한국ITS학회논문지
제7권, 제1호 (2008년 2월)
pp.22~31

실시간신호시스템 환경내 내부미터링 적용 시점에 관한 연구

Determination of Control Time Point for Internal Metering Policy Application within COSMOS Environments

이상수* (Sangsoo Lee) 송성주** (Sung-Ju Song) 이철기*** (Choulki Lee)

요 약

RT/IMPOST는 실시간 내부미터링 제어를 위하여 과포화 간선 축을 대상으로 실시간으로 수집되는 검지기 정보를 이용하여 대기행렬길이를 예측하고 이를 기반으로 상/하류부 녹색시간의 제어를 통하여 각 링크의 유출입 교통량을 조절하여 각 링크의 대기길이를 조절한다. 본 연구에서는 국내 실시간신호제어시스템인 COSMOS의 환경에 내부미터링 제어를 구현하기 위한 방안을 통신환경 및 제어시점을 중심으로 검토하였다. 이를 위하여 현재 정의된 COSMOS 통신환경을 분석하였고, RT/IMPOST 모형의 통신 시점 및 제어절차에 대한 평가를 통하여 실제적으로 적용 가능한 대안을 제시하였고 이를 시뮬레이션 평가를 통하여 검증하였다. 평가 결과, 두 가지 방법이 유사한 결과를 제시하여, 본 연구에서 제시한 방안이 현실적으로 적용 가능한 방안이 될 수 있음을 확인하였다. 내부미터링을 실시간으로 적용하기 위하여는 보다 많은 분야에 대한 연구가 필요한 바, 향후 이에 대한 관심이 요구된다.

Abstract

RT/IMPOST is an effective algorithm that can realize real-time internal metering policy (IMP) using queue information from loop detector and signal control strategies. In this paper, an investigation was made to adopt the IMP methodology within COSMOS environments in terms of communication environment and control time point. Through the analysis of the communication environment of COSMOS and communication and control steps in RT/IMPOST, a set of applicable alternative were developed and evaluated. Then, one of the alternatives was selected, and performance of the alternative was compared with RT/IMPOST system using a simulation technique. Results showed that two techniques produced the similar performance. Therefore, the method suggested in this paper was evaluated as a practically viable alternative.

Key Words: IMP, COSMOS, simulation, signal control

* 주저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
** 공저자 : 비츠로시스 연구소 ITS연구팀 주임연구원
*** 공저자 : 아주대학교 ITS 대학원 교수
† 논문접수일 : 2007년 11 월 22 일

Ⅰ. 서 론

우리나라의 서울을 포함한 도시부에서 관측되는 교통혼잡은 세계적으로도 매우 심각한 수준이다. 이러한 교통혼잡은 신호운영, 불법주차, 도로 기하구조, 지하철 공사, 도로용량을 초과하는 교통수요 등 다양한 요소들이 섞여서 발생하는 복합적 문제이다. 따라서 이러한 교통혼잡을 해결하기 위해서는 다각적인 측면에서의 노력이 요구된다. 도심부 혼잡을 완화할 수 있는 다양한 수단 중 현실적으로 가장 큰 영향을 미치는 것은 적절한 신호운영을 통한 교통류의 효율적인 제어이다.

일반적으로 현재까지의 신호운영 방법론에 대한 관심은 용량상태 이전의 한산한 교통류에 대한 연구가 대부분을 차지하였다. 이는 혼잡교통류에 대한 특성분석이 매우 어려운 관계로 많은 연구가 수행되지 못하였고, 이러한 특성분석에 대한 자료가 부족하여 혼잡교통류에 적합한 효율적인 제어알고리즘 개발이 활발하게 이루어지지 못하였다. 이와 관련하여 외국에서는 과포화교통류를 효과적으로 제어하기 위하여 내부미터링 모형(Internal Metering Policy Model, IMP)을 적용한 신호운영 방법에 대한 연구가 부분적으로 수행되었으나, 국내에는 관련연구가 많이 진행되지 못하고 있는 실정이다.

서울시는 교통 혼잡을 완화하고 교통운영 효율을 증진시키기 위하여 변화하는 교통상황에 적합한 신호시간을 자동으로 산출해 주는 실시간 신호제어시스템(COSMOS, 이하 COSMOS라 함)을 개발하여 운영하고 있고, 이는 국내 ITS(지능형교통시스템, Intelligent Transportation Systems)사업 중 도시교통관리시스템(UTMS)의 기본시스템으로 평가받고 있다 [1]. 그러나 COSMOS 시스템도 과포화 교통상황에 대한 제어전략에 현실적인 한계를 갖고 있는바, 이를 적절하게 대응할 수 있는 IMP모형을 포함한 과포화 제어전략을 구현할 수 있는 환경을 구축하는 것이 필요하다. 현재까지의 국내외 IMP 관련 연구는 대부분 시뮬레이션 환경하에서 수행된 바, 이를 실제적인 신호시스템 환경에 적용하기에는 기술적으로 많은 요소들에 대한 고려가 요구된다.

본 연구에서는 COSMOS 시스템에 과포화 제어전략의 하나인 IMP 모형의 도입을 목적으로 실제적인 COSMOS 시스템의 통신환경과 대기길이 예측알고리즘을 기반으로 IMP 모형을 도입하기 위한 적용 절차를 제시하였다. 본 연구를 통하여 실제 운영 중인 실시간신호시스템에 IMP 모형을 연계하여 사용할 수 있는 시스템적 환경 조건을 확보하고, 이는 향후 IMP 모형의 적용을 통하여 과포화 교통상황에 대한 실시간신호제어의 효율성을 높이는데 기여할 수 있다고 판단된다.

Ⅱ. 이론적 배경

과포화 교통상황에서 신호제어에 관한 연구는 1960년부터 시작되었다. Gazis는 2개의 과포화 교차로를 대상으로 총 지체를 최소화하는 신호제어 모형을 제시하였다 [2]. Longley는 교차로 접근로별 대기행렬길이를 기반으로 녹색현시를 배분하는 모형을 제시하였다 [3]. Abu-Lebdeh와 Benekohal은 과포화 상황의 대기길이 관리를 위한 새로운 알고리즘을 제시하였다 [4]. Gartner등은 네트워크차원에서 동시적으로 신호주기, 신호현시, 신호옵셋을 모두 최적화시켜주는 MILP (Mixed-Integer Linear Programming)모형을 제시하였다 [5]. 그리고 Michalopoulos와 Stephanopoulos는 Gazis가 제시한 방법을 보완하여 네트워크 내의 교차로들을 동시적으로 대기행렬길이 성장을 억제하여 앞막힘상황을 방지하는 모형을 제시하였다[6]. 과포화교통상황에서 앞막힘상황 발생 가능성을 줄이는 대기행렬길이 관리 및 제어방안이 NCHRP 연구보고서(1978년)에제시되었다. 위의 연구보고서는 과포화 교통상황에 대한 정의를 시도하였으며 과포화교통상황에서의 교통흐름 메커니즘을 분석하여 제시하였다 [7]. King등은 과포화 교통상황에서 차량의 유입을 억제하는 미터링기법을 이용한 교통관리를 미국의 뉴욕 맨하탄에서 실시하여 그 효과를 발표하였다 [8]. Rouphail과 Akcelick은 교차로 간격이 짧은 교차로간의 신호교차로에서 대기행렬길이와 지체의 상관관계를 제시하였다 [9]. 그리고 미국 FHWA는 오프라인 교통 기법을

이용하여 Gartner와 Little가 제시한 MILP을 기반으로 대기행렬길이를 입력값으로 신호주기, 녹색현시, 신호옵셋을 산출하는 IMPOST(Internal Metering Policy to Optimize Signal Timing) 모형을 제시하였다 [10]. IMPOST는 간선 축을 제어대상으로 모델링 되었으며 목적함수는 간선축의 통과교통량과 링크 저장용량 이용률을 최대화하도록 설계되었다. Choi는 박사논문에서 IMPOST 모형에 좌회전현시 제어를 추가하여 다현시 체계에서 내부미터링제어가 가능하도록 기존 모형을 확장하였다 [11]. Chang은 이에 나아가 오프라인 제어기법인 IMPOST에 NLP(Non- Linear Programming) 모형을 추가하여 주기단위 연산이 가능한 실시간 내부미터링 모형인 RT/IMPOST (Real Time Internal Metering Policy to Optimize Signal Timing)을 제시하였다 [12]. 국내에서도 서울지방경찰청에서 실시간 신호시스템 기능개선을 위하여 과포화시 내부미터링 제어기법 의 도입과 관련된 기초연구를 수행하였다. 이 연구에서 현재 운영중인 실시간 신호시스템의 물리적, 운영적 환경을 고려하여 RT/IMPOST 도입 가능성 및 도입을 위한 필요환경을 제시하는 연구결과를 제시하였다. 즉, 기존의 외국모형을 그대로 수용하였지만, 내부미터링 제어의 도입을 위하여 과포화 교통상황시 실시간 신호시스템내에서 RT/IMPOST의 선언/종결/전이 제어 알고리즘을 추가하였고 대기행렬길이기반으로 녹색현시만을 이용한 내부미터링 제어전략을 제시하였으며 이를 오프라인 툴을 이용한 효과분석을 수행하여 실시간 신호시스템 환경하에서 내부미터링 제어기법의 도입가능성을 확인하였다 [13]. Lieberman과 Chang은 2004년 PanAm Conference에서 이와 같은 한국에서 진행된 RT/IMPOST에 관한 연구결과를 요약하여 발표하였다 [14]. 그리고 Lieberman과 Chang은 2005년 간선 축을 위한 RT/IMPOST의 연구를 네트워크 단위로 확장한 모형을 제시하였으며 이를 오프라인 툴을 통하여 효과 분석을 수행하였다 [15]. 이상에서 본 바와 같이 현재까지의 내부미터링 모형에 관한 연구는 외국을 중심으로 연구가 진행되었으며, 국내 도로 환경에 적합한 모형의 개발 및 평가에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

Ⅲ. 시스템별 환경 검토

1. RT/IMPOST 환경 검토

1) 검지기 정보

RT/IMPOST는 각 차선별로 검지기를 설치하여 운영할 수 있다. 그리고 동일 교차로 및 이동류에 속한 차로에 매설되어 있는 검지기를 통해 1초단위로 차량을 검지하고, 이들 차로별 교통량들을 모두 합산하여 해당 이동류의 교통량으로 저장을 한다. 그러므로 RT/IMPOST에서 나타난 교통량은 매 초당 각 이동류의 검지기 지점을 지나는 차량의 총합이다.

RT/IMPOST는 검지기를 이용하여 점유시간 자료를 수집하고, 이를 가공하여 신호운영에 사용할 수 있다. 즉, 매 초당 동일 이동류내의 각 차로에 매설되어 있는 각 검지기에서 올라오는 과거 3초동안의 누적 점유율 평균값을 계산한다.

이때, 시뮬레이터는 각 이동류에 대해서 각 차로별 검지기의 과거 3초 평균 점유율 중에서 가장 높은 차로의 누적 점유율을 판별하여 이 값을 그 이동류의 점유율로 저장한다. 즉, 해당 이동류의 점유율은 각 차로 중에서 과거 3초간 점유율이 가장 높은 값이다.

2) 통신 및 제어방법

RT/IMPOST는 실시간적으로 미시적 시뮬레이터 프로그램과 제어권을 주고 받으면서 신호제어의 알고리즘을 수행한다. RT/IMPOST를 호출하는 시점은 하나의 간선 축 내에서 한 주기 내에 2번 존재 할 수 있다. 첫 번째는 간선 축 내 중요 교차로의 현시가 시작할 때 RT/IMPOST을 호출을 하고, 두 번째는 DTP(Decision Time Points, 이하 DTP라 함) 시점에서 호출이 된다. DTP는 미시적 시뮬레이터 프로그램과 RT/IMPOST 사이에서 정보교환이 일어나는 시점으로 일반적으로 간선 축 내에서 신호주기가 가장 빨리 끝나는 교차로의 녹색시간 시작시점이다 [10].

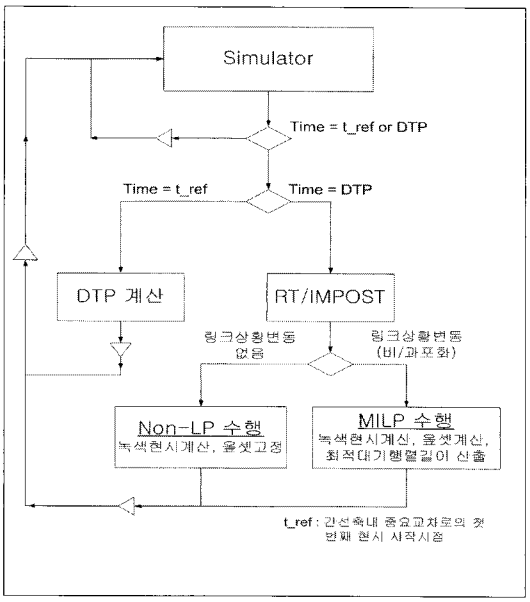
RT/IMPOST내에서 시뮬레이터와의 내부통신 수행과정은 다음의 절차를 따른다.

우선 대상 간선도로축 내의 중요교차로의 첫 번째 현시가 시작될 때 호출된 RT/IMPOST는 간선축에 대한 DTP 시점을 1초내로 결정한 후, 제어권을 시뮬레이터로 넘어간다. 이때, 간선축의 타이머가 현재시간과 DTP 시점 사이에 남아있는 시간을 계산하고, 시뮬레이터 프로그램은 이 시간을 1초단위로 계속 감소시킨다.

시간이 경과하여 DTP에 도달한 시점에 제어권은 다시 RT/IMPOST으로 넘어간다. 이때 최근 5주기 동안 수집되어 저장된 검지기정보를 시뮬레이터로부터 제공 받고, 이 검지기 정보를 이용하여 간선축 내의 모든 링크의 대기행렬길이를 추정한다. 추정된 대기행렬길이를 이용하여 최적화프로그램에 의해서 신호현시를 다시 최적화하여 시뮬레이터 프로그램의 현시 계획을 수정한다. 이러한 과정에서 RT/IMPOST는 간선축 내에 링크의 교통상황이 비포화에서 과포화 혹은 과포화에서 비포화로 변하는 경우에는 MILP 수행을 하여 최적의 대기행렬길이와 신호옵셋과 신호현시를 계산한후, 제어권을 다시 실시간 시뮬레이터에 넘긴다. 그리고 반대로 간선축 내에 링크의 교통상황이 급격한 변화가 없는 경우에는 Non-LP를 수행하여 제어변수를 생성한다. 즉, Non-LP 모듈을 이용하여 각 DTP가 수행될 때, 옵셋을 수정하지 않고 간선축 현시를 다시 계산한 후에 제어권을 실시간 시뮬레이터에게 넘긴다.

그리고 이와 같은 현시계획의 연산이 종료한 후 RT/IMPOST의 제어권은 다시 미시적 시뮬레이터 프로그램으로 넘어간다. 이와 같이 RT/IMPOST와 시뮬레이터는 제어권을 매주기내 실시간적으로 주고 받으면서 교통상황을 반영한 최적의 신호현시 계획을 생성하여 이를 적용한다.

다음 <그림 1>은 이러한 과정을 나타낸 것이다.

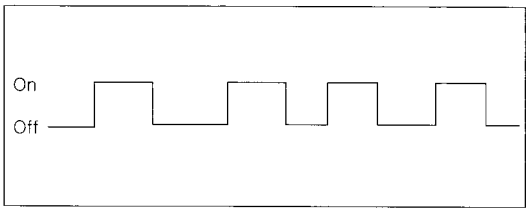


<그림 1> RT/IMPOST 시뮬레이터 흐름도 (참고문헌:13)
<Fig. 1> Flowchart for RT/IMPOST simulator (ref:13)

2. COSMOS 환경검토

1) 검지기 정보

COSMOS는 이론적으로 각 차선별로 검지기를 설치하고, 이를 이용하여 교통류를 제어할 수 있다. 하지만, 실제 현장에는 각 접근로의 차선중 하나 혹은 2개 차선에 검지기를 설치하여 운영하고 있다. 다음 <그림 2>는 COSMOS 검지기로부터 수집되는 정보의 형태를 예시한 것이다. 검지기는 20ms 단위로 차량의 유무를 스캐닝하여 이를 점유(on)와 비점유(off) 형태로 표출한다.



<그림 2> 루프 검지기 정보형태
<Fig. 2> Shape of loop detector information

<표 1> 대기행렬검지기 수집정보
<Table 1> Information collected from queue length detectors

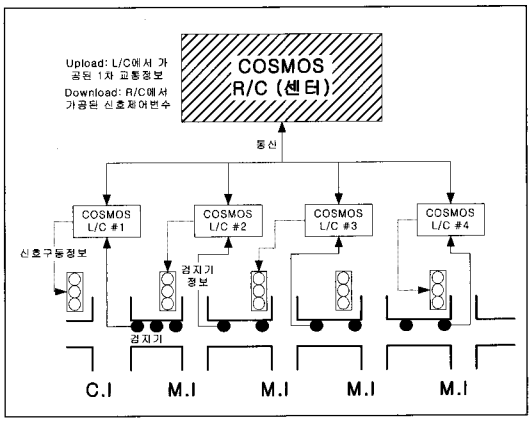
항 목	내 용
검지기형태	원형 검지기(반지름 :0.9m)
점유시간	20ms(0.05초) 단위로 개별 차량의 점유시간 정보수집
교통량	통과차량은 점유 정보가 on에서 off로 변경될 때 한대로 인식

따라서 교통량과 같은 기본적인 교통상황에 대한 정보와 점유시간과 비점유시간, 그리고 이를 가공하여 포화도등을 생성하여 신호제어 변수를 생성하여 적용한다. 다음 <표 1>은 COSMOS 시스템내 설치된 대기행렬 검지기의 형태 및 수집정보의 내용이다.

검지기로부터 수집된 점유시간의 정보는 대기행렬 길이를 예측하는 용도에도 사용된다. COSMOS는 정체도와 대기행렬길이의 상관관계를 정의하고, 점유시간으로부터 추정된 정체도를 이용하여 매 주기별로 대기길이를 추정할 수 있다. 그리고 이러한 대기길이에 대한 정보는 과포화 신호제어시 중요한 신호제어 변수로 사용된다.

2) 통신 및 제어 방법

COSMOS는 <그림 3>에 제시된 바와 같이, 신호제어 컴퓨터(R/C)와 현장제어기(L/C), 검지기와 같이 크게 3개의 서브시스템으로 구성되어 있다. 각 서브시스템은 고유한 기능을 부여받고 상호 유기적으로 작동하여 효율적인 시스템 운영이 가능토록 구성되어 있다.



<그림 3> 실시간 신호제어시스템 개략도 (참고문헌:13)
<Fig. 3> Diagram for COSMOS system(ref:13)

COSMOS는 현장에 설치된 루프검지기를 통하여 실시간 교통정보를 수집하고, 수집된 정보는 현장제어기로 보내진다. 현장제어기는 검지기에서 수집된 교통정보를 1차 가공하여 각 교차로의 매 주기 끝단에서 신호제어 컴퓨터로 전송한다. 신호제어 컴퓨터에서는 각 현장제어기에서 올라오는 정보를 종합하여 해당 교차로에 적합한 최적의 신호시간을 계획하고, 이러한 값들을 다시 현장제어기로 내려 보낸다. 현장제어기는 이와 같이 최적화된 신호시간계획에 따라 신호기를 운영하여 교통류를 통제한다.

Ⅳ. 내부미터링 적용대안 제시 및 평가

앞 절에서 살펴 본 바와 같이 RT/IMPOST의 내부미터링 알고리즘을 COSMOS에 적용하기 위해서는 시스템 전반에 걸쳐 많은 고려가 필요하다. 이는 검지기 정보 수집주기, 대기길이 추정모형 및 수집시점, 제어 정보의 통신시점 및 통신주기등을 포함한다. 본 절에서는 COSMOS 운영환경을 고려한 내부미터링 적용방안을 앞 절에서 검토한 통신환경 및 제어시점을 대상으로 검토한 후 이론적으로 적용 가능한 대안을 도출하고, 이를 정성적 및 정량적으로 평가하여 가장 적합한 안을 제시하고자 한다.

1. 제어시점의 대안 검토

첫 번째로 고려할 수 있는 안은 내부미터링이 실시되는 제어그룹 내에서 신호 주기가 가장 일찍 끝나는 교차로의 주기 끝단에서 내부미터링 제어를 수행하는 경우이다. 예를 들어 5개의 교차로로 구성된 제어그룹이 있고, 4번 교차로가 제어그룹에서 가장 빨리 종결된다고 가정한다. 이런 상황에서는 4번 교차로를 제외한 나머지 교차로는 주기가 종결되지 않았기 때문에 현재의 COSMOS 운영 환경하에서는 해당주기의 대기길이 정보가 수집되지 못하고, 단지 이전 주기의 대기길이 정보가 이용 가능하다. 따라서 과포화시 제어변수인 대기길이 정보가 실시간적으로 수집되지 않으며, 이를 이용하여 다음 주기의 신호현시를 최적화하여 제시하는 것은 바람직하지 못한 결과를 가져올 수 있다. 그러나 그룹내 교통축제어를 실시간적으로 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

두 번째로 고려할 수 있는 안은 내부미터링이 실시되는 제어그룹 내에서 신호 주기가 가장 늦게 끝나는 교차로의 주기 끝단에서 내부미터링 제어를 수행하는 경우이다. 예를 들어 5개의 교차로로 구성된 제어그룹이 있고, 4번 교차로가 제어그룹에서 가장 늦게 종결된다고 가정한다. 이 경우에는 4번 교차로를 포함한 모든 교차로의 신호주기가 종료되어, 해당주기의 대기길이 자료를 수집할 수가 있다.

그러므로 이러한 정보와 내부미터링 알고리즘을 적용하여 최적의 신호계획의 수립이 가능하다. 그러나 이 방법은 계산된 신호계획을 바로 다음 주기에 적용 할 수가 없다는 단점이 있다. 이는 4번 교차로의 종결 시점에 4번 교차로를 제외한 모든 교차로가 이미 다음 주기의 현시운영을 하고 있는 관계로, 계산된 신호계획을 다음 주기에나 적용이 가능하다. 이러한 시간적인 처짐(lag)현상은 실시간 제어의 특성을 반영할 수 없고, 실제 운영 과정에서도 많은 문제점을 노출할 수 있다.

세 번째로 고려할 수 있는 안은 제어그룹 내 중요교차로(critical intersection)의 신호 주기가 끝나는 시점에 내부미터링 제어를 수행하는 경우이다. 이는 그룹내에서 중요교차로가 전략적으로 가장 중요한 위치를 갖고, 우선적으로 관리되어야 하는 당위성을 갖는다. 그러나 이 방법은 실시간 신호운영시 중요교차로의 종결시점이 변화될 가능성이 크므로 내부미터링 적용시점이 주기별로 변동성이 크고, 이를 예측하기 어렵다는 특성을 갖게 된다. 즉 경우에 따라서는 대안1이나 대안2의 특성이 주기별로 반복될 수도 있으며, 이를 시스템에서 수용할 수 있는지 여부에 대한 면밀한 평가가 필요하다.

마지막으로 고려할 수 있는 안은 내부미터링이 실시되는 제어그룹 내에서 모든 교차로 첫 번째 현시의 상대 옵셋 차이가 없도록 설정하여 적용하는 방안이다. COSMOS는 제어 그룹내 교차로가 동일 주기를 가지고 운영되므로, 이 방안을 적용하면 모든 교차로가 주기가 종료되는 시점이 일치하게 된다. 따라서 동일 시점에서 대기길이 정보가 계산되고, 이를 내부미터링 알고리즘 적용을 통하여 다음 주기의 신호계획을 수립하고 적용할 수 있다. 이 방안은 현재의 COSMOS 시스템 통신환경에 적합한 방식이고, 내부미터링의 실시간적인 특징을 유지할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 과포화시 각 교차로간 옵셋의 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다.

2. 제어시점에 대한 최적 대안 선정

현재 정의된 COSMOS 통신환경을 고려하여 내부미터링 제어시점에 대하여 4가지 대안을 제시하였다. 각 대안들에 대한 장단점을 정리한 결과는 다음 <표 2>와 같다.

대안1은 COSMOS 하드웨어 체계를 수용하기 어렵고, 대안2는 생성된 신호계획을 실시간적으로 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 대안3은 중요교차로를 중심으로 제어하여 운영효율의 극대화를 기대할 수 있으나 예측이 어려운 단점이 있다. 따라서 대안3은 향후 실제 운영을 통하여 주기별 변동성 및 이에 따른 영향에 대한 평가가 선행되어야 한다. 대안4는 대안1과 대안2의 장점을 다 가지고 있으나 옵셋의 영향을 무시하는 결과를 가져온다.

<표 2> 각 대안의 장단점 분석
<Table 2> Feasibility analysis for each alternative

대안	비교	내 용
1	장점	-신호계획의 실시간적인 적용성
	단점	-COSMOS 하드웨어 체계를 미수용 함 -대기길이등 예측된 input값을 사용함 -동일 제어그룹내에서 offset의 차이가 크면, 결과의 신뢰도가 떨어짐
2	장점	-COSMOS 하드웨어 체계를 수용함 -대기길이등 input값을 정확하게 사용함
	단점	-각 링크의 동일시점에서 수집된 교통정보를 사용할 수가 없음 -시간적인 처짐 현상이 발생할 수 있음 .
3	장점	-대안1 및 대안2의 특성을 포함함 -중요교차로 중심으로 제어를 수행하여 미터링 효과를 극대화함
	단점	-적용시점의 변동성이 크고, 예측이 어려움
4	장점	-실시간 자료를 갖고 계획 -COSMOS 하드웨어 체계를 수용함 -대기길이등 input값을 정확하게 사용함
	단점	-offset의 영향을 미 반영함

RT/IMPOST의 시뮬레이션 환경의 경우에도, 제어 그룹 내 모든 교차로가 DTP 시점에서 대기길이를 예측하도록 규정하고 있다. 따라서 교차로간 옾셋의 차이가 큰 경우 대기길이 예측값의 신뢰도가 감소되는 문제를 갖고 있다. RT/IMPOST는 이와 같은 문제점에 대응하기 위하여 각 교차로별로 계산되는 옾셋의 차이를 최소가 되도록 하는 기능을 목적함수에 추가하여 상하류부 옾셋의 차이를 최소화하도록 하고 있다. 그러나 이와 같은 노력에도 불구하고 실제 운영에서는 상대옾셋의 차이가 없는 상황외에는 <표 2>에 제시된 문제점이 극복될 수는 없다고 판단된다. 그러므로 대안4가 내부미터링의 실시간적인 구현을 위하여 선택할 수 있는 현실적인 방안이라고 판단된다.

신호운영 측면에서 보면 링크의 교통상황이 과포화로 진행되어 대기길이가 늘어나면 인접한 두 교차로 간의 옾셋에 따른 연속진행 효과는 크게 감소한다. 따라서 이에 대한 효과가 명확하게 정리된다면, 향후에 대안4를 기반으로 내부미터링 기법을 COSMOS에 효과적으로 적용할 수 있다고 판단된다. 따라서 COSMOS 환경에서 내부미터링의 제어변수로 동시옾셋을 설정하고, 이와 같은 설정이 교통류에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 적용하여 이에 대한 평가를 실시하였다.

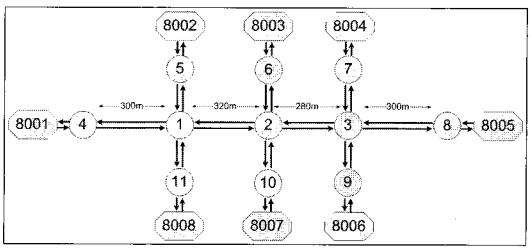
3. 시뮬레이션 평가

1) 시뮬레이션 환경

본 시뮬레이션 평가를 위하여 3개의 교차로로 구성된 하나의 간선축을 구성하였다. 다음 <그림 4>는 간선축의 기하구조 자료를 요약한 내용이다.

시뮬레이션 평가를 위한 시나리오는 내부미터링 제어를 실시하는 과정에서 동시옾셋을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 2가지로 구분하여 작성하였다. 즉, 첫째 시나리오는 과포화상황을 재현하고 이에 대하여 기존의 RT/IMPOST를 적용하여 평가하였다. 그리고 둘째 시나리오는 동일한 교통상황에서 동시옾셋을 적용한 RT/IMPOST를 수행하여 평가하였다.

이를 위한 교차로운영 그룹의 위계 및 현시배분, 그리고 교통량 자료를 <표 3>과 <그림 5>에 정리하였다. 모든 교차로는 4현시체계와 160초의 주기를



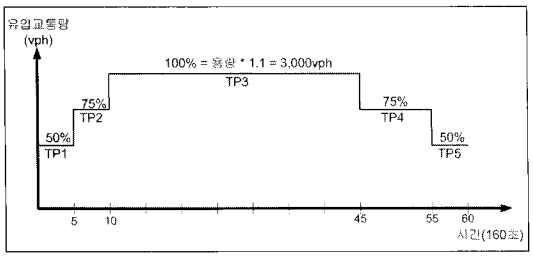
<그림 4> 시뮬레이션 기하구조 현황
<Fig. 4> Test bed for a simulation study

<표 3> 각 교차로 현시체계
<Table 3> Signal plans for each intersection

교차로 번호	위계	현시배분도
1번	C.I	
2번	M.I	
3번	M.I.	

갖고, 주요축의 녹색시간 비율은 RT/IMPOST 내부에서 교통량과 대기길이를 이용하여 실시간적으로 계산되었다.

<그림 5>는 시뮬레이터 내에서 과포화상황을 재현하기 위해서 시간에 따른 유입교통량 변화를 나타낸 것이다. 총 60주기(9600초)를 시뮬레이션 하였고, 각 교차로 별 v/c값 1.1을 목표로 단계적으로 과포화상황을 재현하였다.



<그림 5> 유입교통량 시나리오
<Fig. 5> Traffic volume scenario applied

2) 시뮬레이션 결과분석

본 연구에서 제시된 두 가지 시나리오를 시뮬레이션 한 결과는 <표 4>에 정리되어 있다. 네트워크 전체의 통과교통량, 지체시간, 그리고 정지시간 등의 효과척도를 이용하여 평가한 결과 두 가지 시나리오의 결과값이 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이

<표 4> 시나리오별 결과 비교
<Table 4> Comparison of simulation results

효과척도	대상도로	동시옾셋 적용[a]	RT/IMPOST 옾셋 적용[b]	차이 (%)
통과교통량 (veh/hr)	주축	2,613	2,611	0.1%
	부축	1,935	1,946	-0.6%
	교차도로	1,841	1,612	12.4%
지체시간 (sec/veh)	주축	158.6	151.4	4.5%
	부축	55.8	57.0	-2.2%
	교차도로	36.4	39.2	-7.9%
정지시간 (sec/veh)	주축	95.2	95.0	0.1%
	부축	41.8	38.2	8.7%
	교차도로	28.8	28.2	2.3%

주: 차이(%)=([a-b]/a)*100

는 본 연구에서 제시한 동시옾셋으로 설정하는 경우와 RT/IMPOST에서 산출한 최적 옾셋을 사용하는 경우가 거의 유사한 결과를 도출함을 의미한다. 오히려 교차도로 통과교통량은 동시옾셋을 적용시 약 12.43% 증가되었고, 차량의 지체시간도 7.92% 개선되는 결과를 얻었다.

그러므로 국내의 COSMOS 환경처럼 긴 링크의 간선축이면서 과포화 교통상황이 빈번하게 발생하는 경우에는 동시옾셋을 적용한 내부미터링 제어를 실시하여도 기존의 모형과 비교하여 큰 차이가 없음을 확인하였다.

V. 결 론

본 연구는 국외에서 연구가 활발히 진행되고 있는 과포화시 신호제어기법 중 하나인 RT/IMPOST의 국내 적용을 위한 기초연구를 진행하였다. 이를 위해서 먼저 RT/IMPOST와 국내 COSMOS 시스템 환경을 분석하였다. 분석된 결과를 사용하여 통신 및 제어시점을 고려한 4가지 가능한 대안을 검토하고, 각 대안에 대한 장/단점을 제시하였다. 제시된 대안 중에서 COSMOS 통신주기를 고려하여 내부미터링 수행 시 동시옾셋을 적용하는 방안을 최적 대

안으로 선정하였고, 이를 기존의 RT/IMPOST와 비교하여 평가하였다.

본 연구에서 제안한 간선 축 내의 모든 교차로를 동시옵셋으로 고정시키고 신호주기와 신호현시를 주요 변수로 하여 내부미터링 제어 수행 시와 기존 RT/IMPOST 제어시를 비교하여 시뮬레이션 기법을 사용하여 평가한 결과, 매우 유사한 효과척도 값을 얻을 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 제시된 대안이 국내 COSMOS 환경에 현실적으로 적용 가능한 방안이 될 수 있다고 판단된다.

내부미터링 제어에 있어서 신뢰도 높은 대기길이 예측 값은 가장 중요한 제어변수이다. 따라서 향후에는 실시간으로 대기행렬길이를 예측하는 모형에 관련된 연구가 필요하고, 실시간시스템 환경을 고려한 제어절차의 개발, 그리고 검지기 정보의 수집 및 가공에 관한 관련 연구가 내부미터링 제어의 성공적인 적용을 위하여 필요하다고 판단된다.

감사의 글 : 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF- 2006-311-D00995)

참고문헌

[1] 서울지방경찰청, *서울시 교통신호제어시스템 발전 기본계획*, 2001.

[2] D. C. Gazis, "Optimum control of a system of oversaturated intersections," *Operation Research*, vol. 12, no. 6, pp. 815-831, 1964.

[3] D. Longley, "A control strategy for a congested computer-controlled traffic network," *Transportation Research*, vol. 2, No. 4, pp. 391-408, 1968.

[4] G. Abu-Lebdeh and R. F. Benekohal, "Development of traffic control and queue management procedures for oversaturated arterials," *Transportation Research Record 1603*, pp. 119-127, 1997.

[5] N. H. Gartner, J. D. C. Little, and H. Gabbay, "Optimization of traffic signal settings by mixed-integer linear programming: part I," *Transportation Science*, vol. 9, no. 4, pp. 321-343, Nov. 1975.

[6] P. G. Michalopoulos and G. Stephanopoulos, "Optimal control of oversaturated intersections: theoretical and practical considerations," *Traffic Engineering and Control*, vol. 19, no. 5, p.216, May 1978.

[7] FHWA, *Traffic control in oversaturated street networks*, Transportation Research Board, NCHRP Report 194, Washington, D. C., 1978.

[8] G. F. King, E. B. Lieberman, and A. K. Rathi, *Metering high density sectors of the CBD*, KLD Associates, Inc., Final Technical Report, vol. TR-173, Dec. 1985.

[9] N. M. Rouphail and R. Akcelik, "A preliminary model of queue intersection at signalized paired intersections," *Proc. Australian Road Research Board*, vol. 16, no. 5, pp. 473-492, May 1992.

[10] FHWA, *Traffic signal control for saturated conditions*, KLD Associated, Inc., NCHRP Report vol. 3-38, no. 4, June 1992.

[11] B. K. Choi, *Adaptive signal control for oversaturated arterials*, Ph. D. Dissertation, Polytechnic University, Brooklyn, NY, 1997.

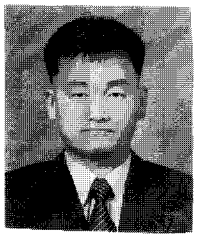
[12] J. Chang, *Formulation of a real-time control policy for oversaturated arterials*, Ph. D. Dissertation, Polytechnic University, Brooklyn, NY, 2000.

[13] 서울 지방 경찰청, *2002년 실시간 신호제어 시스템 기능개선* , pp. 35-39, 2003.

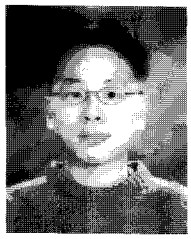
[14] E. Lieberman and J. Chang, "Evaluation of a new real-control congestion control policy using simulation," *Proc. PanAm Conf.*, p. 112, 2004.

[15] E. Lieberman and J. Chang, "Optimizing traffic signal timing through network decomposition," *Transportation Research Record 1925*, pp. 167-175, Aug. 2005.

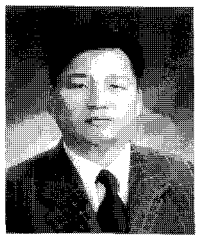
저자소개



이 상 수 (Lee, Sangsoo)
2002년 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수
2005년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 이사
2000년 : Texas A&M University 토목과 교통전공 졸업 (박사)



송 성 주 (Song, Sung-Ju)
2004년 1월~(주)비츠로시스 연구소 ITS연구팀 주임연구원
2002년 2월~2004년 2월 : 아주대학교 건설교통대학원 졸업



이 철 기 (Lee, Choul Ki)
2006년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 ITS대학원 특임교수
2004년 ~ 2006년 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
2000년 ~ 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선기획실장
1998년 : 아주대학교 건설교통공학과 교통공학전공 졸업 (박사)