

# COSMOS 시스템내의 내부미터링 제어전략 도입 방안

## On the Introduction of The Internal Metering Policy in COSMOS

이 승 환  
(아주대, 교수)

이 상 수  
(아주대, 교수)

이 철 기  
(아주대, 박사과정)

### 목 차

I. 서론	IV. COSMOS시스템의 내부미터링 적용연구
II. COSMOS 과포화제어전략 연구	1. 기본 적용 환경
1. 현황 분석	2. COSMOS시스템의 내부미터링 적용절차
2. 내부미터링 도입 필요성	V. 미터링 효과분석
III. 내부미터링 외국사례 연구	1. 시뮬레이션 환경
1. 제어 목적 및 목표	2. 효과분석 결과
2. 제어전략의 기본 개념	VI. 결론
3. 외국의 내부미터링 발달 과정	참고문헌
4. 내부미터링 적용환경	

## I. 서론

현재 서울시는 한국형 실시간 신호제어 시스템(이하 'COSMOS'라 함)을 개발한 후, 매년 시스템 안정화를 위한 기능개선 사업을 꾸준히 수행 중에 있다. 그러나 매년 늘어나는 교통수요에 인해, 특히 과포화 교통상황의 해결능력이 상당히 저하되어, 보다 적절한 과포화 제어전략이 요구되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 서울시 실시간 신호제어시스템(COSMOS)의 과포화시 제어전략의 하나로서, 현재 외국에서 활발히 연구가 진행중인 "내부미터링 제어전략(Internal Metering Policy; IMP)"의 도입을 위한 기초 연구를 하는데 그 목적을 둔다.

## II. COSMOS 과포화제어전략 연구

### 1. 현황분석

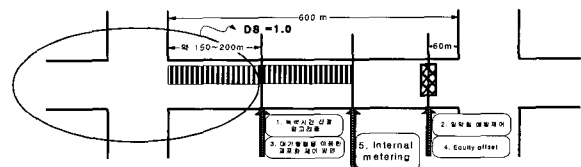
서울시 COSMOS의 과포화 제어전략 및 알고리즘은 다음의 <표 1>에 제시된 것과 같다.

<표 1> COSMOS 과포화 제어전략 종류/제어방법

제어전략	개선년도	제어 방법
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	지포화시는 포화도(DS)를 사용하며, 과포화시는 Queue length를 사용할 수 있는 주기단위포화도(CDS) 수정식 사용
4. Equity offset	2000	적정 형평 율셋 값 산출

### 2. 내부미터링 도입 필요성

서울시 COSMOS 제어알고리즘은 DS=1인 시점부터 앞막힘예방제어까지의 대기행렬 성장을 완전히 관리한다고 할 수 없다. 고로 DS=1인 시점부터 대기행렬의 성장을 모니터링하여 일정 대기행렬길이를 유지하도록 상류부 녹색시간을 미터링하는 내부미터링 전략을 활용하는 것이 바람직하다.



<그림 1> 내부미터링 적용시점

또한 내부미터링은 '링크 저장용량(Storage)의 활용 극대화'를 꾀할 수 있으며, 주요 간선축에 대한 '축 제어전략'으로도 활용할 수 있다.

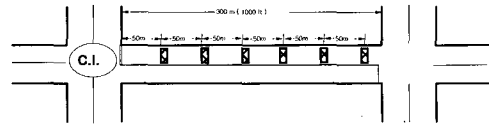
## III. 내부미터링 외국사례 문헌<sup>1)</sup> 연구

### 1. 제어 목적 및 목표

- 제어목적: "과포화 상황에서 도로시스템의 수요 관리 및 생산성 최대화"를 위한 대기행렬길이를 관리하는 것.

1) KLD & TTI, "Internal Metering Policy for Oversaturated Networks", Vol.1, 1992.

- 제어목표
  - 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 형평성있는 서비스 제공

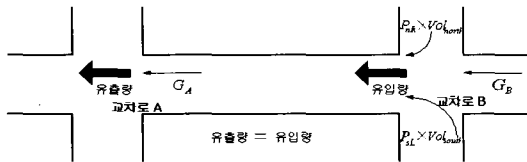


〈그림 4〉 대기행렬 검지기 설치도

## 2. 제어전략의 기본 개념

### 1) 녹색 시간 제어

링크의 하류부 유출량과 상류부 유입량이 같도록 상류부의 녹색현시를 조절하여 유입 차량 수요를 미터링을 한다.



〈그림 2〉 녹색 현시 제어 개념도

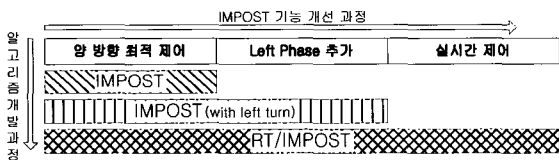
### 2) 율셋 제어

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

## 3. 외국의 내부미터링 발달 과정

기본 알고리즘은 1992년 발표된 NCHRP 3-38(3)에서 IMPOST(Internal Metering Policy to Optimize Signal Timing)라고 명명된 제어 알고리즘이 최초이다. 이후 1997년에 IMPOST with Left Turn(좌회전 현시 고려) 연구와 최근 2000년에 발표된 실시간 제어 알고리즘인 RT/IMPOST (Real-Time/ IMPOST)가 있다.

다음의 〈그림 3〉는 지금까지 설명한 내부미터링 제어 알고리즘 발달과정을 간략하게 나타내었다.



〈그림 3〉 내부미터링 제어 알고리즘 발달 과정

## 4. 내부미터링 적용 환경

### 1) 물리적 조건

- 대기행렬 검지기의 설치(50m 간격, 〈그림4〉참조)

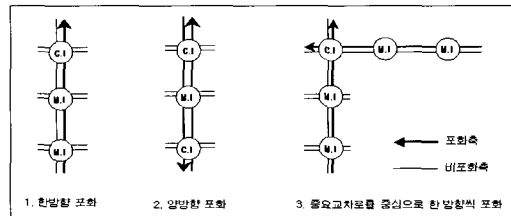
- 주요 간선축을 대상으로 적용함.
  - 링크내에서의 유입/유출이 없는 구간
  - 주변에 우회도로가 존재하는 네트워크
- 2) 운영적 조건
- 적용구간의 하류부 교통상태가 비포화인 곳
  - 회전 유입량이 적은 구간
  - 과포화 상황이 한 방향 (One-way) 및 양 방향 (Two-way) 상황을 모두 고려하고 있음
  - 현재 실시간 간선 축제어뿐만 아니라 네트워크 차원에서의 알고리즘 확장 개선이 진행중.

## IV. COSMOS시스템의 내부미터링 적용 연구

### 1. 기본 적용 환경

#### 1) 교통 환경

가급적 외국사례 연구에서 언급한 교통환경을 따르는 것을 원칙으로 하며, 본 연구의 내부미터링 제어전략 적용 대상 간선축은 〈그림 5〉와 같은 3가지 상황으로 제한한다.



〈그림 5〉 내부미터링 제어 대상

#### 2) 제어 범위 설정 원칙

- 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

#### 3) 검지기 체계

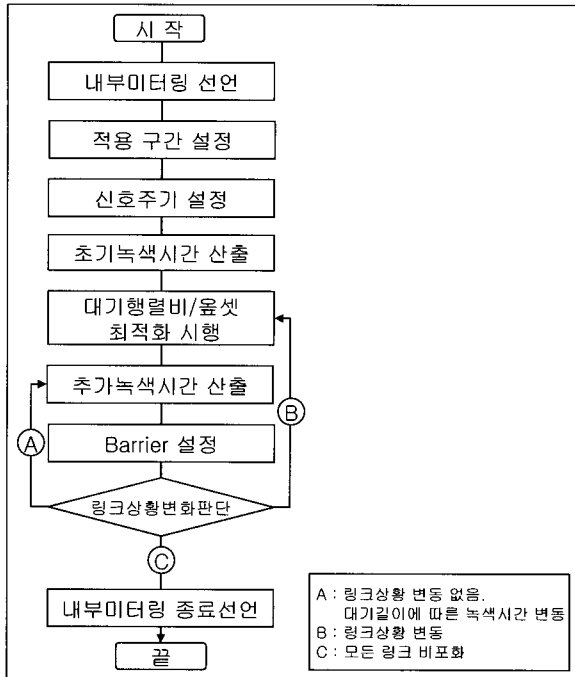
- C.I - M.I. : 기존 COSMOS 체계 유지
- M.I. - M.I. : 대기행렬 검지기 추가 설치(필수)
- 만일 검지기가 설치 불가할 경우, 사전에 미리 현장조사를 통한 패턴값 적용.

#### 4) 제어기 체계

- 적용상 H/W적인 문제는 없으나, 우회전 및 Mid-block 검지기가 설치될 경우 L/C에서 사용가능한 32개의 채널 외 추가 채널 설치 요구됨.

## 2. COSMOS 시스템의 내부미터링 적용절차

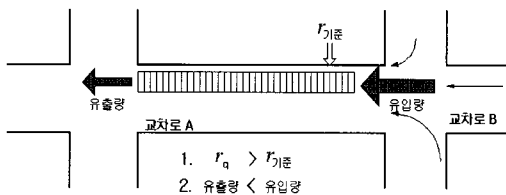
본 연구를 통해 산출된 COSMOS 내에서의 내부미터링 적용 절차는 다음의 <그림 6>과 같으며, 이 중 중요한 몇가지 단계에 대해서 보충설명을 하겠다.



<그림 6> COSMOS 시스템의 내부미터링 적용절차

[1단계] 내부미터링 알고리즘 적용 선언

- 정지대기행렬 길이비( $r_q$ )<sup>2)</sup>가 내부미터링 적용 기준 정지대기행렬 길이비( $r_{기준}$ )<sup>3)</sup>보다 큰 경우
- 유입량이 유출량 보다 많을 경우



<그림 7> 내부미터링 적용 선언 시점

[3단계] 간선 축 신호주기( $C_a$ ) 설정 : 선언시점의 중요교차로(C.I.) 주기를 사용.

[4단계] 각 접근로 별 초기 녹색시간 계산

$$G_B = s + \frac{G_A - s - \frac{C_a \times h \times (Vol_{North} \times P_{NR} + Vol_{South} \times P_{SL})}{3600 \times LN_A}}{(1 - P_R)(1 - P^A_L)} \quad 4)$$

- 2) 실시간으로 계산되는 대기행렬길이를 링크길이로 나눈 값.
- 3) 사전에 정해놓은 대기행렬비를 뜻하는 것으로 내부미터링 제어시점을 의미.
- 4) 장진일(2000). "Formulation of a Real-time control policy for Oversaturated Arterials"에서 제시된 것으로, 기호 설명은 제외함.

<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(평균녹색시간)
	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

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

현 대기행렬길이( $r_q$ )와 최적 대기행렬 길이( $r_0^*$ )의 차이( $\Delta r = r_0^* - r_q$ )를 최소화 하기 위한 일정한 추가 녹색현시( $\pm \Delta G_B$ ) 적용함.

[7단계] Barrier 설정

이전 단계에서 구한 좌회전 현시와 과포화 방향의 녹색 현시를 이용하여 Barrier를 설정하는 단계임.

[8단계] 링크 상황 변화 판단

본 단계에서는 5개 링크 분류 기준(<표3>)에 따라 매주기 링크 상황을 모니터링함.

<표 3> 링크의 상황 분류

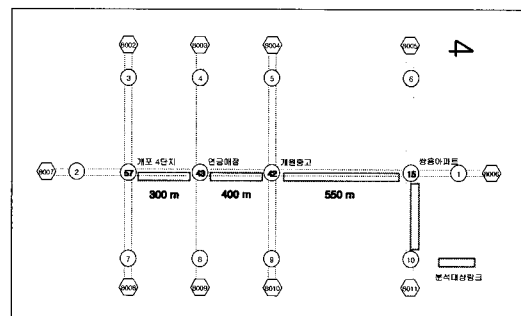
		링크 상황	링크상황 분류
상황	미터링을 요구하는 접근로	미터링을 요구하지 않는 접근로	
		Case	앞막힘 가능성 있는 경우
		A	앞막힘 가능성이 없는 경우
		Case	앞막힘 가능성 있는 경우
		B	앞막힘 가능성이 없는 경우

## V. 미터링 효과분석

본 연구에서 COSMOS 시스템에서의 내부미터링 적용에 대한 효과검증을 위해, 기존의 시뮬레이션 프로그램 중 미시적 분석 프로그램인 NETSIM을 이용하여 간략히 미터링의 효과를 분석하였다.

### 1. 시뮬레이션 환경

1) 노드, 링크 체계



<그림 8> 분석대상구간의 노드/링크 체계

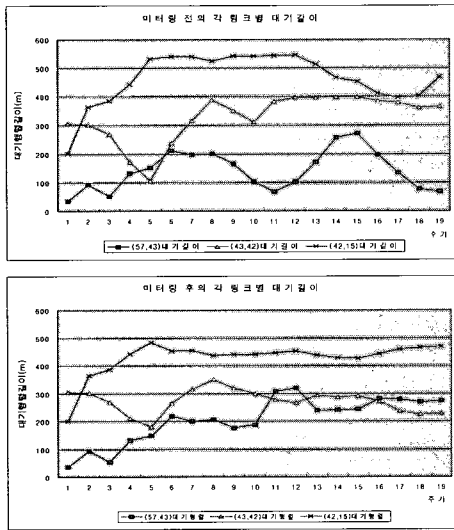
2) 신호운영자료

2001년 10월 9일 자료로서 서울시 지방경찰청의 도움을 받아 실제 운영자료를 적용하였다.

2. 효과 분석 결과

1) 링크별 대기행렬길이(〈그림9〉)

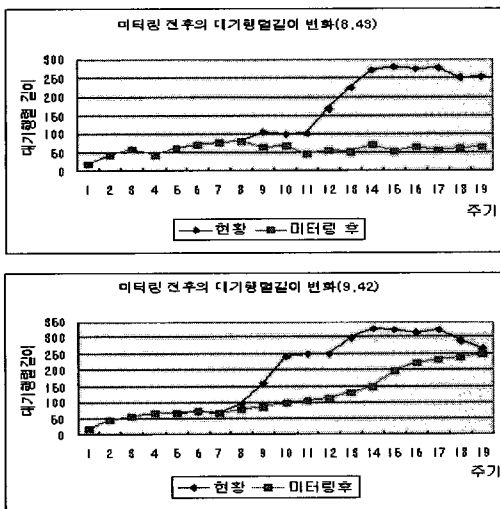
- 미터링 미적용: 대기행렬길이 일정하지 않음.
- 미터링 적용
  - (42,15)링크 → 430m의 수준 유지
  - 대부분 250~300m 수준의 대기행렬길이 유지



〈그림 9〉 미터링 전/후 링크별 대기행렬길이

2) 교차도로 통행권 보장

미터링 적용 후 간선축의 앞막힘현상으로 인한 통행권 방해가 없어 교차방향링크[(9,42)링크, (8,43)링크]의 대기행렬길이 짧아지고 있음.



〈그림 10〉 미터링 전후 교차도로상의 대기행렬 길이 변화

- 〈그림 10〉의 상황을 총 정지체 및 세부분석단위인 주기별로 차량당 평균정지체의 변화를 비교하

면 아래 〈표 4〉과 같다.

〈표 4〉 교차도로 총 정지체 및 차량당 평균정지체 비교 (단위: 초)

항 목	(9,42) 링크		(8,43) 링크	
	미터링 전	미터링 후	미터링 전	미터링 후
총 정지체	2513.8	1817.8	2009.6	1339.7
차량당 평균정지체	132.3	95.7	105.8	70.5

VI. 결론

본 연구를 수행한 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- 내부미터링은 과포화시 대기행렬 형성 및 성장을 관리함으로써 기존의 COSMOS 과포화시 제어전략과 함께 과포화시점에서 앞막힘시점까지의 상황을 효과적으로 제어할 수 있다.
- 미터링 효과분석 실시 결과, 과포화시 대기길이의 형성/성장을 효율적으로 제어하여 앞막힘현상 예방 및 안정된 간선축 교통상황 유지는 물론, 교차도로의 통행권 보장도 가능한 것으로 판단됨.
- 따라서 과포화시 제어전략의 하나로 “내부미터링 제어전략(IMP)을 적극 도입하여야 함.

참고문헌

1. 서울시 지방 경찰청(1991), “서울시 교통신호제어 시스템 개발 연구 용역 1차년도 결과 보고서”
2. 서울시 지방 경찰청(1999), “신신호시스템기능개선 용역”
3. 서울시 지방 경찰청(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. 최병국(1997), “Adaptive signal control for Oversaturated Arterials”, Ph. D., Dissertation, Polytechnic University.
7. 장진일(2000), “Formulation of a Real-time control policy for Oversaturated Arterials” Ph. D., Dissertation, Polytechnic University.
8. Abu-Lebdeh G. and R. F. Benekohal(1997), “Development of Traffic Control and Queue Management Procedures for Oversaturated Arterial”, TRR 1603