다. 이를 구현하기 위한 모의실험 도구로서 교통류의 미시적 상황을 시뮬레이션 할 수 있는 CORSIM을 이용하여 본 연구에서 제시한 신호운영 방법에 대한 효과를 검증하였다.

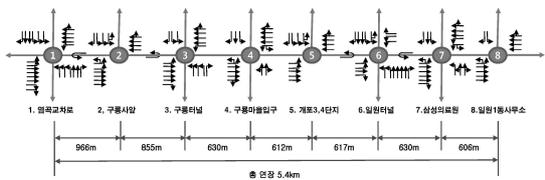
CORSIM은 다양한 도로 및 교통상황에 대한 모의실험 및 평가가 가능하며, 여러 교통수단이 제공되고 다양한 MOE로 분석이 가능하다. 또한 CORSIM-RTE 프로그램과 연계하여 실시간 감응제어와 같은 다양한 신호운영 방법을 코딩할 수 있다.

2) 모의네트워크 구축

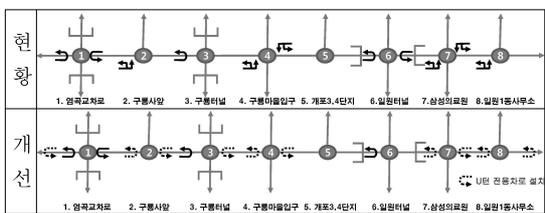
본 연구는 서울시 남부순환로와 더불어 강남지역의 동서를 연결하는 축으로 구간선도로의 기능을 수행하고 있는 실제 양재대로 축(염곡사거리~수서IC)을 모의 네트워크로 구축하였다.

기 설치되어 있는 U턴 전용차로를 모두 이용하고, 공용 U턴차로와 좌회전bay는 U턴 차로로 변경 설치하였다. 또한 염곡사거리 서쪽, 구룡사앞 동쪽, 구룡터널 동쪽, 개포3, 4단지, 일원1동사무소 동쪽 진입부에 추가로 U턴 차로를 설치하였다.

양재대로 축의 TOD Table 자료를 통한 신호운영 현황을 살펴보면, 각 교차로별 신호주기는 평일 시간대에 공통주기(170초)를 사용하고 있다.주방향인 동서방향에 대한 좌회전 신호를 제약하여 현시수를 줄이고 직진 신호시간을 높이는 것으로 기존의 좌회전과 직진 신호시간



<그림 5> 모의실험 네트워크



<그림 6> U턴 차로 설치 방안

교차로명		φ1	φ2	φ3	φ4
1.염곡사거리	현황	↔	↗ ↘	↘ ↗	↓ ↑
	개선	↔		↘ ↗	↓ ↑
2.구룡사앞	현황	↘ ↗	↔	↗ ↘	-
	개선	↔			-
3.구룡터널	현황	↗ ↘	↔	↘ ↗	-
	개선	↔		↘ ↗	-
4.구룡마을입구	현황	↗ ↘	↔	↗ ↘	↘ ↗
	개선	↔		↗ ↘	↘ ↗
5.개포3, 4단지	현황	↗ ↘	↔	↘ ↗	-
	개선	↔		↘ ↗	-
6.일원터널	현황	↘ ↗	↓ ↑	↗ ↘	↗ ↘
	개선	↘ ↗	↓ ↑	↗ ↘	↗ ↘
7.삼성의료원앞	현황	↗ ↘	↔	↘ ↗	↗ ↘
	개선	↔		↘ ↗	↗ ↘
8.일원1동사무소	현황	↗ ↘	↔	↘ ↗	-
	개선	↔		↘ ↗	-

<그림 7> 각 교차로 신호운영 방안



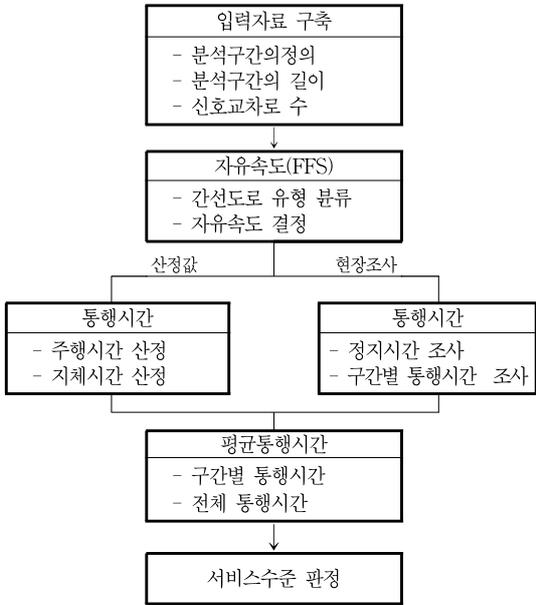
<그림 8> 모의실험 실행 화면

의 합이 개선 후 동서방향 직진신호시간이 된다. 단, 일원터널 교차로의 경우는 동서방향으로 지하차도가 운영 중에 있어 상부의 교차로의 신호운영은 그대로 유지하도록 하였다.

<그림 7>에서 제시된 입력 값들과 개선 내용을 모의 네트워크에 적용하여 시뮬레이션 분석을 실행하는 화면은 <그림 8>과 같다.

2. HCM 간선도로 분석

도시 간선도로 분석은 대상 구간을 통과하는 평균통행속도를 효과적으로 설정하여 서비스수준을 판단한다.



<그림 9> 도시 간선도로 분석 프로세스

평균통행속도는 전체 구간길이에서 지체를 겪지 않고 자유류 상태일 때의 통과 주행시간과 교통량, 신호시간, 포화교통용율 등과 같은 입력 변수를 이용하여 구한 평균 제어지체를 합한 통행시간을 나눠서 구한다. 도시 간선도로 분석 절차는 <그림 9>와 같다.

3. 검증 결과

앞서 양재대로에 대한 분석 대상구간의 선정 과정에서 본 축의 1일 시간대별 교통 패턴이 오전 첨두시부터 저녁 첨두시까지 전체 1일 교통량의 90%를 차지할 만큼 많으며, 교통패턴도 시간대별로 큰 차이가 없이 일정하게 유지되고 있는 것을 알았다. 따라서, 본 연구의 신호제어 방법을 시간대에 따라 제한적으로 적용함에 있어 앞서 제시한 시간대에 실제적으로 운영효과가 있는지에 대해 오전, 오후, 저녁시간대로 나눠 각 시간대별로 각 분석상황을 설정하여 검증하였다.

1) 시뮬레이션 분석 결과

(1) 분석상황 1의 경우

전체 양재대로 축을 대상으로 분석시간 따라 기존 신호운 영보다 본 신호제어 방법이 평균제어지체를 27.51~302.51 초/대(7.6~13.3%) 감소시키고, 평균통행속도를 2.04~3.17km/h(10.9~13.5%) 증가시키는 것으로 분석되었다.

<표 5> 분석상황1의 분석 결과

분석시간		평균제어지체(sec/veh)		평균통행속도(km/h)	
		기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어
900s	07:00~07:15	238.92	211.41	26.94	30.11
1800s	07:15~07:30	614.72	532.78	24.38	27.66
2700s	07:30~07:45	1,061.01	942.87	22.73	25.57
3600s	07:45~08:00	1,566.81	1,435.37	21.49	23.91
4500s	08:00~08:15	2,116.00	1,942.52	20.61	22.94
5400s	08:15~08:30	2,716.49	2,506.05	19.85	22.07
6300s	08:30~08:45	3,338.23	3,075.11	19.27	21.45
7200s	08:45~09:00	3,971.98	3,669.42	18.80	20.85

(2) 분석상황 2의 경우

전체 양재대로 축을 대상으로 분석시간 따라 기존 신호운 영보다 본 신호제어 방법이 평균제어지체를 27.16~34.30 초/대(1.3~16.3%) 감소시키고, 평균통행속도를 1.37~3.70km/h(5.9~12.2%) 증가시키는 것으로 분석되었다.

<표 6> 분석상황 2의 분석 결과

분석시간		평균제어지체(sec/veh)		평균통행속도(km/h)	
		기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어
900s	12:00~12:15	166.18	139.02	30.30	34.00
1800s	12:15~12:30	415.86	339.79	28.14	31.46
2700s	12:30~12:45	703.54	637.16	26.79	29.56
3600s	12:45~13:00	1,014.11	951.84	25.90	28.22
4500s	13:00~13:15	1,357.60	1,233.33	25.13	27.27
5400s	13:15~13:30	1,755.97	1,602.30	24.29	26.24
6300s	13:30~13:45	2,172.44	2,132.14	23.62	25.31
7200s	13:45~14:00	2,568.29	2,533.99	23.09	24.46

(3) 분석상황 3의 경우

전체 양재대로 축을 대상으로 분석시간 따라 기존 신호운 영보다 본 신호제어 방법이 평균제어지체를 41.25~150.87 초/대(3.7~18.4%) 감소시키고, 평균통행속도를 2.16~4.51km/h(11.9~18.3%) 증가시키는 것으로 분석되었다.

<표 7> 분석상황 3의 분석 결과

분석시간		평균제어지체 (sec/veh)		평균통행속도 (km/h)	
		기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어
900s	17:00~17:15	225.11	183.86	27.50	32.01
1800s	17:15~17:30	610.90	498.41	24.23	28.59
2700s	17:30~17:45	1,088.18	917.12	22.12	26.18
3600s	17:45~18:00	1,622.27	1,387.61	20.91	24.67
4500s	18:00~18:15	2,194.22	1,933.67	19.92	23.22
5400s	18:15~18:30	2,792.41	2,562.52	19.16	21.90
6300s	18:30~18:45	3,410.86	3,202.01	18.56	21.04
7200s	18:45~19:00	4,026.47	3,875.60	18.18	20.33

2) HCM 간선도로 분석 결과

(1) 분석상황 1의 경우

HCM의 도시 간선도로 분석 결과, 전체 분석구간에 서 기존 신호운영보다 본 신호제어 방법이 평균통행속도는 9.0~14.2km/h(21.4~37.8%) 증가하며, 서비스 수준은 C→B로 향상되는 것으로 분석되었다.

<표 8> 분석상황 1의 분석 결과

분석시간	평균제어지체(sec/veh)		LOS		
	기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어	
동→서 방향	①→②	49.3	61.3	B	A
	②→③	26.8	28.3	D	D
	③→④	29.1	45.5	D	C
	④→⑤	45.4	63.2	C	A
	⑤→⑦	49.1	53.6	B	B
	⑦→⑧	47.3	54.7	B	B
	Total	42.0	51.0	C	B
서→동 방향	⑧→⑦	17.8	55.3	F	B
	⑦→⑤	54.5	42.4	B	C
	⑤→④	35.9	64.7	C	A
	④→③	18.3	34.9	E	C
	③→②	41.2	55.0	C	B
	②→①	38.8	61.9	C	A
	Total	37.6	51.8	C	B

(2) 분석상황 2의 경우

HCM의 도시 간선도로 분석 결과, 전체 분석구간에 서 기존 신호운영보다 본 신호제어 방법이 평균통행속도는 11.2~16.1km/h(24.9~41.1%) 증가하며, 서비스 수준은 C→B로 향상되는 것으로 분석되었다.

<표 9> 분석상황 2의 분석 결과

분석시간	평균제어지체(sec/veh)		LOS		
	기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어	
동→서 방향	①→②	49.7	61.5	B	A
	②→③	44.0	57.2	C	B
	③→④	37.9	48.8	C	B
	④→⑤	46.5	64.0	B	A
	⑤→⑦	43.6	51.8	C	B
	⑦→⑧	47.4	54.8	B	B
	Total	45.0	56.1	C	B
서→동 방향	⑧→⑦	27.7	56.5	D	B
	⑦→⑤	54.3	52.6	B	B
	⑤→④	34.0	64.5	C	A
	④→③	18.9	39.0	E	C
	③→②	44.7	56.6	C	B
	②→①	38.7	61.9	C	A
	Total	39.2	55.3	C	B

(3) 분석상황 3의 경우

HCM의 도시 간선도로 분석 결과, 전체 분석구간에

서 기존 신호운영보다 본 신호제어 방법이 평균통행속도는 13.6~14.7km/h(37.6~52.5%) 증가하며, 서비스 수준은 C~D→B~C로 향상되는 것으로 분석되었다.

<표 10> 분석상황 3의 분석 결과

분석시간	평균제어지체(sec/veh)		LOS		
	기존 4현시	본 신호제어	기존 4현시	본 신호제어	
동→서 방향	①→②	50.7	57.5	B	B
	②→③	17.2	51.8	F	B
	③→④	26.3	37.8	D	C
	④→⑤	46.8	60.9	B	A
	⑤→⑦	32.2	40.3	D	C
	⑦→⑧	46.9	54.5	B	B
	Total	36.1	49.7	C	B
서→동 방향	⑧→⑦	10.8	52.6	F	B
	⑦→⑤	49.3	32.6	B	D
	⑤→④	24.7	63.6	E	A
	④→③	8.1	13.4	FF	F
	③→②	26.1	37.1	D	C
	②→①	28.5	61.0	D	A
	Total	28.1	42.8	D	C

V. 결론

1. 종합결론

본 신호제어의 적용기준은 유형I의 경우 주방향 접근로의 v/c비가 0.3이상일 때 대체적으로 대향방향 접근로의 v/c비가 0.8이상, 주방향 접근로 직진 1차로 교통량에 대한 좌회전 교통량의 비율이 10%이하일 경우는 기존 4현시 운영이 효과적인 것으로 분석되었으며, 또한 주방향 접근로의 v/c비가 0.7이상일 때 대향방향 접근로의 v/c비가 근포화인 0.6~0.8이하일 경우는 모든 좌회전 비율에 대해서 본 신호제어 기법이 효과적으로 분석되었다. 유형II의 경우 주방향 접근로의 v/c비 0.6을 기준으로 그 미만일 경우는 대체적으로 대향방향 접근로 v/c비가 0.9이내일 때 좌회전 비율이 높을 경우는 기존4현시의 운영이 유리하며, 반대로 그 이상일 경우는 모든 대향방향 접근로 v/c비에서 주방향 접근로 직진 1차로 교통량에 대한 좌회전 교통량의 비율이 20%이상일 경우 즉, 모든 교통상황에서 본 제어 기법의 적용이 효과적으로 분석되었다.

산정된 기준에 의거 양재대로 축에 대한 본 신호제어의 적용이 적합한 걸로 판단되었으며, 기하구조와 교통상황 측면에서도 유리한 것으로 분석되어 본 축을 사례 대상구간으로 선정하였다. 분석 시간대를 오전, 오후, 저녁으로 구분하여 분석상황을 설정한 후 CORSIM을 이용한 시뮬레이션 분석과 HCM에서 제시한 도시 간선도로 분석을

통하여 본 신호제어 효과를 검증하였다.

먼저 모의실험을 실행한 결과는 전체적인 시간대에 기존 4현시 신호운영보다 평균통행속도는 1.37~4.51km/h 증가하였고, 차량 당 평균제어지체는 27.51~302.21초로 감소시켰다. HCM의 도시 간선도로 분석한 결과에서도 전체 분석 대상구간에서 당초 신호운영 보다 본 신호제어 운영이 평균통행속도는 9.0~14.7km/h가 증가하여 서비스 수준이 C~D수준에서 B~C로 향상되는 것으로 분석되었다.

따라서 현재 테헤란로와 을지로 등에서 좌회전 신호를 제한적으로 운영하고 있는 경우와 같이 본 연구의 대상구간에서도 분석상황 시간대가 포함되어 있는 주간 시간대(06~23시)에 한하여 좌회전 신호를 제한하고 그 외 시간에 전용 좌회전 신호를 포함한 기존 신호체계로 운영하는 방법이 상시적인 지정체를 완화시킬 수 있는 새로운 대안이 될 것이다. 단, 현장 적용하기 전에는 반드시 본 논문의 사전분석 절차대로 적용 대상구간이 설치기준에 부합되는 지에 대한 사전 검토가 필요하다.

마지막으로 현장 적용시에는 U턴 전용차로와 같은 물리적인 시설물의 설치로 인해 시행 초기에는 대상 간선가로 측 1~2개의 교차로에서 시범적으로 운영하여 효과를 검증한 뒤 전체적인 간선도로 축으로 적용해 나가야 할 것이다.

2. 향후 연구과제

본 연구는 몇 가지의 한계점을 가지고 있으며, 이에 따른 향후 연구과제를 제시하였다. 첫째, 본 신호제어에 대한 적용 기준 정립 및 모의실험에서 모든 차량들을 승용차로만 구성하였고, 차로당 용량을 2,200pcphpl로 두어 분석하였다. 이는 실제 현장과 다른 가정이며, 다양한 CASE에 대한 평가와 보완이 필요할 것이다. 둘째, 본 연구의 분석대상 구간으로 선정된 양재대로 축의 동서방향에서만 본 신호 운영방법에 대한 효과를 검증하였다. 즉, 기하구조나 교통상황 측면에서 본 연구의 적용기준에 부합되고 앞서 3장에 유형Ⅱ의 해당하는 편도 3차로 이상의 간선가로와 간선가로가 교차하는 대상구간에서 양측별로 본 신호제어를 적용하는 방안에 대한 추가적인 검증이 필요하다. 셋째, 현재 양재대로의 신호운영은 TOD와 실시간 신호제어시스템으로 운영 중에 있으나, 본 연구에서의 현장 평가는 TOD로 운영한다는 가정하에 실제 TOD TABLE 자료를 이용하여 각 신호운영방법에 따른 분석상황별 주기 및 신호시간을 산정하였다. 향후 본 신호제어기법에 대한 실시간 신호제어시스템의 적용 방안과 다양한 교통상황 속에서 실시간 신호제어시스템 운영과의 비교·평가도 요구되어 진다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 변상철·박병호(1996), 『5현시 신호체계 4지교차로의 좌회전 금지에 따른 효율성 분석』, 대한교통학회지, 제14권 제4호, 대한교통학회, pp.91~106.
2. 오철·장명순(1997), “침투시간 교통량에 의한 T형 교차로 신호등 설치기준”, 대한교통학회지, 제15권 제3호, 대한교통학회, pp.93~109.
3. 강성곤(1999), 『신호교차로에서의 좌회전 교통류 운영방안에 관한 연구』, 광주대학교.
4. 이승환·이상수·이성호(2003), 『서울시 실시간 신호제어시스템(COSMOS)내 내부미터링 제어전략 도입 방안』, 대한교통학회지, 제21권 제4호, pp.79~90.
5. 이성호(2004), 『과포화시 도시간선도로에서의 실시간 내부미터링 제어전략 개발』, 아주대학교.
6. 김수희(2007), 『과포화 교통축에서의 비공통주기 기반 신호운영방법론 개발』, 아주대학교.
7. Ping Yi, Chun Shao, Li Aheng(2006), 『Improved Signal Control for Oversaturated Intersection』, Proceeding of the IEEE ITSC 2006, 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Toronto, Canada, September 17~20.
8. Edward B. Lieberman, Jinil Chang(2007), 『Optimizing Traffic Signal Timing Through Network Decomposition』, Journal Transportation Research Record.

✉ 주 작성자 : 정인택

✉ 교신저자 : 정인택

✉ 논문투고일 : 2009. 2. 21

✉ 논문심사일 : 2009. 5. 19 (1차)
2009. 8. 12 (2차)

✉ 심사판정일 : 2009. 8. 12

✉ 반론접수기한 : 2010. 2. 28

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필