

실시간 신호제어 개발을 위한 계열범례 기초검토

김진태 교통개발연구원 책임연구원

1. 서론

도시부 신호교차로에서 교통흐름상태는 인접하는 신호교차로에서의 교통소통상태에 영향을 받는다. 개별 인접 교차로간의 이러한 영향은 서로 얽혀있는 다른 인접 신호교차로들로 서서히 파장되어 나중에는 광역으로 교통문제로 확대되기도 한다. 이렇게 유기적이면서 다양한 형태로 발생할 수 있는 도시부 신호교차로는 관리를 통하여 유지되는 사회간접자본으로 국가 경쟁력에 많은 영향을 미치기에 그 중요성이 널리 인식되어 있다.

우리나라를 포함한 많은 해외 교통선진국에서는 원활한 도시 내 교통흐름을 확보하기 위하여 신호제어장비 및 신호제어 기술에 대한 연구를 수행하여왔다. 이러한 연구는 과거 정주기식 신호운영에 대한 연구로부터 시작한다. 해외에서는 1980년대에 교통량의 변화에 따라 녹색시간 및 신호주기길이를 실시간으로 변화하는 실시간 신호제어에 대한 연구를 활발히 수행하였으며

우리나라에서도 1990년대에 COSMOS (Cycle Offset Split Model of Seoul)라 명칭되는 국내 실시간 신호제어 시스템을 개발하여 현재 현장에서 활용하고 있다[1]. 변화하는 교통수요에 대응하여 보다 적극적으로 녹색시간을 실시간으로 재구성하며 신호교차로를 운영하는 실시간 신호제어의 장점에 대한 매력으로 많은 기술자 및 학자들이 해당분야 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

실시간 신호제어에 대한 연구는 미래를 지향하면서 현재 도로체계에서의 실용성을 고려하여야 한다. 다시말하면 보다 좋은 시스템이 구축된 미래 도로조건과 현실적일 수 밖에 없는 실제 도로조건을 동시에 고려하는 신호제어방법에 대한 연구이다. 이러한 이유로 지금 현재의 실시간 신호제어에 대한 연구는 국제적으로 현실성과 미래지향성 사이에서 자리를 잡아가는 과정에 있으며 이것은 기존 시스템에서 미래를 지향하는 다른 시스템으로 전환하는 과도기적인 과정에서 당연히 수반되는 과정이다.



그러나 미래를 준비하는 차원에서의 신호제어 연구는 기존의 방법으로부터 필요이상 제약받을 필요가 없다. 보다 근본적으로 실시간 신호제어의 특성을 파악하여 해당 특성을 중심으로 완성도를 높이는 심도높은 연구가 수반되어야 할 것이다.

기존의 정주기식운영과 비교하여 실시간으로 녹색시간을 변화한다는 계열법례를 지향함에 있어서 지금까지 개발되어 온 실시간 신호제어 시스템은 하나의 범주로 포함된다. 그러나 실시간 신호제어 장점(실시간 녹색시간 재 배분)의 극대화에 연구의 초점이 맞추어져 현실성과 미래성의 혼돈 아래에서 개발되어 순수 미래형 신호제어 방법 마련이라는 차원에서의 기초적 검토가 미약하였다.

본 논고에서는 신호운영변수 설계 및 운영과 관련하여 실시간 신호제어(RATC, Real time Adaptive Traffic Control)가 발전하여야 할 과정에서 포함되어야 하는 기술적 내용을 파악하고 실시간 신호제어의 계열법례를 기초적 수준에서 검토하여 제시하고자 하였다.

II 현재의 실시간 신호제어 시스템

미국, 영국, 호주 등 해외 교통선진국들은 약 20여년 전부터 실시간 신호제어에 대한 연구를 꾸준히 수행하였다. 이들 국가에서 수행한 연구결과로 다양한 실시간 신호제어 시스템들이 소개되었으며 현재 많은 국제도시에서 적용되고 있다 (<표 1> 참조). 이들 시스템에 내재되어 있는 실시간 설계관련 세부 알고리즘은 시스템

<표 1> 해외 실시간 신호제어 시스템

구 분	실시간 신호제어 시스템
영 국	SCOOT
호 주	SCAT
미 국	OPAC, RHODES, ISAC, LAC
일 본	ATCS, STREAM
프랑스	PRODYN
이태리	UTOPIA
대 만	TTSCS

의 상용성과 관련되어 현재 널리 공개되고 있지 않다.

기존 정주기식 신호제어방식으로 신호교차로를 운영할 때 보다 실시간으로 녹색시간을 교통량에 따라 실시간 변화함에 따라 보다 원활한 교통소통상태를 도모할 것을 이들 시스템들은 공통적으로 가설한다. 이들 시스템은 이러한 가설을 충족시키기 위하여 효율적으로 신호운영변수(녹색시간 및 신호주기길이)를 설계하는 시스템만의 고유방법을 사용한다.

실시간으로 신호운영변수(녹색시간 및 신호주기길이)를 설계하는 과정에서 두 가지 요건을 만족하여야 한다. 하나는 실시간 설계되는 신호운영변수의 적정성이며 또 다른 하나는 신호운영변수 설계허용 시간의 제약성이다. 실시간 신호운영변수 설계허용시간 길이의 제약은 단 시간 내에 교통상황을 지표로 파악하고 파악된 교통상황에 상응하는 최적 신호시간을 도출하는 과정에 대한 제약을 포함한다. 최적신호시간 설계허용시간 길이의 제약을 극복하기 위하여 이들

시스템들은 대부분 일반화된 간략한 함수형태의 수리모형(analytical model) 및 경험모형(empirical model)을 채택하여 연산기반으로 신호운영변수를 설계한다. 전산기술의 빠른 발전을 근거로 학술적 차원에서 미시적(microscopic) 및 중시적(mesosopic) 모의실험 모듈을 신호교차로 운영평가 모듈로 활용하는 경험검색(heuristic search)기반 설계가 제시된 바 있으나 아직까지 실용화된 시스템은 부재하다.

현재 시스템이 사용하고 있는 간략한 함수형태의 연산기반 신호운영변수 설계방식으로는 여러형태 신호교차로에서의 다양한 기하구조 및 다양한 교통상황 모두를 고려하기 어렵다. 이러한 설계방식은 모든 특이 상황을 일반적 상황으로 고려하여야 하기 때문이다. 이러한 이유로 시스템 운영자가 다양한 현장 상황을 현장(관제센터)에서 직접 반영할 수 있게 하기 위하여 설계모형에 운영자 설정가능 파라미터를 내재하게 설계되었으며 여기에서 부터 현재 실시간 신호제어 시스템의 문제점이 시작한다.

이러한 운영자 설정가능 파라미터의 존재로 시스템 운영의 효율성은 시스템이 내재하는 연산기반 신호운영변수 설계모형이 아니라 운영자가 설정하는 파라미터 값에 의하여 좌우되게 된다 [2, 3]. 실시간 신호제어 시스템의 성능을 좌우하게 되는 이러한 파라미터의 설정은 시스템 운영자의 경험에 의하여 학습될 수 밖에 없으며, 이는 시스템 운영의 반복적인 실패(trial-and-error 로 인한)를 필연적으로 수반한다.

현존 실시간 신호제어 시스템은 전자, 전기,

교통 기술을 총 융합하는 첨단 시스템이라는 전제를 전면에 내세우고 있으나 해당 시스템의 성능은 반복적인 실패를 허용하는 운영자의 학습에 의존하고 있다. 이러한 시스템의 실패 허용수준은 극히 미래지향적이지 못하다. 이를 극복하기 위한 대안으로 시스템 운영자의 종신고용문제 등의 문제가 대두되고 있으나 [4] 실현가능성을 예측할 수 없고, 시스템 차원에서 공학적으로 제약을 둘 문제는 아니다.

III 실시간 신호제어 연구방향

미래를 준비하는 신호제어 시스템으로 실시간 신호제어를 연구하여야 하는 것은 궁극적으로 분명하다. 보다 미래지향적이면서 지속가능한 유기적 실시간 신호제어 시스템을 준비하기 위하여 기존 신호제어 시스템과 비교하여 그 내용을 검토하였다. 또 새로운 현시구현체계의 개발에 앞서 새로운 현시구현체계가 포함하여야 하는 기능적 요구사항들을 검토하기 위하여 신호운영변수 설계방식, 활용가능 정보수준, 현시표출방법 등을 검토하였다.

1. 교차로 운영상태 측정기술 변화 반영

신호교차로에서의 신호운영은 서로 교차하는 도로를 이용하는 차량들을 모든 방향에서 원활하게 소통될 수 있도록 처리하기 위함이 근본 목적이다. 원활하지 못한 신호운영으로 나타나는 결과는 교차로를 통과하지 못하고 접근로에 정체하게 되는 차량으로 나타난다. 신호교차로 운



[그림 1] 접근로 전체구간에 걸쳐 관측되는 교통정체

영상태의 측정은 궁극적으로 교차로를 통과하지 못한 차량들이 수준이 어느 정도인지를 판단하는 것이며 해당 차량은 [그림 1]에서 처럼 접근로 상에 길게 대기행렬형태로 존재하게 된다. 이러한 차량들의 수준은 정체수준으로 번역되어 지칭되며 이해된다. 이러한 접근로 구간에 존재하는 차량의 정체수준을 과거에는 효율적으로 측정할 수 없어 지점검지기를 통하여 수집되는 정보로 대체하여 접근로 소통정보(예, v/s ratio)를 파악하였다.

교차로를 통과하지 못한 차량들로 설명되는 정체수준을 보다 근본적인 수준으로 도출하기 위하여 지점검지기를 통하여 추출되는 원시자료를 토대로 대기행렬길이를 추정하는 노력도 존재하였다 [1]. 그러나 이러한 지점 검지기기반 대

기행렬길이 또는 지체도의 추정 역시 한계가 존재한다.

타 첨단 교통 체계 (ITS, Intelligent Transportation Systems) 분야에서 최근 전자, 기계, 전산, 통신분야에서 발전된 기술을 활용하여 일정 수준(과거에 비하여 수준 높은)의 신뢰도로 실시간 교통구간정보를 수집하고 이를 이용하여 교통소통상황을 해석하고 있다. 교통 정보 수집을 위하여 적용되는 비이콘(beacon) 방식 또는 GPS(Global Positioning Systems) 방식으로 추출되는 구간정보가 현재 수집되고 있으며 현재에도 필요에 따라 실시간 신호제어에 활용될 수 있다. 장래 전자,통신,기계,전산분야에서의 기술발달과 더불어 이러한 정보의 활용 범위는 확장될 수 있을 것이라 기대된다. 실시간

신호제어시스템은 더 이상 지점정보에 국한될 필요가 없음을 인식하고 이러한 다른 수준에서의 정보를 활용할 수 있는 가능성을 고려하며 실시간 신호제어를 연구하여야 할 필요가 있다.

현재의 지역제어기는 지점정보의 활용을 근거로 설계되어 구간정보를 신호제어와 관련하여 응용할 공간을 제공하지 않는다. 구간정보를 필요에 따라 활용할 수 있도록 지역신호제어기에서 활용할 공간을 확보하며 실시간신호제어기를 구성 및 설계하여야 할 필요가 있다.

2. 실시간 신호운영변수 설계

기존의 신호운영변수의 설계과정은 장·단기 과거 교통정보자료를 토대로 적용가능한 범위내에 존재하는 여러 신호운영변수들을 검토한 후 이들 중 가장 최적의 운영상태를 유도할 것이라 판단되는 신호운영변수들을 선정하는 과정으로 설명될 수 있다. 다시말하면 각 방향별움직임 소통상태를 평가모형을 통해 추정하고 이렇게 추정된 소통상태 중 가장 최적의 운영상태에 해당하는 신호제어운영변수를 검색알고리즘을 통해 도출하는 과정을 통하여 신호운영변수를 설계하였다.

적용되는 평가모형으로는 과거에 주로 수리모형을 사용하였으나 최근에 전산기술의 발달로 전산처리속도가 빨라짐에 따라 모의실험을 사용하기도 한다. 검색알고리즘으로 경험기반검색(Huristic Search)방법을 대부분 활용하고 있다.

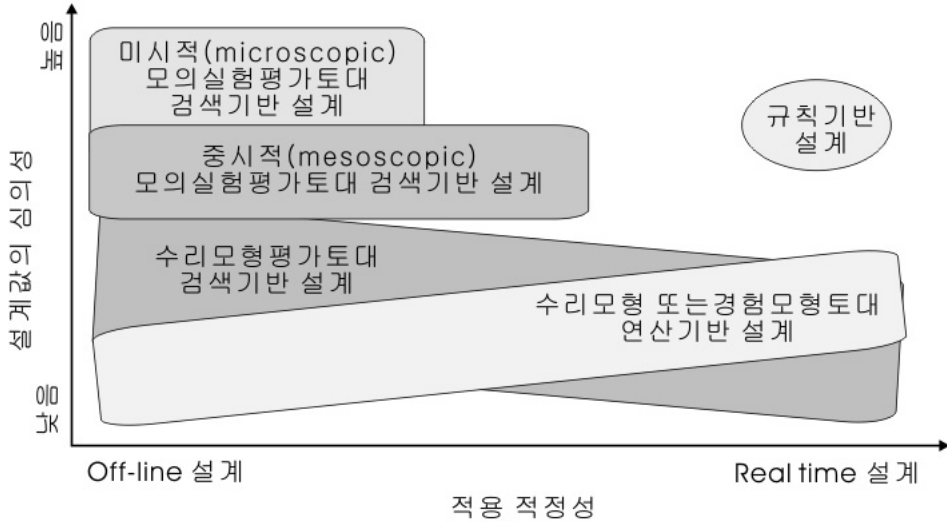
이러한 기존의 평가와 검색의 반복 수행을 통한 최적신호운영변수 설계는 “검색기반연산제

어”로 계열화될 수 있다. 이러한 검색기반연산제어는 각 방향별움직임 소통상태 평가지표가 오프라인 수준에서 전산처리되도록 설계 및 처리되어 있어 효율적인 실시간 신호운영변수 설계에 제약이 있다.

앞서 언급한 바와 같이 실시간신호제어에 대한 요구사항을 충족시켜야 하기 때문에 많은 시간이 소요되는 검색과정을 배제할 필요가 있다. 검색기반연산제어 방식의 신호시간 설계방법이 실시간 신호제어로 적용됨에 한계를 인식하여 국내 실시간신호제어시스템은 주기길이 변수값을 기초로하여 이러한 검색과정을 배제하면서 새로운 신호운영변수를 연산기반 설계를 채택하였다. COSMOS는 최근 주기동안에 수집된 현시별 포화도자료 값과 새로운 신호주기길이값과의 관계를 하나의 함수식으로 해석하며 신호설계를 수행한다. 그러나 이러한 연산기반 신호시간 설계는 앞서 언급된 파라미터 처리문제를 내재한다.

실시간 신호제어는 가까운 일정 시간 이후에 적용될 신호운영변수를 일정 기준 시간 내에 설계를 완료하는 것이 중요 요소중 하나이다. 이러한 실시간 신호제어를 구현함에 있어 (1) 적용가능한 신호운영변수 대안 모두를 고려하는 소모적인(Exhaustive search) 검색을 배제하여야 할 필요가 있으며 (2) 단위검토시간(설계되는 신호운영변수가 적용되는 시간)을 짧게 설정하여 소통상태 평가의 신뢰수준을 향상시켜야 할 필요가 있다.

따라서 실시간 신호제어 신호운영변수 설계에 소요되는 전산처리시간과 분석 대상기간을 단축



[그림 2] 연산처리속도(적용 적정성)으로 구분한 것이다.

시켜야 할 필요가 있다. 다소 시간소모적인 특성을 포함하는 탐색기반연산제어가 아닌, 일정 상황(수집된 현장자료를 통해 해석)만을 집중적으로 선택하여 검토하는 규칙기반연산제어의 소용이 증가한다. [그림 2]는 검색기반 설계와 연산기반설계, 그리고 규칙기반 설계의 특징을 설계값의 심의성과 [그림 2] 신호제어운영변수 설계방법의 특성 비교

앞으로의 실시간신호제어를 위한 신호제어기의 개발에 있어 검색기반연산제어뿐만 아니라 규칙기반연산제어를 지원하는 기계적 기능을 포함하여야 한다.

3. 실시간 통행우선권 배분

실시간 신호제어기는 그 기능적인 면에서 다

양하게 변화하는 교통상황을 효율적으로 처리하기 위해 여러수준에서 신호제어전략을 구현할 수 있는 기술적인 기능을 확보하고 있어야 한다.

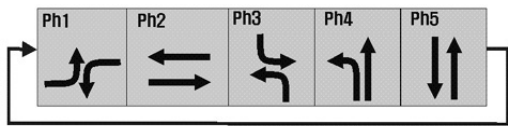
어떤 운전자가 교차로에서 좌회전을 하기위해 독립운영 신호교차로로 진행하고 있는 도중 좌회전신호가 종료되고 직진신호가 시작되어 운전자가 정지선에서 차량을 멈추었을 때, 해당 교차로 접근로에 다른 방향별움직임 차량이 존재하지 않는 경우 좌회전차량 운전자는 다음의 신호주기를 기다리는 동안에 지체를 경험하면서 신호운영이 비효율적이라 판단할 수 있다. 이는 야간이나 한산한 주간 교통시간대에 대부분의 지방 도심부 교차로에서 관측되는 상황이다.

기존의 단일고리(Single Ring)기반 현시구현 체계는 하나의 고정된 현시조합을 구현하며 다른 현시조합의 표출이 필요한 경우 현시구성의

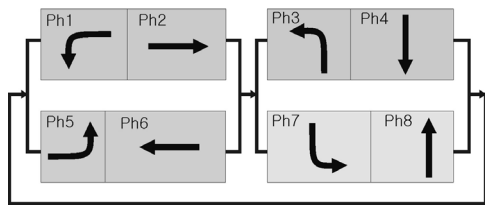
설정변경이 요구된다. 두 개 이상 방향별움직임을 하나의 현시에서 진행 허용할 수 있으며 이러한 현시들의 조합으로 한 주기 내 방향별움직임의 통행을 정리한다. 현시운영 갯 수에 따라 두 개일 경우 2현시운영, 세 개일 경우 3현시운영이라고 불려진다.

단일고리(Single Ring)기반 현시구현체계에서는 현시전환시간 동안에 중첩현시를 자유롭게 표출함에 제약이 있다. 단일고리 현시구현체계는 [그림 3(가)]과 같으며 대부분의 신호교차로 운영변수 설계 및 평가 전산모형에서 사용자와의 인터페이스에서 이를 활용하고 있다.

기존의 이중고리(Dual Ring)기반 현시구현체계는 전체 8개의 현시로 구성되며 하나의 현시에는 하나의 보호진행 방향별움직임이 할당된다. 이중고리기반 현시구현체계와 그 기본 현시번호체제를 [그림 3(나)]에 제시하였다.



(가) 단일고리기반 현시조합체계 예



(나) 이중고리기반 현시조합체계 예

[그림 3] 기존 현시 조합체계

해당 현시구현체계에서 현시 1,2,3,4의 현시길이 합과 5,6,7,8의 현시길이합이 모두 주기길이와 동일한 이중고리(Dual Ring)의 구조를 가진다.

이들 8개의 현시는 서로 진행에 상충하는 직진과 좌회전 방향별움직임을 쌍으로 하는 4개의 동반현시군으로 조합된다.

이러한 동반현시의 사용으로 해당 상충 방향별움직임이 동시에 진행허용되지 않는다. 이러한 4개 동반현시들 사이에서 보호진행 방향별움직임의 교환 배정(swapping)이 가능하며 이러한 교환배정을 통하여 선좌회전 또는 후좌회전 등의 다양한 현시조합을 구현할 수 있다. 현시 1,2와 현시 3,4 사이, 그리고 현시 5,6과 7,8 사이에는 현시전환벽(Barrier)을 두어 동서와 남북접근로에서 진행하는 방향별움직임간의 상충을 배제한다.

동반현시들 중 선행 현시 종료시간 및 후행 현시 시작 시간은 고정되어 있지 않을 수 있어 가변적일 수 있다. 따라서 별도의 제어기 수동설정이 필요없이 중첩현시의 구현이 용이하고 감응식신호제어에 효율적이다.

이중고리기반 현시조합체계는 최대시간수행요청모드(Maximum Green Recall Mode)로 운영하여 단일고리기반 현시조합체계의 모사운영(Emulation)이 용이하다.

최대시간수행요청모드로 운영을 할 경우 각 현시의 녹색시간이 최대녹색시간으로 표출되므로 이를 통한 단일고리기반 현시조합체계 기능을 모사할 수 있다.

이중고리기반 현시구현체계는 현재 미국



NEMA 및 국내 실시간신호제어시스템 COSMOS 신호제어기 등에서 사용되고 있다.

그러나 이중고리기반 현시구현체계는 가변현시표출기능에 제약이 있어 실시간 통행 우선권 배분을 구현함에 한계가 있다.

예를들어 현시1번에서 현시2번으로 통행우선권이 전환된 후, 현시2번이 종료되기 전에 또 다시 현시 1번으로 전환할 필요가 있는 경우, 해당 체계에서는 곧 바로 현시1번으로 역전환이 어렵다. [그림 4]는 현장에서 관측한 해당 경우로 대향직진차량이 없어도 좌회전 현시의 종료로 한 주기를 대기하는 좌회전 차량의 경우를 예로 제시한다.

현재의 이중고리기반 신호현시체계는 동반현시순 간의 교환 배정이 가능하나 그 역전환은 가능하지가 않아 해당 운전자는 한 주기를 소요하며 다음 현시를 기다려야한다.

해당 상황에서 보다 효율적으로 신호현시를 운영하기 위해 가변현시조합 기능이 요구된다. 가변현시조합 기능은 예를들어 현시 1번에서 현시 2번으로 전환된 후 필요에 따라 다시 현시 1번으로 역전환을 가능하게 하는 것에 해당한다. 이러한 가변현시조합을 지원하여 효율적인 첨단 신호제어알고리즘의 구현을 뒷받침한다.

가변현시조합은 신호교차로에서의 가변 통행 우선권 배분으로 결과되며 이의 현장적용은 안전측면에서 조심스럽게 고려할 필요가 높다.

그러나 향후 가변현시조합 적용이 필요한 경우 별도의 하드웨어 변경없이 구현가능하도록 신호제어기에 기계적 기능을 확보하도록 하여야 한다.

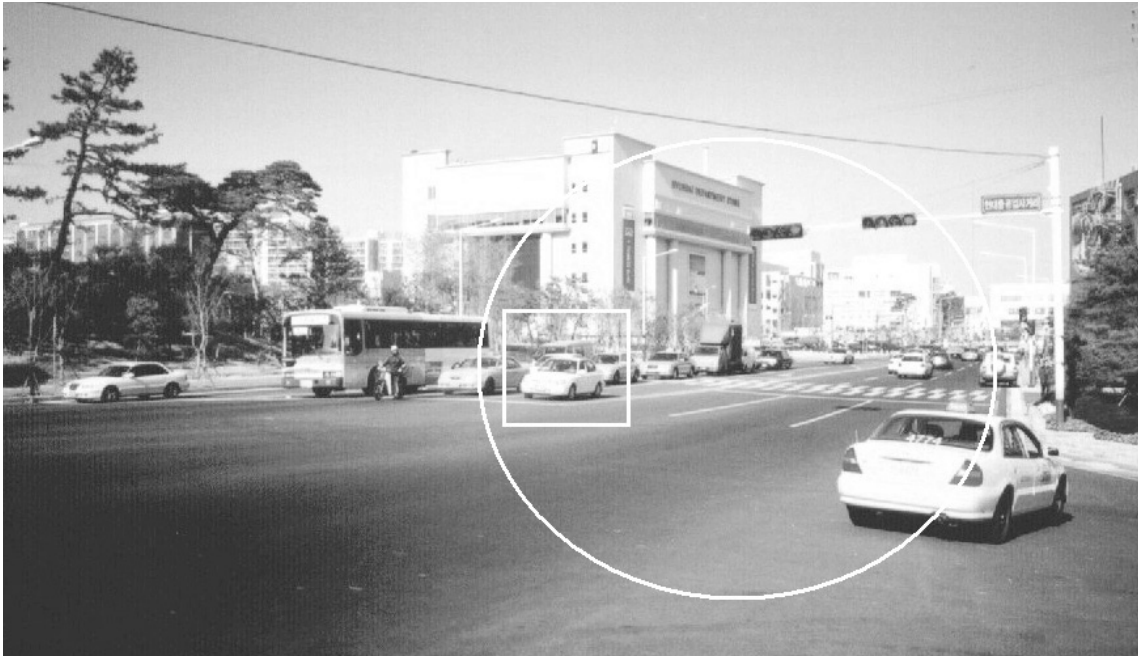
V 신호교차로 운영개선 기대효과 재고

신호교차로의 효율적인 신호운영에 대한 필요성 인식은 널리 인식되고 있다. 그러나 이러한 필요성에 대한 관심은 일상 생활속에서 경험하고 있는 현재의 교통상황에 길들여져 있어 깊게 인식되지는 않고 있다.

과거 1970년대에 두 차례에 걸친 오일파동과 같은 심각한 국가수준의 문제가 존재할 경우에만 국가 유류소비량 감소문제와 더불어 신호교차로에서의 신호운영 문제가 심도있게 다루어졌다.

미래를 준비하는 실시간 신호제어에 대한 연구필요성을 강조하는 차원에서 이미 많은 교통 신호 전문가들은 파악을 하고 있는 내용이지만 다시한번 신호교차로에서의 효율적 신호운영으로 확보될 수 있는 유류소비 감소효과를 수치화 하여 아래에 제시하였다.

우리나라에 등록된 차량댓수는 2003년도를 기준으로 14,586,778 대 (이륜차 제외)인 것으로 보고되었다 [6]. 대당 연평균주행거리를 15,000 km/대·년으로 가정하고, 대당 자동차 연비가 10km/리터 인 것으로 가정하고, 유가를 1,250 원/리터(휘발유, 경유 동시 고려)로 가정하였을 경우, 1년에 차량운행으로 국민이 지출하는 비용은 약 27조 3,502억원으로 우리나라 2003년 GDP (721조 3,450억)[7] 의 3.8%에 해당한다. 효율적인 운영으로 전체 5%의 유류소비 감소(하루에 차량 한 대당 약 2km 추가주행 가능수준 연료절약)효과를 발생하더라도 연간 약 1조3,675억원의 총 국민 유류소비 가계지출 절감



[그림 4] 대향직진차량이 없어도 좌회전 현시의 종료로 한 주기를 대기하는 좌회전 차량

효과를 기대할 수 있다.

VI 결론

미래를 준비하는 실시간 신호제어는 그 기능 면에서 기존의 신호제어운영보다 발전적이어야 한다. 최근 급속한 속도로 발전을 거듭하고 있는 전자, 기계, 통신, 전산분야 기술을 신호제어기에 기본적으로 담을 수 있도록 하여야 하고 또 어떻게 담아야 하는지 심각하게 고려하여야 할 필요가 있다. 필요에 따라 이들을 연계하기에는 타분야 기술이 너무 빠르고, 안전 및 안정된 실시간 신호제어를 지향하는 교통신호분야에서의

변화는 상대적으로 빠르지 않다.

이를 실시간 신호제어에서 극복하기 위하여 과거 신호제어에서 오랜 기간동안 적용되었던 신호교차로운영 및 신호시간 설계방식 계열범례를 전환하여야 할 필요가 있다.


본 논고에서는 이러한 계열범례 전환을 준비하기 위하여 교차로 운영상태 측정기술의 변화, 검색기반에서 규칙기반으로 실시간 신호운영변수 설계방식의 전환, 실시간 통행우선권 배분 및 표출과 관련된 기능확보에서의 내용을 기초적인 수준에서 검토하였다.

현재 중동지방에서 전쟁으로 인한 불안정한 국제상황이 지속되고 있다. 석유를 전량수입하



고 있는 우리나라는 또 언제 발생할지 모르는 오일파동에 대한 대처방안 마련문제가 또 다시 국내에서 쟁점이 되고 있다.

신호교차로에서의 효율적인 신호운영을 통한 유류소비절감의 중요성이 다시한번 인식되는 시기에 실시간 신호제어를 통한 신호교차로 운영 기술 발전방향에 대한 검토는 의미가 있다.

미래를 준비하는 실시간 신호제어 연구는 기초연구부터 차근차근히 수행하여야 할 것이며 이를 위하여 먼저 실시간 신호제어가 발전하여야 할 과정에서 정립되어야 하는 계열법례를 확립하고, 실시간 신호제어기에 포함되어야 하는 기술적 내용을 세부적으로 검토하는 연구를 지속적으로 수행하여야 할 것이다. 

참 고 문 헌

1. 서울특별시, 신신호시스템 검증·평가, 2003.

2. Martin, P. T., Adaptive Control Systems Survey, Univerisyt of Utah, Unpublished, 2002.

3. Martin, P.T. and R. Disegni, "TRB Signal Systems Committee Adaptive Traffic Signals Control Systems Sutvey," Final Report UTL-(07/02) -(57), University of Utah, 2002.

4. El-Assar, H., Orange County SCOOT Systems, Adaptive Signal Control Workshop, Unpublished, TRB Annual Meeting, 2004.

5. 경찰청, 교통신호제어기 표준규격서, 2004.

6. 건설교통부, 인터넷 자료, <http://www.moct.go.kr/statistic>.

7. 통계청, KOSIS통계DB검색 인터넷 자료, <http://kosis.nso.go.kr>.