

■ 論 文 ■

서울시 실시간 신호제어시스템(COSMOS)내 내부미터링 제어전략 도입 방안

On the Introduction of the Internal Metering Policy in COSMOS

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부
교수/ITS대학원장)

이 상 수

(아주대학교
환경·도시공학부 조교수)

이 성 호

(아주대학교
건설교통공학과 박사과정)

목 차

- I. 서론
- II. COSMOS 과포화제어전략 연구
 - 1. 현황분석
 - 2. 내부미터링 도입 필요성
- III. 내부미터링 외국사례 연구
 - 1. 제어 목적
 - 2. 제어 목표
 - 3. 내부미터링 정의
 - 4. 제어전략의 기본 개념
 - 5. 외국의 내부미터링 발달 과정
- IV. COSMOS시스템의 내부미터링 적용연구
 - 1. 기본 적용 환경
 - 2. 내부미터링 적용절차
- V. 실험평가 및 결과분석
 - 1. 시뮬레이션 방법
 - 2. 시뮬레이션 환경
 - 3. 시뮬레이션 분석결과
- VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 내부미터링, COSMOS, 대기행렬 관리, 과포화 제어, 축 제어, 앞막힘 현상

요 약

내부미터링은 제어구간 안에서 과포화링크 상류부의 유입교통량을 적절히 제어하는 것으로 과포화시 빈번히 발생하는 앞막힘현상이나 이로 인한 교차도로의 통행권 방해 등으로 일어나는 불필요한 지체를 방지하여 네트워크 안의 교통류를 안정적으로 유지하는 제어전략이다. 이는 기존의 COSMOS의 과포화제어 전략보다 적극적인 제어 방법으로 앞막힘현상으로 인한 교차로 막힘현상을 사전에 예방할 수 있고, 링크의 Storage의 사용을 최대화할 수가 있다. 본 연구에서는 기존 COSMOS 시스템 유지를 전제로 한 내부미터링 알고리즘과의 병행 운영 방안을 도출하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다. 우선 내부미터링 제어전략의 적용을 위한 COSMOS 기본 환경 구축안을 제시하였다. 즉, 내부미터링이 적용 가능한 교통환경 정의, 내부미터링 적용구간 설정을 위한 원칙과 C.I.와 M.I. 검지기 체계 및 제어기 체계를 제시하였다. 그리고 기존 COSMOS시스템과의 병행 운영을 위한 제어절차를 제시하였다. 제시된 제어절차에 대한 실험평가 결과, 내부미터링 제어를 적용시 각 접근로의 대기행렬길이가 안정적으로 유지됨을 확인하였고, 전체 대상구간의 운영효율을 증진시키는 것으로 평가되었다.

I. 서론

현재 서울시는 현장의 교통상황에 따라 자동으로 신호시간을 산출해 주는 한국형 실시간 신호제어 시스템(이하 'COSMOS'라 함)을 개발하고(서울시 지방경찰청, 1991). 그 동안 현장시험과 시스템 검증을 거쳐 시범운영까지 마친 상태이다.

이후 확장사업을 통해 COSMOS 운영지역을 확대해 왔으며, 이와 아울러 1999년부터 시스템의 성능과 운영효율성을 높이기 위한 기능개선 사업(서울시 지방경찰청, 1999)을 병행 추진해 온 결과, 보다 안정된 환경에서 운영되는 시스템을 갖추게 되었다. 그러나 현재 매년 늘어나는 교통수요에 따른 COSMOS 시스템의 대처 능력이 한계에 이르게 되었으며, 특히 과포화 교통상황에서 시스템은 더 이상의 해결능력을 발휘할 수 없는 상태로서, 보다 적절한 과포화 제어 전략이 요구되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 COSMOS의 과포화시 제어 전략의 하나로서 현재 외국에서 활발히 연구가 진행중인 "내부미터링 제어전략(Internal Metering Policy: IMP)"을 도입하기 위한 기초 연구로서, 내부미터링 도입에 따른 현실적인 COSMOS 환경(물리적/운영적) 구축과 적용 절차를 확립하고, 시뮬레이션을 통한 효과 분석을 하여 내부미터링을 기존 COSMOS 시스템에서 적용할 수 있도록 하는데 그 목적을 두고자 한다.

II. COSMOS 과포화제어전략 연구

1. 현황분석

현재 서울시 COSMOS는 <표 1>과 같이 크게 4가지 종류의 과포화 제어전략이 있으며, 2단계에 걸친(1999년~2000년) 기능개선 사업을 통해 각 제어 전략 알고리즘에 대한 S/W 구현 및 운영이 실시되고 있다(서울시 지방경찰청, 2000).

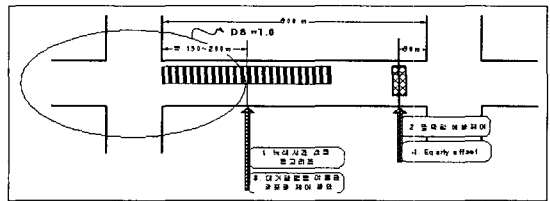
2. 내부미터링 도입 필요성

1) 대기행렬의 형성 및 성장 관리

<그림 1>은 <표 1>에서 언급한 현재 서울시 COSMOS

<표 1> COSMOS 과포화 제어전략의 종류 및 제어방법

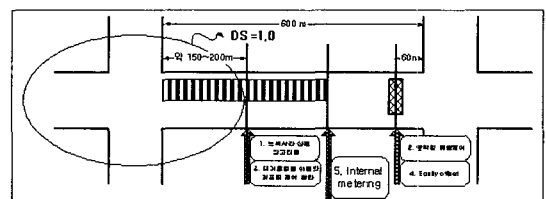
제어전략	개선년도	제어방법
1. 녹색시간 산정 알고리즘	1999	(1) 유출부와 유입부 검지기 상태에 따른 녹색시간 보정 (2) 대기길이에 의한 과포화시 녹색시간보정
2. 앞막힘예방제어	1999	(1) 최소녹색시간 유지 (2) 최소녹색시간 무시
3. 대기길이 기반 녹색시간 배분 알고리즘	2000	비·근포화시는 포화도(DS)를 사용하며, 과포화시는 Queue length를 사용할 수 있는 주기단위포화도(CDS) 수정식 사용
4. Equity offset	2000	적정 형평 윗셋 값 산출



<그림 1> 링크 길이가 긴 경우 과포화 시점 및 제어전략

의 과포화 제어 알고리즘의 도입 시점이 도시되어 있다. 현재 COSMOS에는 포화나 앞막힘 상황에서의 제어 알고리즘이 상세히 정의 되어 있으나, $DS^{1)} = 1$ 인 시점부터 앞막힘 예방제어까지의 대기행렬 성장을 적절히 관리할 수 있는 알고리즘이 없다는 단점이 있다. 즉, 과포화 상황에서 대기행렬의 형성 및 성장을 관리하는 알고리즘이 미흡한 실정이다.

내부미터링 제어전략은 대기행렬 형성 및 성장 관리에 대한 보다 적극적인 방안이다. 이는 $DS=1$ 인 시점부터 대기행렬의 성장을 모니터링하여 일정 수준의 대기행렬길이를 유지하기 위하여 상류부 녹색시간을 미터링함으로써 대기행렬 길이를 관리한다. 또한 기존의 COSMOS 과포화 제어 알고리즘과 앞막힘 제어 알고리즘의 중간단계로 연계 운영될 수 있다. <그림 2>



<그림 2> 내부미터링 적용시점

1) DS(Degree of Saturation) : 녹색시간 이용률

는 이러한 대기행렬 형성 및 성장관리 목적을 위한 내부미터링 제어전략 시점을 나타내고 있는 것으로, 기존 COSMOS 제어전략과의 연계운영을 표현한 것이다.

2) 저장용량(Storage)활용 극대화

대기행렬길이를 제어하기 위한 적정대기행렬길이를 실시간으로 산출하여 실시간으로 발생하는 현장 교통 상황에 따라 앞막힘현상이 일어나지 않는 범위 내에서 매주기 최대 대기행렬길이 산출함으로써 링크의 저장용량 활용을 극대화할 수가 있다.

3) 축 제어

내부미터링 제어전략은 제어대상 내 도로위계 중 주요 간선축에서 실시하기 위한 것으로서, 회전교통량에 대한 고려보다는 주요 간선축의 이동성을 증대시킬 수 있는 통과교통량 확보를 위한 제어정책이다. 제어 우선 순위가 높은 교통 축을 우선 제어함으로써 네트워크 전체의 효율성이 증대되는 효과를 갖게 된다.

III. 내부미터링 외국사례 연구

내부미터링 제어전략에 대한 외국 연구사례는 기본적으로 NCHRP 3-38(3) 보고서(1992)를 근간으로 하였다. 우선 내부미터링 제어전략의 제어 목적(Goal) 및 제어 목표(Objective)를 제시하고 이를 기반으로 하는 내부미터링 제어 전략의 기본 모형을 언급하고 마지막으로 외국의 내부미터링 발달과정과 적용환경을 제시하고자 한다.

1. 제어 목적

내부미터링의 제어목적은 NCHRP 3-38(3)의 보고서에 제시된 바와 같이 "과포화 상태에서 도로시스템의 수요 관리 및 생산성 최대화"를 위한 대기행렬 길이를 관리이다.

과포화 상황을 위해 설계된 내부미터링 제어전략의 목적은 비포화 상태의 신호제어전략 목적과 본질적으로 다르다. 우선 교통수요가 저장용량보다 낮은 비포화 상황의 가장 중요한 제어전략 목적은 운영상의 안전을 도모하면서 차량의 지체와 정지수를 최소화하는 것이며, 차량군의 연동화를 지속시키는 것이다. 반면에 과포화 상태의 네트워크는 교통수요가 용량을 초

과하는 상황이 많은 접근로들에서 나타나고 있어서, 과다한 교통수요는 시간에 따라 증가하는 대기행렬을 생성하게 한다. 이로 인해 접근로들의 저장용량은 소모될 것이며, 만일 제어할 수 없을 정도의 대기행렬 증가가 발생한다면 교차로 막힘(Blockage)현상의 발생과 이로 인한 녹색현시에서의 대기행렬 방출이 이루어지지 않는 부적절한 대기행렬 방출 현상 발생하는 결과를 초래하게 될 것이다. 이는 혼잡의 범위가 네트워크로 점차 확산되는 악영향을 초래하게 되어, 가장 최악의 상태인 네트워크 혼잡(Grid-lock)의 원인이 되게 된다. 이러한 경우에는 비포화 제어 목적인 "지체/정지수 최소화"보다는 "교통흐름 유지" 또는 "생산성 최대화"로 그 제어목적이 바뀌어야 한다.

2. 제어 목표

- 앞막힘현상 방지 및 그 영향(예: 빈도수 및 범위)의 최소화를 위한 대기행렬 성장 제어
- 가용 서비스율(Service rate)최대화
- 기존 도로 저장용량(Storage)의 효율적 사용
- 교차 교통류에 대한 최소녹색시간을 확보해주는 형평성 있는 서비스 제공

3. 내부미터링 정의

"내부미터링"이란 수요가 용량을 초과하는 지점 혹은 구간에서 상류부 링크의 유입교통량을 미터링함으로써 과포화링크의 대기행렬길이 형성 및 성장을 안정적으로 유지 및 관리하는 것이다. 이로 인하여 과포화시 빈번히 발생하는 앞막힘 현상이나 이로 인한 교차도로의 통행권 방해 등으로 일어나는 불필요한 지체를 사전에 방지하여 네트워크 안의 교통류를 안정적으로 유지할 수 있다(McShane, Roess and Prassas, 1997).

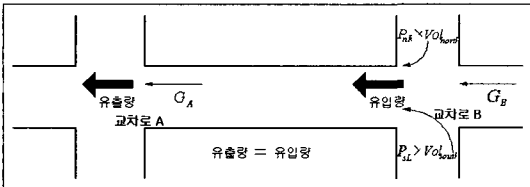
4. 제어전략 기본 개념

과포화시 신호제어 전략의 하나인 내부미터링 제어 전략은 "생산성 최대화"와 "수요관리"라는 2가지 제어 목적을 만족시키도록 설계되어졌다. 이 중 "수요관리"는 상류부 교차로의 녹색현시 제어를 통해서 가능하며, 이때의 상류부 녹색현시는 과다한 수요로 인한

앞막힘을 예방하고 안정적인 대기행렬 형성 및 성장 관리를 위해서 하류부의 유출 교통량만큼 상류부 유입교통량을 허용하게끔 산출한다. 그리고 “생산성 최대화”는 하류부의 서비스율을 증가시키고 링크의 저장용량 활용을 극대화함으로써 얻어질 수 있다. 하류부의 서비스율을 증가시키기 위해서는 이상오프셋²⁾을 이용하여 하류부 녹색시간의 이용률을 최대화하고 링크의 저장용량 활용을 극대화하기 위해서는 물리적으로 교차로 막힘현상으로 인한 대기행렬의 앞막힘 현상이 일어나지 않는 범위 내에서 유입 차량군을 압축하여 대기행렬을 길게 가져감으로서 링크의 저장공간을 효율적으로 사용하게 한다.

1) 녹색 시간 제어

〈그림 3〉은 내부미터링 녹색 시간 제어에 대한 개념도를 나타내고 있다. 녹색 시간은 링크의 하류부 유출량과 상류부 유입량이 같도록 상류부의 녹색 현시를 조절하여 유입 차량 수요를 미터링을 한다.



〈그림 3〉 녹색 시간 제어 개념도

2) 오프셋 제어

하류부 정지선에서의 서비스율 최대화 및 앞막힘 현상이 일어나지 않는 범위 내에서의 유입차량군 압축을 통한 링크의 저장공간의 효율적인 사용이 가능하다.

5. 외국의 내부미터링 발달 과정

최근 들어 외국에서는 과포화시 제어전략의 하나로 내부미터링 전략을 도입하는 연구가 활발히 진행 중이다. 기본적인 알고리즘은 1992년에 발표된 NCHRP 3-38(3)을 통해서 IMPOST(Internal Metering Policy to Optimize Signal Timing)라고 명명된 제어 알고리

즘이 최초의 연구결과이었다. 이후 1997년에 좌회전 현시를 고려한 IMPOST with Left Turn이 기존의 IMPOST를 수정 보완하였고 최근 2000년에 실시간 제어 알고리즘인 RT/IMPOST(Real-Time/IMPOST)가 제시되었다.

현재 KLD³⁾에서 뉴욕시와 RT/IMPOST를 기존의 간선축을 대상으로 하던 것을 네트워크로 확장하는 연구가 진행 중에 있다.

1) IMPOST(Internal Metering Policy to Optimize Signal Timing)

- 본 연구는 1992년 6월 NCHRP 3-38(3)에서 발표되었음
- 과포화 및 비포화상태 뿐만아니라 포화/비포화 혼재상황에서도 적용 가능함
- 신호폐쇄조건을 고려한 양 방향 최적 오프셋을 구하기 위해서 최적화 기법 중에 하나인 Mixed-Integer Linear Programming(MILP)을 이용함(Hillier and Lieberman, 2001)
- 시뮬레이션 검증은 2현시 상황에서 시행

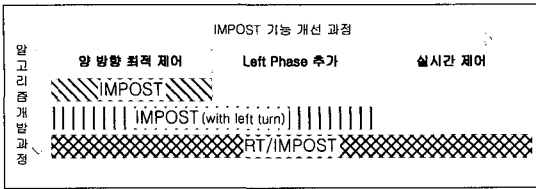
2) IMPOST with Left Turn

- 본 연구는 1997년 1월 Polytechnic 대학에서 발표되었음
- 기존의 IMPOST에 좌회전 현시를 포함하여 다 현시체제에서도 적용할 수 있는 알고리즘을 추가함
- 좌회전 headway 및 좌회전 교통량 등 좌회전 교통류의 특성을 반영함
- 시뮬레이션 검증은 다현시 체제에서 수행 함

3) RT/IMPOST(Real-time/IMPOST)

- 본 연구는 2000년 1월 Polytechnic 대학에서 발표되었음
- 기존에 개발된 IMPOST를 실시간 제어가 가능하도록 알고리즘을 개선하였다. 이를 위해서 Non-Linear Programming (NLP)을 갖고 매 주기마다 상류부 교차로의 녹색시간을 산출해내고, 매 8주기마다 MILP을 이용하여 희망 대기행렬 비(r_0)와 오프셋 등을 산출해 냄으로서 실시간 적용방안을 제시하였음.

2) 이상오프셋(Ideal Offset) : $t(\text{ideal}) = L/S - (Q \cdot h + \text{Loss})$
 L : 링크길이, S : 차량속도, Q : 차선당대기행렬수, h : 방출차두간격, Loss : 출발손실시간
 3) RT/IMPOST 외국 개발업체



〈그림 4〉 내부미터링 제어 알고리즘 발달 과정

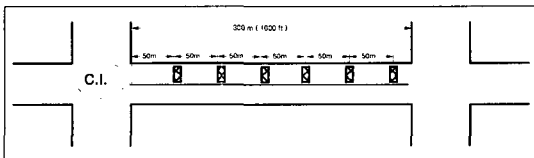
〈그림 4〉는 지금까지 설명한 내부미터링 제어 알고리즘 발달과정을 시각적으로 나타낸 것이다.

6. 내부미터링 적용환경

외국의 내부미터링 적용환경을 물리적 조건과 운영적 조건으로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

1) 물리적 조건

- 대기 행렬 검지기의 설치 환경
 - 녹색 현시 시작점에서 각 접근로별로 신뢰할 수 있는 대기행렬 길이가 산출되도록 대기행렬 검지기를 설치하였다. 대기행렬 검지기는 대상 제어그룹(Sub-Area:S.A.) 내의 중요교차로(C.I.)와 비중요교차로(M.I.)의 모든 링크에 설치하였다. 외국에서는 내부미터링 적용 검증을 위해 〈그림 5〉와 같이 50m 간격으로 대기행렬 검지기를 설치하였다.
- 적용 대상 구간은 통과교통량이 주인 주요 간선축을 대상으로 함
- 링크내에 유입 유출이 없는 구간, 즉 Mid-block이 없는 구간
- 내부미터링 적용구간 주변에 우회도로가 존재하는 네트워크



〈그림 5〉 내부미터링 적용을 위한 검지기 설치도

2) 운영적 조건

- 내부미터링 적용구간의 하류부 교통상태가 비포화인 곳
- 회전 유입량이 적은 구간

- 내부미터링에서는 간선축을 대상으로 제어를 함으로 회전 교통량의 비율은 적고 직진 통과 교통량이 많은 구간에 적용을 함
- 상류부 교차 도로 회전 유입 교통량의 수요 변동이 심하지 않은 구간
- 과포화 상황이 한 방향(One-way) 및 양 방향(Two-way) 상황을 모두 고려하고 있음
- 현재는 실시간 간선 축 제어뿐만 아니라 네트워크 차원에서의 알고리즘 확장 개선이 이루어지고 있음

IV. COSMOS시스템의 내부미터링 적용연구

본 장에서는 기존 COSMOS 시스템 유지를 전제로 한 내부미터링 알고리즘과의 병행 운영 방안을 도출하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 내부미터링 제어전략의 적용을 위한 COSMOS 기본 환경 구축(안)을 제시
 - 내부미터링이 적용 가능한 교통환경 정의
 - 내부미터링 적용구간 설정을 위한 원칙 제시
 - C.I.와 M.I. 검지기체계 및 제어기 체계(안) 제시
- 기존 COSMOS시스템과의 병행 운영을 위한 제어절차 제시

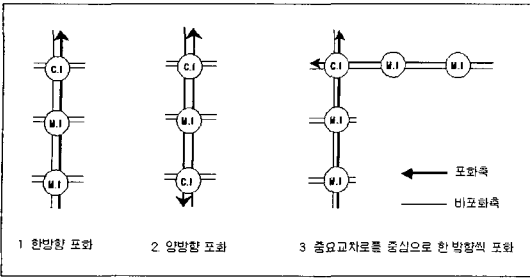
1. 기본 적용 환경

1) 교통 환경

사전에 지정될 내부미터링 적용구간은 내부미터링 효과를 극대화하기 위해서 다음의 고려사항을 충분히 반영한 축으로 선택한다.

- 회전교통량이 변화가 적은 교통 축
- 통과교통량이 주인 교통 축
- 앞막힘 현상이 빈번히 나타나는 교통 축

내부미터링 제어전략은 비효율적인 신호운영이나 수요교통량의 증가로 인한 과포화 현상에 적용하는 것이 그 효과를 극대화할 수 있다. 따라서, 유고 등의 원인으로 하류부의 유출량이 제한적인 곳에서의 적용은 가급적 피한다. 따라서 본 연구의 내부미터링 제어전략 적용 대상 간선축은 〈그림 6〉과 같은 3가지 상황으로 제한한다.



<그림 6> 내부미터링 제어 대상

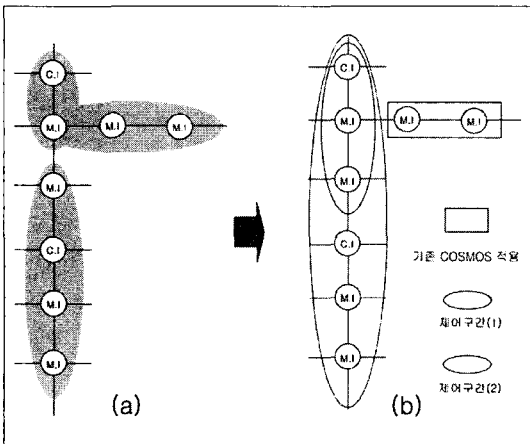
- 일 방향(One-way) 과포화 상태
- 양 방향(Two-way) 과포화 상태
- 일 방향 과포화인 두 개의 축이 교차하는 상태

2) 제어 범위 설정

내부미터링을 서울시 COSMOS 환경에 적용하기 위한 내부미터링 제어범위 설정 원칙을 다음과 같이 설정하였다.

- 기존 COSMOS 시스템의 S.A. 유지함
- 별도의 내부미터링 제어구간을 사전에 설정함
- 일직선 형태의 교통축을 대상으로 함
- 내부미터링 제어구간에서 제외된 교차로들은 기존 COSMOS 알고리즘을 그대로 적용함
- 하나의 내부미터링 제어구간은 주요 축상 C.I.부터 다음 C.I.전까지로 설정함

예를 들어 <그림 7-a>는 서울시 COSMOS S.A.를 예시한 것이고, <그림 7-b>는 내부미터링 적용시 제



<그림 7> 내부미터링 제어구간 설정

어구간을 나타낸 것이다. 위에서 제시한 설정 원칙에 따라 과포화 발생 C.I.에서부터 다음의 C.I.까지 일직선 축으로 제어구간을 우선 설정하고, 과포화가 확산이 될 경우, 두 번째 제어구간까지 포함하여 제어를 한다. 이때 일직선의 축에서 제외된 M.I.들은 기존 C.I.에서 산출되는 신호현시 값들을 사용한다.

3) 검지기 체계

- C.I.-M.I.의 검지기체계는 기존 COSMOS 검지기 체계를 유지함
- M.I.-M.I.의 검지기체계는 대기행렬 검지기를 필수적으로 설치함
- 만일 여러 가지 여건에 의해 검지기가 설치 불가능한 지역의 해당정보는 사전에 미리 현장조사를 통한 패턴값을 준비하여 이용할 수 있음

4) 제어기 체계

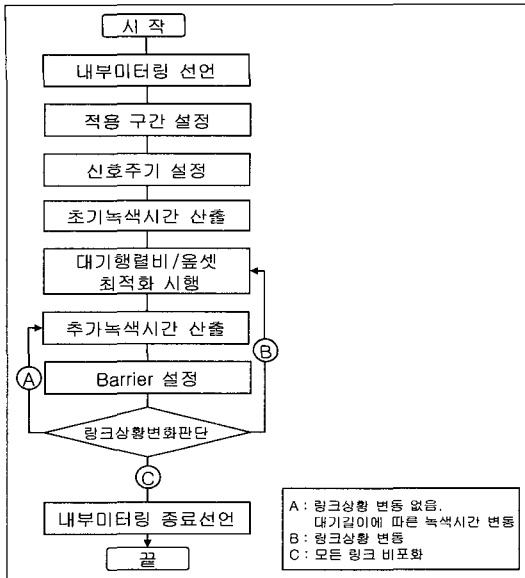
- 현 COSMOS 시스템의 제어기체계를 검토한 결과 내부미터링에 적용하는데 H/W적인 문제는 없는 것으로 나타남
- L/C에서 사용할 수 있는 32개의 채널을 모두 사용하고 있는 경우 우회전/Mid-block 검지기 설치에 대한 채널 확보가 요구됨

2. 내부미터링 적용절차

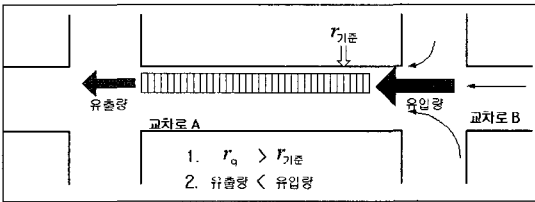
내부미터링을 COSMOS 시스템내에서 하나의 module로서의 기능을 다하기 위해서는 COSMOS 시스템내에서 내부미터링 적용시점과 종료시점을 위한 알고리즘을 명확히 하고 각 제어 현시 값들에 대한 적용 절차를 제시하여야 한다. <그림 8>은 COSMOS 시스템내에서의 내부미터링 적용절차를 나타낸 것이다.

[1단계] 내부미터링 알고리즘 적용 선언

내부미터링 제어전략은 <그림 9>와 같이 DS가 1 이상인 경우부터 모니터링을 시작하며, 상류부 쪽으로 확산되는 대기행렬 성장추세에 따라 앞막힘현상이 일어날 가능성이 있는 경우, 내부미터링을 선언한다.



〈그림 8〉 COSMOS 시스템의 내부미터링 적용절차



〈그림 9〉 내부미터링 적용 선언 시점

- 정지대기행렬 길이비 (r_a)⁴⁾가 내부미터링 적용 기준 정지대기행렬 길이비 ($r_{기준}$)⁵⁾보다 큰 경우
- 유입량이 유출량 보다 많을 경우

[2단계] 내부미터링 대상 적용 구간 설정

앞서 제시된 (6 page)에서 제시한 제어 범위 설정 기준에 해당하는 곳을 사전에 선정하여 내부미터링을 적용하여야 할 단위구간을 설정한다.

[3단계] 간선 축 신호주기 (C_a) 설정

내부미터링이 선언되는 시점에서의 중요교차로(C.I.) 주기를 간선축의 공통 신호주기 (C_a)로 설정한다.

[4단계] 각 접근로 별 초기 녹색시간 계산

과포화 방향 직진 녹색시간 (G_B) 공식은 다음과 같다.

$$G_B = s + \frac{G_A - s - \frac{C_a \times h \times (Vol_{North} \times P_{nR} + Vol_{South} \times P_{sL})}{3600 \times LN_A}}{(1 - P_R)(1 - P_L^A)} \quad (6)$$

여기서,

- G_B : 상류부 녹색 현시
- s : 손실 시간
- G_A : 하류부 녹색 현시
- C_a : 공통 주기
- P_R : 주방향 우회전 비율
- h : 차두 시간
- P_{sL} : south도로에서 좌회전비율
- LN_A : 주방향 차선 수
- P_L^A : 주방향 하류부의 좌회전비율
- Vol_{North} : north 도로의 교통량
- P_{nR} : north도로에서 우회전비율
- Vol_{South} : south 도로의 교통량

○ 각 접근로 별 녹색시간을 정리하면 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 각 접근로의 녹색 시간

	현시	방법
미터링 적용 구간의 가장 하류부	C.I.에서의 녹색 시간	기존 COSMOS 알고리즘 적용
직진 현시	포화 방향	유입량=유출량 (평형 녹색 시간 사용)
	비포화 방향	대향 교통류(과포화 방향)의 녹색현시와 동일
	교차 방향	잔여 시간 사용
좌회전 현시	포화 방향	이전 주기 COSMOS 값 적용
	비포화 방향	이전 주기 COSMOS 값 적용
	교차 방향	최소값 적용

[5단계] 양방향 대기행렬 비와 윤셋의 최적화 시행

1) 목적 함수

내부미터링 최적화 알고리즘(IMPOST)의 목적함수는 아래와 같다.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{n-1} w_i^m \Delta_i + \overline{w_i^m} \overline{\Delta_i}$$

4) 실시간으로 계산되는 대기행렬길이를 링크길이를 나눈 값. 대기행렬길이/링크길이

5) 사전에 정해놓은 대기행렬비를 뜻하는 것으로 내부미터링 제어시점을 의미.

6) 위의 식은 장진일(2000), "Formulation of a Real-time control policy for Oversaturated Arterials"에서 제시됨.

여기서,

- w_i : Inbound 각 링크길이에 따른 가중치
- m_i : Inbound 운전자 가중치값
- Δ_i : Inbound 율셋
- \overline{w}_i : Outbound 각 링크길이에 따른 가중치
- \overline{m}_i : Outbound 운전자 가중치값
- $\overline{\Delta}_i$: Outbound 율셋

w_i 는 링크길이에 따른 가중치 값으로 링크길이가 짧을수록 큰 가중치 값을 갖고 링크길이가 길수록 "1"보다 작은 가중치 값을 갖는다. 따라서 짧은 링크의 율셋을 우선적으로 고려를 한다. 앞막힘 현상이 일어나지 않는 범위내에서 율셋값이 클수록 유입차량군을 더욱 압축하여 하루부 정지선에서의 생산성을 좋게 한다. 즉, 축의 생산량이 높아진다. 비록 율셋이 크므로서 차량의 정지수가 많아지는 위험은 있지만, 내부미터링의 제 1목표인 시스템 생산량을 최대화할 수가 있다.

2) 제약조건

아래 제약조건 중에서 ①번은 좌회전 현시에 관한 제약조건으로 Dual Leading으로 좌회전 현시를 설정하였고, ②번은 양방향 제어에 관한 제약조건으로 각 링크의 양방향 율셋과 Phase offset의 합이 주기의 배수라는 정수조건이며, ③번과 ④번은 각 링크의 대기행렬 길이와 율셋의 상한값과 하한값의 범위를 나타내는 것으로 상한값은 앞막힘 현상과 하한값은 starvation현상의 경계점을 나타내고 있다.

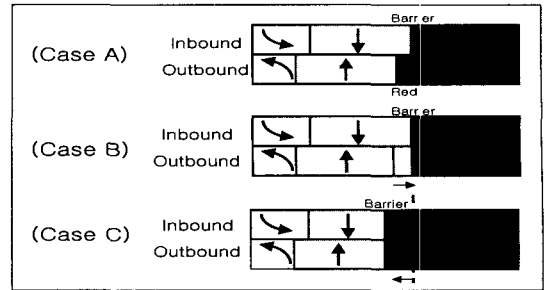
- ① Dual Leading
- ② Signal Closure Condition
- ③ Queue Length
- ④ Signal Offset between Intersection

[6단계] 각 접근로 별 추가 녹색시간 계산 ($\Delta(G_B)$)

- 현재의 대기행렬의 길이(r_q)와 최적 대기행렬 길이(r_0^*)의 차이($\Delta r = r_0^* - r_q$)를 단계적으로 최소로 하기 위해서 일정한 추가 녹색현시($\pm \Delta G_B$)를 적용함

[7단계] Barrier 설정

본 단계는 이전 단계에서 구한 좌회전 현시와 과포화 방향의 녹색 현시를 이용하여 Barrier를 설정하는 단계로서 <그림 10>과 같이 3가지 경우가 나올 수 있음.



<그림 10> Barrier 설정 상황

- Case A(양 방향 모두가 과포화 상황인 경우)의 경우: 녹색현시가 더 늦게 끝나는 시점에서 Barrier를 설정함
- Case B & C(한 방향이 과포화인 상황)의 경우 : 이때 과포화방향의 녹색시간이 끝나는 점에서 Barrier를 설정함

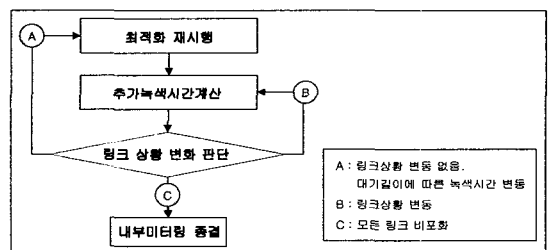
[8단계] 링크 상황 변화 판단

내부미터링 제어전략에서는 각 링크의 상황을 크게 <표 3>과 같이 5가지 상황으로 분류하여 각 링크의 상황에 알맞는 제어를 할 수 있다.

<표 3> 링크의 상황 분류

링크상황		링크상황 분류		
상황	미터링을 요구하지 않는 접근로		1	
	미터링을 요구하는 접근로	Case A	앞막힘 가능성 있는 경우	2
		A	앞막힘 가능성이 없는 경우	3
		Case B	앞막힘 가능성 있는 경우	4
		B	앞막힘 가능성이 없는 경우	5

본 단계에서는 이렇게 분류된 링크를 <그림 11>과 같이 매 주기 링크 상황변화 판단을 하여 실시간으로 링크의 상황변화를 모니터링한다.



<그림 11> 링크상황 변화판단

[9단계] 내부미터링 종료 선언

내부미터링을 시행하는 Sub-Area 내의 모든 링크가 Metering을 요구하지 않는 경우에 내부미터링을 종료한다.

V. 실험평가 및 결과분석

본 연구에서 제시된 COSMOS 시스템을 고려한 내부미터링 알고리즘을 평가하기 위한 현장실험은 수행하기 어려운 관계로, 시뮬레이션 기법을 사용하여 평가를 실시하였다. 그러나 본 논문에서 제시된 내부미터링은 실시간으로 적용되어야 하는 알고리즘이고, 현재 이용 가능한 시뮬레이션 프로그램 중에서 이를 정확히 반영할 수 있는 프로그램은 없다. 이러한 현실적인 한계성을 인식하여, 제시된 알고리즘을 통하여 수동으로 계산된 출력값을 미시적 분석 시뮬레이션 프로그램인 NETSIM의 입력값으로 사용하여 본 알고리즘의 효과를 분석하였다.

이를 위하여, 과포화로 인한 앞막힘 현상이 발생하는 COSMOS 운영지역에서 하나의 S.A.를 대상구간으로 선정하였고, 과포화시 대기길이가 성장하여 앞막힘 현상이 발생하는 상황에 대한 일방향 미터링을 실시했을 때의 주축 및 교차도로의 대기길이 변화, 평균지체, 평균주행속도 등을 효과적으로 하여 평가를 실시하였다.

1. 시뮬레이션 방법

본 연구의 시뮬레이션 평가를 위해 제시된 내부미터링 제어전략에 의한 녹색현시와 최적 윤셋 그리고 최적 대기행렬길이를 산출하는 프로그래밍 작업을 수행하였다. 이를 통하여 계산된 녹색현시와 윤셋값은 시뮬레이션 모형인 NETSIM내 신호계획 테이블에 적용하였다. 그리고 매 주기마다 NETSIM에서 형성된 대기행렬길이를 이용하여 최적 대기행렬길이와 비교하여 다시 녹색현시를 계산하는 과정을 반복적으로 시행하였다. 이러한 각 주기마다 반복 계산을 통하여 본 연구에서 제시한 과포화시 내부미터링 제어절차를 구현한 시뮬레이션 결과와 현장에서 사용되는 신호자료를 그대로 적용한 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

2. 시뮬레이션 환경

1) 기본환경

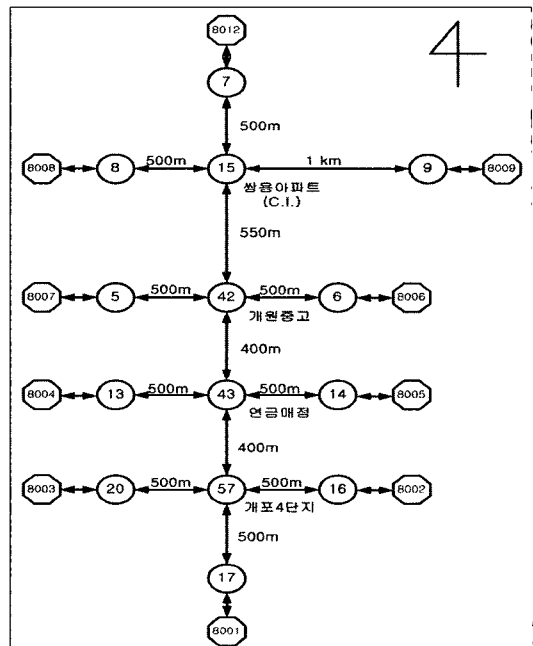
본 연구에서 수행한 총 분석시간은 3750초이고, 이를 초기화 시간을 제외한 18개의 주기단위로 나누어 주기(cycle), 현시배분(split), 윤셋(offset) 등 신호변수를 적용하였다. 시뮬레이션 시작 후 900초 동안의 초기화 시간을 통하여 대상축의 초기교통상황을 설정하였고, 현장에서 얻은 신호운영자료를 이용하여 중요교차로(C.I.)에서 과포화가 시작되어 상류부 축으로 확장하는 방향성을 갖는 기본환경을 구축하였다.

2) 입력자료

시뮬레이션 평가를 위하여 선정된 대상구간은 쌍용아파트를 중요교차로로 갖는 교통축이며, 각 노드와 링크체계는 <그림 12>와 같다.

대상구간의 주축은 남북방향이고, 남에서 북으로 이동하는 교통류에 대한 일방향 제어를 실시하였다.

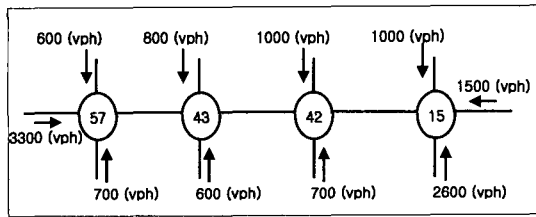
신호운영자료는 2001년 10월 9일 자료로서 서울시 지방경찰청의 도움을 받아 실제 운영자료를 적용하였다. 시뮬레이션 적용시간 중에서 주기가 150초에서 160초로 변이하면서 발생하는 전이시간(Transition



<그림 12> 평가구간의 노드/링크 체계

〈표 4〉 대상구간 교차로별 현시계획

	쌍용	개원중고	연금매점	개포4단지
현시1				
현시2				
현시3				
현시4				



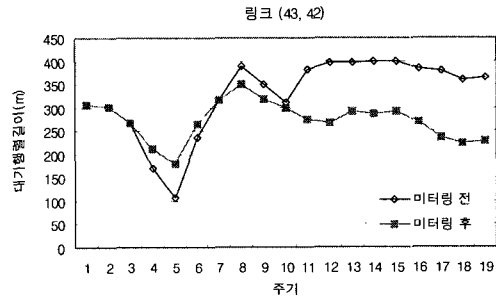
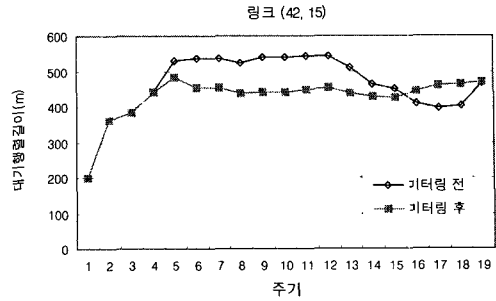
〈그림 13〉 시뮬레이션을 위한 입력교통량

Time)은 NETSIM에서 자체적으로 사용하는 윗셋 전이시간을 3주기로 설정하였다. 대상구간에 포함된 교차로별 현시계획의 형태는 〈표 4〉와 같으며, 각 현시의 길이는 수집된 현장자료를 적용하였다.

시뮬레이션 평가를 위한 입력 교통량은 〈그림 13〉에 제시되어 있다. 내부미터링 제어의 효과 분석을 위하여 주축방향의 교통량을 반대방향 교통량의 2배인 3300vph로 적용하였고, 교차도로의 교통량은 중요 교차로를 제외한 모든 교차로에 큰 차이 없이 배분하였다. 15번 교차로의 교차도로는 4차선이고 링크길이도 다른 교차로보다 긴 1.0km이므로, 2600vph의 교통량이 적용되었다.

3. 시뮬레이션 분석결과

먼저 내부미터링 실시에 따른 효과를 판단하기 위하여 주축의 대기행렬길이의 변화를 파악하였다. 〈그림 14〉는 내부미터링 제어를 실시하는 교차로 축상에 위치한 중요교차로 상류류 링크들의 대기길이 변화를 나타낸 결과이다. 중요교차로를 포함한 링크 (42, 15)에서 내부미터링을 실시하지 않은 경우 대기길이가 증가하여 5주기 이후부터 대기길이가 링크 길이에 근접한 결과를 나타내었다. 그리고 내부미터링 제어를 적용한 경우에는 대기길이의 증가를 대략

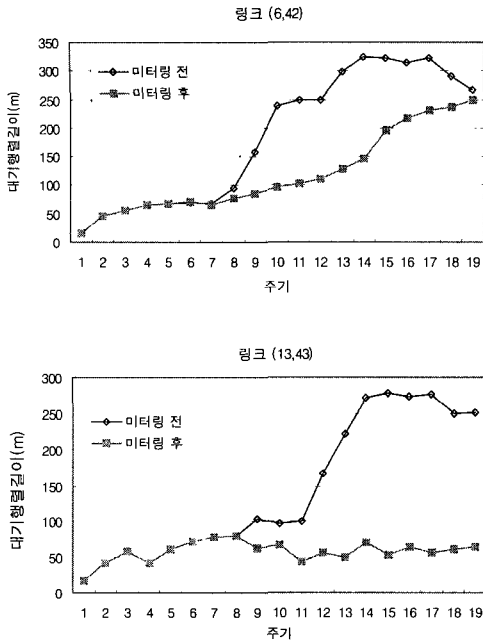


〈그림 14〉 미터링 전/후 주축 대기행렬길이 변화

430m 정도의 일정한 수준에서 유지함으로써, 해당 링크의 앞막힘 현상 발생 가능성을 적게 하는 결과를 보여주고 있다.

그리고 링크 (43, 42)에서 나타난 결과도 마찬가지로, 내부미터링 제어를 실시한 후에 대기길이를 효율적으로 제어하여, 해당 접근로의 앞막힘 발생가능성을 현저히 적게 할 수 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 내부 미터링에서 추구하는 제어전략의 우수성을 충분히 나타낸 것이며, 본 연구결과에서 제시된 알고리즘의 실효성을 간접적으로 나타내고 있다.

다음은 내부미터링 제어를 실시할 경우, 교차도로에 미치는 영향을 파악하였다. 〈그림 15〉는 내부미터링 제어 실시 전후 교차도로의 대기길이 변화를 보여주고 있다. 링크 (6, 42)에서 내부미터링 제어를 실시하지 않은 경우 대기길이가 급격히 증가하여 10주기에는 250m를 초과하였고, 이후 계속적으로 증가하는 결과를 나타내었다. 그러나 내부미터링 제어를 실시한 경우에는 대기길이의 증가가 상대적으로 완만하게 진행되는 경향을 나타내었다. 이와 같은 경향은 링크 (13, 43)의 결과에서 더욱 명확히 나타난다. 내부미터링 제어를 실시한 결과 대기행렬 길이가 약 50m 전후에서 안정적으로 유지되어 실시하지 않은 경우보다 매우 개선된 결과를 나타내었다. 그리고 이러한 두가지



〈그림 15〉 미터링 전/후 교차도로 대기행렬길이 변화

대기길이의 차이에서 발생하는 면적만큼 해당 접근로의 지체가 상대적으로 감소하는 것을 간접적으로 알 수 있다.

이러한 교차도로에 나타난 경향은 주도로의 대기길이를 일정한 수준으로 통제하여 앞막힘 현상의 발생 가능성을 낮게 함으로써, 상대적으로 교차도로 교통류의 흐름을 원활하게 유지할 수 있음을 보여준다. 그러므로 교통상황이 현재보다 더욱 악화되어 앞막힘이 자주 발생하는 교통상황에서는 내부미터링 제어를 통한 효과가 더욱 크게 나타날 것이라고 판단된다.

위 〈그림 15〉에 제시된 교차도로를 대상으로 동일한 분석기간에 차량당 평균정지지체의 변화를 비교하면 〈표 5〉와 같다. 분석에 시간인 2850초 동안에 (6,42) 링크는 내부미터링을 실시한 후에 132.3초에서 95.7초로 36.6초가 감소되었고, (13, 43) 링크는 105.8초에서 70.5초로 감소한 결과가 나타났다. 이는 약 28%, 33% 정도의 평균지체의 감소이며, 감소된 시

〈표 5〉 교차도로 평균정지지체 비교

항목	(6,42) 링크		(13,43) 링크	
	미터링 전	미터링 후	미터링 전	미터링 후
평균정지지체 (sec/veh)	132.3	95.7	105.8	70.5

〈표 6〉 전체 대상구간 효과척도 비교

항목	전체 Network	
	미터링 전	미터링 후
지체 시간 (veh-hours)	867.9	849.9
총 통과시간 (veh-hours)	1253.7	1232.7
평균속도 (mph)	9.23	9.31

간만큼의 지체가 과포화시 앞막힘으로 인해 발생한 불필요한 지체시간이라고 볼 수 있다.

본 평가에서 제시된 전체 대상구간의 효과척도를 시뮬레이션 결과를 이용하여 분석하였고 〈표 6〉과 같다. 우선 지체시간은 내부미터링 실시전 867.9veh-hr에서 849.9veh-hr로 감소하였고, 평균속도는 9.23mph에서 9.31mph로 증가하였다. 그리고 차량이 대상구간을 통과하는 데 소요된 시간(이동시간+지체시간)을 나타내는 총 통과시간은 내부미터링 실시전 1253.7veh-hr에서 1232.7veh-hr로 역시 감소된 결과를 나타내었다. 그러나 전체 대상구간으로 범위를 확대시 내부미터링 실시 전후의 효과 차이가 앞서 제시된 링크별 결과보다는 상대적으로 적게 나타났다. 이것은 특정 상황에서는 내부미터링의 효과가 제한적으로 나타날 가능성이 있음을 암시하며, 이는 교통량의 회전비율과 기하구조 등 많은 요소들로부터 영향을 받을 수 있다.

VI. 결론

본 연구를 수행한 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

과포화시 COSMOS 제어 알고리즘의 현황을 분석한 결과 포화도(DS)가 "1"을 넘는 시점부터 앞막힘현상이 일어날 때까지의 상황에 대한 대기행렬 성장관리에 대한 전략이 미흡한 실정이다. 내부미터링은 과포화시 대기행렬 형성 및 성장을 관리함으로써 기존 COSMOS 과포화시 제어전략과 함께 과포화시점에서 앞막힘시점까지의 상황에 대한 제어를 할 수 있다. 이에 따라서 과포화상황에서 앞막힘 상황으로 교통상태가 전이되는 시점을 연장하거나 이를 방지할 수 있다. 내부미터링을 COSMOS 시스템내에서 적용하기 위한 기본 환경을 정의하고 제어절차를 제시하였다. 이는 기존 COSMOS 환경을 최대한 고려한 내부미터링 적용환경을 제시하고 기존 COSMOS 제어전략

과의 병행 운영을 고려한 내부미터링 적용절차를 제시하는데 목적을 두었다. 이를 위해서 적용가능한 교통환경과 제어범위를 제시하고 검지기 및 제어기체계에 대한 제시를 하였다.

내부미터링 효과분석을 실시한 결과, 과포화시 미터링을 하지 않은 상황에 비해서 대기길이의 성장을 제어함으로써 앞막힘 현상을 예방하여 축의 교통상황을 안정시키고 동시에 교차도로의 통행권을 보장해 줌으로써 앞막힘 현상으로 인한 불필요한 지체가 줄어들었음을 보여준다. 그리고 전체 대상구간의 지체 및 통행속도 분석결과에서도 내부미터링을 실시하여 보다 개선된 교통상황을 가져올 수 있음을 알 수 있다. 따라서 과포화로 전이되는 교통상황에서 내부미터링의 도입을 통하여 큰 효과가 있을 것으로 판단되며, 향후 COSMOS 시스템에서는 내부미터링 전략을 적극적으로 반영하여 과포화시 시스템의 제어기능을 향상시킬 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 서울시 지방경찰청(1991), "서울시 교통신호제어 시스템 개발 연구 용역 1차년도 결과 보고서".
 2. 서울시 지방경찰청(1999), "신신호시스템 기능개선 용역".
 3. 서울시 지방경찰청(2000), "2000년 신신호시스템 기능개선".
 4. NCHRP Report 3-38(3)(1992), "Internal Metering Policy for Oversaturation Networks".
 5. McShane W. R., R. P. Roess and E. S. Prassas(1997), "Traffic Engineering", New Jersey, Prentice-Hall.
 6. Hillier. F. S. and G. J. Lieberman(2001), "Introduction to Operations Research", New York, McGraw-Hill.
 7. 최병국(1997), "Adaptive Signal Control for Oversaturated Arterials", Ph.D., Dissertation, Polytechnic University.
 8. 장진일(2000), "Formulation of a Real-time Control Policy for Oversaturated Arterials" Ph.D., Dissertation, Polytechnic University.
 9. Abu-Lebdeh G. and R. F. Benekohal(1997), "Development of Traffic Control and Queue Management Procedures for Oversaturated Arterial", TRR 1603.
- ☞ 주 작 성 자 : 이성호
 ☞ 논문투고일 : 2003. 3. 18
 논문심사일 : 2003. 4. 23 (1차)
 2003. 6. 23 (2차)
 2003. 7. 29 (3차)
 심사판정일 : 2003. 7. 29
 ☞ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

On the Introduction of the Internal Metering Policy in COSMOS

LEE, Seung-Hwan · LEE, Sangsoo · LEE, Sung-Ho

Internal metering policy(IMP) is a control strategy to improve the quality of traffic flow within a network by avoiding queue spillback or intersection blockage. It is a more aggressive control strategy than the current control strategy employed in COSMOS. A preliminary study was made to incorporate the IMP logic within the COSMOS system to improve its' functionality at oversaturated conditions. From the study results, a set of guideline for real implementation was recommended: traffic conditions, detector configurations, and control procedures, etc. A simulation study was performed to evaluate the effectiveness of the proposed guidelines. It was shown that the occurrence of queue spillback was minimized, and overall network performance was also improved by applying IMP logic as compared to COSMOS control onl.

Cognitive Evaluation of Geometrical Structure on Express Highway with Driving Simulator

LEE, Byung Joo · PARK, Min Su ·
LEE, Soo Beom · NAMGUNG, Moon

This study modeled 4-lane highway in three-dimensional virtual reality in order to overcome difficulties of field experiment, and the research subject was placed in a driving simulator. We survey the driver's cognitive characteristics to the alignment changes in the three-dimensional virtual reality highway. Especially, maximizing the identity of driving movements and virtual scenery on the basis of the data obtained by dynamic analysis module, we minimized simulator sickness for the graphic module of driving simulator. And we carried out cognitive evaluation on the basis of adjective words extracted by dictionary

and the opinion of specialist.

In this study, LISREL model was used to detect the causal relation between geometry and safety in cognitive side, and found that geometric change affects the safety of drivers by static and dynamic road safety model in three-dimensional combined alignments.

As the result, for constructing safety road, we consider drivers' cognitive characteristics as human factors in road design, and we think that they are very important factors to improve road safety.

A Study on Model Development of Pedestrian Crossing Capacity at Unsignalized Crosswalks with Pedestrian Refuge Area

KIM, Sang Gu

This study proposes methodology determining a basic pedestrian crossing capacity that plays a critical role in the installation of pedestrian signal at the crosswalks. The methodology is based on the pattern of vehicle arrived at the crosswalks. Erlang distribuion is used as headway distribution that can cover the various levels of flow rate. Models using Erlang distribution are represented by Erlang parameter (K) of 1, 2, or 3 at 2-, 4-, or 6-lane roadway in both directions. In addition, this study considered the only type of road with a pedestrian refuge area in the median that is used to wait for the allowable gap provided by the flow of another direction. As a result, the pedestrian capacity decreases as flow rate increases and Erlang parameter increases for the road with the pedestrian refuge. This study develops the models to determine the pedestrian capacity under a variety of flow rates and the outcomes of this study could be used as the criteria for the determination of the installation of pedestrian signal or for the provision of pedestrian refuge in the median of road.