

■ 論 文 ■

첨단신호시스템의 신호제어전략 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 개발

Development of a Microscopic Traffic Simulator for
Evaluating Signal Operating Strategy of Traffic Adaptive Control System

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교통관리전공 교수)

한 동 희

(서울시정개발연구원 연구원)

목 차

I. 서론	3. 시뮬레이터의 기능
1. 연구의 목적	4. 시뮬레이터의 탑재 알고리즘
2. 연구의 범위 및 절차	5. 시뮬레이터의 진행과정
II. 기존 시뮬레이터의 고찰	IV. 시뮬레이터의 검증
1. TRAF-NETSIM	1. 시뮬레이터의 검증개요 및 방법
2. TRANSIMS	2. 검증결과
3. VISSIM	V. 시뮬레이터의 활용 (첨단신호제어전략의 평가)
4. PARAMICS	1. 독립교차로에서의 신호제어전략 평가
III. 미시적 시뮬레이터의 개발	2. 교통축의 신호제어전략 평가
1. 시뮬레이터의 개요	VI. 결론
2. 시뮬레이터의 구조	참고문헌

Key Words : 미시적 시뮬레이션 모델, 시뮬레이터, 첨단신호체계, 교통대응제어, 신신호시스템

요 약

서울을 비롯한 대도시에서는 최근, 신호교차로를 포함하는 도시 가로망에 기존의 고정식 신호체계를 대신하여 첨단신호체계를 도입하여 운영하고 있다. 이러한 신호시스템의 장점은 변화하는 교통상황에 따라 최적의 신호현시를 제공한다는 것이다. 그러나 이러한 신호체계가 큰 효과를 기대할 수 있음에도 불구하고 현재까지 이러한 시스템과 기존의 신호 시스템을 비교한 연구는 거의 없는 실정이다. 가장 큰 이유는 실시간으로 교통상황에 대응하는 이러한 신호시스템을 평가하는 것이 매우 어려운 일이기 때문이다.

본 연구의 목적은 독립교차로, 교통축, 네트워크 단위에서의 기존의 전자신호와 첨단신호체계의 효율성을 비교 평가할 수 있는 미시적 시뮬레이터를 개발하는 것이다. 이러한 시뮬레이터의 개발은 교통운영체계에 대한 보다 정밀한 분석을 가능하게 할 것으로 판단된다. 그리고 본 연구에서는 개발된 시뮬레이터를 이용하여 현재 서울의 강남지역에서 운영되고 있는 신신호 시스템의 각종 알고리즘에 대한 평가를 수행하였다.

본 연구는 건설교통부와 한국건설기술연구원의 2000 산.학.연 공동연구 개발사업인 “국도상의 신호교차로 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호 제어기기 개발”의 지원에 의하여 수행되었음.

1. 서론

1. 연구의 목적

일반적으로 도시부 가로망 등 신호교차로를 포함하고 있는 대부분의 도로에서 교통환경을 증진시킬 수 있는 주요한 요소 중의 하나는 교차로의 신호제어 전략이다. 최적화 된 신호제어전략의 사용은 도로의 교통용량 증대 와 서비스 수준 향상, 그리고 교통사고 감소 효과 등을 기대할 수 있고 이에 따라서 수많은 신호제어기법들이 개발되었고 또한 개발 중에 있다.

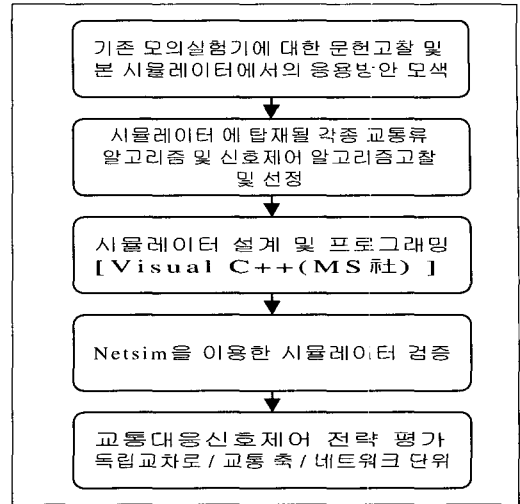
그러나 이와 같이 개발된 다양한 신호제어기법들의 효과를 현장에서 측정하기에는 수많은 제약들이 존재한다. 시시각각으로 변화하는 현장의 모든 교통상황에 개발된 제어전략이 어떻게 작용할지를 판단하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하고 경우에 따라서는 정확한 효과분석이 불가능할 수도 있다.

본 연구에서는 다양한 신호제어전략의 평가가 가능한 시뮬레이터를 개발하는 것과 이를 이용하여 현재 서울의 일부지역에서 시행되고 있는 신신호 시스템의 각종 신호전략을 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구에서 개발하고자 하는 시뮬레이터는 신호교차로를 포함하는 Network에서 주어진 신호제어전략에 따라 개별 차량단위로 교통상황을 변화시키며 시뮬레이션을 진행하면서 이러한 진행상황을 애니메이션을 통해 시각적으로 확인 할 수 있고 역시 개별 차량 단위로 수집되는 교통정보를 통하여 교차로의 효과척도를 산출하는 기능가지고 있다.

현재 NETSIM과 같은 시뮬레이터들은 다양한 운전자의 성향을 반영할 수 있는 장치들을 독자적으로 보유하는 등 모의 실험기의 현실 반영에 대한 완성도를 높였지만 본 시뮬레이터에서는 이에 대한 처리가 미흡하고 분석공간 역시 직교하는 교차로로 구성된 장방형의 가로망으로 국한되어 있다. 그러나 본 모의 실험기 역시 차량의 발생이나 진행 등 차량의 행태를 결정하는 핵심적인 부분에서는 기존의 모의 실험기와 큰 차이가 없도록 제작되었기 때문에 동일한 교통상황에서의 차량진행에 대한 차이는 근소할 것으로 판단되며, 직교형의 교차로로 구성된 가로망 역시 일반



〈그림 1〉 연구진행절차

적인 신호제어전략의 평가 시에 있어서 큰 문제를 발생시키지 않을 것으로 판단된다. 본 연구의 진행절차는 〈그림 1〉과 같다.

II. 기존 시뮬레이터의 고찰

1. TRAF-NETSIM(Network SIMulation Tool)

1) 모형의 개요

이 모형은 네트워크 내를 주행하는 차량의 운행상태를 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 전략 평가, 신호조건 및 교통여건의 변화에 따른 보정계수 등을 도출해 준다.

2) 차량의 진행방법

이 모형은 네트워크 내로 진입한 각 차량들의 위치와 시간을 계속하여 추적하며, 차량추종모형은 상황별로 합리적인 적용을 하고 있지만 혼잡한 경우에는 선행 차량이 최대 감속도($3m/s^2$)로 정지를 했을 경우 뒤 차량이 충돌하지 않을 수 있는 거리로 선행차량을 추종한다는 가정으로 진행된다.

3) 검지기 및 신호운영의 표현

정주기 운영과 고정된 위치에 검지기를 설치하여 연장녹색시간(extension green) 조절을 위한 감응 제어(actuated-control)를 표현하였다. 그러나 교차로의 주기와 녹색시간 자체를 제어하는 교통대응(adaptive)의 기능을 포함한 첨단교통신호제어는 평가될 수 없다.

2. TRANSIMS(Cellular Automata Theory)

1) 모형의 개요

Los Alamos National Laboratory에서 개발된 TRANSIMS는 cellular automata theory 이론과 컴퓨터의 이진(binary)구조를 응용하여 대규모(large-scale) 네트워크에서 교통과 관계된 모든 통행자의 미시적 모의실험을 수행하는 모형이다. 이 모형은 기본적으로 차량추종 및 차로변경을 포함한 비보호좌회전, 대기행렬, 용량저하현상(breakdown) 등의 표현까지 세밀한 수준으로 대규모 네트워크 분석에 효과적인 능력을 가진 모의실험 모형으로 분류되고 있다.¹⁾

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.²⁾

모든 L개의 site들은 속도 $v(i)=0, 1, \dots, v_d(i)$ 를 갖는 하나의 차량으로 채워지거나 비어있다. 모든 시간 단계 $t \rightarrow t+1$ 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 $v(i) > gap(i)$, THEN $v(i) = gap(i)$: 앞 차량과의 간격 $gap(i)$ 이 속도 $v(i)$ 보다 작다

면 v 는 $gap(i)$ 로 감소

- [확률성] IF $v(i) > 0$ and $Rand < P_d(i)$, THEN $v(i) = v(i) - 1$: 확률 $P_d(i)$ 에 의해, 차량의 속도 $v(i)$ 는 1만큼 감소

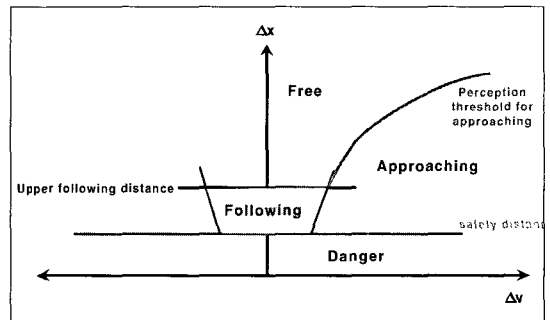
3) TRANSIMS 모형의 한계

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 분석적인(analytic) 체계성이 결여되어 있다.

3. VISSIM

VISSIM은 독일의 PTV사에 의해 연구 개발되었으며 스코트랜드에서 개발된 PARAMICS와 함께 가장 발전된 미시적 시뮬레이터 모형이다. 그 대표적 기능은 다음과 같다.

- 교통류분석(지점별 속도, 구간별 속도 및 통행시간, 혼잡교통류 분석) 기능
- O-D에 의한 분석 및 구간 교통량에 의한 분석
- 다양한 차종구분 및 운전자 행태구분 가능 : 대상 차종구분 및 위반 운전자 반영
- 2D 및 3D Presentation 기능



<그림 2> Psycho-physical Car Following Model (VISSIM)

1) Edited by Dietrich Stauffer, Kai Nagel, Jorg Esser, and Marcus Rickert, 1999, "Large-scale traffic simulation planning", to appear in: Annual Review of Computational Physics VII, World Scientific Publishing Company
 2) M Rickert, K Nagel, M Schreckenberg, A Latour, physica A. Copyright by Elsevier, "Two lane traffic simulations using cellular automata".

VISSIM에서 차량의 종적이동은 psycho-physical model(Wiedemann 1974)로 횡적인 이동(lane changing)은 rule-based algorithm에 의해 이루어진다.

또한 VISSIM은 승용차, 대중교통, 보행자에 대한 시뮬레이션과 과도시가로, 고속도로에 적용이 가능하며, VMS, Toll Gate, Dynamic Assignment 기능 또한 포함되어 있다.

4. PARAMICS

파라믹스는 모델러, 에널라이저, 프로세서 등으로 구성되어 있다. Paramics Modeller는 상업교통 모델링 도구로 3 가지의 기본 기능, 즉 모델 구축, 교통 시뮬레이션(3-D 시각화 지원) 및 강력하고 직관적인 그래픽 사용자 인터페이스를 통한 통계 데이터의 출력을 제공한다. Modeller는 교통 네트워크의 다음의 사항들을 포함하는 모든 상황을 조사할 수 있다:

- 혼합형태의 도시 및 일반도로 네트워크
- 로터리(교차점) - 대중교통 - 주차장 시설 - 유고
- 트럭차선, 다승객 차량 차선(버스전용차선 등)

Paramics Processor는 시뮬레이션 환경구축을 위한 도구로 네트워크 시뮬레이션을 배치모드(batch mode)에서 구동할 때 사용된다. Processor는 그래픽 사용자 인터페이스를 제공하므로 시뮬레이션 파라미터를 손쉽게 세팅할 수 있고, 다양한 통계 데이터를 선택하여 출력할 수 있으며 네트워크에 대입된 차량의 구성인자(attributes)를 구분하여 서로 다른 시뮬레이션을 동일 네트워크 상에서 구동할 수 있다. 예를 들어, 이 프로그램은 여러세트의 시뮬레이션을 구동할 경우 해당 모델내에서 변화추이를 파악할 때 유용하게 사용된다.

III. 미시적 시뮬레이터의 개발

1. 시뮬레이터의 개요

본 시뮬레이터는 신호운영 전략을 평가하고 그 효과를 측정, 분석함으로써 신호 운영 전략의 개선 등에 활용하기 위한 목적으로 개발되었다. 신호 운영전략의 평가를 위해서는 최소한 신호시간의 단위, 즉 1초

단위 또는 그보다 더 작은 단위로 시뮬레이션을 진행하는 것이 유리하다. 본 연구에서는 수행속도 보다는 보다 정밀한 현실 묘사를 위하여 중, 소규모의 네트워크(교차로 20-30개정도)를 0.1초시간 단위에서 시뮬레이션 할 수 있는 미시적 시뮬레이터를 개발하였다.

2. 시뮬레이터의 구조

1) 제작기법

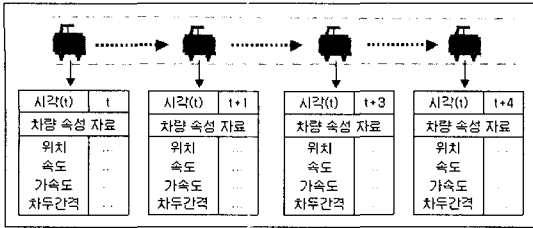
본 시뮬레이터는 객체 지향적 제작기법을 통하여 개발되었다. 즉 구현하고자 하는 환경의 구성요소들을 동질적인 특징과 기능을 수행하는 객체들로 구분하고 이러한 객체들이 특정한 사건(Event)이 발생할 때마다 이에 반응하며 시뮬레이션을 진행시키는 방식이다. 이러한 제작 기법은 교통과 같은 복잡한 현실을 묘사하는데 있어서 가장 유리한 방법중의 하나라고 판단되며 본 시뮬레이터에서도 채택하였다. 따라서 본 시뮬레이터는 객체 지향적 프로그램 Language 중의 하나인 Microsoft社의 Visual C++를 이용하여 Window 9x, 2000 환경에서 실행 가능하도록 제작되었다.

2) 진행방식

본 시뮬레이터는 Discrete-Event Simulator 이다. 이 방식은 분석대상 즉 어떠한 System의 변화하는 상황을 시간에 따라 전개시키는 것으로 전체 시뮬레이션 시간을 이산적인 일정간격의 시간단위로 나누어 매 Time step 마다 System의 상태를 표현하는 변수(차량의 위치, 신호등의 등화 등)들을 동시에 갱신시키는 것이다.

본 시뮬레이터에서 가장 중요한 Event는 차량이 도로 상을 주행하는 것(차량의 위치정보 갱신)과 시간에 따라 신호 현시가 바뀌도록 하는 것이다. 본 시뮬레이터에서 채택한 시간적 간격(Δt : time)에 따른 차량진행 방식을 그림으로 나타내면 <그림 3>과 같다.

<그림 3>은 차량주행 과정에 맞추어 설명하면 매 time step(0.1초) 마다 네트워크 상의 모든 차량에 대하여 각 차량의 앞 차량과의 거리 및 해당 차량의 속도를 고려하여 감/가속도를 산출하고 이를 통해서 다음 time step에서의 차량의 위치를 계산하여 차량의 위치정보를 갱신하게 된다.



(그림 3) 시간적 간격에 따른 차량 진행 방식

3. 시뮬레이터의 기능

교통류 시뮬레이터인 본 모형의 기능(모듈)을 정리하면 다음과 같다.

- 차량진행 : 차량추종, 차로변경(선택적, 의무적)
- 신호운영 : 정주기식(입력자료 필요), 교통대응식(점유율에 따른 주기결정 및 현시배분)
- 점지기 : 지점점지기를 통한 교통량, 점유율 산출
- MOE 산출 : 여행시간, 교통량, 정지지체 산출
- 애니메이션 기능(시뮬레이션과 동시에 진행)
- 임의의 네트워크 구축 기능(교차로 20-30 개 수준의 격자형 네트워크)

4. 시뮬레이터의 탑재 알고리즘

1) 차량행태 관련 알고리즘

(1) 차량발생 모형

Time Based 마이크로 시뮬레이션에서 매 시간간격마다 발생하는 Event 중 하나가 유입링크에서 차량을 발생시킬 것인가를 결정하는 것이다. 본 시뮬레이터에서는 Negative Exp-Distribution를 사용하여 시간당 교통량에 따라 개별차량의 발생 차두시간 간격을 결정하였다.

편의된 음지수분포는 일정 시간간격(t : headway) 동안 차량이 한 대도 발생되지 않는 확률 값을 산출하는 확률분포함수이다. 그러나 차량의 차두시간 간격을 얻기 위해서는 편의된 음지수 함수의 역함수, 즉 차두시간 간격의 함수가 필요하기 때문에 이를 얻기 위해서 확률분포 함수 식 양변에 log를 취하여 정리하면 다음과 같다.

$$f(t) = 1 - e^{-\frac{(t-c)}{t-c}}$$

$$\log(1 - f(t)) = -\frac{(t-c)}{t-c}$$

$$t = c - (\bar{t} - c) \times \log(1 - f(t))$$

t : 개별차량 차두시간

c : 최소차두시간,

t(bar) : 평균차두시간

여기서 f(t)는 확률분포 함수 값이므로 0-1 사이의 값을 갖는다. 그런데 프로그램 상에서 산출되는 random number는 기본적으로 두 값 사이의 값을 균일하게 발생시키는 것이므로 프로그램 상에서 0과 1 사이의 값을 반환하도록 지정하여 f(t)의 값으로 사용하면 된다. 지금까지의 과정을 정리하면 개별차량의 차두시간 산출식은 다음과 같이 정리된다.

$$\text{개별차량의 차두시간} = \text{최소차두시간} - (\text{평균차두시간} - \text{최소차두시간}) \times \log(1 - \text{Random_Var})$$

(2) 차량추종모형

본 시뮬레이터에서 채택한 차량추종 모형은 시간 t에서의 후행차량의 반응은 t-Δt에서의 선행차량에 의해서 주어지는 후행차량의 민감도와 자극의 강도에 의존한다는 개념의 GM 5th 모형을 채택하였다.

$$\text{response} = f(\text{sensitivity, stimuli})$$

response : 후속차량의 가/감속

sensitivity : 민감도

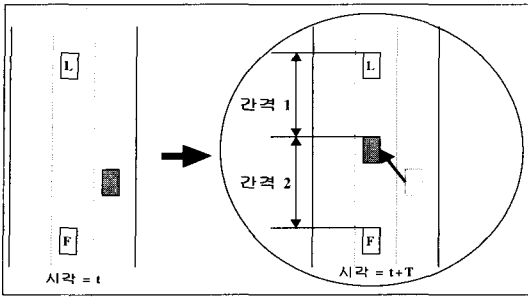
stimuli : 상대속도

$$\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{a_{l,m} [\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

$\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$: t + Δt에서의 n+1번째 차량의 가속도

(3) 차로변경 모형

(그림 4)를 살펴보면 차선변경을 시도하는 차량은 차선변경을 시작하기 전 시점인 시각=t에서 자신이 차선변경을 시행한 경우(시각=t+T) 목적차선에서 새롭게 발생하는 추종관계에 의한 간격1과 간격2를



〈그림 4〉 차로변경 과정

계산하여 이 간격들이 모두 안전을 기준으로 한 거리를 만족하는 경우 실제로 $t+T$ 시점에 차선변경을 실행한다. 여기서 안전을 기준으로 한 간격1의 개념과 계산방법을 설명하면 간격1이란 목적차선의 lead 차량이 시각 $t+T$ 에서 급 감속을 하여 정지하는 경우 차선을 변경한 차량이 이를 보고 따라서 감속을 했을 때 충돌하지 않는 거리를 의미한다.

$$\text{간격1} \geq T x'_{n+1}(t) + \frac{x'^2_{n+1}(t+T)}{2x''_{n+1}(t+T)} + L - \frac{x_n'^2(t)}{2x''_n(t)}$$

- x_n : 목적차선의 lead 차량
- x_{n+1} : 차로변경을 시도하는 차량
- $\ddot{x}_{n+1}(t+T)$: $t+T$ 에서의 $n+1$ 번째 차량의 가속도

선택적 차선변경의 경우 NETSIM에 적용되어 사용되고 있는 "Intolerable Speed"라는 개념을 이용하여 개별 차량의 속도가 Intolerable Speed 보다 높은 경우에는 선택적 차선변경을 시도하지 않도록 되어 있다. 물론 이러한 속도의 결정에는 운전자의 개별적인 성향이 반영되도록 되어있다.

$$V_i = V_j \times (0.7 \times DAF)$$

$$V_i = \text{Intolerable_Speed}$$

(본모형 : DAF=1, NETSIM의 초기 값)

2) 신호제어 알고리즘

(1) 정주기식 신호제어(TOD)

본 시뮬레이터에서 정주기식 신호제어는 사전에 입력된(pre-timed) 주기, 현시길이, 윽셋 길이를 사용하게 된다. 따라서 대상 네트워크 내의 교차로 중

서 정주기식 신호제어를 운영하고자 하는 교차로의 경우 미리 해당 교차로에 적용될 신호변수를 입력해 주어야 한다. 그리고 이러한 신호변수 값들은 시뮬레이션이 진행되는 동안 동일하게 반복적으로 적용되어진다.

(2) 교통대응 신호제어(신신호 시스템)

본 시뮬레이터에서 적용된 신신호 시스템의 주요 알고리즘은 CI, SCI, MI, Sub Area 단위로 적용되어진다. 각 단위별 적용알고리즘은 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 교차로별 적용 알고리즘

CI(Critical Intersection)
- 포화도(DS) 산출 알고리즘 - 주기산출 알고리즘 - 포화도비를 이용한 현시분할 알고리즘 - 좌회전 감응제어 알고리즘 - 윽셋결정 알고리즘
SCI(Sub Critical Intersection)
- 포화도(DS) 산출 알고리즘 - 포화도비를 이용한 현시분할 알고리즘 - 좌회전 감응제어 알고리즘 - 윽셋전이 알고리즘
MI(Minor Intersection)
- Pattern Selection 기능 - 포화도비를 이용한 현시분할 알고리즘 - 윽셋전이 알고리즘
Sub Area
- Sub Area 결합분리 알고리즘

3) 검지기 관련 알고리즘

본 시뮬레이터의 주요 개발목적인 첨단신호 시스템의 평가를 위해서는 신호시스템 운영에 필요한 교통정보(교통량, 점유율 등)를 수집하는 검지기 시스템

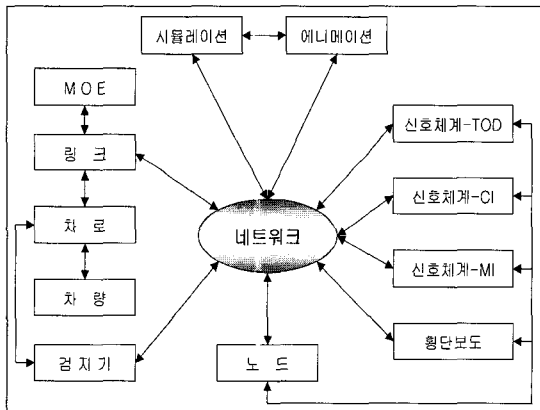
〈표 2〉 검지기의 자료산출 과정

1 단계(초기화)
검지기가 설치될 차로, 차로에서의 위치 및 검지기 길이 정보 입력
2 단계
매 time step(0.1초)마다 각 차로를 주행하는 차량들의 위치정보 검색하여 검지기 위치와 비교하고 검지가 상을 주행하는 차량의 존재 여부 파악하여 검지기의 on/off 상태를 판정 및 저장
3 단계
해당차로의 현시 종료시점에서 현시동안의 검지기의 on/off 상태정보를 이용하여 교통량 및 점유율 산출

이 필수적인 사항이다. 따라서 본 시뮬레이터 상에서는 Loop 검지기를 차로별로 설치하여 현실에서와 동일한 조건을 만들고 이러한 프로그램상의 검지기에서 산출되는 data를 통해서 시뮬레이터의 신호시간을 계산하는데 활용하도록 설계되었다. 본 시뮬레이터에서 검지기가 정보를 산출하는 과정은 <표 2>와 같다.

5. 시뮬레이터의 진행과정

본 시뮬레이터의 구조는 네트워크 모듈을 중심으로 시뮬레이션에 필요한 주요 모듈들이 유기적으로 연결되어 있다. 시뮬레이터의 모듈간의 연결관계를 그림으로 나타내면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 주요 구성 모듈간의 관계

위와 같은 연결관계 속에서 본 시뮬레이터는 0.1 초라는 단위시간 마다 다음과 같은 과정을 반복 수행하게 된다.

- Network 갱신(update/0.1sec)
- 신호현시 갱신(update/sec)
- Graphic/Animation 갱신(update/0.1sec)
- MOE 산출(사용자가 지정한 시간단위)

1) Newwork Update 과정

(1) 차량정보 갱신

차량의 주행 상태에 따른 처리 절차는 다음과 같다.

case 1 : 선두차량

- 전방 신호등에 반응하여 가감속 결정

- 차로변경 여부 판단

case 2 : 앞차량을 추종중인 차량

- 차량추종 모델에 의하여 가감속 결정
- 차로변경 여부 판단

case 3 : 차로변경을 진행하고 있는 차량

- 차량추종 모델에 의하여 가감속 결정
- 차로 변경중의 이동되는 위치 결정

case 4: 교차로 내에서 진입한 차량

- 전방향별로 회전각도/속도 결정
- 차로 i 내의 모든 차량 위치정보 갱신

(2) 검지기 정보 갱신

- Network 내의 모든 검지기 대상
- 검지 영역내의 ON/OFF 상황 판단
- 교통량/점유시간/비점유시간/점유율 산출

2) Signal Update 과정

대상 네트워크의 모든 교차로는 각각의 신호체계를 가지고 있다. 본 시뮬레이터에서는 교차로를 CI, SCI, MI, 횡단보도 등 총 4개로 구분하고 있다. 각각의 교차로는 해당 현시결정 방법에 따라 연결된 모든 접근로에 대하여 녹색, 적색, 황색의 신호를 연결된 접근로에 대하여 결정하게 된다.

3) Graphic/Animation Update 과정

대상 네트워크내의 모든 차량의 자신의 현재 위치에 따라 0.1초마다 그래픽상의 x 좌표와 y 좌표를 갱신하게 된다. 이러한 정보를 통하여 Graphic 및 Animation을 처리하는 모듈에서는 0.1초 단위로 모니터 상의 차량들의 위치를 갱신해주게 된다. 이를 빠른 시간에 반복하면 차량이 주행하는 것처럼 화면에 표출되어 진다.

4) MOE 산출 과정

기본적으로 모든 차량들은 하나의 링크에 진입하는 순간의 시각과 링크를 벗어나는 시점의 시각을 저장하고, 그리고 링크 내에서 정지하고 있었던 시간의 합을 계산하게 된다. 이 정보들을 통하여 링크 여행 시간, 주행시간, 여행속도, 정지지체 등을 산출하게 된다.

Ⅳ. 시뮬레이터의 검증

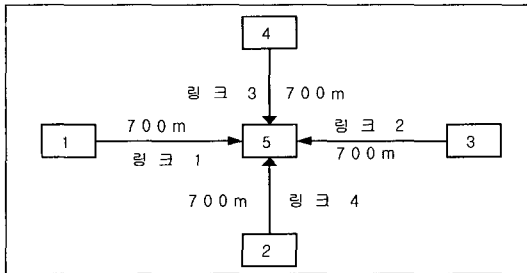
1. 시뮬레이터의 검증개요 및 방법

1) 개요 및 방법

본 시뮬레이터의 Performance를 평가하기 위하여 기존의 상용 프로그램인 NETSIM을 이용하였다. 본 평가는 각 교차로에 연결된 4개의 유입 링크에 15분 간격으로 교통량을 조절하여 서로 다른 교통량 조건(교통량이 점점 증가하는 경우, 감소하는 경우 등)을 설정하고 각 링크별로 산출되는 효과척도(주행시간 및 정지지체 등)를 본 시뮬레이터와 NETSIM을 비교하여 본 시뮬레이터의 성능 및 산출 MOE의 신뢰성을 평가하고자 한다.

2) 평가대상 네트워크 및 입력변수

〈그림 6〉의 네트워크에 적용된 각종 입력변수와 평가환경을 정리하면 〈표 3〉과 같다.



〈그림 6〉 평가네트워크 구조

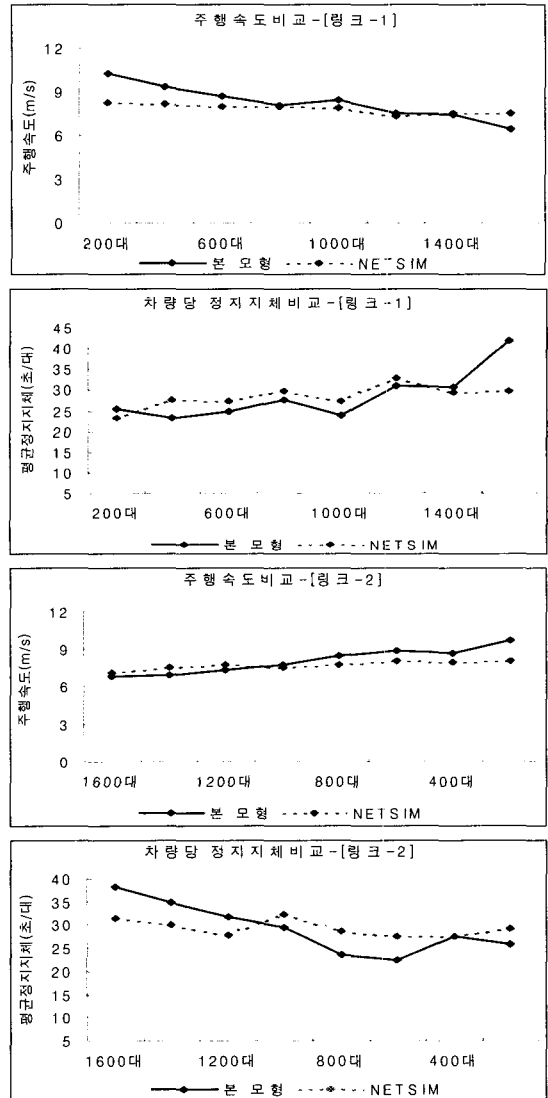
〈표 3〉 입력 교통량 조건

총 평가시간		7200초(2시간)			
신호체계	TOD(4현시)				
주기	녹색시간				
120초	20	40	20	40	
입력교통량(대/시)					
시간대	링크 1	링크 2	링크 3	링크 4	
0:00-0:15	200	1600	1600	200	
0:15-0:30	400	1400	1400	400	
0:30-0:45	600	1200	1200	600	
0:45-1:00	800	1000	1000	800	
1:00-1:15	1000	800	800	1000	
1:15-1:30	1200	600	1000	800	
1:30-1:45	1400	400	1200	600	
1:45-2:00	1600	200	1400	400	

2. 검증결과

1) 링크별 평균주행속도 및 정지지체 비교 결과

링크별 평균주행속도(m/s)와 차량당 평균 정지지체(초/대)에 대한 NETSIM과 본 시뮬레이터(XIM)의 결과를 비교하면 〈그림 7〉과 같다.



〈그림 7〉 링크별 속도 및 정지지체 비교결과

2) 링크별 평균주행속도 및 정지지체 비교 결과에 대한 Paired t-test 검정 결과($\alpha=0.05$)

본 평가의 결과를 Paired t-test로 검정한 결과차량 당 평균정지지체 및 주행속도가 대부분 동일하다는

〈표 4〉 Paired t-test 결과

	주행속도		평균정지지체	
	본모형	넷심	본모형	넷심
링크-1	8.27	7.86	28.66	28.41
t-통계량	1.2603		0.1352	
기각역(양측)	2.3646		2.3646	
링크-2	8.10	7.76	29.25	29.36
t-통계량	1.2221		-0.0626	
기각역(양측)	2.3646		2.3646	
링크-3	7.59	7.67	30.58	29.33
t-통계량	-0.3387		0.4726	
기각역(양측)	2.3646		2.3646	
링크-4	8.63	8.07	26.41	28.10
t-통계량	3.5537		-1.8904	
기각역(양측)	2.3646		2.3646	

결론을 내릴 수 있었다. 평가결과에 대한 통계적 비교 결과는 〈표 4〉와 같다.

V. 시뮬레이터의 활용 (첨단신호제어전략의 평가)

본 시뮬레이터의 활용방안의 한 예로서 현재 서울시 일부구간에서 운영중인 신신호 시스템을 대상으로 그 효율성을 평가해보았다. 본 평가는 독립교차로와 교통축에 적용되는 비포화시 신신호 시스템의 알고리즘을 대상으로 하였다. 그러나 본 평가에서 교통류의 흐름은 이상적인 상황(정지선 정차 준수, 모든 차로 균등이용, 안정된 검지자료 등)을 가정하였기 때문에 실제 현장에서의 신호알고리즘의 효율성과는 일치하지 않을 수 있다.

1. 독립교차로에서의 신호제어전략 평가

1) 평가 목적 및 대상

본 평가는 신신호 시스템의 중요 교차로에서 운영되는 신호제어 알고리즘의 평가를 목적으로 하였다. 최적화된 고정식 신호제어방식을 비교대상으로 하여 신신호 시스템의 각 접근로별로 변화하는 교통량에 실시간으로 대응하여 주기와 현시를 결정하는 기능에 대한 평가를 진행하였다.

〈표 5〉 적응알고리즘

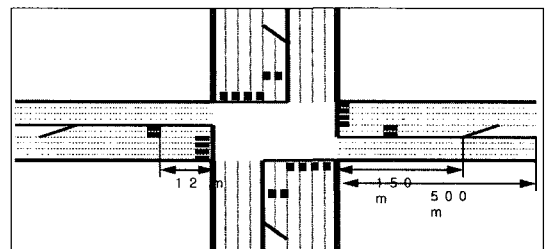
구분	항목
신신호 시스템의 적용 알고리즘	- 포화도(DS) 산출 알고리즘
	- 주기산출 알고리즘
	- 포화도비를 이용한 현시분할 알고리즘
	- 좌회전 감응제어 알고리즘

2) 평가환경 및 조건

본 실험에서는 각 링크별로 서로 다르게 변화하는 교통량 조건을 입력하고 전체적인 교통량 상황을 점차 증가시켜가면서 신호제어의 효과를 측정하였다.

〈표 6〉 시뮬레이터의 입력 data

링크 방향	시간	동	서	남	북
		교통량			
비포화 시 (1800대/시)	-0:15	1500	1800	1400	1600
	-0:30	1700	1800	1500	1700
	-0:45	1900	1800	1800	1800
근포화 시	-1:00	2100	1800	2500	1900
	-1:15	2300	2500	2600	2100
과포화 시 (2500대/시)	-1:30	2500	2500	2700	2300
	-1:45	2600	2500	2500	2600
	-2:00	2600	2500	2200	3000



〈그림 8〉 독립교차로 실험 네트워크

3) 평가결과

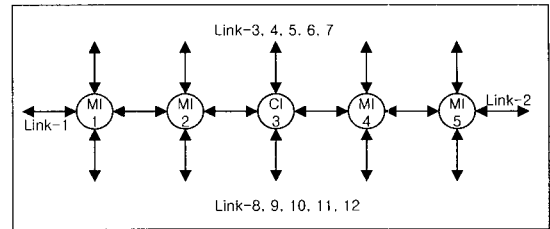
본 실험의 수행한 결과 대응제어와 감응제어를 실시한 효과는 비포화 시와 근포화시에 보다 높게 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 과포화 시 시뮬레이터의 의무적 차로변경의 실패율이 높아져 실제로 좌회전 차량수가 크게 감소하는 현상이 발생하였다. 따라서 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

〈표 7〉 평가결과

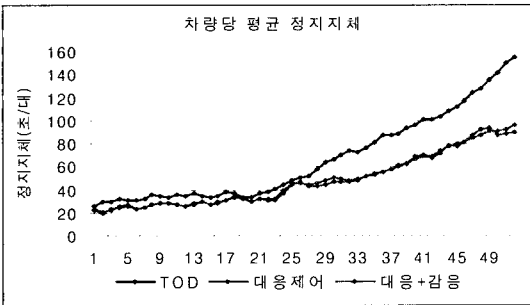
효과 척도	TOD		대응제어		대응+감응	
	통과 교통량	정지 지체	통과 교통량	정지 지체	통과 교통량	정지 지체
비포화	220	33.2	217	21.7	26.8	26.4
근포화	295	55.4	333	42.6	332	41.6
과포화	384	119	405	73.5	405	74.7

2) 평가 환경 및 조건

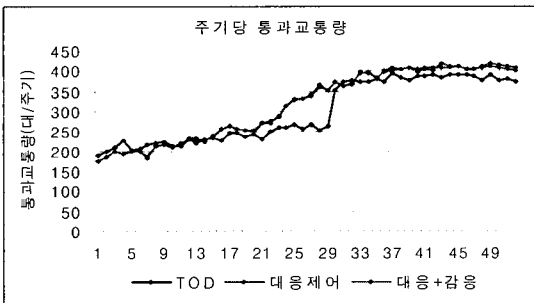
12개 유입링크에 대한 시간대별 교통량과 교차로 회전비율은 〈표 9〉와 같이 산정하였다.



〈그림 11〉 대상 네트워크



〈그림 9〉 차량당 평균정지지체 비교



〈그림 10〉 주기당 통과교통량 비교

〈표 9〉 시뮬레이터의 입력 data

시간대	링크1	링크2	링크 3-4	링크 5-10	링크 11-12
0:00 - 0:15	1800	400	1000	800	600
0:15 - 0:30	1600	600	900	800	700
0:30 - 0:45	1400	800	900	800	700
0:45 - 1:00	1200	1000	800	800	800
1:00 - 1:15	1000	1200	800	800	800
1:15 - 1:30	800	1400	700	800	900
1:30 - 1:45	600	1600	700	800	900
1:45 - 2:00	400	1800	600	800	1000
교통량	1100	1100	800	800	800
직진비율	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7
좌회전비율	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3

2. 교통축의 신호제어전략 평가

1) 평가 목적 및 대상

신신호 시스템의 경우 중요 교차로에서 실시간으로 연동방향을 결정하여 교통상황에 대응하게 된다. 본 평가는 최적화된 고정식 읍셋에 대한 비교를 통하여 신신호 시스템의 알고리즘을 평가하였다.

〈표 8〉 적응알고리즘 및 효과척도

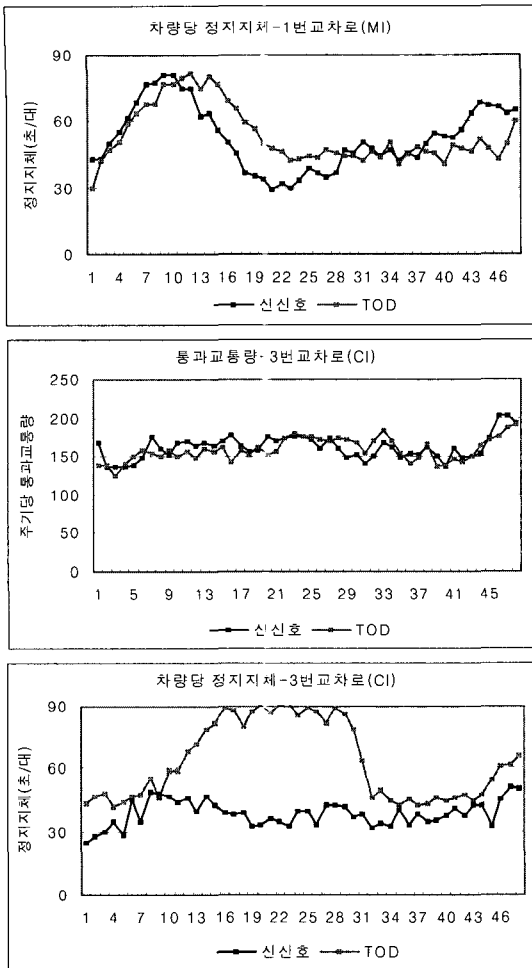
구분	항목
적용 알고리즘	- MI의 Pattern Selection 기능 - 읍셋결정 알고리즘 - 읍셋전이 알고리즘
효과척도	- 교차로 통과교통량 - 차량당 평균 정지지체

3) 평가결과

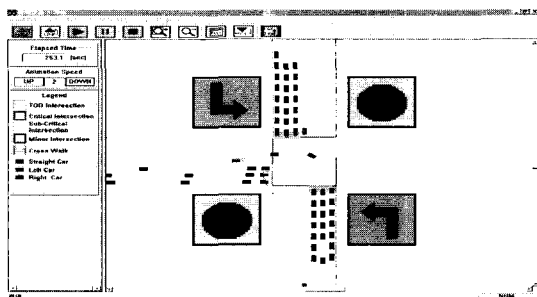
5개 교차로에 대한 실험 결과를 교차로별로 나누어 주기 당 통과교통량과 차량 당 평균 정지지체로 구분하여 비교한 결과는 〈표 10〉 및 〈그림 12〉와 같다.

〈표 10〉 교통축 실험 결과(주기당, 통과교통량)

통과 교통량	1번 교차로	2번 교차로	3번 교차로	4번 교차로	5번 교차로
TOD	154	158	159	160	160
신신호	163	160	162	160	163
정지지체	1번 교차로	2번 교차로	3번 교차로	4번 교차로	5번 교차로
TOD	53.6	54.2	63.2	55.6	63.2
신신호	52.4	62.1	38.5	61.7	62.3



〈그림 12〉교차로별 교통량/정지지체 비교



〈그림 13〉시뮬레이터 수행 화면

VI. 결론

본 연구에서는 다양한 첨단 신호 시스템의 신호제어 전략을 평가할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였고 이를 이용하여 현재 서울 강남에서 시범 운영되고 있

는 신신호 시스템의 신호전략들을 평가해 보았다.

본 연구를 통하여 개발된 시뮬레이터의 특성을 그 기능에 따라 몇 가지로 분류해서 정리하면 다음과 같다. 첫째, 네트워크 구조상의 특징으로 현재 시뮬레이터는 현재 격자형으로 구성된 네트워크로 표현할 수 있는 현장 상황을 반영할 수 있고 이론적으로는 네트워크의 무한한 확장이 가능하도록 설계되어 있기 때문에 컴퓨터의 하드웨어가 발전함에 따라 분석공간의 확장이 가능한 장점을 가지고 있다. 둘째, 개별 차량의 행태에 관한 특징으로 본 시뮬레이터는 차량발생, 차량추종, 차로변경 및 선두차량의 신호반응 등의 기본적인 차량의 행태에 대해 현실적인 묘사가 가능하다. 그리고 현실에서의 개별 차량들의 운전자 특성을 반영하기 위해서 초기속도 및 가속속도의 결정 시 고정된 값을 사용하지 않고 개별차량 마다 정규분포에 의해 산출되는 값을 사용하였다.

마지막으로 본 시뮬레이터의 활용적인 측면을 살펴보면 시뮬레이션 상의 노드-링크 체계는 교차로로 지정된 각 노드들을 사용자가 원하는 타입의 신호체계로 지정할 수 있기 때문에 다양한 신호전략을 모의실험할 수 있고 15분 간격의 유입교통량 입력을 통하여 현실적으로 변화하는 교통상태를 묘사할 수 있다.

그리고 수행된 첨단 신호 체계의 신호전략 평가 측면에 있어서는 본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 이용하여 현재 서울의 일부 지역에서 운영중인 신호제어전략(신신호 시스템)에 대한 평가를 진행하였다. 그 결과를 정리하면 기존의 신호체계에 비하여 신신호 시스템의 알고리즘 측면에서의 효율성은 본 시뮬레이터를 이용한 실험 결과 어느 정도 입증되었다고 판단된다. 따라서 이상적인 교통류의 흐름에서 신신호 시스템의 신호알고리즘과 동일한 적용이 현실적으로 정확하게 이루어진다면 신신호 시스템으로 인한 교통상황의 개선효과는 적지 않을 것으로 판단된다.

그러나 이상적인 교통류의 진행과 현실에서의 차량의 흐름은 적지않은 차이가 존재하고, 따라서 시뮬레이터의 차량진행 부분에서 현실적인 움직임의 묘사를 위한 추가적인 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한 신신호 시스템을 현장에 적용하는 경우, 현실의 교통류 상황을 고려한 검지정보의 처리알고리즘, 교차로 기하구조 및 서로 다른 개별 차량 행태 문제, 통신상의 문제, 신호 시스템 장애 발생 시의 대응책 등에 대한 신중한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 도철웅(1997), "교통공학원론(상)", 청문각.
2. 안계형(1997), "과포화 교통상태에의 적용을 위한 시뮬레이션 모형 개발", 한국시뮬레이션학회.
3. 이영인(1999), "도시교통류 미시적 시뮬레이션 모형의 개발", 서울시립대 도시과학연구원.
4. Averill M.Law & W.David Kelton(1991), Simulation Modeling And Analysis, McGraw-Hill, Inc.
5. Aycin, Benekohal(2000), "Analysis of Stability and Performance of Car-following Models in Congested Traffic", TRB 79th Annual Meeting.
6. Edited by Dietrich Stauffer, Kai Nagel, Jorg Esser, and Marcus Rickert(1999), "Large-scale traffic simulation planning", to appear in: Annual Review of Computational Physics VII, World Scientific Publishing Company.
7. C. J. Messer et al, "Traffic Flow Theory", TRB SPECIAL REPORT 165.
8. M Rickert, K Nagel, M Schreckenberg, A Latour, physica A. Copyright by Elsevier. "Two lane traffic simulations using cellular automata".

♣ 주 작 성 자 : 한동희

♣ 논문투고일 : 2002. 11. 13

논문심사일 : 2003. 3. 18 (1차)

2003. 4. 8 (2차)

심사판정일 : 2003. 4. 8

♣ 반론접수기한 : 2003. 8. 31

the multi-shortest paths algorithm reflecting unexpected military incidents.

This study examines the multi-shortest paths in the real networks using Shier algorithm. The network contains both military link capacity and time-based cost. Also, the modes are defined as a platoon(group) rather than unit which is used in most of previous studies in the military logistics. To verify the algorithm applied in this study, the comparative analysis was performed with various sizes and routes of network which compares with Dijkstra algorithm. The major findings of this study are as follows:

- 1) Regarding the unique characteristics of the military transportation plan, Shier algorithm, which is applied to this study, is more realistic than Dijkstra algorithm. Also, the time based concept is more applicable than the distance based model in the military logistics.
- 2) Based on the results from the various simulations of this study, the capacity-constraint sections appeared in each scenarios. As a consequence, the alternatives are necessary such as measures for vulnerable area, improvement of vehicle(mode), and reflection of separated-marching column in the military manuals.

Finally, the limits and future research directions are discussed:

- 1) It is very hard to compare the results found in this study, which is used in the real network and the previous studies which is used in arbitrary network.
- 2) In order to reflect the real military situations such as heavy tanks and heavy equipment vehicles, the other constraints such as the safety load of bridges and/or the height of tunnels should be considered for the future studies.

Development of a Microscopic Traffic Simulator for Evaluating Signal Operating Strategy of Traffic Adaptive Control System

LEE, Young-lhn · HAN, Donghee

Many cities, recently, have converted optimized fixed-time control to adaptive traffic system in the control of their signalized traffic network. The expected benefit from the adaptive traffic system is its ability to constantly modify signal timing to most effectively accommodate changed traffic conditions. While the potential benefits from this control structure may be significant, few studies have compared the effect of implementing this method of signal control against other alternative signal control strategies, because it is too difficult to evaluate the efficiency of the real-time adaptive system.

The objectives of this research are : to develop a microscopic simulator and to compare the effect at isolated intersections, corridors, and networks between the fixed signal timing plan and adaptive traffic signal system. This simulator will have allowed more sophisticated analysis techniques for the study of traffic control. Also, this research using this simulator evaluated a real-time traffic responsive signal system used in Seoul Korea

Solution Algorithms for Logit Stochastic User Equilibrium Assignment Model

LIM, Yongtaek

Because the basic assumptions of deterministic user equilibrium assignment that all network users have perfect information of network condition and determine their routes without errors are known to be unrealistic, several stochastic assignment models have been proposed to relax this assumption. However, it is not easy to solve such stochastic assignment models due to the probability distribution they assume. Also, in order to avoid all