

상위체계구조를 이용한 지역교통망 통제모형 개발 (Development of Area Traffic Control Model by Using High Level Architecture)

이 상 현

국방대학교 운영분석학과, leesangh@kndu.ac.kr

Abstract

There are some limitations in the analysis and evaluation for area traffic control systems. The area traffic is consist of several intersections interconnected which are very complicated and many traffic strategy are adopted for the control system. This paper features an effective area traffic control system by High Level Architecture(HLA) which is a new developed simulation tool. 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 in simulation arena.

1. 서론

교통류의 통제는 도시기반 시설에 대한 최대 관심사 중에 하나이며 이를 해소시키기 위해 다양한 교통통제 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 사용하고 있는 시스템의 세부적인 특성은 다르나 제어 방식에 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 신호체계로 구분할 수 있다. 최근 대도시를 중심으로 첨단 신호체계를 기반으로 하는 첨단교통시스템의 구축이 활발히 진행 중에 있으며, 국도와 지방도상 신호교차로의 경우도 교통수요에 적절히 대응할 수 있는 새로운 신호제어체계의 개발이 진행 중에 있다.

이러한 신호체계 개발과 함께 수반되어야 하는 과정이 신호체계에 대한 시뮬레이션이다. 교통제어 알고리즘과 교통통제 시스템을 분석, 평가하기 위해서는 실적용에 대한 막대한 비용을 감안하면

시뮬레이션은 필수적이다. 단일 교차로에 대한 시뮬레이션으로부터 신호체계가 다양해지고 통제 대상 또한 광역화됨에 따라 지역교통망에 대한 광범위한 시뮬레이션이 필요하게 된다.

현재 상용화되고 있는 대표적인 교통류 시뮬레이션으로는 FRESIM, NETSIM, INTEGRATION, PARAMICS 등이 있다[2,4]. FRESIM은 고속도로 교통류, NETSIM은 도시 네트워크에 대한 제반 전략을 평가하는 모형이고, INTEGRATION은 도시 및 고속도로 교통류에 대한 모델이며 PARAMICS는 정체도로에 관련된 모델이다. 이러한 미시적 교통류 시뮬레이션 모형은 대부분 네트워크 사이즈가 국한되어 있어 광범위한 네트워크 시뮬레이션이 제한되고 활용분야 또한 상이하며 실시간 교통상황 변화에 따른 신호제어 등 교통대응전략을 평가하는 데는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하고 광범위한 교통류의 현상을 표현하는 실시간 시뮬레이션은 하부 시스템들간에 자료교환을 통하여 상호운용성(interoperability)을 구현할 수 있는 분산 시뮬레이션(Distributed Interactive Simulation)에 의해 가능할 수 있다. 특히 HLA(High Level Architecture)를 기반으로 하는 실시간 분산 시뮬레이션 기술은 합성환경 구축을 위한 핵심 기술로서, HLA는 시뮬레이션 상호간 상호운용성을 보장하고 동시에 모델 및 시뮬레이션 구성요소의 재사용성을 촉진시키기 위한 상위수준의 시뮬레이션 아키텍처다[9,12]. 특히, 미 국방성을 중심으로 국방관련 모든 차세대 시뮬레이션 개발에 HLA 표준을 준수하도록 규정하고 있고, 국제전기전자공학회가 시뮬레이션을 위한 표준으로 채택(IEEE1516) 하였으며 관련 연구가 민간산업 분야로 빠르게 확산되어 가고 있는 실정이다.

본 논문에서는 지역교통망의 복잡, 다양한 특성과 이를 통제하는 교통통제 시스템을 HLA를 사용하여 시뮬레이션으로 구현함으로써 지역교통망에 대한 교통통제 시스템을 분석, 평가하여 HLA의 재사용성과 상호운용성의 기능을 확인하고 교통류에 대한 HLA적용의 가능성을 제시하고자 한다. 본 연구는 교통 분야에 대한 HLA 기반하 분

산시뮬레이션 프로토타입 모델 개발과 HLA의 효율성 제고를 위하여 미 국방성에서 HLA 페더레이션 개발과 실행에 대한 단계를 제시하여 개발한 F2DEP(Federation Development and Execution Process) 모델[9]을 사용하여 단계별 개발내용을 상술하고 개발된 모델을 이용하여 지역교통제어 방식을 적용한 시뮬레이션을 실시하고 결과를 분석하여 HLA 기반 지역 교통류 시뮬레이션의 효율성을 제시한다. 이러한 절차를 수행하기 위해 모형개발은 객체지향 모델링 언어인 UML과 Visual C++ 6.0을 이용하였다.

2. 기반기술 고찰

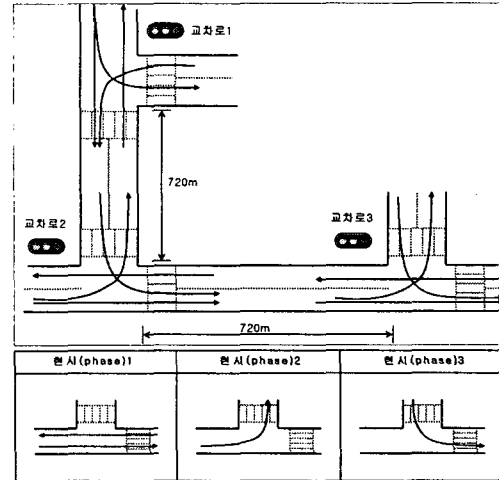
HLA는 미 국방부가 모델링 및 시뮬레이션(M&S, Modeling & Simulation) 체계간, 또는 M&S체계와 전투핵심요소인 지휘통제 및 정보통신(C4I, Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) 체계 간에 상호운용성을 촉진하고 기관간 모델의 재사용성을 향상시키기 위하여 개발한 분산 시뮬레이션의 표준기술 구조로서 상이한 조직에서 상이한 목적으로 개발된 개별 시뮬레이션들을 하나의 통합된 시뮬레이션으로 결합시켜 주는 소프트웨어 구조이다[12].

HLA를 기반으로 하는 시뮬레이션을 설계함으로써, 대규모 시뮬레이션 문제를 소규모 다수 문제로 분할 가능하고 소규모 시뮬레이션의 문제 정의 구축 및 검증 등이 용이하게 된다. 그리고 소규모 시스템 결합을 통한 대규모 시뮬레이션 시스템 구축이 가능하고 소규모 시스템과 최초 결합을 의도하지 않은 시뮬레이션 시스템과의 결합을 통한 새로운 시뮬레이션 시스템 구축이 가능해진다. 컴포넌트 기반 시뮬레이션 시스템에게 공통적인 기능들을 특정한 시뮬레이션 시스템에서 분리, 재사용 가능한 기반체제로 구축할 수 있으며 기반체제 및 시뮬레이션 구현기술의 변화를 위해 각각 시뮬레이션 및 기반체제 등을 분리할 수 있게 된다. 즉 기존 시뮬레이션들의 재사용성(reusability)과 다른 시뮬레이션들과의 상호운용성을 확보하게 된다.

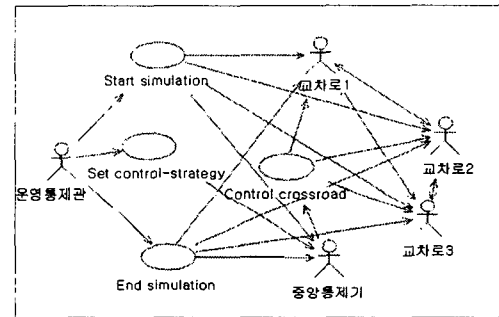
3. 교통통제 페더레이션개념모델 설계

이장에서는 본 연구 페더레이션에서 나타내고자 하는 목표를 정의하고 페더레이션의 개념모델 개발을 위해 시나리오 설정, 사례분석을 통해 페더레이션 개념을 분석하고 페더레이션 설계/개발단계로 페더레이션에 참가하는 페더레이트를 선정하여 각각의 페더레이트의 기능을 할당하고 이를 기초로 하여 OMDT(Object Model Development Tool, Ver. 1.3 v5)를 이용하여 FOM을 개발하고 RTI서비스를 식별하여 페더레이션을 설계하며

5장에서는 페더레이션 통합/시험이 완료된 모델을 이용하여 시뮬레이션 분석을 실시한다. 이때 RTI Version 1.3 NG를 사용하였으며 네트워크로 연결된 각각의 페더레이트 기능을 하는 PC는 Pentium4(1.8GHz, 256MB RAM)를 사용하였으며 운영환경은 Windows XP에서 실험을 하였다. 지역교통망 시뮬레이션에 대한 프로토타입을 제시하고자 지역교통망에서 일어날 수 있는 상황과 여건을 <그림 1>과 같이 3지 교차로 3개소로 시뮬레이션 범위를 한정하였다.



<그림 1> 구현 교차로



<그림 2> 사용사례도(Use Case Diagram)

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

별할 수 있다.

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

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 각각의 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 RTI소프트웨어이다. RTI는 페더레이션의 지원 소프트웨어로서 네트워크상에서 분산 시물레이션을 효율적으로 관장하고 진행시키기 위한 데이터 추상화 구조다.

4. 지역 교통통제 페더레이션 설계/개발

지역교통통제 페더레이션 목표분석과 개념분석을 통해 페더레이션에 참여하는 페더레이트를 운용통제기, 중앙통제기, 교차로1, 2, 3의 개별 시물레이션으로 설정할 수 있으며 교차로 수를 추가하여 시물레이션을 하기 위해서는 페더레이트 단위로 추가 가능하다.

연합객체모델(FOM)은 HLA 페더레이션에 참여하는 응용체계들 사이에 주고받는 정보를 기술

하는 객체이다. 여기에는 페더레이션에 참여하는 페더레이트의 클래스, 속성, 및 상호작용 등을 기술한다. 연합객체모델을 개발하는 목적은 페더레이션내 모든 페더레이트간에 공통적으로 사용될 자원과 기타 산물들을 규정하기 위한 것이다. 그러므로 각 페더레이션은 하나의 연합객체모델을 갖고 있으며 페더레이션을 실행할 때 연합객체모델은 RTI에 자료로 공급된다. 본 연구의 페더레이션 내에서 운용될 객체는 중앙통제기, 교차로1, 2, 3이다.

객체의 속성은 교차로 이름에서 시작하여 9종류의 속성을 가지고 있으며 여기서 신호제어 파라메타는 주기, 현시별 길이, 오프셋이다. 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 연합객체모델과 시물레이션 객체모델(SOM)의 개발과정을 자동화한 도구로 테이블 형식의 객체모델에 대한 인터페이스를 제공하며 객체모델이 구축된 후 일관성 검사 기능까지 수행한다.

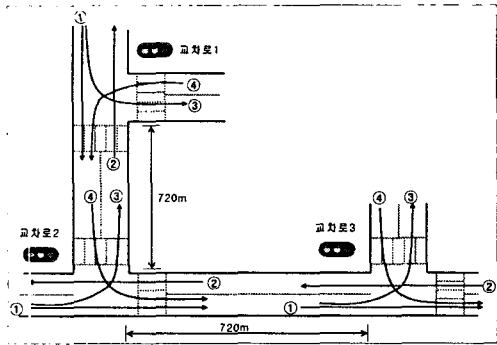
각 객체간 상호작용으로 각각의 교차로는 인접 교차로에 영향을 미치는 속성인 차량 유입(1to2, 교차로1에서 교차로2로의 차량유입)을 공표(publish)한다. 이러한 내용은 각각의 교차로에서 관심을 가지고 있는 데이터로서 각 교차로는 자신의 교차로에 영향을 주는 인접교차로의 공표된 데이터를 요청(subscribe)한다. 이러한 과정을 통해서 인접 교차로 '차량유입'이라는 상호작용이 이루어진다. 그리고 중앙통제기는 신호제어방식이라는 속성을 공표하면 이에 관심이 있는 각각의 교차로는 이러한 데이터를 요청하고 수신하여 자신의 신호제어방식에 해당하는 세부 속성에 반영한다. 이러한 과정으로 교차로 '통제값 조정'의 상호작용이 이루어진다.

5. 페더레이션 실행

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. 각각의 제어방식을 중앙통제기에 시물레이션 시나리오로 입력하여 3개의 교차로를 통제하여 실행하였다. 교통류 시물레이션에 HLA 개념을 적용한 프로토타입 모형연구에 중점을 둔 특성에 따라 비교시 효과척도(MOE)로는 일반적인 평균대기 차량수를 사용하였다. <표 1>은 차량생성 시나리오로 각각

의 제어방식을 실험함에 있어 공통적으로 적용되는 시나리오이다. 현시는 <그림 1>과 같이 3가지로 구분하여 교차로의 주기를 이루었으며 각각의 현시에 번호를 설정 시나리오에 적용한다. 시뮬레이션은 각 신호제어방식별로 20분간 실시하였다. 이 시간은 RTI에 의한 상호운용성의 실현과 교차로간 정보교환을 식별할 수 있는 적당한 시간이다.

<표 1> 차량생성 시나리오

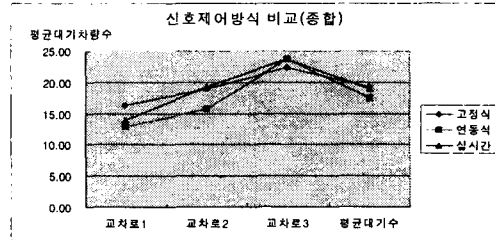


구분	교통류	차량 생성을	비 고
교차로 1	①번	0.25 대/sec	
	②번	-	교차로2-③ 유입
	③번	0.18 대/sec	
	④번	0.20 대/sec	
교차로 2	①번	0.26 대/sec	
	②번	-	교차로3-② 유입
	③번	0.22 대/sec	
	④번	-	교차로1-① 1/2유입 교차로1-④ 1/2유입
교차로 3	①번	-	교차로2-① 1/2유입 교차로2-④ 1/2유입
	②번	0.27 대/sec	
	③번	-	교차로2-① 1/2유입 교차로2-④ 1/2유입
	④번	0.24 대/sec	

종합한 결과 <표 2>와 같이, 현 상황에서 대기차량수의 최소화를 위한 가장 효율적인 신호제어 방식은 연동식 신호제어 방식으로 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 교차로 상황에 따라 인접교차로와 연동되지 않고 단독적으로 실시간 대응 신호제어 방식을 사용해야 될 때도 있다. 그리고 특정 교통류의 대기차량이 많이 나타나는 상황에서 그 교통류의 대기차선의 수용능력이 적을 때, 또는 차량유입이 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.

<표 2> 실행 결과



단위 : 대수

구 분	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
평 균	19.21	17.40	18.57	

기존 교통류 시뮬레이션 모형 중에서 가장 보편적이고 기타 시뮬레이션 또는 새로운 시뮬레이션 모형연구의 표준지표로 사용되고 있는 NETSIM[2] 모델과 본 연구의 고정식 및 연동식 신호제어방식인 시나리오 1, 2에 대한 결과를 비교하였다. 그러나 실시간 대응 신호제어방식인 시나리오 3에 대해서는 NETSIM 모델의 특성상 각 상황에 따라 변화하는 신호제어 파라미터를 표현하지 못하므로 지체도 최소화를 목적함수로 하고 주기, 현시시간, 읍셋을 최적화하는 제체도 모형인 TRANSYT(Traffic Network Study Tool)-7F[11] 모델을 이용하여 비교하였다. TRANSYT-7F 모형과의 직접적인 비교는 본 연구와는 목적함수나 접근방법이 상이하기 때문에 불가능하다. 그러나 본 모형의 적용 가능성을 파악하기 위하여 효과척도에 의한 비교를 해보았다.

<표 3>의 NETSIM 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 값과 비교해 보면 두 가지 제어방식 모두 NETSIM모델 하에 약간 더 많은 대기차량수를

나타내고 있으나 두 가지 제어방식의 우열 면에서는 동일한 결과를 나타내고 있다. 더 많은 대기차량수를 나타내는 원인은 NETSIM 모델에서는 각각의 차량 출발순실시간을 적용하고 있어 상대적으로 대기차량수가 늘어난 것으로 파악된다.

<표 3> NETSIM 모델 결과와 비교

구 분	고정식 신호제어방식	연동식 신호제어방식
HLA	19.21	17.40
NETSIM	20.02	17.92

<표 4>는 TRANSYT 모델을 이용한 비교로서, 편의상 교차로 1에 대한 결과 값만을 비교하였다. TRANSYT 모델로 산출된 주기는 100초로 본 모델과는 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 4> TRANSYT 모델 결과와 비교

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

6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 통합적 교통군의 상호 연계된 복잡한 상황의 시뮬레이션에 HLA를 기반으로 하는 분산 시뮬레이션 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 시뮬레이션 하여 결과를 평가하였다. 그리고 본 모델과 기존 모형을 이용한 결과를 상호 비교하여 본 모형의 실효성을 확인할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 HLA는 시뮬레이션 상호간 상호운용성을 보장하고 이를 활용하면 거시적인 교통군과 같은 복잡 다양한, 그리고 상호 연관된 상황을 시뮬레이션으로 표현 가능해짐을 확인할 수 있다.

본 연구는 지역 교통망에 대한 HLA 기반한 분산 시뮬레이션의 가능성을 제시한 것으로써, 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] 이상현, 이찬우, "상위체계구조를 이용한 컨테이너 터미널 운영방안 연구", 산업공학 IE Interfaces, 제17권 제1호(2004), pp.128-141.
- [2] 이영인, 한동희, "첨단신호시스템의 신호제어전략을 위한 미시적 시뮬레이터의 개발", 대한교통학회지, 제21권 제2호(2003), pp. 83-94.
- [3] 이자옥, 지승도, "이산사건 모델링 및 시뮬레이션을 이용한 교통흐름 분석방법론", 대한교통학회지, 제14권 제1호(1996), pp. 101-116.
- [4] 이종근, 박창호, 전경수, 지승도, 김병중, 조대호, "객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템: I³D² Transportation Simulation System", 대한교통학회 추계학술대회지(1999), pp. 477-482.
- [5] 임성용, "HLA를 이용한 자동차주행의 실시간 분산 시뮬레이션", 한국시뮬레이션 춘계논문집, 제14권 제1호(1996), pp. 87-93.
- [6] 장세봉, "고속도로 교통류 시뮬레이션 모형의 정산에 관한 연구", 영동대학교 연구논총, 5집 1권(1999), pp.275-286.
- [7] 하동익, 정준하, 이돈주, "교통신호제어시스템 평가를 위한 시뮬레이터 개발 및 활용방안", 2001, 도로교통 안전관리공단.
- [8] 황상호, 송창용, 배광수, "지역단위 실시간교통신호제어체계개발 I, II", 교통과학연구원, 2001.
- [9] Department of Defense, "High Level Architecture Federation Development and Execution Process (FEDEP) Model Version 1.4", 1998.
- [10] Department of Defense, "High Level Architecture Supporting Class Reference RTI 1.3", 1998, USA.
- [11] Federal Highway Administration, "TRANSYT-7F Users Guide", Florida, 1998, U.S.A.
- [12] Frederick Kuhl, Richard Weatherly, and Judith Dahmann, "Creating Simulation Systems : An Introduction to the High Level Architecture", 2000, Prentice Hall PTR.