

■ 論 文 ■

감응식 신호제어를 이용한 도시고속도로 진출부 교차로 제어전략 개발

Development of an Urban Freeway Exit-Intersection Control Strategy using Actuated Traffic Control

소 재 현

(한국교통연구원 첨단교통연구실
연구원)

조 한 선

(한국교통연구원 도로교통연구실
책임연구원)

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부
교수)

목 차

- | | |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존사례고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 국내·외 연구사례</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 우리나라 실시간신호제어시스템 (COSMOS)의 진출제어 기법</p> <p>III. 제어전략 개발</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 기하구조 설정</p> | <p style="padding-left: 20px;">2. 제어전략 기본개념</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 세부 제어전략</p> <p>IV. 제어전략 효과분석</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 분석방법론</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 분석결과</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 도시고속도로, 진출램프, 감응식 신호제어, 대기행렬 검지, 과포화
Urban freeway, Exit ramp, Actuated traffic control, Queue detection, Over-saturated

요 약

도시고속도로의 확대와 더불어 일반 간선도로에 접속되는 도시고속도로 진출램프 또한 증가하고 있으며, 진출램프가 혼잡한 간선도로 상에 접속시 간선도로에서의 차량 혼입으로 인한 혼잡 가중 및 이로 인한 진출램프에서의 대기행렬이 역류하여 도시고속도로 본선에 혼잡의 영향이 미치는 현상이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 도시고속도로 진출부 교차로 제어의 개념으로 접근하여 도시고속도로 진출차량을 포함한 간선도로에서의 교통상황(하류부 링크 포함)까지도 고려하여 간선도로가 포화된 경우, 진출램프가 포화된 경우, 간선도로와 진출램프 모두 포화된 경우로 나누어 각 교통상황별 제어전략의 효과를 분석하였으며, 제어전략의 효과에 영향을 미치는 기하조건을 반영하기 위하여 COSMOS에서 제시한 하류부 링크저장공간 200m를 기준으로 이상일 때와 이하일 때로 구분하여 전체 6가지 CASE에 대한 감응식 신호제어전략 적용 전·후의 효과를 평가하였다. 그 결과, 전체 네트워크 차원에서 하류부링크 저장공간 200m 이하일 때 CASE I~III에서는 4.4%~6.2%, 200m 이상일 때 CASE IV~VI에서는 6.1%~16.2%의 지체 감소 효과가 발생하였으며, 상대적으로 하류부 링크저장공간이 큰 네트워크에서 효과가 더욱 크게 발생한 것으로 분석되었다.

This paper aims to develop an integrated urban freeway exit-intersection actuated traffic signal control strategy based on which a real-time detection of queue at each of an exit-ramp and an arterial. To evaluate effects of the proposed actuated traffic signal control according to various traffic situations and geometric conditions, this paper analyzed the effects of the proposed traffic signal control strategy according to traffic situations such as the occasion of the arterial being saturated, the occasion of the exit-ramp being saturated, and the occasion of both the arterial and the exit-ramp being saturated. To reflect geometric conditions that influence the effects of the control strategy, this paper evaluated effects before and after applying the actuated traffic signal control strategy according to six cases for both above and under the downstream link length of 200m as proposed by COSMOS. The study results shown that when the link length above 200m, offered a greater effect of applying the actuated traffic control strategy than below 200m. Thus, the actuated traffic signal control through a real-time detection of queue is expected to offer a greater effect at longer downward link.

I. 서론

도시고속도로는 자동차 교통을 고속으로 안전·쾌적·신속하게 처리하기 위해 도시의 평면적 가로망을 보강하여 장거리 교통을 짧은 시간에 많은 용량을 처리할 수 있도록 하는 도로로써, 도심과 부도심 및 대량 교통 유발시설 상호간의 연결과 불필요한 도시의 통과교통을 우회시키는 기능을 가지는 도로이다.¹⁾

또한, 도시 내의 주요경제, 사회, 문화, 유통, 업무시설 지점을 연계하고, 다량의 교통량과 통행길이가 비교적 긴 통행을 흡수하며 도시 내 광역 수송기능과 지역 간 통과교통의 이동에 주요한 역할을 담당함으로써 간선도로의 연속성이 지방지역과 도시지역에서 단절되지 않도록 하는 기능을 가지고 있어 도시 교통난 해소를 위해 지속적으로 도시고속도로가 증가하는 추세이다.

이러한 도시고속도로의 증가와 더불어 일반 간선도로에 접속되는 도시고속도로 진출램프 또한 증가하고 있으며, 진출램프가 혼잡한 간선도로 상에 접속 시 간선도로의 혼잡 가중 및 이로 인한 진출램프에서의 대기행렬이 역류하여 도시고속도로 본선까지 혼잡의 영향이 미치는 현상이 빈번히 발생하고 있는 실정이다.

최근 이러한 도시고속도로 진출부에서의 간선도로의 차량과 진출램프의 차량간 혼입으로 인한 혼잡을 방지하기 위하여 진출부에 교통신호를 설치하여 교통류를 제어함으로써 이러한 문제를 해결하려는 방안이 시도되고 있다. 실시간신호제어시스템(COSMOS²⁾)의 “고속도로 진출제어”방식에서는 기하구조 및 교통상황에 따른 형평오프셋(Equity offset)과 TOD(Time Of Day) 등의 방식을 이용하여 진출부 교통신호를 제어하고 있는 등 다양한 전략이 소개되어 왔다.

그러나, 이러한 제어방식은 사전에 조사해 놓은 시간대별 교통량을 토대로 구축한 TOD 방식으로써 실시간 교통수요의 변화에 대응하지 못함으로써 그 실효성이 떨어지고 있다. 또한, 도로의 성격이 상이한 고속도로와 간선도로의 접속부라는 특성상 교통수요 패턴이 일정하지 않은 경우가 많아 TOD를 통해 모든 상황을 대응하긴 힘들 것이다.

그러므로, 고속도로와 간선도로가 접속되는 진출부 교차로에서 시시각각으로 변화하는 교통상황에 맞춘 신

호제어를 위해서는 진출램프와 일반도로 접속부의 상류부 및 하류부 간선도로에서의 실시간 대기행렬 검지를 통한 감응식 신호제어전략의 적용이 필요하다.

따라서, 본 연구의 목적은 간선도로의 상류부 및 진출램프와 더불어 하류부 간선도로 링크 대기공간에서의 실시간 대기행렬 검지를 통하여 진출램프에 대한 제어 뿐만 아니라 간선도로의 교통상황까지 고려한 신호제어전략을 개발하는 것이다.

II. 기존사례고찰

진출램프제어와 관련한 연구로는 우리나라 실시간신호제어시스템(COSMOS) 내 진출제어 기법이 제시되어 있고, 국내 연구로는 강경표(1998), 허혜정(2001), 김성륜(2003), 임광수(2007.3), 국외 연구로는 C. J. Messer(1998), G. F. Newell(1999) 등이 있다.

1. 국내·외 연구사례

강경표(1998)는 고속도로와 주변 간선도로 구간들로 구성되어 있는 도시고속도로 교통축에 대한 동적통합제어모형(DICM, Dynamic Integrated Control Model)을 정립하고, 그 모형을 이용한 동적통합제어알고리즘을 구축하여 최적 램프미터링(Optimal ramp metering)과 최적신호시간(Optimal signal timing)을 도출하였다.

본 연구에서 제시하고 있는 동적통합제어모형의 일반적인 특징으로는 첫째, 고속도로와 주변 간선도로 구간들의 통제를 고려한 도시고속도로 교통축에 대한 시스템최적화(System Optimization) 모형이며, 둘째, 감지된 시간대별 교통패턴의 유동성으로 인한 통제변수들의 계속적인 조정을 감안한 동적모형(Dynamic model)이다.

허혜정(2001)은 교차도로의 차량 통과기법인 형평오프셋과 내부미터링 기법에서의 대기행렬 관리전략 및 링크 길이를 고려한 현시배정 방법인 Imbalanced split 기법을 응용한 제어방법을 제시하였다. 링크길이에 대한 대기행렬 길이의 변화율을 r 이라 하고 진출램프와 간선도로의 r 값의 비율을 대기행렬 관리계수(α)라 정의하고

1) 국토해양부(2000), “도로의 구조, 시설설계 기준에 관한 규칙”

2) Cycle, Offset, Split Model Of Seoul

$\alpha=0$ (진출램프우선제어), $0<\alpha<1$ (균등제어), $\alpha=1$ (간선도로 우선제어)에 따라 대기행렬을 관리할 수 있으며 그에 따른 신호시간을 산정하였다.

김성륜(2003)은 대응적 신호제어가 가능한 실시간 신호제어 시스템에 적용할 수 있는 실시간 진출제어 전략을 개발하였는데, 이는 다음과 같다. 첫 번째 전략은 간선도로 우선제어로서 진출제어로 발생하는 간선도로의 대기행렬이 상류부 교차로에 역류하지 못하도록 하는 제어전략을 제시하였다. 두 번째 전략은 진출램프가 간선도로와 접속한 지점이 간선도로보다는 진출램프 쪽에 더 우선권을 둘 경우 실시하는 전략으로 진출램프 우선제어를 제시하였다. 세 번째는 진출램프와 간선도로의 우선순위를 정하기가 어려울 경우 진출제어시 양방향의 대기행렬이 일정하게 자라도록 하는 제어전략을 제시하였다.

임광수(2007)는 진출램프 대기행렬의 본선구간 역류를 방지하면서 교차로의 총 지체시간을 최소화하는 통합 신호제어 모형을 개발하였다. 모형을 통한 신호시간을 바탕으로 가상의 네트워크와 시나리오를 설정하고 시뮬레이션을 실시한 결과에 의하면 미제어 시와 기존 연구에 비해 전체 통과교통량이 가장 많다고 제시하였다. 또한 논문에 제시된 모형은 포화도에 근접한 링크에 신호시간을 크게 하여 통과교통량을 증대시키면서 타 기법들에 비해 평균지체시간을 최소화하는 것으로 분석되었다.

C. J. Messer(1998)는 신호교차로를 가진 다이어몬드 입체교차로에서의 진출램프 신호제어를 위해 교차로 간격이 짧은 두 개의 신호교차로에 대한 제어방법을 입체교차로 하부 과포화 신호교차로에 적용하였다. 과포화 상태에서 발생하는 대기행렬의 역류에 중점을 두고 옹셋의 변화에 따른 지체시간을 산정하기 위하여 시뮬레이션을 통해 지체시간이 최소화되는 형평옹셋을 제시하였다.

G.F. Newell(1999)은 진출램프 부분에서의 역류현상이 발생함으로써 본선에 미치는 대기행렬 및 지체 현상을 시간에 따른 누적교통류(Cumulative Flow)를 도식화(Graphical solution method) 하여 나타내었다. 본 연구는 각 상황에 대한 Shockwave 지점 및 경로를 역시 그래픽화 하여 표현하였으며, 이 연구는 차량 대기행태가 수식으로만 표현되어 이해하기가 어려웠던 예전의 연구와 달리 차량 대기 행태를 그래픽화 하여 복잡한 교통상황을 더욱 이해하기 쉽고 명백하게 표현하였다는 데에 의의가 있다고 할 수 있다.

2. 우리나라 실시간신호제어시스템(COSMOS)의 진출제어 기법

우리나라 실시간 신호제어시스템(COSMOS)에서는 도시고속도로 진출부 교차로에 관련한 신호제어전략으로써 “고속도로 진출제어”방식을 제시하고 있으며, 하류부 링크길이 및 교통상황에 따라 TOD와 옹셋을 이용하여 제어하도록 명시하고 있다.

COSMOS의 진출제어 방식에서는 진출램프와 하류부 교차로 간격이 200m 이상인 경우와 미만인 경우 및 다음과 같이 진출램프와 간선도로의 교통상황에 따른 제어전략으로 구분하여 제시하고 있다.

〈표 1〉 COSMOS 진출제어전략 구분

간선도로 진출램프	비포화	과포화
비포화	CASE 1 정상제어(TOD)	CASE 3 정상제어(TOD)
과포화	CASE 2 진출제어	CASE 4 진출제어

링크저장공간이 200m이상인 경우에는 하류부 교차로와의 옹셋을 통한 연동제어를 이용하여 진출램프차량의 진출기회를 부여할 수 있도록 하였으며, 형평 옹셋 제어 기법을 적용하여 하류부 교차로 C.I의 직진신호에 의한 충격파가 진출부 끝지점에 도달할 때 생기는 저장공간을 진출램프가 녹색신호를 받아 진출하도록 제시하고 있다.

간격이 200m 이하인 경우에는 진출부 교차로 X.I에서 간선도로의 녹색시간을 하류부 교차로 C.I의 녹색시간보다 일찍 종료시켜서 생기는 저장공간을 진출램프가 이용할 수 있도록 하는 진출우선처리 제어기법을 제시하였다.

III. 제어전략 개발

1. 기하구조 설정

본 연구에서 제시한 도시고속도로 진출부 제어전략의 적용대상 지역은 국내 도시고속도로 진출램프 및 인접 간선도로의 기하구조, 교통여건, 신호조건 등을 반영한

네트워크를 구성하였다.

국내 간선도로 여건 및 기존 연구 검토 결과 링크길이는 서울시 간선도로의 경우 링크길이가 220~820m로 평균 500m 정도인 것으로 나타났고, 신호주기는 120~160초의 범위에서 주로 운영하되, 최대 180초를 넘지 않는 범위에서 주기를 운영하고 있다.

간선도로 기하구조의 경우 차로수는 중요교차로(CI)를 기준으로 직진 3~4개 차로 및 좌회전 1~2개 차로로 운영되고 있다.³⁾

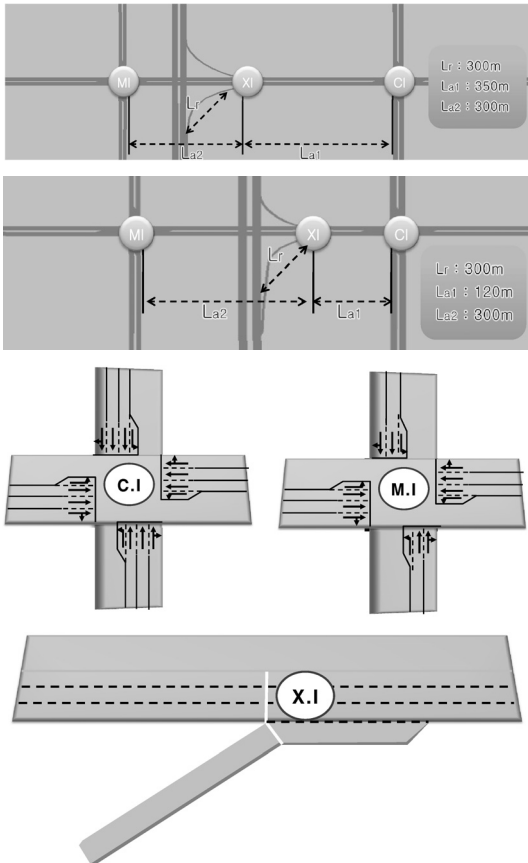
교통량 회전비율은 이전 연구에서 사용되었던 경기도 및 서울시 주 간선도로 신호운영 자료와 교통량 자료를 분석하여 직진차량 80%와 회전차량 20%로 나누어 배분하였으며, 교통상황(v/c 비율)에 따라 회전비율은 유사하게 적용되도록 구성하였다.

또한, 진출램프 기하구조의 경우 대부분 1차로로 운영하고 있으며, 양재 IC와 같이 진출교통량이 많은 경우

에는 2차로로 운영되고 있다. 링크길이는 홍은진출램프 450m, 양재 IC 270m~570m 등 대부분 150~600m로 평균 300m 정도인 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 대상지역으로는 도시고속도로 진출부 네트워크의 일반적인 기하조건을 기반으로 제어전략의 효과를 평가하였다.

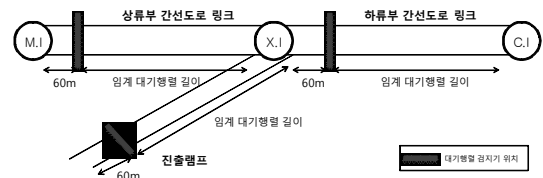
- 교차로 구성 : M.I - X.I - C.I
- 기하구조 조건 : 하류부 링크길이에 따라 2가지 경우로 구분하여, 200m 이하인 구간은 120m, 200m 이상인 구간은 350m를 기준으로 네트워크 구성
- 차로구성 : 전체 교통축 중 주방향 도로(동-서 방향)는 양방향 6차로 구성, 교차 도로(남-북 방향)는 양방향 4차로로 구성, 단 C.I는 모든 방향의 교통수요가 비슷하다고 가정하여 모든 방향에서 양방향 6차로로 구성, 또한 M.I와 C.I 모두 좌회전 전용베이 설치
- 진출부 교차로 X.I는 단일차로로 구성하여, 양방향 6차로인 간선도로의 링크상에 접속



<그림 1> 연구 대상지역 기하구조 현황

2. 제어전략 기본개념

도시고속도로 진출부 교차로는 각기 상이한 교통패턴을 가지고 있는 고속도로와 간선도로가 접속되어 다양한 교통상황이 발생하는 지점으로써 본 연구에서는 도시고속도로와 간선도로에서의 실시간 대기행렬 검지를 통한 감응식 신호제어전략을 개발하였다. 특히, 도시고속도로 진출램프와 상류부 간선도로에서의 대기행렬 검지 뿐만 아니라 진출부 교차로를 통과한 차량들이 머무르게 되는 하류부 링크에서의 대기행렬 또한 검지하는 전략을 적용하였다. 이를 통해 상류부 간선도로와 진출램프의 포화 여부 및 하류부 링크에서의 차량의 대기공간 확보 여부를 실시간으로 파악할 수 있도록 하였다.



<그림 2> 검지기 설치위치

3) 김수희, "과포화 교통축에서의 비공통주기만 신호운영방법론 개발", 2007

대기행렬을 파악할 수 있는 검지기의 설치 위치는 우리나라 실시간호제어시스템(COSMOS)의 앞막힘 예방제어시 대기행렬 검지기 설치지점^[4]을 준용하여 각각 링크 상류부로부터 60m 후방 지점에 설치하여 대기행렬 증가의 임계점으로 가정하였다.

3. 세부 제어전략

본 연구에서 제시한 제어전략은 간선도로와 진출램프에서의 대기행렬 검지기를 통해 수집된 검지데이터를 바탕으로 교통상황을 분류하여 각 상황에 적합한 제어전략을 적용하는 것이다. 간선도로와 진출램프 모두 대기행렬이 임계 대기행렬 길이까지 증가되지 않는 비포화 상황에서는 평소 운영되는 TOD 방식에 의거한 정상운영이 이루어지며, 각 현시별 최소녹색시간이 지난 시점에서 간선도로와 진출램프 대기행렬 검지결과를 통해 전략의 실행여부를 결정한다.

각 현시별 최소녹색시간이 지난 후 대기행렬 검지결과에 의해 간선도로와 진출램프 모두 대기행렬이 발생하지 않은 경우에는 정상운영(TOD) 방식이 지속(본 연구에서 제시된 전략이 실행되지 않는 상태)되며, 간선도로에 대기행렬이 검지될 경우(진출램프 대기행렬은 검지되지 않은 상태) 대기행렬 검지 시점이 간선도로의 현시가 진행중일 때라면 간선도로의 현시가 연장되고, 진출램프 현시가 진행중일 때라면 진출램프 현시가 최소녹색시간을 만족한 시점에서 간선도로의 현시가 시작된다. 이와

반대로 진출램프에 대기행렬이 검지된 경우(간선도로로 대기행렬은 검지되지 않은 상태)엔 대기행렬 검지 시점이 진출램프의 현시가 진행중일 때라면 진출램프의 현시가 연장되고, 간선도로로 현시가 진행중일 때라면 간선도로 현시가 최소녹색시간을 만족한 시점에서 진출램프의 현시가 시작된다. 또한, 간선도로와 진출램프 모두에서 대기행렬이 검지된 경우 각 현시별 대기행렬이 제거될 때까지 현시가 유지된다. 단, 각 현시별 대기행렬 검지에 따라 현시가 연장될 때 대기행렬이 제거되거나, 최대녹색시간을 만족할 경우 해당 현시는 종료된다.

또한, 하류부 C.I 링크의 대기행렬 검지기를 이용하여 C.I의 대기행렬이 진출부 교차로까지 증가되어 진출램프의 차량들이 진입 못하는 현상을 방지하고자 간선도로의 현시를 종료시킴으로써 진출램프의 차량이 진출할 수 있는 공간을 확보할 수 있도록 하였다.

IV. 제어전략 효과분석

1. 분석방법론

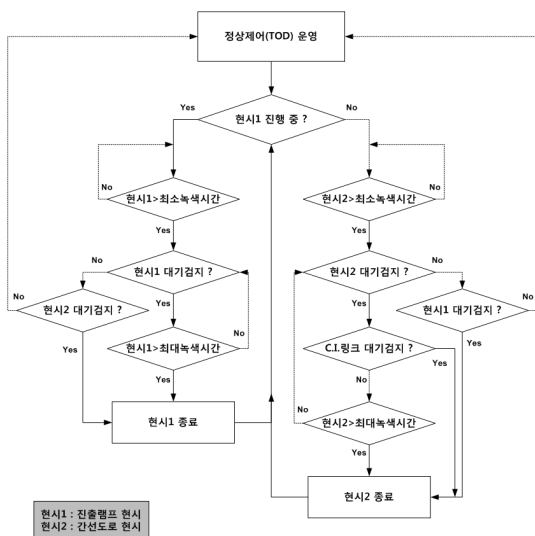
1) 시뮬레이션 모형 선정

도시고속도로 진출램프 제어 알고리즘의 효과를 평가하기 위한 시뮬레이션 프로그램으로 VISSIM^[1]을 이용하였다.

VISSIM 프로그램은 행태기반 미시적 모의실험 모형으로써 본 연구에서는 각 검지기 정보를 이용하여 신호제어 전략을 개발하는 것이 필요한데, VISSIM은 VAP(Vehicle Actuated Programming) 모듈의 지원이 가능하여 교통분석가가 직접 신호구성을 통해 신호 모듈을 구성할 수 있는 시뮬레이션 모델이다.

2) 분석 시나리오

하류부 링크길이를 200m이하인 경우와 이상인 경우의 구분된 네트워크를 기반으로 교통상황에 대하여 간선도로



〈그림 3〉 신호제어 알고리즘

〈표 2〉 평가 시나리오 구분

구분	간선도로 포화	진출램프 포화	간선도로·진출램프 모두 포화
하류부 링크길이 200m 이하	CASE I	CASE II	CASE III
하류부 링크길이 200m 이상	CASE IV	CASE V	CASE VI

〈표 3〉 대상지역 신호조건

교차로	phase(초)				offset
	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
M.I					67
	64(3)	25(3)	25(3)	24(3)	
	cycle 150초				
X.I					0
	107(3)	37(3)			
	cycle 150초				
C.I					67
	55(3)	19(3)	45(3)	19(3)	
	cycle 150초				

포화, 진출램프 포화, 간선도로·진출램프 모두 포화 3가지로 구분하여 총 6가지의 분석시나리오를 구성하였다.

v/c의 경우 간선도로 및 진출램프가 포화된 상황을 가정하기 위한 적합한 v/c비(비포화:0.6, 포화:1.0)⁴⁾를 적용하였다.

본 연구에서 적용한 신호조건은 서울시 COSMOS 운영지역의 신호조건을 반영하여 중요교차로의 경우 현시 배분비율 5:5를 적용하였고, 비중요교차로는 약 6:4 정도로 구성하였다.

신호주기는 모든 교차로에 150초를 적용하였으며, 이에 따른 현시배분은 TRANSYT-7F 프로그램을 통해 얻은 최적 현시값 및 오프셋을 적용하였다.

또한, 최소녹색시간 및 최대녹색시간은 일반 간선도로 및 진출램프에서의 횡단보도 설치를 가정하여 일반 간선도로 전체 차선 폭 26m와 진출램프 전체 차선 폭 6m를 보행자 횡단속도 1m/s를 적용하여 26초 및 6초를 산출하였다.

단, 시뮬레이션 적용시 일반간선도로 26초 및 진출램프 6초에 대하여 보행자가 적은 상황을 전제하여 4초의 여유시간을 두어 각각 30초 및 10초로 적용하였으며, 최대녹색시간은 총 주기에서 각 현시별 최소녹색시간 및 황색신호를 제외한 시간에 맞추어 각각 134초, 114초를 적용하였다.

3) 시뮬레이션 분석시간

시뮬레이션 분석시간은 첫 교통량이 진입된 이후 이



〈그림 4〉 시뮬레이션 분석시간

교통량이 분석구간을 모두 통과하는 안정된 네트워크가 구성된 시점 이후의 시간대를 대상으로 하였다.

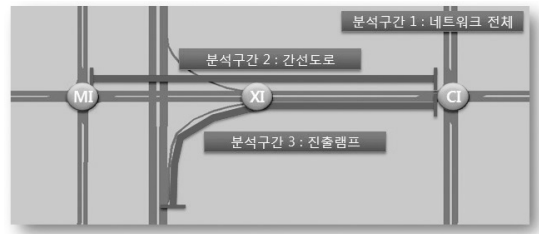
분석시간은 시뮬레이션이 시작된 이후, 즉 교통량 방출 시점에서 10분 후에 시작되도록 설정하였고, 교통량이 방출된 이후 과도한 시간이 흐를 경우 본래 의도했었던 교통 상황을 넘어 네트워크 내에 상황이 과포화 될 수 있어 각 시나리오별 교통상황이 잘 나타날 수 있도록 교통량 진입을 시뮬레이션 종료시간 40분 전에 통제하여 교통량이 현저히 줄어드는 상황까지를 분석시간으로 설정하였다.

따라서, 총 시뮬레이션 지속시간은 60분으로 설정하였고, 총 분석시간은 50분 동안 지속되도록 하였다.

4) 시뮬레이션 분석구간

시뮬레이션을 통한 진출램프와 간선도로에서의 제어전략의 효과평가기 설정한 분석구간은 진출램프의 경우 진출램프가 시작되기 전 100m 전방 지점부터 CI교차로까지이고, 간선도로의 경우 MI에서 CI까지의 거리로 정하였다.

또한, 네트워크 전체적인 효과평가를 위한 구간은 시뮬레이션 네트워크 전체로 설정하여 각 분석구간별 제어전략 적용 전·후의 평가하였다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 분석구간

5) 효과척도 선정

간선도로 및 진출램프에서의 차량의 대기를 실시간으

4) 양문호, “국내 긴급차량 우선신호(preemption) 제어 적용성 평가에 관한 연구”, 2007

로 검지하여 진출램프 교차로의 신호시간을 제어하는 감응식 신호제어 전략의 효과를 검증하기 위해 네트워크 전체에 대한 전략 시행 전·후의 효과적으로써 신호교차로에서의 대표적인 효과적도인 지체도(차량당 평균지체, sec/veh)를 선정하였다.

또한, 링크별 평가시 일반 간선도로 및 도시고속도로 진출램프에서의 제어 효과는 신호교차로의 효과적도인 지체도(차량당 평균지체, sec/veh)를 이용하여 분석하였고, 진출램프에서의 역류현상 관리로 인한 도시고속도로 본선에 미치는 효과를 파악하기 위하여 속도(차량당 평균속도, km/h)를 선정하여 전략 시행 전·후의 효과를 분석하였다.

2. 분석결과

1) 전체 네트워크 효과

실시간 대기행렬 검지를 통한 도시고속도로 진출부 교차로 감응식 신호제어 전략의 적용 결과, 차량당 평균지체가 4.4%~ 16.2%의 감소효과가 발생하여 고정식 신호제어 시보다 감응식 신호제어시 속도가 증가하고 지체가 감소하는 양(+)적인 효과가 발생한 것으로 분석되었다.

간선도로가 포화된 상황인 CASE I, IV 에서는 하류부 링크가 200m 이하일 때와 이상인 지역에서 각각 6.2%와 6.1%의 지체감소 효과가 발생하였고, 진출램프가 포화된 상황인 CASE II, V 에서는 하류부 링크가 200m 이하일 때와 이상인 지역에서 각각 4.4%와 16.2%의 지체감소 효과가 발생하였다.

또한, 간선도로와 진출램프가 모두 포화된 상황인 CASE III, VI 에서는 하류부 링크가 200m 이하일 때와 이상인 지역에서 각각 4.6%와 11.4%의 지체감소 효과가

발생하였으며, 결과적으로 간선도로가 포화된 상황을 제외하고 기타 모든 상황에서 하류부 링크가 200m 이상인 지역에서의 지체감소 효과가 더욱 큰 것으로 분석되었다.

이러한 네트워크 전체에 대한 제어효과 분석 결과 특기할 점은 평균속도 및 평균지체 모두에서 하류부 링크 길이가 200m 이상일 때가 200m 이하일 때보다 실시간 대기행렬 검지에 따른 감응식 신호제어의 효과가 더욱 크게 나타난 점이다.

이는 도시고속도로 진출부 교차로에서 감응식 신호제어를 통하여 차량을 방출시 하류부 링크 저장공간의 크기에 기인한 결과로써 하류부 링크의 저장공간이 200m 이하일 때는 진출부 교차로의 통과교통류율이 증가된다 하더라도, 이러한 교통량이 대기할 공간이 하류부 링크가 200m 이상인 구간보다 상대적으로 부족한 현상이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

즉, 하류부 링크 저장공간이 200m 이하일 때 진출부 교차로의 통과교통량이 CI의 적색신호에 의해 대기행렬 형성으로 이어지고, 이러한 대기행렬이 또다시 진출부 교차로에 영향을 주어 진출부 교차로에서의 감응식 신호제어에 의한 녹색신호시 통과교통량의 효율이 낮아지는 것이다.

2) CASE별 분석결과

위의 감응식 신호제어에 대한 네트워크 전체적인 효과분석을 바탕으로 CASE별 일반 간선도로 및 도시고속도로 진출램프와 본선에서의 제어전략 적용 전·후의 효과를 분석하였다.

도시고속도로 진출부 신호에 의해 제어되는 진출램프와 간선도로는 신호교차로에서의 대표적인 효과적도인 지체도(차량당 평균지체, s/veh)를 이용하여 제어효과를 분석하였고, 진출램프에서의 감응식 신호제어를 통한 대기행렬 관리에 따른 도시고속도로 본선에서의 영향을 분석하기 위하여 고속도로의 대표적인 효과적도인 속도(차량당 평균속도, km/h)를 이용하여 그 효과를 분석하였다.

분석결과 앞의 네트워크 전체 효과분석 결과와 마찬가지로 하류부 링크가 200m 이상일 때의 진출램프와 간선도로에서의 감응식 신호제어 전략 적용에 따른 효과가 더욱 큰 것으로 나타났고, 진출램프에서의 지체감소 효과로 인하여 고속도로의 경우에도 하류부 링크가 200m 이상일 때 평균속도의 증가율이 더욱 높은 것으로 나타났다.

〈표 4〉 네트워크 전체 효과분석 결과

효과적도	구분		고정식 (적용 전)	감응식 (적용 후)	효과(%)
차량당 평균지체 [s/veh]	하류부 링크 200m 이하	CASE I	180.0	168.9	-6.2%
		CASE II	155.8	149.0	-4.4%
		CASE III	260.3	248.2	-4.6%
	하류부 링크 200m 이상	CASE IV	197.6	185.4	-6.1%
		CASE V	153.6	128.8	-16.2%
		CASE VI	302.8	268.4	-11.4%

〈표 5〉 링크별 제어효과 분석

효과 척도	구분		고정식 (적용 전)	감응식 (적용 후)	효과 (%)	
차량 당 평균 지체 [s/ve h]	하류부 링크 200m 이하	CASE I	진출램프	339.2	477.9	40.9%
			간선도로	204.9	184.3	-10.1%
		CASE II	진출램프	396.9	340.9	-14.1%
	간선도로		107.8	125.9	16.8%	
	하류부 링크 200m 이상	CASE IV	진출램프	599.6	352.5	-41.2%
			간선도로	229.4	240.5	4.8%
CASE V		진출램프	406.8	314.6	-22.7%	
	간선도로	125.5	192.3	53.2%		
CASE VI	진출램프	718	507.3	-29.3%		
	간선도로	208.7	260.9	25.0%		
평균 속도 [km/ h]	하류부 링크 200m 이하	고속도로 본선	CASE I	49.4	48.2	-2.5%
			CASE II	38.5	38.8	0.9%
			CASE III	38.3	39.9	4.0%
	하류부 링크 200m 이상		CASE IV	46.0	50.2	9.2%
			CASE V	39.3	41.0	4.4%
			CASE VI	37.4	40.2	7.4%

V. 결론

본 연구에서는 도시고속도로 진출차량을 포함한 간선도로에서의 교통상황(하류부 링크 포함)까지 모두 고려하여 실시간 대기행렬 감지를 통한 교통상황별 신호제어 전략을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 감응식 신호제어의 효과를 다양한 교통상황 및 기하조건에서 효과를 평가하기 위하여 간선도로가 포화된 경우, 진출램프가 포화된 경우, 간선도로와 진출램프 모두 포화된 경우로 나누어 각 교통상황별 제어 전략의 효과를 분석하였으며, 제어전략의 효과에 영향을 미치는 기하조건을 반영하기 위하여 COSMOS에서 제시한 하류부 링크저장공간 200m를 기준으로 이상일 때와 이하일 때로 구분하여 전체 6가지 CASE에 대한 감응식 신호제어전략 적용 전·후의 효과를 평가하였다.

그 결과, 전체 네트워크 차원에서 하류부링크 저장공간 200m 이하일 때 CASE I~III에서는 4.4%~6.2%, 200m 이상일 때 CASE IV~VI에서는 6.1%~16.2%의 지체 감소 효과가 발생하였으며, 상대적으로 하류부 링크저장공간이 큰 네트워크에서 효과가 더욱 크게 발생한 것으로 분석되었다.

단, 본 연구의 범위는 CI와 MI의 신호시간 및 주기를

고정한 상태에서의 진출램프 교차로에 대한 감응식 신호제어에 대한 효과를 평가하였으나, 이는 진출램프 교차로에서 통과효율이 높아진다 하여도, CI에서의 통과효율이 개선되지 않으면 그 효과는 한정적일 수 밖에 없으며, 향후 연구시 간선도로와 진출램프에서의 교통상황을 반영하여 진출램프 교차로를 포함한 인접 CI에서의 신호시간 및 주기를 제어할 수 있는 방안에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회

(2008.10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

- VISSIM 4.20 User Manual, PTV.
- 국토해양부(2000), 도로의 구조, 시설설계 기준에 관한 규칙.
- 김영찬·이철기·허혜정(2001), "과포화 신호제어 기법을 응용한 도시고속도로 진출램프 제어전략의 개발," 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.89~100.
- 서울지방경찰청(2002), 실시간 신호제어시스템 실무해설집.
- 김성륜(2003), 도시고속도로 혼잡진출램프 제어를 위한 실시간 신호제어 전략개발 및 평가, 서울시립대학교 석사학위 논문.
- 임광수(2007), "도시고속도로 진출램프와 간선도로 통합 신호제어모형 개발," 국토연구 제52권 pp.161~176.
- Wiedemann, R.(1974), Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.
- C.J.Messer(1998), "Simulation Studies of Traffic Operation at Oversaturated Closely-Spaced Signalized Intersections," 77th Annual Meeting of the TRB, Washington D.C.
- Newell, G.F.(1999), "Delays caused by a queue at a freeway exit ramp," Transportation Research Part B, Methodological, v.33 no.5, pp.337~350.

10. Wiedemann, R.(1999), Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads, Advanced Telematics in Road Transport edited by the Commission of the European Community, DG XIII, Brussels.
11. Zhang, H.M., Recker, W.W.(1999), "On optimal freeway ramp control policies for congested traffic corridors," Transportation Research Part B, Methodological, v.33 no.6, pp.417~436.
12. Cassidy, M.J., Anani, S.B., Haigwood, J.M. (2002), "Study of freeway traffic near an off-ramp," Transportation Research Part A, Policy and Practice, v.36 no.6, pp.563~572.
13. Dai, Shiqiang, Lei, Li, Dong, Liyun(2003), "Analysis of traffic flow at intersections near ramps of overhanging freeways," Acta mechanica Sinica, v.35 no.5, pp.518~522.
14. Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. Mcshane(2004), Traffic Engineering 3rd., pp.709~710.

♣ 주 작성자 : 소재현
 ♣ 교신저자 : 소재현
 ♣ 논문투고일 : 2008. 10. 24
 ♣ 논문심사일 : 2008. 12. 5 (1차)
 2008. 12. 8 (2차)
 ♣ 심사판정일 : 2008. 12. 8
 ♣ 반론접수기한 : 2009. 4. 31
 ♣ 3인 익명 심사필
 ♣ 1인 abstract 교정필