

# GIS를 이용한 미시적 수준의 교통모형 구현에 관한 연구

## A Study on the Implementation of Microscopic Traffic Simulation Model by Using GIS

김병선\*

Byeongsun Kim

**요약** 본 연구는 GIS를 이용하여 미시적 수준에서 교통현상을 시뮬레이션 할 수 있는 미시적 수준의 교통모형을 설계 및 구현하는데 목적이 있다. 이를 위해 차량이 GIS 도로 중심선 자료를 차선, 이동속도 등이 반영된 도로 네트워크 자료로 인식하는 방법론을 개발하였으며, 운전자의 주행 행태를 반영하기 위해 환경인식모형, 차두시간분포모형, 차량추종모형 및 차로변경모형으로 행태모형을 설계 및 구현했다. 모형의 정확도 평가는 종로구의 자하문길을 대상으로 관측 자료와 예측 자료를 비교하였으며, 그 결과 시간대별 이동 속도를 매우 정확하게 예측한 것을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 구현된 GIS 기반의 미시적 수준의 교통모형은 교통 탄소 배출량 분석, 교통류 평가 및 도시기반시설 입지 계획 등의 다양한 분야에 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : GIS, 시뮬레이션, 교통모형, 행태모형

**Abstract** This study aims to design and implement a traffic model that can simulate the traffic behavior on the microscopic level by using the GIS. In the design of the model, the vehicle in the simulation environment recognizes the GIS road centerline data as road network data reflecting number of lanes, speed limit and so on. In addition, the behavior model was designed by dividing functions into the environmental perception model, time headway distribution model, car following model, and lane changing model. The implemented model was applied to Jahamun-road of Jongno-gu district to verify the accuracy of the model. As a result, the simulation results on the Jahamun-road had no great error compared with the actual observation data. In the aspect of usability of model, it is judged that this model will be able to effectively contribute to analysis of amount of carbon emission by traffic, evaluation of traffic flow, plans for location of urban infrastructure and so on.

**Keywords** : GIS, Simulation, Transportation Model, Behaviour Model

## 1. 서 론

공간 현상을 현실적이고 개선된 방법으로 분석할 수 있는 GIS (Geography Information Systems)는 공간 분석을 통해 지리적으로 발생하는 복잡한 문제를 해결하는데 필요한 정보를 제공한다[4]. 하지만 교통 분야의 경우, 이러한 기반 환경이 조성되었음에도 불구하고 전통적인 형태의 틀을 벗어나지 못하고 있다. 예컨대 도로의 길이 또는 통행시간 등의 정적인 형태의 변수를 이용하는 거시적 수준의 하향식(top-down) 접근법인 네트워크 분석은 초기에 이론과 모형이 정립된 이후 지금까지도 방법론의 발전이 없이 계속해서 사용되고 있는 실정이다[2]. 특히, 시간대별로 상이하게 발생하는 통행량, 특정 구간에 적용되는 각종 규제 조건 및 서로 다른 특징을 지닌 차량들 간에 상호작용

등 오늘날 교통체계가 갖는 복잡성과 가변성 등의 미시적·동태적 특성을 표현하는데 한계가 있다.

이러한 한계점을 극복하기 위해서는 개체(entity) 수준에서 시뮬레이션을 수행할 수 있는 미시적 수준의 교통모형이 개발될 필요가 있다. 이는 교통 현상이 도로라는 특정 공간에서 차량 추종, 차로 변경, 교통 신호 등 차량과 교통 환경 또는 차량들 간의 복잡한 상호작용을 통해 발생하기 때문이다. 따라서 운전자 개개의 의사결정 프로세스를 분석할 수 있는 미시적 수준의 교통 모형은 기존의 거시적 수준의 정적인 네트워크 모형에 비해 개념적으로 우월하다고 판단된다[11].

한편, 이러한 미시적 수준의 교통 모형을 설계하기 위해서는 선행 차량과의 거리에 따른 대상 차량의 주행 속도 변화, 차로 변경을 이끄는 운전자의 행태, 교통의 흐름을 통제하는 교통신호 등 다양한 요소를 고

\* Byeongsun Kim, Research Professor, Smart Urban Space Institute, Anyang University. geobskim@gmail.com (Corresponding Author)

려해야 한다. 또한 이를 구현하기 위해서는 일정 수준 이상의 프로그램 구현 능력이 요구되기 때문에 현재 까지도 이에 대한 연구는 매우 미진한 편이다. 또한 기존에 개발된 국내외의 미시적 수준의 교통모형 역시 GIS 자료를 활용하기 보다는 CAD 형태의 설계도면에 의존해 왔기 때문에, 새로운 지역에 모형을 적용하기 위해서는 모형에 필요한 공간 자료를 확보하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 한계점은 개발된 모형을 다양한 지역과 여러 분야에 활용하는데 있어서 하나의 장애요인으로 지적할 수 있다.

지금까지 교통현상을 모델링하는 거시적 수준의 교통모형이 갖는 문제점을 해소하고 공간자료 확보 측면에서 기존의 미시적 수준에 교통모형의 한계점 등을 개선하기 위하여, 이 연구에서는 GIS를 이용하여 미시적 수준에서 교통현상을 모델링할 수 있는 교통모형을 설계 및 구현하고 사례 구간을 대상으로 모형의 정확도 평가 및 모형의 활용성을 제시하는데 목적을 두었다. 이를 위해, 미시적 수준의 교통모형과 관련된 선행 연구에 대하여 살펴보고 본 연구의 차별성을 도출하였다. 이어 GIS를 이용한 미시적 수준의 교통모형을 설계 및 구현하고, 사례 구간을 선정하여 시뮬레이션을 수행했다. 끝으로 시뮬레이션 결과를 통해 모형의 정확도를 평가하고 시사점을 제시하였다.

## 2. 연구동향 검토

미시적 수준의 교통류에 관한 연구는 이미 교통공학을 중심으로 다양한 이론이 정립되어 왔지만, 이러한 이론을 시뮬레이션 모형으로 구축하는 것과 관련하여 국내의 연구는 현재까지도 매우 취약하다. 2001년 3월 ITS 기본계획 21을 확정된 이후 현재까지도 개념 정립 단계를 벗어나지 못하고 있는 실정이며, 상용화가 가능한 수준의 시뮬레이션 모형은 아직까지 개발되어 있지 않은 상태다. 최근에는 서울시, 부산시, 제주시, 대전시와 같은 광역 자치단체와 많은 민간 기업이 지능형 교통시스템 도입을 진행하고 있으나 CCTV를 이용한 모니터링 측면이 강하고 수집된 자료를 분석하는 등의 모형 구축은 미비한 실정이다.

또한 현재 국내에서 사용하고 있는 미시적 수준의 교통모형은 해외에서 구축된 모형을 비교·평가하여 사용하고 있다. 일례로 1994년~1996년 3단계 계획으로 진행된 KICT[5,6,7]의 연속류 도로의 한국형 모의 실험기 개발 연구의 경우, 미국의 2차로 지방부 도로를 시뮬레이션하는 TWOPAS (TWO-lane PASSing model) 모형을 국내에서 활용할 수 있는 방안에 대하여 모색

하였다. 그러나 모형이 내포하고 있는 하부 구성요소에 대한 검증보다는 단지 국내 도로 실정에 맞게 TWOPAS 모형에 사용되는 모수만을 수정하는 수준에서 제한적으로 모형을 구축하였다.

반면에 미시적 수준의 교통모형 부분에서 가장 발전한 미국의 경우 CORSIM, MITSIM 등의 대표적인 모형이 있다. CORSIM (CORridor SIMulation)은 기존의 도시부 시뮬레이션 모형인 NetSim (Network Simulator)과 고속도로 시뮬레이션 모형인 FreSim (Freeway Simulator)을 FHWA (Federal Highway Administration)의 자금을 받아 Mc Trans Center에서 이 둘을 하나로 통합한 미시적 수준의 교통모형이다[1]. 이와 함께 MIT대학에서 구축한 MITSIM (Microscopic Traffic Simulator)도 미시적 수준의 교통 모형으로 Boston의 Central Artery/Tunnels 구간을 설계하기 위한 용도로 구현되었지만, 현재는 다양한 학술 용도로 활발하게 사용되고 있다[15]. 또한 Los Alamos 연구소에서 교통분석을 목적으로 개발 중인 TRANSIMS (TRansportation ANalysis SIMulation System), 버클리 대학 교통연구소에서 개발한 동적 네트워크 시스템인 SHIFT, 2차선 도로 운영을 위한 TWOPAS 모형 등 교통과 관련된 다양한 모형을 연구 개발하고 있다.

그러나 이들 모형은 공통적으로 기초 데이터를 도로 설계의 시공도면인 CAD 자료를 사용하고 있다. 따라서 대상 지역이 변경될 경우, 모형에 필요한 설계도면을 확보하거나 새로이 설계도면을 제작하고 속성 정보를 구축해야하는 데이터 측면의 문제점을 가지고 있다.

이러한 차원에서 본 연구는 기존 모형이 갖는 기초 데이터의 한계점을 극복하기 위해 설계에서 구현까지 GIS 데이터와 공간분석 기능 등을 활용하여 미시적 수준의 교통모형을 구현한다는 점에서 기존 연구와는 다른 차별성을 갖는다.

## 3. 모형 설계 및 구현

### 3.1 기본환경 설정

#### 3.1.1 이동경로 설정

도로 중심선으로 구성된 GIS 네트워크 자료를 이용하여 차량이 도로를 인식하고 목적지점까지의 이동경로를 설정하기 위해 이 연구에서는 Figure 1과 같이 네 단계의 도로인식과 경로설정 알고리즘을 사용했다.

구체적으로 살펴보면 첫 번째 단계는 버퍼분석을 이용하여 자신과 인접한 도로를 선택한다. 점 형태의

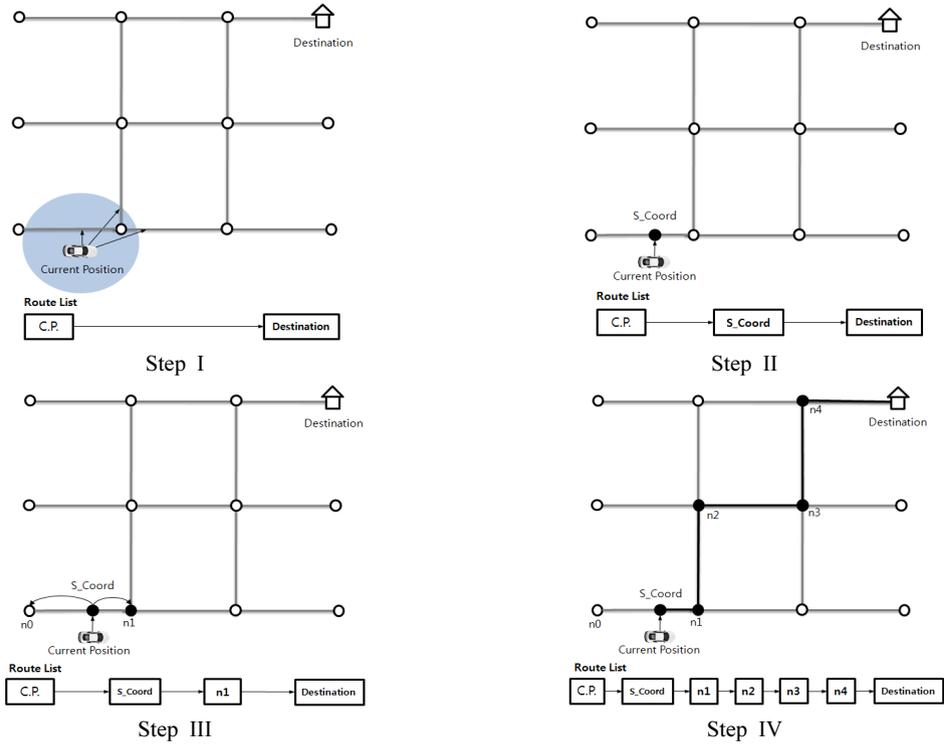


Figure 1. The conceptual illustration of route list configuration

Table 1. Algorithm for creating vehicle's route list

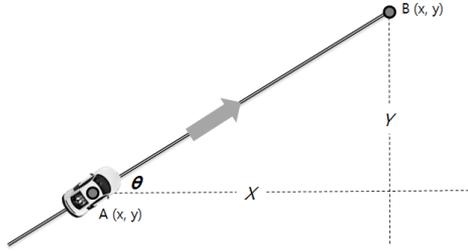
```

PROCEDURE(Construct Vehicle's Route)
Initialize MinDistance = 99999
FOR Each Vehicle(chosen in a sequence fashion)
Route.add(Vehicle's Current Position)
Current Geometry = Vehicle's Current Position
Buffer = Current Geometry.Buffer(50m)
IF Buffer Intersects Road Segment
THEN Select Intersected Road Segment
DisToRoad = Calculate Distance(Geometry, Selected
Road Segment)
IF(DisToRoad < MinDistance)
THEN MinDistance = DisToRoad
Closest Road = Selected Road Segment
END IF
END IF
Closest Coordinate = Closest(Closest Road, Current
Geometry)
Route.add(Closest Coordinate)
END FOR
'Find Nodes connected with Closest Road through
NodeLinkList
Node1 = NodeLinkList.SearchNode(Closest Road)
Node2 = NodeLinkList.SearchNode(Closest Road)
'Compare with Distance to Node1 and Node2 from Closest
Coordinate
Node = MinDistance(Closest Coordinate, Node1, Node2)
Route.add(Dijkstra Algorithm(Node, Destination Node))
Route.add(Destination Coordinate)
END PROCEDURE
    
```

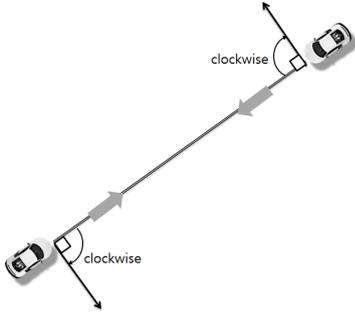
차량은 현재의 위치정보를 이용하여 자신과 가장 인접해있는 도로를 찾기 위해 버퍼분석을 수행하고 버퍼와 교차하는 모든 도로 정보를 추출한다. 두 번째 단계는 거리분석을 이용하여 버퍼분석을 통해 선택된 도로 중 자신과 가장 인접한 도로 정보와 위치 좌표를 추출하고 이를 이동 경로에 저장한다. 세 번째 단계는 추출된 도로 상의 좌표와 해당 도로와 연결된 두 노드 간의 거리를 연산하여 자신과 더 가까이 위치한 노드를 선택하고 선택된 노드의 좌표를 추출한다. 그리고 마지막 단계는 이전 단계에서 추출한 시작점의 노드와 목적지 좌표정보를 이용하여 최단거리분석을 수행한 후 추출된 노드의 좌표정보를 차량의 이동경로에 저장한다. 이 연구에서 최단거리분석은 다익스트라 알고리즘(Dijkstra Algorithm)을 사용했으며, 이상의 전체 과정을 의사코드로 정리하면 Table 1과 같다.

### 3.1.2 차량의 이동 방향 및 위치 설정

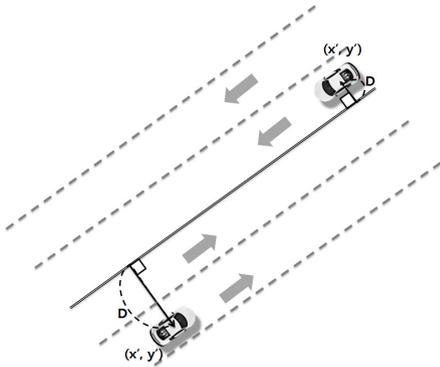
미시적 수준의 교통모형에서는 차량이 이동하는 모습까지 시각적으로 묘사해야 한다. 그러나 도로 중심선으로 구성된 네트워크를 따라서 차량이 이동한다면, 양방향으로 설계되어 있는 도로의 특성상 차량 간



A. Calculation of direction in which vehicle is headed



B. Calculation of vehicle's turning directions



C. Calculation of the vehicle's distance from the central line

Figure 2. The conceptual illustration of Setting vehicle's direction and position

의 충돌을 피할 수 없을 것이다. 또한 복수 차선을 따라서 이동하는 차량의 모습 역시 표현하는데 한계가 있을 것이다. 이 연구에서는 앞서 구축한 차량의 이동 경로를 이용한 이동방향 정보와 네트워크 자료에 입력된 차선 정보를 바탕으로 이러한 문제점을 해결하였으며, Figure 2와 같이 3단계의 과정을 통해 구현하였다.

우선 이동 경로에 저장된 좌표를 이용하여 주행방향을 계산하고, 주행방향을 기준으로 시계방향 90도 회전각을 산출한다. 마지막으로 도로데이터에 저장된

Table 2. Algorithm for Setting Vehicle's Direction and Position

```

PROCEDURE(Move to the Lane)
  'Calculate Direction Angle
  Diff_X = Road.GetNode(i+1).XCoord-Road.GetNode(i).XCoord
  Diff_Y = Road.GetNode(i+1).YCoord-Road.GetNode(i).YCoord
  Direction Angle = Arctan(Diff_x, Diff_y);
  'Set Vehicle's Lane Variable
  RandomNumber = Math.random();
  Lane = (Integer(RandomNumber * Lanes)+1);
  'Calculate Rotate Angle and New Position(X',Y')
  Rotate Angle = Angle + Rotation_Clockwise(90 Degree);
  X' = Current Position.X + Distance * Cos(Rotate Angle);
  Y' = Current Position.Y + Distance * Sin(Rotate Angle);
  Move Vehicle to (X', Y')
END PROCEDURE
    
```

차로정보를 이용하여 차로 중심선까지의 거리를 산출하고 최종적으로 차량을 이동시킨다. 이상의 내용을 의사코드로 정리하면 Table 2와 같다.

### 3.2 모형의 기본 틀 설계

모형의 기본 틀(framework architecture)은 GIS 기반의 미시적 수준의 교통모형으로서 기본적으로 갖추어야 할 요소와 교통체계에서 차량의 운행 특성 등을 종합적으로 고려하여 Figure 3과 같이 6개의 컴포넌트(component)로 설계하였다. 여기에는 DB에 저장된 GIS자료를 시뮬레이션 공간에 생성하는 차량 생성(vehicle generator) 컴포넌트, 시뮬레이션의 내용을 GIS 파일 또는 이미지 파일 등으로 저장하는 이벤트 레코더(events recorder) 컴포넌트, 시뮬레이션 내용을 모니터를 통해 시각적으로 표현하는 시각화(visualizer) 컴포넌트, GIS 자료를 이용한 각종 공간분석기능을 지원하는 GIS 엔진(GIS engine) 컴포넌트, 시뮬레이션 시간의 변화를 모형 구성요소에 전달하는 시뮬레

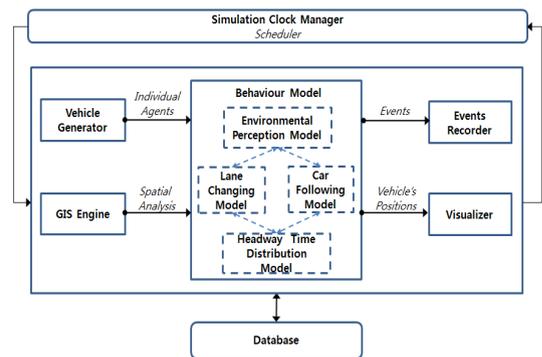


Figure 3. Framework architecture

이션 시간 관리(simulation clock manager) 컴포넌트 및 차량 운전자의 의사 결정을 수행하는 행태모형 (behaviour model) 컴포넌트로 구성된다.

이 가운데 행태모형은 다시 환경인식모형(environmental perception model), 차량추종모형(car following model), 차로변경모형(lane changing model), 차두시간분포모형(time headway distribution model) 등의 세부모형으로 구성하였다.

### 3.3 행태모형 설계

#### 3.3.1 환경인식모형

환경인식모형은 차량 운전자의 의사결정에 필요하도록 인프라 정보를 감지하고 제공하는 역할을 한다. 즉, GIS 네트워크의 속성 자료에 저장된 차로정보, 제한속도 정보와 같은 도로 인프라와 관련된 정보를 실시간으로 주행 중인 차량 운전자에게 제공한다. 이러한 기능을 빠르게 수행하기 위해서 Figure 4와 같이 차량의 이동경로 자료와 네트워크의 노드-링크 그리고 속성정보를 하나로 연결하는 별도의 자료구조를 설계하였다.

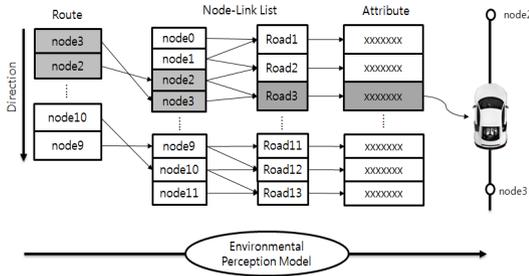


Figure 4. Data structure linked between route list and road network

#### 3.3.2 차두시간분포모형

시뮬레이션 공간으로 개별 차량의 진입시간을 결정하는 차두시간분포 모형은 식 (1)과 같이 교통량 변화 폭이 큰 경우에 사용되는 Pearson Type V 분포 모형을 사용했다[9]. 식 (1)에서 보듯 Pearson Type V 분포는 모수  $\alpha, \beta$ 를 갖는 감마함수( $\Gamma()$ )의 역수와 같다. 여기서  $x$ 는 관측된 차두시간을 가리킨다.

$$f(x) = \frac{x^{-(\alpha+1)} e^{-\beta/x}}{\beta^{-\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

본 연구에서 식 (1)에 필요한 계수인  $\alpha, \beta$ 는 Table

Table 3.  $\alpha$  and  $\beta$  values by average time headway

Avg. Time Headway(sec)	$\alpha$	$\beta$	Avg. Time Headway(sec)	$\alpha$	$\beta$
1.5	182.2	271.8	3.3	8.1	23.4
1.6	58.4	91.8	3.4	7.9	23.3
1.7	36.1	59.7	3.5	7.6	23.2
1.8	26.8	46.4	3.6	7.5	23.2
1.9	21.6	39.2	3.7	7.3	23.2
2.0	18.4	34.8	3.8	7.1	23.2
2.1	16.1	31.8	3.9	7.0	23.3
2.2	14.5	29.7	4.0	6.8	23.3
2.3	13.2	28.2	4.1	6.7	23.3
2.4	12.2	27.0	4.2	6.6	23.4
2.5	11.4	26.1	4.3	6.5	23.5
2.6	10.8	25.4	4.4	6.4	23.6
2.7	10.2	24.9	4.5	6.3	23.6
2.8	9.7	24.4	4.6	6.2	23.7
2.9	9.3	24.1	4.7	6.1	23.8
3.0	8.9	23.8	4.8	6.0	23.9
3.1	8.6	23.6	4.9	5.9	24.0
3.2	8.3	23.5	5.0	5.8	24.1

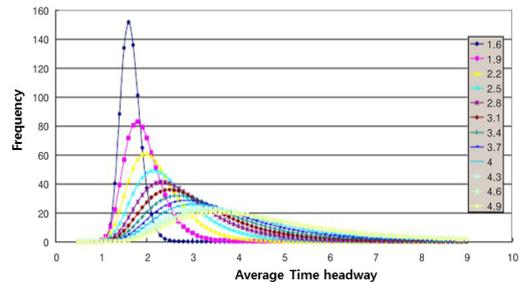


Figure 5. Pearson type v distribution by average time headway

3과 같이 KICT[8]에서 연구된 자료를 사용했다.

Table 3에서 도출한 모수를 이용한 Pearson Type V 분포형태는 Figure 5와 같다. 그림에서 보듯 차량의 수가 많을수록 분포의 형태가 짧은 차두시간 영역에서 좁고 봉우리가 높은 모양을 띤다. 반면에 차량의 수가 적을수록 분포의 봉우리가 낮으면서 넓은 영역에 걸쳐 차두시간이 고루 분포하는 형태를 가진다. 즉, Pearson Type V는 평균차두시간과 모수 값을 이용하여 다양한 형태의 차두시간 분포를 생성하는데 매우 용이하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3.3 차량추종모형

추종차량과 선두차량 간의 안전거리와 속도를 반영하는 차량추종모형은 선두차량과의 거리를 바탕으로 임계구간을 정의하여 Figure 6과 같이 추종자유구간, 추종제한구간, 추종위험구간으로 구분하였다.

본 모형에서 임계구간은 도로교통법 시행규칙 제12조에 따라 편도 2차선 이상의 일반도로에 적용되는 차량의 최고속도(80km/h, 22m/s)와 최저속도(30km/h, 8m/s)를 초당 거리로 환산하여 임계구간을 설정하였다. 즉, 주행 중인 차량과 선행 차량과의 거리가 22m 이상일 때는 추종자유구간에 해당되고 8m~22m 사이는 추종제한구간, 8m 이하는 추종위험구간으로 설정하였다.

그리고 각 구간에 따른 가속, 감속 등의 차량의 추종행태는 Table 4와 같은 방법론을 적용하였다. 추종자유구간에서 차량은 현재 속도( $v_n$ )와 자신의 희망속도( $v_n^D$ )를 비교하여 현재속도가 희망속도 이하인 경우와 동일한 경우 그리고 희망속도 이상인 경우로 세분화하였다. 즉, 추종차량이 희망속도 이하이면 희망속도에 도달하기 위해 가속을 하고 희망속도 이상일 경우에는 희망속도에 도달할 때 까지 계속해서 감속을 수행한다. 마지막으로 추종차량의 희망속도와 선두차량

속도가 동일한 경우에는 가속도에 변화가 없다. 각 구간의 기준이 되는 희망속도는 차량의 최고속도(80km/h)를 기준으로 하였다.

추종제한구간은 Herman's general car-following model[3]과 MITSIM[15] 모형에서 사용하는 비교적 안정적인 알고리즘을 사용했다. 이 알고리즘에서 ' $g_n$ '은 선두차량과의 거리, ' $v_n$ '은 추종차량의 속도 그리고 ' $v_{n-1}$ '은 선두차량의 속도를 가리킨다. 또한 ' $\alpha, \beta, \gamma$ '는 모형에 사용된 모수로서 기본 값은 Subramanian[14]의 연구에서 제시한 수치를 사용했다. 이 수치는 로스앤젤레스의 10번 주간 고속도로(Interstate Highway)에서 수집한 자료를 사용하여 추종제한 영역에서 차량의 가속도와 감속도를 조사한 후 로그모형을 통해 도출된 수치이다. 여기서 ' $\alpha^+, \beta^+, \gamma^+$ '는 추종차량이 선두차량에 비해 주행속도가 낮은 경우에 적용되는 모수 값이며, 반대로 ' $\alpha^-, \beta^-, \gamma^-$ '는 추종차량의 속도가 높은 경우에 사용되는 모수 값이다.

마지막 추종위험구간도 MITSIM 모형에서 사용하는 알고리즘을 적용했다. 여기서 ' $g_n$ '은 차간 거리, ' $a_n$ '은 추종차량의 가속도, ' $a_{n-1}$ '은 선두 차량의 가속도를 의미한다. 이 방법은 선두 차량과의 속도차와 간격 그리고 선두 차량의 가속도 크기를 고려한 방법으로, 추종차량은 선두차량과의 마찰을 피하고 최소한의 안전거리( $g_n$ )를 유지하기 위해 계속해서 가속도를 조절한다.

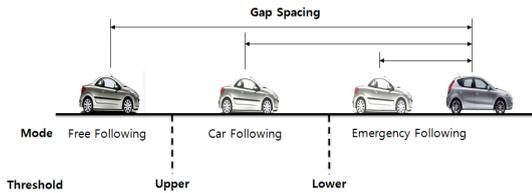


Figure 6. Three modes in car following model

### 3.3.4 차로변경모형

차로변경모형은 운전자가 차로변경이라는 의사결정을 수행하는데 영향을 미치는 다양한 변수를 고려

Table 4. Implementation methodology by the modes in car-following model

Mode	Methodology	Annotation		
Free-following	$a_n = \begin{cases} a_n^+ \\ 0 \\ a_n^- \end{cases}$	$v_n < v_n^D$		
		$v_n = v_n^D$		
		$v_n > v_n^D$		
Car-following	$a_n = \alpha^\pm \frac{v_n^{\beta^\pm}}{g_n^{\gamma^\pm}} (v_{n-1} - v_n)$	acceleration	deceleration	
		$\alpha$	2.15	1.55
		$\beta$	-1.67	1.08
Emergency-following	$a_n = a_{n-1} - 0.5(v_n - v_{n-1})^2/g_n$ $a_n = a_{n-1} + 0.25a_n^-$	$v_n > v_{n-1}$		
		$v_n \leq v_{n-1}$		

해야 한다. 이러한 측면에서 이 연구에서는 MST[10]에서 수행한 식 (2)와 같은 모형식을 사용했다.

운전자의 차로변경 행위에 영향을 주는 주요 변수로서 이 모형식에서는 목적차로 선행차량과의 거리, 목적차로 후행차량과의 거리, 목적차로 선행차량과의 속도차, 목적차로 후행차량과의 속도차, 목적차로 선행차량 증차량 여부 등을 사용했다. 각각의 변수 값이 실제 차로변경에 미치는 영향력을 식별하기 위해서 3대의 비디오 카메라를 이용하여 영동대교 남단의 차량 흐름을 촬영한 후, 동영상상을 프레임으로 변환하고 차로변경에 대한 이벤트별로 영상자료를 수합하였다. 그리고 각 영상의 실측비율을 산출하기 위한 기하보정을 실시한 후, 설명 변수를 계산하였다. 마지막으로 측정된 변수값을 이항 프로빗 모형(binary probit model)을 이용해 차로변경 모형식을 도출하였다.

$$y = -2.332 + 0.021x_1 + 0.051x_2 + 4.143x_3 - 0.211x_4 - 1.397x_5 \quad (2)$$

- $y$ : Whether it possible to change lane
- $x_1$ : The distance difference between the subject vehicle and the preceding vehicle
- $x_2$ : The distance between the subject vehicle and the lag vehicle
- $x_3$ : The speed difference between the subject vehicle and the preceding vehicle
- $x_4$ : The speed difference between the subject vehicle and the lag vehicle
- $x_5$ : The absence of heavy vehicle in the target lane

이러한 모형식을 바탕으로 본 모형에서는 모형식에 필요한 독립변수 값을 시뮬레이션 과정에서 추출하고 이를 연산하여 종속변수인 차로변경유무의 값이 0.5이상일 경우 차로변경을 실시하고, 종속변수의 값이 0.5이하가 된다면 차로변경을 수행하지 않고 차량 추종모드로 주행하도록 모형을 설계하였다.

### 3.3.5 교통신호 처리

본 모형에서 교통신호에 따른 차량의 속도 변화는 식 (3)과 같은 방법론을 사용했다. 만약 교통신호가 황색이고 차량의 현재 속도에 비추어 신호 구간을 통과할 수 없다면, 식 (3)과 같은 방법을 이용하여 신호 구간에 도달할 때까지 계속해서 감속을 수행한다[15].

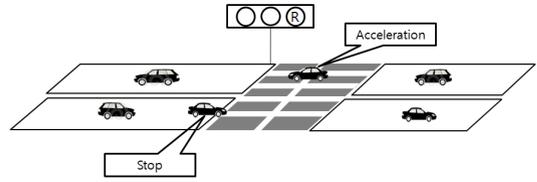


Figure 7. Movement of vehicles according to the state of traffic signal

$$a_n = -v_n^2 / (2x_n) \quad (3)$$

여기서 ' $a_n$ '은 교통신호 구간까지 차량이 정지하는데 필요한 감속도이고 ' $x_n$ '은 정지선까지의 거리, ' $v_n$ '은 차량의 현재 속도를 뜻한다. 이와 함께 현실적인 상황을 고려하여 다음과 같은 세 가지 상황을 가정하였다. 첫째는 교통신호가 황색이나 현재 속도에 비추어 신호 구간을 통과할 수 있는 경우, 식 (3)과는 무관하게 정상적으로 이동한다. 둘째는 황색 신호 시에 '신호구간 통과 가능'으로 판단하였으나 Figure 7과 같이 교통 혼잡으로 인해 대상차량이 적색 신호에도 교차로나 횡단보도 등에 포함된다면, 통행의 흐름을 유지하기 위해 정지하지 않고 가속하여 해당 신호구간을 통과한다. 마지막으로는 두 번째와 같은 상황에서 Figure 7과 같이 차량이 정지선과 교차한다면, 더 이상 가속을 하지 않고 정지하도록 교통신호와 관련된 가정을 설정하였다.

### 3.4 모형 구현

모형 개발을 위한 개발도구는 Repast Symphony 1.2.0을 사용하였고, 통계패키지인 R을 이용하여 차두 시간분포모형에 사용되는 Pearson Type V 분포를 구현하였다. 그리고 모형에 적용되는 공간 데이터 분석은 오픈소스 라이브러리인 JTS (Java Topology Suite)와 GeoTools를 사용했으며, 도로 데이터는 국가 교통 DB에서 제공하는 네트워크 자료를 사용했다.

모형 구현에 있어서 차량추종과 차로변경 모형에 사용되는 각종 알고리즘과 필요한 정보는 GIS 공간분석을 이용하였다. 가령 Figure 8의 ①과 같이 시뮬레이션 상에서 차량은 주행 중인 차로를 대상으로 주행 방향으로 버퍼분석을 수행한 후 버퍼에 포함되는 차량을 추출한다. 그리고 추출된 차량 중 자신과 가장 가까이에 위치한 선두 차량과의 거리를 기준으로 차량추종구간을 선택한다. 또한 차량추종모형에 사용되는 알고리즘을 구현하기 위해 선두 차량의 이동속도

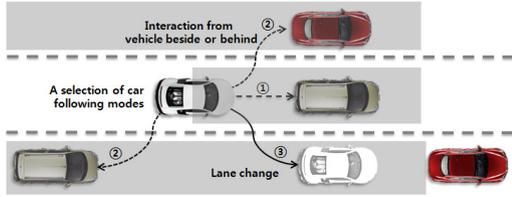


Figure 8. The schematic diagram of the decision-making process of an vehicle

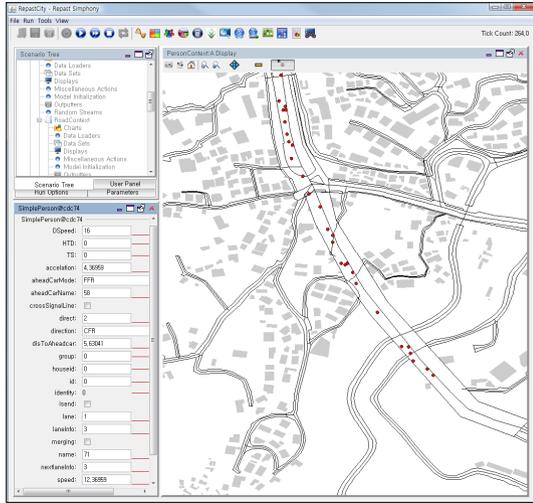


Figure 9. Screen shot of the microscopic traffic model developed in this study

및 가속도, 차간 거리 등의 정보를 추출하여 가속도를 계산한다. 만약에 추종자유구간에 해당되지 않는 추종 차량이 환경인식모형을 통해 주행 중인 도로가 1차선 이상의 도로라는 정보를 입력받으면, Figure 8의 ②와 같이 차로변경을 수행하기 위해 목적 차로를 대상으로 버퍼분석을 수행한다. 버퍼분석을 통해 차로변경모형에 필요한 정보를 추출하고 이를 연산하여, 차로변경모형의 모형식 값이 0.5 이상이 되면 Figure 8의 ③과 같이 차로변경을 수행하고 그렇지 않다면 계속해서 차량추종 형태로 진행하도록 모형에 사용되는 알고리즘을 구현하였다.

이상의 설계 내용을 통해 구현된 결과는 Figure 9와 같다.

## 4. 모형의 정확도 평가

### 4.1 사례구간 선정

모형의 정확도 평가를 위해 Figure 10과 같이 종로

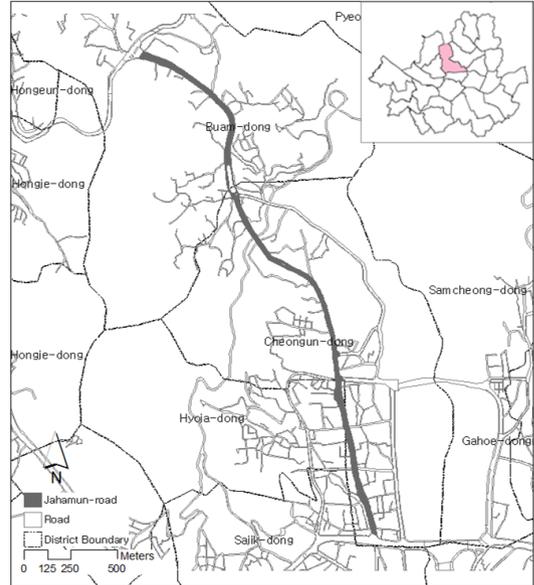


Figure 10. Jahamun-road in the Jongno-gu district

구의 자하문길을 대상으로 세검정에서 경복궁역 방향으로 시뮬레이션을 수행했다. 자하문길은 종로구 적선동의 사직로에서 홍지동 세검정 삼거리를 잇는 도로로서 총연장은 2.8km이며, 서울 도심으로 차량이 유입되고 유출되는 구간 가운데 하나이다. 특히 도로의 통행성은 오전 출근 시간대에 세검정과 효자동 부근에 정체가 있으며, 그 외의 시간대의 소통은 원활한 편이어서 단일 구간을 통해 시간대 별로 차량 흐름의 원활과 정체현상을 한눈에 파악하는데 매우 용이하다.

### 4.2 사례구간 시뮬레이션

평균차두시간을 분석하기 위해 필요한 시간대별 차량대수는 서울시 차량통행속도 2009[12] 자료를 사용

Table 5. Average time headway and parameters for Jahamun-road

	Vehicles	Avg. Headway Time(sec)	Parameters	
			alpha	beta
07:00-08:00	1824	2.0	18.4	34.8
08:00-09:00	1884	1.9	21.6	39.2
13:00-14:00	1038	3.5	7.6	23.2
14:00-15:00	880	4.1	6.7	23.3
17:00-18:00	1196	3.0	8.9	23.8
18:00-19:00	1020	3.5	7.6	23.2

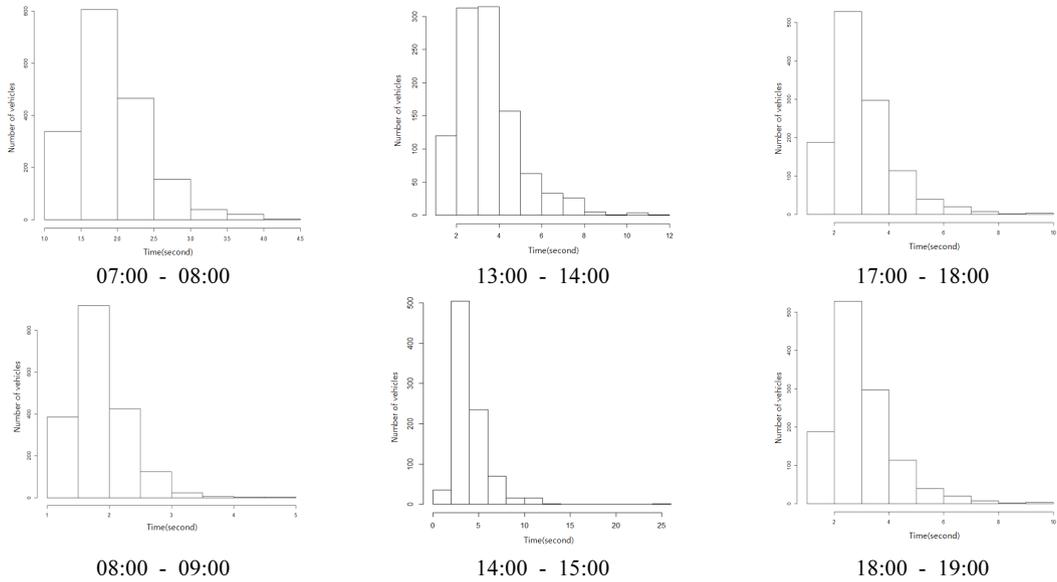


Figure 11. Frequency distributions of time headway by time periods

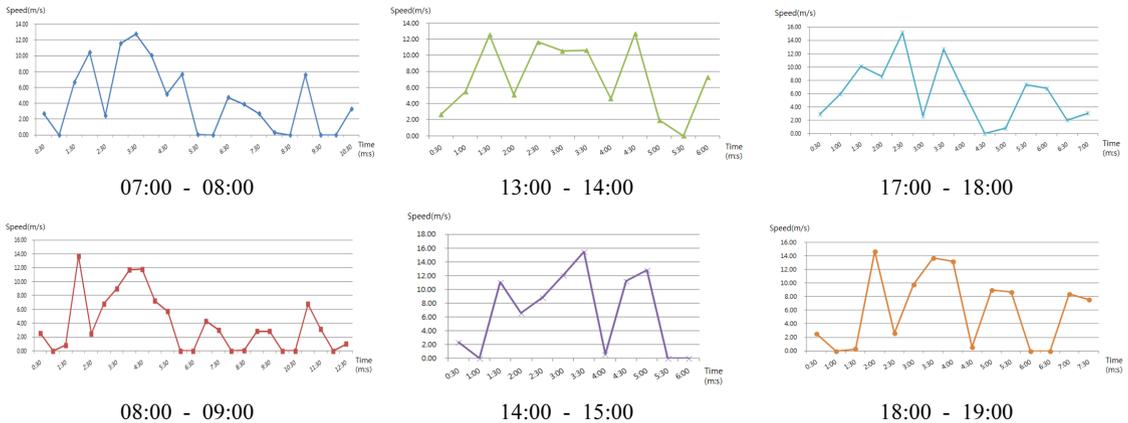


Figure 12. Travel speeds by time periods

했다. 이를 통해 사례구간의 오전과 낮, 오후 시간대의 평균차두시간을 산출하고 이에 따른 Pearson Type V 분포 모형에 필요한 계수는 Table 3의 내용을 바탕으로 도출하였으며 그 내용을 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5의 모수 값을 이용하여 차두시간분포모형을 통한 사례구간의 시간대별 차두시간 빈도분포를 도출한 결과는 Figure 11과 같다. 이러한 차두시간 분포 결과를 통해 각 시간대별로 시뮬레이션 수행 결과를 분석하면 Figure 12와 같은데, 첨두시간대인 08:00~09:00 시간대에 주행 패턴의 변화 폭이 가장 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 변화의 폭이 크다는 것은 그만큼 가속과 감속을 반복적으로 수행했다는 것을

의미한다. 또한 전반적으로 목적지에 가까워질수록 주행 속도가 낮아지는 모습을 보였는데, 이것은 서울의 중심부로 유입되는 구간인 경복궁역 인근에서 발생하는 현상이 반영된 것으로 판단된다.

이와 함께 속도 변화의 폭이 극단적으로 발생하는 현상이 모든 시간대에서 공통적으로 나타났다. 이러한 현상은 교차로와 신호가 많은 단속류(斷速流) 도로에서 관측할 수 있는 일반적인 현상으로서, 본 모형에서도 이러한 패턴이 잘 반영된 것을 확인할 수 있었다.

각 시간대별로 주행거리를 비교하기 위해 Figure 13과 같이 시간대별 주행거리를 분석하였다. 시뮬레이션 초기에는 각 시간대별로 큰 차이를 보이지 않았으

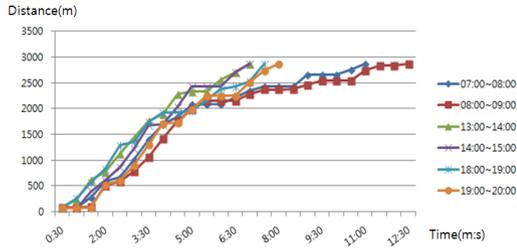


Figure 13. Travel distances by time periods

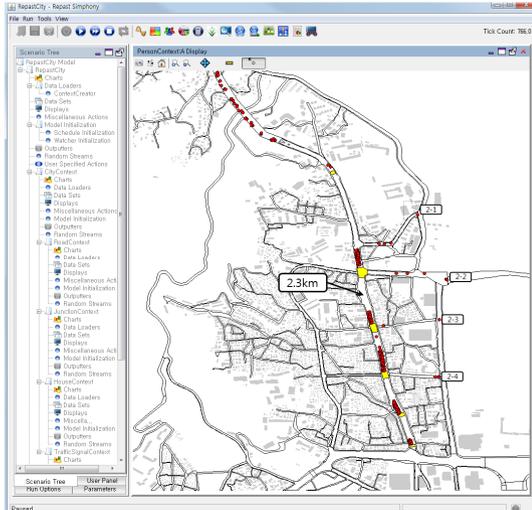


Figure 14. Simulation screenshot for initial delay-point

나, 약 2.3km 지점부터 오전 시간대와 이 외 시간대의 주행 거리가 점진적으로 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

모형을 통해 지체가 발생한 지점을 살펴보면 Figure 14와 같다. 그림에 표시된 지점을 중심으로 2-1~2-4 진입지점에서 발생한 교통량이 지하문길과 점진적으로 합류하면서 지체가 발생한 것으로 보이며, 또한 이 지점부터 상대적으로 교통 신호가 밀집되어 있기 때문에 첨두시간에 지체가 더욱 가중된 것으로 판단된다.

### 4.3 정확도 평가

정확도 평가를 위한 관측자료는 서울지방경찰청에서 발행한 서울시 교통량 조사 2009 자료[13]를 사용했으며, 이를 토대로 관측속도와 시뮬레이션을 통한 예측속도를 비교한 결과는 Table 6과 같다. 두 자료 간의 T검정 결과는 0.195로 나왔는데, 이는 두 자료 간의 평균속도는 95%신뢰수준에서 통계적인 차이가 없다는 것을 의미한다. 또한 두 자료 간의 상관관계를

Table 6. Assessment of the accuracy of the simulation results

	Observation Data		Speed	Error
	Vehicles	Speed(km/h)	Estimated (km/h)	
07:00~08:00	1,824	23.4	15.8	-7.6
08:00~09:00	1,884	16.8	13.9	-2.9
13:00~14:00	1,038	27.5	25.6	-1.9
14:00~15:00	880	27.1	24.2	-2.9
17:00~18:00	1,196	24.6	21.6	-3.0
18:00~19:00	1,020	21.7	19.3	-2.4

· T-test  
t-value: -1.389, p-value: 0.195

· Correlation Coefficient: 0.89

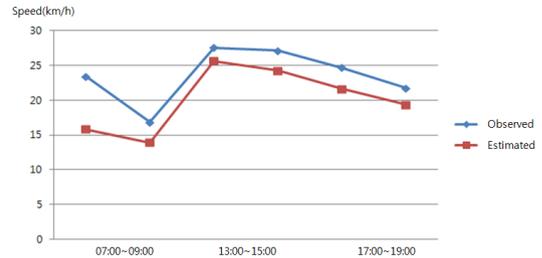


Figure 15. Comparison between observed and estimated speeds

분석한 결과, 0.89로 높은 정(+)의 상관관계를 보였다.

이와 함께 관측자료와 예측자료 간의 시간대별 관계를 분석하면 Figure 15와 같은데, 본 모형이 시간대별로 사례구간의 통행 패턴을 매우 유사하게 재연한 것을 확인할 수 있었다.

한편, 시뮬레이션 결과의 수치가 관측 자료와 비교해서 모두 낮게 나왔는데, 이는 모형에 사용된 각종 알고리즘의 모수 설정과 같은 모형 자체에 내재된 불확실성에 따른 오차로 인해 나타난 현상으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 GIS를 이용하여 미시적 수준에서 교통현상을 모델링할 수 있는 교통모형을 설계 및 구현하고 사례구간을 대상으로 모형의 정확도를 평가하는데 목적을 두고 연구를 수행했다. 이를 위해 모형 설계는 GIS 공간자료를 차량이 인식하고 이동 경로를 설정하는 기본환경설계 부분과 운전자의 운전 행태를 정의하고 이를 구현하는 행태모형 설계 부분으로 구분하였다. 기본환경설계 부분은 차량이 시뮬레이션 환경

에서 선형의 GIS 도로 중심선 자료를 차료가 반영된 도로 자료로 인식하고 이를 기초로 이동경로를 설정하고 주행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 그리고 행태 모형은 차두시간분포모형, 차량추종모형, 차로변경모형 및 환경인식모형 등의 세부모형으로 설계 및 구현하였다. 각각의 세부모형에 사용되는 각종 알고리즘은 모형의 안정성을 고려하여 교통공학과 기타 상용 모형에서 활용되고 있는 검증된 방법론을 적극적으로 도입하였다.

이렇게 구현된 모형의 정확도를 검증하기 위해 지하철을 대상으로 사례분석을 수행했다. 그 결과 시간대별로 모형의 추정치와 관측자료 간의 차이가 크게 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었으며, 전체적인 속도의 패턴도 관측자료의 패턴과 비교했을 때 매우 유사하게 재현할 수 있었다.

본 연구를 통해 구현된 모형은 GIS 공간 자료에 대한 추가적인 수정을 가하지 않고 사용할 수 있도록 개발하였기 때문에, 기존의 CAD 자료나 기타 그리드 자료에 의존했던 미시적 수준의 교통모형이 갖는 한계점을 크게 개선하였다.

본 연구의 한계점도 존재하는데, 모형에 사용된 각종 모수를 보정(calibration)하는데 필요한 관측자료 수집의 한계이다. 특히, 행태모형에 적용되는 차량추종모형의 알고리즘 모수는 외국의 문헌을 통해 검증된 수치를 사용했다. 그러나 외국과 국내의 도로환경에는 반드시 차이가 있을 것으로 판단되며, 이러한 차이점을 극복하기 위해서는 모형에 사용된 모수를 국내 실정에 맞게 보정하는 작업이 필요하다. 또한 실험적 수준의 본 모형의 실효성을 강화하기 위해서는 상용화된 수준의 타 모형과의 비교 평가 연구가 수행되어야 하며, 다양한 도로의 기하구조에 따른 시뮬레이션의 정확도 평가에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

## References

- [1] FHWA, 1996, CORSIM user manual version 1.01, McLean, Virginia.
- [2] Hamm, J. 2010, The Optimization of a Street Network Model for Emergency Response Analysis within a Geographical Information System, MA, San Diego State Univ.
- [3] Herman, R; Montroll, E. W; Rothery, R. W. 1959, Traffic dynamics: Analysis of stability in car-following, Operation Research, 1(7):86-106.
- [4] Kim, B; Jeong, M; Jeon, S; Shin, D. 2015, Global

Research Trends on Geospatial Information by Keyword Network Analysis, Journal of Korea Spatial Information Society, 23(1):69-77.

- [5] Korea Institute of Construction Technology, 1994, Development of a Simulation Program for Uninterrupted Flow Facilities(I).
- [6] Korea Institute of Construction Technology, 1995, Development of a Simulation Program for Uninterrupted Flow Facilities(II).
- [7] Korea Institute of Construction Technology, 1996, Development of a Simulation Program for Uninterrupted Flow Facilities(III).
- [8] Korea Institute of Construction Technology (KICT), Development of a Traffic Simulation Model Considering Traveler's Decision Making Behavior, 2001.
- [9] May, A. D. 1990, Traffic Flow Fundamentals, New Jersey: Englewood Cliffs.
- [10] Ministry of Science and Technology, 2000, Development of Technique for Evaluating Traffic System Performance.
- [11] Na, Y; Choi, J. 2014, Agent based road control model for micro-level traffic simulation, Journal of Korea Spatial Information Society, 22(2):89-97.
- [12] Seoul Metropolitan Government, 2010, Travel Speed in Seoul 2009.
- [13] Seoul Metropolitan Police Agency, 2010, Traffic Volume Survey in Seoul 2009.
- [14] Subramanian, H. 1996, Estimation of a car-following model for freeway simulation, MA, MIT Univ.
- [15] Yang, Q. 1997, A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems, Ph. D, MIT Univ.

---

Received : 2015.04.09

Revised : 2015.08.21

Accepted : 2015.08.26