▣ 論 文 ▣

교통대응 신호제어전략의 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 원형 개발

Development of a Micro-Simulator Prototype for Evaluating Adaptive Signal Control Strategies

이 영 인
(서울시립대학교 건축도시조경학부 교수)

김 이 래
(현대정보기술(주) SI2사업부)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 기존 연구의 검토 및 아이디어 도출
1. 각 모의실험 모형의 고찰
2. 모의실험기의 수행구조
3. 모형의 한계 및 아이디어 도출
Ⅲ. 본 모의실험기의 기본 구조 개발
1. 프로그램의 수행체계
2. 진행원리 및 구성
3. 주요구성 모듈
4. 검증 및 평가
Ⅴ. 첨단신호알고리즘의 적용
1. 독립교차로의 설정 및 검지자료 수집
2. 주요 적용 모듈
3. 기존 TOD 방식과 비교 및 평가
Ⅵ. 결론 및 향후연구과제
참고문헌
부록

Key Words : 미시적 모의실험 모형, 모의실험기(simulator), 독립교차로 실시간 제어, 교통대응제어(adaptive control), 검지기

요 약

본 연구에서는 국내 일부지역에 운영중인 첨단신호제어시스템(COSMOS)의 효율성을 평가할 수 있는 미시적(microscopic) 모의실험기(simulator)의 원형(prototype)을 개발하였다. 이 모의실험기의 개발은 원형적인 형성을 목표로 차량의 이동방식과 모듈적용체계 그리고 첨단신호알고리즘 중 독립교차로 실시간제어의 기능을 개발모형의 범위로 하였으며 구체적인 개발 사항은 다음과 같다. 첫째로, 기본적인 차량진행 외에 부가적인 첨단신호기능을 수행하기 위해서 검지기 체계를 통한 자료수집 및 지역제어기 그리고 센터시스템의 알고리즘의 수행이 필요하므로, 미시적 시뮬레이터의 가장 큰 문제점인 연산속도의 문제는 더욱 대두된다. 따라서 이러한 점을 개선할 수 있도록 소프트웨어적인 측면에서 차량의 이동방식을 공간중심방식으로 구성하여 진행시킬 것과 링크별로 각 수행모듈을 합리적으로 적용하도록 제안하였다. 그리고 차량추종 및 차로변경의 모형의 적용을 포함한 링크의 이원화 적용 제안이 타당한지를 평가하기 위하여 NETSIM모형과 비교를 실시하였다. 둘째로, 이러한 모의실험기의 구조를 기초로 개별차량의 검지자료 수집과 매 주기마다 주기 및 녹색시간을 결정하는 독립교차로 실시간 제어 알고리즘의 구현으로 첨단신호제어의 전략을 평가할 수 있는 가능성을 제시하였다. 마지막으로 독자적인 모의실험기로 발전할 수 있도록 Animation 기능과 다양한 효과척도를 산출하여 종합적인 연구를 수행하였다.

본 연구는 국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발 프로젝트(지정 33-01)의 일부 지원으로 수행되었음.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 도시의 교통혼잡문제를 해소하기 위하여 도로의 확장이나 신도로의 건설에 의한 공급적인 해결책이 한계가 있음을 일찍이 인지하고, 기존의 건설된 도로에 대하여 활용성을 극대화하는 동시에 적극적인 교통운영이 될 수 있도록 도시부 간선도로망에 첨단신호시스템(COSMOS)을 설치 운영 중에 있다.

이 시스템에서는 다양한 상황에 따른 신호제어전략을 수립할 수 있도록 수많은 알고리즘이 사용되고 있다 그러나 이에 대한 꾸준한 개선방안의 노력으로 알고리즘의 실제 적용 전 교통상황을 미리 평가하고 예견할 수 있는 분석 도구, 즉 미시적 모의실험기(Microscopic Simulator)에 대한 개발 노력의 미흡으로 개발자들은 알고리즘 연구에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

컴퓨터를 이용한 미시적 모형은 근본적으로 교통흐름을 개별차량으로 제어하기 위해 여러 단계의 모듈을 포함하고, 그 중에서 몇몇 단계는 정확한 결과를 산출하기 위해서 자체적으로 여러 반복연산과 검색(search)이 필요하기 때문에 장시간의(long time) 연산과정을 필요로 한다. 최근에는 전자기술의 발달로 고성능 컴퓨터와 효율적인 알고리즘을 통하여 보다 넓은 지역과 더 많은 교통량 대한 높은 정도의 분석이 가능할 정도로 놀라운 발전을 가져왔으나, 컴퓨터의 연산속도는 여전히 큰 공통문제(common problem)로 남겨져 있다. 더구나 도로상에 차량진행 외에 부가적인 첨단신호알고리즘을 수행하는 모의실험기의 개발과 분석은 연산속도의 문제를 더욱 가중시키게 된다.

따라서 본 연구에서는 과포화상황에 중점을 두고 있는 한국형 첨단신호시스템의 기능을 수행하며 동시에 연산속도를 개선할 수 있는 미시적 모의실험기의 원형을 개발하였다.

2. 연구의 범위 및 한계

본 연구에 의한 모의실험기의 중점적인 개발사항은 미시적인 접근에서의 차량이동을 위한 연산수행속도 의향상과 첨단신호제어시스템의 일부 기능의 표현으로 모의실험기의 원형 개발에 있으며, 이러한 연구가 수행되기 위해 다음과 같은 내용을 범위로 진행하였다.

첫째로, 연산수행속도 향상은 컴퓨터의 하드웨어적 접근을 제외한 차량진행에 필요한 자료를 빠르게 검색할 수 있는 차량정보 저장방식과 합리적인 모듈적 용체계에 대한 연구를 수행한다.

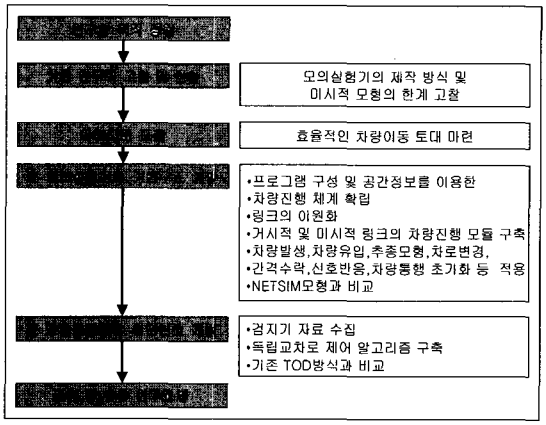
둘째로, 주요모듈(module) 구성은 차량발생, 추종모형(car-following), 차로변경(lane-changing), 신호반응(signal-response), Animation 수행 정도를 기본적인 수준에서 표현한다.

셋째로, 첨단신호제어시스템의 수행에 필요한 많은 알고리즘 중 개별차량 검지자료 수집을 바탕으로 감응제어 및 포화도 산정을 통한 주기 및 녹색시간을 결정하는 독립교차로실시간 제어 알고리즘을 구현한다.

마지막으로, 이러한 내용에 의해 제작되어진 모의실험기에 대하여 단계적인 평가(evaluation)를 실시한다.

3. 연구의 수행과정

다음은 본 연구에서의 개략적인 연구과정 수행도이다(〈그림 1〉 참조).



〈그림 1〉 연구과정 수행도

Ⅱ. 기존 연구의 검토 및 아이디어 도출

1. 각 모의실험 모형의 고찰

1) NETSIM 모형

(1) 모형의 개요

이 모형은 네트워크 내를 주행하는 차량의 운행상

태를 매초단위로 명료하게 모형화 할 수 있는 프로그램으로 이 모형에서 채택하는 기본적인 접근방법은 교통상황을 각 시간 간격별로 재현 및 응용하는 것으로서 수행되는 주요기능들은 포화 교통류 상태하의 복합 네트워크 모의시험, 실시간 수집 자료에 바탕을 둔 동적인 교통류제어, 정주기제어 및 감응제어 전략평가, 신호조건 및 교통여건의 변화에 따른 보정계수 등을 도출해 준다.

NETSIM 모형은 일반적으로 시가지도로망에서 발생하는 상황을 상당히 섬세하게 모의시험 한다. 즉 신호제어 측면에서는 정주기 MULTI-DIAL 및 감응제어까지, 그리고 교통운영적인 측면으로는 버스운영, 장애물, 주차, Spillback, 좌회전 Pocket 넘침 현상 등이 모의시험 된다.

(2) 차량진행 방법

이 모형은 네트워크 내로 진입한 각 차량들의 위치와 시간을 계속하여 추적하며, 차량추종모형은 상황별로 합리적인 적용을 하고 있지만 혼잡한 경우에는 선행차량이 최대 감속도($3m/s^2$)로 정지를 했을 경우 뒤 차량이 충돌하지 않을 수 있는 거리로 선행차량을 추종한다는 단순한 가정으로 진행된다. 즉 다음의 조건을 만족하는 경우 차량은 차량추종의 영향을 받는 영역에서 벗어나 있음을 의미한다.

$$S \geq V_f^2/8 + V_f + 4(ft) \quad (1)$$

$$S \geq 2 \times V_L + V_f + 4 \text{ and } V_L < V_f \quad (2)$$

S : 선행차량과 추종차량의 간격
V_L, V_f : 선행과 추종차량의 속도

차량이 신호교차로에 접근하게 되면 신호가 적색일 때, $1\,ft/\sec^2$의 감속률로 차량의 속도가 10%정도 하락할 때까지 감속하는데, 차량이 정지할 때까지는 $7\,ft/\sec^2$의 감속비율이 적용된다.

신호가 황색으로 바뀔 때 차량이 정지선으로부터 정지하기에 충분한 거리에 있으면 정지선에 정지하며, 그렇지 않으면 계속 진행한다. 신호가 적색에서 녹색으로 바뀌면 대기행렬에 있던 첫 번째 차량은 출발손실시간을 갖게 되며, 차량이 자유속도에 도달 할 때까지 가속비율이 적용된다. 두 번째 차량은 평균차두시간 +0.5초의 출발손실시간을 갖게 되며 세 번째 차량은 평균차두시간 정도의 손실시간을 갖고 정지선을 출발하게 된다. 차량이 링크를 주행할 때 차로의 끊김, 주차, 버스 승하차 등을 포함한 교통상 장애물에 반응하게 되는데 차로의 첫 번째 차량은 장애물로부터 일정거리를 둔 상류에서부터 차로변경을 시도한다. 차량이 장애물과 5feet 내에 있고, 인접차로의 허용차두시간이 허용되지 않으면 차량은 장애물 뒤에 정지한 후, 차로변경을 하거나 장애물이 제거될 때까지 허용차두시간을 기다리게 된다. 선행차량이 주행할 때 후속차량은 장애물을 인지하지 못한 채 선행차량을 따라 간다고 가정한다. 선행차량이 정지할 때 후속차량은 장애물을 인지하지 못한 체 선행차량을 따라간다고 가정한다.

(3) Network 표현의 한계

현재 통용되고 있는 프로그램의 표현용량은 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 NETSIM의 용량

Nodes	250개
Links	500개
Vehicles	10000대
Actuated Controller	100개
Detectors	300개

(4) 검지기 및 신호운영의 표현

NETSIM은 정주기 운영과 고정된 위치에 검지기를 설치하여 연장녹색시간(extension green) 조절을 위한 감응제어(actuated-control) 기능을 모의실험할 수 있다. 또한 TSIS version 4.02에서는 CORSIM Runtime Extension 기능을 추가하여 RT-TRACS의 교통대응 신호제어전략을 시뮬레이션 할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이 기능은 현재 RT-TRACS의 신호제어 전략 평가에 국한되어 있으며, RT-TRACS 이외의 교통대응(adaptive) 제어 전략을 다양하게 평가할 수 있도록 연구가 진행되고 있다.

2) TRANSIMS(Cellular Automata Theory)

(1) 모형의 개요

Los Alamos National Laboratory에서 개발된 TRANSIMS(TRansportation ANalysis SIMulation

System)은 cellular automata theory 이론과 컴퓨터의 이진(binary)구조를 응용하여 대규모(large-scale) 네트워크에서 교통과 관계된 모든 통행자의 철저한 미시적 모의실험을 수행하는 모형이다.

이 모형은 기본적으로 차량추종 및 차로변경을 포함한 비보호좌회전, 대기행렬, 병목현상(bottleneck), 용량저하현상(breakdown) 등의 표현까지 세밀한 수준으로 대규모 네트워크 분석에 효과적인 능력을 가진 모의실험 모형으로 분류되고 있다.

(2) 차량진행 규칙

이 모형에서는 분석 네트워크를 모두 일정한 간격의 기본 가정값을 가진 셀(cell)들로 나누어 개별 차량들을 이동시킨다. 셀의 이동은 속도값에 의해 결정되는데 이는 한 모의실험 클럭(clock)안에서 전방 셀안의 차량유무를 검색하고 전이확률(stochastic transition)을 고려하여 결정한다.

■ 1차로 모형의 이동규칙

모든 L개의 site들은 속도 $v(i)=0, 1, \cdots, v_d(i)$를 갖는 하나의 차량으로 채워지거나 비어있다. 모든 시간 단계 t →t+1 에서 N개의 차량들은 다음의 규칙에 따라 갱신된다.

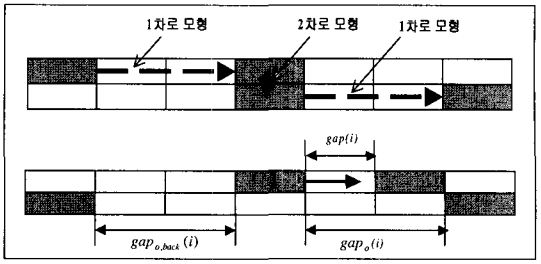
- 〔가속성〕
  IF $v(i) \neq v_d(i)$, THEN $v(i)=v(i)+1$: 어떤 차량의 속도 $v(i)$가 $v_d(i)$보다 낮다면, 속도는 1만큼 증가
- 〔감속성〕
  IF $v(i) \rangle gap(i)$, THEN $v(i)=gap(i)$: 앞 차량과의 간격 $gap(i)$이 속도 $v(i)$보다 작다면 v는 $gap(i)$로 감소
- 〔확률성〕
  IF $v(i) \rangle 0$ and Rand $\langle P_d(i)$, THEN $v(i)=v(i)-1$: 확률 $P_d(i)$에 의해, 차량의 속도 $v(i)$는 1만큼 감소

■ 2차로 모형의 이동 규칙(Two-lane Model)

2차로 도로에서 차로를 변경할 때에는 다음과 같은 순서에 의해서 차로를 변경한다.

첫째, 1차로 모형에 의해 기존 차로를 주행한다.

둘째, 2차로 모형에 의해, 차로를 변경한다. 본 모형에서는 수직으로 차로를 변경한다.



〈그림 2〉 TRANSIMS의 차로변경 과정

셋째, 1차로 모형에 의해 변경 차로를 주행한다.

다음의 조건들이 모두 만족될 때 차로를 변경하게 된다. 여기서 l, l_o , $l_{o,back}$, P_{change}는 기준값이다.

- 〔차로간의 균형성〕
  $gap(i) \langle l$(좌측에서 우측차로로 변경하는 경우) : 기존 차로에서, 앞 차량과의 간격 $gap(i)$이 l 보다 작으면 차로를 변경
- 〔확률성〕
  Rand $\langle P_{change}(i)$: 차로 변경 확률 $P_{change}(i)$를 만족하면, 차로를 변경
- 〔인접차로와의 관계성〕
  $gap_o(i) \rangle l_o$, $gap_{o,back}(i) \rangle l_{o,back}$: 인접 차로의 앞 차량과의 간격 $gap_o(i)$이 l_o 보다 크면 차로를 변경

(3) TRANSIMS 모형의 한계

Cellular automata 이론을 이용한 TRANSIMS에서는 GM 5세대 모형을 근간으로 추종모형을 사용하고 있지만 일정 셀의 폭으로 규정된 이산적 공간이동(discrete space)으로 정확한 차량위치 추적에는 한계가 존재하며 차로변경을 포함한 차량전이에 관련된 규칙(rule)들이 운전자 행태를 기초로 한 경험적인 확률값의 사용으로 정밀한 분석을 위한 체계성이 결여되어 있다.

2. 모의실험기의 수행구조

모의실험기는 보다 넓은 수용과 이용에 여러 장애물이 존재하지만 상당한 양의 연산시간은 컴퓨터의 급속한 발전에도 불구하고 가장 큰 문제로 남아있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 최근에는 병렬기법을 도입한 다중처리기(multi-processor)의 응용연구도 활발히 진행 중에 있지만, 이는 하드웨어적인 구조설계에 의해 접근된 방법으로 본 연구에서는 소프트웨어적인 관점만을 대상으로 하여 살펴보자.

1) 시간진행방법에 따른 분류

디지털 컴퓨터로 모의실험 차량들을 동시에 또는 계속적으로 추적하기 위한 방법은 다음과 같은 두 가지로 분류될 수 있으며 분석목적에 따라 위 두 방식의 선택 및 적절한 혼합적 사용이 요구된다.

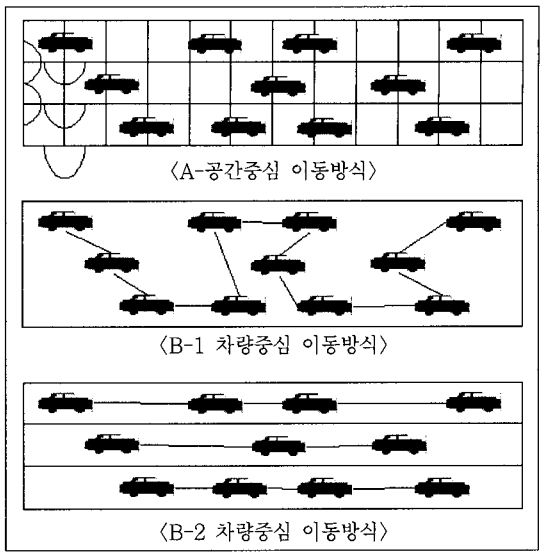
① Next-event time advance : 시스템의 내의 모든 개체들에 대하여 다음 사건이 발생될 시각들을 정의하여 모의실험기의 시계를 최초의 사건이 발생하는 개체로 이동하며 시스템의 상태를 변경하는 진행법이다.
② Fixed-increment time advance : 이 방법은 사건과 관계없이 모의실험기의 시계에 따라 모든 개체들이 반응하며 변경되는 진행법이다.

2) 속성정보 저장개체에 따른 분류

교통흐름을 표현하는 모의실험의 모형의 가장 핵심적인 부문은 차로변경을 포함한 주체차량(subject vehicle)이 앞차와 뒤차의 속성정보를 얼마나 효과적으로 빠르게 파악할 수 있느냐에 달려있다. 이점은 대규모(large-scale) 도시 가로망 관점에서 연산속도의 효율성에 매우 중요하며, 다음과 같이 두 가지로 분류될 수 있다.

① 공간중심방식 : 링크(link)의 각 차로를 일정한 간격의 공간으로 분할한 다음, 배열요소들을 각 공간에 할당하는 것으로 차량의 위치(position)는 배열요소(array)내의 번호로 표시되고 위치갱신(position updating)은 각 차량을 포함하는 배열요소(array elements)의 정보를 전달함으로서 이루어지는 방식이다.
② 차량중심방식 : 차량에 기초한 배열(vehicle-based arrays)을 사용하는 것으로 차량의 속성정보는 각 차량에 영구히 할당된 배열요소(array elements)에 저장되고 관리되는 방식이다.

〈그림 3〉에서와 같이 공간중심방식은 가상적으로 도로를 일정한 공간영역으로 분할한 후 연결시켜 해당차량의 정보를 저장하는 방식으로 각 영역간 넘버링체계 및 차량의 존재유무에 의한 속성정보에 의한



〈그림 3〉 차량의 속성정보 저장방식

차로 간 및 차량들 사이의 정보를 배열요소를 이용해 쉽게 검색할 수 있지만 기본적으로 초기화된 공간영역정보가 필요하다.

그리고 차량들에 의해 서로 연결된 차량중심방식은 링크별로 차량들의 정보를 저장하고 있다면 〈그림 3의 B-1〉 링크 내에 있는 모든 차량들에 대하여 차로별 및 차량들간의 검색과정이 필요하며, 이 단점을 해결하기 위하여 차로별로 차량들의 정보를 저장하고 있다고 하여도 〈그림 3의 B-2〉 인접차로 간에 동일한 차로를 점유하고 있는 차량들을 대상으로 검색이 필요하고 또 메모리의 생성과 소멸이 빈번하게 요구되는 등의 단점을 유발한다.

3. 모형의 한계 및 아이디어 도출

1) 기존모형의 한계

정밀한 미시적 모의실험 수행하기 위해서는 날로 복잡해지는 링크의 기하구조와 네트워크의 표현규모, 발생차량의 수, 추종모형, 차로변경, 교통혼잡시 운전자 반응, 다양한 신호제어전략의 구현 등을 위한 모듈의 확장 및 추가는 컴퓨터의 계산 부하와 메모리 부족으로 인하여 실제 적용에 많은 한계를 나타내고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최적화 된 자료구조와 알고리즘의 적절한 선택, 계산과정 단축, 코

드(code)조정, 프로그래밍적인 기술(technique)로 어느 정도의 성과를 기대할 수는 있지만 대규모 네트워크 측면의 모의실험을 고려할 때 한계가 있음이 명확하다.

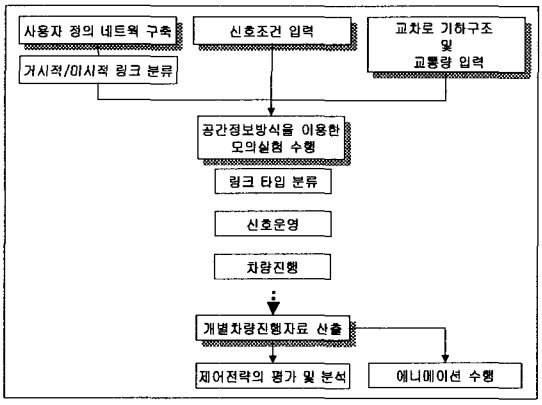
2) 아이디어(idea)의 도출

- 교통흐름을 표현하는 모의실험 모형의 가장 핵심적인 부문은 차로변경을 포함한 주체차량(subject vehicle)이 앞차와 뒤차의 속성정보를 얼마나 효과적으로 빠르게 파악할 수 있느냐에 달려있다. 이점은 대규모 도시 가로망 관점 및 정밀한 분석을 위한 모듈의 추가여부를 위한 연산속도의 측면에서 매우 중요하게 작용된다.
- 모의실험의 차량진행자료에 대한 저장배열(storage array)을 검색이 용이할 수 있도록 각 차로를 일정한 수의 공간으로 분할한 계산배열요소(computational array elements)들로 할당하게 되면 순차 리스트 구조를 가진 배열 메모리의 이용으로 직관적인 제어 및 빠른 검색이 가능하며 추종 및 차로변경 모형의 연산과정에 필요한 속성정보의 파악 측면에서도 차량중심방식보다 빠른 검색이 가능하다.
- 분석가는 모든 링크들에 대하여 분석의 중요성을 판단하여 핵심 분석영역에 포함되지 않는 비중요 링크는 간략화 된 모듈을 수행하는 거시적 링크의 처리로 연산수행시간을 단축하도록 하며, 분석영역의 핵심링크는 여러 모듈의 수행과 정밀한 연산을 통해 정밀한 분석의 효율적인 구성체계를 마련한다.
- 따라서 위와 같은 연속속도의 향상에 대한 도움에 힘입어 검지기 자료의 수집을 통한 첨단신호제어시스템의 폭넓고 다양한 알고리즘 구현의 부담성을 경감시킬 수 있으리라 기대된다.
- 그러나 공간저장방식을 이용함으로 인하여 교통량에 상관없이 최대 메모리를 확보한 뒤 프로그램을 수행하게 되므로 연산속도의 효율성은 네트웍에 차량이 일정 이상 존재할 때, 즉 과포화시 상대적인 연산속도의 향상이 기대된다.
- 이점은 또한 국내 첨단신호시스템의 운영전략이 과포화 상황에 초점을 두고 있으므로 가장 적합한 구조로 판단된다.

Ⅲ. 본 모의실험기의 기본 구조 개발

1. 프로그램의 수행체계

본 연구에 의해 개발된 모의실험기의 수행체계도는 〈그림 4〉와 같다.



〈그림 4〉 프로그램 수행 체계도

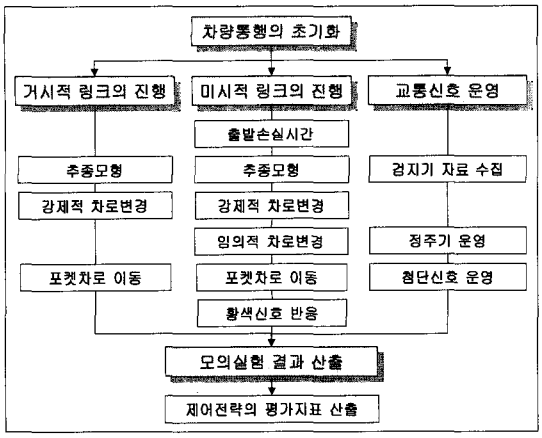
2. 진행원리 및 구성

1) 개발방향

- Windows95 이상에서의 운영과 Animation을 수행할 수 있도록 MS사의 MFC(Microsoft Foundation Class)를 기반으로 한 객체지향적 언어 Visual C++을 이용한다.
- 이산사건에 기초한 고정시간 간격방식으로 설계되며 확률적, 동적 모의실험방식을 이용한다.
- Graphic Animation 표현이 가능하도록 한다
- 교통량, 신호운영, 링크조건의 조절이 사용자에 의해 가능하며 다양한 효과척도(통행시간, 대기행렬길이, 시공도 등)의 산출이 가능하도록 한다.

2) 주요모듈 체계

본 연구의 목적은 미시적인 차원에서 대규모 네트워크 모의실험모형에 적합한 새로운 모의실험 체계를 확립하는데 있다. 이에 따라 네트워크 내의 모든 링크들은 〈그림 5〉와 같은 구조로 나뉘어 모듈 수행을 반복하게 된다.

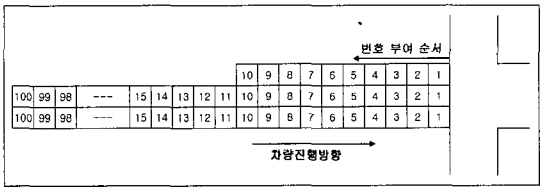


〈그림 5〉 링크별 모듈 수행 체계도

3. 공간영역의 구성 및 표현

네트워크 내에 차량의 속성정보를 저장할 수 있는 가상 영역들은 사용자가 정의한 분석 네트워크의 형태를 형성할 수 있도록 입력카드에서 수집된 링크의 기하구조 정보를 기초로 하여 링크를 형성한 후 해당 링크 내에서 차로를 형성하고 차로내에서 공간영역들을 형성하여 메모리의 낭비 없이 정확한 네트워크 표현이 되도록 하였다.

〈그림 6〉는 모의실험 네트워크 공간영역들을 표시한 것이다.

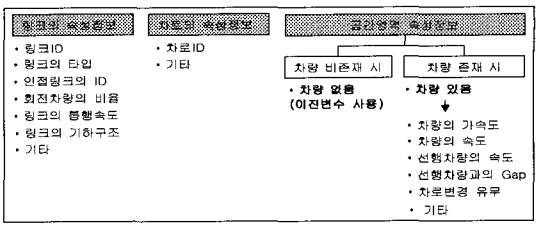


〈그림 6〉 공간영역 체계도

공간영역의 길이는 차량이 한 대만이 점유될 수 있는 길이까지로 설정이 가능하며 보통 차량의 길이(vehicle length)와 최소차두간격(minimum space headway)을 고려하여 본 모형에서는 5.0m로 설정하여 사용하였다.

4. 공간저장정보를 이용한 차량진행

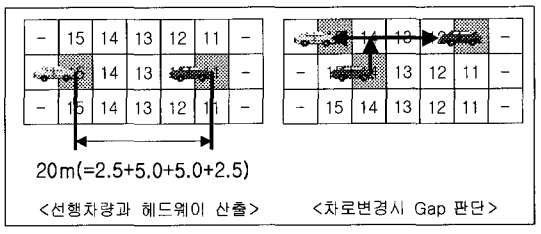
각 공간영역에서 소유하게 되는 기본적인 차량속성정보는 차량존재유무, 영역 내 차량위치, 가속도, 속도,



〈그림 7〉 차량속성정보

차로변경의 태그(tag)로 구성되며 분석목적에 따라 부가적으로 추가되기도 한다. 그리고 링크 및 차로에서도 각각 독립적인 정보들을 제공하게 된다(〈그림 7〉 참조).

네트워크의 각 영역들의 정보를 변경(update)시키는 방법은 한 모의실험 클럭(clock)안에서 링크->차로->공간영역의 순으로 차량이 존재하는 영역들만을 대상으로 모듈수행에 의해 이동위치 만큼의 영역으로 정보를 변경하게 된다. 추종모형 적용시 선행차량과의 헤드웨이가 필요할 때 산출되는 과정과 차로변경시 요구되는 인접차로의 Gap 정보는 〈그림 8〉에서 예시된 바와 같이 산출된다.



〈그림 8〉 공간정보에 의한 검색 원리

이 방식은 분명 네트워크를 일정한 공간영역들로 나누고 각 공간영역에서 차량정보를 저장한다는 점에서 TRANSIMS 모형과 유사하지만 NETSIM 모형과 같이 개별 차량의 이동위치 계산과정이 분석적인 체계적 방식을 취한다.

3. 주요구성 모듈

미시적 모의실험 모형에 있어서 중요한 요소는 외부자극(external stimuli)에 대해서 개별운전자들이 어떻게 반응하는가 이다. 이러한 운전자들의 반응 형태를 결정하는 주요 요소들 중 가장 핵심이 되는 부분은 가감속을 결정하는 차량추종과 차로변경 모형으로, 이 두 모형의 표현정도에 따라 모의실험모형

의 신뢰성에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 이 두 모형을 중심으로 각 모듈의 내용 및 구성을 연구하였다.

1) 차량발생

(1) 난수발생

난수(random number)의 발생은 여러 가지의 방법이 있지만 NETSIM의 Multiplicative Linear Congruential Generator(MLCG)기법을 적용하였고 모의실험 모형의 무작위성을 적절히 반영할 수 있도록 모조난수(pseudo random-number)의 seed값을 고려하였다.

$$S_i = (aS_{i-1} + c) \bmod b \qquad (3)$$

c : 증분값($0 < b < m$), increment
a : 곱수($0 < a < c$), multiplier
b : 계수($c > 0$), modulus
S_0 : 초기치($0 < S_0 < c$), seed value

(2) 차량발생

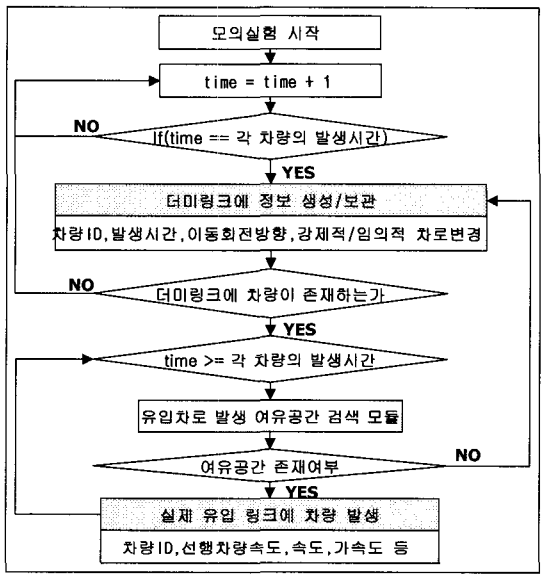
차량들은 일반적으로 이용되고 있는 음지수(Shifted-NED) 분포의 차두간격(headway)을 이용하여 모든 유입노드에서 발생이 이루어지게 된다.

$$h = (H - h_{\min})[-\ln(1-R)] + H - h_{\min} \qquad (4)$$

h : 각 차량의 헤드웨이(sec)
H : 평균 헤드웨이=3600/V
$h_{\min}$: 최소 헤드웨이(1.2sec/veh)
R : 0과 1사이의 의사모조 난수

(3) 링크 내 차량유입

차두간격에 의해 생성된 차량은 해당 모의실험 클럭이 되면 해당링크에 차량이 유입되도록 한다. 이 때 발생공간을 위한 최소차두간격(minimum space headway)의 부족에 대비하여 FIFO(First In First Out)규칙에 따른 차량유입을 대기할 가상링크를 구성하였다. 본 모형에서는 실제링크에 유입 전 무조건 가상링크에 먼저 차량을 발생시킨 후 실제링크에 유입이 되도록 구성하였다.



〈그림 9〉 링크 내 차량유입 모듈 수행도

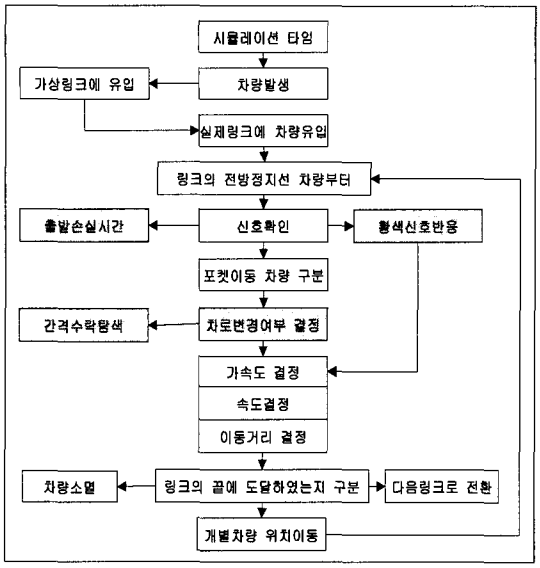
2) 링크별 추종모형(Car-Following)

차량추종이론은 교통류의 흐름을 규명하기 위한 시도로서, 후행차량이 선행차량을 어떠한 규칙으로 따르는지에 대한 이론으로 1950년대와 1960년대에 Reuschel과 Pipes에 의해서 정립되기 시작하였고 그 후 General Moters사와 공동연구로서 미국 미시간 주립대학 연구소의 Frobes는 차량추종이론 정립에 획기적인 공헌을 하였다. 지금까지 개발된 대표적 추종모형으로는 Pipes 이론, Frobes 이론, GM모형(5세대모형까지 개발), Traffic Flow Theory, LINTCOSS 모형, CARSIM 모형 등이 있는데 ,이는 대부분이 연속류에서 기초된 실험모형으로 단속류 표현에는 적합하지 않은 점이 존재하여 모형의 계수값들에 대한 보정연구가 필요하다.

〈그림 10〉은 미시적 링크의 모듈체계를 표시한 것으로 출발손실시간, 황색신호반응, 임의적 차로변경 모듈은 상대적으로 수행속도에 비하여 분석결과에 중요한 영향을 끼치지 못하므로 거시적 링크의 모듈적용에서의 수행을 제외하도록 구성하였다. 그리고 링크 분류에 따른 추종모형의 선택은 다음과 같다.

(1) 거시적 링크의 추종모형 - Pipe's Theory

이 모형은 후행차량이 안전거리를 유지하면서 선행차량을 따르는 가장 이상적인 규칙은 후행차량의 속도가 0.44m/sec당 후행차량의 길이 만큼씩 선행차



〈그림 10〉 미시적 링크의 차량진행

량과의 최소간격(minimum space headway)을 유지한다는 차두거리제어(spacing control) 이론으로 선행차량과의 헤드웨이 거리를 식별해주는 단 하나의 검색모듈만을 수행하여 차량의 정지와 출발상황의 사실적 표현을 포함한 가속도 및 속도를 산출할 수 있는 간단하고도 명료한 식이므로 본 링크의 추종모형으로 적용하였다.

$$d_{\min}(Gap) = 1.36(x_{n+1}(t)) + 6(m) \quad (5)$$

(2) 미시적 링크의 추종모형 - GM 보정모형

GM모형은 운전자는 민감도(sensitivity)와 자극(stimuli)에 의해 감가속 형태를 결정한다는 분석적(analytic) 차량추종모형으로 운전자의 형태를 보다 현실적으로 묘사할 수 있다.

따라서 본 모형에서는 단속류 표현에 적합하도록 현장자료 수집을 통하여 개발된 최승석의 GM 보정모형[1]을 이용한다. 이 모형은 민감도 부문을 후행차량의 현재속도와 차두간격으로, 자극은 상대속도의 선형함수로 처리되도록 모든 경우에 대하여 가속상황, 감속상황, 출발상황, 정지상황의 4단계로 구분한 것을 특징으로 하고 있다. 본 모형에서 적용된 사항은 다음과 같다.

- 가속상황 ($a_{n+1}(t+\Delta t)$)

$$= 3.8245 \frac{V_{n+1}(t)^{0.0137}}{(X_n(t) - X_{n+1}(t))^{0.7502}} (V_n(t) - V_{n+1}(t))^{0.3095} + \varepsilon_{n+1}(t) \quad (6)$$

t : 시간(s)
Δt : 운전자 n+1의 반응시간(s)
$V_{n+1}(t)$: 시간 t에서 운전자 n+1의 속도(m/s)
$V_n(t)$: 시간 t에서 운전자 n의 속도(m/s)
$V_n(t)-V_{n+1}(t)$: 시간 t에서의 상대속도(m/s)
$X_n(t)-X_{n+1}(t)$: 시간 t에서의 헤드웨이(m)
$\varepsilon_{n+1}(t)$: N(0, 0.91622)

- 감속상황($a_{n+1}(t+\Delta t)$)

$$= 0.9128 \frac{V_{n+1}(t)^{0.6540}}{(X_n(t) - X_{n+1}(t))^{0.4864}} (V_n(t) - V_{n+1}(t))^{0.3095} + \varepsilon_{n+1}(t) \quad (7)$$

t : 시간(s)
Δt : 운전자 n+1의 반응시간(s)
Vn+1(t) : 시간 t에서 운전자 n+1의 속도(m/s)
$V_n(t)$: 시간 t에서 운전자 n의 속도(m/s)
$V_n(t)-V_{n+1}(t)$: 시간 t에서의 상대속도(m/s)
$X_n(t)-X_{n+1}(t)$: 시간 t에서의 헤드웨이(m)
$\varepsilon_{n+1}(t)$: N(0, 1.12352)

- 출발 및 정지상황 : Pipe's Theory

$$d_{\min}(Gap) = 1.36(x_{n+1}(t)) + 6(m) \quad (8)$$

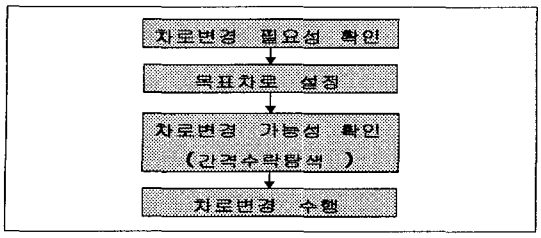
3) 차로변경모형(Lane-Changing)

차로변경 모형 또한 모의실험 결과에 민감한 영향을 주는 요소로 중요한 만큼 기존에 발표된 연구 자료들을 기초로 하여 규칙과 식을 적용하였다.[2]

(1) 차로변경의 필요성 확인

링크 내 차량이 차로변경 여부를 결정하는 방법은 일반적으로 다음과 같이 두 가지로 분류된다.

1) 최승석, 2000, "미시적 시뮬레이션 모형을 위한 차량추종 모형의 개발", 서울시립대 교통공학과 석사논문.
2) Qi Yang, 1998, "A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems", Department of Civil and Environmental Engineering, in MIT.



〈그림 11〉 차로변경 과정

■ 강제적(mandatory) 차로변경의 경우

①목적지로의 주행을 위한 좌/우회전 필요 ②다음 링크의 차로가 없을 때 ③차로 이용의 규제(버스전용 차로제 등) ④보수공사나 사고 발생으로 인해 현재의 차로로 진행이 불가능한 경우

■ 선택적(discretionary) 차로변경의 경우

①현재 차로의 서행 차량이 중차량인 경우(저속 및 시거 불량) ②주행차로간의 상대적 속도차가 발생할 때 ③현재 차로로 주행 중인 선행 차량들의 평균 속도가 자신의 희망속도 보다 낮은 경우 ④전방 정지선의 대기행렬길이가 현 주행 차로 보다 짧은 경우 등.

위 경우 중 본 모형에서는 목적지로의 주행을 위한 좌/우회전(강제적 차로변경)과 주행차로 간의 상대적 속도차(임의적차로변경)가 발생할 경우만을 대상으로 모형에 반영하였다.

(2) 차로변경의 태그(tag)확률

■ 강제적 차로변경의 경우

어떤 특별한 상황 및 혼잡한 상태에서의 강제적인 차로변경으로 태그(Tag)될 확률은 다음과 같다.

$$f_n = \frac{\exp(-(x_n - x_0)^2}{\sigma_n^2}, \quad x_n > x_0 \tag{9}$$

$$= 1, \quad x_n \le x_0 \tag{10}$$

f_n : 위치 x_n에서 차량 n이 강제적 차로변경으로 tag될 확률

x_n : 차량으로부터 하류부 노드까지의 거리

x_0 : 임계지점의 거리, 특정 메세지 사인의 위치 (such as final exit warning)

$$\sigma_n = \alpha_0(1 + \alpha_1 m_n + \alpha_2 K)$$

m_n : 목표차로로 가는데 거치는 차로의 수

K : 교통혼잡의 정도(해당 구간의 밀도/jam density)

a_i : 모형의 계수

■ 선택적 차로변경의 경우

상대적 속도차가 발생할 경우 목적차로에 일정이상의 간격이 확보되면 차로변경이 가능한 상태로 처리하였고 링크의 끝점에서는 현실성을 고려하여 차로변경을 금지하였다.

4) 간격수락탐색(Gap Acceptance)

일단 차량이 차로변경을 결정하면, 선두차량(gna)과 후미차량(gnb)과의 간격(gap)을 검사한다. 만일 선·후미 간격이 모두 적당하면 즉시 차로변경을 실행한다. 최소허용간격(minimum acceptable gap)은 변경차량(subject vehicle)의 속도, 선두·후미 차량의 속도(va, vb), 차로변경의 종류를 통해서 계산된다. 임의적 차로변경에서 Critical Gap은 다음의 식으로 표현된다.

$$g_{na}^D = \max\{g_a^D,\ g_a^D + \beta_{a1}^D v_n + \beta_{a2}^D (v_n - v_a) + \varepsilon_{na}\} \tag{11}$$

$$g_{bn}^D = \max\{g_b^D,\ g_b^D + \beta_{b1}^D v_b + \beta_{b2}^D (v_b - v_n) + \varepsilon_{nb}\} \tag{12}$$

여기에서, a, b, n는 각각 목표차로의 선두차량(lead vehicle)과 후미차량(lag vehicle) 그리고 현재차로의 변경차량(subject vehicle)을 나타낸다.

gnaD : critical lead gap
vb : 후미차량의 속도
gbnD : critical lag gap
vn : 차선변경차량의 속도
gaD : 최소 선두 간격
β : MITSIM에서 정의한 매개변수
gbD : 최소 후미 간격
va : 선두차량의 속도
εna, εnb : 허용 에러

강제적 차로변경의 경우, Critical Gap은 하류부 노드(또는, incident와 lane drops)로부터 차량까지의

거리의 함수로 표현된다. 즉, 차로변경을 해야만 하는 최후의 지점에 가까워질수록 더 작은 간격에서도 차로변경을 시도한다고 가정한다.

$$g_{na}^{M} = \max\{g_{a}^{M}, g_{a}^{M} + [\beta_{a1}^{M} v_n + \beta_{a2}^{M}(v_n - v_a)] [1 - \exp(-\gamma x_n^2)] + \varepsilon_{na}\} \quad (13)$$

$$g_{bn}^{M} = \max\{g_{b}^{M}, g_{b}^{M} + [\beta_{b1}^{M} v_b + \beta_{b2}^{M}(v_b - v_n)] [1 - \exp(-\gamma x_n^2)] + \varepsilon_{nb}\} \quad (14)$$

여기에서,

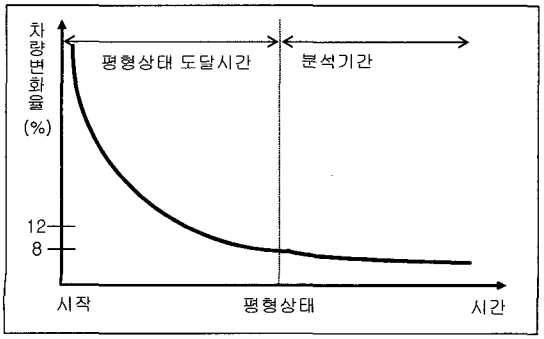
x_n : 차로변경이 발생하는 지점으로부터의 거리

β, γ : 모형 매개변수

5) 차량통행의 초기화

모의실험에서의 평형상태(equlibrium state)는 분석대상 네트워크 내에 유출입노드에서의 총유입교통량과 총유출교통량이 비슷한 분포를 이루는 상태를 의미한다. 모의실험이 시작되는 시점에서 분석대상 링크에 차량이 없는 상태가 발생하므로 일정시점까지는 분석대상 링크에 차량의 유입이 차량의 유출보다 큰 상태가 지속된다. 따라서 이 상태를 분석결과에 포함하는 것은 모의실험 결과에 대한 신뢰성을 저하시킬 수 있으므로 모의실험 시작 후 평형상태에 도달하기까지의 소요시간은 제외한 상태에서 분석결과를 산출하는 것이 타당하다. 평형상태까지의 도달시간은 분석대상 네트워크의 교통류 상황변수 및 신호제어변수에 따라 차이가 존재한다.

본 모의실험에서는 NETSIM에서 사용한 방법과



〈그림 12〉 차량통행의 초기화

마찬가지로 평형상태 도달여부를 유입과 유출차량의 상대차이를 가지고 아래와 같은 방법으로 자체 판단하는데, 이때 사용자가 평형상태 도달 한계시간을 지정할 수 있게 되어 있다.

$Veh(t)$: t $step$에서의 네트워크 내의 차량수

$Dif(t)$: 차량수변화율(%)

$$Dif(t) = \frac{ABS\,[\,Veh(t) - Veh(t-1)]}{Veh(t-1)} \times 100 \quad (15)$$

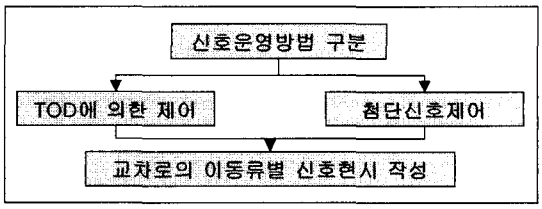
으로 정의된다면 다음과 같은 두 가지의 경우로 결정된다.

① Dif(t-1) ≤ 12 이고 Dif(t) ≤ 8 이면 평형상태에 도달
단, Veh(t)≠0, Veh(t-1)≠0 의 경우

② ABS[Veh(t) - Veh(t-1) ≤ 6, 이고 t ≥ 2 이면 평형상태에 도달
단, Veh(t)≠0, Veh(t-1)≠0

6) 신호운영 및 기타규칙

모든 교차로가 사용자의 선택에 따라 첨단신호시스템의 운영이 가능하도록 구성하였으며 그 외 부가적인 모듈은 〈그림 13〉과 같다.



〈그림 13〉 신호운영 체계도

(1) 황색반응(Amber Interval Response)

차량이 정지선에 접근 시 녹색에서 황색으로 바뀌면 인근 차량들은 교차로의 횡단유무를 결정하여 반응하게 된다. 따라서 본 모형에서는 공학적인 교통사고분석이 가능하도록 황색신호 시작 시 딜레마 구간(dilemma zone)을 참조하여 차량의 이동유무를 결정하였다.

· 딜레마구간의 시작점

=정지선 후방으로 부터 (지각반응시간+ $\frac{v}{2a}$) v (16)

· 딜레마구간의 끝점

=정지선 후방으로부터(실제황색시간) $v-(w-l)$ (17)

v : 차량의 속도
a : 차량의 가속도
w : 횡단 폭
l : 차량길이

(2) 출발손실시간

적색신호로 인하여 정지해 있던 대기차량들은 출발 시 보통 5-6번째 차량까지 출발손실시간을 경험하게 된다. 본 모형에서는 모의실험 클럭조정의 한계 및 국내운전자의 성향에 의해 첫 번째 차량만을 대상으로 적용하였다.

(3) 하류부 링크와 연결

링크 내 차량의 위치가 링크의 길이 보다 크다면, 즉 링크의 정지선을 넘었을 때, 해당차량은 목적지에 맞도록 진행 하류부 링크를 선택하여 진입하게 된다.

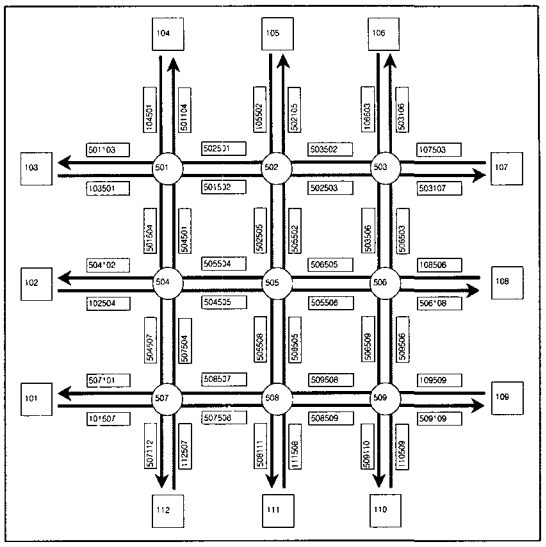
· 회전차량은 회전차로에서만 통행권이 허용된다. 포켓차로의 경우, 진입을 위한 여유공간이 확보되지 못하면 직진차량으로 간주하여 통과시켰다.
· 직진차량은 하류부 링크의 진입여유공간이 확보되지 못한다면 신호에 관계없이 정지선안에서 일단 대기를 시킨 후 진행하도록 하였다.

4. 검증 및 평가

제한된 모의실험 모형이 실제 현장상황을 잘 묘사하는지를 비교하기 위하여 대표적 미시적 시뮬레이터인 NETSIM모형을 이용하였다.

본 모형이 각 링크에 대하여 거시적링크와 미시적 링크로 구분이 되므로 네트웍 모두를 각각 거시적 링크와 미시적 링크로 수행한 경우에 대하여 결과를 비교하였다.

1) 수행 시나리오



〈그림 14〉 가상 네트워크 체계도

〈표 2〉 수행조건

네트워크	· 12개의 유출입노드, 9개의 교차노드, 총 48개의 링크	
교통량	한산상태 (V/C=0.5)	900대/시/차로 발생
	정상상태 (V/C=0.7)	1260대/시/차로 발생
	과포화상태 (V/C=1.0)	1800대/시/차로 발생
신호운영	· 양방향 선행좌회전 형태로 TOD 방식으로 동일 설정	
링크조건	· 유출입노드와 연결된 링크는 모두 200m · 그 외 링크는 300m · 2개의 주행차로, 정지선 부근은 1개의 포켓차로로 동일 · 포켓차로의 길이, 50m	

2) 평가

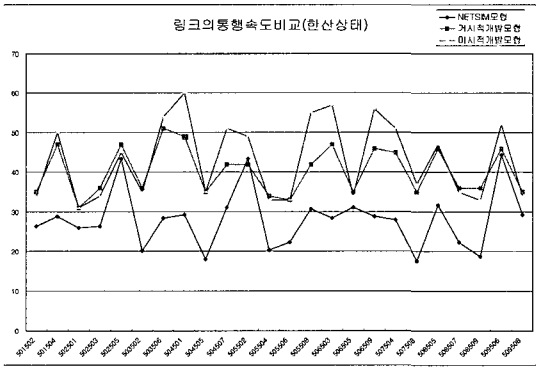
평가의 대상으로는 유출입노드를 제외한 24개 링크의 평균속도로 선정하여 링크별 속도에 대한 그래프를 도시하여 개략적인 평가를 실시하였다.

〈그림 15, 16, 17〉는 대상 네트워크의 차량추종모형으로서 Pipe 모형을 적용한 결과(모든 링크를 거시적 링크로 구성)와 차량추종모형으로서 GM 모형을

이용한 적용결과(모든 링크를 미시적 링크로 구성)를 NETSIM의 적용결과를 비교한 것이다.

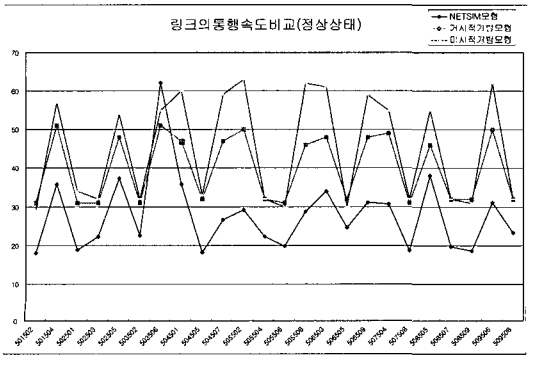
비교결과, 〈그림 15, 16, 17〉에서 보는바와 같이 상황에 따른 거시적인 링크와 미시적인 링크 모두 NETSIM 모형과 속도 값에서는 일정한 차이를 보이지만 경향은 상당히 유사함을 볼 수 있다. 즉, 기본적인 모듈로만 수행된 거시적 링크 수행결과와 미시적 링크 수행 결과 모두 NETSIM의 분석결과와 비슷한 패턴의 링크 주행속도 분포를 나타내고 있다. 여기에서 나타나는 링크별 속도차는 모형의 특성별로 각각 적용되는 차량의 길이와 최대가속도, 선두차량의 적용 등의 차이로 해석된다. 이러한 분석결과, 제안모형은 전반적으로 NETSIM의 분석결과와 비슷한 경향을 나타내고 있으므로 원시적인 제안모형의 차원에서 만족된 결과로 판단된다.

(1) 한산상태



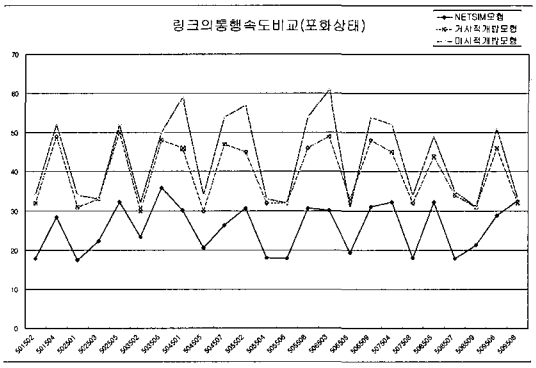
〈그림 15〉 한산시 모형 간 평균통행속도의 비교

(2) 정상상태



〈그림 16〉 정상시 모형 간 평균통행속도의 비교

(3) 과포화상태



〈그림 17〉 포화시 모형 간 평균통행속도의 비교

Ⅳ. 첨단교통신호시스템에의 응용

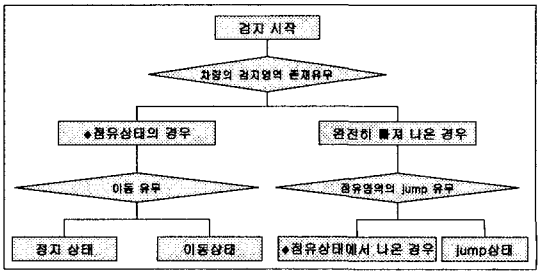
1. 독립교차로의 설정 및 검지자료 수집

1) 독립교차로 실시간 제어

이 제어모드는 현장 교차로 상황이 연동을 고려할 필요가 없거나 제어의 핵심이 되는 대상에 적용되는 제어모드의 한 분류로 첨단교통신호시스템의 핵심기능이라 할 수 있는 자체적인 검지자료의 수집을 통하여 주기 및 녹색시간 결정 알고리즘을 수행하고 기타 감응제어 알고리즘을 현장 제어기에 의해 직접 수행하는 방식이다. 따라서 본 제어모드의 수행을 첨단신호시스템의 원형적인 제작 측면에서 가장 대표적인 기능으로 선정하여 구현하였다.

2) 검지자료의 수집

첨단신호시스템의 운영은 개별차량의 검지자료를 바탕으로 운영되므로 이에 대한 자료 수집의 신뢰성은 매우 중요한 의미를 지니게 된다. 본 모형에서 이



〈그림 18〉 개별차량의 검지자료 수집방식

용된 방법은 개별차량에 대한 검지자료를 추적방식(tracking method)으로 수집하였다.

수집자료는 교통량, 비점유시간, 점유시간 등이 검지될 수 있다.

2. 주요 적용모듈

1) 포화도 산정 알고리즘

첨단신호시스템에서는 녹색시간의 이용률의 개념으로 각 이동류에 대한 포화도를 산정한다.

① 직진의 경우

$$DS = \frac{\{G - (\Sigma Space - N \times t)\}}{G} \quad (18)$$

② 좌회전의 경우

$$DS = \frac{\{(G - t_{startup}) - (\Sigma Space - N \times t \times (1 + (1 - Adj_F)\}}{(G - t_{startup})} \quad (19)$$

DS	:	포화도
G	:	녹색시간(초)
$\Sigma Space$	:	비 점유시간 합(초)
N	:	통과차량수
t	:	포화비점유 시간(초)
$Start_up$	:	좌회전 차량의 출발지체 영향도(초)
$\Sigma Space$	:	비 점유시간 합(초)
Adj_F	:	포화 교통유율 보정 계수

2) 감응제어 알고리즘

(1) 좌회전(Gap) 감응제어

좌회전 감응제어는 좌회전 교통량의 변이가 큰 경우 불필요한 좌회전 녹색시간을 조기종결 또는 생략하고 여분의 시간을 직진이동류에 배정하는 방법으로서 주도로 및 부도로의 녹색시간 이용율을 최대화하는 것으로 검지기의 위치는 정지선에서 12m에 위치하게 된다.

(2) 앞막힘현상(Spillback) 예방제어

앞막힘현상 예방제어는 유출부에 앞막힘 현상이 발생하였을 시 이를 현장제어기에서 인지하여 교통류의 진입을 차단하는 것으로 이 검지기는 유입부에서 60m 후방에 설치된다.

3) 주기 및 녹색시간 결정 알고리즘

(1) 주기결정 알고리즘

매주기마다 계산되는 신호주기는 다음과 같은 순서에 의하여 계산되며 급격한 변화폭은 보정을 실시하여 적용된다.

〔단계 1〕 검기기 자료로부터 1차 처리된 검지기별 포화도(DS:Degree of Saturation)를 입력
〔단계 2〕 각 이동류별로 평균포화도(DSi)를 계산
〔단계 3〕 각 접근로의 직진 평균포화도 중에서 최대포화도(DSmax:Maximum Degree of Saturation)를 선택
〔단계 4〕 다음주기에 필요한 신호주기(Crequired:Required Cycle Length)를 구함.
〔단계 5〕 다음주기의 신호주기(Cnext)는 현재주기(Ccurrent)와 구해진 요구주기(Crequired)와의 차를 비교하여 구한다. 즉,

(2) 녹색시간(Split)결정 알고리즘

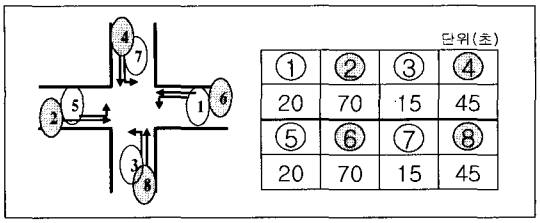
〔단계 1〕 이동류별로 검지기의 평균포화도(DSi(t)) 입력
〔단계 2〕 이동류별 평균포화도를 주기단위로 환산
〔단계 3〕 이동류별로 다음주기에서의 포화도(FDSi(t+1))를 예측
〔단계 4〕 동일한 포화도의 원칙에 의해 Critical movement의 유효 녹색시간을 계산
〔단계 5〕 Barrier 시간 계산(Dual Ring)

3. 평가

위에서 적용된 첨단신호 알고리즘의 올바른 수행여부를 확인하기 위하여 다음과 같은 시나리오를 가지고 평가하였다.

1) 수행 시나리오

- 네트워크 : 12개의 유출입노드, 9개의 교차노드, 총 48개의 링크
- 교통량 : 감응제어가 잘 이루어질 수 있는 한산한 상태로 900대/시/차로로 발생
- 링크조건
  - 유출입노드와 연결된 링크는 모두 200m
  - 그 외 링크는 300m

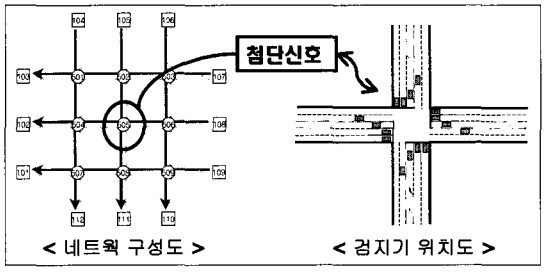


〈그림 19〉 이동류별 초기 현시값

- 2개의 주행차로, 정지선 부근은 1개의 포켓차로로 동일
- 포켓차로의 길이는 50m 로 동일 설정

■ 신호운영

TOD 및 첨단신호운영 방식의 초기 신호시간(이동류별 신호운영 방법과 녹색시간은 다음과 같음)



〈그림 20〉 네트워크 및 검지기 체계

■ 검지기 운영 :

9개의 교차노드 중 8개는 TOD 방식으로 운영되고 중앙에 위치한 1개의 노드만이 개별차량의 검지자료 수집을 통한 첨단신호를 수행한다.

■ 첨단신호운영 알고리즘 :

- 검지자료 처리에 의해 산출된 포화도에 따라 주기와 녹색시간이 결정되고 좌회전 감응제어를 실시함
- 감응제어의 기능으로 좌회전 감응제어는 5초이상의 비점유시간이 발생되면 조기 종결작동을 수행함.
- 앞막힘 예방제어는 포화상황이 아니므로 평가는 생략함

2) 평가결과

먼저 첨단신호운영의 증거를 나타내는 주기 및 녹색시간의 변화과정을 확인한 후 평가의 대상 교차로와 인접한 4개의 유입링크에 대하여 평균통행속도의 평가지표를 비교하였다. 〈표 3〉은 첨단신호로 운영되는 중앙교차로의 이동류별 녹색신호시간 산출결과를 나타낸 것이며, 〈표 4〉는 TOD와의 결과를 비교분석한 것이다.

분석결과, 각 해당차로에 설치된 검지기들은 개별차량별 검지자료를 정확히 수집하여 첨단신호알고리즘을 수행할 수 있는 기초자료를 산출하였다. 그리고 주기결정과정으로 초기의 주기값 150초에서 첫 번째 값의 변화로 94초를 산정하였고 해당 이동류의 녹색시간 길이는 주기별로 변화의 과정을 뚜렷이 나타내었다. 그러나 주기의 길이값은 모두 비슷한 결과를 보이는데 이는 동일 교통량의 유입조건에 의한 영향으로 해석된다. 또한 실제 현장상황을 잘 반영할 수 있도록 구성된 첨단교통신호시스템의 포화도(DS) 산정을 통해 녹색시간을 결정한 링크의 평균통행시간은 모두 상대적으로 감소하여 운영 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있었다.

〈표 3〉 첨단신호운영 자료

변화수	주기(초)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
1	150	20	70	15	45	20	70	15	45
2	95	12	37	21	25	24	25	11	35
3	94	20	30	9	35	10	40	19	25
4	95	16	40	14	25	10	46	6	33
5	95	9	51	5	30	15	45	10	25
6	95	8	53	5	29	13	48	5	29
7	95	9	52	5	29	9	52	5	29
8	94	7	48	5	34	9	46	5	34

〈표 4〉 링크의 평균통행시간 자료

링크번호	평균통행시간(초)		분석대상	링크번호	평균통행시간(초)		분석대상
	TOD	첨단신호			TOD	첨단신호	
501502	34	36		505506	33	38	
501504	50	47		505508	55	64	
502501	31	34		506503	57	50	
502503	34	35		506505	34	35	○
502505	45	50	○	506509	56	47	
503502	35	37		507504	51	46	
503506	54	52		507508	37	37	
504501	60	48		508505	47	46	○
504505	35	33	○	508507	35	34	
504507	51	44		508509	33	33	
505502	49	70		509506	52	46	
505504	33	38		509508	34	36	

V. 결론 및 향후연구과제

1. 결론

본 연구의 성과는 과포화 된 도시 가로망에 운영중인 첨단신호시스템의 전략을 분석할 경우, 효율적으로 연산속도의 문제를 개선할 수 있는 미시적 모의실험기의 개발 방법론과 실제 일부를 개발하였다는 것이다. 또 본 모의실험기의 공간저장방식에 의한 첨단교통신호제어시스템의 수행으로 인하여 보다 더 적극적인 알고리즘의 개발과 활발한 이용이 기대된다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 저장배열요소를 이용한 공간저장방식의 분석적 차량진행 체계로 프로그램을 효율적으로 구현하였다.
- 기본적인 차량진행방식의 체계뿐만이 아니라 추종모형, 차로변경모형, 황색신호반응 등의 알고리즘을 연구하여 독자적인 모의실험기를 개발할 수 있는 토대를 마련하였다..
- 본 모형의 수행결과 산출된 링크 주행속도는 거시적 링크 및 미시적 링크 모두 NETSIM 모형의 분석결과와 비슷한 패턴의 결과를 산출하므로, 기본적 모듈만으로 수행되고 연산수행속도를 단축시키는 거시적 링크의 사용은 합리적이라고 판단된다.
- 차량추적방식을 이용한 개별차량의 검지자료 수집이 가능하다.
- 타 모의시험기에 비하여 감응제어 및 대응제어를 포함한 첨단신호시스템의 기능을 구현하여 다양한 신호제어전략을 평가할 수 있는 토대로 마련하였다.
- 또 제한적인 Graphic Animation 기능과 통행속도, 시공도, 대기행렬길이 등과 같은 MOE 자료를 산출할 수 있도록 하여 교통류 분석의 객관적인 평가가 되도록 하였다.

2. 향후연구과제

본 연구에서는 교통대응 신호제어전략의 효율성을 평가하기 위하여 요구되는 미시적 시뮬레이터의 원형을 개발하였다. 본 연구는 미시적 시뮬레이터 개발의 초기연구로서, 개발 모형은 독자적인 모의실험기로 개발될 수 있는 구조는 갖추었으나 아직 세부적인 모듈의 구성 및 보완이 필요하다. 본 연구진은 교통대응 신호제어전략의 운영효율성을 보다 현실적으로 평가하기 위하여 다음 사항에 관하여 지속적으로 연구를 수행하고 있다.

- 네트웍의 포화도 상태에 따른 본 모형의 연산속도 향상에 대한 객관적인 평가와 분석이 필요하다.
- 본 모형의 신뢰성을 평가하기 위해서는 실제 현장에서 조사된 자료를 바탕으로 평가되어야 할 것이다.
- 거시적 링크 및 미시적 링크 모두 상황별 현장의 재현성을 높일 수 있도록 모듈의 수행체계에 대한 추가적인 연구 및 평가가 필요하다.
- 또 본 모형에서 사용되고 있는 추종모형의 변수값을 포함한 기타 세밀하게 고려되지 못한 변수들에 대한 조정 및 보완이 요구된다.
- 네트워크 초기화시 공간영역 형성에 필요한 메모리를 효율적으로 관리할 수 있는 프로그래밍적인 연구가 필요하다.

참고문헌

국내문헌

1. 임평남 외, 1993, "교통신호제어 시스템 기술개발 (3차년도) 모의실험기 개발 보고서", 도로교통안전협회, 교통개발연구원.
2. 안계형, 1997, "과포화 교통상태에의 적용을 위한 시뮬레이션 모형 개발", 한국시뮬레이션학회.
3. 최승석, 2000, "미시적 시뮬레이션 모형을 위한 차량추종 모형의 개발", 서울시립대학교 대학원 교통공학과.
4. 이영인, 1999, "도시교통류 미시적 시뮬레이션 모형의 개발", 서울시립대 도시과학연구원.
5. 도철웅, "교통공학 원론(상)", 청문각.
6. Brian W.Kernighan & Rob Pike, "The Practice of Programming", 인포북.

외국문헌

1. FHWA, Traffic Software Integrated System User's Guide(ver4.2) and ITRAF User's Guide (ver2.7).
2. M. Van Aerde, 1998, "INTEGRATION Release 2.10 for WINDOWS: User's Guide-Volume

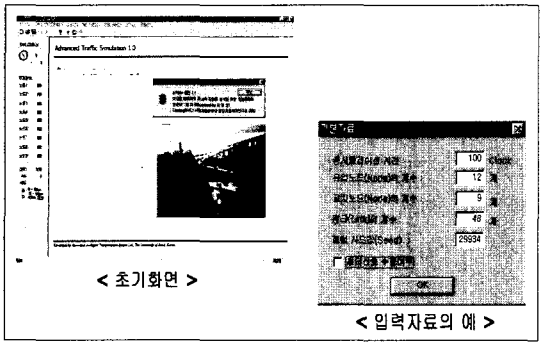
I : Fundamental Model Features".
3. Qi Yang, 1998, "A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems", Department of Civil and Environmental Engineering, in MIT.
4. M Rickert, K Nagel, M Schreckenberg, A Latour, "Two lane traffic simulations using cellular automata", physica A. Copyright by Elsevier.
5. Kai Nagel & Jorg Esser, and Marcus Rickert, 1999, "Large-scale traffic simulation planning", to appear in: Annual Review of Computational Physics Ⅶ, Edited by Dietrich Stauffer, World Scientific Publishing Company.
6. Markos Papageorgiou, Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems, Pergamon Press.
7. Kazi Iftekhar Ahmed, 1999, "Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior", Department of Civil and Environmental Engineering.
8. C. J. Messer et al, "Traffic Flow Theory", TRB SPECIAL REPORT 165.
9. Aycin & Benekohal, 2000, "Analysis of Stability and Performance of Car-following Models in Congested Traffic", TRB.
10. R. F. Benekohal et al., 1988, "CARSIM: Car-following Model for Simulation of Traffic in Normal and Stop-and-Go Conditions", Transportation Research Record 1194.

♧ 주 작 성 자 : 이영인
♧ 논문투고일 : 2001. 5. 24
논문심사일 : 2001. 6. 13 (1차)
2001. 11. 19 (2차)
2001. 11. 30 (3차)
심사판정일 : 2001. 11. 30

부록

1. ATSIM 모의실험기의 소개 및 수행과정

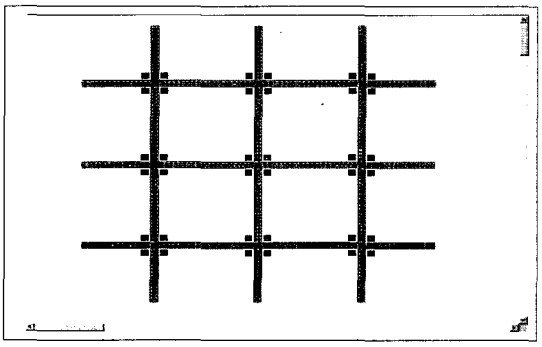
(1) 초기화면 및 입력자료의 예



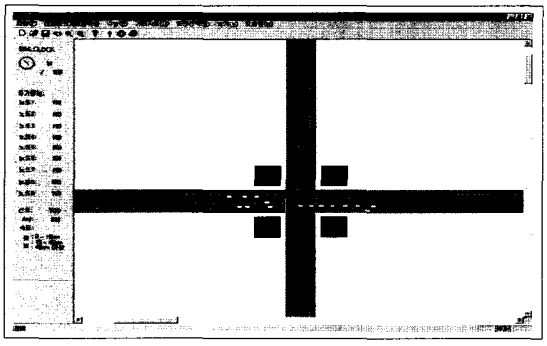
< 초기화면 >

< 입력자료의 예 >

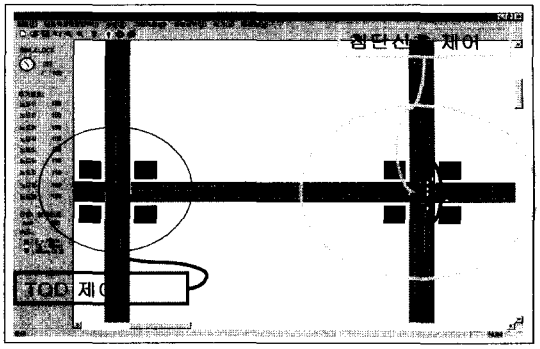
(2) 수행 네트워크의 전체화면 예



(3) 수행 네트워크의 확대화면 예



(4) 첨단신호 수행장면의 예



2. 개발 모형의 고려사항

범주	요소	시스템 정의	사용자 정의	본 모형의 사용값	고려치 않음
신호	4현시로 표현 (Dual ring, Single ring)		○		
	각 현시별 녹색시간		○		
	연동값		○		
	황색신호		○		
	출발손실시간	○			
	첨단신호제어의 운영 (감응제어 포함)		○		
링크 및 차량진행	추종모형의 선택	○			
	차로수		○		
	차로폭	○			
	링크길이		○		
	유입교통량		○		
	O/D에 유입교통량	○			
	운전자 특성		○	차로변경의 경우	
	차종	○		승용차	
	유입초기속도		○		
	모의실험 단위 시간	○		1초	
	도로의 기하구조(구배,곡률)				○
	링크별 제한속도 적용				○
	돌발상황의 표현				○
	회전차로의 공유상태	○		좌회전 포켓과 우회전공유	
	차로변경에 대한 확률 (강제적/임의적)		○		
	거시적링크와 미시적링크의 구분		○		
	차량의 최소발생시간		○	1.2초	
	공간영역의 거리		○	5m	
출력자료	링크의 평균통행시간/속도	○			
	시공도 및 대기행렬길이	○			
	개별차량의 진행자료	○			
	초기유입자료	○			
	애니메이션 수행 단위시간		○		