

# 유비쿼터스 교통체계를 위한 미시적 교통류 시뮬레이션 정산모형 개발 - 유전자 알고리즘 이용 -

Development of a Microscopic Traffic Simulation Calibration Method for  
Ubiquitous Transportation System Using Genetic Algorithm

**김 현 미**

(한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정)

**김 범 기**

((주) 선도소프트 ITS·LBS 사업본부 부장)

**김 태 형**

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실  
책임연구원)

**김 원 규**

(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)

**강 연 수**

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실 실장)

**김 병 중**

(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)

## 목 차

### I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성
2. 연구의 목적 및 내용

### II. 교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS의 개발현황

### III. 문헌고찰

### IV. 파라미터 정산모형 개발

1. 최적해 산정 방법론- 유전자 알고리즘
- 2 파라미터 정산모형

### V. 모형의 검증

### VI. 결론 및 향후 연구방향

### 참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 필요성

u-Transportation이란 유비쿼터스 환경하에서 여행자, 교통시설, 교통수단이 실시간으로 네트워킹하여(상태인식, 인과관계 정보가 분석되어) 안전성과 이동성에 기여하는 인간중심의 미래형 교통서비스 및 시스템을 제공하는 신 교통공간을 의미한다.<sup>1)</sup> u-Transportation 체계는 u-TSN<sup>2)</sup>을 기반으로 기존 ITS의 불특정 다

수를 대상으로 하는 거시적 제어 (Macroscopic aggregated traffic control)에서 개별 차량에 기반을 둔 미시적 제어 (Microscopic agent-based control)로 운영 및 제어 전략의 기술 패러다임을 전환시켜준다.

u-Transportation의 효율적인 설계 및 운영, 관리를 위하여 여러 가지 대안을 분석하고 평가하기 위해서는 미시적 교통류이론 기반의 시뮬레이터와 통신시뮬레이터의 통합 시스템 구축이 필요하다. 이를 위해 현재 건설교통부에서 주관하는 국가교통 핵심기술 개발사업 'u-Transportation 자료수집 통합기술개발'에서 교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS(Traffic Communication Integrated Simulation System)가 개발 중에 있다.

교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS를 이용 수집, 가공 제공하는 네트워크 공간을 의미함.

1) 한국교통연구원(2006), 「유비쿼터스 기반 교통체계의 비전과 전망」

2) u-TSN (ubiquitous - Transportation Sensor Network)은 첨단센서 및 통신기술을 적용하여 유·무선으로 연결된 ad-hoc 네트워크 상에서 차량, 인프라 등 교통체계 구성요소들이 실시간으로 교통정보를

한 유비쿼터스 교통시스템의 설계 및 운영관리 대안들의 효과 분석 및 평가가 신뢰성을 갖기 위해서는 교통시뮬레이터와 통신시뮬레이터가 대상지역의 현장상황을 실제상황과 동일하게 표현하여야 한다. 다양한 교통 및 통신 환경에 대하여 시뮬레이터 제작자가 제공한 기본값을 동일하게 적용시켜 통합시뮬레이션의 리얼리티를 확보하는 데는 어려움이 있다. 따라서 교통/통신 통합시스템을 구축하는 과정에서 각각의 시뮬레이터에 대한 파라미터 정산과정이 수행되어야 한다.

## 2. 연구의 목적 및 내용

본 연구의 목적은 교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS 개발의 일환으로 통합시뮬레이션의 신뢰성을 향상시키기 위하여 미시적 교통류 시뮬레이션의 파라미터 정산 방법론을 개발하는데 있다.

시뮬레이션 파라미터 정산모형에서 최적의 파라미터 값을 찾는 방법론으로 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였으며, 개발된 파라미터 정산모형을 C++로 코딩하여 AIMSUN API를 구현하였다. 또한 개발된 파라미터 정산모형을 이용하여 중부고속도로와 제2중부고속도로를 대상으로 AIMSUN의 파라미터를 정산하여 모형을 검증하였다.

## II. 교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS의 개발현황

TraCISS(Traffic Communication Integrated Simulation System)는 교통시뮬레이터와 통신시뮬레이터의 연동을 통한 교통/통신 통합시뮬레이션이다. 이 통합시뮬레이션은 교통시뮬레이터인 AIMSUN과 통신시뮬레이터인 NS-2와 Qualnet으로 구성되며, 연동 시 시뮬레이터 간 정보전달 프레임워크는 다음과 같다.

- AIMSUN에 교통 네트워크를 구축하고 시뮬레이션을 실행하여 개별 차량 정보(차량 id, 위치, 속도, 통행기종점 등), 이벤트 정보(발생유무, 종류, 발생시간, 해결예상시간 등) 등을 NS-2와 Qualnet으로 전송한다.

- NS-2와 Qualnet에서는 교통시뮬레이터로부터 전달받은 정보를 기반으로 모바일 노드로 구성된 통신 네트워크를 구축한다.(이때 차량의 id와 노드 id 매치)
- 통신 네트워크상에서 통신 반경 및 통신 속도, 수신실패율 등을 고려하여 산출된 모바일 노드 간 정보 전달 결과(노드 id, 제공받은 정보 등)를 교통시뮬레이터로 전송한다.
- 교통시뮬레이터에서 개별 차량은 교통 네트워크상의 위치 및 통신환경에 따라 상이한 교통정보를 제공받게 되어 목적지까지의 최적 경로를 갱신한다. 개별 차량은 인지한 교통상황에 따라 새로이 경로를 선택하고 이를 통해 전체 교통 네트워크의 통행패턴이 동적으로 변화하게 된다.

교통/통신 통합시뮬레이션 TraCISS는 시뮬레이션이 실행되는 동안 위에서 설명한 정보전달 프레임워크를 타임스태핑으로 반복하면서 u-Transportation에서 실시간으로 교통정보가 수집, 가공, 제공되는 환경을 구현한다.

## III. 문헌고찰

Lee, D 외 (2001)[5]에서는 유전자 알고리즘을 PARAMICS 파라미터 정산에 적용하여 고속도로에 대하여 파라미터 정산을 실시하였다. 검지기 교통량과 검지기 점유율을 성능지표로 이용하여 정산한 결과 유전자 알고리즘을 이용한 정산방법론이 효과적인 것으로 나타났다. Park, B 외(2005)[4]에서는 교통류 시뮬레이션 정산 및 검증 절차를 제안하고 미시적 교통류 시뮬레이터 VISSIM을 이용하여 독립교차로에 대한 파라미터 정산을 실시하였다. 더불어 Park, B 외(2006)[3]에서는 Park, B 외(2005)[4]에서 제안한 교통류 시뮬레이션 정산 및 검증 절차를 교통류 시뮬레이터 VISSIM과 CORSIM을 사용하여 12개의 교통감응신호교차로로 구성된 도시부 간선네트워크에 대하여 검증하였다. 통행시간과 최대대기행렬을 성능지표로 이용하여 검증한 결과 제안한 파라미터 정산절차가 효과적인 것으로 나타났다.

Biagio Ciuffo 외 (2007)[1]에서는 미시적 교통류 시뮬레이션 정산 절차를 제안하였는데 여

기서는 분산분석을 이용하여 시뮬레이션 결과 값에 대한 성능지표와 정산파라미터에 대한 민감도 분석을 포함하여 수행하였다. 민감도 분석 결과, AIMSUN을 이용하여 고속도로 분석 시 성능지표로써 통행속도를 비교하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

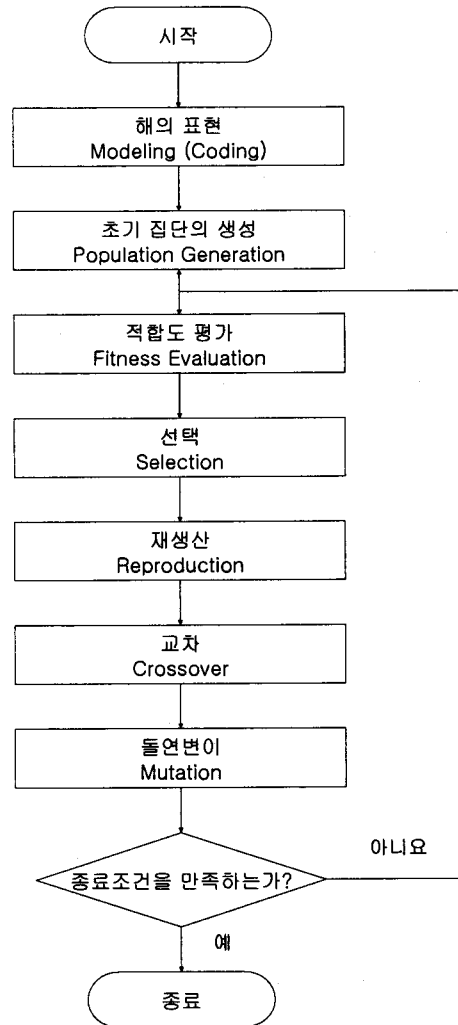
이 밖에도 미시적 시뮬레이션 정산과정에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 제안된 정산과정에 대하여 VISSIM, CORSIM, PARAMICS, AIMSUN 등을 이용하여 고속도로 및 신호교차로에 대한 파라미터 정산 및 검증이 수행되어 왔다. 하지만 기존 연구에서는 on-line기반의 파라미터 정산과정에 대한 언급이 없어 효율적인 파라미터 정산이 이루어지지 못하는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구는 미시적 교통류 시뮬레이션 정산모형을 API로 구현하여 on-line 환경에서의 파라미터 정산을 효과적으로 시도한 최초의 연구로 판단된다.

#### IV. 파라미터 정산모형 개발

##### 1. 최적해 산정 방법론 - 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)의 개념은 Holland에 의해 제안되었고, De Jong에 의하여 Darwin의 자연선택과 진화의 개념에 기본을 둔 최적화 알고리즘으로 확장되었다. 유전자 알고리즘의 기본원리는 해집합이 주어진 환경에 따라 최적의 상태로 진화하고 진화시 터득한 정보는 다음세대로 전달된다는 것이다.

유전자 알고리즘에서 가능한 해의 집합은 하나의 개체군으로 나타난다. 그리고 각각의 가능한 해는 염색체로 부호화되고, 적합도 함수에 의하여 적합도를 부여받는다. 적합도는 적합도 함수에 의해 각 개체에 할당된 주어진 문제에 대한 결과값을 나타내며, 최적화 문제와 유전자 알고리즘을 서로 연결시키는 역할을 한다. 기본적인 유전자 알고리즘의 흐름은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 유전자 알고리즘의 흐름도

- 1) 해의 표현  
유전자형의 설정단계로 현실의 최적화문제를 컴퓨터가 인식할 수 있는 0과 1의 값을 가지는 2진 코드로 표현하는 단계이다.
- 2) 초기 집단의 생성  
초기 개체 집단의 생성단계로 1단계(해의 표현)에서 결정한 유전자형의 구조를 가지는 개체를 집단의 크기만큼 무작위로 생성하여 초기 집단(제1세대)을 구성한다.
- 3) 적합도 평가  
각 세대의 개체들 중에서 주어진 환경에 잘 적응하는 것과 그렇지 못한 것을 구분하는 단계이다. 적합도 함수인 최적화 문제의 목적함수로부터 각 개체가 선택되어질 확률이 결정된다.
- 4) 선택  
다음 세대로 유전정보를 넘길 개체를 선택하는 단계이다. 3단계(적합도 평가)에서 계산된 상대적합도 함수값에 따라 다음 세대에서 살아

남을 개체를 선정하고 선정되지 못한 개체는 도태시킨다.

5) 재생산

4단계(선택)에서 도태시킨 개체의 수만큼을 우수한 개체들로부터 복사하여 전체 개체의 수를 초기 개체의 수와 동일하게 만드는 과정이다. 이를 통해 세대를 거듭할수록 목적함수의 값이 좋은 개체의 수가 점점 늘어나게 되어 전반적으로 최적점으로 이동하는 양상을 보이게 된다.

6) 교차

자연계에서 생식에 의해 새로운 개체가 생성되는 개념을 도입한 것으로 5단계에서 적합도가 높아진 개체들을 무작위로 두 개씩 선정하고, 이들 개체들의 비트 임의부분을 잘라서 서로 교환함으로써 새로운 개체를 생성한다.

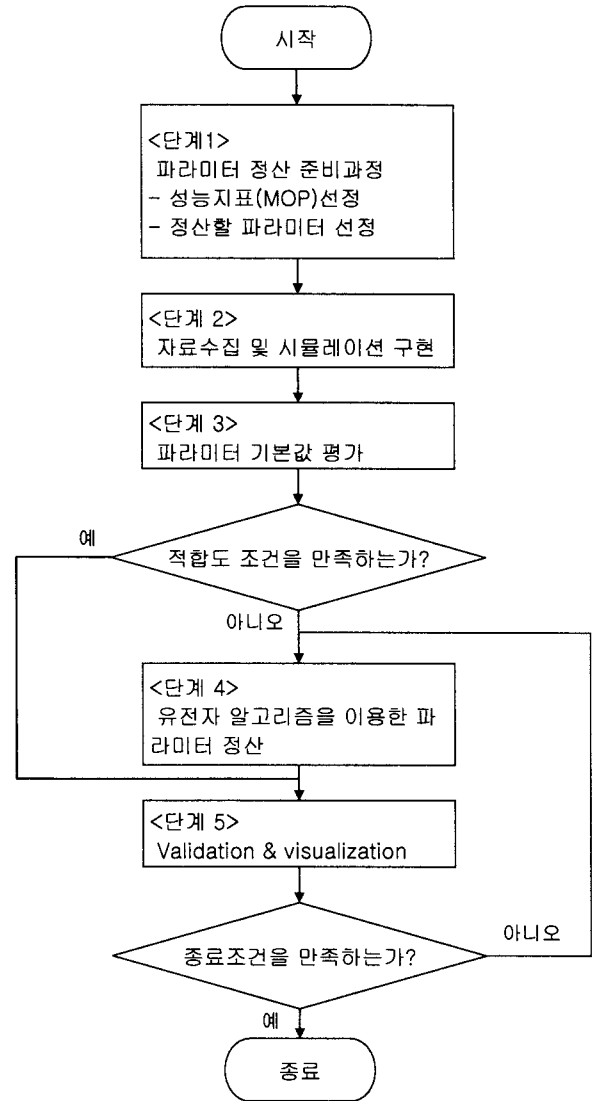
7) 돌연변이

어떤 하나의 개체나 혹은 두 개 이상의 개체들을 선택하여 하나의 비트값을 무작위로 바꾸어 강제로 돌연변이를 생성시킨다. 돌연변이는 한 세대를 형성하는 개체의 다양성을 유지하게 하여 국부 최적해에 빠질 가능성을 낮추는 역할을 한다.

유전자 알고리즘은 목적함수의 값을 직접 비교하고, 여러 곳에서부터 동시에 해를 검색해 나감으로 국부해에 빠질 위험이 적은 장점이 있다. 유전자 알고리즘은 다양한 제어모수(parameter)들을 사용하는데, 유전자 알고리즘의 연산과정에서 설정되는 대표적인 모수에는 모집단의 크기(Population size), 최대세대수(Max Generation), 교배확률(Probability of Cross), 돌연변이 확률(Probability of Mutation) 등이 있다.

2. 파라미터 정산모형

본 연구에서 제시한 미시적 교통류 시뮬레이션의 파라미터 정산과정은 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 시뮬레이션 파라미터 정산과정

단계 1) 파라미터 정산 준비과정

(1) 성능지표 선정

성능지표(MOP : Measure of Performance)는 시뮬레이션이 대상구간의 현장상황을 얼마나 실제상황과 동일하게 표현하는지를 판단하는 기준이 된다. 따라서 성능지표는 대상구간의 교통류 특성을 대표할 수 있어야 하며 현장에서 측정이 가능하고 시뮬레이션을 통해 값을 얻을 수 있어야 한다.

(2) 정산할 파라미터 선정

정산할 파라미터 선정시 시뮬레이션 내에서 기하구조특성, 운전자특성, 교통류특성에 영향을 미치는 파라미터를 선정한다. 또한 효과적인 파라미터 정산을 위하여 시뮬레이션이 수행되는 동안 on-line으로 수정이 가능한지를 고려하

여 정산할 파라미터를 선정한다.

단계 2) 자료수집 및 시뮬레이션 구현

시뮬레이션으로 대상구간을 구축하기 위하여 네트워크 및 O/D 입력자료와 파라미터 정산을 위한 성능지표 자료를 수집한다.

- 입력자료: 도로연장, 차선수, 차선평, 신호 운영시스템, 기종점 통행량, 교차로별 방향별 통행량 등
- 성능지표: 교통량, 통행속도, 통행시간, 지체, 대기행렬 등

수집된 자료를 이용하여 네트워크 및 OD를 입력하여 대상구간을 시뮬레이션으로 구현한다.

단계 3) 파라미터 기본값 평가

시뮬레이션에서 기본적으로 제공하는 파라미터 값이 시뮬레이션을 이용하여 평가하고자 하는 대상구간에 적합한지를 평가한다. 적합도 평가는 현장의 실제데이터와 시뮬레이션 결과값을 비교하여 오차율이 10%미만을 만족하는지를 살펴봄에 이에 사용되는 적합도 함수는 다음과 같다.

$$\text{적합도}(FV) = \frac{|MOP_{field} - MOP_{sim}|}{MOP_{field}} \times 100$$

여기서,

$MOP_{field}$ : 성능지표 현장값

$MOP_{sim}$ : 성능지표 시뮬레이션 결과값

적합도가 기준값(10%)보다 작으면 <단계 4>의 '유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 정산' 단계를 거치지 않고 바로 <단계 5> Validation & Visualization 으로 넘어간다.

단계 4) 유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 정산

<단계 1>'파라미터 정산 준비과정'에서 선정된 파라미터에 대하여 값의 범위와 선택 가능해를 지정해준다. 유전자 알고리즘에서 사용되는 목적함수는 파라미터 정산모형에서의 적합도 함수와 동일하며, 종료조건(적합도 기준값(10%) 또는 최대 세대수)을 만족할 때까지

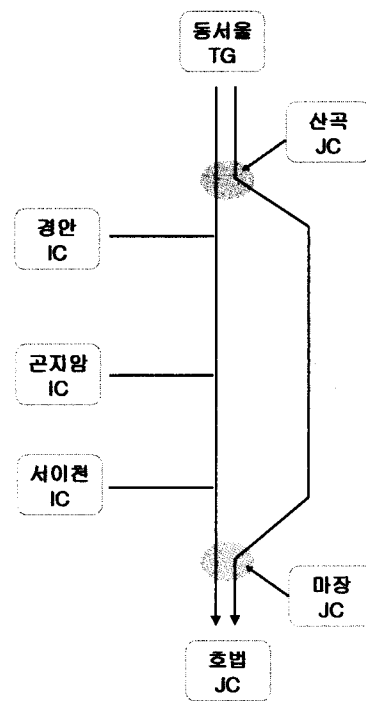
generation을 반복하여 최적의 파라미터 세트를 결정한다.

단계 5) Validation & Visualization

유전자 알고리즘을 통해 정산된 파라미터 값을 동일한 네트워크에서 다른 날 동일한 시간대의 O/D를 이용하여 적합도를 평가한다. 또한 시뮬레이션이 수행되는 동안 시각적으로 차량의 움직임이 적절한지 확인한다.

V. 모형의 검증

본 연구에서 개발한 파라미터 정산모형을 검증하기 위하여 선정된 대상구간은 중부고속도로와 제2중부고속도로 하행선의 일부구간이며 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 대상구간 네트워크

1. 파라미터 정산 준비과정

파라미터 정산을 위하여 고속도로에 설치된 검지기(중부고속도로 : 21개, 제2 중부고속도로: 22개)로부터 얻을 수 있는 속도를 성능지표로 선정하였다.

시뮬레이션에서 기하구조 특성, 운전자특성,

교통류 특성에 영향을 미치는 파라미터들 가운데 AIMSUN API에서 시뮬레이션이 수행되는 동안 on-line으로 수정이 가능한 파라미터를 고려하여 선정된 정산대상 파라미터는 다음과 같다.

<표 1> 정산 대상 파라미터

파라미터		설 명
운 전 자	max desired speed(km/h)	최대 목표속도
	max acceleration(㎥/s)	최대 가속도
	normal deceleration(㎥/s)	최대 감속도
	max deceleration(㎥/s)	비상상황시 최대 감속도
	speed acceptance	제한속도 준수율
	min distance veh(m)	최소 차두거리
	max giveaway time(sec)	최대 차간간격 수락시간
기 하 구 조	speedlimit(km/h)	제한 속도
	visibility Distance(m)	교차로 시거
	capacity (veh/h/lane)	용량
	distancezone1(sec)	차로변경모형 변수
	distancezone2(sec)	차로변경모형 변수

## 2. 자료수집 및 시뮬레이션 구현

대상구간으로 선정된 중부고속도로와 제2중부고속도로의 기하구조 CAD 파일을 이용하여 시뮬레이션 네트워크를 구현하고, 9월 11, 12일 8-10시의 TCS자료와 검지기 자료를 이용하여 O/D를 생성하고 적합도 평가를 위한 성능지표로 사용하였다. 파라미터 정산에는 9월 11일 교통데이터가 이용되었으며 정산된 파라미터에 대한 검증에는 9월12일 교통데이터가 이용되었다. Simulation step은 1초로 설정하였으며, Warming up period를 고려하여 1시간 동안의 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

## 3. 파라미터 기본값 평가

파라미터 정산을 위해 선정된 성능지표는 속도이며, 이로 인해 결정된 적합도 함수는 다음과 같다.

$$\text{적합도}(FV) = \frac{|Speed_{field} - Speed_{sim}|}{Speed_{field}} \times 100$$

시뮬레이션 파라미터의 기본값을 적용하여 적합도 평가를 실시한 결과 오차율이 27.9%로 적합도(Fitness Value) 기준값 10%보다 크게 나타났다. 따라서 AIMSUN을 이용하여 중부고속도로와 제2중부고속도로를 실제상황과 동일하게 구현하기 위해선 파라미터 정산과정이 필요한 것으로 나타났다.

## 4. 유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 정산

유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 정산을 위하여 선택된 파라미터들의 값의 범위는 다음과 같다.

- max desired speed(km/h) : 90 - 120
- max acceleration(㎥/s) : 2.8 - 3.5
- normal deceleration(㎥/s) : -3.5 - -4.5
- max deceleration(㎥/s) : -5.5 - -7
- speed acceptance : 0.9 - 1.3
- min distance veh(m) : 0.8 - 1.5
- giveaway time(sec) : 5 - 15
- speedlimit(km/h) : 90 - 120
- visibility Distance(m) : 15 - 25
- capacity (veh/h/lane) : 1300 - 2200
- distancezone1(sec) : 17 - 23
- distancezone2(sec) : 2 - 4

Biagio Ciuffo 외 (2007)[2]에서는 분산분석을 통하여 AIMSUN의 시뮬레이션 결과값에 대한 파라미터들의 민감도를 분석하였는데, max desired speed(km/h), max acceleration(㎥/s)가 시뮬레이터의 결과값에 대하여 민감도가 큰 것으로 나타났다. 따라서 이 두 파라미터에 대해서는 정해진 범위 내에서 10개의 선택 가능한 해를 가지도록 설정하였으며 그 외의 파라미터들은 5개의 선택가능한 해를 가지도록 설정하였다.

파라미터 정산 AIMSUN API에서 유전자 알고리즘을 실행하기 위해 사용된 제어모수값은 다음과 같다.

- Population Size : 30
- Max Generation : 10
- Probability of Crossover : 0.5
- Probability of Mutation : 0.05

유전자 알고리즘을 통해 정산된 파라미터값과 성능지표의 오차율은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 파라미터 정산 전/후 값 비교

파라미터	기본값	정산된 값
max desired speed(km/h)	110	110
max acceleration(%)	3	2.96
normal deceleration(%)	-4	-4.25
max deceleration(%)	-6	-5.50
speed acceptance	1.1	1.1
min distance veh(m)	1	1.15
max giveway time(sec)	10	10
speedlimit(km/h)	120	112.50
visibility Distance(m)	25	25
capacity (veh/h)	2100	1975
distancezone1(sec)	20	21.5
distancezone2(sec)	3	3
오차율(%)	27.9	5.8

중부고속도로와 제2중부고속도로에 대한 AIMSUN 파라미터의 정산결과, 속도의 오차율이 27.9%에서 5.8%로 크게 향상되었다. 파라미터 별 정산 전 후의 값을 살펴보면 용량이 크게 변화한 것을 알 수 있다.

## 5. Validation & Visualization

정산된 파라미터에 대하여 동일한 네트워크 상에서 9월 12일 교통데이터를 이용하여 validation을 실시한 결과, 검지기 속도의 오차율이 6.5%로 적합도 기준(10%)보다 낮게 나타났다. 이를 통해 대상구간에 대하여 유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 정산모형으로 정산된 파라미터 값이 타당성을 가지는 것으로 평가되었다.

## VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 유비쿼터스 교통체계를 위하여 교통/통신 통합시뮬레이션을 개발하기 위한 선행 작업으로 교통류 시뮬레이션 정산모형을 개발하였다. 파라미터 정산을 위한 최적해 산출 방법론은 유전자 알고리즘을 이용하였으며, on-line 환경에서 시뮬레이션 파라미터 정산을 수행하기 위하여 개발된 정산모형 및 정산체계를 C++ coding을 통한 AIMSUN API로 구현하였다. 개발된 파라미터 정산모형을 적용하여 중부고속도로와 제2중부고속도로의 파라미터 정산을 수행한 결과 성능지표인 속도의 오차율이 27.9%에서 5.8%로 크게 줄어들었다. 또한 정산된 파라미터 값을 검증하기 위하여 validation을 수행한 결과 속도의 오차율이 6.5%로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 파라미터 정산모형은 타당성을 갖는 것으로 판단된다.

본 연구에서 파라미터 정산방법론을 개발시 사용된 유전자 알고리즘은 각각의 단계에서 가장 간단한 방법을 이용하였으며, 향후 다양한 선택, 교차, 돌연변이의 확률선택함수를 적용 분석하여, 최적해에 더욱 정확하고 빠르게 수렴하는 유전자 알고리즘 적용 연구를 수행할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 파라미터 정산모형을 연속류인 고속도로에만 적용시켜 검증하였으나, 향후 단속류에 대해서도 파라미터 정산모형을 검증하여 개발된 파라미터 정산모형의 타당성을 평가해볼 필요가 있다. 더불어 승용차에 한정된 파라미터 정산을 차량타입별로 세분화하여 좀 더 정확하고 효과적인 파라미터 정산모형을 개발할 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] 한국교통연구원(2006), 「유비쿼터스 기반 교통체계의 비전과 전망」
- [2] Biagio Ciuffo, Uincenzo Punzo, and Vincenzo Torrieri(2007), " A framework for the calibration of microscopic traffic flow models", 86th Annual Meeting Preprint CD-ROM, Transportation Research board, Washington, D.C.,

[3] Park, B., Jongsun Won, Ilsoo Yun(2006), "Application of Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Procedure : A Case Study of Coordinated Actuated Signal System", 85th Annual Meeting Preprint CD-ROM, Transportation Research board, Washington, D.C.,

[4] Park, B., and Qi, H.(2005) "development and Evaluation of Simulation Model Calibration Procedure." 84th Annual Meeting Preprint CD-ROM, Transportation Research board, Washington, D.C.,

[5] Der-Horng Lee, Xu Yang, and P. Chandrasekar,(2001) "Parameter Calibration for PARAMICS Using Genetic Algorithm", Transportation Research board 01-2399

[6] Milam, R. T. "Recommended Guidelines for the Calibration and Validation of Traffic Simulation models", Fehr&Peers Associates, Inc. ([www.fehrandpeers.com](http://www.fehrandpeers.com))

[7] AIMSUN 5.1 Microsimulator User's Manual. TSS-Transport Simulation Systems, December 2006.

[8] AIMSUN API Manual, TSS-Transport Simulation Systems, April 2007.

\* 본 연구는 건설교통부가 주관하는 국가 교통 핵심기술개발사업(2007)「u-Transportation 자료수집 통합기술개발」과제의 일환으로 수행되었음.