

미시적 교통류 시뮬레이션을 이용한 교통흐름분석

임예환*, 정기찬*, 이장세*, 이종근*, 지승도*, 김병중**

*한국항공대학교 컴퓨터공학과

**한국항공대학교 항공교통학과

Tel : 02-3158-4866 Fax: 02-3158-6748

E-Mail : yahn@mail.hangkong.ac.kr

Traffic Flow Analysis Using the Microscopic Traffic Simulation

Ye-Hwan Lim*, Ki-Chan Jung*, Jang-Se Lee*, Jong-Keun Lee*,

Sung-Do Chi*, Byung-Jong Kim**

Department of Computer Engineering*

Department of Transportation**

Hankuk Hangkong University, Seoul, KOREA.

Abstract

본 논문은 Zeigler가 제안한 이산 사건 시스템 형식론(DEVS : Discrete Event System Specification)을 기반으로 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템의 교통 흐름 분석에 대한 연구를 주목적으로 한다. 도로교통망 모델링 방법은 미시적(microscopic)방법과 거시적(macroscopic)방법으로 분류되는데, 미시적 모형은 개별차량의 행태에 바탕을 둔 모형으로 거시적 모형에 비해 설명력이 뛰어나다는 장점을 가지고 있지만 실제 교통상황에서 관측하고 검증하기가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 신뢰성 있는 미시적 교통류 모형의 설계를 위해 DEVS 형식론을 기반으로 개별 차량에 대한 차량 추종 및 차로 변경 모형을 모델링하고 이를 근거로 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템의 교통흐름 분석을 한다.

1. 서론

최근들어 교통 기반 시설의 공급이 수요를 따르지 못함에 따라, 지능형 교통 시스템(ITS : Intelligent Transportation Systems)의 도입의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이에 따라, 교통시스템을 모사하는 교통류 시뮬레이션 시스템들이 꾸준히 개발되고 있으나, 빠르게 진전하는 교통류 분석 기술 및 기법을 모형의 틀내에 수

용하지 못하고 있는 실정이다[1]. 또한, 이들 교통류 시뮬레이션 시스템의 모델링 방법들은 그 목적에 따라 거시적(macroscopic) 및 미시적(microscopic) 모델링 방법으로 각기 표현되어 사용되어 왔다. 거시적 모델링 방법론은 일정 시간내에 결과를 도출해내기 위하여 단순히 하나의 양적인 면만을 강조한 교통 흐름을 모델링하는데 주력해 왔다. 하지만, 이러한 거시적 모델링 방법론은 혼잡 상황에서 실제 개별 차량들의 행태를 표현

* 본 연구는 과학기술부 특정연구개발과제인 지능형 교통 시스템(ITS) 핵심 기반 기술 개발 사업중 "시뮬레이션 시스템 아키텍처 및 응용 시스템 개발"에 관한 연구로 수행됨.

하지 못하고, 또한 실세계의 동적인 차량 흐름을 정확히 재생성해 내지 못한다는 단점을 가지고 있다. 이에 따라, 근래의 추세는 차량 한 대 한 대의 개별적인 행태를 시뮬레이션 가능한 미시적 모델링 방법론이 효율적인 도구로써 두각되고 있다. 그러나, 교통 흐름이란 상당히 복잡하고 여러 가지 비선형 함수를 기반으로 하고 있으므로, 이 모델링 방법 역시 시스템 계산 비용을 많이 필요로 한다는 단점을 가지고 있다[3].

따라서, 본 논문에서는 Zeigler가 제안한 이산 사건 시스템 형식론(DEVS : Discrete Event System Specification)[4, 5]을 기반으로 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템의 교통 흐름 분석에 대한 연구를 주목적으로 한다. DEVS 기반의 교통류 시뮬레이션은 교통류 시뮬레이션에 있어서 거시적 모형화 방법론과 미시적 모형화 방법론이 서로 독립적 모형이 아니며, 오히려 서로 동질적 추상화 관계에 있음을 이용한다. 즉, DEVS를 이용한 통합 모형화 환경의 구축시 미시적 모형들로부터 추상화에 의한 거시적 모형의 자동 생성 등 설계 상의 효율뿐 아니라, 모형간의 일관성을 통한 모형 유효성을 보장할 수 있음을 보인다. 또한, 이산 시간 기반의 미시적 교통류 시뮬레이션에 DEVS를 통한 이산 사건 기반의 미시적 교통류 시뮬레이션 기법을 도입함으로써, 교통환경의 동적 변화, 개별 차량의 동적 진로 변화 등

동적 정보 변경을 즉시 반영할 수 있도록 처리할 수 있음을 보인다[1].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장을 통하여 DEVS 기반의 미시적 모형화에 대하여 제안하고, 3장의 개발 사례를 통하여 개발된 시스템의 실험을 통하여 본 시스템의 실험 결과를 분석하여 성능 평가를 한다. 그리고, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. DEVS 기반의 미시적 모델링

그림 1은 이 연구를 통하여 개발된 시스템의 기본 개념도를 보이고 있다. 그림과 같이 본 연구에서 제안하는 시뮬레이션 방법론은 이산 사건 시스템 형식론을 기반으로 한다. 하층의 DEVS 기반 도로망 시뮬레이션 모델은 도로망에서 실시간으로 수집된 루프 감지기 등의 센서, 교통 DB의 데이터 그리고 구조적 및 동역학 모델들을 합성시킴에 의해 생성된 통합 시뮬레이션 모델이다. 여기서 사건사고와 같은 교통환경의 동적 변화, 그리고 차량별 운전자의 동적 진로 변화, 실시간 모니터링 정보의 갱신, 신호체계의 변화, 그리고 차량별 정보 제공에 의한 차량 움직임의 변화 등은 시뮬레이션 진행 중에도 즉시 반영될 수 있도록 처리된다. 중간층의 시

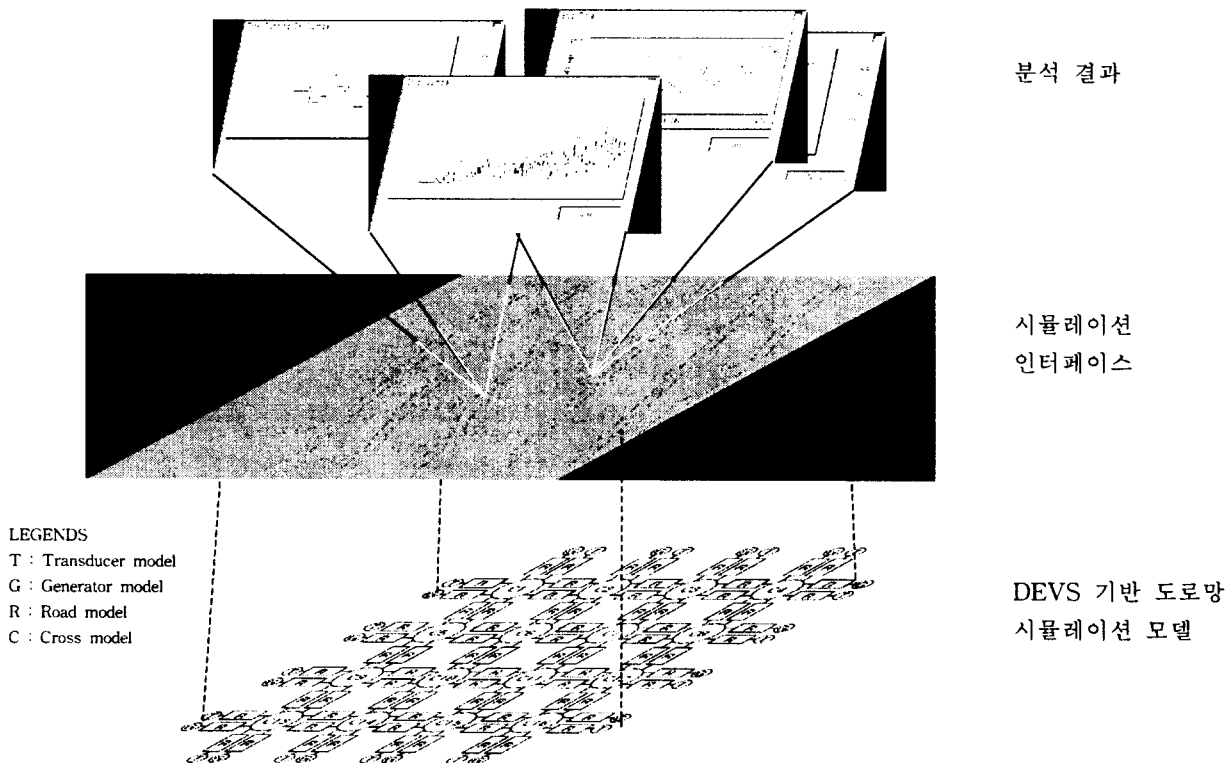


그림 1. DEVS 기반의 미시적 교통류 시뮬레이션

물레이션 인터페이스에서는 이러한 시물레이션을 차량별 애니메이션으로 표현함으로써 관리용 시스템으로써 활용할 수 있고, 상층에서 시물레이션 수행 결과에 대한 통계 자료를 도표나 테이블, 그래프 등 다양한 방법을 통하여 제공한다.

미시적 모형은 개별 차량을 대상으로 하여 신호 제어 전략 등 주로 교통 운영에 관한 분석을 목적으로 하는 것으로 차량추종(Car-Following)이나 차선변경(Lane-Changing) 등의 이론을 적용한다. 이 방법론은 주로 작고, 간단한 시스템을 시험하는데 적합하다. 미시적 모형의 교통류 현상을 정확히 표현하는 데 필요한 교통류 부모형은 차량 및 운전자 특성, 차두간격분포, 자유교통류 조건에서의 운행특성, 차량추종, 차로변경 의사결정, 간격수락 등으로 규정된다[2].

본 연구에 적용되어 구현된 미시적 교통류 모델링 기법들은 각각 다음과 같다.

차량 및 운전자 특성

차량 및 운전자별 특성은 자유교통류 조건에서의 운행 특성 및 차량추종 시물레이션에서 개별 차량의 행태를 산출하는데 사용된다[2]. 본 연구의 시스템에서 차량 특성을 표현하는데 사용된 차종은 크게 고성능 승용차, 버스, 화물차의 세가지 종류의 차량이다. 일반적으로 차종의 최대 가속도와 최대 감속도는 사용되지 않으므로, 실제와 마찬가지로 본 연구의 시물레이션에서도 다음 표 1과 같은 정상 가감속도를 사용한다[2,6].

표 2. 차종별 정상 감속도

	속도 (m/s)				
	<6.096	12.196	18.288	24.384	≥24.38
승용차	3.048	2.896	2.743	2.591	2.438

차두간격분포

차두간격분포는 미시적 교통류 시물레이션에서 차량 발생 과정에 직접적으로 사용되며 교통류 모델의 타당성 검증(validation) 과정에서 평가의 주요지표로 사용된다[2].

자유교통류 조건에서의 차량주행

교통조건은 차량이 다른 차량에 의해 운행에 제약받는가 아닌가에 따라 자유교통류 조건과 제약교통류 조건으로 구분할 수 있다. 자유교통류 조건은 점유 도로에서 제일 선두차량의 운행 조건을 의미하며[2], 본 연구에서는 앞의 표에서 나타난 최대 가감속도, 정상 가감속도를 이용하여 속도를 산출하였다.

차량추종

자유교통류 조건에서의 차량주행, 즉 선두차량이 아닌 모든 차량은 가감속이 선행차에 의해 제약을 받는 제약교통류 조건에서의 차량운행이 된다. 본 연구 실험에서 사용된 차량추종모형은 미시적 교통류 모사의 핵심을 이루는 부모형이다. 추종행태는 오래 전부터 교통공학의 연구 대상이었으며, 미시적 교통류 모의실험모형에 꼭 필요한 요소로 많은 연구가 진행되었다[2,3].

차량추종 모형의 기본은 그림 2와 같이 차량의 가감속도가 시간과 위치 관계에 의하여 결정된다는 것이다. 즉, 주어진 시간의 한 차량 위치에 따라서, 후행 차량의 위치를 결정할 수 있다는 기본에서 출발한다. 예를 들어, 선행차량과의 공간크기가 넓으면, 후행차량은 가속하고, 선행차량과의 공간크기가 좁으면, 후행차량은 감속 또는 선행차량과 같은 속도를 유지하려고 한다[2,3].

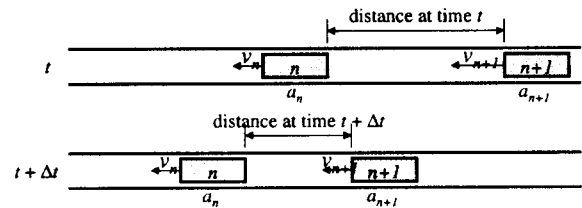


그림 2. 차량추종 모형

본

연구에서 사용한 차량추종 모형은 다음 식 1과 같은 일반적인 형태를 가진다.

$$a_n = \alpha^\pm \times \frac{v_n^{\beta^\pm}}{g_n^{\gamma^\pm}} \times (v_{n-1} - v_n) \quad (\text{식 1})$$

여기에서,

- a_n = 후행차량의 가감속도
- n = 선행차량
- $n-1$ = 후행차량
- v_n = 선행차량의 속도
- v_{n-1} = 후행차량의 속도
- α, β, γ = 차량추종 모델의 인자. $\alpha^+, \beta^+, \gamma^+$ 인자는 가속시($v_n \leq v_{n-1}$) 사용되며, $\alpha^-, \beta^-, \gamma^-$ 인자는 감속시($v_n \geq v_{n-1}$) 사용된다.

을 나타낸다[6].

위 모형에서 구하고자 하는 a_n 은 n 번째 차량, 즉 후행 차량의 가감속도이다. 즉, 선행차량과 후행차량의 속도차를 이용하여, 후행차량의 가감속도를 구하는 것이 차량 추종 모형이다.

차로변경의사결정

차로변경 모형은 운전자의 특성에 따라 고려해야할 변수가 많아 그 변화가 비선형적이므로, 일반적인 하나의 공식에 의하여 결정될 수 없다. 일반적으로 차로 변경의 이유로는 진행 차로 상의 공사, 사고, 병목 구간 등 더 이상 진행할 수 없는 상황에 따른 강제차로변경(mandatory lane change)과 정체, 차량 목적지에 따른 임의차로변경(discretionary lane change)이 있다. 변경하고자하는 목표 차로의 결정은 일반적으로 정체 차로 또는 사고, 공사 차로를 피하는 방향으로, 교차로에 다가선 경우에는 차량 목적지에 따른 회전 방향으로 차로가 결정된다[6].

간격수락

일단 차로 변경의사가 결정되면, 차로변경시 변경하고자하는 차로에 수락간격이 존재하는가를 계산한다. 차로 변경 가능 여부 파악은 옆 차로 차량들과의 공간 크기와 상대적인 속도에 좌우된다. 차로 변경이 가능하다는 결정이 나면, 실질적인 차로 변경을 하게 되고, 차로 변경 즉시 해당 차로의 차량추종 모형에 따른다.

차로 변경을 위해서는 그림 3과 같이 차로 변경시 받아들일 수 있는 최소한의 공간, 즉 옆차로 선행차와의 공간 크기(gap front)와 옆차로 후행차와의 공간 크기(gap follow) 및 자기 차량의 속도(vn), 옆차로 선행차량, 후행차량의 속도(va와 vb)를 모두 고려한다.

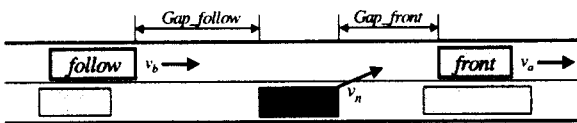


그림 3. 차선 변경

임의차로변경 시의 수락간격은 다음의 식으로 구해진다[6].

$$g_{na}^D = \max \{ g_a^D, g_a^D + \beta_{a1}^D v_n + \beta_{a2}^D (v_n - v_a) + \epsilon_{na} \}$$

$$g_{bn}^D = \max \{ g_b^D, g_b^D + \beta_{b1}^D v_b + \beta_{b2}^D (v_b - v_n) + \epsilon_{nb} \}$$

여기에서, a는 목표차로 선행차량을, b는 목표차로 후행차량을 가리킨다. 그리고,

$$g_{na}^D = \text{차로 변경을 위한 차량 a와의 거리.}$$

$$g_{bn}^D = \text{차로 변경을 위한 차량 b와의 거리.}$$

$$g_a^D = \text{a와의 최소거리.}$$

$$g_b^D = \text{b와의 최소거리.}$$

$$v_a = \text{차량 a의 속도.}$$

$$v_b = \text{차량 b의 속도.}$$

$$v_n = \text{차량 n의 속도.}$$

$$\beta = \text{인수.}$$

이상과 같은 식으로 차로변경 모형을 구현하였다. 물론, 위의 식 외에 차로 변경시 방향등 점등으로 인한 옆차선 후행차량(b)의 양보, 차선 변경 방해와 같은 운전자 특성도 감안해야 하는 등, 여러 가지 고려 요소가 있다.

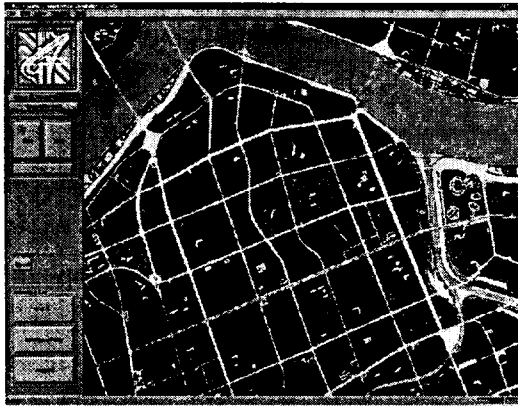
3. 개발 사례 :

I³D² Transportation Simulation System

개발된 DEVS 기반의 미시적 시뮬레이션 기법을 통하여 I³D²로 명명된 교통류 시뮬레이터의 시제품이 개발되었다. I³는 Intelligent, Interactive, Integration을 의미하고 있으며, D²는 Distributed, DEVS-based를 의미한다. Intelligent는 교통관리 정책 및 운전자 행동 특성 등의 지식기반 모델링과 시뮬레이션을 제공한다는 의미로 사용하였으며, Interactive는 시뮬레이션 진행중 온라인으로 실험 조건의 변경 및 분석 보고서 생성 기능을 의미, Integrated는 미시적 교통류 모델링뿐 아니라, 교통류 검지, 신호방식, 정보제공 등 교통관련 시스템들의 통합 모델링 환경 제공을 의미한다. Distributed는 본 시스템이 분산 시뮬레이션 환경을 제공함을 의미하고, DEVS-based는 객체지향, 계층구조적, 모듈화 소프트웨어 기반하에 첨단 이산사건 시스템 형식론을 도입하였음을 의미한다.

그림 4(a)는 I³D² 교통 시뮬레이션 시스템의 초기 인터페이스 화면으로 미시적 교통류 모형의 실험 대상 지역인 서울 강남지역을 보이고 있으며, 그림 4(b)은 실험 대상 지역을 차량 애니메이션을 위하여 간단화한 화면을 나타낸다. 그림 4(c)와 4(d)는 I³D² 교통 시뮬레이션 시스템에 시뮬레이션이 진행 중일 때의 애니메이션 인터페이스의 전체 4X4 영역과 확대 영역을 각각 보인다.

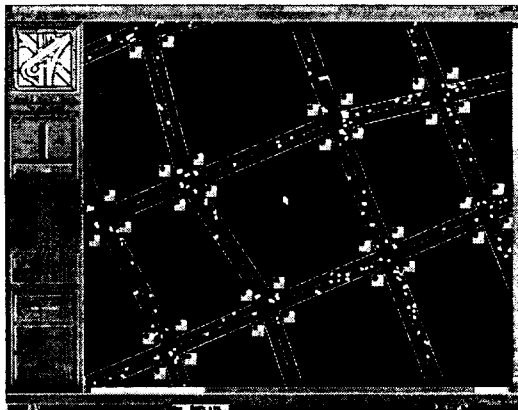
일정 시간 시뮬레이션을 수행한 이후에 전체 시스템 또는 도로, 교차로, 신호등, 검지기, 개별 차량 등의 객체 단위로 성능 분석을 수행할 수 있다. 모델이 산출하는 결과물은 교통관리 효과분석에 사용될 수 있다. 많은 지침서 및 교통관리 평가 사례를 살펴보면 지표들이 제시되어 있는데, FHWA(1996)에서는 교통 체계의 운영상태를 나타내는 효과척도(MOE: Measure of Effectiveness)를 제시하고 있다[2].



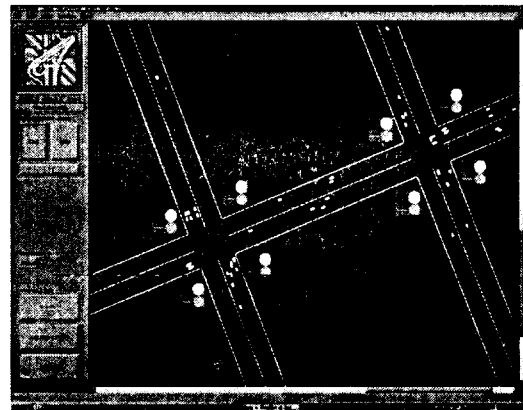
(a) I³D² 시물레이션 실험 지역



(b) 시물레이션/애니메이션 환경



(c) 시물레이션이 수행중인 화면



(d) 시물레이션 영역의 확대/축소

그림 4. I³D² 시물레이션 시스템의 인터페이스

그림 5는 효과척도를 이용하여 I³D² 시물레이션 시스템의 결과 분석 값을 출력하는 화면을 보여주고 있다. 이 테스트의 환경으로, 차량 발생 분포는 Poisson 분포에 따르고, 도로망의 차선은 4차로, 특별한 유고 상황이 발생하지 않는다고 가정하였다.

그림 5의 왼쪽 위의 그래프는 300초간 시물레이션을 실행한 이후에 전체 시스템의 처리교통량을 보이고 있다. 그림의 가로축은 시간(t)을 보이며, 세로축은 교통량을 나타낸다. 즉, 이 실험에서는 시간이 지남에 따라 거의 일정한 교통량이 계속 유지하고 있다. 그림 5의 오른쪽 위 그래프는 링크통행량을 보여준다. 링크통행량은 선택된 도로의 시간별 통행량을 보여주는 그래프이다. 그림에서 보이듯이, 가로축의 시간이 변화해감에 따라 도로상의 차량수가 증감을 반복하는 것을 볼 수 있다. 차량 대수가 변화하는 시간대는 해당 도로에 진행 신호가 적용되어 차량의 진출입이 있을 경우의 상황을 보인다. 왼쪽 아래편의 그림은 정지시간의 합을 보여주고 있다. 실험 초기에는 정지하는 차량이 없이 원만한

흐름을 보이다가, 시물레이션이 진행될수록 점차 정체 현상이 발생하여 전체 시스템의 차량 정지 시간이 계속 증가됨을 볼 수 있다. 그래프 상에서 굴곡이 표현되는 부분은 진행 신호의 개방으로 인해 진행하는 차량들이 있는 경우와 없는 경우가 구분되기 때문이다. 오른쪽 아래 그림의 정지수는 정지시간과 비례하여 증감하게 된다. 단지, 시간이 지남에 따라 그 크기가 크게 변화하는 것 보다는 신호에 따른 변화만이 두드러져 보이는 것이 그 특징이다.

4. 결론

I³D² 교통류 시물레이션 시스템은 DEVS 기반의 미시적 교통류 실험 모형의 개발 결과를 보여준다. 이 시스템 구현 방법론을 통하여 신뢰성 있는 미시적 교통류 모형의 설계를 위해 DEVS 형식론을 기반으로 개별 차량에 대한 차량 추종 및 차로 변경 모형을 모델링하고 이를 근거로 미시적 교통류 시물레이션 시스템의 교통흐

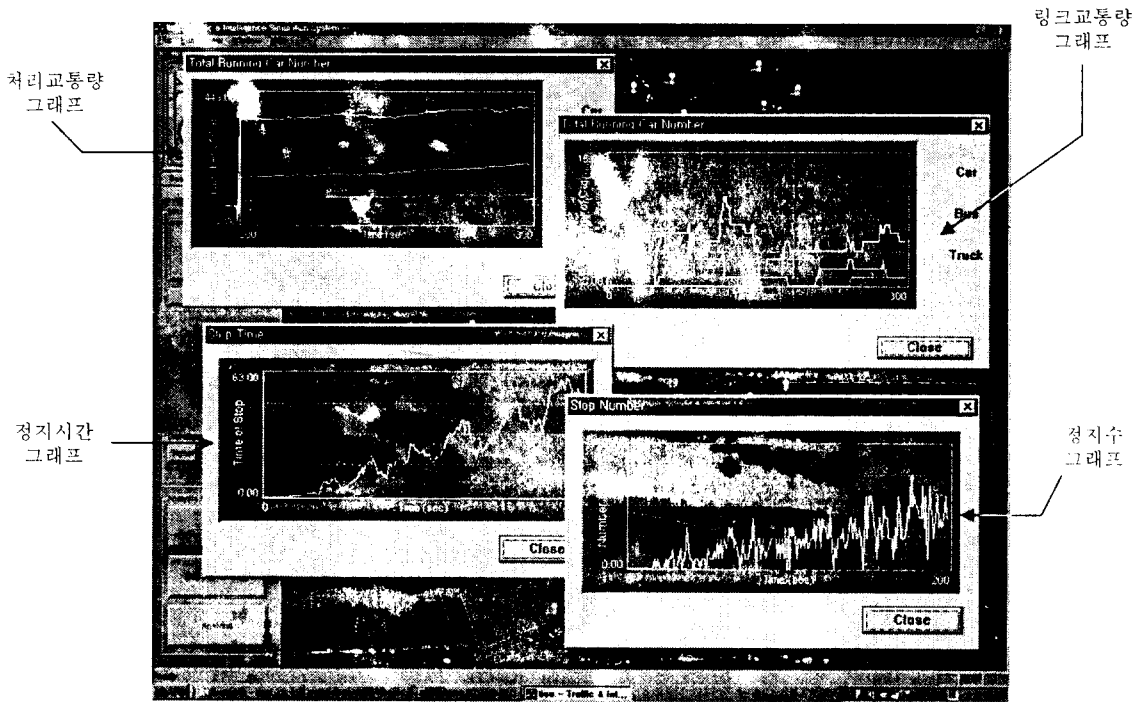


그림 5. MOEs를 통한 결과 분석

를 분석을 하였다.

또한, DEVS 기반의 교통류 시물레이션을 제안함으로써, 교통류 시물레이션에 있어서 거시적 모형화 방법론과 미시적 모형화 방법론이 서로 독립적 모형이 아니며, 오히려 서로 동질적 추상화 관계에 있음 보였다. 이에 따라, DEVS를 이용한 통합 모형화 환경의 구축시 미시적 모형들로부터 추상화에 의한 거시적 모형의 자동 생성 등 설계 상의 효율뿐 아니라, 모형간의 일관성을 통한 모형 유효성을 보장할 수 있음을 보였다.

본 연구진에 의하여 개발된 1^3D^2 교통류 시물레이션 시스템은 유고 상황 등의 미시적 상황 및 새로운 도로 건설 등에 따른 영향 평가 분석이 가능하며, 교통 문제 해소를 위한 도로망 관리에 적용될 수 있다.

향후 연구방향으로는 개별 차량의 행태에 대한 보다 실질적인 연구를 통하여 미시적 모델의 실험적 검증과 평가가 진행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] 이종근, 이장세, 임예환, 김병중, 지승도, 『이산 사건 형식론을 이용한 거시적 및 미시적 교통류 시물레이션』, 한국시물레이션 학회 춘계학술대회, 1999.
 [2] 박창호 외, 『교통관리 효과분석을 위한 모의 실험 모형 개발(I)』, 건설교통부 '96년 연구개발사업 연

차보고서, 서울대학교 공학연구소, Feb. 1998.

[3] Gordon D.B. Cameron, 『PARAMICS - Parallel Microscopic Simulation of Road Traffic』, The Journal of Supercomputing, 10, 25-53, 1996.
 [4] B.P. Zeigler, 『Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models : Intelligent Agents and Endomorphic Systems』, Academic Press, 1990.
 [5] S.D. Chi, 『Modeling and Simulation for High Autonomy Systems』, Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Univ. of Arizona, 1991.
 [6] Qi Yang, 『A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems』, Ph.D. Dissertation, Dept. of Transportation at the MIT, MIT Press, June 1997.