

## 차량 동역학을 이용한 멀티에이전트 기반 교통시뮬레이션 개발 I : 교통 환경 개발

조기용<sup>1)</sup> · 권성진<sup>1)</sup> · 배철호<sup>1)</sup> · 서명원<sup>2)</sup>

성균관대학교 대학원 기계공학부<sup>1)</sup> · 성균관대학교 기계공학부<sup>2)</sup>

### Multi-Agent for Traffic Simulation with Vehicle Dynamic Model I : Development of Traffic Environment

Kiyong Cho<sup>1)</sup> · Seongjin Kwon<sup>1)</sup> · Chulho Bae<sup>1)</sup> · Myungwon Suh<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduated School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 13 April 2004 / Accepted 9 July 2004)

**Abstract** : The validity of simulation has been well-established for decades in areas such as computer and communication system. Recently, the technique has become entrenched in specific areas such as transportation and traffic forecasting. Several methods have been proposed for investigating complex traffic flows. However, the dynamics of vehicles and their driver's characteristics, even though it is known that they are important factors for any traffic flow analysis, have never been considered sufficiently. In this paper, the traffic simulation using a multi-agent approach with considering vehicle dynamics is proposed. The multi-agent system is constructed with the traffic environment and the agents of vehicle and driver. The traffic environment consists of multi-lane roads, nodes, virtual lanes, and signals. To ensure the fast calculation, the agents are performed on the based of the rules to regulate their behaviors. The communication frameworks are proposed for the agents to share the information of vehicles' velocity and position. The model of a driver agent which controls a vehicle agent is described in the companion paper. The vehicle model contains the nonlinear subcomponents of engine, torque converter, automatic transmission, and wheels. The simulation has proceeded for an interrupted and uninterrupted flow model. The result has shown that the driver agent performs human-like behavior ranging from slow and careful to fast and aggressive driving behavior, and that the change of the traffic state is closely related with the distance and the signal delay between intersections. The system developed shows the effectiveness and the practical usefulness of the traffic simulation.

**Key words** : Vehicle dynamics(차량동역학), Multi-agent(멀티에이전트), Traffic simulation(교통 시뮬레이션), Virtual driving lane(가상주행라인), Agent simulation(에이전트 시뮬레이션)

### 1. 서론

교통의 대상이 되는 것은 보통 사람과 물건의 이동이다. 이때 고려되어야 할 것은 교통에는 인간의

의사가 포함된다는 것이다. 단순히 물이 흐르거나 공기가 이동하는 것은 자연계의 물리적 현상이지 교통이 아니다. 즉 교통은 인간의 욕망과 의지를 동반하고, 특정한 목적을 달성하기 위해 파생적으로 발생하는 성질을 가지고 있다. 의식주에 더하여 교통은 인간이 가지는 기본적 요건중의 하나이며,

\*To whom correspondence should be addressed.  
suhmw@yurim.skku.ac.kr

교통 이동이 지역의 경제와 사회의 발전을 초래한다. 이러한 교통이 일상생활에 미치는 영향이 크기 때문에 그 시설의 정비는 이용자의 효용을 고려하고, 기능적으로 효율적으로, 그러면서 환경과의 조화를 고려하여 진행되어야 한다.

교통의 편의성의 분석과 교통 계획을 위한 교통 공학의 연구는 1926년경부터 본격적으로 시작되었다. 교통 용량에 관한 이론적인 연구는 1950년대에 들어가면서 시작되었다.<sup>1)</sup> 이론적인 방법론이라 하는 것은 어느 가정에 기반을 둔 모델 식에서 교통량, 속도 및 밀도의 관계를 도출하고 최대 교통량을 계산하는 것이다. 이에 따른 방법으로 유체역학모델에 의한 방법과 추종이론에 의한 방법으로 나뉜다.<sup>2)</sup> 이러한 이론들의 전제가 현실의 현상을 충실히 반영하고 있는 것이 아니고 도로 용량은 다양한 요인이 복잡하게 연계되어있는 것이기 때문에 실제 용량을 단순하게 결정하는 것에는 문제가 있다. 이를 극복하기 위해 확률 통계 이론에 의한 접근법이 개발되어 병목현상, 합류현상 등을 효과적으로 기술하였다.<sup>3,4)</sup> 교통 용량의 연구는 주로 도로의 특정 부분의 계획 설계와 운용 관리를 목적으로 진행되어 왔지만, 교통은 동적인 것으로 어느 특정부분의 교통이 해소되어도 그 영향이 다른 장소로 이동전하여 새로운 문제를 발생시키기 때문에 네트워크로써 도로망 전체의 교통 현상을 다루는 연구가 필요 된다. 그에 따라 단계추정법, 기회모델 등의 OD교통양추정법과 전환류 곡선 등의 경험규칙에 기반을 둔 배분법 등이 사용된다.<sup>5)</sup> 최근에는 이들 방법론에 더하여 개별 교통 행동을 기술하는 동적 접근법이 활발히 연구되고 있다. 그 배경이 되는 것은 정보 기술의 진전에 있다. 즉, 시시각각 변화하는 교통 수요를 동적으로 추정 파악하고 관리 유도를 효과적으로 실시하고, 기존의 교통 시설을 합리적으로 운용하는데 그 목적을 두고 있다. 이러한 기술의 대표적인 것으로써 ITS(intelligent traffic systems)가 있다.<sup>6,7)</sup>

최근의 도시 교통에 대한 계획의 주요한 과제는 교통 정체를 완화하기 위한 도로망의 정비와 ITS 등의 최신의 정보처리 기술의 도입이다.<sup>8)</sup> 이들 정책은 거대한 비용이 들고, 일단 실행되면, 비록 생각하지

못한 악영향이 미치는 것이 판명되어도 개선을 하는 것이 매우 곤란하다. 따라서 정책의 실시 이전에 그 정책이 도로 교통에 미치는 영향을 평가하고 최적의 해법을 선택해야 한다. 하지만 지금까지 개발된 상용 툴로써 교통 시뮬레이션은 충분한 정밀도를 가지고 있지 못하다.<sup>9)</sup> 예를 들면 고속도로를 건설했을 때 고속 도로망상의 교통 영향 평가는 할 수 있지만, 그 정책이 일반 도로의 교통 흐름에 미치는 영향 등을 평가 할 수는 없다. 현재 교통 시뮬레이션에 대한 요구는 미시적(Micro) 통합형 시뮬레이션이다.<sup>10)</sup> 즉, 시가지 등의 교통류를 분석하기 위해서 차량의 움직임을 미시적 관점에서 시뮬레이션하고, 도시 전역은 거시적(Macro) 관점에서 시뮬레이션해야 한다.

본 연구는 차량 동역학을 이용하여 멀티에이전트(Multi-Agent, MA)<sup>11)</sup> 기반 교통 시뮬레이션을 개발하는 것으로 교통 환경 개발과 차량 및 운전자 에이전트 개발<sup>12)</sup>로 구성되었다. 본 논문은 교통 환경 개발에 주안점을 두고 작성되었다. 교통 시뮬레이션이 가져야 할 요구 분석을 통하여 멀티 에이전트 기반 교통 시뮬레이션을 개발하였다. 그에 따른 에이전트, 노드, 링크, 가상 주행레인 등을 정의하고 구축하였으며 에이전트, 환경 사이의 각종 규칙 및 통신 규약을 정의하였다. 마지막으로 구축된 교통 시뮬레이션을 바탕으로 연속류와 단속류에 대한 시뮬레이션을 수행함으로써 개발된 교통 환경을 검증하였다.

## 2. 교통 시뮬레이션 요구 분석

교통 시뮬레이션은 실제 상황을 모사하고, 다양한 상황을 연출해야 하며, 실차 실험의 위험성을 감소시켜야 한다. 운전자 및 차량의 다양성을 나타내며 특정 도로의 특성 표현이 가능해야 한다. 또한 계산량의 감소를 통한 신속하고 신뢰성 있는 결과를 도출해야 한다. 또한 차량 동역학을 이용한 차량 모델을 이용하여 현실적인 시뮬레이션을 수행해야 한다. 이러한 다양한 요구에 부합하는 교통 시뮬레이션 개발이 요구된다. 교통 시뮬레이션이 가져야 하는 요건을 분석하면 Fig. 1과 같다.

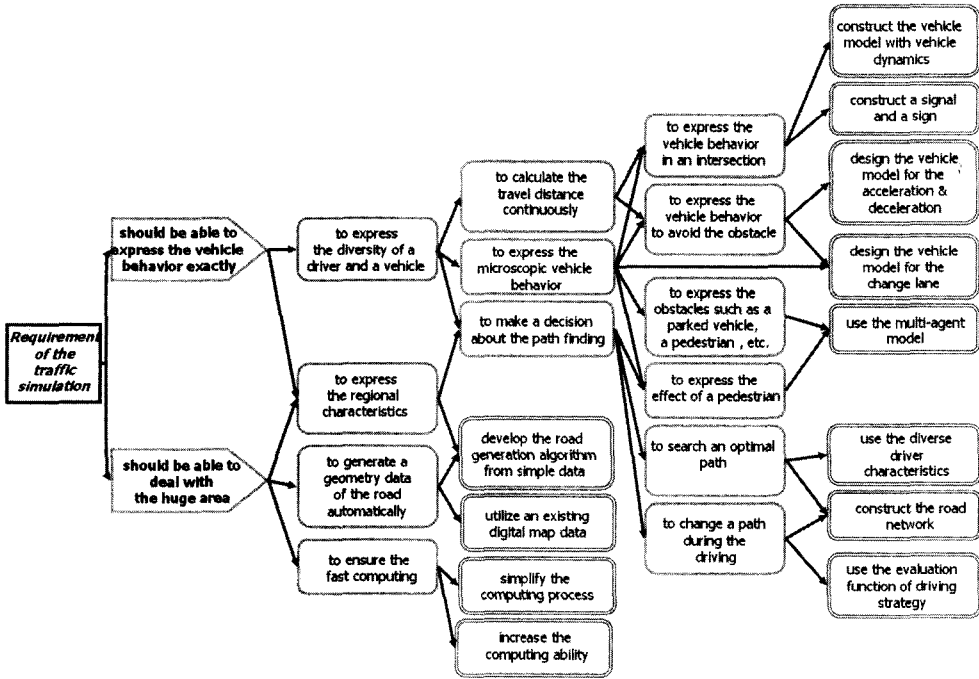


Fig. 1 Requirement of the traffic simulation

### 3. 멀티 에이전트 시스템

본 논문에서는 거시적 방법과 미시적 방법의 복합적인 관점에서, MA를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 자동차 및 운전자 에이전트와 그에 따른 환경(도로, 신호등)을 구현하여 MA 모델에 의한 교통 시뮬레이션 방법을 제시하고, MA에 대한 성능 평가를 수행하였다. 또한 단속류 모델에 적용하여 거시적 관점의 특성 및 미시적 관점의 시뮬레이션 타당성을 검증하였다. MA 시스템은 에이전트, 환경 및 규칙으로 구성된다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 에이전트는 에이전트 및 오브젝트로 구성된 환경을 인식하고 그에 따른 행동을 취하게 된다. 이 장에서는 에이전트와 환경에 관하여 설명하였다.

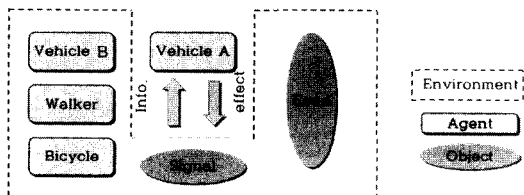


Fig. 2 Relation between the agent and environment

### 3.1 에이전트

기존의 통계적으로 값을 조사하고, 그것을 바탕으로 교통 시뮬레이션을 행하는 기법은 고속 도로 등과 같이 차량의 거동이 비교적 단순한 대상에 대해서는 좋은 결과를 도출하며, 정체 발생 과정을 재현하는 것이 가능하다. 그러나 도심지와 같은 단속류에 대해서는 교차로에서의 차량의 거동, 주·정차 차량, 끼어들기 차량 등 다양한 요소를 고려할 수 없기 때문에 시가지 교통을 정확하게 모사할 수 없다. 시가지에 대해서는 여러 차량의 상호 작용에 의해 교통 정체 등의 상태가 발생하기 때문에 복합계 현상으로 다루어야 한다. 이러한 복합계로써 교통 현상을 다루기 위해 본 논문에서는 MA 시스템을 제안한다. Fig. 3은 일반적인 에이전트의 개념을 나타낸다. 일반적인 MA 모델에서 에이전트는 간단한 물을 사용하여 단순한 움직임을 한다. 그러나 교통 시뮬레이션에 있어서는 비록 차량의 거동 자체는 단순하지만, 즉 가·감속, 핸들링 및 방향지시의 4가지 행위로 나타나지만, 어떤 행위를 할 것인가에 관해서는 단순한 조건 반사적인 규칙에 의해 표현될 수 없다. 예컨대, 선행 차량의 브레이크 램프가 점멸하

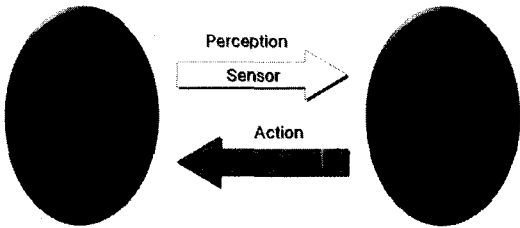


Fig. 3 Configuration of the agent

면 브레이크를 밟는다는 규칙을 정할 수 있지만, 이 규칙이 항상 유효하지는 않다. 운전자의 성향에 따라 차선을 변경하여 주행을 계속할 수도 있기 때문이다. 이와 같은 이유에서 본 논문에서는 지식 에이전트를 사용하여 자율성을 가지는 운전자 및 차량 에이전트를 구성하였다. 지식 에이전트에 관한 개발은 운전자 에이전트 개발에 기술하였다.

### 3.2 환경

교통 시뮬레이션을 MA로 구축할 때 다른 MA 시뮬레이션과 차이점은 크게 두 가지이다. 첫째, 일반적인 MA형의 시뮬레이터는 보통 100 미만의 에이전트가 존재한다. 하지만 교통 시뮬레이션에서는 최소 수백에서 최대 수십만의 에이전트가 동시에 존재한다. 따라서 처리 속도가 확보되어야 한다. 둘째, 에이전트의 이동 가능 공간이다. 가령 축구 시뮬레이션<sup>13)</sup>을 생각해 보면, 에이전트는 2차원 공간을 자유롭게 이동할 수 있다. 하지만, 교통 시뮬레이션의 차량 에이전트는 도로라고 하는 제약된 공간에 따라 이동한다. 따라서 차량 에이전트의 위치를 정확하게 기술할 수 있는 정량성을 확보해야 한다. 이상과 같은 조건에 따라 환경은 객체지향 도로 모델<sup>14)</sup>로 개발되었다.

#### 3.2.1 도로 네트워크(Road Network)

도로 환경은 물리적으로 차량이 이동하는 공간으로 구축하는 방법과 도로가 네트워크<sup>15)</sup>를 형성하고 있어 목적지까지 이동하기 위해 그 네트워크상을 이동한다는 개념으로 구축하는 두 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 네트워크적인 개념으로 도로를 구축하였다. 네트워크에는 노드와 링크라는 개념이 적용된다. 즉, 교차로는 노드로, 교차로를 잇는 도로는 링크에 대응된다. 도로에 이 개념을 적용하면

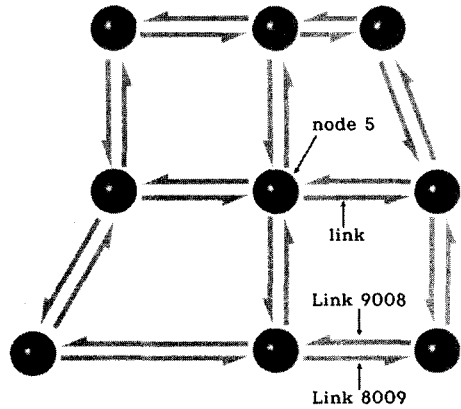


Fig. 4 Concept of the road network

Fig. 4로 나타낼 수 있다.

#### 3.2.2 노드(Node)

노드는 이웃 노드와 연결 정보를 가진다. 예를 들어 Fig. 4의 노드 5는 노드 2, 4, 6, 8과 이웃한다. 노드 번호는 고유한 번호로 초기에 입력 받는다.

노드의 기하학적인 형태는 이웃하는 노드의 개수와 위치에 따라 결정된다.

- 1) 십자형 노드(Intersection): 이웃하는 노드가 4개일 경우 십자형 노드라 하며, 기하학적인 외형은 각 이웃 노드들의 교점인 4개의 boundary point로 이루어진다.
- 2) T자형 노드(T-Junction): 이웃하는 노드가 3개일 경우 T자형 노드라 하며, 기하학적인 외형은 가상의 노드를 만들어 십자형 노드와 같이 구성한다.
- 3) 접속 노드(Connection node): 이웃하는 노드가 2개일 경우 접속 노드라 하며, 도로의 기하학적인 형태를 나타내기 위해 사용된다. 기하학적인 외형은 가상 노드를 두 개 만들어 십자형 노드와 같이 구성한다. 표 1은 노드의 기하학적 형태를 나타내고 있다.

#### 3.2.3 링크(Link)

일반적으로 링크는 방향성에 따라 유향(有向)의 링크와 무향(無向)의 링크로 구분된다. 도로 네트워크에 적용되는 링크는 방향성이 있는 유향의 링크이다. 링크는 시점(始點)의 노드와 종점(終點)의 노드 ID를 이용하여 나타낸다. 예를 들어 Fig. 4에서 링크 ID는 진행방향에 따라 식 (1)과 같이 계산된다.

Table 1 Methods of construction by types of the node

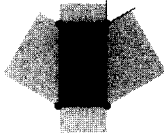

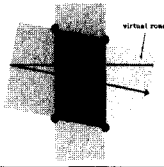
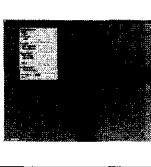
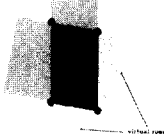
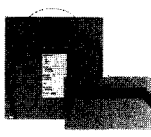
node type	methods of construction	result of construction
십자형 노드 (Intersection)		
T자형 노드 (T-Junction)		
접속 노드 (Connection node)		

Table 2 Data of the link 8009

Item	data
ID	8009
starting node ID	8
ending node ID	9
number of lane in the starting node	2
number of lane in the ending node	2
types of turn in the ending node	1(1:none, 2: left turn, 3: U turn, 4: left + U turn)
number of turning lane	0

$$\text{link ID} = (\text{start\_node ID}) \times 1000 + (\text{end\_node ID}) \quad (1)$$

즉, 링크 8009는 노드 8에서 노드 9로 진행하는 도로를 나타낸다. 링크 9008은 노드 9에서 node 8로 진행하는 도로로, 링크 8009의 중앙선 반대 차로가 된다. 아울러 링크가 가지는 정보는 표 2와 같다.

### 3.2.4 가상 주행 레인(Virtual Driving Lane)

각각의 차량은 물리적으로 허락된 도로 평면 위를 자유롭게 주행할 수 있다. 이러한 운전 조작은 크게 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 1) 조향 및 차선 변경
  - 2) 가·감속 조작과 그 결과의 속도 변화
  - 3) 방향 지시등 및 음향에 의한 정보 전달
- 이 중에서 조향은 차량 운전 모델의 치밀성 및 조

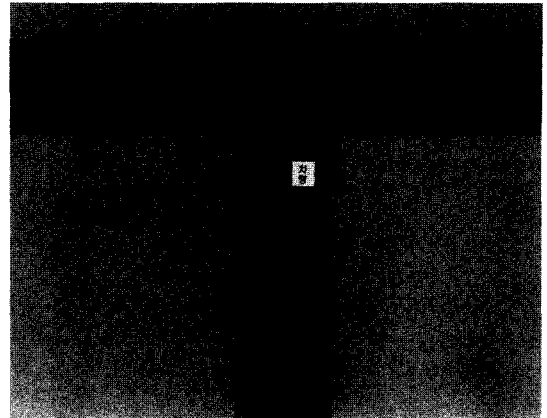


Fig. 5 Virtual driving lane

향에 의한 계산량의 증가 억제를 위해 도로에 조향의 개념을 포함하도록 하였다. 즉, 차량은 운전 시 Fig. 5와 같이 철도와 유사하게 차량의 예정 주행 궤적을 따라 주행한다. 이 예정 주행 궤적을 『가상 주행 레인』이라 한다. 가상 주행 레인에 의해 차량은 조향을 생략하는 것이 가능하다. 또한, 가상 주행 레인은 도로의 형상 정보, 레인 정보를 포함하기 때문에 운전 시 필요한 도로의 정보와 표지판 정보 등을 제공하는 것이 가능하다. 링크 내에서 가상 주행 레인은 바깥쪽에서부터 순차적으로 ID를 부여한다. 노드 내에서는 경계점(boundary Point)의 ID에 따라 시점과 종점의 순서에 따라 작성된다. 경계점에 관해서는 다음 절에 기술한다.

### 3.2.5 교차로 내 경계점의 연결

도로 네트워크에서 교차로의 연결 정보를 정의하는 방법은 『경계(boundary)』라는 개념을 도입하는 것이다. Fig. 6을 보면 교차로 노드 5는 노드 2, 4, 8, 6과 연결된다. 따라서 경계 0은 노드 2와, 경계 1은 노드 4와, 경계 2는 노드 8과, 경계 3은 노드 6과 연결된다. 이렇게 함으로써 도로 네트워크에 관한 정보, 각 도로의 위치 관계, 접속 관계, 각 도로내의 레인의 위치 관계, 접속 관계가 일반적으로 정의될 수 있다. 경계점(boundary point)은 경계면에서 가상 레인이 통과하는 점으로 바깥에서 중앙선 방향으로 순차적으로 증가한다. Fig. 7은 경계점을 나타낸다.

링크내의 가상 주행 레인 ID는 진행방향의 차선의 가장 바깥부터 순차적으로 0, 1, ..., F까지 16진수

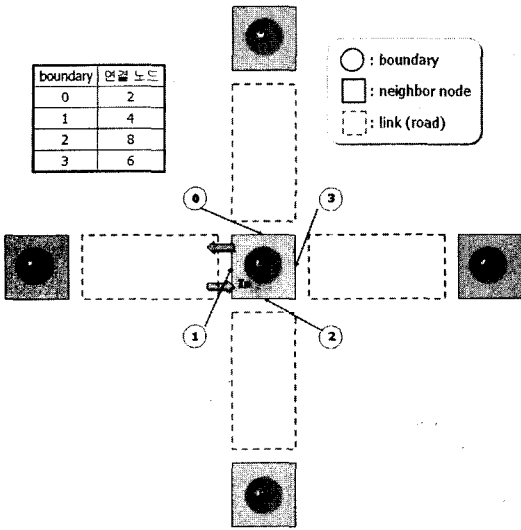


Fig. 6 Definition of the boundary

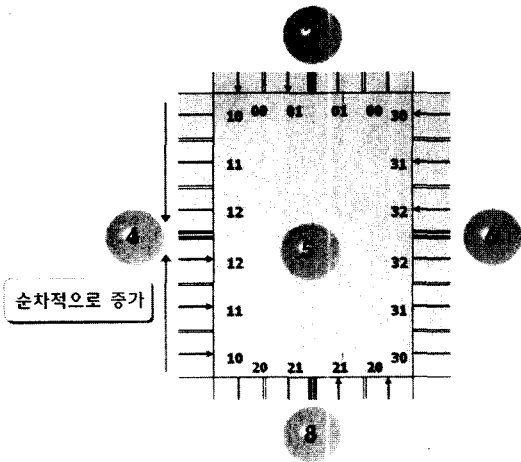


Fig. 7 Definition of the boundary point

로 ID의 1000의 자리를 부여한다. 또한 진행 방향으로 세 부분으로 나누어 각각 0, 1, 2의 숫자를 1의 자리에 부여한다. 예로 그림의 가장 바깥 차선은 0000, 0001, 0002의 ID를 가진다. Fig. 8은 링크 내에서 가상 주행 레인을 작성 하는 방법을 나타낸다. 노드내의 가상 주행 레인 ID는 시점, 종점의 순서에 의해 작성된다. 예를 들어, point 12에서 point 32로 진행하는 가상 주행 레인의 ID는 1232가 된다. Fig. 9는 노드 내의 가상 주행 레인 작성 방법이다. Fig. 6을 보면 교차로(노드 5)에서 이웃 노드 2, 4, 6, 8로 도로가 있고, 경로 탐색은 교차로5에서 노드 2, 4, 6, 8로 탐

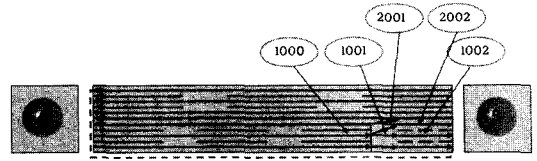


Fig. 8 Numbering of the virtual driving lane in the link

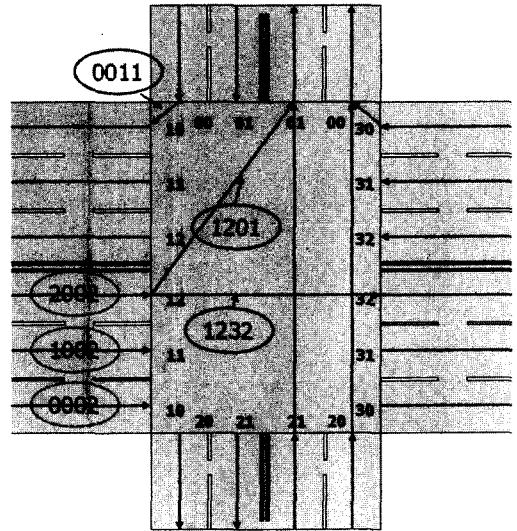


Fig. 9 Numbering of the virtual driving lane in the node

색이 이루어진다. 가령 노드 4로부터 교차로 5를 통하여 노드 2로 향하는 경로가 선택되었다고 한다면, 다음에 필요한 것이 교차로 5 내의 어느 레인을 통하여 선택한 경로를 추종할 것인가를 결정하는 것이다. 즉, 교차로 5의 경계 1에서 유입되어 경계 0으로 진행해야 한다. Fig. 7에 나타난 경계점(boundary point) 정의와 Fig. 8과 Fig. 9를 참고하면, 가상레인 ID 1201를 추종해야 함을 알 수 있다. 또한 이 레인이 직진인지, 좌회전인지, 우회전인지는 만약 십자형 교차로라면, 경계 ID로부터 1에서 0으로 역방향이기 때문에(0에서 1이 순방향) 좌회전임을 알 수 있다. 만약 경계 ID 1에서 2의 방향이라면, 우회전임을 쉽게 알 수 있다. 이렇게 『경계(boundary)』라는 개념을 도입하여 교차로간의 연결 정보와 교차로 내 가상 주행 레인에 관한 정보를 정의하였다.

### 3.2.6 신호(Signal)

신호기에 의해 교통류를 제어하는 것을 교통 신호 제어라고 한다.<sup>16)</sup> 교통 신호 제어의 목적은 교차

하는 교통류에 대해서 교통 양에 대한 시간 비율로 통행권을 할당하고, 원활하고 질서 있는 교통류를 형성하는 것이다. 본 연구에서는 고정 주기 제어 방식, 단독 제어 및 계통 제어를 수행하였다.

### 4. 규칙

에이전트가 행동을 하기 위한 사고 과정의 각 단계에서 결정을 할 수 있는 조건들이 규칙(rule)<sup>17)</sup>이다. MA 기반 교통 시뮬레이션에서 규칙은 에이전트와 에이전트 사이, 에이전트와 환경 사이, 환경과 환경 사이로 나눌 수 있다.

#### 4.1 에이전트와 에이전트 사이의 규칙

차량과 차량 사이의 규칙에는 다음과 같은 것이 있다.

- 1) 감속할 때는 브레이크 램프를 점멸한다.
- 2) 차선을 변경할 때는 방향 지시등을 점멸한다.
- 3) 주차 중에는 경고등을 점멸한다.
- 4) 교차로에서는 직진 차량이 우회전 차량보다 우선한다.
- 5) 차선 변경은 차량의 움직임과 위치에 따른 조건을 따른다.
- 6) 『양보지수(Yielding Index)』가 높은 차량이 먼저 양보를 한다. 모든 차량은 일정한 양보지수를 가지고 있다. 이 값은 무작위로 0에서 100 사이의 정수로 주어지며, 차선 변경 시 양보지수가 높은 차량이 먼저 양보를 한다.

##### 4.1.1 차량 간 통신 구조

차량 간 규칙에 따라 에이전트의 행동이 결정되기 때문에 에이전트간의 정보 전달이 필요하다. 따라서 차량 간의 정보의 규약을 정의해 둘 필요가 있다. 이것을 차량 간의 통신 구조이라고 한다. 표 3과 같이 정의하였다.

#### 4.2 에이전트와 환경 사이의 규칙

에이전트와 환경, 즉 차량과 도로 사이의 규칙은 교통 규칙이다. 예컨대, 도로의 신호가 빨간기라면 차량은 정지해야 한다. 본 연구에 적용한 교통 규칙은 다음과 같다.

Table 3 Definition of the communication framework in agents

항목	변수 이름	형
방향 지시 등	blinker	0: 미 점등, 1: 우, 2: 좌, 3: 경고
브레이크 등	break	true: 점등, false: 미 점등
속도	velocity	실수형(m/ms)
도로의 ID	streetID	정수형
교차로의 ID	nodeID	정수형
레인의 ID	laneID	정수형
차선변경 중	isShifting	true: 차선변경 중, false: 차선변경 없음
차량의 길이	bodyLength	실수형
차량의 폭	bodyWidth	실수형
차량의 높이	bodyHeight	실수형
양보 지수	yieldValue	정수형(0~100)
기질 지수	characterValue	정수형(2~10)

Table 4 Definition of the communication framework between agent and environment

항목	변수 이름	형
신호	color	0:green, 1: yellow, 2: red, (3: left-direction)
정지선 위치	lengthOfST	레인끝점까지의 길이, 실수형(m)
제한 속도	speedLimit	실수형(m/ms)
교차로내의 레인의 진행방향	direction	0: 직진, 1: 우회전, 2: 좌회전, 3: 유턴

- 1) 신호가 적색이면 교차로 진입금지.
- 2) 교차로에 정체된 차량이 있다면 진입금지.
- 3) 차량은 우측으로 주행.
- 4) 역방향으로 주행금지.
- 5) 우회전시 직진 차량을 방해금지.
- 6) 주행 중인 도로의 제한 속도 초과 금지.
- 7) 차량은 가상 주행 레인 상에서만 주행.

##### 4.2.1 환경 사이의 통신 구조

차량과 환경 사이의 규칙은 대부분 환경인 도로로부터 정보를 차량에 전달하는 것이다. 따라서 그에 따른 통신 구조를 정의할 필요가 있다. 차량과 환경 사이의 통신 구조는 표 4와 같이 정의하였다.

#### 4.3 환경과 환경 사이의 규칙

환경과 환경 사이의 규칙은 도로 환경 가운데 신호기 사이의 정보 교환과 제어에 관한 것이다.

### 4.3.1 환경과 환경 사이의 통신 규약

환경 사이의 통신 구조의 정의는 표 5와 같다.

Table 5 Definition of the communication framework in environments

항목	변수 이름	형
차량의 밀도	density	실수형(차량 수/m)
평균속도	avrVelocity	실수형(m/ms)
평균 지체 시간	avrDelayTime	실수형(ms)
평균 여행 시간	avrTravelTime	실수형(ms)
offset	offset	실수형(ms)

## 5. 도로 네트워크 시뮬레이션

교통 시뮬레이션을 수행하기 위해서 가장 선행되어야 할 일은 도로 네트워크를 구축하는 것이다. 도로 시뮬레이션을 위해 구축된 도로 네트워크는 Fig. 10과 Fig. 11과 같으며, 각각 단속류와 연속류 모델을 나타낸다.

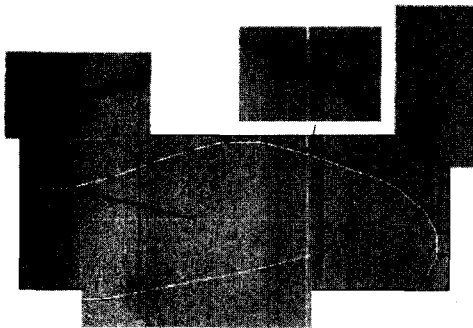


Fig. 10 Uninterrupted flow model

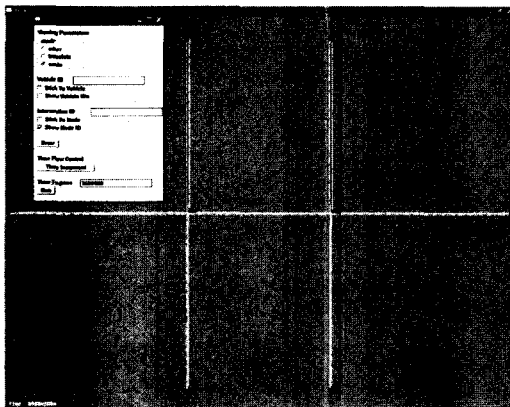


Fig. 11 Interrupted flow model

## 5.1 연속류 모델에 대한 에이전트 거동 시뮬레이션

본 절에서는 고속도로와 같은 연속류에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 도로 조건은 Fig. 10과 같으며, 차량은 상용 차량 모델과 승용 차량 모델로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 승용차량의 감·가속도는 -3m/s<sup>2</sup>~2m/s<sup>2</sup>의 범위로, 상용 차량의 감·가속도는 -3m/s<sup>2</sup>~1.5m/s<sup>2</sup>의 범위로 하였다. 먼저 상용 차량(차량 0)을 출발시킨 후 승용차량(차량 1, 차량 2)을 출발시켰다. 차량 1은 주행 중 차량 0을 추종하게 되고 이때 옆 차선으로 차선 변경이 가능하게 되어 차선 변경을 하여 진행하게 된다. 차량 2는 주행 중 차선 변경하는 차량 1에 의해 감속 후 차선 변경으

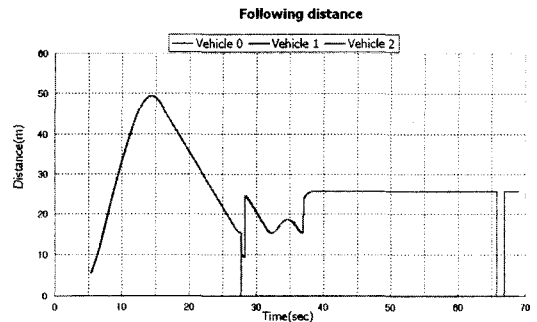
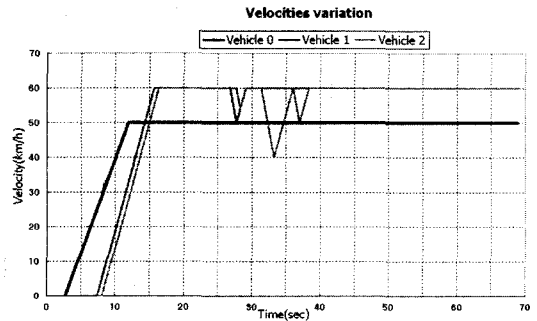


Fig. 12 Simulation results



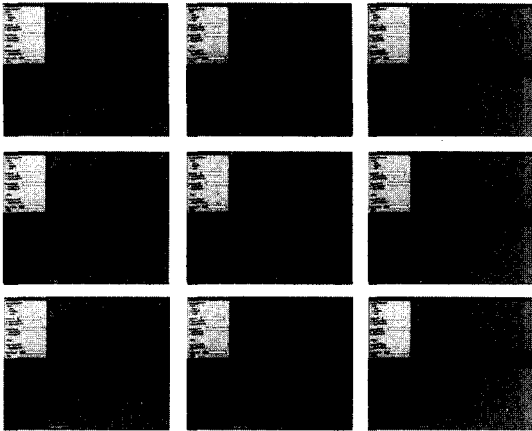


Fig. 13 Display Images of simulation at various times

로 차량 0을 추종하고, 차량 1이 가속함에 따라 차량 1의 차선으로 차선 변경 후 가속하며 차량 1을 추종하였다. 그에 따른 결과 그래프와 시간에 따른 화면을 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다.

### 5.2 오프셋 및 링크 길이 변화에 따른 시뮬레이션

본 연구에서 개발한 교통 시뮬레이션의 궁극적인 목표는 실제의 도로 상황을 효과적으로 모사하여 각종 시뮬레이션을 위한 교통 환경을 개발하는 것이다. 그를 위해 간단한 교차로 모형을 구성하고 신호기의 단독제어 및 계통 제어를 통하여 교통 정체를 최소화하는 오프셋을 찾기 위하여, 오프셋 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 교차로 모형은 Fig. 11과 Fig. 14와 같으며, 신호기의 주기는 표 6과 같다. 시뮬레이션 시간은 1ms로 하였으며, 총 시뮬레이션 시간은 3600초로 하였다. 도로의 제한 속도 ( $u_j$ )는 60km/h, 혼잡밀도( $k_j$ )는 120 veh/km를 적용

하였다. 따라서  $a_{max} = \frac{u_j k_j}{4}$  라는 관계식에 의해 링크의 포화 교통류는 1800 veh/h이다. 교통량(V/C)은 본 시뮬레이션에서 0.65를 나타냈다. 그에 따른 결과는 Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17과 같다. 평균 속도는 링크의 길이가 길수록 높았으며, 링크길이 400m, 600m, 800m에 따라서 오프셋 30초, 60초, 90초순으로 피크점이 나타났다. 또한 차량 밀도는 링크 길이가 길수록 낮았으며, 링크길이 400m, 600m, 800m에 따라서 오프셋 50초, 70초, 90초순으로 최저점이 나

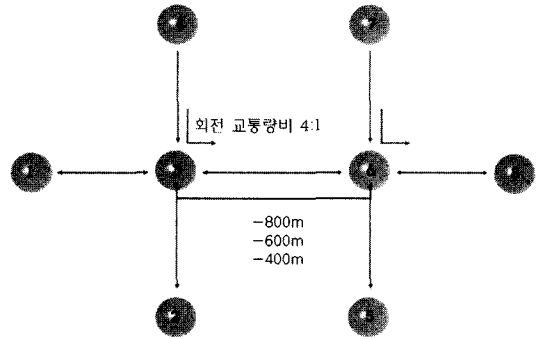


Fig. 14 Condition of the road network for simulation

Table 6 Condition of the signal

교차로	청색	주황색	적색	주기
3	74	2	74	150
6	74	2	74	150

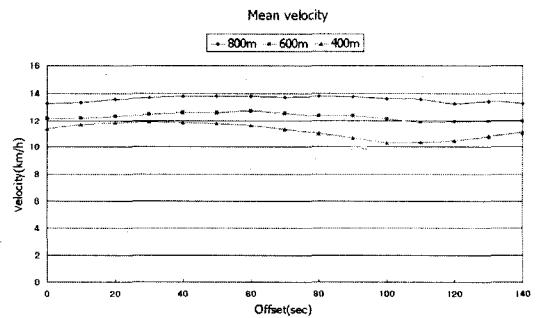


Fig. 15 Average velocity according to offset and length

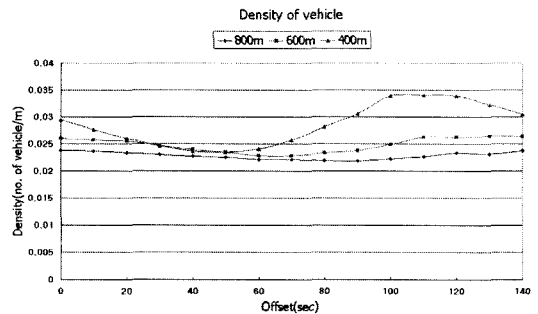


Fig. 16 Density of vehicle according to offset and link length

타났다. 지체 차량 밀도 역시 링크 길이가 길수록 낮았으며, 링크길이 400m, 600m, 800m에 따라서 오프셋 50초, 70초, 90초순으로 최저점이 나타났다. 따라서 교차로 사이의 길이가 짧으면 짧을수록, 오프셋 변화에 대하여 민감하게 지체차량의 밀도가 변하는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 교차로 사이의 거리가

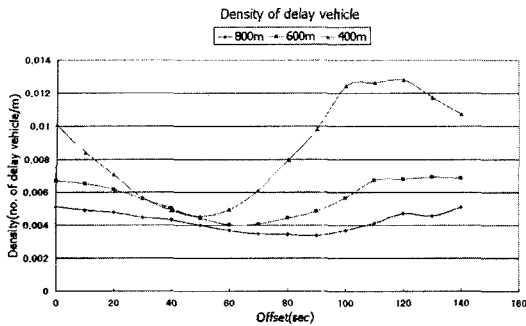


Fig. 17 Density of delay vehicle according to offset link length

떨수록 평균 속도의 변화가 적어서 어느 정도 일정한 교통 흐름을 이루는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 동역학을 이용한 MA 기반 교통 시뮬레이션을 개발하기 위한 환경 요소를 개발하였다. 그에 따른 에이전트와 환경을 개발하였다. 환경은 도로와 신호기로 구성되었으며, 각종 규칙을 정의하였다.

개발된 시스템을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) MA 기반 교통 시뮬레이션을 위한 환경을 개발하였다.
- 2) 연속류 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 타당한 결과를 도출하였다.
- 3) 단속류 모델에 대한 교통 시뮬레이션을 위한 도로 네트워크를 구축하였다. 네트워크 기반 도로를 구성하였으며, 노드, 링크를 정의하였다.
- 4) 가상 주행 레인을 정의하였으며, 이를 바탕으로 경로 설정, 선택에 대한 시뮬레이션 효율을 높였다.
- 5) 에이전트, 환경 사이의 각종 규칙을 정의하였으며 통신 구조를 정의하였다.
- 6) 교통 시뮬레이션을 위한 기반을 구축하였다.
- 7) 단속류 모델에 적용하여 구축된 시스템의 타당성을 검증하였다.

이러한 연구 결과를 이용하여 교통 인프라(환경)의 다양한 조건에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한다면 실제 환경의 구축 전 효율적인 환경 설계를

할 수 있으며, 구축 후에 환경 개선에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원 및 두뇌한국21 사업의 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## References

- 1) T. Nakanishi, K. Yikai, J. I. Satoh, I. Miyoshi, A. Satoh, M. Takahashi, "The Development of a Road Traffic Simulation System in Broad Areas," *Mathematics and Computers in Simulation* Vol.39, pp.207-212, 1995.
- 2) Y. I. Lee, S. S. Choi, "Estimation of A Car-following Model for Microscopic Simulation Model Based on GM 5th Model," *Journal of Transportation Research Society of Korea*, Vol.018, No.006, pp.47-61, 2000.
- 3) C. S. Jung, "Probabilistic & Economic Factors in Highway Geometric Design : A Climbing Lane Example," *Journal of Transportation Research Society of Korea*, Vol.008, No.002, pp.109-118, 1990.
- 4) S. J. Lee, J. D. Lee, "Analysis of Traffic Flow on Weaving Sections Using Stochastic Models," *Journal of Transportation Research Society of Korea*, Vol.017, No.005, pp.137-149, 1999.
- 5) T. Yoshii, M. Kuwahara, "Estimation of a Time Dependent OD Matrix from Traffic Counts using Dynamic Traffic Simulation," *8th World Conference on Transportation Research*, 1998.
- 6) K. S. Chang, J. S. Choi, "Autonomous Intelligent Cruise Control Using the Adaptive Fuzzy Control," *Transactions of KSAE*, Vol.10, No.1, pp.175-186, 2002.
- 7) M. W. Suh, Y. J. Moon, K. H. Yoon, S. J. Kwon, K. Y. Cho, E. P. Lee, K. W. Kim, Y. I. Choi, "A Study on the VR Simulation of the Adaptive Cruise Controlled Vehicles," *2003 KSAE Spring Conference Proceedings*, Vol.1,

- pp.632-638, 2003.
- 8) Q. Yang, H. N. Koutsopoulos, "A Microscopic Traffic Simulator for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems," *Transportation Research*, Vol.4C, No.3, pp.113-129, 1996.
  - 9) D. P. Watling, "Urban Traffic Network Models and Dynamic Driver Information Systems," *Transport Reviews*, Vol.14, No.3, pp.219-246, 1994.
  - 10) K. Yokochi, "Development of Microscopic Traffic Simulator for AHS Evaluation," *Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Toronto, 1999.
  - 11) S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp.347-384, 1995.
  - 12) K. Y. Cho, C. H. Bae, S. J. Kwon, M. W. Suh, "Vehicle Dynamics Approach to Multi-Agent for Traffic Simulation. II: Development of Vehicle and Driver Agent," *Transactions of KSAE*, Accepted, 2004.
  - 13) T. Shimogawa, "Multi-agent Simulation in Random Game Generator," *LECT NOTES COMPUT SC 2809*: pp.83-91, 2003.
  - 14) J. R. Rumbaugh, M. R. Blaha, W. Lorensen, F. Eddy, W. Premerlani, *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, Inc., pp. 146-350, 1991.
  - 15) R. Horiguchi, M. Kuwahara, "Verification Process and its Application to Network Traffic Simulation Models," *Journal of Advanced Transportation*, Vol.35, No.3, Special Issue of ITS, 2002.
  - 16) I. Okura, *Traffic Engineering*, Corona Publishing Co., Ltd., Tokyo, pp.219-241, 1993.
  - 17) C. S. Krishnamoorthy, S. Rajeev, *Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers*, Boca Raton: CRC Press, pp.135-250, 1996.