

■ 論 文 ■

교통신호제어시스템 온라인 평가모형 개발

Development of an Online Evaluation Model for Traffic Signal Control System

고 광 용

(도로교통안전관리공단 선임연구원)

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 필요성 및 목적
 - 2. 연구의 수행방법
- II. 문헌 및 기존연구 고찰
 - 1. 신호제어시스템 평가방법의 구분
 - 2. 온라인 평가모형의 이론적 근거
- III. 온라인 평가모형 개발
 - 1. 온라인 평가모형의 개요
- IV. 사례 연구
 - 1. 사례연구 목적 및 방법
 - 2. 검정 결과
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 교통신호제어, 온라인 평가, 시뮬레이션, 센터시스템 평가, 매크로힐스
COSMOS, HILSS, SIMULATION, CORSIM, RTE

요 약

오랫동안 교통신호제어의 효율을 보다 정확하게 평가하기 위한 다양한 방법들이 모색되어 왔다. 요즘에는 HILSS (Hardware-in-the-Loop-Simulation System) 기법을 응용하여 통신환경, 하드웨어 성능, 제어장치의 운영상황 등 물리적 제어환경까지 고려한 평가가 가능한 수준으로 발전하고 있다.

본 연구에서는 CORSIM(5.0)을 교통류 시뮬레이션 모형으로 하고 COSMOS를 교통제어센터로 하여 COSMOS가 CORSIM의 시뮬레이션 가로망의 모든 교차로에 대해 실시간으로 현시진행을 직접 제어하는 방식의 온라인평가모형을 개발하였다. 개발된 평가모형을 검증하기 위해 시뮬레이션에서의 센터 신호계획 반영 정확도를 검증하였으며, 사례연구를 통해 온라인 평가모형에서의 각 가로별 지체시간 분포가 CORSIM 독립시뮬레이션에서의 지체시간 분포비교를 통해 모형의 유효성을 검증하였다.

평가 결과 개발된 평가모형은 COSMOS에 대응하는 실시간 제어에 대응할 수 있음을 보여주었으며, 센터 신호계획에 정확하게 반응하였다. 또한 지체시간 분포 비교를 통해 입력 TOD에 의한 시뮬레이션 결과와 온라인 TOD에 의한 시뮬레이션 결과가 다르지 않은 것으로 나타나 유효한 온라인 평가모형임을 알 수 있었다.

There have been a lot of efforts to find more accurate evaluation methods for traffic signal control effectiveness for a long period of time. Nowadays a newly advanced method called HILSS, 'Hardware-in-the-Loop-Simulation System', is used to evaluate the overall traffic control's effectiveness including physical control environments like communication conditions, hardware performance, controller's mechanical operations and so on.

In this study, an Online-HILSS model has been developed, which runs on CORSIM(5.0) micro traffic simulation model on-lined to COSMOS. For the verification of the model, three tests are performed as follows: (1) a comparison of TMC's timing plan with the simulated green interval, (2) as a case study, a delay distribution comparison of the online simulation with the CORSIM stand-alone simulation.

The result of the first test shows that the model can run the simulation green interval by TMC's timing plan correctly. The result of second test shows that the online simulation of the model brings the same simulation results with the CORSIM offline simulation in case of the same timing plan.

These results mean that the online evaluation model could be a reliable tool to measure a real-time signal control effectiveness of a wide area street network with the HILSS method.

1. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

국내 교통신호제어시스템에서는 다양한 실시간 교통신호 제어알고리즘이 1990년대 중반부터 개발되어 현장제어에 적용되고 있다. 이 중 교통대응제어(TRC: Traffic Responsive Control, 이하 TRC)는 대표적인 실시간 제어알고리즘으로서 중요교차로를 중심으로 현장에서 적용되고 있다. 이런 첨단기술을 활용한 발전된 제어알고리즘의 제어효율을 평가하기 위한 다양한 기법들이 개발되어왔는데, 그 중 하나가 제어장치들과 시뮬레이션 모형을 연동하여 물리적 제어환경까지 고려한 기능 평가가 가능하도록 고안된 HILSS¹⁾ 기반 평가모형이다. 그러나 HILSS를 이용한 제어기능 평가는 지역적인 제어기능의 평가나 독립교차로 제어의 평가에는 유효한 수단이 되었지만 센터환경까지 고려되지 못하는 단점과 넓은 범위의 전략적 제어효율평가에는 한계가 있다는 지적이 있었다. 이런 이유로 새로운 패러다임의 신호제어시스템 평가 모형이 필요하게 되었다.

온라인 평가모형은 중앙장치와 시뮬레이션소프트웨어를 연동하여 중앙장치가 직접 시뮬레이션 소프트웨어의 가상교차로를 제어하고 그 효과적도를 이용하여 제어효율을 평가하는 새로운 평가기법이다. 이 모형에서는 하나의 도시 규모의 교통네트워크도 다양한 교통상황을 발생시켜 시뮬레이션에서 교통정보를 수집한 후 센터에서 이를 바탕으로 실제 도시처럼 제어가 가능하기 때문에 교통조사방법을 통해 평가하기 어려웠던 다양한 제어알고리즘을 평가할 수 있다.

온라인 평가모형은 신호제어시스템 평가방법의 획기적 진전을 가져올 수 있다. 제어알고리즘 분야의 예를 들면 과거의 TRC 제어가 비포화 상황에서는 많은 검증이 이루어진 반면 과포화 상황에서는 보조 제어수단으로 앞막힘예방제어나 'Equity Offset' 제어방법이 운영에 부담을 주면서까지 활용되고 있지만 그 실효성이 객관적으로 검증된 바 없다. 제어그룹의 경우에도, 제어시스템 설치 시점에서 설계를 통해 일단 결정된 제어그룹은 그 적정성에 대한 검증이 없이 시행되는 것은 물론이고, 교통상황의 변화가 있었음에도 적절한 평가를 통해 재구성되

는 사례가 별로 없다. 이런 문제점이 발생하는 이유로는 제어알고리즘이나 다양한 운영대안들을 현장과 제어시스템의 특성을 고려하여 객관적으로 평가할 방법이 없었기 때문이다.

2. 연구의 수행 방법

과거의 각종 신호제어전략 개발 과정을 살펴보면 현장 조사를 통한 평가분석 외에는 시스템적 평가방법이 없어서 전적으로 인력에 의존하는 사후평가기법을 주로 활용하는 경향이 있었다. 또한 이 방법도 현장 자료 수집을 통해서만 가능했으므로 넓은 지역단위 또는 도시단위의 정확한 평가가 불가능하고 미시적인 제어기능 위주의 평가밖에 될 수 없었다.

본 연구는 신호제어기와 동일한 제어기능과 통신기능을 수행하는 모듈을 교통류 시뮬레이션 소프트웨어인 CORSIM(5.0)에 이식하여 시뮬레이션 네트워크를 실제 운영되는 중앙장치를 통해 제어함으로써 광대역 규모의 교통네트워크에 대한 HILSS 기반 평가 모형을 정립하고자 하였다. 그리고 이 평가모형을 통해 온라인으로 시뮬레이션되는 결과에 대한 신뢰성을 검증하였다.

신뢰성 검증과 함께 평가모형이 실시간 교통신호제어시스템의 실시간 운영능력을 실험적 방법으로 검증하였다. 그리고 온라인 녹색시간계획을 시뮬레이션에 정확하게 반영하는지도 검증하였다.

II. 문헌 및 기존연구 고찰

1. 신호제어시스템 평가 방법의 구분

최근 지능형교통시스템의 도입과 함께 교통관리시스템 및 전자·통신 기술의 첨단화에 따라 평가의 기법 또한 과학적이고 객관적으로 발전하고 있는 추세이다.

일반적으로 교통조사를 통한 현장 상황의 분석과 판단은 가장 일반적으로 이루어지는 교통시스템의 운영 효과 분석 방법이다. 이 방법은 가장 원초적인 평가기법으로 조사원을 통하여 현장 계측 방법으로 자료를 수집한 후 오프라인 모형이나 통계처리 방법으로 분석하여 평가하는 방법이다. 이 방법은 시간과 비용이 많이 소요되어 범위가

1) HILSS(Hardware-In-the-Loop Simulation System)는 시뮬레이션 소프트웨어만으로는 실제 제어환경 고려가 힘들기 때문에 보다 현실적인 현장 테스트결과를 얻기 위해 물리적 제어장치를 연계하여 시뮬레이션을 수행하는 방식을 말한다.

한정될 수 있고, 어떤 대안의 시행 전과 후의 교통상황에 영향을 주는 요소들이 동일하지 않다는 문제가 있다.

다른 방법으로는 시뮬레이션모형에 근거하여 작성된 컴퓨터 프로그램(교통류 시뮬레이션 모형)에 의한 평가 방법이 있는데, 그 동안 교통계획 분야나 교통공학 분야를 막론하고 분석과 예측에 많이 적용해 왔던 방식이다. 컴퓨터에 의한 다양한 효과적도의 산출이 가능하며, 넓은 범위의 분석을 컴퓨터의 도움으로 가능하다는 이점이 있다. 그러나 현실상황을 정확히 반영하기 위한 다양한 변수들이 충분히 고려되기 위해 많은 원인인자들을 파라미터로 반영하는 모형의 개발이 많이 요구된다는 단점이 있고, 이 파라미터의 개발이 불충분하면 현실상황을 시뮬레이션하는 과정에서 오차가 발생할 수 있다. 또한 검지시스템, 현장장치 제어기, 센터와의 정보 교환에 따른 정보의 축약, 센터에서의 알고리즘 수행 시스템 등 교통관리시스템의 하드웨어적인 특성이 반영되지 못하는 문제가 있다.

근래에 시스템적 평가를 가능하게 하는 방법으로서 HILSS 방식을 이용한 평가방법이 도입되고 있다. 이 방법은 제어시스템과 여러 방법으로 연계하여 실시간으로 제어시스템과 연동되는 시뮬레이션 평가기법이다. 시뮬레이션을 이용하는 평가기법 중 가장 최근에 개발된 방법으로 컴퓨터 프로그램에 의한 시뮬레이션을 실제 현실 세계의 제어시스템의 현장장치와 관제센터의 제어시스템에 의해 제어하도록 하여 그 결과로서 나타나는 다양한 평가지표를 활용하여 평가하는 방법이다.

이 방법은 교통신호제어시스템의 복잡한 하드웨어 구성체계와 데이터 처리 방법 등 전체적인 시스템 성능이 포함된 제어특성까지 반영하여 평가함으로써 좀 더 객관적인 평가결과를 도출할 수 있다.

최근에는 해외에서도 본 논문과 마찬가지로 TCP/IP 기반으로 광역 평가가 가능한 HILSS기반 신호제어시스템 평가모형을 상용으로 개발하고 있다. 그러나 제어시스템을 연동하는 개념이 아니고 제어시스템의 계산부분만을 시뮬레이션 컴퓨터에서 별도로 구현한 후 각 신호제어기와 TCP/IP 방식으로 통신함으로써 평가하는 방법으로 광역 평가 개념을 적용하고 있다. 따라서 전체 제어시스템의 다양한 제어파라미터와 운영환경이 고려될 수 없다. 본 논문은 제어시스템의 현장제어기 통신규격을 그대로 따르고 있으므로 실제로 현장제어기와 동일한 방식으로 연동하기 때문에 해외 사례와 같은 적용상의 한계가 발생하지 않는다.

2. 온라인 평가모형의 이론적 근거

정준하(2007)는 최초로 신호시스템을 평가하는 모형으로서 기존의 시뮬레이션 소프트웨어 기반의 평가방법 이외에 신호제어기를 물리적으로 직접 연결하는 미시적 HILSS 방식과 중앙장치에 통신으로 연결하는 거시적 HILSS 방식의 평가모형의 개념을 제시하였다. 이 HILSS 방식 평가모형은 평가대상 시스템, 시뮬레이션 모형 그리고 이 두 요소간의 정보를 연계해주는 중계모듈로 구성된다. 이 때 평가모형으로는 CORSIM이나 VISSIM 그밖에 DYNASIM, PARAMICS 등이 해당될 수 있다.

미시적 HILSS 방식의 평가모형에서는 평가 도구인 교통류 시뮬레이션 모형에서 생성된 차량 검지 정보가 중계장치를 통해 교통신호제어기로 전달되고 교통신호제어기에서는 전달된 검지기 정보를 이용하여 각종 제어알고리즘이 동작하게 되는데 이러한 제어의 최종 결과는 신호등화의 출력 형태 즉, 신호시간 계획(각 방향별 녹색등화의 출력시간)으로 나타나게 된다. 이 신호등화의 출력 신호 역시 중계모듈을 통해 평가모형으로 입력되어 평가모형 내 교차로의 통행권을 통제하는 수단으로 이용된다. 이와 같이 HILSS는 평가 대상 장치와 모형이 상호 연계된 형태로 운영되면서 생성된 지체, 속도, 통과교통량, 대기길이 등과 같은 효과적도를 평가하는 방식으로 평가가 이루어지게 된다.

미시적 HILSS 방식의 평가모형은 제어장치와 물리적으로 연결되어야 하기 때문에 소규모 네트워크의 평가에 적합하며 별도의 중계장치가 필요하다. 그리고 통신은 주로 비동기 직렬통신(Serial) 방식이 적합하며 특징적으로는 제어기에 케이블을 통해 직접 접속되므로 제어기 차원에서 이루어지는 감응제어 등과 같은 전술적 제어까지 평가가 가능하다. 단점으로는 현실적으로 물리적 연결의 한계와 중계장치의 제약 때문에 대규모 가로망에는 부적합하다는 점이다.

거시적 HILSS 방식인 온라인 평가모형은 물리적 연결 대신에 통신시스템을 이용하여 중앙장치에서 교통신호기로 전송되는 신호제어명령을 시뮬레이션 소프트웨어가 가상교차로 제어에 사용하고, 가상네트워크의 검지기 정보를 현실세계의 센터시스템에 전송하여 다음 신호계획을 작성하도록 하여 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제어알고리즘을 평가할 수 있도록 하는 체계이다.

온라인 모형에서의 시스템 구성 방식은 통신체계를

활용하기 때문에 대규모 네트워크에 적합한 대신 전술적 제어보다는 전략적 제어의 평가에 적합한 방식이라고 할 수 있다. 장점으로는 상대적으로 광역을 대상으로 평가가 가능하며 증계장치와 같은 별도의 추가장치가 필요 없다는 점으로 이 방식은 데이터량이 많아지기 때문에 주로 LAN 통신 방식으로 접속하는 것이 일반적이다.

미시적 HILSS방식은 제어기의 신호제어상태를 인식하기 위한 방법으로 통신방식이 아닌 전기 신호를 디지털로 변환하는 방법으로 구성되므로 중간에 변환장치가 요구되며, 다만 통신기능은 이 변환장치와 시뮬레이션 소프트웨어 간에서만 필요하다. 거시적 HILSS방식은 센터 제어시스템과 IP통신을 위주로 연동되므로 통신을 지원하는 소프트웨어 모듈의 지원이 필요하다.

그리고 이들 HILSS를 활용한 신호제어시스템 평가 모형의 신호운영시간 반영 정확도 검증 방법으로 실제 제어기의 신호현시 표출시간과 시뮬레이션 모형에서의 신호현시 운영결과를 비교하는 방법과 HILSS 환경에서의 시뮬레이션 결과와 시뮬레이션 소프트웨어의 소프트웨어 방법에 의한 시뮬레이션 결과를 비교하여 검증할 수 있음을 보여주었다.

정준하·고광용 등(2006)은 실시간 교통신호제어기를 제어하기 위한 정보영역을 운전프로토콜, 확장프로토콜, 데이터베이스 업다운로드용 프로토콜 등 3가지 영역으로 구분한 바 있으며, 제어정보는 운전프로토콜에, 검지기정보는 데이터베이스 프로토콜로 분류됨을 밝히고 있다. 온라인 평가모형은 온라인 시뮬레이션을 수행하여야 하므로 센터와 연계하는 정보영역을 연구목적상 운전프로토콜과 데이터베이스 프로토콜 중 검지기정보 업로드 형식만을 구현범위로 고려하면 시뮬레이션이 가능함을 알 수 있다.

정준하는 Micro-HILSS 기반 신호제어시스템 평가 모형에서 CORSIM 시뮬레이션 교차로에 대해 실시간으

로 신호현시를 제어하는 기법과 모의 가로망으로부터 검지기 정보를 취득하는 COSMOS의 핵심 기능을 RTE로 구현한 바 있으며, 본 논문에서는 이 엔진을 대규모 교차로에 대한 TCP/IP 제어가 가능하도록 통신인터페이스 부분을 일부 보완하여 그대로 활용하였고 이를 위한 파라미터를 추가하였으며 센터시스템의 처리가 추가되었다. 정준하의 Micro-HILSS 모형은 하드웨어 장비를 평가장치와 1대 1로 물리적 수준에서 인터페이스하여야 하므로 다수의 교차로를 평가하는데 다소 한계가 있었으며, 광역 제어 효과를 평가하기에 어려움이 있었으나 본 논문은 센터차원에서 인터페이스함으로써 이런 한계를 극복할 수 있었다.

III. 온라인 평가모형 개발

1. 온라인 평가모형의 개요

온라인 평가모형은 중앙장치에 직접 시뮬레이션 모형을 연동하여 중앙장치가 모형의 교차로를 제어하여 운영 효과를 평가할 수 있도록 고안한 시스템이다.

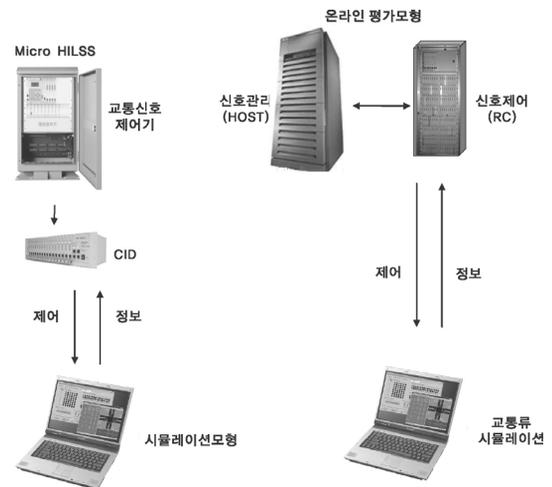
기존의 Micro-HILSS 모형이 교통신호제어기의 출력을 검지하여 그 출력으로 시뮬레이션 모형을 제어하여 운영효과를 평가하는 방법이었다면 온라인 평가모형은 중앙장치로부터 직접 제어를 받고 각종 검지정보를 직접 중앙장치로 전송한다.

모형의 개발과정은 개발된 COSMOS 신호제어시스

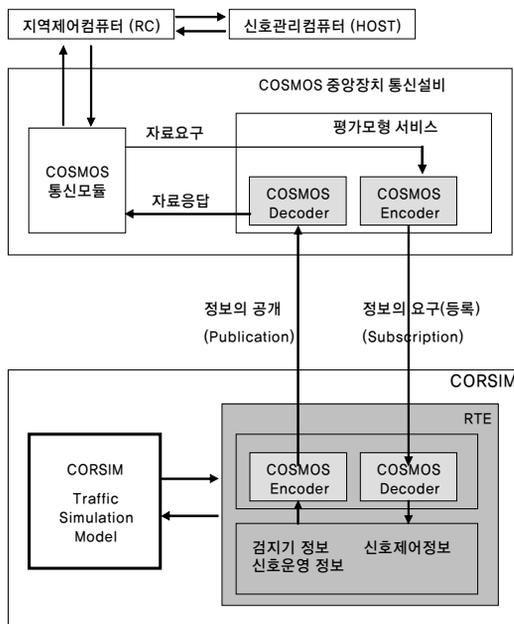
〈표 1〉 평가범위에 의한 HILSS 구분

구분	전략적 제어수준 평가 (온라인 평가 모형)	전술적 제어수준 평가 (미시적 HILSS 방식)
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 광역 단위 제어전략 평가 • 미시적 혹은 거시적 시뮬레이션 모형 탑재 • 고수준 인터페이스 	<ul style="list-style-type: none"> • 국지적 제어전술 평가 • Microscopic 모형 탑재 • 저수준 인터페이스 • 광역평가 시 용량 한계
개발 동향	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽은 전략적 제어수준 평가에 적합하게 발전 • 미국은 전략적 제어의 평가에 적합, 부분적으로 전술적 제어 평가도 가능 	

주) 참고문헌 1에서 인용 후 Macroscopic-HILSS를 온라인모형으로 표현



〈그림 1〉 미시적 HILSS와 온라인 평가모형 비교



〈그림 2〉 온라인 평가모형 연계 방법

템 호환 통신시스템을 시뮬레이션 모형인 CORSIM 모형에 이식하는 과정으로 이루어졌다. 경찰청(2004)에서 지정한 표준 신호제어기능 및 통신기능, 검지기정보 수집기능을 수행하는 신호제어기능과 검지기정보 업로드, 제어정보, 상황정보, 이 RTE 모듈로 구축되었으며, 중앙장치와 정보교환을 수행하며 명령에 반응하도록 구성하였다. 시뮬레이션에 설치된 검지기의 수집정보가 중앙장치에 전달되면 중앙장치에서는 새 신호계획에 따라 가상교차로의 현시를 진행시킨다.

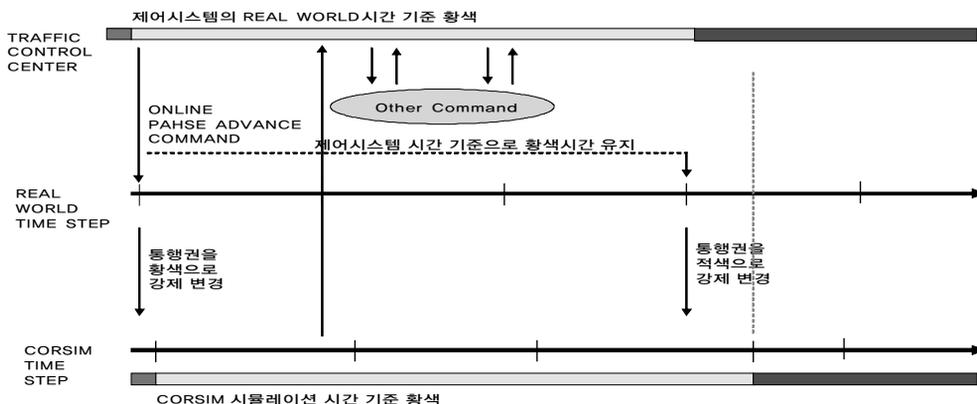
2. 온라인 평가모형의 개발

1) 실세계 시각 기준 제어 방안

실세계 시각과 시뮬레이션 시각은 일치하지 않는 특징이 있다. 실세계 시각은 절대시각으로 0시0분부터 출발하는 기준시각이 적용되며 신호제어시스템 센터와 각 현장 교통신호제어기들이 사용하는 시각이다. 시뮬레이션의 시각은 시뮬레이션 스텝 시간을 기준으로 하는데, 이 시점은 각 시뮬레이션 스텝이 이루어지는 시점을 1초의 시작과 끝으로 본다. CORSIM에서는 이 시뮬레이션 스텝을 실시간의 1초 길이에 해당하는 1000msec로 간격을 벌려 실제 차량 모형의 속도감을 가지고 시뮬레이션되는 것을 사용자가 관찰할 수 있도록 해 주는 기능이 있다. 그러나 시뮬레이션 스텝 시간을 실세계의 1초(1000msec) 길이로 늘려 시뮬레이션한다고 해도 제어시스템에 적용하기에는 2가지의 문제가 발생한다.

첫 번째 문제는 1초의 길이가 정확하게 지켜지지 않고 편차가 발생한다는 점이다. 실제 본 연구의 사례지역인 과천시 16개 노드(Exit Node를 연결하는 외부 연결노드를 포함하면 33개 노드)를 오프라인으로 독립 시뮬레이션하면 1.3초의 시뮬레이션 스텝시간이 소요되는 경우도 가끔 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 물론 대부분의 경우 소규모 교차로는 수십에서 200msec, 본 연구의 과천시 같은 경우는 200~350msec가 소요된다.

두 번째 문제는 각 1초가 시작되는 시점이 실세계 시각과 다르다는 점이다. 왜냐하면 시뮬레이션에서 1초가 시작되는 시점은 모형을 수행시키는 시점에 결정되기 때문이다. 이런 가정으로 보면 최대 1초까지도 제어에 대한 반



〈그림 3〉 실세계 시각을 시뮬레이션에 적용하는 방안

응이 지연될 수 있으며, 이 문제는 실세계 제어시스템이 시뮬레이션 모형의 가상교차로를 실세계 시각 기준으로 제어할 수 없음을 의미한다. <그림 3>은 이러한 실세계 시각과 시뮬레이션 시각의 기준점에 대한 차이를 보여주고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 실세계 시각 기준의 제어시스템에 실세계 시각 기준으로 반응해주는 별도의 Thread(독립 실행 프로세스)가 설계되어야 한다.

이를 위해 각 명령을 보관할 수 있는 적절한 버퍼가 설치되어야 한다. 그리고 제어명령 중 현시 진행명령을 시뮬레이션 모형에 반영해주는 Thread가 설계되어야 한다. 반대로 시뮬레이션 수행과정 중에 각 시뮬레이션 스텝마다 호출되어 수행되는 RTE 모듈 정보(검지기상태와 차량의 위치 등)를 수집하여 센터로 전송하는 Thread도 필요하다.

2) 온라인 평가모형의 기능 구성

이러한 실세계 시각과 시간이 다른 점을 극복하기 위해 본 연구에서는 각각의 요구되는 Thread를 4개의 역할로 구분하여 제어시스템과 시뮬레이션 모형사이에서 시각 및 시간동기화를 위한 역할을 하도록 구성하였다.

(1) Communication Thread

센터로부터의 모든 제어 명령을 수신하여 버퍼에 보관하거나 버퍼에 대기 중인 센터로의 모든 업로드 정보를 전송한다. 송수신 버퍼를 사용하는 이유는 시뮬레이션 진행에 따른 시간지연과 상관없이 모든 UDP(User Datagram Protocol) 패킷이 유실되지 않게 하려는 의도이다.

(2) Command Thread

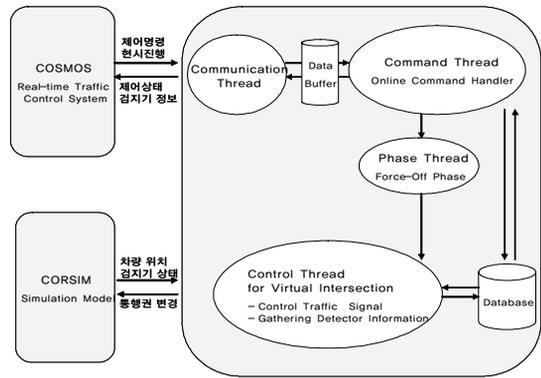
데이터버퍼로부터 센터 제어 명령을 취득하여 적절한 응답메시지를 작성하고 회신될 수 있도록 데이터버퍼에 입력한다. 현시진행명령은 Phase Thread에 전송한다.

(3) Phase Thread

현시진행명령을 수신하면 내부적으로 Force-off(현시 종료 명령)를 발생시켜 다음에 이루어지는 시뮬레이션 스텝 때 황색으로 전환되도록 한다. 그리고 황색시간 경과 시점에는 현시가 진행되도록 내부적으로 Phase-advance(현시 진행 명령) 이벤트를 발생한다.

(4) Control Thread

시뮬레이션 스텝마다 호출되어 교통신호제어기의 통



<그림 4> 온라인 평가모형의 기능 구성

행권 제어 역할을 수행한다. 즉 Force-off 명령이나 Phase-advance 이벤트가 있으면 가상교차로의 각 이동류별 통행권을 직접 변경하고 차량 위치와 검지기상태를 조사하여 교통정보를 작성하여 센터로 전송할 수 있도록 데이터베이스에 저장한다.

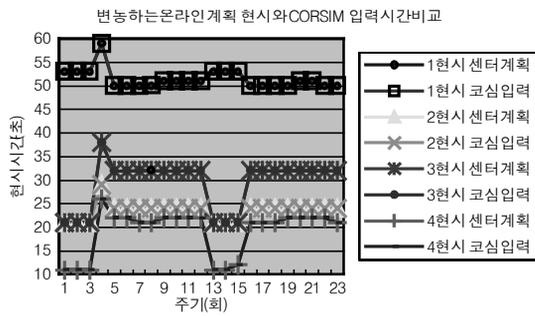
3. 신호계획 반영 정확도 검증

온라인 평가시스템의 신뢰성은 Micro-HILSS 신뢰성 검증방법에 따라 중앙장치에서 실시간으로 제어되는 녹색시간이 정확하게 가상교차로상의 녹색시간으로 나타나는지를 검증하였다.

온라인 평가모형에서는 신호제어시스템의 중앙장치에서 하달되는 신호운영계획(Timing Plan)을 수신하여 가상교차로의 신호등을 실제 교통신호제어기와 동일한 방법으로 신호등을 등화시켜 차량을 진행시킨다. 본 평가는 센터에서 전달된 신호운영계획에서 왼쪽 barrier 현시인 1, 2, 5, 6번 현시별 녹색시간과 최종 모형에서 제어된 후의 현시별 녹색시간 값을 채취하여 평균절대오차 및 등가계수를 평가하고 t-test를 수행하였다. 신호 운영계획을 녹색시간 기준값으로 하고 모형에서 시뮬레이션에 적용된 결과 값을 측정값 하여 평가하였다.

<그림 5>에서와 같이 중앙장치에서 전송된 현시별 녹색시간 값과 CORSIM의 가상교차로에서 운영된 녹색시간과의 정확도를 비교한 결과, 4개 현시의 녹색시간 평균절대오차는 44msec이며 최대 97msec 정도의 오차를 갖는 것으로 분석되었다.

신호시간계획 반영을 평가한 결과 44msec의 절대오차와 녹색시간 등가계수의 경우, 0.998로서 센터에서 요구한 녹색신호의 운영이 온라인 평가모형에서 정확하



〈그림 5〉 센터계획에 따른 녹색시간 운영 정확도

〈표 2〉 녹색시간 독립표본 t-test 결과

변수		Ave.	Stdev	T-value	P-value	결과
종속 변수	독립 변수					
녹색 신호 시간	계획시간_ph1	51.435	2.063	-0.080	0.937	accept
	CORSIM_ph1	51.483	2.056			
	계획시간_ph2	23.435	1.805	-0.063	0.950	accept
	CORSIM_ph2	23.468	1.808			
	계획시간_ph3	29.391	5.246	-0.030	0.976	accept
	CORSIM_ph3	29.438	5.253			
	계획시간_ph4	19.087	4.917	-0.033	0.974	accept
	CORSIM_ph4	19.135	4.916			

주1) H0 : 중앙장치의 신호계획 녹색시간과 시뮬레이션의 운영 녹색시간은 통계적으로 차이가 없다.
 H1 : 중앙장치의 신호계획 녹색시간과 시뮬레이션의 운영 녹색시간은 차이가 있다.
 주2) 양측검정을 사용하였으며, 95%유의수준에서 P-value가 0.05이상이면 귀무가설(H0)을 기각하지 못한다.

게 시뮬레이션에 반영되고 있음을 확인할 수 있었다. 녹색시간 반영 검증에서, 비교하고자 하는 두 변수가 서로 다른 개체에서 나온 값이기 때문에 통계적 검정을 위해 독립표본 t-test를 수행하였다.

〈표 2〉에서 보이는 바와 같이 CORSIM 모형의 경우 4개 현시의 녹색시간의 P-value가 각각 0.937, 0.950, 0.976, 0.974로 분석되어 신호제어시스템 센터에서 전송된 신호계획과 CORSIM 교통류시뮬레이션 모형에 적용된 녹색시간이 서로 다르다는 근거는 없다고 할 수 있다.

IV. 사례 연구

1. 사례연구 목적 및 방법

1) 사례연구 목적

사례적용을 통해 온라인 평가 모형의 시뮬레이션 분

석 결과와 시뮬레이션 소프트웨어 자체의 시뮬레이션 기능에 의한 분석결과가 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지를 검증하였다. 본 사례연구에서 신뢰성 검증을 수행하는 목적은, 비교 대상 시나리오를 분석·평가할 때 모형자체로 분석한 결과와 본 온라인 평가시스템으로 분석한 결과를 동일한 기준으로 비교할 수 있는지를 판단하기 위해서이다. 만일 시뮬레이션 모형의 결과와 온라인 평가시스템의 원격 제어 결과가 통계적으로 유의한 차이가 없다면 각종 시나리오에 대한 분석을 모형과 평가시스템을 혼용해서 사용해도 무리가 없다는 의미이다. 반면에 유의한 차이가 있다면 분석하고자하는 시나리오들은 동일한 분석 툴을 사용해야 한다는 것을 의미한다.

2) 사례지역 선정

HILSS는 실제 제어환경을 고려한 미시적 시뮬레이션을 통해 제어알고리즘의 평가 또는 운영대안의 평가를 모두 수행할 수 있다. 그러나 미시적HILSS는 실험장치 구성을 위해 소요되는 장치의 연결이 필요하므로 일정규모 이상의 대형네트워크나 도시단위의 평가는 불가능하다. 이런 경우 유일한 방법은 본 연구에서 개발된 온라인 평가모형을 통해서 넓은 범위의 가상교차로를 제어하고 그 MOE를 수집하는 것이다.

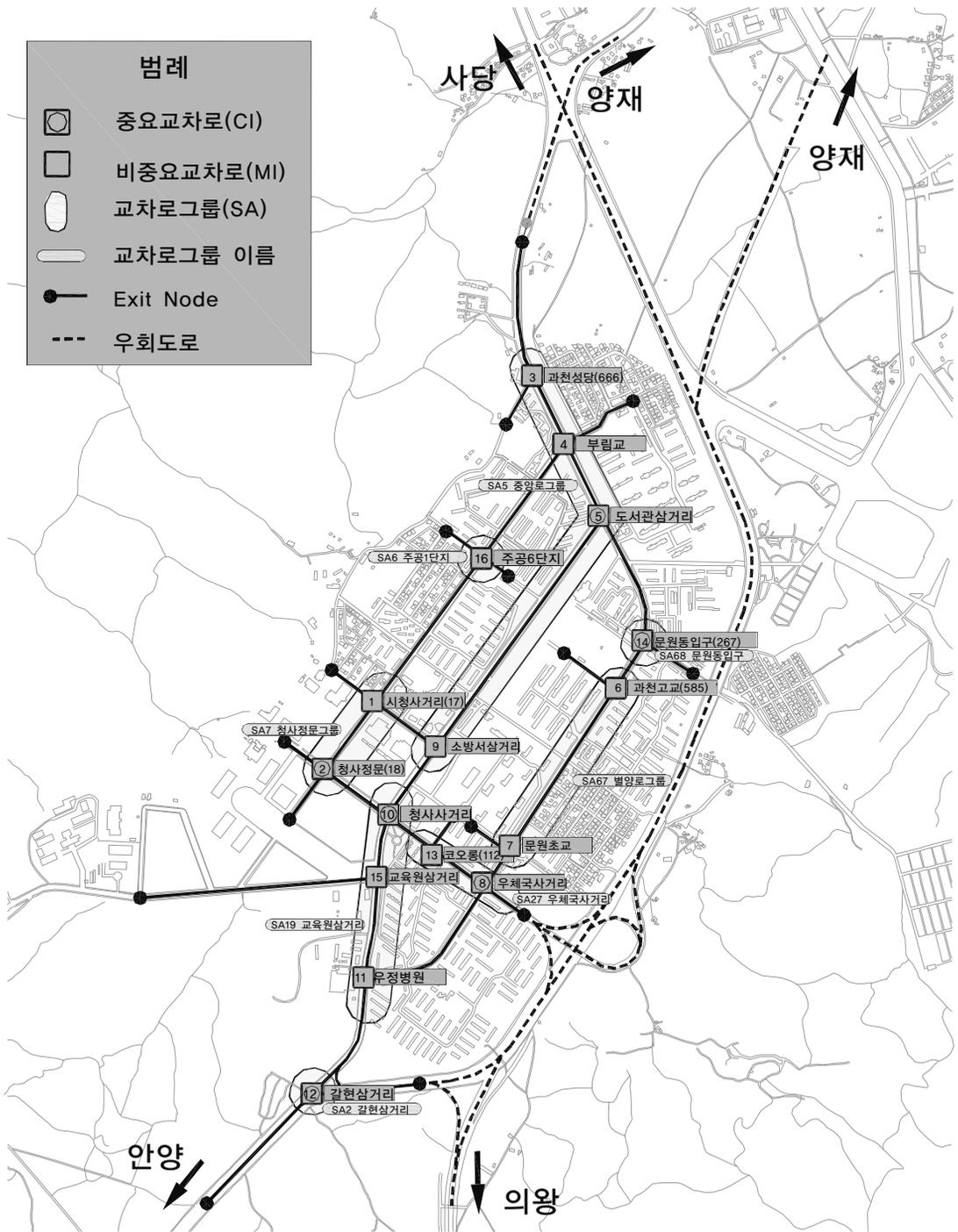
제어알고리즘의 평가에 적용될 수 있는 예를 들면 최근 들어 도입되고 있는 무선검지기를 이용한 여행시간 기반 제어알고리즘과 기존의 루프검지기를 이용한 포화도 기반 제어알고리즘을 비교 평가하는 방법도 본 평가모형을 통해서만 가능하다.

운영대안 평가에 본 평가모형을 적용하는 방법도 운영 전략이 도시전체를 고려해서 이루어진다는 점에서 보면 온라인 평가모형이 유용하게 활용될 수 있는 분야라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 온라인 평가모형을 이용하여 운영대안을 평가하는데 활용할 수 있는 방안을 제시하기 위해 미시적 HILSS로는 평가하기 어려운 도시 전체를 대상으로 하였다. 사례지역으로는 현재 실시간 교통신호제어시스템이 설치되어 운영이 이루어지고 있는 과천시를 대상으로 하였다. 그리고 사례연구로서 평가될 운영 대안으로서 실시간 제어에서 가장 기본이 되는 서브에리어 구성 대안의 현재 운영 대안보다 나은 운영대안을 탐색하는 것으로 하였다.

3) 평가대상지역 현황 및 평가 범위

과천시는 신호교차로가 설치되어 있지 않은 과천의왕



〈그림 6〉 사례지역 실시간 신호제어 운영 현황

간고속도로를 우회도로로 하는 도시로서 도시 내부에 16개의 신호교차로로 이루어진 가로망을 갖는 비교적 적은 규모의 도시이다. (〈그림 6〉)

평가 대상 교통상황은 연구 목적에 따라 사례지역의 과포화상황을 보이는 출근시간대 1시간으로 설정하였다. 시간대 선정을 위한 기초 자료는 교통량조사를 통해 첨

두교통을 나타내는 시간대를 선택하여 자료를 입력하였다. 사례지역의 평가시간대 선정을 위한 교통량 조사 자료는 아래와 같고, 첨두 특성을 나타내는 월요일 08:00~09:00 구간의 자료를 입력하였다.

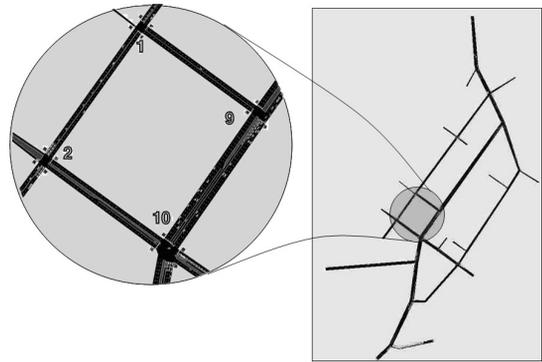
4) 자료의 입력

사례지역 적용을 위해 현재 운영중인 과천시 신호제어시스템의 중앙장치 운영 자료를 실험실의 중앙장치로 입력하였다. 이 때 교차로 번호 체계와 그룹 구성체계를 현황과 일치시켰으며, 교차로별 제어파라미터 및 교차로 그룹별 제어파라미터를 동일하게 입력하였다. 가장 중요한 시간대별 신호운영계획은 일부 최소녹색시간의 오류를 수정하여 분석 시간대인 월요일의 시간계획을 바탕으로 입력하였다.

자료입력이 끝난 데이터베이스는 CORSIM모형과 온라인으로 연결되어 16개의 모든 신호교차로가 현장제어기처럼 운영되었으며, <그림 6>은 과천시의 신호 운영 자료가 입력된 실험시스템의 온라인으로 제어되는 운영 화면을 보여주고 있다.

효과적도 신뢰성 검증을 위해서 본 연구에서는 동일한 가로망 구조, 교통조건, 신호조건 하에서 CORSIM 모형으로 분석한 링크별 지체시간 결과와 온라인 평가시스템으로 분석한 링크별 지체시간 결과를 독립표본으로 하는 t-test(Independent Sample T-Test)를 수행하였다. 분석에 사용한 통계프로그램은 SPSS(Ver 12.0)였다. 각각의 수행 회수는 무작위 번호(Random number)를 매 회마다 변경해가면서 5회로 하였다.

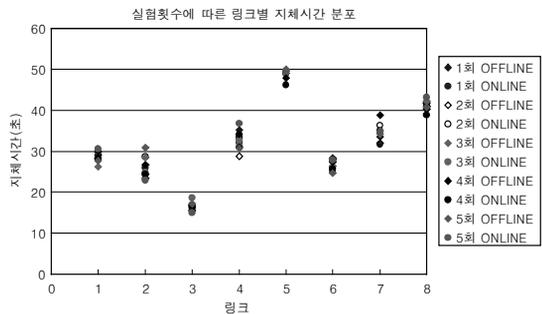
샘플 수집 범위는 간선가로와 보조간선으로 구성된 격자



<그림 8> 지체시간 샘플 수집 범위

<표 3> 신뢰도 검증을 위한 지체시간(초) 샘플

링크번호 (from:to)	1 (1:2)	2 (2:1)	3 (1:9)	4 (9:1)	5 (9:10)	6 (10:9)	7 (2:10)	8 (10:2)
실험횟수								
1회	Offline 29.2	24.3	16.5	35.2	49.7	28.3	33.6	41.9
	Online 28.1	25.9	15.5	32.2	49.1	27.7	31.7	41.5
2회	Offline 29.1	23.4	15.6	28.8	49.0	28.0	32.0	41.1
	Online 28.0	28.6	16.5	33.3	48.8	25.9	36.3	41.9
3회	Offline 26.3	28.5	16.9	31.3	50.0	26.4	34.2	42.1
	Online 29.8	24.8	18.7	32.7	48.8	25.0	34.9	40.4
4회	Offline 29.9	26.7	16.3	31.1	47.9	27.3	38.9	40.2
	Online 28.4	24.4	16.8	34.1	46.1	25.6	35.0	38.9
5회	Offline 27.7	30.8	17.2	30.7	49.6	24.7	35.0	40.7
	Online 30.5	22.9	15.0	36.7	49.6	27.8	34.6	43.2

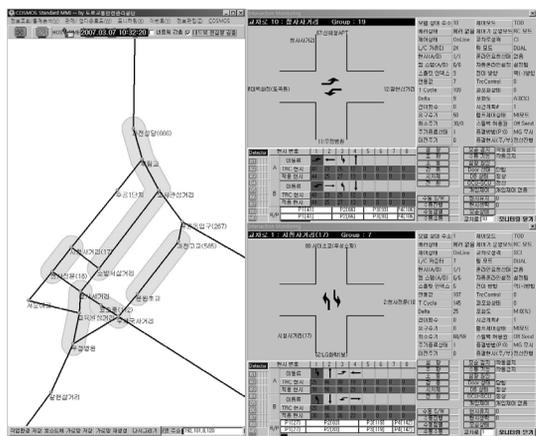


<그림 9> 실험횟수에 따른 링크별 지체시간 분포

형을 포함하는 8개 링크로 한정하였다. 선택된 링크는 하나의 단일 격자가로망을 구성하는 왕복 링크로 구성되어 있다.

2. 검증결과

두 방법의 시뮬레이션은 서로 독립적으로 수행되었으



<그림 7> 온라인 평가모형의 시뮬레이션 제어화면

므로 인과관계도 없고 영향을 끼치지도 않는다. 따라서 이들 두 집단의 모평균에 차이가 없음을 증명하기 위해서는 독립표본 t-test를 수행하여야 하며, 가설은 다음과 같다

H0 : 온라인으로 제어하여 시뮬레이션을 수행한 링크별 지체시간 평균이 CORSIM의 독립 시뮬레이션 지체시간 평균과 같다.

H1 : 온라인으로 제어하여 시뮬레이션을 수행하였을 때의 링크별 지체시간과 CORSIM에서 독립 시뮬레이션한 지체시간은 차이가 있다.

독립표본 t-test에서 두 집단의 흩어진 정도(분산)가 같은지 혹은 다르기에 따라 검정통계량을 계산하는 방법이 다르므로 먼저 두 집단의 분산이 같은지 혹은 다른지를 판단하여야 한다. 이 또한 시뮬레이션 모형과 온라인 평가모형에 의한 효과적도(지체시간) 결과의 분산이 같은지 다른지를 판단하여 전체 모집단에 적용하고자 하는 것이므로 통계적 가설검정을 하여야 한다.

두 집단의 등분산(Equal Variance) 여부를 검정하는 F-검정(Levene's Test for Equality of Variances)의 유의수준이 0.05(5%)라 할 때 검정통계량의 유의확률(p-value, 표에서는 Sig.로 표시)이 모든 링크에서 최소값이 0.081(Link 9⇒10), 최대값이 0.909(Link 2⇒10)으로 나타나 두 집단이 등분산이라는 귀무가설을 채택한다.

F-검정 결과에 따라 두 집단간의 링크별 평균지체시간이 같은지 여부는 등분산이 가정된 결과(표에서 Equal variances assumed)를 가지고 판단한다. 이 경우 모든 링크의 p-value가 공히 유의수준인 0.05보다 크므로 두 집단의 링크별 지체시간은 다르다고 할 근거가 없다.

따라서 "CORSIM 자체 시뮬레이션 수행 결과와 본 평가시스템의 온라인 현시 진행에 의한 시뮬레이션 수행 결과는 차이가 없다"라는 결론을 내릴 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 실제 중앙장치와 시뮬레이션 모형으로 실시간 신호제어시스템을 구성하는 센터 연결형 온라인 신호제어시스템 평가모형을 정립하였다. 그리고 신호계획 반영 정확도를 검증하였으며, 시뮬레이션 수행 결과가 소프트웨어 독립시뮬레이션과 차이가 없음을 확인함으로써 실시간으로 변하는 신호운영현황을 시뮬레이션할

수 있음을 증명하였다.

이 평가모형은 그동안 중앙장치 차원의 각종 신호제어전략 평가 방안이 없어서 기대와 예측으로 도입되었던 과거 제어알고리즘들의 평가를 가능하게 했다는데 큰 의의가 있으며, 향후 개발되는 각종 제어알고리즘의 효과 예측을 가능하게 하여 좀더 효율성이 보장되는 제어시스템을 도모할 수 있게 하였다. 또한 본 연구에서 제시한 평가방법은 대규모 신호제어시스템의 자동화된 평가 도구를 개발할 수 있는 기술적 기반과 모형을 제공하였다는데 큰 의의가 있다.

온라인 평가 모형은 과거에 발견되어 온 교통신호제어기 연결형 평가모형과 더불어 신호제어시스템을 종합적으로 평가하는 중요한 방법론적 토대를 제공할 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 온라인 평가모형은 지금까지 이루어왔던 다양한 교통신호 운영 대안들을 평가할 수 있는 수단을 제공할 수 있다. 따라서 서브에리어 구성 대안이나 제어전략 등 다양한 평가 연구가 이루어져 필요하지 않은 기능을 운영현장에서 제거함으로써 운영부담을 줄여야 한다. 그리고 다른 장점을 갖는 시뮬레이션 모형으로 온라인 평가기능을 확장시키는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 정준하(2007), "HILS 기법을 이용한 실시간 교통신호 제어 평가시스템 개발", 아주대학교 박사학위청구논문, pp.10~19, pp86~99.
2. 정준하·안계형·오영태·고광용(2006), "교통신호 제어기 표준규격 개발", 한국ITS학회논문지, 제5권 제1호, 한국ITS학회, pp33~34.
3. 경찰청(2004), "교통신호제어기 표준규격서", pp.105~178.

✉ 주 작성자 : 고광용

✉ 교신저자 : 이승환

✉ 논문투고일 : 2007. 10. 24

✉ 논문심사일 : 2008. 2. 28 (1차)

2008. 5. 5 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 5. 5

✉ 반론접수기한 : 2008. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필