

# DEVS 기반의 연속 교통류 시뮬레이션 시스템 검증

## (I<sup>3</sup>D<sup>2</sup> 교통류 시뮬레이션 시스템을 중심으로)

윤동영\*, 김원규\*\*, 송병흠\*\*\*, 지승도\*

한국항공대학교 컴퓨터공학과\*

한국항공대학교 항공교통물류학부\*\*

한국항공대학교 항공운항학과\*\*\*

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

## Validating DEVS based Traffic Simulation Model for Freeways

DongYoung Yoon\*, Won Kyu Kim\*\*, Byung Heum Song\*\*\*, SungDo Chi\*

Department of Computer Engineering, Hangkong University\*

School of Air Transport, Transportation and Logistics, Hangkong University\*\*

Department of Aeronautical Science and Flight Operation, Hangkong University\*\*\*

### 요 약

본 연구는 DEVS를 기반으로 개발된 교통류 시뮬레이션 시스템인 「I<sup>3</sup>D<sup>2</sup> 교통류 시뮬레이션 시스템」(이하 I<sup>3</sup>D<sup>2</sup>)의 검증을 그 목적으로 한다. I<sup>3</sup>D<sup>2</sup>는 본 연구진이 DEVS를 기반으로 개발한 범용 시뮬레이션 도구로써, 이미 서울시 강남 신호교차로와 내부순환로를 대상으로 하여 개발된 내용을 발표한 바 있다. I<sup>3</sup>D<sup>2</sup>는 현재 단속류에서의 최적신호 생성 및 대기행렬 예측 문제, 그리고 연속류 시설의 용량 산정 문제등을 시뮬레이션 할 수 있다. 하지만 아직 문헌자료나 현장 데이터를 토대로 한 충분한 검증이 수행되지 못한 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 문헌자료를 토대로, I<sup>3</sup>D<sup>2</sup>를 검증한다. 이를 위하여 고속도로 또는 도시고속도로와 같은 연속 교통류의 대표적인 효과척도인 「교통량 - 밀도 - 평균주행속도(시간)」간의 상관관계를 이용하여 미국 HCM과 우리나라의 도로용량편람에 정의되어 있는 기준을 토대로 I<sup>3</sup>D<sup>2</sup> 검증을 수행하였다. 모델링은 서울시 올림픽대로의 양화대교 - 성산대교 - 가양대교 구간을 대상으로 했으며, 검증은 교통량에 따라 크게 3가지 교통류 상태(random, intermediate, constant)를 기준으로 시뮬레이션이 각각의 교통상태에서 예측한 평균주행시간의 정확도를 측정하면서 수행하였다. 검증 결과 random 상태에서는 문헌자료에 부합되는 예측결과를 보여주었으나, intermediate와 constant 상태에서는 문헌보다 다소 낮은 속도를 보여주었다. 이러한 속도차는 추후 현장 데이터를 수집하여 보다 실질적인 검증을 통하여 조정되어야 할 것으로 판단된다.

## I. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

다양한 교통시설의 설계 및 개선사업의 효과를 예측하기 위해서는 사업이 착수되기 이전에 복잡한 교통환경을 재현해 보고, 시설의 확충이 교통환경에 미치는 영향을 미리 파악할 수 있어야 한다. 또한 교통시설의 효과적인 운영전략을 수립하기

위해서도 전략의 타당성을 미리 예측할 수 있어야 한다. 이러한 예측은 실제 도로에서 재현할 수 없기 때문에, 다양한 방법을 통해 이루어지고 있다. 그 대표적인 방법으로는 통계수치를 이용한 경험적인 방법과 수학 모형식에 근거한 분석적 방법, 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 방법이 있다. 특히, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 방법은 다른 방법들에 비해, 구체적인 현실묘사가 가능하고, 신뢰

도가 높아 중요한 방법으로 여겨지고 있다[1,2]. 따라서 복잡한 교통환경에서의 수요예측 및 효과적인 교통시설 운영전략 생성과 같은 다양한 문제에 교통류 시뮬레이션이 많이 활용되고 있다. 현재 대표적인 교통류 시뮬레이션 도구로는 외국에서 개발된 CORSIM, INTEGRATION, PARAMICS, VISSIM 등이 있으며 이들 범용 시뮬레이션 도구는 국내에서도 많이 사용되고 있다. 하지만 이러한 시뮬레이션 도구는 한정된 적용성을 가지고 있으며 다른 시스템으로의 확장 및 통합이 어렵고, 국내에 적용하기 위해 파라미터를 정산해야 하는 등의 문제를 지니고 있다[1,3]. 따라서 본 연구진은 SES/MB 프레임워크를 기반으로 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템( $I^3D^2$ )을 개발하여 서울시 강남 일대의 신호교차로 및 내부순환로를 모델링 하고, 각각 단속류와 연속류에서의 실험을 수행한 바 있다[4,5]. 하지만 문헌자료나 현장 데이터를 토대로 한 검증연구가 충분하게 수행되지 못하였다. 따라서 본 연구는 문헌자료를 토대로  $I^3D^2$ 를 정밀하게 검증하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구범위 및 방법

본 연구를 위해 먼저 그림 1 에서 보여지는 서울시 올림픽대로 가양대교↔성산대교↔양화대교 구간을  $I^3D^2$ 로 모델링 하였다. 그리고 도로의 교통 상황을 크게 3가지 상황으로 분류하고, 미국 HCM[6]과 우리나라의 도로용량편람[7]을 토대로 각 상황에 맞는 LOS(Level Of Service)를 이용하여 검증 기준을 정의하였다. 이와같이 정의된 기준에 따라  $I^3D^2$ 의 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과로 평균주행속도를 산출하였다. 그리고, 문헌에 정의되어 있는 통계수치와 시뮬레이션에서 추정된 평균주행속도를 비교하는 방법으로 검증을 진행하였다. 이 과정을 하나의 흐름도로 나타내면 그림 2 와 같다.

## II. 연구범위 구간 모델링

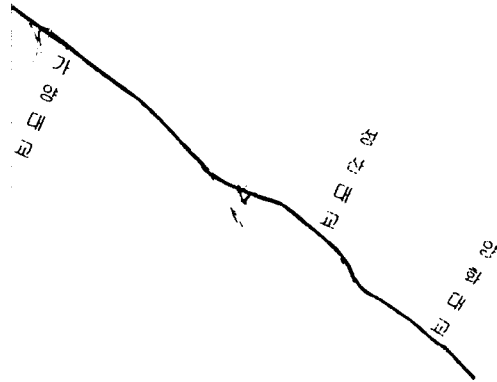


그림 1. 모델링 구간

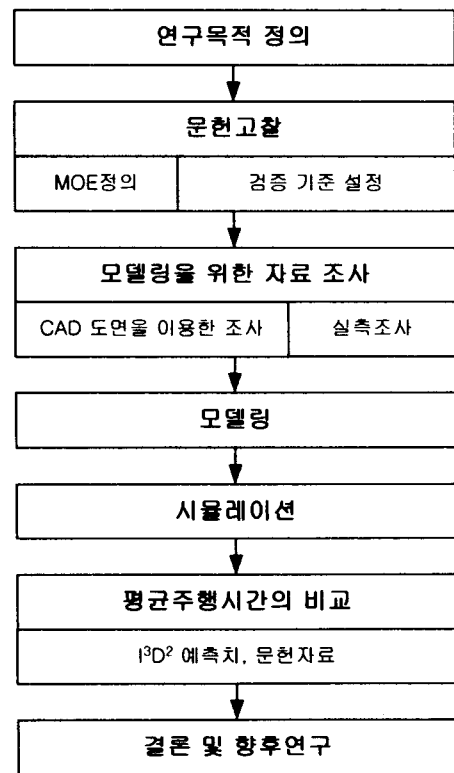


그림 2. 연구 흐름도

연구의 목적에 따라 모델링 한 올림픽대로의 분석구간은 표 1 과 같은 기하구조를 가지고 있다.

표 1. 연구범위 도로의 기하구조

길이	5.64km
진출램프	4개
진입램프	5개
최소 회전반경	289.04m
제한속도	80km/h
편도 차로수	4차로
지형	평지

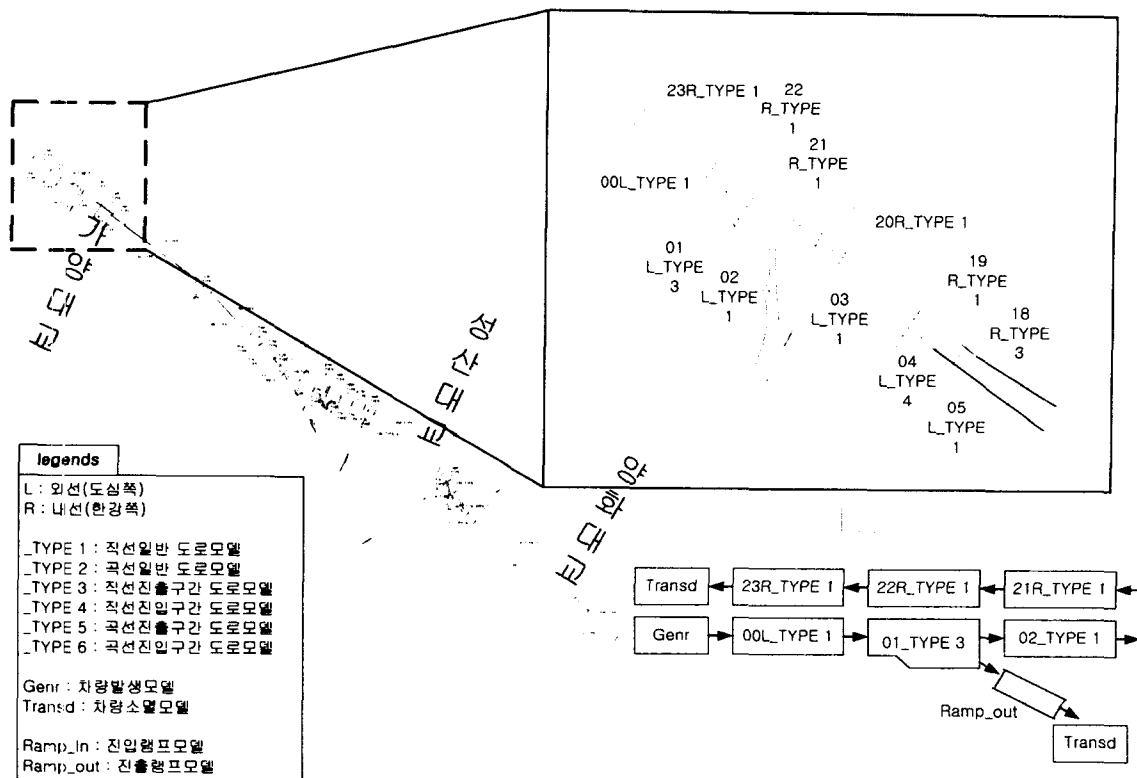


그림 3. 모델링을 위한 도로 분할

모델링은 도로의 곡선여부와 가감속 구간의 유무를 고려하여 그림 3 과 같이 수행 하였다. 즉, 그림 4 와 같이 일반적인 직선 도로 모델과 곡선부를 표현할 수 있는 곡선도로 모델, 그리고 차량진·출입 램프와 연결되는 차로 증가, 감소 모델로 나누어 연속류상에서 나타날 수 있는 도로 모델을 모두 표현하고, 이들 모델을 연결하여 연구범위 구간을 모델링 하였다.

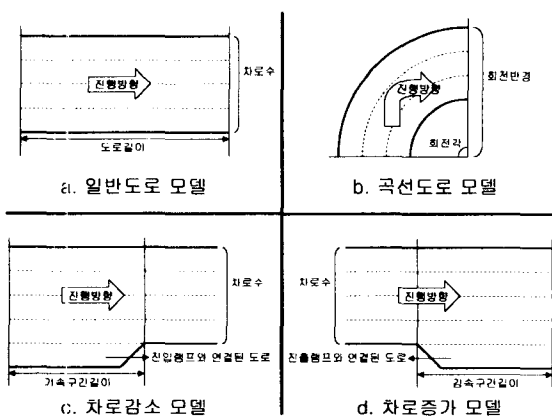


그림 4. 도로유형에 따른 도로모델 구조

### III. 시뮬레이션 조건 및 결과

#### 3.1 시뮬레이션 조건

시뮬레이션은 모두 3가지 교통량 수준을 재현하면서 수행하였다. Adolf D. May[8]는 교통량 수준을 크게 3가지로 분류한 바 있다. 각 상태는 표 2와 같다.

표 2. May가 구분한 교통량 수준

교통량 수준	특징
random (낮은수준)	- 다른차량과 무관하게 운전자가 자유주행
intermediate (중간수준)	- 다른차량을 고려하면 주행 - 용량에 근접하기 이전상태
constant (높은수준)	- 용량에 근접 또는 그 이상 - 거의 모든 차량이 상호작용

또한 우리나라 도로용량편람에서는 고속도로 기본 구간에서의 LOS를 A에서 F의 6단계로 미국 HCM은 A에서 E의 5단계로 나누는데, 각각의 LOS 특징과 May가 분류한 교통량 수준을 비교하여, 해당 수준에서의 교통량을 살펴보면 표 3 과 같다.[6,7]

표 3. 설계속도 80km 인 고속도로  
기본구간의 서비스 수준

LOS	May의 교통량 수준	설계속도 80kph 에서의 교통량(pcphpl*)	
		HCM	도로용량편람
A,B	random	≤ 750	≤ 800
C,D	intermediate	≤ 1,530	≤ 1,500
E,F	constant	≤ 1,800	≤ 2,000

\* passenger car per hour per lane

시뮬레이션의 입력값인 교통량은 실제 현장 데이터를 수집하여 사용하였다. 각각의 교통상황에 맞춰 1시간 단위로 총 3시간의 교통량을 수집하여 산술평균한 값을 시뮬레이션의 입력값으로 사용하였다. 이는 추후 실제 현장 데이터를 이용한 검증에 사용될 수 있다. 실측한 교통량은 HCM 및 도로용량편람에서 사용하는 passenger car로 단위를 통일하기 위해 도로용량편람에서 제시하고 있는 중차량 보정계수를 이용하여, 모든 차량을 passenger car로 환산하여 사용하였다. 즉, bus 및 heavy vehicle(h/v)은 passenger car의 1.5배, trailer는 passenger car의 2배로 환산하였다[7]. 수집한 교통량은 표 4 와 같으며, 시뮬레이션 입력값으로는 보정계수를 적용한 값을 사용하였다.

표 4. 각 교통수준에서의 관측 교통량

1시간 4개 차로	car	bus	h/v	trailer	보정계수 적용후
		2,760	17	105	16

(a) random 수준의 교통량

1시간 4개 차로	car	bus	h/v	trailer	보정계수 적용후
		4,553	68	397	7

(b) intermediate 수준의 교통량

1시간 4개 차로	car	bus	h/v	trailer	보정계수 적용후
		7,065	54	181	1

(c) constant 수준의 교통량

### 3.2 실험결과

시뮬레이션 검증은 3가지 교통량 수준을 기준으로

로 각 수준마다 시뮬레이션에서 추정된 평균주행시간과 문헌에서 제시하는 평균주행속도를 비교하여 수행하였다. 문헌자료는 미국의 HCM 2000과 우리나라의 도로용량편람 2001을 기준으로 하였다. 교통량 수준에 따른 두 문헌에서 제시하는 평균주행속도는 다음의 표 5 와 같다. HCM의 경우 설계속도 80km/h 인 freeway에서의 LOS를 A에서 E까지 5등급으로 분류하고, 도로가 혼잡하여 마비되는 E등급의 경우 1,800pcphpl 이상의 교통량일때로 정의하고 있다. 우리나라 도로용량편람의 경우 HCM의 분류와 유사하나, E등급 이후에 더욱 혼잡해지는 모든 상황에 대하여 F등급을 따로 정의한 차이가 있다.

표 5. LOS - 교통량 - 평균속도 상관관계

설계속도 80km/h		
LOS	pcphpl	평균속도
A	< 500	> 80km/h
B	≤ 790	> 80km/h
C	≤ 1,150	> 80km/h
D	≤ 1,530	> 75km/h
E	≤ 1,800	< 70km/h

(a) 미국 HCM

설계속도 80km/h		
LOS	pcphpl	평균속도
A	< 500	> 80km/h
B	≤ 800	> 80km/h
C	≤ 1,150	> 78km/h
D	≤ 1,500	> 75km/h
E	≤ 2,000	< 75km/h
F	-	< 70km/h

(b) 우리나라 도로용량편람

이 문헌자료와 시뮬레이션에서 예측한 평균주행속도를 비교해 본 결과는 다음과 같다.

#### ○ 교통량이 random인 수준(LOS A, B)

그림 5 와 같이 교통량을 random 수준에 맞춰 실험한 결과  $I^3D^2$ 가 예측한 평균주행속도는 86.19km/h로 HCM과 도로용량편람이 제시하는 80km/h 이상을 만족시키는 것을 확인 할 수 있었다.

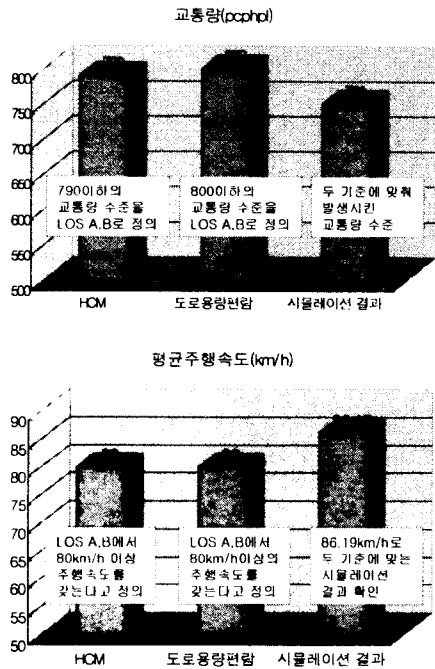


그림 5. random 수준에서의 비교 그래프

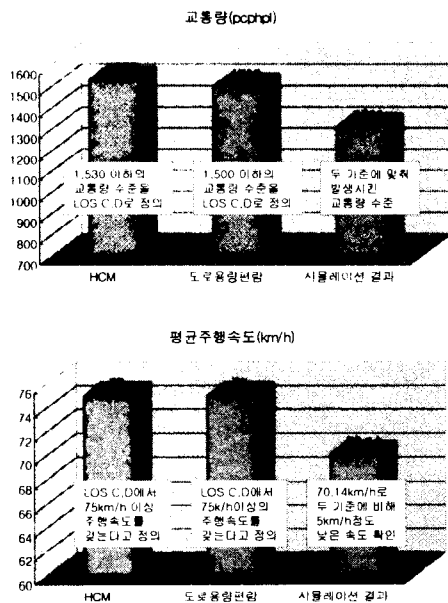


그림 6. intermediate 수준에서의 비교 그래프

○ 교통량이 intermediate인 수준(LOS C, D)

그림 6 과 같이 교통량을 intermediate 수준에 맞춰 실험한 결과  $I^3D^2$ 가 예측한 평균주행속도는 70.14km/h로 HCM과 도로용량편람에서 제시하는 75km/h보다 다소 느린 속도를 나타내었다.

이러한 결과는  $I^3D^2$ 가 도로에 차량이 많아짐에

따라, 개별차량의 속도를 실제보다 다소 낮게 계산하는 것으로 분석되며,  $I^3D^2$  모델이 다소 수정이 필요한 것으로 판단된다.

○ 교통량이 constant인 수준(LOS E, F)

마지막으로 constant 수준의 교통량을 발생시켰을 때, 결과를 살펴보면 그림 7 과 같다.

intermediate 수준일때와 마찬가지로 constant 수준의 교통량을 발생시켰을 때 역시, 평균주행속도가 문헌에서 제시하는 것 보다 약 10km/h정도 느리게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이 역시  $I^3D^2$ 가 차량이 많아지면서 개별차량의 속도를 다소 낮게 계산하는 것으로 판단된다.

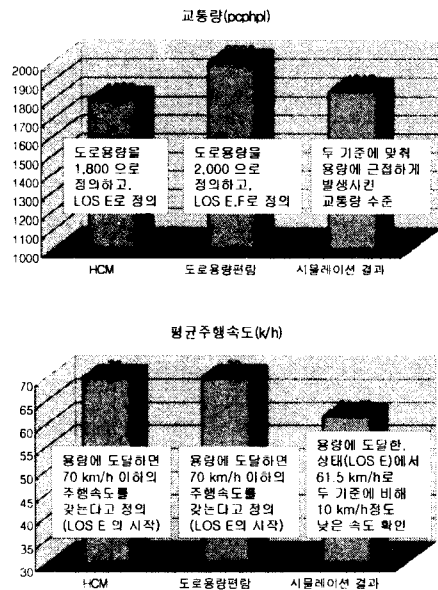


그림 7. constant 수준에서의 비교 그래프

IV. 결론 및 향후연구

$I^3D^2$ 는 본 연구진이 기존의 교통류 시뮬레이션이 가지고 있던 한정된 적용성을 극복하기 위하여 개발한 범용의 시뮬레이션 도구로써, 이미 단속류와 연속류에서 그 적용 가능성을 확인하고 발표한 바 있다. 하지만 아직 문헌자료 및 실측 데이터를 이용한 충분한 검증이 이루어지지 못한 문제점을 가지고 있는데, 이를 극복하기 위해서 문헌자료를 토대로  $I^3D^2$ 를 검증하였다. 검증결과 운전자가 자유

주행을 하는 random 상태에서는 미국 HCM이나 우리나라의 도로용량편람이 정의하고 있는 평균속도를 나타내나, intermediate 상태와 constant 상태에서는 문헌에 정의되어 있는 평균속도보다 다소 낮은 속도를 나타내었다. 이는  $I^3D^2$ 가 실험구간내 차량이 증가할 때 개별차량의 속도를 문헌에 정의된 것보다 다소 낮게 계산하는 것으로 분석된다. 이러한 문제는 추후 실제 현장 데이터를 수집하여 보다 현실성 있는 검증을 수행하면서 수정되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] Ziad Savra, Charles E. Wallace, Feng-bor Lin, "Traffic analysis software tools", TRB
- [2] 김성현, "고속도로 합류부 분석을 위한 미시적 모의실험모형의 개발에 관한 연구", 서울대학교 석사학위논문, 1997.
- [3] 임예환, "SES/MB를 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 설계 방법론", 한국항공대학교 석사학위논문, 2001.
- [4] 이종근외 5인, "객체지향적 교통류 시뮬레이션 시스템 :  $I^3D^2$  Transportation Simulation System", 대한교통학회 추계, 1999.
- [5] 이민우외 4인, "ID 내부순환로 교통류 시뮬레이션 시스템", 대한교통학회 추계, 2001.
- [6] TRB, "Highway Capacity Manual", 2000
- [7] 건설교통부, "도로용량편람", 2001
- [8] Adolf D. May, "Traffic flow Fundamentals"