■ 論 文 ■

COSMOS 안정화를 위한 교통축 및 감응제어 방법연구

Traffic Signal Control Methods for Functional Improvements in COSMOS

이 승 환
(아주대학교 환경·도시공학부 교수)

오 영 태
(아주대학교 환경·도시공학부 교수)

이 상 수
(아주대학교 환경·도시공학부 조교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. COSMOS 교통축 정의 및 현황
1. 교통축 정의
2. 교통축 현황
Ⅲ. COSMOS 교통축 운영방안 제시
1. 교통축 제어기본방향 정립
2. 교통축 제어기법 제시
Ⅳ. 좌회전 감응제어 및 대기길이 추정 파라메터 운영방안
1. 횡단보도위치를 고려한 좌회전 감응제어기법
2. 현시구조를 고려한 좌회전 감응제어기법
3. 대기길이 추정 파라메터 설정기법
Ⅴ. 실험평가
1. 주요 교통축 운영방법 평가
2. 대기길이 추정 파라메터 설정방안 평가
Ⅵ. 결론
참고문헌

Key Words : 교통축, 좌회전 감응제어, 대기길이 추정 파라메터, COSMOS, 연동화

요 약

서울시에 설치되어 운영되고 있는 COSMOS 시스템을 보다 안정화시키기 위한 신호운영 방안을 제시하였다. 우선적으로 COSMOS 운영지역내 주요 교통축의 운영현황을 분석하고, 교통축 소통 원활화를 위한 운영방법으로서, 교통축내 SubArea간 연결성 확보방안, 두 개의 축이 교차하는 경우의 각 축별 연동성 확보방안, 옵셋전이시 발생하는 전이량 감소방안 등을 제시하였다. 그리고, 좌회전 감응제어의 수행상 발생하는 문제점을 파악하여 이에 대한 개선방안을 제시하였다. 마지막으로 대기길이 추정 파라메터에 대한 설정방안을 제시하고, 이에 대하여 현장조사를 통한 평가를 수행하였다.

제시된 방안에 대하여 시뮬레이션 및 현장조사 방법으로 사례검증을 실시한 결과, 현재 적용하는 방법과 비교하여 매우 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구결과를 더욱 발전시켜 적용하면, 향후 주요 교통축의 소통 원활화와 COSMOS 시스템의 안정화에 크게 기여할 수 있으리라 판단된다.

Ⅰ. 서론

서울시는 계속적으로 증가하는 교통수요로 인하여 신호운영 시설의 서비스수준이 저하되고 있다. 기존에 운영되고 있는 전자신호시스템은 이와 같은 교통상황을 처리하는데 한계가 있으며, 이에 대한 효율적인 대처방안 수립이 요구되었다. 이런 방안의 하나로 서울시는 1991년부터 3년 간 연구를 수행하여 실시간 신호제어시스템(COSMOS: Cycle, Offset, Split Model for Seoul)을 개발하였다(서울지방경찰청, 1991, 1992). 그리고 1993년~1995년에 강남지역의 4개 교차로를 대상으로 1차 종합실험을 실시하여 시스템 성능을 검증하였고, 1997년~1999년에는 강남·서초지역 61개 교차로에 시스템을 설치하여 시범운영을 하였다. 현재는 강남지역을 포함한 서울시 지역에 본격적으로 확대되어 운영되고 있다.

아울러 국내 첨단교통체계 활성화의 일환으로 추진되고 있는 3개 ITS 모델도시(제주시, 전주시, 대전시)에서도 COSMOS시스템이 하나의 핵심 서브시스템으로 구성되어 구축될 예정이다. 이는 COSMOS가 국내 특성에 적합하도록 만들어졌고, 필요에 따라 현장상황을 반영하도록 즉각적인 기능 개선작업이 용이하기 때문이다.

이와 같은 서울시에서의 점진적인 확장 설치와 더불어 국내모델로서 ITS 모델도시까지 적용대상이 확대되어 가는 상황에서 무엇보다 중요한 것은 COSMOS의 안정화이다. 안정화란 개발된 시스템을 현장에 적용하였을 때 발생하는 문제를 최소화시키기 위한 행위로서, 실제 운영을 통해 얻어진 수많은 장점과 단점을 분석하여 장점은 더욱 강화할 수 있도록 하고 단점은 개선의 여지를 마련함으로써 가능하다.

COSMOS를 안정화하기 위하여 과포화제어알고리즘 및 현시배분알고리즘의 개선, 그리고 감응제어 적용방안을 포함한 기능개선 연구가 연차적으로 수행되었으며, 그 결과로 보다 개선된 운영결과를 얻었다(서울지방경찰청, 1999, 2000). 그러나 COSMOS의 안정화 및 운영효율화를 위해서는 신호제어알고리즘의 개선 이외에 서울시의 교통특성을 고려한 교통제어 기법에 대한 방안제시가 필요하나 이에 대한 관련 연구는 부족한 상황이다.

우선, 서울시 교통흐름의 중심을 이루는 주요 교통축의 소통 원활화를 위하여 COSMOS 운영지역내 교통축의 효율적 운영방안에 대한 연구가 필요하다. 또한 교차로의 기하구조를 고려한 좌회전 감응제어 운영방안에 대한 연구가 필요하다. 그리고, COSMOS의 운영자 파라메터 가운데 주요 쟁점사항인 대기길이 추정 파라메터 설정에 대하여 현장 상황을 충분히 반영할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 이와 같은 연구를 통하여 개발된 신호제어 운영기법을 적용하여 COSMOS의 운영 효율을 증가시킬 수 있다.

따라서, 본 연구는 주요 교통축과 관련된 SubArea들을 중심으로 한 효율적인 운영방안과 좌회전 감응제어 및 대기길이 추정방법에 대한 검토를 수행하고, 이를 근거로 하여 COSMOS를 기능적으로 안정화시키기 위하여 현실적인 운영방안을 제시함이 주요목적이다.

Ⅱ. COSMOS 교통축 정의 및 현황

1. 교통축 정의

교통축(간선도로)은 상대적으로 접근성보다는 이동성이 높은 도로이고, 도시 내·외의 주요 지점을 연결하며 주로 통과교통을 처리하여 도로망의 주 골격이 되는 도로이다(대한교통학회, 2001). 교통축의 주된 기능은 직진 교통류를 원활하게 처리하는 것이며, 부차적 기능은 인접한 도로와의 유·출입을 원활하게 처리하는 것이다. 〈표 1〉은 도로의 위계, 특성에 따른 교통축의 선정기준을 나타낸다.

교통축은 교차로에 교통신호등이 설치되어 있으며 신호교차로간의 거리는 3km이내로서, 신호교차로간 평균거리는 300~500m, 동일기능 도로간의 간격은 500~1,000m, 차로 수는 편도 2차로 이상인 도로이다.

〈표 1〉 교통축 선정기준

도시계획도로	광로, 대로
이동성	주기능
접근성	부기능
교차로 간격	300~500m
동일기능 도로간 간격	500~1,000m

(출처: 대한교통학회, 도로용량편람, 2001)

2. 교통축 현황

서울시에서 선정한 간선도로 현황을 살펴보면 일반 간선도로는 총 26개 노선으로 총 연장은 421.2km이고, 보조간선도로는 총 123개 노선으로서 총 연장 545.8km이다. COSMOS의 확장계획은 교통축 단위 확충을 기본사업으로 하며, 대상축의 선정은 서울시 교통관리실에서 추진중인 간선도로 패키지 개선사업을 중심으로 한다. 1차 사업은 7개축으로, 2차 사업은 14개축으로 확장할 계획이다(서울지방경찰청, 2001).

현재 COSMOS 제어기가 설치된 교통축은 서울시의 26개 교통축 중 강남지역에서는 남북방향인 강남대로, 논현로, 언주로, 영동대로의 4개축과 동서방향인 봉은사로, 테헤란로, 남부순환로, 양재대로의 4개축으로 총 8개이고, 제물포로까지 포함하여 총 9개의 축으로 구성되어 있다. 그리고 COSMOS 시스템에 설치된 제어기는 총 266개이며, 모두 43개 SubArea에 설치되어 운영되고 있다.

현재 COSMOS에는 이러한 교통축들을 효율적으로 제어하기 위한 제어전략이 충분히 반영되어 있지 않으며, 이와 관련된 연구가 전무한 상황이다. 그리고 서울시의 교차로 운영특성을 고려한 COSMOS 환경하에서의 신호운영 방법론에 대한 검토 및 평가가 요구되지만, 기존에 수행된 연구는 신호제어 알고리즘 개선만이 강조되어 수행되었다(서울지방경찰청, 1999, 2000). 따라서, 본 연구에서는 COSMOS 교통축제어를 근간으로 하여 신호 운영 효율화 방안들을 검토·제시하였다.

Ⅲ. COSMOS 교통축 운영방안 제시

본 장에서는 교통축 제어기본방향을 교통상황별로 분류하여 정의하고, 이를 토대로 하여 주요 교통축 제어를 위한 운영방법을 제시하고자 한다.

1. 교통축 제어기본방향 정립

교통축 신호제어는 제어대상 내 도로위계중 주요 교통축에서 실시하기 위한 것으로서, 통과교통량의 이동성 확대를 위한 제어방법을 의미한다. 교통상태별 축제어 방법은 다음과 같다.

1) 한산 및 근포화상황시 축제어 방법

차량 이동성을 높이면서도 적정 속도를 유지하기 위해 축내 제어그룹간 결합을 장려하여 진행대폭(Bandwidth) 최대화를 위한 옵셋제어[1]를 실시한다. 또한 축과 축이 만나는 경우에는 두 축의 연동을 동시에 최대한으로 보장할 수 있도록 신호시간을 조정한다.

교통류가 한산한 상황에서 SubArea의 주기길이와 녹색시간은 중요교차로를 중심으로 이동류별 수요에 맞게 신호시간을 자동 조절한다. 교통류가 포화상황에 근접한 근포화 상황에서는, 대기행렬이 형성되어 포화 및 과포화상황의 축제어 방법으로 넘어가는 전단계에서 실시하는 제어방법을 적용하여 지체를 최소화하고 교차로 연동성을 최대한 보장하도록 한다.

2) 포화 및 과포화상황시 축제어 방법

포화상황에서는 대기행렬의 확산을 억제하기 위하여 주방향에 녹색시간을 추가로 제공하고, 미터링 제어의 1단계를 적용하여 하류부의 녹색시간을 증가시킨다. 그리고, 이를 통하여 대기행렬의 확산이 억제되지 않는 경우에는 미터링제어의 2단계를 적용하여 상류부도로에서 축으로 유입되는 직진 및 회전교통류의 녹색시간을 감소시킨다. 또한 앞막힘 현상에 대한 상시감시체제를 유지하여 앞막힘 현상 발생 즉시 Equity Offset[2] 제어를 실시하여 과포화상황시 대기행렬로 인한 영향을 최소화하도록 한다.

2. 교통축 제어기법 제시

주요 교통축 제어의 운영 효율성을 높이기 위한 방안으로 교통축내 SubArea간 연결성 확보, 교통축 교차지점의 축별 연동성 제고, 옵셋 전이로 인한 영향 최소화를 위한 제어방안을 각각 제시하였다.

---

1) 교차로에서 방출된 차량군이 하류부 교차로의 녹색시간 시작순간에 도착하도록 옵셋을 조절하여, 차량이 정지하지 않고 계속적으로 진행하고 주기당 녹색신호시간 이용률을 극대화하는 제어이다.

2) 과포화 상황에서, 상류부 교차로에 앞막힘 현상이 발생하더라도 상류부 교차도로의 차량들이 주어진 현시시간 동안 상류부 교차도로를 통과할 수 있는 통행권을 제공하는 제어기법이다.

1) 교통축내 SubArea간 연결성 확보

현재 COSMOS 운영지역에서 주요 교통축들은 여러 개의 SubArea로 나뉘어 운영되고 있고, 각 SubArea 사이의 연동성이 보장되지 않아 교통축의 본래 기능을 발휘하기가 어렵다. 그러므로 교통축의 기능성을 보장하기 위해서는 동일 교통축내 SubArea간의 연계를 강화시켜야 한다.

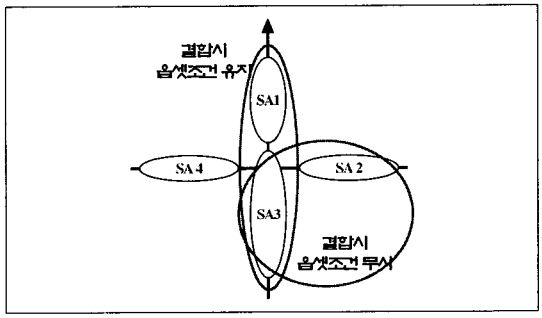
● 운영방법

교통축내 SubArea들 사이에서 교통축의 연동성 확보를 위해 교통조건이 일정한 조건을 만족한다면 결합하여 운영하도록 한다. SubArea가 교통축 상에 위치할 경우, 기존의 SubArea 결합분리 알고리즘에서 다음의 설정방안을 이용하여 설정하도록 한다.

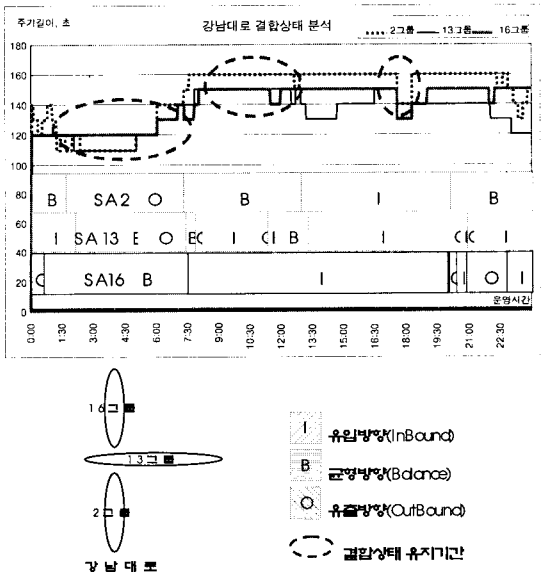
- 결합가능 대상 SubArea 설정
  - 교통축내 SubArea들 중에서 하나로 결합하여 운영이 가능한 결합가능 대상 SubArea를 설정한다.
- 결합조건 설정
  - 결합된 SubArea들의 형태에 따라 결합조건인 옵셋 조건을 유지할 것인지, 무시할 것인지에 대한 옵셋 조건 사용여부를 설정한다. 예를 들어, 〈그림 1〉에서 SA1과 SA3의 결합은 옵셋조건이 유지되어야 하고, SA2와 SA3과 같은 구조적 특성이 있는 경우의 SubArea간의 결합은 옵셋 조건이 무시되어야 한다.
- 우선 결합 SubArea 설정
  - 동일 교통축내에 존재하지 않는 SubArea와 결합된 상태로 운영되더라도, 동일 교통축과 결합 가능한 교통조건이라면 우선적으로 결합할 수 있도록 우선 순위 설정이 가능하도록 한다. 예를 들어, 〈그림 1〉의 SA2과 SA3이 결합된 상태로 운영 중 SA3이 동일 교통축 내에 있는 SA1과 결합 가능한 교통조건이면, SA1과 우선적으로 결합하도록 설정한다.

〈그림 2〉는 2001년 9월 24일 24시간동안 강남대로의 3개 SubArea가 하나의 교통축으로 결합되어 운영 가능한 시간대 및 교통상황을 분석한 것으로, SubArea간의 결합주기 조건이 10초 이내이고, 유입·유출 방향이 동일한 교통상황일 때의 결합 가능한 시간대를 그림에 나타내었다. 〈그림 2〉의 하단부에는 3개 SubArea의 그룹운영자료의 그룹번호와, 그림에서 사용된 옵셋패턴에 대한 지표가 설명되어 있다.

현재, 강남대로의 SubArea(SA) 설정현황은 〈그림 2〉에 잘 나타난 대로 SA2와 SA16은 강남대로의 남북방향의 교통축을 형성하고, SA13은 강남대로 상에 있지만 테헤란로와 이어지는 동서방향의 교통축을 형성하고 있어, SA2와 SA16에 대한 연결성 확보를 통한 운영만 이뤄지고 있을뿐, SA2, SA13, SA16 3개의 SA가 하나의 교통축으로 결합되어 운영되고 있지 않다. 그러나 본 연구에서 제시된 조건을 이용하여 분석한 결과, 〈그림 2〉에 타원으로(◯) 제시된 바와 같이, 하루 중에서 일정시간 동안에 3개 SA가 하나의 교통축으로 결합되어 운영될 수 있음이 파악되었다.



〈그림 1〉 SubArea 결합을 위한 옵셋조건 설정



〈그림 2〉 결합상태분석-강남대로

그리고 위에서 제시된 SubArea 결합분리 설정방안을 강남대로에 적용할 경우, 우선 결합가능한 대상 SubArea를 설정한다. SA13의 경우에는 SA의 구조가 동서방향으로 교통축이 형성되어 있어 남북방향의 SA2와 SA16과는 동일방향의 구조가 아니므로, SA13이 SA2와 SA16과 결합하기 위해서는 〈그림 1〉에 제시된 대로, 결합조건시 옵셋조건을 무시하도록 설정해야 한다. 그 다음 단계로, 우선 결합 SubArea를 설정하는데 〈그림 2〉의 하단부에 나타난 대로, 구조가 동일방향인 SA2와 SA16의 결합이 우선적으로 이루어지도록 설정해야 한다.

2) 교통축 교차지점의 축별 연동성 제고

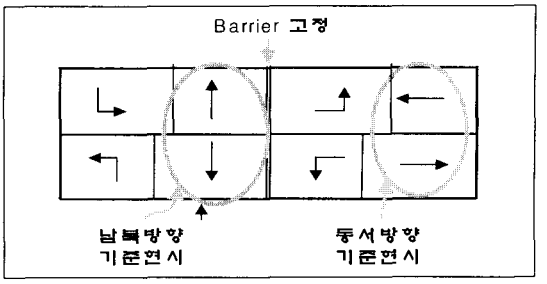
현재 옵셋을 이용한 축의 연동성은 하나의 축에 대해서만 보장되고 있지만, 실제로 두 개의 축이 교차하는 경우가 많이 발생한다. 기존의 운영방법은 어느 한 축의 연동성은 고려하지 않고 운영되고 있다. 따라서, 동일기능의 교통축이 교차하는 경우에는 두 교통축 모두의 연동성을 최대한 보장하도록 교차지점 교차로에서의 특별한 처리가 요구된다.

- 운영방법

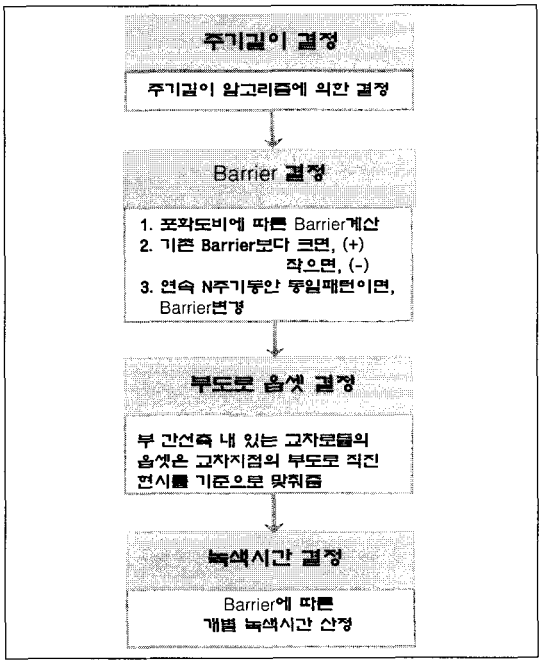
첫 번째로 제시된 방안의 개념적인 접근방법은 〈그림 3〉에 제시되어 있다. 현재는 주기단위로 Barrier[3]가 계산되어 다음주기에 적용되므로, Barrier의 잦은 변동시 부방향에 대한 연동성을 유지하기 힘든 상황이 발생한다. 그러므로 일정주기동안 Barrier를 고정시켜 일시적인 Barrier의 변동을 줄여 두 교통축에 대한 옵셋을 유지하도록 한다.

이를 수행하는 절차는 〈그림 4〉와 같다. 두 교통축이 교차하는 교차로에서 Barrier내의 현시 분할은 현재와 같이 계산하지만, 계산된 Barrier 값을 기존의 값과 비교한 뒤, 지정된 N주기 동안 Barrier의 증가 또는 감소패턴이 동일한 패턴이면 Barrier를 변경한다. 이 때 Barrier가 결정된 후 현시분할은 기존의 방법과 마찬가지로 포화도비에 따라 분할해 준다.

두 번째로 제시된 방안은 부도로 현시 고정방법으로 두 축에 대한 옵셋을 모두 맞추기 위해 부도로의 직진 현시를 고정시켜 부도로의 옵셋을 맞추고, 나머지 현시는 수요에 따라 분할하는 것이다. 이는 〈그림 5〉,



〈그림 3〉 고정 Barrier 개념도

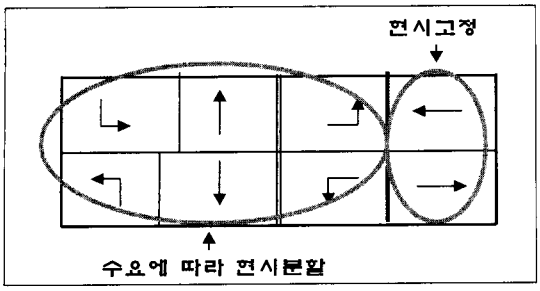


〈그림 4〉 고정 Barrier 결정절차

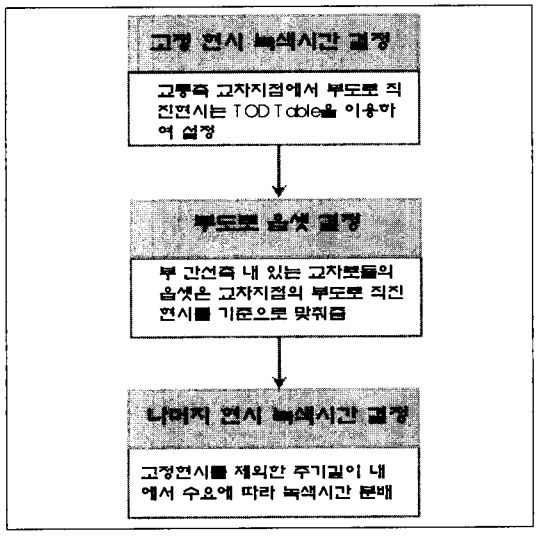
〈그림 6〉과 같이 나타낼 수 있다. 이 방안은 비록 한 개의 부도로 현시를 고정하여 운영하지만, 나머지 현시에 대해서는 수요에 따른 현시분할이 가능한 장점이 있다. 그러나 부도로 직진현시는 수요에 대한 실시간 대응이 불가능하기 때문에 부도로 접근로의 서비스 수준이 악화될 가능성이 큰 단점이 있다. 그러므로 부도로 교통상황을 주기적으로 점검하는 방안이 함께 고려되어야 한다.

두 축의 연동성을 동시에 최대한으로 보장하기 위해서는 특정방향의 신호현시를 조절하여야 한다. 그러므로 연동화 효과를 충분히 발휘할 수 있는 근포화 상황에만 제시된 방안들의 적용이 가능하다. 그리고 이

3) 현시 계획상 링별로 진행되는 이동류를 동시에 종료하고, 다음 현시로 이동할 수 있도록 규정된 시간 경계.



〈그림 5〉 부도로 현시 고정 개념도



〈그림 6〉 현시 고정 결정절차

방안들을 현실적으로 적용하기 위해서는 현재 COSMOS 알고리즘의 수정이 불가피하므로 이에 대한 검토가 필요하다.

3) 옵셋전이로 인한 영향 최소화

교통상황의 변화로 주기와 옵셋과 같은 신호제어변수가 변경될 때마다 옵셋전이가 발생하게 되는데 이 전이과정 중에는 SubArea내 다른 교차로와 주기 및 옵셋이 일치하지 않으므로 연동성이 확보되지 않는다. 따라서, 효율적인 교차로 운영을 위해 빈번하고 큰 옵셋전이량은 바람직하지 않으며, 이에 대한 방안이 요구된다.

- 운영방법

옵셋전이로 인한 영향을 최소화하기 위해 인접한 교차로와의 옵셋을 고려하여, 동일 SubArea내에 교차로들의 옵셋전이량 중 공통적으로 적용된 값을 전체적으로 뺀 후 실제 적용할 옵셋 전이량을 산출한다. 이 방법은 전이량의 폭을 줄여 SubArea내에 옵셋전이로 인한 교차로의 비효율적인 운영을 줄일 수 있다.

제안방식은 해당 SubArea가 SystemClock이 아닌 GroupCount[4]방식으로 운영되는 경우와 옵셋 전이량이 현재 방법과 제안된 방법을 비교하여 제안 방식이 현재방법보다 전이량이 적은 경우에만 수행한다.

Ⅳ. 좌회전 감응제어 및 대기길이 추정 파라메터 운영방안

본 장에서는 COSMOS에서 좌회전 감응제어 운영을 수행함에 있어, 현장에서 발생하는 문제점들에 대한 전략적인 대응방안과 대기길이 추정 파라메터 설정 방안에 대한 검토를 수행하였다.

현재 COSMOS는 다양한 감응제어를 수행하고 있으나, 좌회전 감응제어와 관련해서는 〈표 2〉와 같은 문제점들이 제시되고 있다. 제시된 문제점들은 기존에 연구가 수행된 좌회전 감응을 위한 최적 제어 변수의 결정(서울지방경찰청, 2000)과는 달리, 해당 교차로의 지형적인 조건을 고려한 좌회전 감응제어의 운영방법을 대상으로 한다.

본 연구에서는 〈표 2〉에 제시된 좌회전 감응제어의 문제점들을 개선하기 위한 운영방안을 개념적인 측면에서 검토하여 제시하였다. 그리고 COSMOS의 운영 변수들 중에서 운영결과에 큰 영향을 미치는 중요한 변수 중 하나인 대기길이 추정 파라메터 설정방안에 대한 방법론을 검토하고, 나아가 현장조사를 통한 평가를 수행하였다.

〈표 2〉 좌회전 감응제어의 문제유형사례

문제유형	해당교차로
3지교차로의 횡단보도로 인한 좌회전 감응제어 수행 문제	봉은사 3거리
3지교차로의 현시배열의 부적절한 설정으로 인한 좌회전 조기종결 문제	용문산

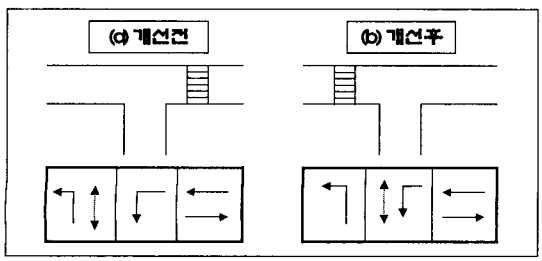
4) 현장의 신호제어기와 주기 및 옵셋을 맞추기 위하여 센터시스템 내부에서 카운터를 사용하는데, 이때 사용되는 방식으로는 시스템 전역을 하나의 카운터로 사용하는 시스템카운터방식(SystemClock)과 제어그룹별로 독립된 카운터를 사용하는 그룹카운터방식(Group Count)이 있다.

1. 횡단보도위치를 고려한 좌회전 감응제어기법

3지 교차로의 경우, 감응제어 현시동안 횡단보도 녹색시간이 제공되는 경우 좌회전 감응제어의 효율이 감소하게 된다. 이로 인한 영향을 최소화하기 위해서는 횡단보도 녹색시간을 감응제어 현시와 분리해서 운영하거나, 감응제어가 수행되는 이동류에서 필요로 하는 최소녹색시간이 횡단보도 녹색시간보다 큰 경우에만 제한적으로 운영해야 한다.

횡단보도 녹색시간과 감응제어 현시를 분리 운영하기 위해서는 횡단보도 위치가 중요하다. 이에 대한 예로서, 〈그림 7〉과 같은 형태의 3지 교차로에서 횡단보도의 위치를 고려해보면, 만약 (a)와 같이 동쪽 접근로에 횡단보도가 위치하면, 남쪽 접근로에서의 좌회전이 감응제어시 조기종결되더라도 횡단보도의 최소녹색시간을 유지시켜야 하기 때문에 좌회전 조기종결의 효율성이 떨어지게 된다. 그러나, 남쪽 접근로에서의 좌회전 감응제어를 하기 위해서는 (b)와 같이 횡단보도가 서쪽 접근로에 위치하는 경우에 현시배열의 변경으로 감응제어가 가능하다.

이러한 방안은 3지 교차로에서 횡단보도와 감응제어와의 관계를 보인 것으로서, 서쪽 접근로에 횡단보도가 설치되고 남쪽 접근로에 좌회전 감응제어를 실시한 (b)경우처럼, 횡단보도가 감응제어를 할 수 있는 위치에 설치된 경우에는 문제가 되지 않지만, 그렇지 않은 경우에는 횡단보도의 최소녹색시간 유지 등의 문제로 인해 감응제어를 수행하는데 있어 어려움이 따른다. 따라서 좌회전 감응제어를 수행하기 위해서는 횡단보도의 위치에 따라 감응제어 수행여부를 결정해야 하고, 횡단보도를 새롭게 설치할 경우에는 감응제어를 고려하여 설계되어야 한다.



〈그림 7〉 횡단보도를 고려한 좌회전 감응제어 방안

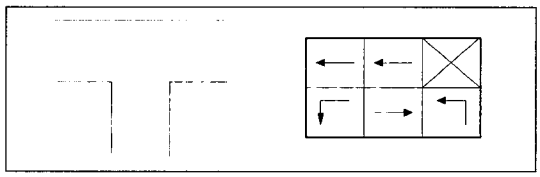
2. 현시구조를 고려한 좌회전 감응제어기법

3지 교차로에서 〈그림 8〉과 같이 좌회전 감응현시가 현시구조상 가장 마지막에 위치할 경우에는 좌회전 조기종결로 인해 모든 이동류가 녹색시간을 부여받지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 이 경우 좌회전 감응제어를 실시하지 않는 방안이 더 바람직하나, 이에 따른 교차로 녹색시간 이용율이 저하될 수 있다. 그러므로, 좌회전 감응현시의 위치변경을 통한 개선방안을 검토할 수 있다.

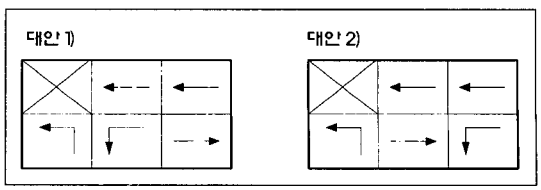
〈그림 9〉는 〈그림 8〉에서 제시된 문제점을 개선하기 위한 대안을 나타낸 것이다. 두 대안 모두 남쪽 방향의 좌회전 현시를 현시계획의 시작부로 배치하여, 좌회전 감응제어로 인한 조기종결시 다음 현시에 사용되지 않은 녹색시간을 부여한다. 대안 1)의 경우, 두 번째 좌회전 현시에 첫 번째 현시의 좌회전 조기종결로 인한 잔여시간이 합쳐지면, 좌회전에 필요이상의 신호시간 할당될 수 있으므로, 조기종결 후 잔여시간을 할당하는 문제가 고려되어야 한다.

대안 2)의 경우, 직진현시 다음에 좌회전 현시가 시작되므로 현시순서변화에 대한 운전자 혼란이 발생할 수 있다. 따라서, 운전자가 이러한 상황을 미리 인지하고 대응할 수 있도록 사전교육, 홍보활동, 안내표지설치 등을 통한 안전성을 확보하여야 한다.

이러한 대안들에 대한 최종 선택은 해당 교차로의 교통류 패턴을 고려하여 결정하여야 하며 필요한 경우 사전 평가를 실시하여야 한다.



〈그림 8〉 현시구조에 따른 좌회전 감응제어 : 현황



〈그림 9〉 현시구조에 따른 좌회전 감응제어 : 대안

3. 대기길이 추정 파라메터 설정기법

COSMOS 시스템에서 대기길이는 각 접근로에 매설된 대기행렬 검지기에서 수집된 속도자료를 이용하여 계측되는데, 검지기별 속도는 S1, S2 등의 파라메터를 이용하여 정체도로 환산되고, 각각의 정체도내에서 임계정체도(ThDoc)에 해당하는 지점까지를 해당 접근로의 대기길이로 한다. 〈표 3〉은 대기길이 추정 파라메터의 정의 및 설정범위 등에 대한 설명이다.

이와 같이 대기길이 추정 모형은 여러 파라메터들이 사용되고 있으나, 현재 명확한 설정방법이나 지침이 제시되어 있지 않다. 그리고 변화하는 교통상황에 대한 이들 파라메터 사이의 일관된 특성을 도출하기 어렵고, 이 파라메터들의 최적 상태를 도출하기 위한 이론적인 모형의 적용 역시 한계성을 가지고 있다. 그러므로, 현장조사를 통하여 파라메터를 최적화시키는 방안이 보다 현실성을 가진 대안이라고 평가된다.

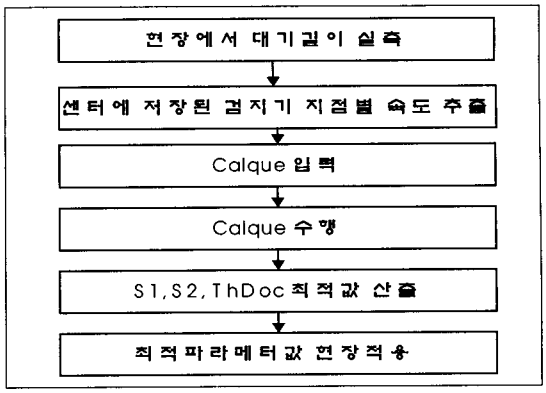
이와 관련하여 현장조사를 통한 교차로별 파라메터를 최적화시키는 대기길이 추정 파라메터 산출 방법(이하 'Calque'라 함)이 제시되고 있다(서울지방경찰청, 1999).

Calque는 대기길이 추정 파라메터를 설정하고자 하는 접근로에 대한 관측대기길이, 검지기 지점별 속도를 입력변수로 하여, S1, S2, ThDoc를 순차적으로 최적화하여 값을 결정한다.

〈그림 10〉은 Calque를 이용한 대기길이 추정 파라메터 설정을 위한 절차이다. 현장조사를 통하여 대기길이를 실측하고 센터에 저장된 검지기 지점별 평균속도를 추출한다. 이와 같이 수집된 지점별 평균속도, 관측대기길이, 검지기 매설위치를 Calque의 입력값으로 사용한다. Calque를 사용하기 위해서는 DOS 화면에서 다음과 같은 명령어를 입력한다.

〈표 3〉 대기길이 추정 파라메터 설정내용

종류		용도	기본값	범위	단위
대기길이 추정 파라메터	S1	정체도 1에 대응되는 링크내의 최저속도	5	0~100	km/h
	S2	정체도 0에 대응되는 링크내의 최고속도	70	0~100	km/h
	임계정체도 (ThDoc)	대기길이 끝부분의 속도에 대응되는 정체도	7	0~10	-



〈그림 10〉 대기길이 추정 파라메터 설정절차

Usage : CALQUE_2.EXE In-file Out-file det_pos1 det_pos2

In-file : 데이터가 있는 파일명으로 확장자 포함

det_pos1 : 첫 번째 대기행렬 검지기 설치위치(m)

det_pos2 : 두 번째 대기행렬 검지기 설치위치(m)

Calque 수행 후, 출력값으로는 S1, S2, ThDoc, SSE(오차제곱합), 검지기 지점별 평균속도, 관측대기차량수, 계산대기차량수가 있으며, 그 중에서 S1, S2, ThDoc 값을 적용하여 대기길이를 추정한다.

검토결과, 이 알고리즘은 현장상황을 적절히 반영할 수 있고 알고리즘 수행시간도 적은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이 알고리즘을 기본적으로 수용하여 현장 적용 결과에 대한 신뢰성을 평가하여 제시하고자 한다.

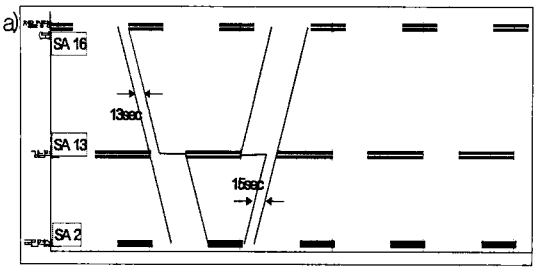
V. 실험평가

본 장에서는 앞에서 제시된 주요 교통축 제어를 위한 운영방법들과 대기길이 추정 파라메터 설정방안에 대하여 현장조사 및 시뮬레이션을 이용하여 제시된 설정방안별로 각각 평가를 수행하였다.

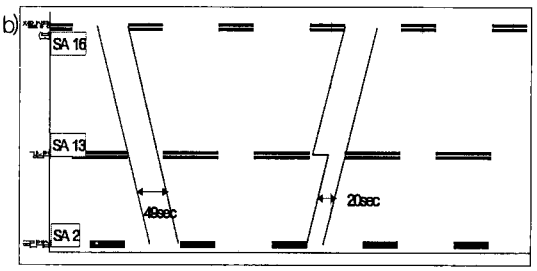
1. 주요 교통축 운영방법 평가

1) 교통축내 SubArea간 연결성 확보

본 연구의 제안방법에 따른 SubArea의 결합분리 효과를 평가하기 위하여 진행대폭의 변화를 시공도로 나타내었다. 실험지역은 강남대로상의 3개 Subarea이



(a)결합전



(b)결합후

〈그림 11〉 제어단위 결합시 진행대폭 비교

고, 2001년 9월 24일 6:00~8:00 사이에 실제 운영된 신호운영자료를 이용하였으며, 분석결과는 〈그림 11〉과 같다. SubArea 결합전의 상황은 SubArea내의 연동은 잘 이루어지나 SubArea간 연동이 되지 않아 진행대폭이 좁은 반면, SubArea의 결합시에는 진행대폭이 확장되어 축의 연동성 확보가 증가함을 보여준다.

이를 객관적으로 평가하기 위해서 교차로의 연동성을 평가하는 지표 중 하나인 Efficiency를 이용하여 연동성 확장 효과를 평가하였으며, 그 수식은 다음과 같다(Chang and Messer, 1991).

$$Efficiency = \frac{(Band\ A + Band\ B)}{(2 \times Cycle)}$$

여기서,

Band A : A방향 진행대폭(초)

Band B : B방향 진행대폭(초)

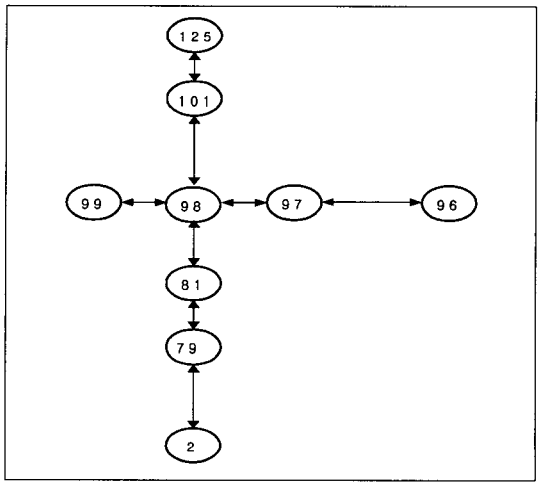
Cycle : 주기(초)

수식에 의한 계산 결과, 결합전은 Efficiency가 0.13이고, 결합후는 0.31로 나타났다. 따라서 결합후의 Efficiency값이 결합전의 값보다 크게 나타나므로 결합후의 연동성 효과가 큰 것을 알 수 있다.

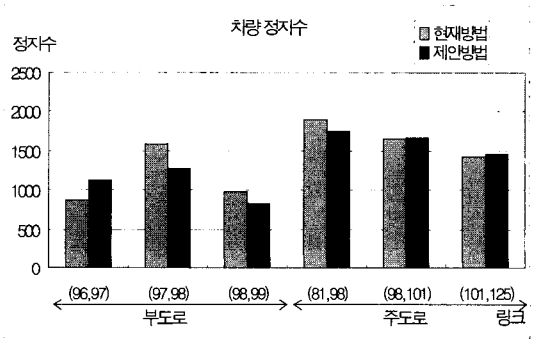
2) 교통축 교차지점의 축별 연동성 제고

본 연구에서 제시된 두 가지 방안 중 〈그림 4〉에 제시된 고정 Barrier 방안에 대한 평가를 실시하였다. 이를 위하여 〈그림 12〉와 같이 강남대로와 테헤란로가 교차하는 중요 교차로(98번;강남역)를 포함한 9개의 교차로에 대한 2001년 10월 17일 오전 7:10~7:52의 실제 신호운영자료를 이용하여 교차지점의 Barrier의 고정과 옵셋의 조정 방법을 통한 연동화의 효과를 시뮬레이션 프로그램 CORSIM(FHWA, 2001)을 사용하여 평가하였다.

우선 두 교통축이 교차하는 중요교차로인 98번 교차로(강남역)에서 두 축에 대한 옵셋을 유지시키기 위해 Barrier는 최소 3주기동안 고정시키고 〈그림 4〉에 제시된 결정절차에 따라 부방향의 교차로들의 옵셋을 조정하여 평가하였다. 그리고, 기존의 운영방안에 대하여도 동일한 조건에서 시뮬레이션을 실시하여 각각의 결과를 비교·분석하였다.



〈그림 12〉 시뮬레이션 대상구간



〈그림 13〉 차량 정지수 비교

〈그림 13〉은 각각의 방법에 의해 제어를 수행하였을 때의 각 교차로의 차량정지수의 변화를 나타낸 것이다.

분석 결과, 부도로는 연동성의 보장으로 분석기간 동안의 총 차량정지수가 기존의 운영방법과 비교하여 평균적으로 5.9%(205회) 감소하였다. 그리고 주도로는 총 차량정지수가 평균적으로 2.1% (103회) 감소하는 결과를 얻었다. 따라서, 제시된 방안을 적용하여 주도로와 부도로 모두 연동성이 증가하는 결과를 얻었으며, 이는 고정 Barrier 방안 적용을 통한 부도로의 연동화 효과가 있음을 보여준다.

3) 옵셋전이로 인한 영향 최소화

옵셋전이로 인한 영향을 최소화하기 위한 방안에 대한 검증을 위하여 강남대로 상의 4개 교차로에서 수집된 신호 운영자료를 이용하여 분석하였다. 제시된 〈표 4〉와 〈표 5〉는 옵셋전이 수행시 실제 계산될 전이량을 현재방법과 제안방법을 사용하여 계산한 결과이다.

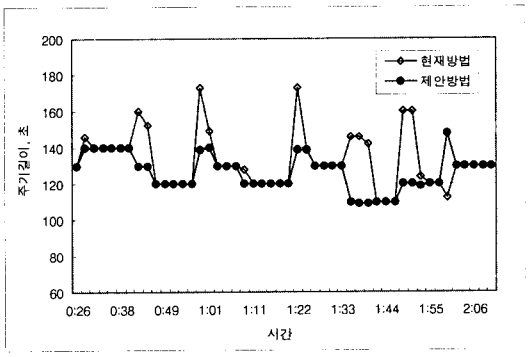
현재방법에 제시된 값들은 현장에서 실제 적용하고 있는 값이고, 제안방법으로 계산된 옵셋 전이량은 각 전이시간대 별로 최소 전이량을 구한 뒤, 4개 교차로의 현재 전이량에서 빼준 값이다. 분석 결과, 제안방법으로 산출된 옵셋 전이량이 4개 교차로 모두에서 큰 폭으로 감소된 결과를 얻었다. 예를 들어, 뱅뱅사거리(뱅뱅R)의 경우 분석기간 동안의 총 전이량이 370초에서 72초로 298초(80.5%)가 감소하였다. 4개 교차로의 총 전이량은 787초에서 285초로 502초(63.8%)가 감소하였다.

〈표 4〉 현재방법에 의한 옵셋 전이량

전이 시간	우성A (초)	뱅뱅R (초)	양재역 (초)	교육방송 (초)	최소값 (초)	총전이량 (초)
0:31	27	6	33	15	6	81
0:49	52	72	53	66	52	243
1:03	55	62	43	59	43	219
1:13	8	8	16	11	8	43
1:29	54	52	34	49	34	189
1:40	2	104	6	-4	-4	108
1:55	-35	84	-30	-23	-35	-4
2:06	-17	-18	-36	-21	-36	-92
합계	146	370	119	152	n/a	787

〈표 5〉 제안방법에 의한 옵셋 전이량

전이 시간	우성A (초)	뱅뱅R (초)	양재역 (초)	교육방송 (초)	최소값 (초)	총전이량 (초)
0:31	21	0	27	9	0	57
0:49	0	20	1	14	0	35
1:03	12	19	0	16	0	47
1:13	0	0	8	3	0	11
1:29	20	18	0	15	0	53
1:40	6	-2	10	0	-2	14
1:55	0	-1	5	12	-1	16
2:06	19	18	0	15	0	52
합계	78	72	51	84	n/a	285



〈그림 14〉 주기길이 변화: 뱅뱅사거리

〈그림 14〉는 각각의 옵셋 전이량 값을 적용할 경우뱅뱅사거리의 주기길이 변화를 분석한 결과이다. 그림에서 보듯이 제안된 방법으로 전이를 수행하면 현재 방법과 비교하여 분석기간 동안 약 81%(300초) 가량 전이량이 감소함을 알 수 있다. 그리고, 주기길이의 전이 패턴도 제안방법이 상대적으로 완만한 형태를 보여주므로 보다 효율적인 교통류 제어를 통한 개선된 결과를 기대할 수 있다.

2. 대기길이 추정 파라메터 설정방안 평가

대기길이 추정 파라메터 설정방안을 평가하기 위하여 실측 대기길이 값을 현장조사를 통하여 조사하였다. 이는 우선적으로 Calque 알고리즘의 입력값으로 사용하고, 계산된 대기길이와 비교하기 위한 두 가지 목적으로 수행되었다. 자세한 현장조사개요는 다음과 같다.

- 조사장소 : 영동대로상의 종합전시장(114번 교차

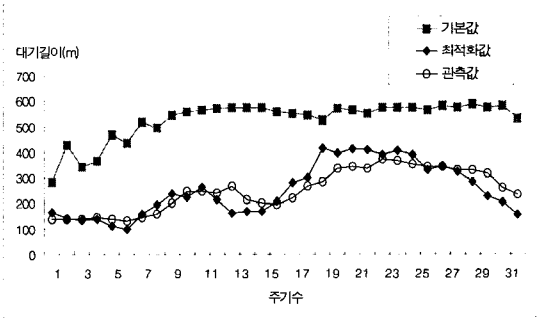
로) 북측 접근로

- 조사일시 : 2002년 4월 12일(금) 오후 3:30~4:30
- 조사항목 : 계산된 대기길이와 비교하기 위한 실측대기길이와 신호운영자료
- 조사방법 : 현장조사 전에 미리 10m단위로 접근로에 표시해 둔 뒤, 대기행렬 검지기가 매설된 2, 3, 4차로에 각각 한 명씩 배치하여 녹색신호가 시작할 때의 대기길이 측정한다. 차로별로 수집된 대기길이를 평균하여 북측 접근로의 최종평균대기길이를 산출한다.

〈그림 10〉에서 제시된 흐름도를 적용하여 종합전시장 북측 접근로 190m에 설치된 대기행렬 검지기와 570m에 설치된 앞막힘 검지기에서 올라오는 각각의 속도자료와 종합전시장 북측 접근로에서 오후 3시 44분부터 32주기동안 관측한 대기길이자료를 입력값으로 하여 분석을 실시하였다. 그리고, Calque 알고리즘을 적용하여 종합전시장 북측 접근로의 최적 파라메터를 산출하였다.

〈그림 15〉는 현장조사를 통해 수집된 대기길이(관측값)와 파라메터 최적화를 통한 최적값, 그리고 현재 사용하고 있는 파라메터 기본값을 적용한 경우의 대기길이를 각각 비교한 결과이다.

분석결과, 현재 사용하고 있는 기본값을 적용하여 산출된 결과는 현장의 관측값과 큰 차이가 있음을 알



〈그림 15〉 대기길이 값의 비교

〈표 6〉 Calque 수행을 통한 오차값 비교

	파라메터 최적화값 사용시	파라메터 기본값 사용시
관측치와 오차 제곱합(SSE)	2019.09	66463.46

수 있다. 그러나 파라메터 최적화를 통하여 계산된 대기길이는 관측값과 큰 차이가 없이 주기별로 변화하는 추세선을 적절히 반영함을 알 수 있다.

〈표 6〉은 최적값과 기본값을 적용할 경우, 관측값과의 오차제곱합을 계산한 결과이다. 결과에서 보듯이, Calque를 통하여 최적화를 실시하여 오차를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다. 따라서, Calque 알고리즘의 적용은 매우 현실적인 방안이며, 이를 통하여 매우 정확한 대기길이 추정치를 얻을 수 있으리라 판단된다.

Calque의 수행결과로 결정되는 S1, S2, ThDoc 값을 현장에 직접 적용해야 하는 방법이외에, 교통수요와 현장특성 등에 따른 부분적인 파라메터 변경이 현실적으로 가능한지 여부를 파악하고, 각각의 파라메터의 조정이 대기길이 추정에 얼마나 영향을 미치는가를 고려해 볼 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 종합전시장교차로 자료를 이용하여 각 파라메터 변경에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

종합전시장의 자료를 이용하여 Calque를 수행한 결과로 얻어진 파라메터 최적값인 S1=2.00, S2=45.00, ThDoc=0.70를 기준으로 설정하고, 190m 대기길이검지기 속도는 17km/h, 570m 대기길이검지기 속도는 27km/h를 적용하여 민감도 분석을 수행하도록 하였다.

우선, S1의 민감도 분석을 위하여 S2와 ThDoc를 고정시키고 S1을 0~100사이에서 1단위씩 증가시켜 대기길이를 계산하여, 부적절한 S1 적용범위를 제외시켰다. 동일한 방법으로 S1=2.00, ThDoc=0.70으로 설정하고 S2를 0~100범위에서 1단위씩 증가시켜 사전 분석을 실시하였다. 분석한 결과, 현실적으로 분석이 가능한 S1, S2 변수의 민감도 분석 적용범위는 $0 \le S1 \le 20$, $40 \le S2 \le 100$으로 각각 나타났다.

〈그림 16〉은 $0 \le S1 \le 20$, $40 \le S2 \le 100$ 범위에서 ThDoc=0.70을 설정하고 S1과 S2의 변화에 따른 대기길이의 변동범위를 분석한 결과이다. 〈그림 16〉에서와 같이 종합전시장의 경우, S1을 1단위씩, S2를 45부터 10단위씩 조정하여 변동 가능한 추정 대기길이의 범위는 약 60m~1300m정도이다.

주어진 S1, S2범위에서 대기길이 변동범위를 나타낸 〈그림 16〉의 결과는 일반적으로 직선형의 경향이 나타났지만, $S1 \ge 17$, $S2 \ge 65$의 범위에서는 S1, S2 값의 큰 차이로 인해 S1, S2에 의해 산출되는 정체

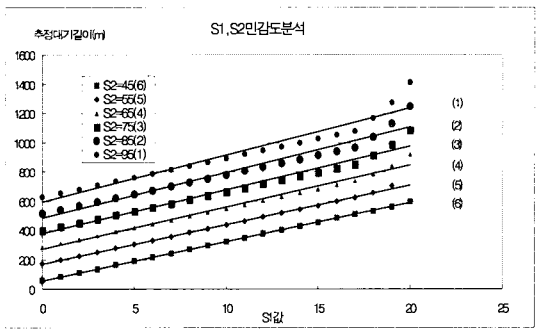
도와 대기길이에 대한 영향을 다른 경우보다 크게 반영하여 비선형적으로 나타났다. 이는 운영자가 파라메터 현장 적용시 비선형적인 부분이 존재함을 인식하고, 이에 대한 세심한 고려가 필요함을 알 수 있다.

S1, S2의 민감도 분석과 동일한 방식으로 ThDoc 변수의 민감도 분석을 실시하였다. ThDoc의 변화가 대기길이를 추정하는데 영향을 미치는 정도를 알아보기 위해 〈그림 17〉과 같이 S1, S2의 값은 각각 2.00, 45.00으로 최적값 산출결과를 적용하고, ThDoc를 0.00~1.00범위에서 0.01단위씩 증가시켜 추정된 대기길이의 변화정도를 파악하였다. .

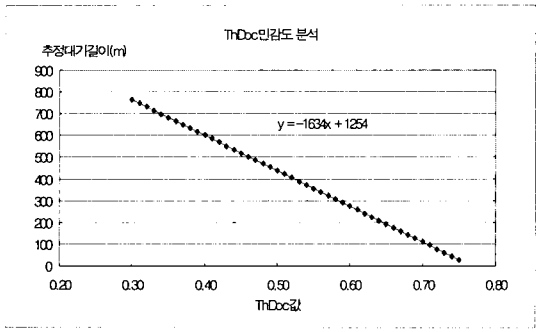
분석결과, 0.30≤ThDoc≤0.75 범위 이외의 경우에는 추정된 대기길이가 음수이거나, 너무 큰 값이 도출되므로 민감도 분석에서 제외시켰다.

S1, S2는 고정한 상태에서 ThDoc를 0.30~0.75의 범위에서 0.01단위로 변경하여 분석한 결과, 대기길이 추정값은 〈그림 17〉에서 보는 바와 같이 30m~750m의 범위에서 변동이 가능하였다.

위에서 제시된 바와 같이, 각 파라메터값에 대한 민감도 분석결과, 각 파라메터값의 변화에 따른 대기길이 추정값에 큰 변동이 있음을 알 수 있다. 따라서



〈그림 16〉 S1, S2 민감도 분석결과



〈그림 17〉 ThDoc 민감도 분석결과

최적 파라메터값을 산출하여 적용하는 것이 발생 가능한 오차를 줄일 수 있는 방안이라고 판단된다. 즉 Calque 알고리즘을 적용하여 대기길이를 산출하는 파라메터를 추정하는 것이 효과적이라고 판단된다.

Ⅵ. 결론

본 논문에서는 COSMOS 운영효율을 높이기 위하여 주요 교통축 운영방법을 중심으로 한 신호제어 방법을 제시하였다. 연구내용은 크게 주요 교통축 신호제어 및 운영방법 도출, 좌회전 감응제어 운영방법, 그리고 대기길이 추정 파라메터 설정방안으로 구분되며 다음은 각각에 대한 연구내용을 요약한 것이다.

주요 교통축 신호제어 및 운영방법 도출을 위하여 COSMOS 운영지역내 주요 교통축의 운영현황에 대한 분석을 수행하였다. 그리고 교통축 소통 원활화를 위한 운영방법으로, 교통축내의 SubArea간 연결성 확보방안, 두 개의 교통축이 교차하는 경우의 각 축별 연동성 확보방안, 옵셋전이시 발생하는 전이량 감소방안 등을 제시하였다. 좌회전 감응제어 운영방안에서는 현재 감응제어의 수행상 문제점을 파악하여 이에 대한 개선사항을 중심으로 운영방안을 제시하였다. 그리고 대기길이 추정 파라메터에 대한 설정방안을 검토 및 평가하여 제시하였다.

본 연구에서 제안된 방안들에 대하여 시뮬레이션 및 현장조사 방법으로 사례검증을 실시한 결과, 현재의 운영 방법과 비교하여 매우 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구와 관련하여 향후에는 인접교차로의 영향을 고려한 감응제어 실행기준에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 그리고, 제시된 방안들에 대하여 보다 많은 현장적용을 통한 일반화 작업이 필요하다.

참고문헌

1. 서울지방경찰청(1991), "교통신호제어시스템기술개발 1차 년도".
2. 서울지방경찰청(1992), "교통신호제어시스템기술개발 2차 년도".
3. 서울지방경찰청(1999), "서울특별시 신신호시스템 기능개선용역".

4. 서울지방경찰청(2000), "2000년 신신호시스템 기능개선".
5. 대한교통학회(2001), "도로용량편람".
6. 서울지방경찰청(2001), "서울시 교통신호제어시스템발전 기본계획".
7. Chang, E. C. P. and C. J. Messer(1991), "PASSER Ⅱ-90 Program User's Guide", Texas Transportation Institute, Texas A&M University.
8. Federal Highway Administration(2001), "Traffic Software Integrated System Version 5.0", U.S. Department of Transportation.

♧ 주 작 성 자 : 이상수
♧ 논문투고일 : 2002. 8. 22
논문심사일 : 2002. 10. 2 (1차)
2002. 12. 9 (2차)
심사판정일 : 2002. 12. 9
♧ 반론접수기간 : 2003. 4. 30