

도시부 교통신호제어체계 발전방향 (서울시 사례를 중심으로)



김진태



김균조



정광복

1. 서론

우리나라의 많은 운전자들은 도시에 거주한다. 이들이 근무하는 작업장도 대부분 도시 또는 도시인근에 위치한다. 이들은 출퇴근, 통학, 쇼핑, 여가활동 등을 목적으로 제각기의 도착지점과 출발지점을 가지고 도시 도로망 내 교차로를 분기한다. 교차로에서 분기되는 직진, 좌회전, 우회전 등의 회전교통류 특성은 교차로 지점마다 상이하다. 또한 이러한 회전교통류 흐름의 규제는 교차로 지점마다 상이하게 적용된다. 다양한 수준의 규제가 적용되는 교차로들의 형태 역시 여러 가지이며, 이들의 위치도 도시부 도로망에 다양하게 분포된다. 도시부 도로망의 속성은 이처럼 복잡하다. 도시부 신호 교차로 운영을 네트워크차원에서 이해하고 관리하기란 매우 어려우며 특히 도시가 특별시 또는 광역시처럼 그 범위가 넓은 경우는 더욱 그러하다.

교차로 교통량이 많거나 사고다발지점인 경우 교차로를 신호교차로화 하여 교통흐름을 제어한다. 이러한 신호교차로를 별도의 제어군으로 묶어 연동 운영하며, 필요한 경우 개별 신호교차로를 구분하여 독립신호교차로로 운영한다. 이러한 신호교차로 신호제어는 도시부 네트워크 교통흐름 관리차

김진태 : 서울지방경찰청 교통개선기획실, jtkim@dreamwiz.com, 직장전화:723-1938, 직장팩스:723-0755

김균조 : 서울지방경찰청 교통개선기획실, kgj0209@paran.com, 직장전화:723-1938, 직장팩스:723-0755

정광복 : 서울지방경찰청 교통개선기획실, traffic1@naver.com, 직장전화:723-1938, 직장팩스:723-0755

원에서 매우 중요하다.

본 논고는 서울시를 사례로 과거로부터 발전되어온 교통신호제어시스템 현황을 고찰하고 이를 토대로 개선이 필요한 부분을 검토한 후 교통신호체계 발전방향을 실용적인 측면에서 제시한다. 본 논고에서 제시하는 교통신호체계 발전방향은 현재 서울지방경찰청 교통개선기획실 추진 연구기획에 상응한다. 신호제어장비에 대한 제약 및 활용방안을 중심으로 검토하며 발전방향을 검토하였다. 이는 발전적인 신호제어 및 운영전략의 수립을 위하여 현재의 신호제어장비 및 신호제어시스템 인프라의 제약을 인식할 필요가 있기 때문이다.

II. 신호제어시스템 고찰

단일 주기 표출기능을 제공하는 일반신호제어기를 시작으로 우리나라의 현대 교통신호제어장비가 설명된다. 교통량 변화와 상관없이 일반신호제어기는 하루 24시간동안 단일 주기를 일률적으로 표출한다. 일반신호제어기는 센터의 중앙컴퓨터 및 현장의 인근 교통신호제어기와의 통신을 지원하지 않는다. 따라서 항시 인접 교통신호제어기와 무관하게 독립적으로 운영된다. 그리고 교통신호제어기 고장유무의 실시간 파악이 어렵다. 현장요원이 투입되어 신호시간을 수정하는 초기단계의 신호제어기이다.

1. 전자신호제어시스템

서울은 1980년에 미국 “이글”사로부터 전자신호제어장비를 도입하였다. 전자신호제어시스템은 교통신호관제컴퓨터와의 온라인 통신기능을 지원하여 센터에서의 현장 전자신호제어기 구동상황 및 고장유무의 점검이 가능하다. 일반신호제어기와는 달리 총 16개의 신호운영변수 자료군을 미리 저장할 수 있으며 시간대에 따라 이들 중 하나를 선택 적용하는 TOD (Time-of-day) 신호운명을 지원한다. 전자신호제어시스템은 센터 지역제어컴퓨터(RC; Regional Computer)와 현장 신호제어기간에 기본 1대4로 통신한다. 현재

서울은 온라인 중앙제어 방식으로 전자신호제어시스템을 구동한다. 총 1,235개의 전자신호제어기가 동부시스템, 서부시스템, 영등포시스템, 강남시스템으로 구분되는 4개의 RC군에 연결되어 있다 (서울지방경찰청, 2006).

2. 실시간신호제어시스템

서울지방경찰청은 3개년(1991년~1993년)에 걸쳐 서울 교통실정에 맞는 첨단신호제어시스템을 국내기술로 개발한다. 실시간신호제어시스템은 루프검지기를 통해 수집되는 교통정보를 해석하여 이를 토대로 주기길이 및 녹색시간길이를 실시간으로 갱신하는 첨단신호제어시스템이다. 해외에서 감응신호제어를 위해 탄생한 듀얼링 현시표출체계가 국내 실시간신호제어기를 통해 처음으로 도입되었다. 실시간신호제어시스템은 대응제어를 기본으로 감응제어를 선택적으로 적용할 수 있다. 실시간신호제어기는 센터 신호제어컴퓨터와 온라인으로 연결되어 현장 신호운영 상태 및 신호제어기의 구동상황의 실시간 점검이 가능하며 1:1 통신을 수행한다(서울지방경찰청, 2006).

개발과정에서 세밀하게 마무리되지 못한 부분을 보완하기 위하여 1990년대 말 및 2000년대 초반에 걸쳐 총 4년 동안 실시간신호제어시스템 기능개선을 수행하였다. 1999년에는 대기행렬 산출 알고리즘 개선을 포함 총 8개 부문에서의 기능개선이 있었다. 2000년에는 주기전이 시 최대주기 침범현상 방지 기능개선을 포함 총 16개 부문 기능개선을, 2001년에는 좌회전 역전현상 개선을 포함 총 14개 부문 기능개선을, 2002년에는 군집교차로에 대한 신호운영적용방안 포함 총 7개 부문 기능개선이 있었다. 여러 차례에 걸친 기능개선사업을 통한 알고리즘의 기능 향상으로 시스템의 발전이 있었다.

실시간신호제어시스템은 1997년 강남지역 61개 신호교차로를 대상으로 하는 시범운영을 통하여 현장에 설치되었다. 이후 제물포로, 월드컵경기장, 수색·성산로, 도봉 미아로 및 강남전역 등에 단계적으로 확대 설치되었다. 1999년~2003년에 363개 노후제어기가 실시간신호제어기로 교체되었으며, 실시간신호제어기가 2004년 경찰청 표준신호제어기로 규격화되면서 2004

년~2005년에 총 982개의 실시간신호제어기가 노후제어기와 교체되어 서울시에 설치되는 등 지속적으로 실시간신호제어기의 현장 설치가 증가하고 있다.

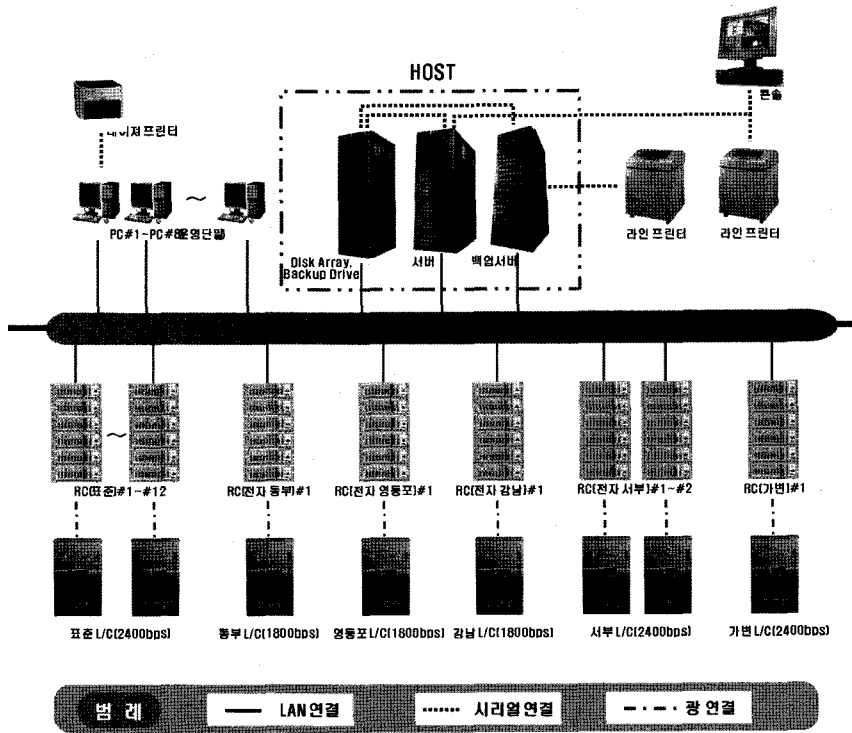
3. 통합신호제어시스템

서울시내 현장에는 약 3,000 여대의 교통신호제어기가 운영되고 있다. 일반신호제어기, 전자신호제어기, 실시간신호제어기가 혼재하여 설치되어 있다. 이들 중 전자신호제어기가 2,364대 (79%), 일반신호제어기가 308대 (10%), 실시간신호제어기가 338대(11%)를 차지하고 있다(2006년 9월 기준). 서울시 교통신호제어기 종별 설치현황은 <표 1>과 같다 (서울지방경찰청, 2006).

<표 1> 서울시 교통신호제어기 설치 현황

구분			교통신호제어기수	램프/가변차로	비고
일반신호제어기			308		Off-Line
전자신호제어기	강북 (700)	동 부	297	1,216	On-Line(1:4 통신)
		서 부	403		
	강남 (516)	강 남	203		
		영등포	313		
표준신호제어기			1,138	-	On-Line(1:1 통신) 전자신호제어기로 활용
실시간신호제어기			338	-	On-Line(1:1 통신)
계			3,010		

전자신호시스템과 실시간신호제어시스템은 통신방식이 달라 이들은 센터의 서로 다른 RC(지역제어컴퓨터)로 연결된다. 참고로 서울시는 이들 전자신호제어시스템과 실시간신호제어시스템의 운영을 위하여 총 18대의 RC(지역제어컴퓨터)를 센터에서 운용한다. 서울지방경찰청은 전자신호시스템과 실시간신호시스템으로 2원화 운영되는 신호제어시스템을 2004년에 하나의 주 관제 시스템으로 통합하였다. 중앙제어장치를 마련하여 전자신호제어 컴퓨터와 실시간신호제어 컴퓨터간의 연계가 가능하게 되었다. 통합된 서울시 교통신호제어시스템의 구성은 <그림 1>과 같다 (서울지방경찰청, 2006).



〈그림 1〉 교통신호 통합시스템 구성도

III. 문제점

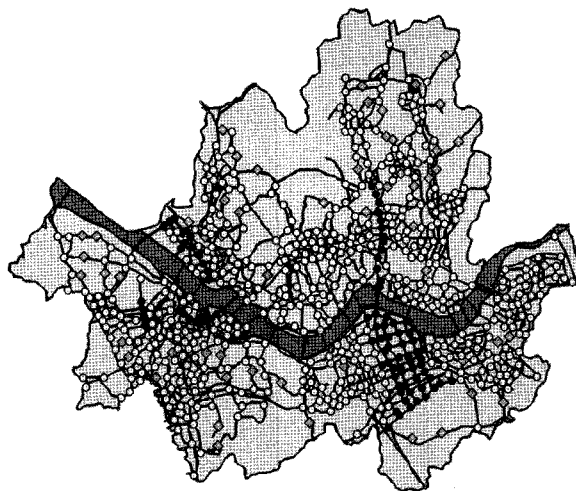
1. 교통환경 변화

2004년 7월 서울시는 강남대로, 도봉-미아로, 수색-성산로 축에 중앙버스전용차로를 도입하였다. 중앙버스전용차로는 초기의 혼잡과정을 거친 후 현재 안정화 단계에 접어들었으며 지속적인 확대 계획이 있다. 중앙버스전용차로 설치 구간 중 과거 실시간신호제어가 운영되던 구간은 신호제어용 루프검지기가 중앙버스전용차로 공사로 단선되었다. 검지체계의 복구가 필요하나 현재의 실시간신호제어시스템은 기능적으로 중앙버스차로를 이용하

는 버스이동흐름을 효율적으로 반영하며 처리할 수 없다. 실시간신호제어시스템 듀얼링 현시표출체계 기능이 제약되기 때문에 과거 전자식 또는 일반 신호제어기에서 사용되던 싱글링 현시표출체계를 적용하여야 한다. 실시간 신호제어시스템 기능 활용의 제약이 있는 상황에서 파손된 루프검지체계를 개선방안 검토에 앞서 복구할 필요성은 낮다.

또한 중앙버스전용차로 도입으로 기존 실시간신호제어군 중요교차로가 더 이상 중요교차로의 역할을 수행하지 못하는 경우가 발생한다. 중요 교차로 역할을 대신할 동일제어군 타 신호교차로도 부재하는 경우가 존재한다. 일정 수준의 중대형 신호교차로는 입체교차로화 되어 있는 것이 이유이다. 이처럼 실시간신호제어시스템이 기획될 당시의 교통환경과 지금의 교통환경이 상이하다.

〈그림 2〉는 현재 서울의 교통신호제어기 기종별 설치 개요도이다. 어두운 색 원으로 표시된 지점이 실시간신호제어시스템 운영지점이다. 실시간신호제어시스템은 강남지역을 중심으로 집중되어 있으며 해당 지역에 간선도로, 보조간선도로, 집산도로 등 도로 구분 없이 획일적으로 설치되어 있다. 실시간신호제어시스템은 우수한 첨단 신호제어장비이다. 그러나 하나의 행정구역 단위로 신호제어장비를 집중적으로 투입하는 것은 신호운영 효율성



〈그림 2〉 서울시 교통신호제어기 종별 설치 개요

측면에서 문제가 있다. 서울시 교통환경의 변화로 실시간신호제어시스템의 효율성이 높은 도로와 그렇지 않은 도로가 확연히 구분되어지고 있어 이를 구분하여야 할 필요가 있다.

2. 단일 신호제어장비 규격

중앙버스전용차로의 설치로 인해 도로중앙에 버스 정거장이 설치되었으며, 버스 정거장으로 접근을 위한 횡단보도가 새롭게 설치되었다. 서울시 전체 단로부 횡단보도 수가 증가하였다. 중앙버스전용차로 버스 정거장은 대부분 교차로와 교차로 중간 부분에 위치하기 때문에 별도의 교통신호제어기가 횡단보도 보행신호 표출을 위해 새롭게 설치되어야 한다. 단로부 횡단보도는 2개의 접근로와 양쪽 보행등에 대한 신호제어만 필요하지만, 현재 교통신호제어기는 일반 4지 신호교차로 제어를 기준으로 표준신호제어기가 규격화되어 있어 단로부 횡단보도에 설치시 과도한 규격이라 할 수 있다. 현재의 표준신호제어기는 해당 지점에 필요이상의 과도한 사양을 적용하는 것으로 비용 대비 효과측면에서 비효율적이다. 중앙버스전용차로의 확대 설치가 계획되고 있는 현재, 비용을 절감할 수 있는 소형 표준제어기 개발에 대하여 고민할 필요가 있다.

3. 지역제어기와 지역제어컴퓨터 연계관리 어려움

서울지방경찰청 교통신호운영센터에는 총 18대의 지역제어컴퓨터와 2대의 중앙제어장치를 활용한다. 지역제어컴퓨터는 고가의 장비이므로 필요한 량 전체를 일괄 구매하기에 제약이 있으며 또 그럴 필요가 없다. 현장의 교통신호제어기는 전자신호제어기, 실시간신호제어기가 아직까지 혼재되어 있기 때문이다. 이들이 실시간신호제어기로 전량 교체될 시점에 맞추어 지역제어컴퓨터가 필요한 분량만큼 확보되면 되기 때문이다.

현재는 현장 노후 및 고장 교통신호제어기 교체수량에 맞추어 필요에 따라 지역제어컴퓨터를 1대씩 구매하고 있다. 현장에서 교체되는 노후 및 고장 신호제어기의 위치는 산발적으로 분포된다. 새로이 구입된 지역제어컴퓨

터와 현장에서 교체되는 신호제어기가 연결된다. 서울시 전역에 퍼져있던 노후 또는 고장으로 인한 교체 신호제어기들이 하나의 지역제어컴퓨터로 연결된다. 즉, 하나의 지역제어컴퓨터가 특정 지역에 위치하고 있는 일련의 신호제어기들과 연계되지 않는다.

이러한 실무의 제약으로 간선도로 축에 설치된 일련의 교통신호제어기들은 연동운동을 위하여 하나의 지역제어컴퓨터와 연계되기 어렵다. 이들 제어기는 다수의 지역제어컴퓨터들과 연결된다. 현장에서 연동대상 도로축들이 동서 및 남북방향으로 서로 얽히고설켜어 있기 때문에 센터 내 지역제어컴퓨터들 간의 통신흐름 역시 얽히고설켜어지고 있다. 이로 인하여 센터수준에서의 불필요한 통신부하가 존재한다. 센터 시스템 안정성에 의문이 제기되나 현장 제어기교체로 인한 시간적인 문제 및 센터 지역제어컴퓨터 설치 공간 부족 등의 문제와 결부되어 장비의 기능개선 이외의 해결방안 제시가 매우 복잡하다.

4. 실시간신호제어 체계 평가 및 파라미터 설정지침 부재

도시부 교통의 흐름은 세부 지역별로 그 특성이 다르고 도로기능별로 교통패턴이 다르다. 도시부 교통흐름 특성에 대한 기본적인 수준의 고찰은 효율적인 실시간신호제어시스템 운영에 필수적이다. 실시간신호제어시스템은 하나의 첨단 장비이다. 첨단 장비는 상세한 파라미터를 입력 값으로 요구하며 이러한 파라미터의 지속적인 튜닝은 성공적인 실시간신호제어시스템을 위하여 필수적이다.

대부분의 실시간신호제어시스템에 입력되는 파라미터 값들은 장비의 구축시기에 맞추어 설정되고 있으며 이는 실시간신호제어시스템의 이해부족에 기인한다. 교통상황은 계절마다 변화한다. 변화하는 교통상황에 따라 각종 파라미터들을 지속적으로 변경하고 조정하는 작업이 필요하다. 그러나 변경 및 조정으로 변화되는 실시간신호제어시스템 파라미터 값들이 궁극적으로 교통상황에 어떠한 영향을 파급할 것인지 공학적으로 확인할 평가방법이 부재하다. 평가방법이 부재하기 때문에 파라미터 설계방법 또한 부재하다. 이러한 이유로 현재 전국에 설치된 실시간신호제어시스템은 운영자들

의 주관적 경험에 의해 운영되고 있으며 이러한 주관성은 개인적 편견으로부터 자유롭지 않다.

IV. 개선방향

서울지방경찰청은 앞서 언급된 문제점을 인식하고 이를 해결하기 위하여 장기적인 준비를 시작한다. 서울의 교통신호체계를 진단하고 서울의 교통환경 및 교통흐름 특성에 맞게 현재의 신호제어시스템을 기능개선하고 튜닝하는 “서울형 통합교통신호체계 구축”과업을 2006년도부터 단계별로 추진한다. 서울시 교통환경을 이해하고 이에 지역별로 적합한 신호제어전략을 구상하고 구상된 신호제어전략을 지원하는 신호제어장비 기능을 확보함을 목표로 개선을 진행한다.

1. 서울시 맞춤형 신호제어전략

서울시 교통환경 변화에 맞추어 맞춤형 신호제어전략을 구성하고 이를 구현하는 현장 지역제어기 활용방안을 계획한다. 도시부 교통흐름은 시간적·공간적으로 그 특성이 다르다. 지역별 도로교통 흐름 특성 조사를 통해 지역별 교통흐름 관리전략을 구상한다. 특이교차로에서의 지역제어기 활용현황을 조사하고, 비보호 회전교통류 진행 특성을 조사한다. 수집된 현장자료, 서울시 도로기능 및 규제현황을 토대로 서울시 맞춤형 신호제어전략을 구상한다.

실시간신호제어시스템은 기능면에서 우수한 장비이다. 그러나 검지기 유지보수 등 많은 유지관리 비용 지출이 수반된다. 도로의 기능 및 교통특성상 신호 연동운영만으로 충분한 도로 축의 경우 유지관리 비용이 많이 소요되는 실시간신호제어운영보다 전자신호제어운영이 적합할 것이다. 실시간신호제어시스템이 최신 장비라는 이유로 우리나라 전국 신호교차로를 모두 실시간신호제어 교차로화 하는 것은 비용-효과 측면에서 바르지 않다. 기존 신호제어장비의 기능과 실시간신호제어시스템의 기능을 상호 심분 활용하는 부분에서 서울시 맞춤형 신호제어시스템을 구상한다.

2. 교통신호제어기 타입별 규격화

중앙버스전용차로 확대설치에 따라 중앙버스전용차로 구간 단로부 횡단 보도 수의 증가가 예상된다. 비용-효과 측면에서 단로부 횡단보도 신호제어 전용 소형 신호제어기를 별도로 개발하여 교통신호제어기 구입에 따른 예산을 절감을 준비한다. 이러한 소형신호제어기는 노측 매설이 아닌 지주대에 부착할 수 있도록 하여 토공작업 등으로 소요되는 비용을 절감한다. 단일로 횡단보도 전용 소형 신호제어기는 현재 경찰청 표준신호제어기 규격에서 규정하는 기능을 만족한다.

3. 지역제어컴퓨터 통신기능 개선

논의된 지역제어컴퓨터 관련 문제를 해결하기 위한 여러 해결방안을 검토할 수 있다. 그 중 하나가 교통신호제어센터 공간을 늘이면서(증축 또는 신축) 지역제어컴퓨터 수량을 더욱 확보하는 것이 하나의 방법이고, 또 다른 방법은 지역제어컴퓨터의 기능을 개선하여 현재의 통신량을 가볍게 하며 통신용량을 증대하는 것이다. 첫 번째 방법은 비용-효율성 측면에서 현실적이지 않다. 우선 센터 지역제어컴퓨터와 현장 지역제어기간의 통신용량을 늘이기 위한 지역제어컴퓨터 모뎀 하드웨어 기능 개선이 필요하다. 지역제어컴퓨터와 현장 지역제어기간 통신량을 가볍게 하기 위하여 신호제어 소프트웨어(신호제어 알고리즘 및 통신 프로토콜)의 개선이 필요하다. 지역제어컴퓨터와 호스트컴퓨터와의 통신 부하를 줄이기 위하여 현장지역제어기 및 지역제어컴퓨터 관리체계를 재구성할 필요가 있으며 이를 위하여 각 장비별 관리를 위한 범례체계를 표준화할 필요가 있다. 신호제어장비의 기능개선은 다년간의 연구기간이 소요된다. 논의된 개선내용의 근간이 되는 요소기술 개발을 시작으로 해당 부분의 문제 해결 준비를 시작한다.

4. 실시간신호제어시스템 평가기술 개발

실시간신호제어시스템의 운영상태 평가 및 운영파라미터 설계를 위한 기

초기기술을 연구가 필요하다. 건설교통부에서 제시하는 도로용량편람 역시 실시간신호제어 신호교차로의 서비스수준 분석방법을 포함하지 않고 있다. 실시간신호제어되는 독립신호교차로 및 간선도로의 운영상태 평가기술을 개발할 필요가 있다. 평가기술과 더불어 운영자들이 실시간신호제어 운영 시 참조할 최적 파라미터 값을 도출하는 공학적인 기술개발이 필요하다. 운영자의 경험에 시스템운동을 의존하는 것은 분명히 모호하고 불확실하다. 더욱이 좋은 급여 및 처우를 찾아 빈번하게 이동하는 젊은 운영자들을 보면 더욱 그러하다. 안정적인 직장 및 적절한 보수가 운영자들에게 보장되지 않는 것도 현실이다. 실시간신호제어시스템 운영의 핵심이, 한 도시의 교통신호제어체계의 운영 문제가 이러한 운영자의 주관적 경험 및 노하우의 문제로 결부되는 것은 무리가 있다. 실시간신호제어시스템 평가기술 및 설계기술을 개발하여 운영자들의 실무를 지원하는 지침이 마련되어야 하며 이를 위한 기초 연구가 수행되어야 한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

도시부 교통흐름관리 측면에서 교통신호제어체계 관련 업무는 중요하다. 그러나 우리나라의 경우 서울특별시, 광역시 및 일부 중소도시를 제외한 대부분 도시들이 신호운영 관련 데이터베이스조차 없이 운영 및 관리되고 있다. 서울시 교통신호체계는 전국을 대표한다. 지속적인 하드웨어 및 소프트웨어의 발전 노력이 있었고, 서울시에서 연구개발한 실시간신호제어시스템이 전국 교통신호제어기술의 근간이 되었다.

서울시 교통환경은 지속적으로 변화하고 있다. 주요 간선도로에 중앙버스전용차로가 설치되고 있으며 또 계획되고 있다. 그러나 기존의 실시간신호제어시스템은 변화된 서울시 교통환경을 적극 반영하는 현장 운영을 지원하지 못한다. 현재 가동되고 있는 전자신호제어시스템과 실시간신호제어시스템을 새롭게 기능개선 및 재구성하여 변화된 서울시 교통환경에 맞도록 장비와 운영전략을 다듬어야 한다.

도시부 교통흐름은 계속해서 변화한다. 기후의 변화, 정책의 변화, 행사 및 장기 공사로 교통흐름은 유기적으로 변화한다. 도시부 신호운동을 효율

적으로 수행하기 위해서는 이러한 조사와 분석 및 첨단기술 접목도 중요하지만 구축 후 보정작업 및 신호운영 변수 재조정 작업을 수행할 수 있는 전문 인력의 장기적 확보가 최우선적으로 해결되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 서울지방경찰청(2006) 서울특별시 전자교통 신호체계 중앙 및 지역장치 운영자료.
2. 서울지방경찰청(2006) 서울특별시 실시간 신호제어시스템 중앙 및 지역장치 운영자료.
3. 서울지방경찰청(2006) 서울특별시 교통신호 제어시스템 운영자 매뉴얼.