

# 미래 교통환경 변화에 대응하는 교통 모의실험 모형 설계 방향

## Considerations on a Transportation Simulation Design Responding to Future Driving

김형수\*

(Hyoungsoo Kim)

(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

박범진\*\*

(Bumjin Park)

· Corresponding author : Hyoungsoo Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology),  
E-mail hsookim@kict.re.kr

### 요약

최근 첨단기술의 발전은 교통환경에 커다란 변화를 일으키고 있다. 지능형교통시스템(ITS), 자율주행차량 등은 도로 및 자동차는 물론 운전자까지 정보화, 지능화, 자동화하여 안전하고 효율적인 교통운영에 공헌하고 있다. 본 연구에서는 첨단기술의 도입으로 변화하는 미래 교통환경을 위한 모의실험 모형 설계시 고려해야 하는 사항을 제안하였다. 우선 거시적인 설계 방향으로 현실 유사성, 모형 수용성, 규모 확장성을 제안하고 각각에 대한 구체적 고려사항을 나열하였다. 현실에 유사한 실험을 위하여 정산(calibration) 기능이 중요하며, 통신 특성을 위하여 물리 계층(physical layer) 및 맥 계층(MAC layer)에서 발생하는 현상을 구현하여야 한다. 미래의 새로운 교통환경 실험을 수용하려면 API 등 다른 모형의 추가적인 결합을 위한 인터페이스가 고려되어야 한다. 예측하기 어려운 미래 교통환경을 위한 모의실험 모형은 많은 기능을 내재한 거대한 구성보다는 호환 중심의 설계가 필요하며, 실험 규모 확장을 위하여 H/W와 S/W는 함께 최적화되어야 한다. 본 연구의 결과는 미래 교통환경의 모의실험 모형 설계시 가이드라인으로 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 모의실험, 미시적 모형, 현실 유사성, 모형 수용성, 규모 확장성

### ABSTRACT

Recent proliferation of advanced technologies such as wireless communication, mobile, sensor technology and so on has caused significant changes in a traffic environment. Human beings, in particular drivers, as well as roads and vehicles were advanced on information, intelligence and automation thanks to those advanced technologies; Intelligent Transport Systems (ITS) and autonomous vehicles are the results of changes in a traffic environment. This study proposed considerations when designing a simulation model for future transportation environments, which are difficult to predict the change by means of advanced technologies. First of all, approximability, flexibility and scalability were defined as a macroscopic concept for a simulation model design. For actual similarity, calibration is one of the most important steps in simulation, and Physical layer and MAC layer should be considered for the implementation of the communication characteristics. Interface, such as API, for inserting the additional models of future traffic environments should be considered. A flexible design based on compatibility is more important rather than a massive structure with inherent many functions. Distributed computing with optimized H/W and S/W together is required for experimental scale. The results of this study are expected to be used to the design of future traffic simulation.

**Key words** : simulation, microscopic model, approximability, flexibility, scalability

† 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술사업화 지원사업의 지원에 의해 수행되었습니다(15TBIP-C094550-01)

† 본 논문은 한국ITS학회의 2015년 춘계학술대회에서 발표되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

\* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원

\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원

† Received 21 September 2015; reviewed 3 November 2015; Accepted 28 December 2015

## I. 서론

무선통신, 모바일, 센서 기술의 발전은 교통환경에 거대한 변화를 발생시키고 있다. 도로에 설치된 센서를 통하여 혼잡정보를 알려주는 교통정보시스템은 물론, 스마트폰 앱(T-map, 올레내비, 김기사 등)을 이용하여 정보를 수집하고 최적노선을 알려주는 서비스, 자동차 스스로 주행하는 자율주행 차량까지 교통환경은 기술의 발달과 함께 계속 변화하고 있다.

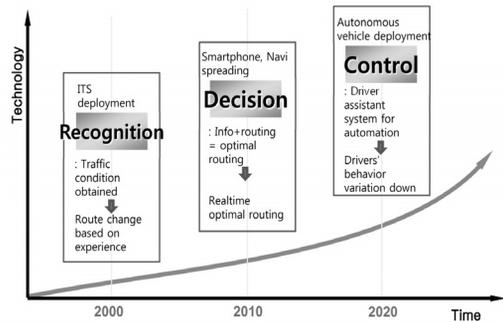
1990년대 초부터 시작된 지능형교통시스템(ITS, Intelligent Transport Systems)은 인프라를 기반으로 하므로 막대한 비용과 함께 공공 중심으로 추진되었다. 도로에 설치된 센서로 교통상황을 판단하고 가변전광판(VMS, Variable Message Sign), 내비, 인터넷을 통하여 운전자에게 정보를 제공하는 것이다. 운전자는 과거 경험에 기반한 주행에서 이제는 ‘정보화’에 의한 효율적인 노선선택으로 운전 행태가 바뀌게 된 것이다.

무선통신 기술의 발달은 이동중인 차량이 언제 어디서든 필요한 정보를 받고 보내는 것이 가능하게 하였다. Connected Vehicle 또는 Cooperative Intelligent Transport Systems이라는 이름으로 차량간(Vehicle-to-Vehicle, V2V) 통신은 물론 차량-인프라간(Vehicle-to-Infrastructure, V2I) 통신으로 가능한 서비스가 개발되고 있다[1]. 또한 스마트폰의 전용 앱을 통하여 교통정보의 수집은 물론 판단까지 지원 받는다. 다양한 정보를 활용하여 최적의 노선을 선택하고 실시간으로 노선을 재탐색하는 판단의 ‘지능화’가 일상화되고 있다.

자동차 기술의 진화는 정보화, 지능화에서 한걸음 더 나아가 차량제어가 가능한 ‘자동화’에까지 이르러 교통환경 변화를 가속시키고 있다. 많은 이용자들이 미래 교통환경으로 기대하는 것은 무인차량일 것이다. 운전자의 개입 없이 주변 상황을 인식하여 스스로 주행하는 자율주행차량은 2014년에 공개된 미국 구글사의 무인차량 주행 동영상으로 전세계적 이슈가 되었다[2]. 미국 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)는 운전자 주

행에서 완전 자율주행까지의 수준을 5단계로 정의하였다[3]. 유럽 공동체에서는 6단계의 자율주행 수준과 함께 로드맵을 발표하였다[4]. 현재의 자율주행 기술은 첨단운전지원시스템(Advanced Driving Assistance System)으로 통칭되며, 차량에 장착된 센서로 주변상황을 파악해 안전운전을 지원하는 역할을 한다.

인지-판단-제어로 구분되는 운전자의 반응단계는 첨단기술의 적용으로 정보화-지능화-자동화 되어가고 있다. 실시간 온라인 기술로 충분한 정보수집이 가능하고 대안 선택에 있어 최적의 판단과 신속한 제어가 이루어진다. 미래 교통환경은 더욱 향상된 모습으로 정보화-지능화-자동화가 지속될 것이며, 변화의 폭이 클 것으로 기대된다. <그림 1>은 기술의 발달과 함께 교통환경 변화 과정을 설명하고 있다.



<그림 1> 첨단기술의 도입으로 운전 행태의 변화에 의한 교통환경 변화 과정

<Fig. 1> Trend of driving patterns by advanced technologies

현재는 예측하기 어려운 교통환경 변화를 대응하기 위하여 모의실험, 특히 미래 교통 모형의 구현이 필요하다. 이와 같은 아직 존재하지 않거나 실제 실험시에 과도한 비용이 소요되는 경우에 우선 사용되는 방법이 컴퓨터 모의실험(simulation)이다. 모의실험은 많은 가정에 의한 신뢰성 부족의 약점에도 불구하고 실제 실험하기 어려운 상황, 같은 상황의 반복 실험이 가능하므로 여전히 중요한 분석 도구로 활용되고 있다.

모의실험은 모형을 기반으로 교통환경을 구현하

는 구조로 모든 대상(시스템, 기술 또는 행태)을 실제와 유사하게 표현하는 적절한 모형화가 이루어져야 한다. 이와 유사한 개념으로 Yang[5]이 차량간 통신 기반 모의실험 모형을 제안한 이후에 지금까지 V2X 통신 기반 모의실험 모형들이 발표되고 있다[6-11]. 하지만 대부분의 연구는 해당 목적에만 국한되어 일반화된 모형을 제시하지 못하여 다양한 환경에 적용되기 어려운 구조를 가지고 있다. 즉, 빠른 속도로 계속 진화하는 첨단기술의 수용이 고려되어 있지 않은 것이다. 이와 같이 변화하는 교통환경을 구현하기 위한 모의실험 모형은 지속적으로 발생하는 변화를 수용하는 과정에서 결국 H/W, S/W 모두가 비효율적으로 변하게 될 수 있으므로 미래를 대비한 유연한 설계가 필요하다.

본 연구에서는 정보화, 지능화, 첨단화되는 미래 교통환경 변화를 위한 컴퓨터 모의실험 모형 설계 시 추구해야 하는 방향 및 중요 고려사항을 제안하였다. 다음 장에서는 지금까지 이루어진 관련 연구를 검토하여 한계점을 정리하였다. 3장에서는 미래 교통환경 변화를 구현하기 위하여 우선 추구해야 하는 설계 방향을 설정하고, 제안한 방향을 실현하기 위하여 4장에서 설계시 고려해야 하는 사항을 나열하였다. 마지막 장에서는 그럼에도 불구하고 내재되어 있는 모의실험의 한계를 언급하였다. 본 연구의 결과는 기존 연구의 한계점을 극복하고 차량간 통신뿐만 아니라 자율주행 등 미래의 교통환경 모의실험을 위한 모형의 설계시 중요한 가이드 라인으로 활용될 것으로 기대된다.

## II. 관련 연구

아직 존재하지 않는 교통환경을 실험하기 위한 모의실험 모형은 다양한 방법으로 개발되어 왔다. 대부분 교통모형과 통신모형을 중심으로 기존 모형을 통합하거나 부분적으로 새로운 모형을 개발하였다. 하지만, 이 두 종류의 모의실험 모형을 구성하는 과정에서 어떤 구체적인 목적만을 위한 실험환경을 구성하면 현실성이 떨어지는 경우가 발생한다.

Yang[5]은 그의 학위논문에서 분산형 교통정보

시스템을 제안하여 차량간 통신에 관련된 초기의 연구로서 개념정의에 공헌하였다. 하지만, 통신반경 내의 모든 차량은 100% 통신이 된다는 비현실적인 가정으로 인하여 의미 있는 결과를 제시하지 못하였다. Wu[6]도 교통모형과 통신모형을 이용하여 차량간 통신을 실험하기 위한 환경을 구축하였으나, 통신의 신뢰성에 더 많은 관심을 가지므로 이와 같은 실험의 중요한 결과인 정보의 전달에 대한 결과를 제시하지 못했다.

통신환경 뿐만 아니라 교통환경 구성에서도 무리한 가정을 전제로 하는 경우가 있다. Wischhof 외 2명[7]은 차량간 통신이 가능한 환경에서 정보의 전달 범위를 측정하였다. 하지만, 그들은 가상의 편도 2차선 도로에서 차량의 움직임을 위하여 cellular automaton approach를 적용하므로, 차선변경 등의 미시적인 움직임을 반영하지 못하였다. 또한 Yang[8]도 차량간 통신을 기반으로 하는 교통 모의실험 모형을 개발하여 실험을 할 때 한 차로로 가정하여 실행하므로 일반적인 교통환경으로 보기 어려운 상황을 가정하였다. Saito 외 3명[9]은 Broadcast storm 현상을 방지하기 위하여 메시지의 수신 수가 많아지면 정보의 전달 간격을 늘리는 방법을 개발하였다. 그들은 정보의 전달율을 통하여 전달 범위를 제시하였으나, 다양한 교통 밀도와 시장점유율을 고려하지 못하여 실제 교통환경과 유사하다고 보기 어려웠다.

V2V와 V2I 통신이 가능한 교통환경은 대부분 교통운영 또는 교통안전에 적용되어 연구되고 있다. 이와 같은 환경의 모의실험을 위한 모형 또한 교통운영 또는 교통안전에 국한되어 구성되었다. Yang[5]의 모형은 교통 혼잡정보의 전달을 구현하였고, Wischhof 외 2명[7]과 Saito 외 3명[9]의 모형은 데이터 패킷의 전달 효율을 확인하는 것으로 끝났다. Joerer 외 5명[10]이 사용한 교차로 사고 확률 산정방법의 검증을 위한 모의실험 모형은 교차로라는 환경에서 발생하는 상황을 위한 것으로 국한되어 있다. Sommer 외 2명[11]은 VEIN이라는 교통-통신 통합모형을 만들었으나 통신 효율에 중심의 설계로 교통운영 활용에는 한계가 있다.

이상의 문헌고찰에서와 같이, 실험하고자 하는 교통환경을 모형화하는 과정에서 지나친 가정은 현실성이 떨어져 결과를 신뢰하기 어렵게 된다. 또한 미래 교통환경은 예측하기 어려우므로 유사모형의 호환, 적용 환경의 변화가 자유로운 일반화 구성이 필요하다. 특히, 실험하고자 하는 대상의 규모 확장이 가능해야 다양한 실험이 가능할 것이다.

### Ⅲ. 모의실험 설계 방향

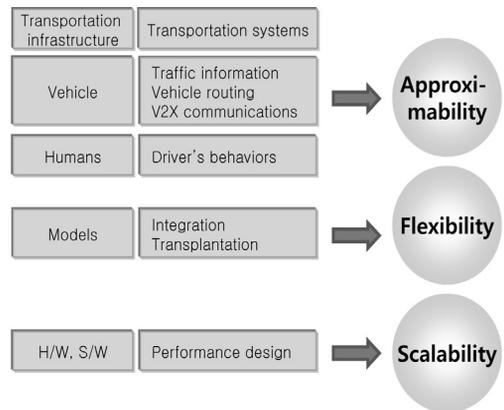
본 연구에서 제안하는 모의실험은 미래 교통환경을 전제로 하고 있으므로 현재 시점에서 모든 상황을 예측하기는 어렵다. 하지만 적은 비용으로 다양한 실험이 가능한 모의실험의 강점을 살리려면 유연하고 일반화된 구조로 설계되어야 할 것이다. 2장의 관련 연구에서와 같이 기존 연구는 해당 모의실험 목적에 국한하여 설계되어 있어 일반화된 활용이 어렵다. 예를 들어, 혼잡정보 제공 실험 모형을 교차로 안전에 적용하려면 설계부터 다시 해야 한다. 미래 교통환경을 대비하는 모형이라면 한 가지 실험에 전문화된 구조 보다는 다양한 환경을 수용할 수 있는 프레임워크 개념의 설계가 필요하고 판단된다. 본 장에서는 변화하는 교통환경에 대응하기 위한 모의실험 모형이 반드시 가져야 하는 세가지 방향을 나열하였다.

첫째, ‘현실 유사성(approximability)’은 현실 상황을 유사하게 묘사하는 능력을 의미한다. 모의실험 모형이라면 가장 기본이라고 볼 수 있지만 실제로 모형에 따라서는 상이한 결과를 얻게 되기도 한다. 일반적인 모의실험 모형은 교통시스템 모형, 교통류 모형을 포함하고 있지만 교통환경 변화를 고려할 때 통신 모형을 포함하여야 현실에서 나타나는 현상을 유사하게 구현할 수 있다. 특히 도심에서는 간섭 및 통신혼잡에 의한 통신장애가 발생할 수 있으므로 필수적인 요소이기도 하다.

둘째, ‘모형 수용성(flexibility)’은 기존 모형이 새로운 모형, 시스템, 아이디어를 수용하는 능력을 의미한다. 모형을 설계할 때, 다양한 모형 이용자의 수요를 모두 반영할 수 없으므로 필요시 추가하는

구조가 유리하다. 기존 방식은 API(Application Programming Interface)를 사용하거나 부분적으로 프로그래밍 코드를 공개하여 사용자가 활용할 수 있게 하기도 한다. 새로운 교통환경의 모의실험을 위하여 설계에서부터 플랫폼 개념의 유연한 구조가 필요한 것이다. 새로운 환경의 모형화가 쉽게 추가될 수 있어야 다양한 실험이 가능하다.

셋째, ‘규모 확장성(scalability)’은 모형 설계시 시스템 효율을 높여 분석 대상 규모를 확장하는 능력을 의미한다. 실제 상황을 잘 묘사하는 실험을 위하여 미시적 모형을 사용하게 되지만 최대 약점은 연산량이 많아 규모가 커지면 실험이 어렵다는 것이다. 그러므로 설계 단계에서 확장성을 고려한 최적화가 필요하다. 연산을 시간적으로 분산시키는 방식(distributed computing)은 확장성을 추구하는 대표적인 방법이다. <그림 2>는 모의실험에서 다루어야 하는 대상과 구현내용의 효과적 달성을 위한 설계 방향을 보여준다.



<그림 2> 모의실험 대상, 구현내용 및 설계 방향  
<Fig. 2> Targets, implementation and Design directions in simulation

지금까지 미래 교통환경 변화에 대응하기 위한 모의실험 모형 설계시 추구해야 하는 세가지 방향을 설정하였다. 이것은 필요한 실험에만 국한된 기존 모의실험 모형의 한계를 극복하고자 일반화된 유연한 설계 방향을 제안한 것이다. 미래의 모든 교통환경을 구체적으로 예측할 수 없기 때문에 모형

을 미리 만드는 것 보다는 필요시 쉽게 추가하는 구조가 효과적이라는 판단인 것이다. 다음 장에서는 위에서 언급한 세가지 방향을 실현하기 위하여 고려해야 하는 중요사항을 나열하였다.

#### IV. 모의실험 설계시 고려사항

##### 1. 현실 유사성

###### 1) 교통환경 구현

교통환경을 모의실험 모형으로 구현하려면 교통 시스템의 구성요소인 시설(교통인프라), 수단(차량), 주체(사람)가 모형의 기본을 이루게 될 것이다. 교통인프라의 경우 기하구조(간선도로, 인터체인지), 교통운영(교차로, 전용차로, 버스정류장) 등 기존 인프라를 구현하는 기능은 범용으로 사용되고 있는 대부분의 모의실험 모형에 기능으로 포함되어 있다. 차량 움직임을 구현하는 대표적인 교통류 모형으로는 차량추종(car-following) 모형, 차로변경(lane-changing) 모형, 간격수락(gap-acceptance) 모형이 사용된다. <표 1>은 대표적인 상업용 미시적 모의실험 소프트웨어를 정리한 것이다.

<표 1> 대표적인 상업용 미시적 모의실험 소프트웨어  
(Table 1) Major commercial microscopic traffic simulators

Simulator	Provider	Descriptions
Corsim	FHWA, US	- low price - no security key - too many developers
VISSIM	PTV, Germany	- good visuality
Paramics	Quadstone Paramics, UK	- oldest - most API functions
AIMSUM	Transport Simulation Systems, Spain	- latest

노선의 선택 및 변경은 교통상황에 근거하여 이루어지므로 교통정보의 수신주기, 운전자의 교통정보 신뢰수준에 따라 결정될 것이다. 현재 많은 운전자들은 스마트폰 앱을 통하여 교통정보를 실시간 수집하고 있으며, 향후 인프라로부터 무선통신(V2I)

으로 정보를 제공받을 있게 될 것이다. 이와 같은 기능은 무선통신 환경과 관련되므로 통신환경 구현과 연계가 필요하다.

모의실험을 활용한 분석 대상에 따라 모형에서 지원하는 최소 단위시간 또한 중요하게 다루어져야 한다. 예를들어, AIMSUM은 최소 단위시간이 0.1초로 100 km/h 차량을 표현하면 2.78 m 이동하게 되고, Paramics는 0.01초까지 조절할 수 있지만 시스템 부하가 10배 더 들어가게 된다. 그러므로 목적에 따라 유연하게 조절할 수 있도록 설계되어야 한다. 상업용 소프트웨어는 이용자의 접근에 제한이 많지만 무료 공개 소프트웨어는 상대적으로 자유로운 편이다. 최근에 개발된 공개 소프트웨어인 SUMO는 무료로 코드를 공개하므로 연구 목적으로 사용되고 있다[11, 12]. 하지만 공개 소프트웨어 활용이 활성화되려면 다수의 사용자그룹이 생겨 장기간 지속적으로 업그레이드하는 과정이 필요하다.

교통 모형에서 매우 중요하게 다루어져야 하지만 그렇지 못한 것 중의 하나가 정산(calibration)이다. 정산은 모의실험에서 현실과 유사하게 근접하는 역할을 하므로 노력할수록 정확한 결과를 얻을 수 있다. 과정이 쉽지 않기 때문에 자동정산(auto-calibration)에 관한 연구도 이루어져 있다[13].

미래로 갈수록 안전하고 편안한 교통환경이 될 것으로 예상한다면, 첨단기술은 운전자 반응시간 등 행태에 대한 편차가 적어지게 하여 차량 및 운전자에 대한 모형을 단순하게 한다. 그러므로 정해진 기능으로 구현하는 것 보다 모형 수정이 가능한 구조로 설계하는 것이 필요하다.

###### 2) 통신환경 구현

미래 교통환경 변화의 중심에 있는 기술은 무선 통신일 것이다. V2X로 표현되는 무선통신은 이동 중인 차량이 주변차량, 인프라, 기타 보행자 등과 데이터를 주고받을 수 있는 것을 의미한다. 현재는 스마트폰 앱을 통한 실시간 교통정보 수집 정도로 사용되지만 V2X가 실용화되면 주변과 온라인으로 연결되어 교통환경에 큰 변화가 예상된다. 기지국을 통하는 스마트폰 통신망과는 달리 ad hoc 통신

방식(기지국 없이 개체간 직접 통신하는 방식)을 이용하는 V2X 통신은 통신지체시간 없이 데이터를 직접 교환하므로 특히 교통안전 분야에서 활용될 것이다.

미래 교통환경에서 V2X 통신이 일반화되면 데이터를 안정적으로 받을 것으로 생각되지만 실제로는 그렇지 않다. 무선통신은 통신특성에 따라 데이터 패킷 교환이 성공하기도 실패하기도 한다. 일반 모바일 환경은 통신이 실패하면 다시 시도할 수 있지만 교통환경에서는 0.1초 이하의 시간을 다루는, 순간적인 상황으로 항상 안정적인 환경을 기대하기 어렵다. 예를 들어 차량이 주행 중에 주변 사고정보를 V2X 통신으로 받아야 하는데 동시에 많은 차량에서 통신을 원하거나(통신충돌) 도심일 경우 통신 실패(간섭) 가능성이 높아진다. 즉, 정보를 받은 경우와 받지 못한 경우는 다른 주행 행태를 발생시킴으로 결과적으로 다른 교통상황이 야기될 것이다. 혼잡정보 또한 통신의 성공과 실패에 따라 교통류의 움직임이 다르게 나타날 것이다. 특히, 자율주행 등 미래 교통상황에서는 무선통신에 의한 정보 의존 정도가 높아질 것으로 예상되므로 모의실험에서 통신 모형의 역할이 더욱 커질 것으로 판단된다.

802.11p(WAVE), 4G(LTE), 5G 등이 차량에서 사용 가능한 통신방식으로 알려져 있으며 주파수 대역, 데이터 전송속도, 통신 반경이 실제 모의실험에서 중요하게 작용하는 통신 특성이 된다. 통신방식은 국제 표준에 맞는 프로토콜이 구현되지만 기술 개발로 계속 향상된 방식이 소개되고 있으므로 새로운 통신방식을 적용할 수 있는 준비가 필요하다.

무선통신에서 나타나는 현상에 의한 통신성공 여부는 정보수집 가부로 연결되므로 모의실험에서 중요한 오차의 근원으로 작용한다. 통신현상은 ISO OSI(Open Systems Interconnection) reference model (7-layer 모형)에서 설명된다. 첫 번째 계층인 물리 계층(Physical layer)는 물리적 공간에서 나타나는 통신현상을 정의한 것으로 경로손실(Path loss), 페이딩(Fading), 간섭(Interference), 도플러 변이(Doppler Shift)가 대표적이다. 두 번째 계층인 데이터링크 계

층(Data link layer) 중 맥 계층(MAC layer)는 데이터 통신시 발생할 수 있는 충돌현상(communications collisions)을 정의한 것으로 너무 많은 노드가 동시에 통신하기를 원하면 발생하는 통신폭풍(communications storm)과 같은 현상이 나타난다[9]. 이 두 계층이 모의실험 모형에서 중요하게 다루어져야 하는 통신현상이다.

## 2. 모형 수용성

### 1) 사용자 인터페이스

다양한 사용자 요구를 반영하는 방법으로 사용자가 직접 기능을 수정하는 구조적 설계가 필요하다. 즉, 사용자가 소스코드에 접근할 수 있는 방법을 제공하여 본인의 모형을 적용할 수 있도록 하는 것이다. 상업용 소프트웨어의 경우 사용자의 요구를 plug-in 형태로 프로그램에 추가 시킬 수 있는 API(Application Programming Interface)가 가장 많이 활용되고 있다. 사용자가 C 또는 C++ 언어를 사용하여 DLL(Dynamic-link library) 파일을 만들고 프로그램 실행시 함께 실행되도록 하는 구조이다. API의 경우 사용자 코드가 너무 길면 소프트웨어 자체가 무거워지므로 제공되는 API 함수를 사용하는 것이 유리하다. 그러므로 소프트웨어가 제공하는 API 함수가 많을수록 효율적 사용이 가능하다.

API는 사용자 모형의 추가는 가능하지만 모형의 근본적인 구조 변경은 불가능한 한계를 가지고 있다. 하지만 추가되는 사용자 모형이 많아지고 대상으로망이 넓어지면 모의실험 모형 전체 구조를 실험에 맞추어 최적화 시켜야 한다. 예를 들어, 모의실험에 차량대수가 많아지면 각 차량에 해당하는 메모리 관리 방법을 바꾸어야 하고, 독립적인 프로세스는 병렬로 수행하게 하여야 할 것이다. 그러므로 사용자가 프로그램의 코어 중 일정 부분까지 수정하여 사용할 수 있도록 접근을 허가하는 설계가 필요하다(이것이 관련분야 연구자들이 공개(open source) 코드를 선호하는 이유다[14]).

## 2) 모형 확장성

추가적인 모형을 결합하는 방법은 위에서 언급된 방법 이외에 표준화된 규약에 따라 구성하는 HLA(High-Level Architecture)도 가능하다. 새롭게 만들어진 모형을 실험하기 위하여 매번 새로운 아키텍처를 구성하는 것이 아니라 처음 설계시 규약에 맞추어 모형을 결합하는 것이다[15]. HLA 개념은 국방분야에서 제안된 것으로, 예를 들어 미사일이 장착된 구축함 모의실험을 실시한 후 새로운 다른 미사일을 구축함에 장착하여 실험을 해야 하는 경우에 모형을 다시 설계할 필요없이 새로운 미사일 모형을 RTI(Run-Time Infrastructure) 인터페이스에 맞추어 기존 구축함 모형에 결합하는 것이다.

현재까지 교통 모의실험 모형에는 HLA가 지원되지 않아 모형간 결합시 항상 인터페이스를 따로 만들어야 한다. HLA를 적용하면 향후 발생할 수 있는 모형간 결합이 쉽게 이루어지므로 설계에 반영할 필요가 있다.

## 3. 규모 확장성

### 1) 모형 동기화

다른 특성을 가진 모형의 결합시 시공간에 대한 동기화 과정이 필요하다. 일반적으로 교통 모형은 시간 기준(time-driven)으로 진행되며, 통신 모형은 이벤트 기준(event-driven)으로 진행되므로 강제적인 동기화 과정이 필요하다[11]. 즉 한가지 모형을 기준으로 나머지 한쪽이 맞추는 것이다. 이 과정에서 어쩔 수 없이 발생한 오차는 분석 목적에 적합한 허용 가능 범위 안에 있어야 한다. 예를 들어, 1초 단위로 동기화를 시키면 100 km/h로 주행하는 차량은 매초 27.8 m 씩 이동하므로 실체는 통신에 성공했음에도 불구하고 동기화 과정에서 통신범위를 벗어나 실패로 취급될 수 있다. 그렇다고 0.1초 단위로 동기화하면 실험 자원의 부하가 10배 늘어나는 부담이 생긴다.

정확한 실험을 위하여 작은 시간단위로 분석할 수 있지만 과도한 실험시간이 소요될 수 있어 실험 목적에 따라 어느 정도의 오차는 감수해야 한다. 동

기화 설계는 결국 모형의 전체 효율과 관련되므로 H/W 구성을 고려하여 S/W가 최적화 되어야 한다.

### 2) 분산 컴퓨팅

모의실험을 하면 여러개의 프로세스가 동시에 가동하게 되므로, S/W 설계시 직렬(serial) 연산 보다는 병렬(parallel) 연산으로 컴퓨팅 부하를 분산시켜 효율을 높일 필요가 있다[6]. 즉, 동시에 여러개의 프로세스를 가동하는 분산 컴퓨팅(distributed computing) 기술을 활용하면 거대한 하나의 H/W 대신 작은 여러개의 H/W로 유사한 효과를 얻을 수 있기 때문이다.

분산 컴퓨팅을 위한 H/W 구성은 분산 구조에 따라 CPU 내 코어 분리부터 컴퓨터가 물리적으로 분리되어 온라인으로 연결된 구조까지 실험 목적에 따라 다양한 설계가 가능하다. <표 2>에서는 분산 컴퓨팅 수준과 각각의 설명을 나열하였다.

<표 2> 분산 컴퓨팅 수준 및 설명  
(Table 2) Level and description in distributed computing

Level	Descriptions
multicore computing	several cores separated in a CPU, ex. 8 cores
multiprocessing	several CPUs on a main board
distributed computing	independent computers connected
cluster computing	a group of computers

프로세스를 분산처리하기 위하여 하나의 CPU에 여러개 코어가 있어 연산을 따로 하는 다중 코어 컴퓨팅(multicore computing), 독립된 CPU에서 연산을 하는 대칭적 다중처리(symmetric multiprocessing), 완전히 독립된 컴퓨터에서 연산하는 분산 컴퓨팅(distributed computing), 여러개의 컴퓨터를 네트워크로 묶어 연산하는 클러스터 컴퓨팅(cluster computing) 구조가 가능하다. 최근에는 그래픽 지원을 위해 수천개의 소형 CPU로 병렬처리하는 GPU(Graphic Processing Unit)를 이용하여 더욱 효율적인 연산이 가능해졌다. 결국 효율적 모의실험을 위하

여 S/W와 H/W는 함께 최적화 되어야 한다.

## V. 결 론

무선통신, 모바일, 센서 등 첨단기술의 발전과 함께 인간 생활 또한 다양한 방향으로 변화하고 있다. 도로교통을 구성하는 이용자, 차량, 인프라 각각의 측면에서 미래 교통환경은 정보화, 지능화, 자동화 되고 있어 현 시점에서 변화를 예측하기 어렵다. 그러므로 변화의 예측 보다는 변화의 방향을 검토하여 대응 가능하도록 유연한 실험환경 설계가 필요하다.

본 연구에서는 첨단기술의 발전으로 예측하기 어려운 미래 교통환경 변화에 대응하기 위한 교통 모의실험 모형에 반드시 고려하여야 하는 설계방향을 나열하였다. 우선 거시적인 설계 방향으로 현실 유사성, 모형 수용성, 규모 확장성을 제안하고 각각에 대한 구체적 고려사항을 나열하였다. 현실 유사성을 확보하기 위하여 교통 모형에서는 정산이 중요하며, 통신 특성 구현을 위하여 물리 계층(physical layer) 및 맥 계층(MAC layer)이 고려되어야 한다. 모형 수용성을 추구하려면 사용자의 다양한 요구사항을 반영할 수 있는 인터페이스가 고려되어야 하며, 향후 추가적인 다른 모형의 결합을 위하여 HLA가 가능한 설계가 필요하다. 규모 확장성을 위하여 프로세스 분산이 가능한 H/W 및 S/W 구성이 필요하다.

지금까지 교통 모의실험 모형을 개발한 대표적인 시도들은 첨단기술을 교통에 적용하는 관점에서 이루어져 왔다. 하지만, 다양한 기술이 적용되는 대상인 교통 측면에서 첨단기술을 수용하는 관점으로 접근해야 현실성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이라고 판단된다. 특히, 운전자의 행동 단계인 인지-판단-제어 모두에 첨단기술이 응용되는 현 기술발전 추세를 고려할 때 운전자 행동, 교통류, 교통 시스템은 더욱 복잡해지므로 환경변화에 유연한 설계가 필요하다.

예측하기 어려운 미래 교통환경 변화를 대응하기 위하여 모의실험이 활용되지만 실제와 어느 정

도 괴리는 피할 수 없다. 그러므로 실험 목적에 부합하는 범위 안에서 선택과 설계가 수반되어야 한다. 하지만 오차에도 불구하고 컴퓨터에서 모든 실험이 가능하다는 장점으로 모의실험이 미래 교통환경을 대응하는 중요한 단계로 역할하게 될 것이다.

## REFERENCES

- [1] United States Department of Transportation, *Connected Vehicle Research in the United States*(2015), Retrieved on Dec. 1, 2015, from [www.its.dot.gov/connected\\_vehicle/connected\\_vehicle\\_research.htm](http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/connected_vehicle_research.htm).
- [2] Google, *A first drive - google self-driving car project*(2014), Retrieved on Dec. 1, 2015, from [www.youtube.com/watch?v=CqSDWoAhvLU](http://www.youtube.com/watch?v=CqSDWoAhvLU).
- [3] National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development(2013), Retrieved on Dec. 1, 2015, from [www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development](http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development).
- [4] European Technology Platform on Smart Systems Integration, *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving*(2015), Retrieved on Dec. 1, 2015, from [www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS%20Roadmap\\_Smart%20Systems%20for%20Automated%20Driving\\_V2\\_April%202015.pdf](http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS%20Roadmap_Smart%20Systems%20for%20Automated%20Driving_V2_April%202015.pdf).
- [5] X. Yang, *Assessment a self-organizing distributed traffic information system: modeling and simulation*, Ph. D. dissertation, University of California, Irvine, US, 2003.
- [6] H. Wu, R. Fujimoto, G. Riley and M. Hunter, "Spatial Propagation of Information in vehicular networks," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 1, pp.420-431, 2009.
- [7] L. Wischhof, A. Ebner, and H. Rohling,

- “Information dissemination in self-organizing intervehicle networks,” *IEEE Transactions on ITS*, vol. 6, no. 1, pp.90-101, 2005.
- [8] H. Yang, *Properties, simulation and applications of inter-vehicle communication systems*, Ph. D. dissertation, University of California, Irvine, US, 2013.
- [9] M. Saito, J. Tsukamoto, T. Umedu and T. Higashino, “Design and Evaluation of Intervehicle Dissemination Protocol for Propagation of Preceding Traffic Information,” *IEEE Transactions on ITS*, vol. 8, no. 3, pp.379-390, 2007.
- [10] S. Joerer, M. Segata, B. Bloessl, R. Lo Cigno, C. Sommer and F. Dressler, “A Vehicular Networking Perspective on Estimating Vehicle Collision Probability at Intersections,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 63, no. 4, pp.1802 - 1812, 2014.
- [11] C. Sommer, R. German and F. Dressler, “Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 1, pp.3 - 15, 2011.
- [12] Institute of Transportation Systems, *SUMO- Simulation of Urban MObility*(2015), Retrieved on Dec. 1, 2015, from [www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000).
- [13] J. Lee and K. Ozbay, “New Calibration Methodology for Microscopic Traffic Simulation Using Enhanced Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation Approach,” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, no. 2124, pp.233-240, 2009.
- [14] F. Martinez, C.K. Toh, J-C Cano, C.T. Calafate and P. Manzoni, “A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs),” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 11, no. 7, pp.813-828, 2011.
- [15] P. Knight, A. Corder, R. Liedel, J. Giddens, R. Drake, C. Jenkins and P. Agarwal, “Evaluation of Run Time Infrastructure (RTI) Implementations,” *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, Retrieved on Dec. 1, 2015.

저자소개



김 형 수 (Kim, Hyoungsoo)

2007년 매릴랜드대학교 박사 졸업(교통전공)  
 1995년 연세대학교 석사 졸업(교통전공)  
 2008년 3월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 연구위원  
 1995년 1월 ~ 1999년 11월 : 한국건설기술연구원 연구위원  
 e-mail : hsookim@kict.re.kr



박 범 진 (Park, Bumjin)

2010년 연세대학교 박사 졸업(교통전공)  
 2003년 연세대학교 석사 졸업(교통전공)  
 2003년 4월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 수석연구원  
 e-mail : park\_bumjin@kict.re.kr