

객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템*

: I³D² Transportation Simulation System

Object Oriented Traffic Simulation System

: I³D² Transportation Simulation System

이종근	박창호	전경수	지승도	김병종	조대호
(항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정)	(서울대학교 도시공학과 교수)	(서울대학교 도시공학과 교수)	(항공대학교 컴퓨터공학과 교수)	(항공대학교 항공교통학과 교수)	(성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수)

목 차

<p>I. 서론</p> <p>II. 객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템 접근 방법론</p> <p>III. SES/MB를 이용한 교통류 시뮬레이션 접근 방법론</p>	<p>IV. 사례연구 : I³D² Transportation Simulation System</p> <p>V. 결론</p> <p>Acknowledgements</p> <p>참고문헌</p>
---	--

I. 서론

최근들어 교통시설공급의 양적 증대를 통한 교통문제 해결이 한계에 부딪힘에 따라 교통시설의 효율적 활용을 위한 교통관리(ATMS: Advanced Traffic Management System)/교통정보(ATIS: Advanced Traveler Information System) 서비스의 질적 향상이 크게 대두되었다. 교통시스템을 모사하는 시뮬레이션 시스템들은 1970년대부터 진행되고 있으나, 빠르게 진전되는 교통류 분석 기술 및 기법을 모델의 틀 내에 수용하지 못하고 있는 실정이다. 국내의 경우, 현재까지 상용화가 가능한 수준의 모의실험 모형은 개발되어 있지 않다. 다만, 최근 서울시 신신호 시스템의 신호제어기법을 평가할 수 있는 모의실험 모형이 1995년 『도시가로망 분석을 위한 미시적 모의실험기의 개발』 연구 [1,2]에서 실험적으로 개발되었다. 그러나 전반적으로 기초적인 변수만을 고려한 초보적인 단계의 모형이라 할 수 있다. 또한, 한국건설기술연구원의 『한국형 모의실험기 개발에 관한 연구』는 새로운 모의실험 모형의 개발이라기 보

다는 기존의 외국모형들에 대한 검토를 국내 활용을 위한 모수 정산에 중점을 두고 있다[2]. 국외에서 개발된 모의실험모형 중 대표적인 것으로는 지방부 2차선도로의 운영 분석을 위한 TWOPAS(미국, 1986), 고속도로 유고감지 및 관리제어를 위한 FRESIM(미국, 1990), 도시부 교차로 신호 운영 분석을 위한 TRAF-NETSIM(미국, 1989), 교차로의 신호최적화 및 과포화 상태의 교통류 분석을 위한 SATURN(영국, 1980), CONTRAM(영국, 1986), INTEGRATION(캐나다, 1988) 등이 대표적이다. 그러나, 이들 모형들은 현재 전세계적으로 가장 큰 연구의 대상이 되고 있는 첨단교통체계(ITS)의 개별 기능들을 평가하고, 기대되는 효과를 종합적으로 분석하는데 사용하기에는 부적합하다는데 인식을 같이 하고 있다. 그러나, 최근 미국 Berkeley대학 교통연구소(PATH)에서 교통류 시뮬레이션을 위하여 개발한 SHIFT는 동역학 네트워크 표현용 프로그램 언어로 연속시간 동역학과 이산사건 동역학 등을 혼합적으로 사용할 수 있는 시스템 프레임워크를 제공하며, 특히 계층구조적 모듈화 기법

* 본연구는 과학기술부 특정연구개발과제인 지능형 교통 시스템(ITS) 핵심기반기술개발사업중 과제번호 98-N10-03-01-A "교통류 평가 기술개발"에 관한 연구로 수행됨

을 도입함으로써, 현재 첨단형 교통류 모델링 및 시뮬레이션 도구로 인정받고 있다. 즉, 기존의 교통류 시뮬레이션 도구들에 비해 다양한 교통류 동역학을 수용할 수 있고, 시스템 구조의 표현이 용이하며, 따라서 구현상의 용이성이 돋보이는 도구로 알려져 있다. 그러나, 객체지향 프로그램환경이 아닌 기존의 C 언어를 통하여 구현된 바, 객체지향 환경이 지원하는 재사용성, 확장성, 유지보수성, 모듈의 독립성 등의 소프트웨어공학적 장점이 반영된 유연성 있는 시스템인지 의문이다.

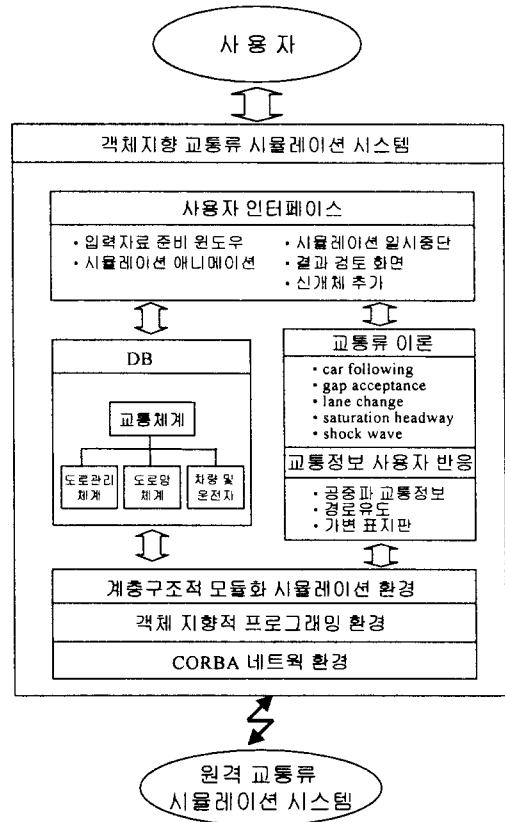
따라서, 본 논문은 기존 교통류 시뮬레이션 시스템들이 갖는 소프트웨어공학적 그리고 시뮬레이션 이론적 취약점을 극복하기 위해 시스템 공학적이며 객체지향 모듈화 시뮬레이션 시스템인 I³D² Transportation Simulation System의 접근방법론을 제안하며 SES/MB를 이용한 객체지향적 교통류 시뮬레이션을 중심으로 논한다. 또한 제안된 시스템은 ① 다양한 교통 제어방식의 효과 검증 능력, ② 각종 사건, 사고의 시간별 파급효과 분석 능력, ③ 예측된 교통정보 제공에 따른 운전자 행태 반영 능력을 갖도록 설계되었다.

본 논문의 순서는 II장에서 객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템 접근방법에 대하여 논하고 III에서는 SES/MB를 이용한 교통류 시뮬레이션 접근 방법론을 설명하고 IV장에서 사례연구로 I³D² Transportation Simulation System에 대하여 논하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템 접근방법

본 논문에서 제안하는 시스템은 고속도로, 국도, 시가지도로 등 특성이 다른 도로시설이 혼재된 국지 도로망에서 교통신호 전략, 교통정보 제공 등 교통관리기법을 감안하여 개별차량의 움직임 예측하여 교통류의 동적 특성을 분석하는 객체지향 교통류 시뮬레이션 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다. 따라서 그림 1과 같은 개념적 구조를 갖는다. 그림에서 제안된 시스템은 객체 지향 프로그래밍 환경에서 개발되며 계층구조적 모듈화 시뮬레이션 틀 속에 도로시스템 DB와 교통류 모형을 구축하므로써 도로 시스템 내에서의 개별 차량의 움직임을 모

사한다. 또한 교통분석가는 GUI를 통하여 시스템과 접속하며, 향후 광역 시뮬레이션을 대비하여 초고속 통신망을 통한 시스템간의 통신이 가능하도록 설계될 것이다.



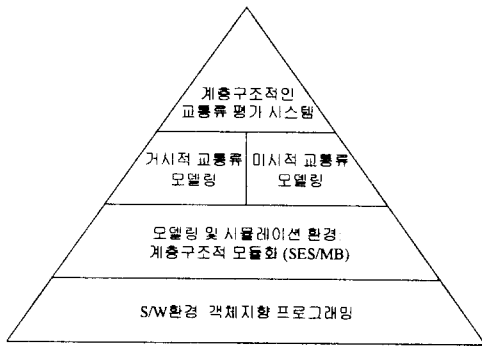
<그림 1> 제안된 시뮬레이션 시스템 개념 설계도

위의 그림에서 교통류 모델은 시뮬레이션 시스템의 핵심이 되는 요소 시스템으로 교통 관리 체계 자료, 도로망 체계 자료, 차량 특성 자료, 운전자 특성 자료를 담은 DB와 교통류 현상을 해석하는 car following theory, gap acceptance theory, lane change theory, saturation headway theory, shock wave theory 등 교통류 이론, 그리고 지속적으로 개발되고 있는 신 교통관리 기법에 대한 운전자의 반응 모형이 이 요소 시스템에 속한다.

III. SES/MB를 이용한 교통류 시뮬레이션 접근 방법론

본 연구는 그림 2와 같이 객체지향적 소프트웨어 환경과 SES/MB 프레임워크를 기반으로 미시적 및 거시적 교통류 모델들을 용이하고 유연하게 수용할 수 있는 계층구조적 시뮬레이

선 시스템으로 접근한다.



<그림 2> SES/MB를 이용한 객체지향적 교통류 시뮬레이션 접근방법

3.1 SES/MB 프레임워크 개요

SES/MB는 Zeigler에 의해 처음 제안된 개념으로 기존의 동역학적 방법론과 AI(Artificial Intelligence)의 기호적 방법론을 체계적으로 결합시킨 환경을 제공한다. SES/MB는 System Entity Structure와 Model Base의 두 구성원으로 이루어지며, SES는 시스템의 구조적 특성을 나타내는 것으로 선언적 성격을 가지며 구성관계, 구성원의 종류, 구성원들의 결합구조, 그리고 제약조건등의 구조적 지식을 표현할 수 있는 수단을 제공한다. MB는 시스템의 행위적 특성을 나타내는 것으로서 절차적 성격을 가지며 동역학적이고 상징적으로 행위를 표현할 수 있는 수단을 제공하는 모델들로 구성된다[3,4,5].

이산 사건 모델링을 위한 대표적인 형식론인 DEVS (Discrete Event System Specification) 모델은 연속적인 시간상에서 이산적으로 발생하는 사건들에 대하여 시스템의 행위를 측정하는 것으로서 다음과 같은 형식론에 의해 모델을 표현한다[3,4,5].

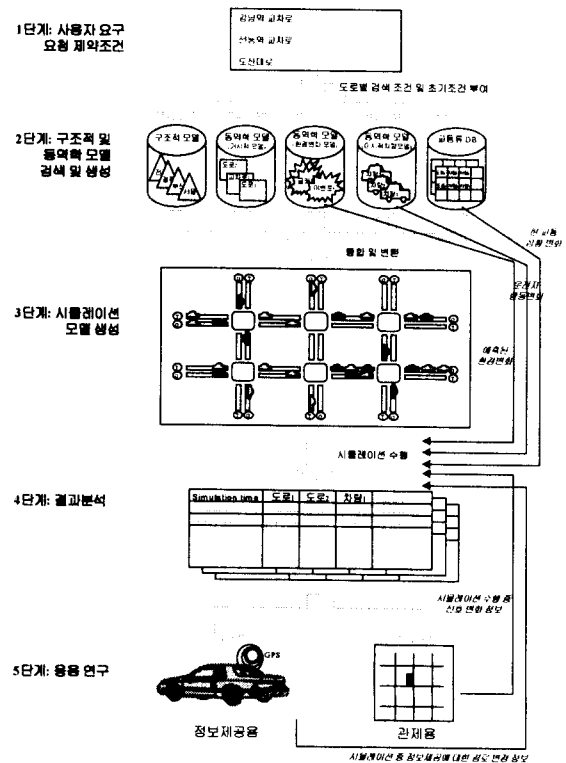
$$M = \langle X, Y, S, ta, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda \rangle$$

여기서, 3개의 집합과 4개의 함수로 구성된 7개의 구성요소는 입력집합 X, 출력집합 Y, 상태 집합 S, 시간진행함수 ta, 외부상태전이함수 δ_{ext} , 내부상태전이함수 δ_{int} , 출력함수 λ 로 이루어진다[3,4,5].

3.2 SES/MB를 이용한 교통류 모델링

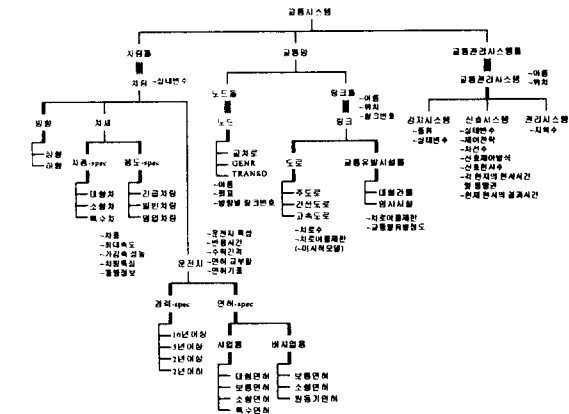
본 논문에서 접근하고자하는 궁극적인 시뮬레이션 방법론의 개념도는 그림 3과 같다. 그림에서 1단계는 각 도시/도로별 제약조건과 유사사항 등을 입력받아 시뮬레이션대상 및 초기

조건을 부여하는 단계이며, 2단계는 이미 라이브리화되어 있거나 또는 시간대별로 변하거나 또는 새로이 구축하고자 하는 각종 데이터 및 모델들을 검색하거나 생성시키는 단계로서, ① 도시 또는 구역별 도로망 구조를 나타내는 구조적 모델베이스, ② 도로(link) 또는 교차로(node) 등의 동역학을 표현한 동역학 모델베이스, ③ 주어진 도로망 이외에 교통류에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요소들의 동역학 모델베이스 (예를들면, 도로공사 계획, 차량사고, 등), ④ 차량별 동역학 모델베이스, ⑤ 시간대별로 갱신되는 교통류 데이터베이스 등으로 구성될 수 있다. 이러한 데이터 그리고 구조적 및 동역학 모델들을 합성시킴에 의해 3단계에서의 통합된 시뮬레이션 모델이 생성되어 시뮬레이션이 수행된다. 여기서, 사건사고와 같은 교통환경의 동적 변화, 차량별 운전자의 동적 진로 변화, 실시간 모니터링 정보의 갱신, 신호체계의 변화, 그리고 차량별 정보 제공에 의한 차량 움직임의 변화 등은 그림에서와 같이 시뮬레이션 진행 중에도 즉시 반영될 수 있도록 처리될 수 있다. 4단계에서는 시뮬레이션 수행 결과에 대한 통계 자료를 도표나 테이블 등 다양한 방법을 통하여 제공하며, 이러한 정보는 5단계의

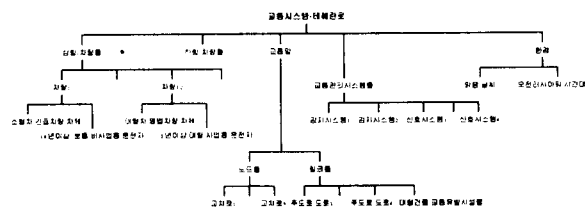


<그림 3> 교통류 시뮬레이션 방법론

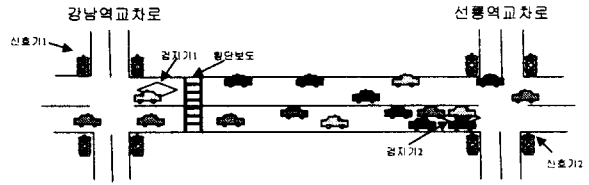
응용 시스템 개발을 통하여 효과적으로 활용될 수 있다. 그림4는 교통체계 전반에 대한 객체지향 구조(SES)를 도식화하는데, 전체 교통체계는 크게 교통관리 시스템들, 교통망, 그리고 그 위를 점유하는 차량들 등 세 요소로 나눌 수 있다. 먼저, 교통관리 시스템 하나를 살펴보면 검지 시스템, 신호 시스템, 그리고 교통관리 센터 등 세 종류로 볼 수 있다. 교통망은 여러 개의 노드와 링크로 구성되는데, 그림4에서와 같이 다양한 종류로 구분될 수 있다. 차량 각각은 다시 차체와 운전자로 구성되며, 관점에 따라 다양한 종류로 상세화될 수 있다. 그림에서 각 엔티티에 속한 속성(~)들은 각 객체가 갖는 공통된 특징적 데이터를 의미하며, 이를 통하여 시뮬레이션 파라미터 변수 및 값이 사용될 수 있다. 이와 같이 구축된 SES에 pruning 과정을 적용하여 얻은 하나의 도로망 시뮬레이션 구조의 예는 그림5와 같을 수 있으며, 이 구조를 개념화시킨 그림은 그림6과 같다. 이러한 방법으로 생성된 대상 시뮬레이션 구조(교통류 규모)상의 각 엔티티 마다 해당 동역학(미시적 및 거시적) 모델이 합성됨에 의해 최종적 시뮬레이션 모델이 구축된다[3].



<그림 4> SES를 이용한 교통류의 구조적 표현



<그림 5> PES의 예



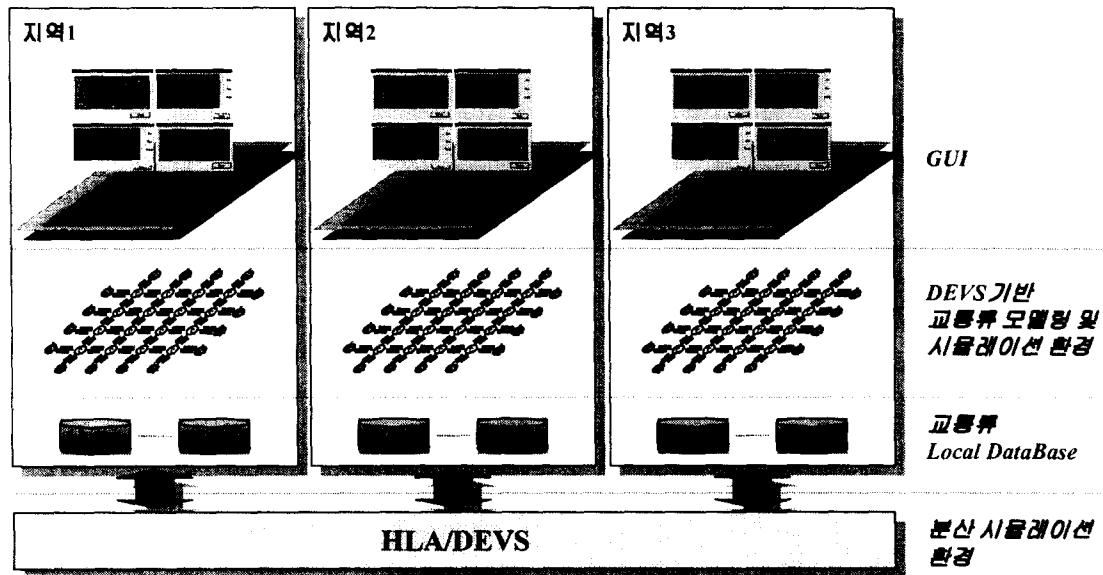
<그림 6> 그림5 PES의 개념도

IV. 사례 연구 : I³D² Transportation Simulation System

본 장에서는 현재 개발중인 교통류 시뮬레이션 시스템인 : “I³D² Transportation Simulation System”에 대해서 설명한다. I³D²의 주요 특성은 다음과 같이 요약된다.

- Intelligent** : 교통관리 정책 및 운전자 행동 특성 등의 지식기반 모델링과 시뮬레이션 기능.
- Interactive** : 시뮬레이션 진행중 온라인으로 실험 조건의 변경 및 분석 보고서 생성 기능.
- Integrated** : 교통류 모델링뿐 아니라, 교통류 검지, 신호방식, 정보제공 등 교통관련 시스템들의 통합 모델링 환경 제공.
- Distributed** : 분산 시뮬레이션 환경 제공.
- DEVS-based** : 객체지향 이산사건 시스템 형식론을 도입.

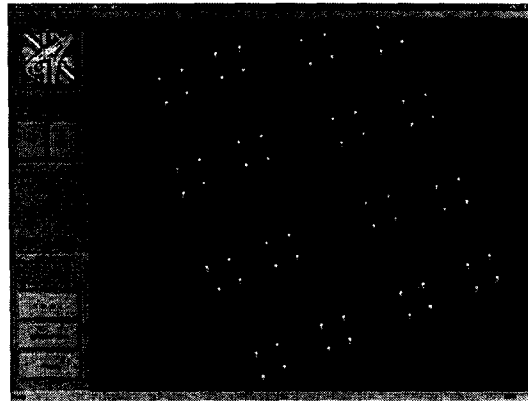
그림7은 I³D²의 개발 목표 시스템에 대한 개념도를 보이는 것으로 앞서 제시한 교통류 시뮬레이션 시스템의 방법론을 통하여 개발된 지역적인 교통류 시뮬레이션 시스템들이 각 지역에 대한 교통류 현상을 모사하고 이들이 다시 분산 시뮬레이션 시스템 환경인 HLA/DEVS 환경에 따라 분산 처리됨으로써 계층구조적인 교통류 시뮬레이션 환경을 제공한다. 그림 7(a)는 I³D²의 초기 인터페이스 화면으로 미시적 교통류 모형의 실험 대상 지역인 서울 강남지역을 보이고 있으며, 그림 7(b)는 실험 대상 지역을 차량 애니메이션을 위하여 단순화 시킨 화면을 나타낸다. 그림 7(c)는 화면에 대한 Zoom-in, Zoom-out에 대한 표현이며 7(d)는 일정시간 시뮬레이션 수행 후 모델이 산출하는 결과에 대한 분석용 그래프를 제공하는 것으로 현재는 처리교통량, 링크교통량, 정지시간, 정지수 등이 구현되어 있다[6]. 표 1은 본 논문에서 제시하는 객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템인 I³D² Transportation Simulation System의 목표성능과 현재 상용화되고 있는 교통류 시뮬레이션 0



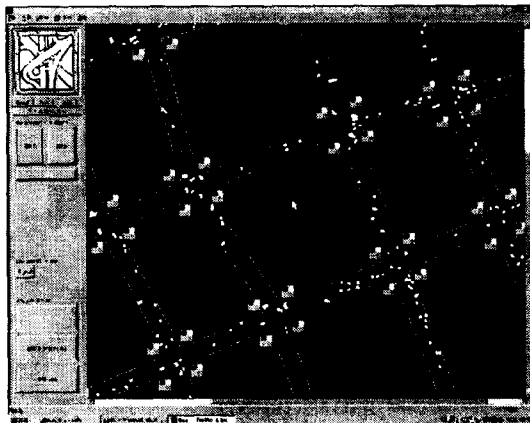
<그림 7> I³D² Transportation Simulation System의 개념도



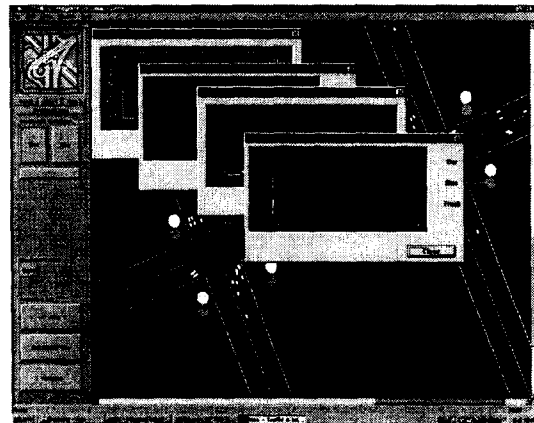
(a) I³D² 시뮬레이션 실험 지역



(b) 시뮬레이션/애니메이션 환경



(c) 시뮬레이션이 수행중인 화면



(d) 시뮬레이션 결과 분석용 그래프 제공

<그림 8> I³D² Transportation Simulation System GUI

시스템들과의 성능비교표를 나타낸다[7,8,9]. 이와같이, 본 논문에서 제시하는 시스템은 기존 교통류 시뮬레이션 시스템들이 갖는 소프트웨

어공학적 그리고 시뮬레이션 이론적 취약점을 보완함으로써 객체지향 환경이 지원하는 재사용성, 확장성, 유지보수성, 모듈의 독립성 등의

<표 1> 기존 교통류 시뮬레이션 시스템과의 예상 성능 비교표

	CORSIM	SimTraffic	PARAMICS	I ³ D ²
Time steps per second	1step/sec	10steps/sec	4/3/sec	1steps/sec 이하
Num of intersection	80	300	2044	2044이상
Num of actuated signals	40	300	1024	1024이상
Num of Vehicles	10,000	30,000	200,000	30,000이상
Graphic User Interface	Text & 2D	Text & 2D	2D & 3D	2D & 3D
Distributed Process	no	no	yes	yes
Operating System	Windows	Windows	Windows & Unix	Windows & Unix지원 예정
Programing Language	C Language	C Language	C Language	C++ Language

장점을 제공할 것으로 기대된다.

V. 결론

본 논문은 기존 교통류 시뮬레이션 시스템들이 갖는 소프트웨어공학적 그리고 시뮬레이션 이론적 취약점을 극복하기 위해 시스템 공학적이며 객체지향 모듈화 시뮬레이션 시스템인 I³D² Transportation Simulation System의 접근 방법론을 제안하고 SES/MB를 이용한 객체지향적 교통류 시뮬레이션을 방법론을 중심으로 논하였다. 또한 제안된 시스템이 기존의 교통류 시뮬레이션에 비하여 ① 다양한 교통 제어방식 수용 능력, ② 유고(Incident) 파급효과 예측 능력, ③ 교통정보 제공에 따른 운전자 행태 반영 능력면에서 진일보한 시뮬레이션 시스템임을 보였다. 향후 연구방향으로는 개발중인 I³D² Transportation Simulation System의 완성도 향상을 위한 노력이 필요하겠다.

Acknowledgements

본 연구의 결과는 서울대학교의 박상조, 정경옥 (주)유신코퍼레이션 손기민, 홍동표 차장을 비롯한 직원들 그리고 항공대학교 이장세, 임예환, 정기찬, 정현정, 이민우, 성균관 대학교의 김형중 등의 공동 연구의 결과이므로 감사의 마음을 전합니다.

참 고 문 헌

[1] 하 동익, 오 영태, 정 준하, 도시 가로망 시설 운영 효율 평가를 위한 모의 실험

모형 개발, 대한교통학회지, 13권 1호, 1995, pp. 185--203.

- [2] 박창호 외, "교통관리 효과분석을 위한 모의 실험 모형 개발(I)", 건설교통부 '96년 연구개발사업 연차보고서, 서울대학교 공학연구소, Feb. 1998.
- [3] 이종근, 이장세, 임예환, 김병중, 지승도, "이산 사건 형식론을 이용한 거시적 및 미시적 교통류 시뮬레이션", 한국시뮬레이션 학회 춘계학술대회, 4, 1999.
- [4] 임예환, 정기찬, 이장세, 이종근, 지승도, 김병중, "미시적 교통류 시뮬레이션을 이용한 교통흐름분석", 한국시뮬레이션 학회 춘계학술대회, 10, 1999.
- [5] Gordon D.B. Cameron, "PARAMICS - Parallel Microscopic Simulation of Road Traffic", The Journal of Supercomputing, 10, 25-53, 1996.
- [6] SimTraffic Verson 1.1, User Manual, 1996.
- [7] FHWA, CORSIM User Manual, 1997.
- [8] B.P. Zeigler, "Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models : Intelligent Agents and Endomorphic Systems", Academic Press, 1990.
- [9] S.D. Chi, J.O. Lee, and Y.K. Kim, "Using the SES/MB Framework to Analyze Traffic Flow", Trans. of Computer Simulation International, Vol. 14, No. 4, pp.211-221 Dec., 1997.