

■ 論 文 ■

# 집계자료를 이용한 미시적 시뮬레이션 모형의 자동정산체계 개발 (도시고속도로사례)

Development of Auto-calibration System for Micro-Simulation Model using Aggregated Data  
(Case Study of Urban Express)

**이 호 상**

(서울시립대학교 박사수료)

**이 태 경**

(한양대학교 박사수료)

**마 국 준**

(서울시청 교통운영과장)

**김 영 찬**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**원 제 무**

(한양대학교 도시대학원 교수)

## 목 차

- |               |                   |
|---------------|-------------------|
| I. 서론         | 2. 자료수집 및 정리      |
| II. 관련문헌 고찰   | 3. 네트워크 구축 및 오류수정 |
| III. 정산절차     | 4. 정산파라미터 설정      |
| 1. 사전단계       | 5. 최적화방법          |
| 2. 정산단계       | 6. 최적화결과          |
| IV. 적용 및 결과분석 | V. 결론 및 향후 연구과제   |
| 1. 적용대상       | 참고문헌              |

Key Words : 미시적 시뮬레이션 모형, 정산, VISSIM, 유전자알고리즘, 도시고속도로  
Micro-simulation model, Calibration, VISSIM, Genetic algorithm, Urban expressway

## 요 약

미시적 시뮬레이션 모형은 컴퓨터 성능이 향상되고 정교한 모형이 개발되면서 광역적인 범위까지 적용분야가 점차 확대되고 있다. 현장 교통상황을 정확하게 묘사하기 위해서는 시뮬레이션 모형의 정확한 정산이 매우 중요하다. 국내에서는 거시적 모형에 대한 정산연구는 많이 진행된 반면에 미시적 모형에 대한 정산연구는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유전자알고리즘 이용하여 미시적 시뮬레이션 모형의 파라미터를 자동으로 최적화하는 자동정산체계를 제시하였다. 내부순환로 지점검지기에서 수집되는 관측교통량과 미시적 시뮬레이션모형(VISSIM)의 교통량간의 제곱오차(RMSE)를 성능지표로 하고, 최적화 목적함수는 제곱오차를 최소화 하는 것으로 설정하였다. 내부순환로에 적용한 결과, 기본 파라미터에 비해 자동정산체계의 RMSE가 60.4%(19.3→7.6)나 감소하여 매우 효과적인 것으로 나타났다.

The application of micro-simulation model has been extended farther with improvement of computer performance and development of complicated model. To make a micro-simulation model accurately replicate field traffic conditions, model calibration is very crucial. Studies on calibration of micro-simulation model have not been enough while lots of studies on calibration of macro-simulation model have been continued in our country. This paper presents an auto-calibration of parameter values in micro-simulation model(VISSIM) using genetic algorithm. RMSE(Root Mean Square Error) of collected volume on the urban expressway versus simulated volume is set as MOP(measure of performance) and objective function of optimization is set as to minimize the RMSE. Applying to urban expressway(Nae-bu circular) as a case study, it shows that RMSE of optimized parameter values decrease 60.4%(19.3→7.6) compared to default parameter values and the proposed auto-calibration system is very effective.

## I. 서론

교통정책대안의 설계, 평가 및 결정 단계에서 시뮬레이션 모형을 활용하는 것은 비용-효과 측면에서 매우 유리한 접근 방법이다. 시뮬레이션 모형은 도로신설·개선, 교통체계개선, ITS(Intelligent Traffic System), BRT(Bus Rapid Transit) 등의 사업시행시 대안선정 및 효과분석에 많이 활용되고 있다.

과거에는 컴퓨터의 성능이 부족하여 시간이 과도하게 소모되는 등의 이유로 대규모 분석에는 주로 거시적 시뮬레이션 모형(macro-simulation model)이 사용되었으나, 최근에는 컴퓨터 성능의 급격한 발달로 meso 또는 미시적(micro) 수준의 시뮬레이션 모형이 대규모 분석에서도 사용되고 있는 실정이다[1][2].

미시적 시뮬레이션 모형에 다양한 기능과 수 많은 파라미터가 추가되어 정교한 분석이 가능해 지고 있다. 각종 파라미터는 경로선택, 운전행태, 차량성능, 시각적효과 등의 관련변수로 분류될 수 있다. 도로의 유형, 운행시간대, 지역, 차종별 등에 따라 각종 파라미터 값이 다르고, 그에 따른 분석결과도 달라질 수 있다. 하지만, 많은 사용자들이 정산(calibration) 중요성에 대한 인식이 부족하여 파라미터의 기본값(default value)을 그대로 사용하는 경우가 많다. 일부 파라미터를 정산한다 하더라도 대부분이 시간이 많이 소모되는 시행착오방법(trial and error)을 이용하고 있어 효율성이 매우 떨어진다.

교통수요분석에 사용되는 교통계획모형에 대해서는 관련기관에서 국내실정에 맞는 분석방법, 파라미터, 정산기준 등을 규정하여 적용토록 하고 있으나 미시적 모형에 대해서는 이러한 기준이 현재 없는 상태이다. 또한, 국내에서는 미시적모형의 정산에 관한 연구가 매우 미진한 반면 외국에서는 다양한 시설물 및 상황에 따른 정산체계가 연구되어 일정수준의 정산방법과 절차가 정립되어 있다.

본 연구에서는 미시적 시뮬레이션모형 정산과 관련된 외국 관련자료를 고찰하여 각종 시설물에 따른 정산방법, 정산 파라미터, 유의성 검증 방법 등을 검토한다. 이를 토대로 시간집약적인 정산절차를 자동화하여 정산시간을 단축할 수 있는 표준적인 정산방법론을 구축하고, 구축된 자동정산절차를 서울시 도시고속도로(내부순환로 일부구간)에 적용하여 그 효과를 검증하고자 한다.

## II. 관련문헌 고찰

외국에서는 1990년 중반부터 미시적 시뮬레이션 정산에 관한 연구가 시작되었으며 2000년대부터는 미시적 시뮬레이션 모형에 관한 심도 있는 연구가 계속 진행되고 있다. 하지만 국내에서는 차량추종 등 세부모형 정산에 관한 연구만 있어 왔을 뿐 미시적 모형의 정산에 관한 연구는 매우 미흡한 상태이다.

미시적 시뮬레이션모형의 정산을 위한 초창기 연구는 검증(verification), 정산(calibration), 검증(validation)의 용어정의 및 기본절차를 제시하였으며[3][4], 수작업에 의한 파라미터 정산연구가 있었으나 실용적이지 못했다[5]. 본격적인 연구가 진행된 2000년대에는 다양한 시간대와 시설에 대하여 연구가 이루어 졌다. 분석시간은 시간대별(비첨두, 첨두, 전일 등), 요일별(평일, 휴일 등)로, 분석대상은 독립교차로[6], 고속도로[7][8], 축도로[9][10][11], 지역단위[1][2] 등에 시도되었다.

미시적 시뮬레이션 모형의 정산은 관측자료와 조사자료의 오차를 나타내는 목적함수를 최소화하도록 파라미터를 최적화 시키는 것으로 정의할 수 있다. 미시적 시뮬레이션의 확률론적(stochastic)인 특성과 각 파라미터 간에 복잡한 관계가 존재하기 때문에 분석결과를 산출할 수 있는 하나의 수학적모형으로 정의하기에는 매우 어렵다. 때문에, 대부분의 기존연구들이 체험적인(heuristic) 방법을 채택하고 있다. 예를 들어, 수작업[5], 선형탐색[12], simplex-based approach[13], steepest descent[14], box algorithm[15][16], 유전자알고리즘[8][17][18] 등의 방법을 사용하였으며 일정수준의 자동정산체계를 구축하였다. 파라미터를 동시에 정산하는 것은 각 파라미터의 변화가 다른 파라미터에 계속적으로 영향을 주어 끝이 없는 과정에 빠질 수 있고, 매우 소모적인 방법이기 때문에 파라미터를 유형별로 몇 개의 그룹으로 구분하여 단계별로 모형을 정산하는 연구도 있었다[16][19][20].

정산시 사용한 자료는 집계자료(교통량, 속도 등)와 비집계자료(통행시간 등)로 나뉘어 졌는데, 별도조사를 통해 수집된 비집계자료를 사용한 연구[21]도 있었으나 비용 및 시간문제로 인해 ITS 등 검지기에서 수집된 집계자료를 사용한 연구[8][16]도 많았다. 관측자료와 모형결과의 차이는 오차(RMSE, MAPE 등), 부등계수, 유의수준에 따른 통계값 등을 적용하였으며, 이를 최소화

하는 것을 목적함수로 설정하였다. 정산모형은 CORSIM[13], VISSIM[9], AIMSUN[18], PARAMICS [20] 등 대부분이 많이 이용되는 모형을 다루었다. 이처럼 국외는 다양한 연구 및 성과가 있어 왔다. 국내연구는 2008년 연구[18]가 유일하다고 할 수 있으나 중부고속 도로를 대상으로 단시간(오전6~7) 상황만을 적용하여 한계가 있으며, 소통수준이 양호한 상태(속도 90~110km/h)에 대하여 정산하여 파라미터가 큰 변화가 없어, 그 결과에 대한 적정성 판단이 어렵다.

### III. 정산절차

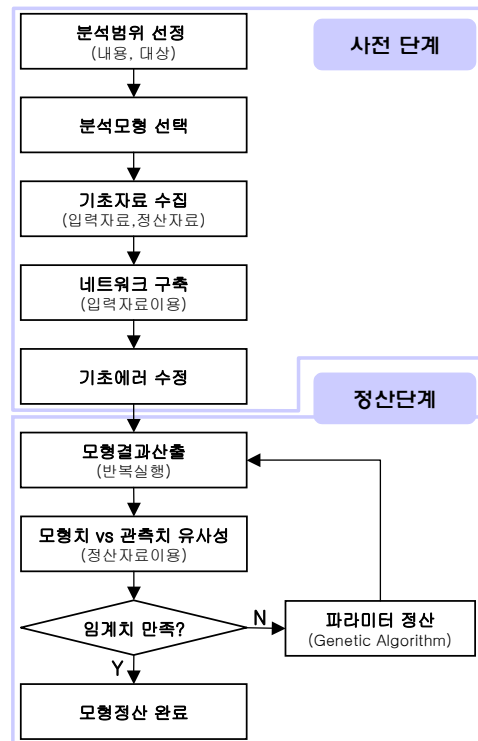
#### 1. 사전단계

분석범위 선정은 분석하고자 하는 목적에 따라 분석 영향권, 분석수준 등을 검토하여 분석대상 및 범위를 정하는 단계이며, 분석모형 선택은 분석범위에 따라 거시적모형, 미시적 모형을 선택(본 연구에서는 미시적 모형에 국한)하고 미시적 모형에서도 지원기능 및 가용성 등을 고려하여 최종분석모형을 선택하는 과정으로 여기까지가 분석전 의사결정 단계이다.

분석자료수집은 크게 입력자료와 정산자료로 구분할 수 있다. 입력자료는 분석모형에 입력하기 위해 사용할 자료로 기하구조, 교통량, 신호조건 등이 이에 해당되며, 정산자료는 모형의 정산정도를 판단하기 위해 사용되는 자료로 교통량, 속도, 통행시간 등이 이에 해당된다. 네트워크 구축은 수집된 자료 중 입력자료를 이용하여 모형에 자료를 입력하는 과정이며, 기초에러 확인은 모든 입력자료를 입력하고 시뮬레이션을 실행하여 입력오류나 현장에서 전혀 관측되기 어려운 차량이동 행태 등을 확인, 수정하는 과정이다.

#### 2. 정산단계

사전단계가 완료된 모형은 정산단계를 거치게 된다. 정산의 첫 번째 단계는 모형을 실행하여 정산검증에 사용될 성능지표(MOP, Measure of Performance) 값을 산출하는 과정으로 수 회 이상의 결과를 산출하여 평균값을 사용해야 한다. 왜냐하면, 미시적 시뮬레이션 모형은 같은 파라미터 값이 사용되었다 하더라도 random seed에 따른 결과의 변동성(variability)이 존재하기



〈그림 1〉 정산절차

때문이다.

앞에서 조사된 정산 성능지표와 모형에서 산출된 성능지표의 결과를 비교하여 유사한 수준을 판단하는 단계이다. 유사수준을 판단하는 방법으로 오차, 유사성, 통계적 검증 등이 사용될 수 있으며 허용 임계치는 오차값, 유의수준 등이 사용될 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 평균제곱오차(RMSE)를 이용하여 유사성을 판단하며, 최적 파라미터 선정 방법은 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용한다.

### IV. 적용 및 결과분석

#### 1. 적용대상

앞에서 제시한 정산절차의 적용대상은 서울시 내부순환로(도시고속도로)의 정산→정릉(6.8km)구간(〈그림 2〉)이며, 적용일시는 2010년 3월 28일(일) 16~20시이다. 적용대상을 고속도로로 선정할 이유는 램프이외의 진출입 교통량이 없고, 불법주·정차 등에 의한 가로변 마찰이 없어 파라미터 정산에 따른 결과의 정확도를 가장

객관적으로 판단할 수 있기 때문이다.

분석구간 중 홍제~홍지문터널 구간은 도시고속도로임에도 오르막구배가 3%에 달하고 곡선구간도 많아 운행여건이 좋지 않은 편이다. 또한, 홍지문터널 진입 전 100여m지점에 있는 홍은램프에서 시간당 1,000대 내외의 많은 차량이 진입하여 본선에 상시정체가 발생하는 구간이다. 적용시간대는 정상상태→정체상태→정상상태의 과정을 관찰할 수 있는 시간대로 선정하였다.

2. 자료수집 및 정리

입력자료 중 차로수, 링크길이 등 기하구조와 신호현황(내부순환로 연결된 하부도로) 자료는 서울시 교통안전시설정보(<http://tgis.seoul.go.kr>)를 확인하여 수집·정리하였다. 분석을 위한 기초입력자료 및 정산용자료(교통량, 속도 등)는 서울시 도시고속도로 교통관리센터 자료를 이용하였다. 해당자료는 내부순환로 본선에 설치된 영상검지기(23개소)와 진출입로에 설치된 루프검지(3개소)에서 수집된 1분단위 집계자료이다.



〈그림 2〉 분석대상구간

〈표 1〉 기초자료 형태

수집 일자	시각	지역 ID	검지기 ID	카메라 ID	교통량	속도	점유율
20100328	16:00	C1R 1100051	DR 1000051	CDR 1000050	7	112.5	3.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20100328	19:59	C1R 1100051	DR 1000051	CDR 1000050	14	98.5	5

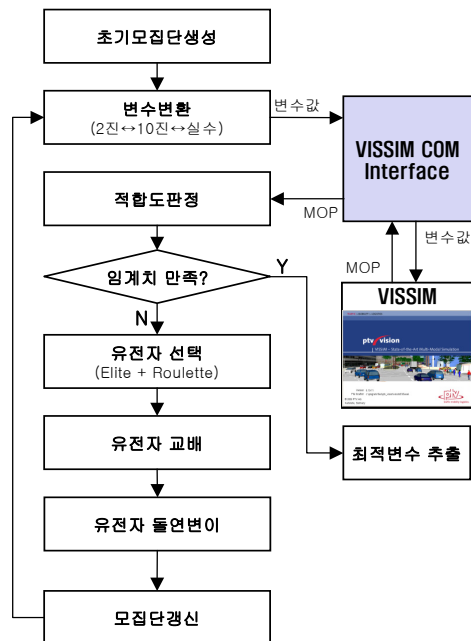
자료구성은 〈표 1〉과 같이 지점단위로 집계된다. 본 연구에서는 분석시간(4시간) 및 구간(6.8km)이 긴 것을 고려하여 기초자료를 15분단위로 집계하여 사용하였다.

3. 네트워크 구축 및 오류수정

정산에 활용된 미시적 시뮬레이션 모형은 VISSIM 5.20(service pack 10)<sup>1)</sup>을 사용하였으며, 자동정산체계는 앞에 제시된 정산단계에 따라 VISSIM COM interface와 VBA(Visual Basic Application)를 통하여 〈그림 3〉과 유전자알고리즘을 이용하여 구축하였다.

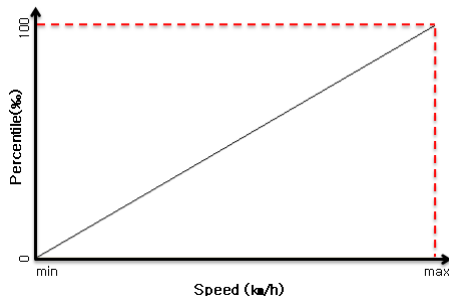
수집된 기하구조 및 신호자료를 이용하여 네트워크를 구축하였고, 입력교통량은 15분단위로 집계된 자료를 사용하였다.

희망속도(desired speed)는 제한속도 등을 고려하여 기본적으로 68~78km/h로 설정하였으나, 분석구간에는 오르막 구배, 잦은 곡선구간, 터널진출입, 속도감시 카메라 등이 존재하여 모든 구간에서 희망속도가 같도록 설정하는 것은 현실적이지 않다. 따라서, 본 연구에서는 해당구간별로 희망속도를 설정하여 현실적인 상황의 묘사가 가능토록 네트워크를 구축하였다.

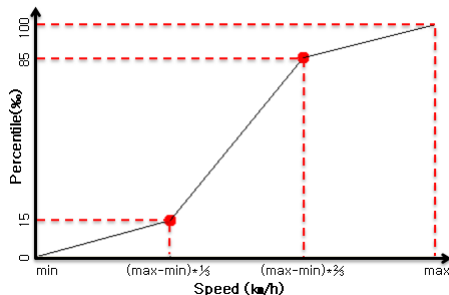


〈그림 3〉 자동정산체계

1) VISSIM과 COM interface로 emergency stopping distance, lane change distance 값 변경 시 항상 "0"으로 설정되는 버그가 수정되어 배포된 서비스팩10을 사용함(2010.06.16). 이전 버전은 두 변수를 COM으로 제어할 수 없음.



〈그림 4〉 desired speed (default 형태)



〈그림 5〉 desired speed (최적셋 형태)

초기 구축된 네트워크는 교통류 흐름 또는 물리적인 코딩에러가 존재 할 수 있으므로 시뮬레이션(애니메이션)을 실행하여 차량증발, 차량검침 등의 비현실적인 차량흐름이 발생하는지 확인하여, 차량흐름이 이상한 구간은 현실적인 차량흐름이 되도록 네트워크 형태를 수정하였다. 또한, 입력된 교통량이 네트워크 진입부에서 정확히 발생되는지도 확인하였다.

#### 4. 정산파라미터 설정

문헌고찰 및 사용자매뉴얼을 토대로 시뮬레이션 결과에 영향을 미치는 파라미터를 고찰하고 정산대상 파라미터를 다음과 같이 결정하였다. 특히, 운전자 행태모형은 도시고속도로가 분석대상이기 때문에 Wiedemann 99 Model의 파라미터를 대상으로 하였다.

- simulation resolution : 1초당 모형 내에서 차량의 움직임을 몇 번 계산하는지 결정하는 변수로 숫자가 작을수록 시뮬레이션 속도는 빨라지나 정확한 결과를 얻기 어렵고, 숫자가 커질수록 시뮬레이션 속도는 느려지나 정확한 결과를 산출 함. 매뉴얼에서는 3이상 값을 사용하기를 권장
- Standstill distance(meter) : 차량이 정지하였을 때 평균차두간격

- Headway time(sec) : 운전자가 유지하기를 원하는 평균차두간격으로 운전자의 반응도 반영
- Following variation(meter) : 주행상태에서 안전거리 이외에 운전자가 추가로 간격을 두는 거리
- Threshold for entering Following : 저속의 선두차량을 인지하고 안전거리에 도달할 때까지 감속하는 시간관련변수
- Following thresholds : 주행상태에서 선행차량과의 속도차이 한계값(±)으로 운전자의 반응도 반영
- Oscillation acceleration(m/s<sup>2</sup>) : 기준가속도 보다 크게 되거나 작게 되는 변동 (가속도발진)
- Emergency stopping distance(meter) : 차로변경이 가능한 물리적인 최단거리로 끼어들기 등을 하지 못한 차량이 끼어들기 위해 정지하여 대기하는 거리 (min 5m)
- Lane change distance(meter) : 차로변경시 분기점으로부터 차로변경을 시도하기 시작하는 지점까지의 거리
- Desired speed distribution : 차량이 다른 차량에 의해 방해받지 않을 경우 운전자가 희망하는 속도의 분포를 말하며 도로용량에 큰 영향을 줌

Desired speed distribution의 기본적인 형태는 〈그림 4〉와 같이 최소값과 최대값 사이에서 균일하게 분포하도록 설정되어 있으나, 최적화시에는 〈그림 5〉와 같이 누적확률이 S형태의 분포를 갖도록 15%와 85%에서 각각 속도구간(max-min)의 각각 1/3을 할당하였다. 희망속도분포를 최적화는 것은 현실적으로 작업이 매우 어렵기 때문에 위와 같이 일반적인 속도분포의 형태를 갖도록 설정하였다.

#### 5. 최적화방법

시뮬레이션 모형의 파라미터 값을 정산하는 방법은 비효율적인 수동적 방식 대신 자동화방식(유전자알고리즘)을 적용하였다. 유전자선택방식은 룰렛과 엘리트룰 병합하여 사용하였으며 세대수는 30, 개체수는 10, 교배율 0.25, 돌연변이율 0.10을 적용하였다.

미시적 시뮬레이션에서는 확률에 따른 변동성이 발생하기 때문에 random seed를 바꾸어 가며 반복실행한 결과값의 평균값을 사용하여야 한다. 하지만, 본 연구에서는 분석시간과 구간범위가 커서 장시간이 소요될 것으로 예상되는 바, 각 유전자 개체별로 random seed를 3

〈표 2〉 정산파라미터

구분	정산항목	단위	Default	Min	Max	증분	유전자크기	
Par1	simulation resolution	-	5	1	10	3	2	
Par2	Standstill distance	meter	1.5	0.5	4.0	0.5	3	
Par3	Headway time	second	0.9	0.3	2.4	0.3	3	
Par4	Following variation	meter	4.0	0.0	7.0	1.0	3	
Par5	Threshold for entering Following	-	-8.0	-12.0	-5.0	1.0	3	
Par6	Following thresholds	negative	-	-0.35	-0.8	-0.1	0.1	3
Par7		positive	-	0.35	0.1	0.8	0.1	3
Par8	Oscillation acceleration	m/s <sup>2</sup>	0.25	0.1	0.4	0.1	2	
Par9	Emergency stopping distance	meter	5	15	60	15	2	
Par10	Lane change distance	meter	200	100	2,200	300	3	
Par11	Desired speed distribution	km/h	68~78	65~95, 70~90, 75~105, 80~100		-	2	

변칙 변경하여 평균값을 파라미터 셋의 대표값으로 이용하였다.

정산변수는 지점별, 시간대별(15분) 속도자료를 사용하였으며, 지점별 오차크기에 대한 가중치를 부여하기 위해서 최적화 목적함수는 관측치와 모형치의 평균제곱오차(RMSE, Root Mean Square Error)를 최소화하는 식(1)과 같이 설정하였다.

$$\min \sqrt{\frac{\sum_{t=1n=1}^T \sum_{n=1}^N (V_o(n,t) - V_s(n,t))^2}{T \cdot N}} \quad (1)$$

여기서,  $V_o(n,t)$  :  $n$ 번째 검지기의  $t$ 시간대 관측속도  
 $V_s(n,t)$  :  $n$ 번째 검지기의  $t$ 시간대 모형속도  
 $T$  : 분석시간 interval 개수  
 $N$  : 검지지점 수 (차로통합)

파라미터 값의 최적화를 위해서는 변수별 탐색범위, 탐색단위를 설정하여야 한다. 탐색범위가 크고 탐색단위가 작을수록 전역최적화가능성이 커지나 시간이 많이 소요되므로 효율성, 소요시간 등을 고려하여 다음과 같이 결정하였다.

Emergency stopping distance의 최소값은 1개 차로 변경시 필요한 최소거리를 5m로 가정하고, 대상도로에서는 최대 3개 차로까지 변경할 수 있으므로 최소값을 15m로 설정하였다. lane change distance는 분석대상이 도시고속도로이며 분석시간 중 대기길이가 길게 발생한다는 점을 고려하여 최대 2,200m까지 설정하였다. desired speed distribution은 비첨두시 1분 단위 검지기별 속도자료분포 분석결과를 토대로 평균속도

(80km/h, 90km/h), 평균대비 편차(10km/h, 15km/h)를 다르게 하여 4가지 분포를 적용하였다. 그 이외의 VISSIM 파라미터는 수정하지 않고 기본값을 그대로 적용하였다.

각 변수별 검토결과 <표 1>과 같이 11개 파라미터에 대한 탐색범위, 탐색단위를 설정하였으며, 설정된 각 파라미터의 유전자크기를 산정한 결과 전체유전자의 크기는 29자리( $2^{29}$ )가 되었다.

유전자에 포함된 이진형태의 변수는 1차적으로 10진수로 변환한 뒤 실수형태로 변환하여 적용하였다.

$$f_i = \frac{\text{decimal}(\text{string}_2)}{2^{m_i} - 1} \quad (2)$$

여기서,  $f_i$  : 변수 $i$ 의 실수값  
 $\text{string}_2$  : 변수 $i$ 의 유전자  
 $\text{decimal}(\text{string}_2)$  : 2진수→10진수 변환값  
 $m_i$  : 변수 $i$ 의 유전자크기

## 6. 최적화결과

파라미터 최적화 과정에서는 CPU Intel Core2 Duo E8400 3.0G, RAM 2Gb의 사양을 갖춘 컴퓨터를 사용하였다. 기본 파라미터 값을 그대로 유지하고 시물레이션을 시행한 결과 RMSE는 19.3(30분 소요)으로 산출된 반면에, 유전자 알고리즘을 이용한 최적화루틴을 탑재한 경우에는 RMSE가 7.6(157시간 소요)로 산출되어 기본값 적용 대비 60.4% 감소하였다.

유전자 알고리즘을 통하여 최적해가 갱신된 리스트와

〈표 2〉 최적해 갱신목록

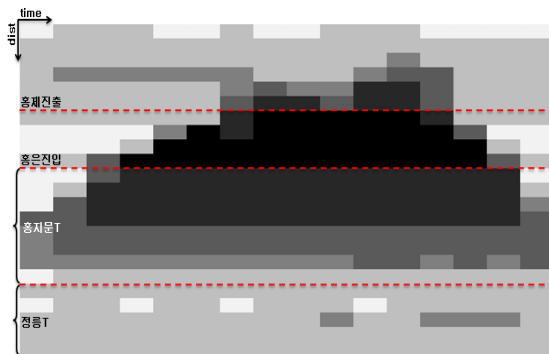
갱신세대	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6	Par7	Par8	Par9	Par10	Par11	RMSE
1	4	0.5	0.6	2.0	-9.0	-0.70	0.60	0.40	30	1,600	65~95	18.3
2	4	4.0	0.3	0.0	-5.0	-0.80	0.20	0.40	15	400	70~90	17.1
5	10	4.0	0.6	2.0	-8.0	-0.10	0.80	0.10	60	2,200	75~105	15.5
6	10	4.0	0.6	3.0	-8.0	-0.20	0.50	0.20	45	1,900	75~105	11.8
8	10	4.0	0.6	3.0	-6.0	-0.50	0.70	0.40	15	1,300	80~100	11.2
14	1	0.5	0.9	2.0	-5.0	-0.10	0.20	0.10	45	2,200	80~100	9.9
21	4	1.0	0.6	6.0	-6.0	-0.6	0.6	0.15	15	1,300	75~105	9.5
25	10	0.5	0.6	7.0	-8.0	-0.80	0.50	0.20	15	1,600	70~90	8.3
27	10	0.5	0.6	2.0	-8.0	-0.80	0.30	0.20	45	1,600	75~105	7.6
최적화	10	0.5	0.6	2.0	-8.0	-0.80	0.30	0.20	45	1,600	75~105	7.6
Default	5	1.5	0.9	4.0	-8.0	-0.35	0.35	0.25	5	200	68~78	19.3

파라미터별 최적결과를 정리하면 〈표 2〉와 같다.

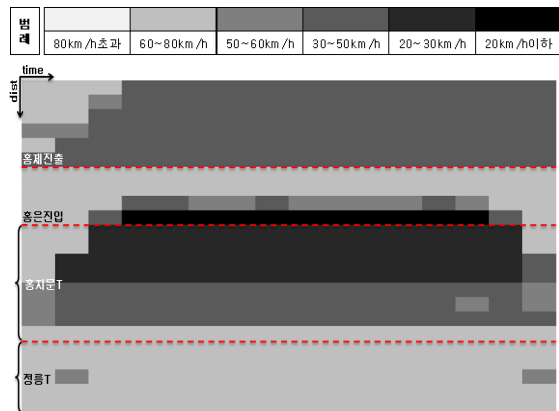
simulation resolution은 값이 커 질수록 더욱 정교한 차량흐름을 분석할 수 있지만 시간이 많이 소요되기 때문에 빠른 분석을 위하여 일부 사용자가 1을 사용하는 경우가 종종 발생한다. 하지만, PTV 자료<sup>2)</sup>에 따르면 이 값에 따라 용량이 20%까지 차이가 발생할 수 있기

때문에 매우 중요한 변수이다. 매뉴얼에서는 3이상 값을 추천하고 있고 default값은 5로 설정되어있다. 최적화 결과 10으로 산출되었으나, 현실적인 차량흐름요사 및 시간소모 등을 고려했을 때 4이상 값을 사용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

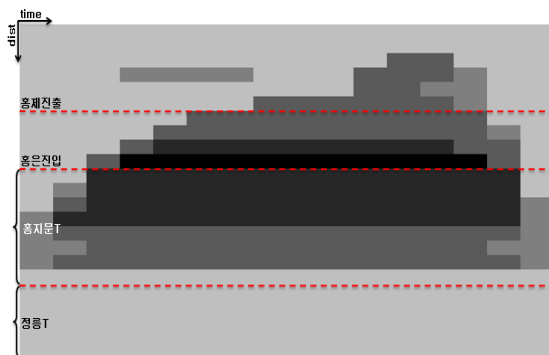
Standstill distance, headway time, following



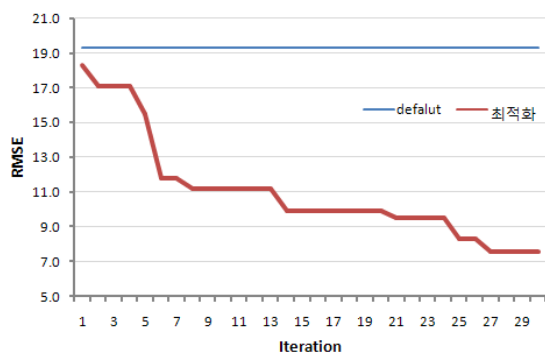
〈그림 6〉 지점속도 관측자료



〈그림 7〉 지점속도 모형결과 (default)



〈그림 8〉 지점속도 모형결과 (최적화)



〈그림 9〉 default vs 최적화

2) cgi.ptv.de/download/traffic/library/VISSIM%20Slideshow.pdf



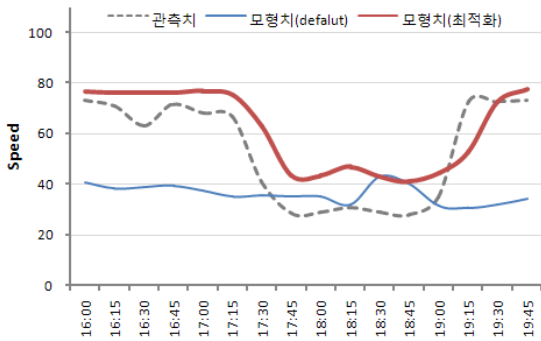
variation의 최적화 결과, VISSIM default값에 비하여 각각 67%(1.5→0.5m), 33%(0.9→0.6초), 50%(4.0→2.0m)가 줄어들었다. 운전자의 운전행태가 기본값에 비하여 거리차두간격, 시간차두시간격, 차량추종시 안전거리가 더욱 짧은 값으로 선택되었다.

Emergency stopping distance는 차로변경에 필요한 최소거리인 15m가 최적결과로 산출되었으며, threshold for entering following, following thresholds, oscillation acceleration은 기본값과 큰 차이가 없는 것으로 산출되었다.

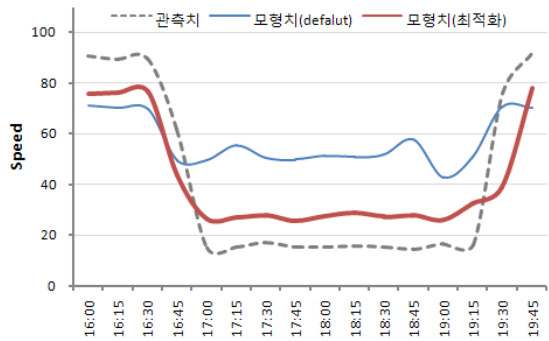
Lane change distance는 200m에서 1,600m로 크게 증가하였다. 고속도로라는 특성과 대기길이 발생에 따른 사전 차로변경 등이 고려된 결과라 할 수 있다.

Desired speed distribution은 기존 68~78km/h보다 빠른 75~105km/h로 나타나, 제한속도보다 희망속도가 높게 나타나는 일반적인 현상을 나타내었다.

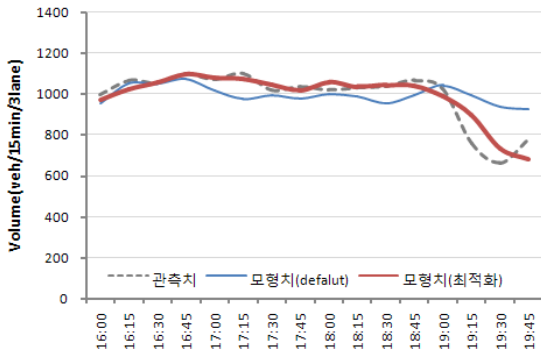
〈그림 6〉은 관측자료를 이용하여 시공도를 그려본 것으로, 홍제진출에서 일부 혼잡이 발생하는 데 반하여, 홍은진입부에서는 시속 20km/h내외로 심한정체가 지속되는 것으로 나타났다. 특히, 홍지문 터널구간은 홍은진



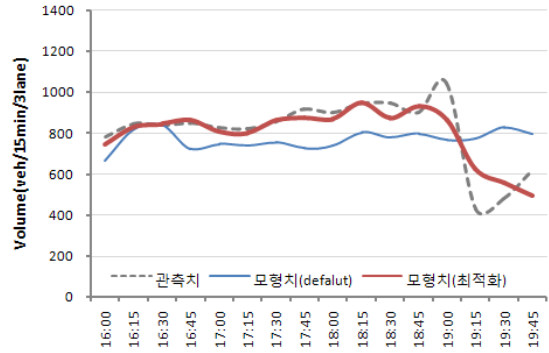
〈그림 10〉 홍제진출램프 상류부 속도변화 (Det 120)



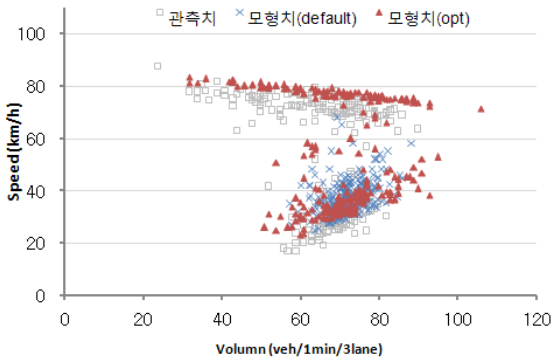
〈그림 11〉 홍은진입램프 상류부 속도변화(Det 150)



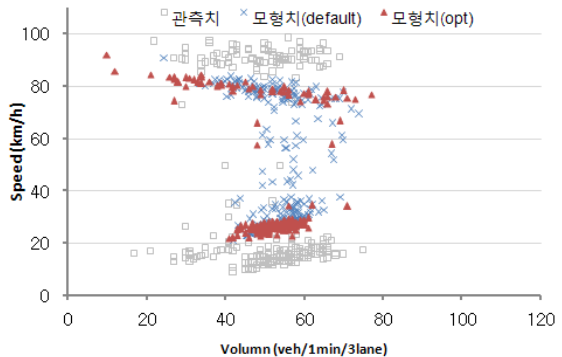
〈그림 12〉 홍제진출램프 상류부 교통량변화(Det 120)



〈그림 13〉 홍은진입램프 상류부 교통량 변화 (Det 150)



〈그림 14〉 홍제진출램프 상류부 속도, 교통량 (Det 120)



〈그림 15〉 홍은진입램프 상류부 속도, 교통량 (Det 150)



입차량으로 인해 속도가 떨어진 본선차량이 터널내 오르막 구간을 만나면서 가속에 어려움으로 터널 종점부까지 혼잡이 계속되는 것으로 나타났다.

기본값을 적용한 결과는 <그림 7>과 같이 홍제진출부에서 진출차량이 원활히 차로변경을 하지 못하여 홍제진출 이후로 계속 정체가 발생하고, 홍은진입에서도 정체가 발생하는 것으로 나타났다. 반면에, 파라미터를 최적화한 결과는 <그림 8>에서 보는 바와 같이 관측자료와 속도패턴이 매우 유사하게 나타났다. 하지만, 혼잡지역내 속도가 관측자료에 비해 조금 높게 나타나 대기차량 증가속도, backward 충격과속도가 다소 낮게 나타났다. 이로 인해 정체 지속시간은 다소 길게 나타났다.

<그림 10>과 <그림 11>은 홍제진출램프와 홍은진입램프 전에 위치해 있는 검지기에서 수집된 관측자료와 모형자료(모형기본값, 모형최적화)의 속도를 비교한 그래프로 모형기본값에 비해 모형최적화가 관측치와 더욱 유사한 패턴을 보이며, <그림 12>와 <그림 13>은 교통량을 비교한 그래프로 모형기본값이 모형최적화에 비해 전반적으로 교통량수준이 낮게 나타나는데 이는 상류부의 정체로 인해 하류부로 교통량이 적게 진입되기 때문이다. <그림 14>와 <그림 15>는 1분단위의 교통량과 속도자료를 나타낸 것으로, 속도비교 그래프와 마찬가지로 모형최적화가 관측치와 유사하게 나타났다.

이다. 파라미터를 최적화한 시간대별 속도변화는 관측치와 유사한 패턴을 보이나, 기본값을 적용한 경우에는 다른 패턴을 보이고 있다. 홍은진입램프부는 약간의 패턴을 유지하나, 홍제 진출램프부의 결과는 매우 다른 패턴을 보이고 있다.

시간대별 교통량변화는 속도에 비해 뚜렷한 패턴차이는 나타나지 않으나, 홍은진입램프 상류부인 홍제진출부의 혼잡으로 인해 본선 교통량 통과가 원활하지 못하여 홍제진출전, 홍은진입전 교통량이 관측자료에 비해 낮은 패턴을 보이며, 혼잡이 해소된 이후에도 일정수준 이상의 교통량 통과하는 것을 보이고 있다.

파라미터의 기본값과 최적값에 따라 시뮬레이션 결과가 매우 다르게 나타나 파라미터 설정이 분석결과에 매우 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 따라서, 파라미터의 충분한 정산(calibration)이 시뮬레이션 분석에서 매우 중요하다.

본 연구에서 선정한 11개 파라미터 가운데 결과에 가장 크게 영향을 주는 것은 lane change distance로 판단된다. 분석대상이 연속류로 간선도로에 비해 원거리

서 사전 차로변경을 많이 하기 때문이다. 하지만 혼잡상황에서 200m(기본값)이내 차로변경을 하기에는 많은 어려움이 있기 때문에 현실과는 다른 결과를 산출하게 된 것이다. 물론, 분석대상의 특징, 시간대, 교통상황 등에 따라서 분석결과에 영향을 많이 주는 변수는 달라질 수 있다.

## V. 결론 및 향후연구

과거에는 미시적 모형이 일정 범위의 교통체계에 대한 개선 및 평가에 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 컴퓨터의 성능개선과 정교한 시뮬레이션모형이 개발되면서 다양한 교통시설 및 운영체계 뿐 만 아니라 광역적인 범위까지 적용분야가 점점 확대되고 있다.

미시적 모형은 차량의 세부적인 흐름까지 현실과 유사하게 묘사하기 위해 많은 부가모형과 파라미터들을 포함하고 있다. 정확한 분석을 위해서는 많은 파라미터에 대해서 정교한 정산과정이 필요하다. 하지만, 일반적으로 분석자는 정산 중요성에 대한 인식이 부족하여 정산을 하지 않거나 일부 파라미터에 대해 임의적으로 수정하여 사용하고 있다. 이로 인해, 현실묘사 능력이 떨어지는 결과물을 산출하여 시뮬레이션 모형의 결과를 신뢰하지 못하는 문제가 발생하고 있다.

여러 파라미터에 대하여 정산을 한다 하더라도 파라미터 수정과 결과산출의 반복 작업에 따라 진행하기 때문에 시간과 인력이 매우 많이 소모된다. 이러한 방법은 정산과정이 체계적이지 못할 뿐만 아니라 분석자가 주관적인 판단에 따라 파라미터 값을 선택하여 결과에 대한 신뢰성에 문제가 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 미시적 모형에 대한 일반적인 정산체계를 제시하고, 11가지 파라미터에 대해서 수동적 방법이 아닌 자동정산체계를 구축하였다. 구축된 자동정산체계의 효과를 검증하기 위하여 도시고속도로(내부순환로)를 대상으로 반복적인 혼잡이 발생하는 시간과 구간에 적용한 결과, 파라미터의 기본값을 적용할 때 보다, RMSE가 60.4%(19.3→7.6) 감소하여 현실에 보다 유사한 결과를 산출 하는 것으로 나타났다. 자동정산 결과, 전체적인 RMSE도 감소하였으며 시공간적 속도 변화패턴도 현실과 유사하게 나타났다. 운전자의 운행행태를 나타내는 시간차두간격, 거리차두간격, 추가안전거리의 최적해가 기본값에 비해 크게 줄어드는 것으로 나타나 모형의 기본값이 분석대상도로에는 맞지 않는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 다음과 같은 한계가 있어 향후 연구로 남기 고자 한다. 첫째, 분석결과는 특정요일의 특정시간대에 적용한 것으로 다른 날짜의 같은 요일, 같은 시간대에 대해 적용하여 최적화된 파라미터의 유효성을 검증하는 과정이 필요하다.

둘째, 모형정산시 지점별, 시간대별 오차를 최소화하는 방식으로 자동정산체계를 구축하였지만, 추후에는 다양한 지표를 적용하고 정산결과와 통계적 검증이 가능한 자동정산체계의 개발이 필요하다.

셋째, 분석대상이 비교적 정산이 용이한 도시고속도로 시설에 적용되었으므로, 간선도로 등 다른 교통시설에 대한 연구가 필요하다.

넷째, VISSIM의 기능개선으로 제어가 가능한 변수가 추가된다면 더 많은 변수에 대한 정산이 필요하며, 다른 미시적 시뮬레이션 모형을 활용한 정산연구도 필요하다.

## 참고문헌

1. Sadek, A. W. et al(2006), "Challenges Calibrating Large-Scale Microscopic Simulation Model of Diverse Urban, Suburban, and Rural Network: Practical Guide", Transportation Research Board 85th Annual Meeting, TRB, p.19.
2. Balmer, M. et al(2004), "Large-Scale Multi-Agent Simulations for Transportation Applications", Journal of Intelligent Transportation Systems, vol. 8, Taylor & Francis Inc., pp.205~221.
3. Benekohal R. F. et al(1991), "Procedure for Validation of Microscopic Traffic Flow Simulation Models", Transportation Research Record 1320, TRB, pp.190~202.
4. H. Rakha, B. et al(1996), "Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models", Transportation Research Board 75th Annual Meeting, TRB, pp.1~14.
5. G. Daigle, M. et al(1998), "Field applications of corsim: I-40 freeway design evaluation, oklahoma city", 1998 Winter Simulation Conference, vol.2, WSC, pp.1161~1167.
6. ISAC, L.(1999), "Experiences with Paramics at ISAC in Winter 98-99". Information Sharing and Analysis Center.
7. Cheu, R. L. et al(1998), "Calibration of FRESIM for Singapore Expressway Using Genetic Algorithm", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 6, pp.526~535.
8. Lee, D. H. et al(2001), "Parameter Calibration for Paramics Using Genetic Algorithm", Transportation Research Board 80th Annual Meeting, TRB. pp.6~15.
9. Gomes, G. et al(2004), "Congested Freeway Microsimulation Model Using VISSIM", Journal of the Transportation Research Board, No. 1876, Transportation Research Board of the National Academies, pp.71~81.
10. Gardes, Y. et al(1993), "Simulation of IVHS on the Santa Monica Freeway Corridor Using the Integration Model. Phase 2: Preliminary ATIS and ATMS Experiments", California PATH Research Report, University of California.
11. Lee, E. B. et al(2005), "Validation Study of Microscopic Traffic Simulations for Urban Freeway Reconstruction with High-Traffic Volume", 12th ITS World Congress, ITS World Congress.
12. R. Balakrishna(2002). "Calibration of the demand simulator in a dynamic traffic assignment system", Masters thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.
13. K. Kim. et al(2003), "Simplex based calibration of traffic microsimulation models using its data", Transportation Research Board 82nd Annual Meeting, TRB, pp.1~24
14. M. Kurian(2000). "Calibration of a

