

HLA/RTI 기반의 교통류 분산 시뮬레이션 모형에 관한 연구

이상헌*

Development of Traffic Simulation Using High Level Architecture / Run Time Infrastructure

Lee Sang Heon

Abstract

There are plenty of optimization models for the signal-system of a single intersection and area traffic. Some of those models are adopted for the real traffic signal control system. The simulators for a single crossroad have been developed, so that we could evaluate optimization models and traffic control systems. However, the simulators for the area traffic are still being developed. Therefore, there are many limitations in the analysis and evaluation for area traffic control system. The area traffic is consisted of several intersections which are very complicated and many traffic strategies are adopted for the control system. This paper features an effective area traffic control system based on the High Level Architecture(HLA). In this paper, we discuss the design of HLA-based area traffic control simulation. We describe technical motivations for the HLA, the key elements of the architecture and how they are minimum and essential to the goal of reuse and interoperability. A distributed simulation with HLA/RTI provides stable and satisfactory experimental results. Moreover, the prototype traffic control system provides reliable accomplishment compared to the NETSIM and TRANSYT-7F models.

Key Words: High Level Architecture, Traffic Simulation, Distributed Simulation, Federation, Federate, Interoperability

1. 서론

산업문명이 발달함에 따라 차량은 계속해서 증가하고 있다. 이에 따라 도로 또한 확충되고 있으나 차량 증가에 따른 교통 혼잡을 도로확충만으로는 해소하기 이미 힘든 상황이 되고 말았다. 이에 따라 교통류의 통제는 도시기반 시설에 대한 최대 관심사 중에 하나이며 이를 해소시키기 위해 전 세계적으로 다양한 교통 통제 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 사용하고 있는 시스템의 세부적인 특성은 다르나 제어방식에 따라 구분해보면 교통신호제어기 단독으로 각각의 교차로 신호를 운영하는 일반 교통신호체계, 중앙컴퓨터에 의한 신호통제로 인접 교차로 신호기와 연동이 가능한 전자 신호체계, 시시각각으로 변화하는 교통수요와 혼잡상황에 적절히 대응할 수 있는 첨단 신호 체계로 구분할 수 있다. 최근 대도시를 중심으로 첨단 신호체계를 기반으로 하는 첨단교통 시스템의 구축이 활발히 진행 중에 있으며, 국도와 지방도상 신호교차로의 경우도 교통수요에 적절히 대응할 수 있는 새로운 신호제어체계의 개발이 진행 중에 있다. 선진국의 경우 교차로 신호의 합리적 운영을 위해 기존 신호체계 운영에 대한 관심과 함께 새로운 신호체계 개발에 꾸준한 노력을 기울이고 있는 실정이다.

이러한 신호체계 개발과 함께 수반되어야 하는 과정이 신호체계에 대한 시물레이션이다. 교통제어 알고리즘과 교통통제 시스템을 분석, 평가하기 위해서는 실적용에 대한 막대한 비용을 감안하면 시물레이션은 필수적이다. 단일 교차로에 대한 시물레이션으로부터 신호체계가 다양해지고 통제 대상 또한 광역화됨에 따라 지역교통망에 대한 광범위한 시물레이션이 필요하게 된다.

현재 상용화되고 있는 대표적인 교통류 시물레이션으로는 FRESIM, NETSIM, PARAMICS, INTEGRATION 등이 있다[11]. FRESIM은 고

속도로 교통류, NETSIM은 도시 네트워크에 대한 제반 전략을 평가하는 모형이고, INTEGRATION은 도시 및 고속도로 교통류에 대한 모델이며 PARAMICS는 정체도로에 관련된 모델이다. 이러한 미시적 교통류 시물레이션 모형은 대부분 네트워크 사이즈가 국한되어 있어 광범위한 네트워크 시물레이션이 제한되고 활용분야 또한 상이하며 대부분 실시간 교통상황 변화에 따른 신호제어 등 교통 대응전략을 평가하는 데는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하고 광범위한 교통류의 현상을 표현하는 실시간 시물레이션은 하부 시스템들 간에 자료교환을 통하여 상호운용성(interoperability)을 구현할 수 있는 분산 시물레이션(DIS : Distributed Interactive Simulation)에 의해 가능할 수 있다. 특히 HLA(High Level Architecture)를 기반으로 하는 실시간 분산 시물레이션 기술은 합성환경 구축을 위한 핵심 기술로서, HLA는 시물레이션 상호간 상호운용성을 보장하고 동시에 모델 및 시물레이션 구성요소의 재사용성을 촉진시키기 위한 상위수준의 시물레이션 아키텍처다[16]. 특히, 미 국방성을 중심으로 국방관련 모든 차세대 시물레이션 개발에 HLA 표준을 준수하도록 규정하고 있고, 국제전기전자공학회(IEEE)가 시물레이션을 위한 표준으로 채택(IEEE1516)하였으며 관련 연구가 민간산업분야로 빠르게 확산되어 가고 있는 실정이다.

본 논문에서는 지역교통망의 복잡, 다양한 특성과 이를 통제하는 교통통제 시스템을 HLA를 사용하여 시물레이션으로 구현함으로써 지역교통망에 대한 교통통제 시스템을 분석, 평가하여 HLA의 재사용성과 상호운용성의 기능을 확인하고 교통류에 대한 HLA적용의 가능성을 제시하고자 한다.

본 연구는 교통 분야에 대한 HLA 기반의 분산 시물레이션 프로토타입 모델 개발과 HLA의 효율성 제시에 그 범위를 설정하였으며 이를 위해 미 국방성에서 HLA 페더레이션 개

발과 실행에 대한 단계를 제시하여 개발한 FEDEP(Federation Development and Execution Process) 모델[13]을 사용하여 단계별 개발내용을 상술하고 개발된 모델을 이용하여 지역 교통제어 방식을 적용한 시물레이션을 실시하고 결과를 분석하여 HLA 기반 지역 교통류 시물레이션의 효율성을 제시한다. 이러한 절차를 수행하기 위해 모형개발은 객체지향 모델링 언어인 UML(Unified Modeling Language)과 Visual C++6.0을 이용하였다.

2. 기존 모형/연구 고찰

2.1 국외 주요 교통류 시물레이션 모형

현재 상용 중에 있는 다수 교차로에 대한 대표적인 국외 시물레이션 모형으로는 FRESIM, NETSIM, INTEGRATION, PARAMICS 등을 들 수 있다.

- FRESIM(FREeway SIMulation) : 미국 연방도로교통국에서 개발하여 현재 고속도로 교통류 분석에 가장 실용적으로 많이 쓰이고 있는 시물레이션 모형으로써, 개별 차량단위로 교통의 흐름을 분석하는 미시적 모델(microscopic model)이다. 이 모델은 광범위한 차선변경 및 우발적 사고나 공사로 인한 차량 정체를 모델링 할 수 있고 도로의 경사, 곡률, 고가도로 등을 표현 할 수 있으며 운전자의 습관을 10가지로 분류 가능하다.

- INTEGRATION : 캐나다에서 처음에는 고속도로나 간선도로의 통행배정과 네트워크의 시물레이션을 위해 개발하였으나, 그 후에 첨단 교통운영관리나 교통정보체계와 같은 전형적인 ITS(Intelligence Traffic System)의 기능들이 추가되면서 ITS의 효과 분석을 위한 도구로 많이 이용되고 있다.

- NETSIM(NETwork SIMulation) : 미국에서 개발되어 신호등이 있는 네트워크를 대상으로 교통제어 전략의 효율성 평가에 활용되

며 도시 네트워크에 대한 각종 전략을 평가하는 모델이다. 미시적인 부분까지 표현하는 구간(interval-based) 모형으로서, 도로 규격, 교차로의 물리적 특성을 정교하게 모델링 할 수 있고 차량 또한 16가지 형태로 표현 가능한 모델이다.

- PARAMICS : 영국에서 개발되어 정체 도로 및 ITS기반 시설을 모델링하고 차량내의 각종 장치의 변화에 따라 그 영향을 교통류 흐름에 반영할 수 있는 시물레이션 모델이다. 네트워크 크기에 제한이 없고 차량추종(car-following) 기능이 뛰어나고, 차선변경이 가능하며 7가지 차량으로 분류하며 뛰어나고 직관적인 GUI를 지원하여 사용자로 하여금 용이한 이해를 제공한다.

2.2 국내 관련 연구

기존 교통류 시물레이션 모형에 대한 연구의 다수는 해당 모델에 적용된 알고리즘과 결과 값의 보정에 관한 내용을 다루고 있다. 최적화 모델인 TRANSYT[15]의 신호시간 최적화를 유전자 알고리즘으로 보완하는 모형[1]과 FRESIM 모델의 각종 파라메타를 실제 데이터를 이용하여 정산하는 연구[10], FRESIM모형을 토대로 고속도로 기본구간에서의 선택적 차로변경모형[3] 등이 제시되었다. 한편, 차량의 움직임을 그래픽으로 표현할 경우 다른 미시적 모형에 비하여 비교적 적은 메모리 요구와 여러 교통상황 및 가로망구조에 맞는 다양한 모형에 적용시킬 수 있는 구조를 지닌 Cellular Automata 모형을 기반으로 하여 대규모 네트워크 구조의 미시적 시물레이션 모형이 제시되었다[11].

90년대 중반 이후부터 교통류 시물레이션 분야에 객체지향적 모델링 개념이 연구되어 교통현상을 이산된 사건으로 구분 모델링하여 교통망에 대한 분석방법이 연구되었다. 이자욱·지승도[6]는 복잡 다양한 도로 교통망을

이산 사건 모델링 기법을 이용한 시물레이션 방법을 제시하였고 이종근 등[7]은 객체지향적 소프트웨어 환경과 SES/MB 프레임워크 기반 하에 교통류 모형들을 용이하게 수용할 수 있는 계층 구조적 시물레이션 시스템을 제안한 바 있다.

이러한 교통류 시물레이션의 연구추세와 함께 미 국방성에서 군사 시물레이션의 상호운용성과 재사용성을 촉진시키는 시물레이션 기술 구조로 사용된 HLA의 적용이 제한된 분야에 연구되고 있다. 국내에는 분산시물레이션들[2,8,12], 수송이동 분야[4] 및 산업현장 시물레이션[5] 등에 적용을 시도한 예가 있다. 임성용[9]은 HLA 기반의 자동차 주행연습 시물레이션을 구현하여 실시간 분산 시물레이션의 효과를 제시하였다.

2.3 HLA 기반기술

HLA는 미 국방부가 모델링 및 시물레이션(M&S, Modeling & Simulation) 체계간, 또는 M&S체계와 전투핵심요소인 지휘통제 및 정보통신(C4I : Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) 체계 간에 상호운용성을 촉진하고 기관간 모델의 재사용성을 향상시키기 위하여 개발한 분산 시물레이션의 표준기술구조로서 상이한 조직에서 상이한 목적으로 개발된 개별 시물레이션들을 하나의 통합된 시물레이션으로 결합시켜 주는 소프트웨어 구조이다[16].

3. 지역교통통제 페더레이션 목표 / 개념모델 설계

3.1 FEDEP 모델

FEDEP 모델은 사용자 요구사항을 충족할 수 있는 HLA 페더레이션 개발 및 실행을 위한 상위수준의 프로세스 또는 지침을 제공하며

HLA 페더레이션 개발 및 실행을 위하여 5가지 기본단계와 순서를 식별하여 제공하고 있다. 이 장에서는 본 연구 페더레이션에서 나타내고자 하는 목표를 정의하고 페더레이션의 개념모델 개발을 위해 시나리오 설정, 사용사례를 분석을 통해 페더레이션 개념을 분석한다. 또한, 페더레이션 설계/개발단계로 페더레이션에 참가하는 페더레이트를 선정하여 각각의 페더레이트의 기능을 할당하고 이를 기초로 하여 OMDT(Object Model Development Tool, Version 1.3 v5)를 이용하여 FOM을 개발한다.

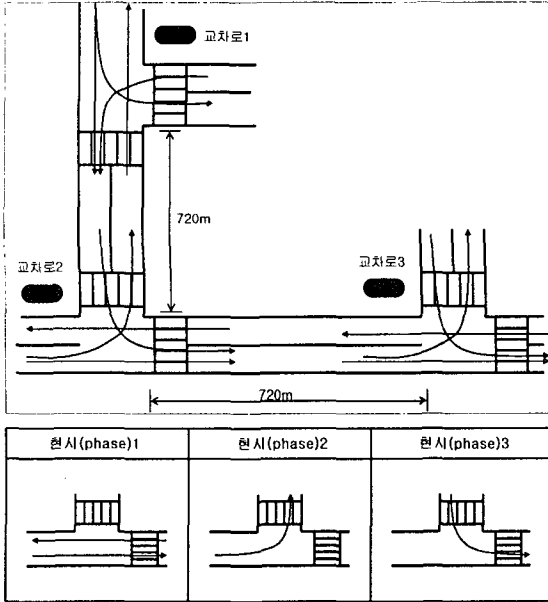
3.2 페더레이션 목표정의

본 연구에서 구현하고자 하는 내용은 지역교통통제 시물레이션으로써 지역교차로는 여러 교차로가 네트워크형태로 구성되어 있으므로 하나의 교차로에서 변화하는 상황은 지역교차로내의 모든 교차에 영향을 줄 수 있다. 이러한 내용을 포함한 본 연구의 페더레이션의 요구사항을 다음과 같이 도출할 수 있다.

- 인접 교차로간의 영향인 유입차량의 증가/감소, 옵션의 설정변경 등을 반영하는 시물레이션이 가능해야 된다.
- 중앙통제기에 의해 각 교차로의 통제 방식이 조정 가능해야 한다.
- 단일교차로가 아닌 특정 지역 내에 있는 교차로의 통제를 시물레이션 함으로써 다양한 상황과 제어 방식을 적용할 수 있어야 한다.
- HLA 기반 분산 시물레이션의 특징인 재사용성을 이용한 새로운 교차로의 추가 및 제거가 용이하며 더 나아가 인접한 지역교차로 시물레이션도 추가 가능해야 한다.

3.3 페더레이션 개념모델 개발

지역교통망 시물레이션에 대한 프로토타입을 제시하고자 지역교통망에서 일어날 수 있는 상황과 여건을 <그림 1>과 같이 3지 교차로 3개소로 시물레이션 범위를 한정하였다.



<그림 1> 구현 교차로

3지 교차로 3개소가 각각 720m씩 거리를 두고 위치해 있으며 각각의 교통류 이동방향은 화살표로 표현되어 있고 각 교차로는 2개의 보행자 신호를 가지고 있다. 사용되는 현시는 3가지 현시로 한정하여 표현한다. 지역교통망 시나리오는 <표 1>과 같다.

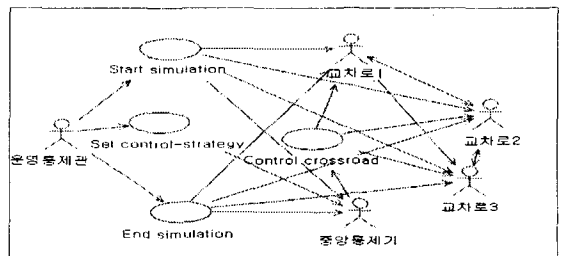
개념분석을 통해 주요 객체와 객체간의 상호작용을 확인할 수 있다. 교차로, 중앙통제기, 차량, 운용통제기는 본 시물레이션에서 활동하는 주요 객체로서 식별되며 각각의 임무 및 객체간 상호작용은 <그림 2>와 같이 식별할 수 있다.

운용통제기에서 최초 시물레이션을 시작하여 각각의 교차로 객체와 중앙통제기 객체를 생성하고 각각의 객체에서 분산시물레이션을 실행하게 한다. 각 교차로 객체는 교차로상의 상황을 시물레이션하고 인접교차로에 영향을 주는 인접교차로 유입 데이터를 인접교차로 객체에 전송한다. 유입차량에 대한 데이터를 전송받은 교차로는 새롭게 업데이트된 속성값으로 시물레이션을 하게 된다. 그리고 중앙통

제기는 사전에 지정된 지역교통망 통제 전략으로 각 교차로를 중앙 통제한다. 운용통제기에서 중앙통제기의 통제전략을 수정하면 중앙통제기는 이에 맞는 통제방식을 해당교차로에 전송, 해당교차로는 전송된 통제방식을 적용하여 교차로 내의 차량을 통제한다.

<표 1> 지역교통망 시나리오

구분	시나리오
범위	<ul style="list-style-type: none"> 지역 교통망을 표현하기위한 최소 범위로 3개의 교차로를 하나의 지역교통망으로 설정, 시물레이션 대상으로 선정 보행자 신호, 차량의 종류, 도로폭, 노면상태 등은 동일한 조건으로 한다. 각 교차로간의 거리는, 720m
교차로	<ul style="list-style-type: none"> 삼거리 교차로로 총3개의 phase로 이루어짐 인접한 교차로의 차량은 인접한 교차로 방향으로 통과한 차량의 수만큼 그 수가 늘어남 생성된 차량은 교차로 제어기에 의해 통제를 받아 교차로에서 정지, 통과를 한다. 차량수의 증감으로 차량의 대기/통과를 표현한다. 각 교차로는 각종 신호제어방식을 변환하여 사용가능 매 주기 당 대기차량수를 기록 유지한다.
중앙통제기	<ul style="list-style-type: none"> 각 교차로의 각종 신호제어방식(독립교차로 제어, 연동식 교차로제어, 고정시간제어, 실시간 교통제어, 교통감응제어)을 중앙에서 통제가능 통제자의 교통통제 전략을 중앙에서 조정가능
차량	<ul style="list-style-type: none"> phase별 차량이 사전 지정된 분포로 생성 각 교차로의 통제를 받아 녹색시간에는 진행, 적색시간에는 정지한다.
운용통제기	<ul style="list-style-type: none"> 시물레이션을 시작하고 종료한다. 중앙통제기를 조정한다.



<그림 2> 사용사례도(Use Case Diagram)

운용자는 이 모델을 통해서 시물레이션 시작, 제어전략 조정, 시물레이션 종료의 서비스를 사용할 수 있으며 이러한 서비스의 수행상

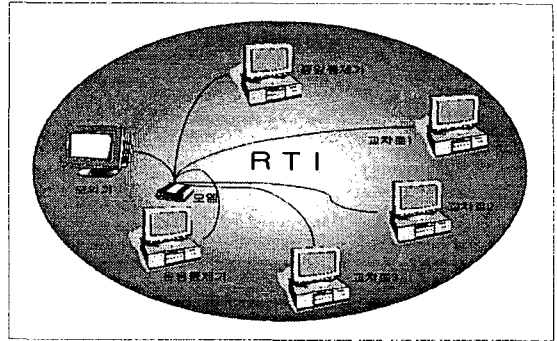
주체를 명시하고 있다. 예로, 제어전략 조정의 메시지는 중앙제어기가 수신하여 다시 제어 파라메타 조정이라는 메시지를 공표(publish)하며 이를 각 교차로가 수신하여 그 서비스를 수행하게 된다. 이러한 과정을 통해 각각의 객체가 다른 객체와의 사용상의 관계를 알 수 있으며 각각의 교차로는 인접된 교차로와 상호작용이 있음을 알 수가 있다.

최초 운용통제기에서 페더레이션을 시작하면 중앙통제기와 교차로 1, 2, 3의 객체의 시물레이션을 시작하게하고 각각의 시물레이션은 각자의 시나리오에 따라 시물레이션을 진행한다. 각 교차로는 시물레이션 과정에서 인접한 교차로에 영향을 주고받고 있다. 그리고 운용통제기에서 새로운 교통통제방식을 적용하면 중앙통제기의 메시지를 받아 각각의 교차로 통제 파라메타를 변경하여 교통량을 통제한다. 이러한 과정에서 각 객체간 시간적인 연동이 이루어져야 의도하고 있는 시물레이션이 가능하다. 이것을 해결하는 부분이 RTI 소프트웨어이다. RTI는 페더레이션의 지원 소프트웨어로서 네트워크상에서 분산 시물레이션을 효율적으로 관장하고 진행시키기 위한 데이터 추상화 구조다. 각각의 시물레이션 그 하부구조로 가지고 있는 공통된 공간으로 이러한 공간을 거쳐 상호 시간적 공간적으로 연동된 시물레이션이 가능한 것이다.

4. 지역 교통통제 페더레이션 설계/개발

4.1 페더레이트 선정 및 기능할당

지역교통통제 페더레이션 목표분석과 개념 분석을 통해 페더레이션에 참여하는 페더레이트를 식별할 수 있다. <그림 3>과 같이 운용통제기, 중앙통제기, 교차로1, 2, 3의 개별 시물레이션은 본 페더레이션의 페더레이트로 설정할 수 있으며 교차로 수를 추가하여 시물레이션을 하기 위해서는 페더레이트 단위로 추가 가능하다.



<그림 3> 페더레이션 구성

- 운용통제기 페더레이트 : 운영자의 인터페이스 부분으로 운영자가 모의영역 전반에 대한 상황설정 및 페더레이션 구성, 그리고 실행을 관장하고 페더레이션 멤버들의 상태인 페더레이션 실행, 가입 등을 관리한다. 그리고 중앙통제기 페더레이트를 통제함으로써 지역 교통통제에 관한 전반적인 사항을 관할한다.
- 중앙통제기 페더레이트 : 각 교차로의 각종 신호제어방식인 독립 교차로제어, 연동식 교차로제어, 고정시간제어, 실시간 교통제어, 교통감응제어방식을 중앙에서 통제하는 역할로서 실제 지역교통 신호체계에서 중앙 연동 방식에서의 중앙컴퓨터 또는 관제센터와 같은 역할을 한다. 중앙통제기의 교통제어 전략은 하부 시스템에 있는 교차로를 그 전략에 맞게 통제하는 시나리오가 되며 그 시나리오는 운용자의 의도대로 변경되면서 해당 전략을 상호 비교할 수 있게 된다.
- 교차로 페더레이트 : 지역교통망에서 각각의 교차로를 표현하는 페더레이트로서, 각각의 교차로의 특성과 작용을 나타낸다. 각각의 교차로는 고유한 특징을 가지고 있다. 예를 들어 교차로의 기본 파라메타인 주기, 현시, 윽셋과 이를 통제하는 교통신호 제어방식 그리고 기타요소로 도로폭, 회전반경 등이 있다. 그리고 그 작용으로 교차로 교통신호를 통해 교차로 내의 차량을 통과 및 정지 시키는 작용, 중앙통제기에서 통제된 새로운 교통신호 제어방식

을 즉시 적용하여 차량을 통제하는 작용 등이 있다.

• 작업모의기 페더레이트 : 중앙통제기 페더레이트, 교차로 1, 2, 3 페더레이트에서 각각 분산 시물레이션된 내용을 하나의 시·공간적인 범위에서 모의되는 페더레이트이다. 본 연구에서 원하는 각각의 세부 시물레이션의 상호 운용성이 실현되고 재사용성이 실현되는 상황을 확인할 수 있는 부분이다.

4.2 페더레이션 설계/개발

연합객체모델(FOM)은 HLA 페더레이션에 참여하는 응용체계들 사이에 주고받는 정보를 기술하는 객체이다. 여기에는 페더레이션에 참여하는 페더레이트의 클래스, 속성, 및 상호작용 등을 기술한다. 본 연구의 페더레이션 내에서 운용될 객체는 중앙통제기, 교차로 1, 2, 3이다. 지역 교통통제 페더레이션의 연합객체모델은 <표 2>와 같이 모델링 할 수 있다.

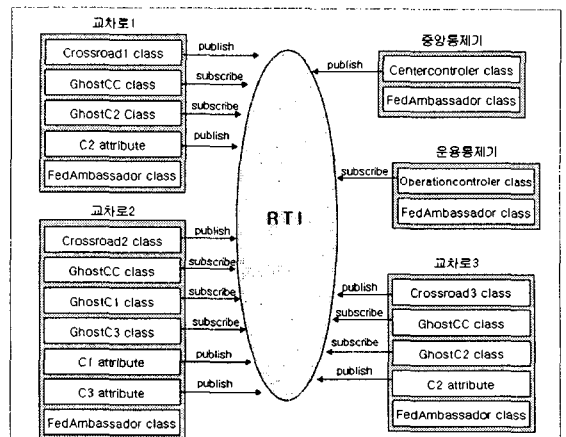
객체의 속성은 교차로 이름에서 시작하여 9 종류의 속성을 가지고 있으며 여기서 신호 제어 파라메타는 주기, 현시별 길이, 옴셋이다. 상호작용으로는 인접 교차로에 대한 차량유입이 있으며 그 파라메타는 유입차량수로 표현된다. 이러한 테이블 형태의 모델은 개념적 모델로서 RTI가 식별할 수 있도록 FED (Federation Execution Data) 파일 형태로 나타내어야 한다. 이러한 과정을 자동화한 도구가 객체모델개발도구(OMDT)이다.

OMDT는 HLA 페더레이션 개발의 핵심요소인 연합객체모델(FOM)과 시물레이션 객체모델(SOM)의 개발과정을 자동화한 도구로 <표 2>와 같은 테이블 형식의 객체모델에 대한 인터페이스를 제공하며 객체모델이 구축된 후 일관성 검사 기능까지 수행한다.

<표 2> 객체와 상호작용

구분	중앙통제기 페더레이트	교차로 페더레이트
클래스명	중앙통제기	교차로 1, 2, 3
상호작용	통제값 조정	유입 차량증가
파라메타	주기, 옴셋 현시별 길이	유입 차량여부
속성 (Attribute)	신호제어방식	교차로 이름, 주기 현시별 길이, 옴셋 현시별 생성차량 수 현시별 통과차량 수 현시별 대기차량 수 현시별 포화도 현시별 차량생성을

<그림 4>는 본 연구의 페더레이션의 구조를 도식화한 것으로, 페더레이션 설계시 공표(publish)해야 될 내용과 요청(subscribe)해야 될 내용을 구분하여 페더레이트 내에 구현하고 RTI함수로 각각의 페더레이트를 구현한다. 교차로1 페더레이트를 예를 들면, 교차로1은 클래스 자신의 속성과 교차로2로 전달되는 속성을 공표하고 중앙통제기와 교차로2에서 전달되는 데이터를 수신하여 그 속성이 갱신될 수 있도록 페더레이트내에 수신단을 삽입한 상태로 설계가 이루어진다. 이외의 페더레이트들도 동일한 방법으로 설계된다.



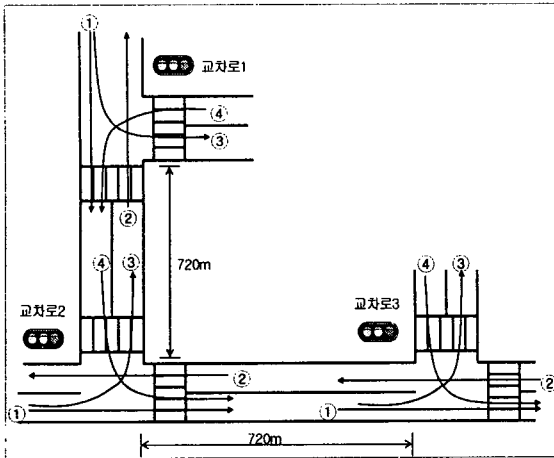
<그림 4> 페더레이션 설계

5. 페더레이션 실행

5.1 지역 교통망 시물레이션 분석

HLA 기반 하 지역교통망 시물레이션 모델을 이용하여 3지 교차로 3개소에 대한 지역교통망 신호제어 방식을 분석하였다. 비교분석할 방식은 단일 고정신호제어 방식, 지역 연동신호제어 방식과 실시간 교통대응제어 방식이다.

<표 3> 차량생성 시나리오



구분	교통류	차량 생성율	비고
교차로 1	①번	0.25 대/sec	
	②번	-	교차로2-③ 유입
	③번	0.18 대/sec	
	④번	0.20 대/sec	
교차로 2	①번	0.26 대/sec	
	②번	-	교차로3-② 유입
	③번	0.22 대/sec	
	④번	-	교차로1-① 1/2유입 교차로1-④ 1/2유입
교차로 3	①번	-	교차로2-① 1/2유입 교차로2-④ 1/2유입
	②번	0.27 대/sec	
	③번	-	교차로2-① 1/2유입 교차로2-④ 1/2유입
	④번	0.24 대/sec	

각각의 제어방식을 중앙통제기에 시물레이션 시나리오로 입력하여 3개의 교차로를 통제

하여 실행하였다. 교통류 시물레이션에 HLA 개념을 적용한 프로토타입 모형연구에 중점을 둔 특성에 따라 비교시 효과척도(MOE)로는 일반적인 평균대기 차량수를 사용하였다. <표 3>은 차량생성 시나리오로 각각의 제어방식을 실험함에 있어 공통적으로 적용되는 시나리오이다. 현시는 <그림 1>과 같이 3가지로 구분하여 교차로의 주기를 이루었으며 각각의 현시에 번호를 설정 시나리오에 적용한다.

시물레이션은 각 신호제어방식별로 20분간 실시하였다. 이 시간은 RTI에 의한 상호운용성의 실현과 교차로간 정보교환을 식별할 수 있는 적당한 시간이다.

- 시나리오 1 : 단일 고정신호제어 방식

주기, 현시길이, 현시순서, 오프셋이 고정된 상태로 일반교차로의 신호제어 방식으로 <표 4>와 같이 교차로 1, 2, 3 모두 동일한 파라메타 및 오프셋을 설정하였다.

<표 4> 시나리오 1

구분	현시(phase)		주기 (cycle)	오프셋 (offset)	비고
	순서	길이			
교차로1	1번	40sec	120sec	-	
	2번	40sec			
	3번	40sec			
교차로2	1번	40sec	120sec	기준	
	2번	40sec			
	3번	40sec			
교차로3	1번	40sec	120sec	-	
	2번	40sec			
	3번	40sec			

- 시나리오2 : 지역연동 신호제어 방식

시나리오 1과 같이 주기, 현시길이, 현시 순서는 고정되고 오프셋은 인접교차로와 연계된 상태로 연동될 수 있도록 (녹색신호 상태에서 정지 없이 연속으로 2개 교차로를 통과, 교차로 1: 60초, 교차로 3: 20초) 설정하였다. 즉, 교차로3 에서 현시 순서가 1번 → 3번 → 2번으로 변환됨으로써 교차로2 와 상호정지 없이

통과할 수 있다.

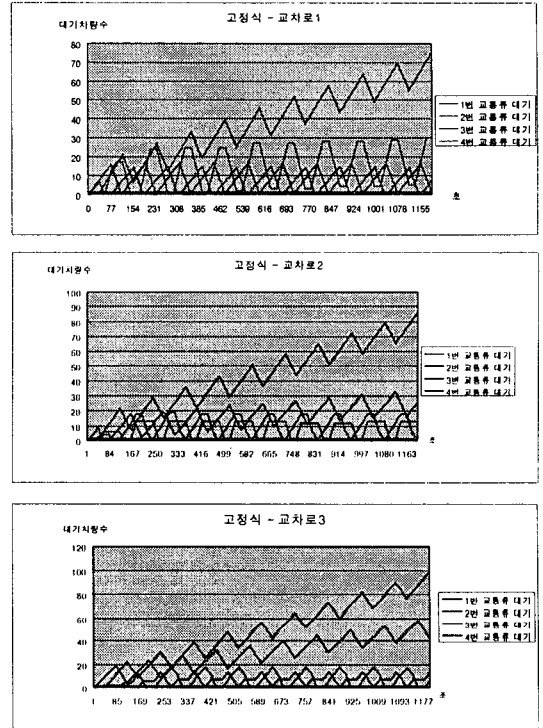
• 시나리오3 : 독립교차로 실시간 교통 제어방식

최초 주기, 현시길이, 현시순서를 시나리오1 과 같이 설정하고 독립교차로 제어 알고리즘을 적용하여 실시간 현 교차로의 상황에 맞게 변화될 수 있도록 한다. 이때 현재 교차로 상황을 검지기로 검지하여 각 교통류별 포화도 (DS, Degree of Saturation) 를 비교하여 현 상황에 맞는 새로운 주기, 현시를 계산하여 차 후 주기에 반영한다. 교차로상의 모든 보행자 신호의 최소 보장시간은 20초로 동일한다.

5.2 시뮬레이션 결과분석

신호별로 고정식 신호제어방식을 예로 들면 <그림 5>와 같이 주기가 일정하게 적용되어 대기차량 증감이 일정한 간격을 나타내고 있고 교차로1의 2번 교통류, 교차로2의 2번, 4번 교통류, 교차로3의 1번 교통류는 인접 교차로에서의 유입에 영향을 받아 사다리꼴 형태를 보이고 있다. 이로써 RTI에 의한 상호작용이 이루어짐을 확인할 수 있다.

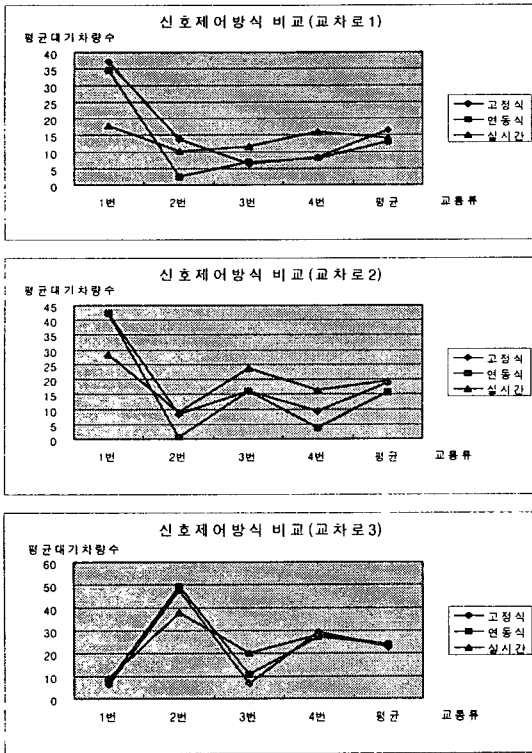
각각의 교차로별로 비교하여 보면, <그림 6>에서 단일 고정식 신호제어 방식과 연동식 신호제어 방식의 그래프가 유사하게 나타나고 실시간 대응식 신호제어 방식은 기복이 심하지 않게 나타나고 있다. 이는 실시간 대응식 신호제어 방식은 각 현시의 교통량에 따라 현시율이 조정됨으로써 교차로 내에서 균형된 대기 차량 수 형태를 유지해 주는 방식임을 알 수 있다. 그리고 단일 고정식 신호제어 방식과 연동식 신호제어 방식을 비교하면 연동식 신호제어 방식이 특정한 교통류에 대해서는 현저히 대기 차량수가 떨어짐을 볼 수가 있다. 그 이유는 인접한 교차로와 연동되는 교통류는 그렇지 않은 교통류보다 효율성이 뛰어나고 있음을 나타내고 있다.



<그림 5> 교차로별 대기 차량수 변화(고정식)

종합한 결과 <표 5>와 같이 대기차량수의 최소화를 위한 가장 효율적인 신호제어 방식은 연동식으로 다른 제어방식에 비해 평균대기 차량수 1~2대 차이를 보이고 있다. 이 방식은 도심지역에서 밀집되어 있는 교차로 신호제어에 사용되는 방식으로 상호연관성을 가지고 있는 교차로를 효율적으로 제어하는 방식이다.

그러나 특정 교통류의 대기차량이 많이 나타나는 상황에서 그 교통류의 대기차선의 수용능력이 적을 때, 또는 차량 유입이 일정치 않을 때에는 다른 교통류와 배분할 수 있도록 실시간 대응 신호제어 방식이 적절할 것이다. 교차로1의 1번 교통류, 교차로2의 1번 교통류, 교차로3의 2번 교통류를 제어방식별로 비교해 보면 고정식, 연동식 제어방식은 유사한 수치가 나타나고 있으나 실시간 대응식 제어방식은 현격하게 줄어든 것을 볼 수 있다.

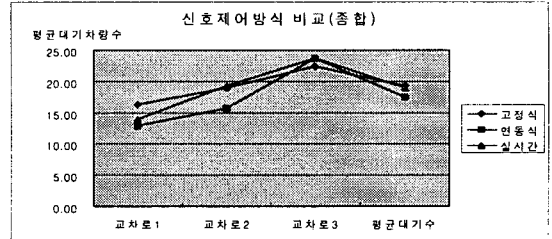


<그림 6> 신호제어방식별 비교

5.3 기존 모형과 비교

기존 교통류 모형 중에서 가장 보편적이고 새로운 시물레이션 모형연구의 표준지표로 사용되고 있는 NETSIM 모형과 본 연구의 고정식 및 연동식 신호제어방식인 시나리오 1, 2에 대한 결과를 비교하였다. 그러나 실시간 대응 신호제어 방식인 시나리오 3에 대해서는 NETSIM 모형의 특성상 각 상황에 따라 변화하는 신호제어 파라미터를 표현하지 못하므로 지체도 최소화 목적함수로 하고 주기, 현시시간, 오프셋을 최적화하는 제체도 모형인 TRANSYT (Traffic Network Study Tool)-7F 모형[15]을 이용하여 비교하였다. TRANSYT -7F 모형과의 직접적인 비교는 목적함수나 접근방법이 상이하기 때문에 불가능하다. 그러나 본 모형의 적용 가능성을 파악하기 위하여 효과적도에 의한 비교를 해보았다.

<표 5> 종합 결과



단위 : 대수

구분	고정식 제어	연동식 제어	실시간 대응식	
교차로 1	1번	36.91	34.41	14.04
	2번	13.68	2.50	6.65
	3번	6.39	6.78	9.48
	4번	8.29	7.91	22.36
교차로 2	1번	42.14	42.14	23.74
	2번	8.21	0.52	12.57
	3번	16.03	16.03	19.26
	4번	9.26	3.82	21.15
교차로 3	1번	6.13	7.71	6.68
	2번	47.54	49.29	24.71
	3번	6.70	10.67	12.62
	4번	29.23	27.05	49.58
평균	19.21	17.40	18.57	

NETSIM 모형의 입력 값은 시나리오 1, 2와 동일하게 하고 직진, 좌회전, 우회전 비율은 시나리오 상에 나온 차량생성율과 인접차로 유입율을 환산하여 입력하였다. 그리고 TRANSYT 모형의 입력 값은 시나리오 3의 자료를 이용하였다.

<표 6>의 NETSIM 모형을 이용한 시물레이션 결과 값과 비교해 보면 두 가지 제어방식 모두 NETSIM모형 하에 약간 더 많은 대기차량수를 나타내고 있으나 두 가지 제어방식의 우열 면에서는 동일한 결과를 나타내고 있다. 더 많은 대기차량수를 나타내는 원인은 NETSIM 모형에서는 각각의 차량 출발손실시간을 적용하고 있어 상대적으로 대기차량수가 늘어난 것으로 파악된다.

<표 6> NETSIM 모델 결과와 비교

구분	고정식 신호제어방식	연동식 신호제어방식
HLA	19.21	17.40
NETSIM	20.02	17.92

<표 7>은 TRANSYT 모델을 이용한 비교로서, 편의상 교차로 1에 대한 결과만을 비교하였다. 양 모델간 3초의 차이가 있으나 TRANSYT 모델이 주기를 5초 단위로 표현하도록 설정되어 있어 유사한 값으로 볼 수 있으며 나타난 현시율은 각각의 현시의 교통류의 양에 따라 조정된 값으로 TRANSYT 모델과 유사한 비율을 나타내고 있다.

<표 7> TRANSYT 모델 결과와 비교

구분	수령주기(sec)	현시율(%)		
		1	2	3
HLA	103	38.5	29.5	32.0
TRANSYT	100	40	29	31

이상에서 비교해본 결과, HLA 기반 모형과 기존 모형의 결과치와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 각각의 교차로가 하나의 시물레이션 단위로서 시물레이션을 실행하되 실제 교차로와 같이 상호 영향을 주고받으면서 교차로군의 현상을 표현할 수 있으며 이는 RTI에 의한 상호운용성이 실현됨을 확인할 수 있다. 시물레이션 단위인 각각의 교차로를 추가하면 광범위한 교차로군에 대한 시물레이션이 가능하며 새로운 형태의 시물레이션을 개발하기 위해 처음부터 다시 모든 개발단계를 거치지 않고도 교차로 단위 혹은 일부 지역 교차로군 단위로 기존에 사용하고 있는 모형에 추가하면 광범위한 교통류 시물레이션이 가능한 것으로 판단된다. 이러한 재사용성은 다양한 시물레이션 모형을 개발함에 있어 시간과 비용 면에서 매우 효율적으로 작용할 것이다.

6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 통합적 교통군의 상호 연계된 복잡한 상황의 시물레이션에 HLA를 기반으로 하는 분산 시물레이션 기법을 적용하였다. HLA 규약에 맞도록 페더레이션 개발과정을 단계별로 수행해 가며 지역 교통망의 페더레이션 구현하였으며 개발된 페더레이션을 이용하여 대표적인 교통신호 제어 방식인 고정식 제어, 연동식 제어, 실시간 대응식 제어 방식을 시물레이션 하여 결과를 평가하였다. 그리고 본 모델과 기존 모형을 이용한 결과를 상호 비교하여 본 모형의 실효성을 확인할 수 있다.

본 연구는 지역 교통망에 대한 HLA/RTI 기반 분산 시물레이션의 가능성을 제시한 것으로서, 지역 교통망에 대한 페더레이션 모델이 다양한 형태의 교차로와 교통통제를 포함한 세밀한 묘사가 필요하다. 그리고 다수의 교통군을 통합한 거시적인 교통망에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 김영찬, 유충식(2000), “네트워크형 가로망의 교통신호제어 최적화 모형개발”, 대한교통학회지, 제18권 제1호, 대한교통학회, pp. 87-97.
- [2] 김용재, 김탁곤(1999), “DEVS-HLA : 이기종 분산시물레이션 틀”, 한국시물레이션학회논문지, 제 8권 4호, pp. 9-24.
- [3] 연지윤, 장명순, 김진태, 손봉수(2002), “차로 이용율을 유도하는 차로변경모형의 개발”, 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.99-111.
- [4] 이상현, 이영구(2002), “상위체계구조에 근거한 수송이동관리 시제모형”, 한국시물레이션학회지, 제11권 제2호, 한국시물레이션학회, pp.31-43.
- [5] 이상현, 이찬우(2004), “상위체계구조를 이

- 용한 컨테이너 터미널 운영방안 연구”, 산업 공학 IE Interfaces, 제17권 제1호, 대한 산업 공학회, pp.128-141.
- [6] 이자옥, 지승도(1996), “이산사건 모델링 및 시뮬레이션을 이용한 교통흐름 분석방법론”, 대한교통학회지, 제14권 제1호, 대한교통학회, pp. 101-116.
- [7] 이종근, 박창호, 전경수, 지승도, 김병중, 조대호(1999), “객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템 : I³D² Transportation Simulation System”, 대한교통학회 추계학술대회지, 대한교통학회, pp. 477-482.
- [8] 임동순, 오현승(2002), “HLA/RTI기반의 페트리 넷 분산 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회, '02 추계학술대회논문집, pp. 157-162.
- [9] 임성용(1996), “HLA를 이용한 자동차주행의 실시간 분산 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회 논문집, 제14권 제1호, 한국시뮬레이션학회, pp. 87-93.
- [10] 장세봉(1999), “고속도로 교통류 시뮬레이션 모형의 정산에 관한 연구”, 영동대학교 연구논총, 5집 1권, pp.275-286.
- [11] 조중래, 고승영, 김진규, 김채만(2001), “CA 모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp. 133-144.
- [12] 최두진, 조대호(2002), “분산시뮬레이션을 위한 HLA DEVS-Obj-C 환경구축”, 한국시뮬레이션학회, '02 추계학술대회논문집, pp. 85-89.
- [13] Department of Defense(1998), “High Level Architecture Federation Development and Execution Process(FEDEP) Model Version 1.4”.
- [14] Department of Defense(1998), “High Level Architecture Supporting Class Reference RTI 1.3”, USA.
- [15] Federal Highway Administration(1998), “TRANSYT-7F Users Guide”, Florida, U.S.A.
- [16] Frederick Kuhl, Richard Weatherly, and Judith Dahmann(2000), “Creating Simulation Systems : An Introduction to the High Level Architecture”, Prentice Hall PTR.

주 작 성 자 : 이 상 현

논문투고일 : 2005. 06. 14

논문심사일 : 2005. 07. 06(1차), 2005. 07. 20(2차),
2005. 07. 20(3차)

심사판정일 : 2005. 07. 20

● 저자소개 ●



이상현

1977 육군사관학교 전자공학 학사

1985 미 Naval Postgraduate School 운영분석 석사

1991 미 Georgia Institute of Technology 산업공학 박사

현재 국방대학교 운영분석학과 교수 / 국방정보과학연구소장

관심분야: 시뮬레이션, 네트워크, 메타 휴리스틱, 로지스틱스, SCM