

멀티 에이전트를 이용한 도로정체에 따른 교통흐름 예측 및 통합제어 I : 시뮬레이션 시스템 개발 및 최적화를 위한 모델링

조기용¹⁾ · 배철호²⁾ · 김현준²⁾ · 주열³⁾ · 서명원⁴⁾

성균관대학교 기계공학부¹⁾ · 성균관대학교 기계공학부 대학원²⁾ ·
미시시피주립대학교 전기 & 컴퓨터공학부³⁾ · 성균관대학교 기계공학부⁴⁾

The Integrated Control Model for the Freeway Corridors based on Multi-Agent Approach I : Simulation System & Modeling for Optimization

Kiyong Cho¹⁾ · Chulho Bae²⁾ · Hyunjun Kim²⁾ · Yul Chu³⁾ · Myungwon Suh⁴⁾

¹⁾Postdoctoral, School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

²⁾Graduated School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

³⁾Professor, School of Electric & Computer Engineering, Mississippi State University, MS 39762, U.S.A

⁴⁾Professor, School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 13 January 2006 / Accepted 3 July 2006)

Abstract : Freeway corridors consist of urban freeways and parallel arterials that drivers can use alternatively. Ramp metering in freeways and signal control in arterials are contemporary traffic control methods that have been developed and applied in order to improve traffic conditions of freeway corridors. However, most of the existing studies have focused on either optimal ramp metering in freeways, or progression signal strategies between arterial intersections. There have been no traffic control systems in Korea that integrates the freeway ramp metering and arterial signal control. The effective control strategies for freeway operations may cause negative effects on arterial traffic. On the other hand, traffic congestion and bottleneck phenomenon of arterials due to the increasing peak-hour travel demand and ineffective signal operation may generate an accessibility problem to freeway ramps. Thus, the main function of the freeway which is the through-traffic process has not been successful. The purpose of this study is to develop an integrated control model that connects freeway ramp metering systems and signal control systems in arterial intersections. And Optimization of integrated control model which consists of ramp metering and signal control is another purpose. The design of experiment, neural network, and simulated annealing are used for optimization.

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

1. 서론

도시고속도로란 도시부에 위치한 자동차전용도로로서 신호기나 표지의 통제를 받는 일반 시가지

도로와 달리 진·출입이 제한되는 고속의 연속 교통류 처리를 목적으로 하는 도로이다. 또한 도시고속도로는 그 기능상 도시부에 위치하므로 높은 통행수요, 빈번한 진·출입, 잦은 구간용량변화, 그리고 제약된 기하구조로 인하여 반복적 혼잡발생

*Corresponding author, E-mail: suhmw@skku.ac.kr

비율이 높다는 점에서 지역 간 고속도로와 구분된다.

도시고속도로 교통축(freeway corridor)이란 도시고속도로(freeway)와 운전자가 대안으로 활용할 수 있는 간선도로(arterial)가 결합된 일반적인 고속도로망(general freeway network)을 말한다. 이러한 도시고속도로 교통축의 교통상황을 개선시키기 위하여 지금까지 연구되어 시행하고 있는 통제기법(control measures)에는 고속도로 진입램프에서의 램프 미터링(ramp metering)기법과 간선도로 교차로에서의 신호통제(signal control)기법 등을 들 수 있다. 하지만 대부분의 기존 연구들을 살펴보면, 고속도로인 경우에는 최적화된 램프 미터링율(optimal ramp metering rates)을 구하는 전략을, 주변 간선도로인 경우에는 교차로간의 연동신호(progression) 전략을 제공하는 데만 초점을 맞춰왔으며 두 개의 부 시스템(subsystem)을 통합한 제어전략은 고려하지 못하고 있는 실정이다.¹⁾

이로 인해서 결과적으로 고속도로 운영에 대한 통제전략이 주변 간선도로에 악영향을 미칠 수가 있으며, 반대로 퍼크시의 교통수요와 비효율적인 신호운영으로 인한 간선도로상의 혼잡이나 병목현상으로 인해 종종 고속도로 램프에 대한 접근이 방해받게 되는 경우(spillback 현상)가 발생하는 등 일반 인접차로와의 접속문제 때문에 고속도로의 통과 교통 처리라는 본래 기능이 저하되고 있다.^{2,3)}

따라서 본 연구에서는 선행 연구에서 개발된 MAT DYMO 시스템^{4,5)}을 이용하여 제한된 유효 정보에 대하여 도로 기하구조, 통행수요, 제어방식의 변화에 따라 도시고속도로 본선과 램프의 교통류 흐름을 동적으로 예측하고 이를 다른 기법과 비교·검증하였다. 아울러 예측된 교통 흐름을 바탕으로 램프 미터링과 간선도로 신호주기 제어를 통합한 통합제어를 수행하여 도시고속도로 교통축의 통합제어에 대한 최적화를 수행하였다.

2. 교통 시뮬레이션 시스템 개발

본 연구에서 개발된 교통 시뮬레이션 모델은 4개의 하위 시스템으로 구성된다. 즉, 도로 생성 시스템, 차량 거동 제어 시스템, 운전자 제어 시스템,

그리고 통합 제어 시스템으로 구성된다. 도로 생성 시스템은 지형 데이터 처리, 교차로 생성, 도로 생성 및 각종 차선 생성 모듈을 통하여 교통 환경을 생성한다. 도로 생성 시스템은 도로 곡률, 도로 형태, 차량 위치 등의 정보를 차량 거동 제어 시스템에 제공하고, 차선 정보를 운전자 제어 시스템에 전달한다. 차량 거동 제어 시스템은 PID 속도 제어 모듈과 쓰로틀 및 브레이크 제어 모듈로 이루어진 차량 에이전트를 제어한다. 차량 에이전트는 엔진, 토크 컨버터, 트랜스미션, 기어, 쓰로틀, 브레이크 액추에이터를 포함한 8자유도 차량 동역학 모델을 사용하였다. 차량 거동 제어 시스템은 차량 속도 및 위치 정보를 도로 생성 시스템에 제공한다. 운전자 제어 시스템은 운전자 에이전트를 생성하고, A* 알고리즘을 이용하여 경로를 설정한다. 또한, 운전자 제어 시스템은 동적 및 정적 차선 변경 모듈을 통하여 차선 변경을 결정한다. 통합 제어 시스템은 교통 시뮬레이션 수행에 따른 모든 에이전트 정보를 수집하고, 시뮬레이션을 통제한다. 또한 통합 제어 시스템은 GUI를 제공하며, 사용자는 이를 통하여 각종 차량 정보 및 시뮬레이션 파라미터를 수정할 수 있다. 아울러 통합 제어 시스템은 에이전트에 대한 각종 규칙과 통신 규약을 정의하고 있다. 본 연구에서 개발된 교통 시뮬레이션 모델의 구성은 Fig. 1과 같으며, 시뮬레이션 흐름은 Fig. 2와 같다.

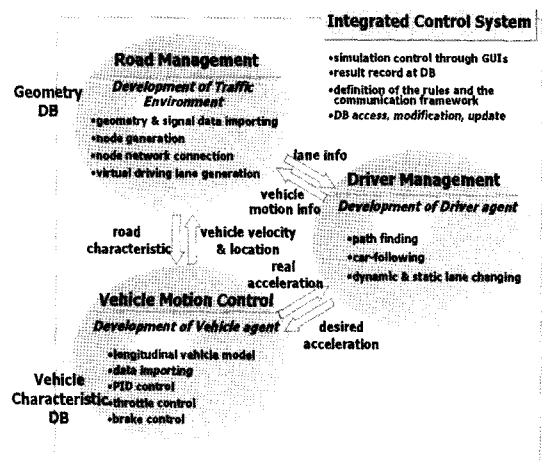


Fig. 1 Configuration of the system

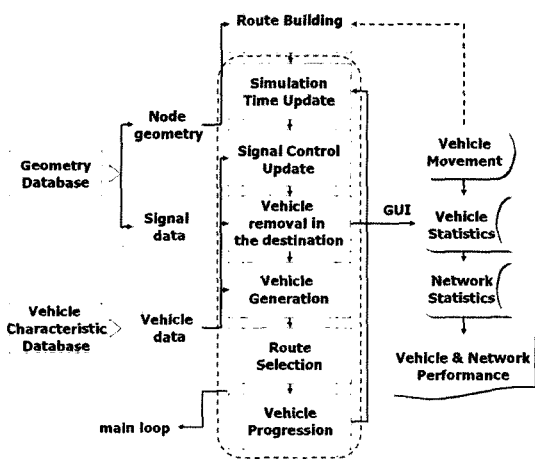


Fig. 2 Simulation flow of the system

2.1 도로 생성 시스템

이 절에서는 교통 시뮬레이션 환경을 생성하는 도로 생성 시스템에 관하여 설명한다. 도로 생성 시스템은 교차로 생성, 도로 생성 및 차선 생성 모듈로 구성되었다. 교차로는 교통 환경을 생성하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 교차로는 좌표 정보 및 연결 정보를 가지고 있다. 좌표는 위도와 경도 또는 특정 좌표에 대한 X와 Y 값으로 입력되며, 교차로의 형상은 이웃하는 교차로의 수와 위치에 따라 결정된다. 도로는 생성된 교차로를 기준으로 차선에 따라 생성된다. 차선은 차량이 주행하는 경로인 가상 주행 레인과 일반적인 차선으로 나뉘어 생성된다.

2.2 차량 거동 제어 시스템

차량 거동 제어 시스템은 차량 에이전트를 생성한다. 차량 에이전트는 물리적인 차량 자체를 나타내며, 차량의 동역학적 특성에 따라 거동한다. 즉, 운전자 에이전트에서 판단한 목표 속도에 따라 실제 차량의 반응을 나타낸다. 실제 차량은 가속도의 한계가 있기 때문에 이상적인 감속이 이루어지지 않는다. 이러한 차량 에이전트를 위하여 차량 동역학을 이용한 차량 모델을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 차량동역학 모델은 서명원, 김태기 등에 의하여 개발된 8자유도 차량동역학 모델을 참고하고, 동력 전달계 모델을 추가하여 구성하였다.⁶⁾

차량모델은 차량의 정상상태 및 비 정상상태 운동시 동특성 해석을 위해 Fig. 3과 같이 차량의 무게중심에 대하여 종 방향, 횡 방향, 차량 수직 축 방향 회전운동, 차량 종축 방향 회전운동 및 각 차륜의 회전운동에 대한 8자유도 모델을 구성하였다.⁷⁾ 본 논문에서는 단순한 차량 모델을 사용하여도 취지에는 부합되나 향후 도로 곡선부에서의 차량 거동 등을 나타낼 수 있도록 8자유도 모델을 채택하였다. 동력 전달계 모델은 대상차량의 확보된 제원을 반영하고, 미 확보된 제원은 본 연구실에서 기 수행한 바 있는 SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground)의 연구에서 사용된 모델을 일부 수정·보완하여 사용하였다.⁸⁾ 동력 전달계 모델 구성은 엔진, 토크컨버터, 변속기 등으로 이루어져 있다.

1) The longitudinal motion

$$M(\dot{V}_x - V_y \dot{\theta}) = F_{x1} \cdot \cos \delta - F_{y1} \cdot \sin \delta + F_{x2} \cdot \cos \delta - F_{y2} \cdot \sin \delta + F_{x3} + F_{x4} \quad (1)$$

2) The lateral motion

$$M(\dot{V}_y + V_x \dot{\theta}) = F_{x1} \cdot \sin \delta + F_{y1} \cdot \cos \delta + F_{x2} \cdot \sin \delta + F_{y2} \cdot \cos \delta + F_{y3} + F_{y4} \quad (2)$$

3) The yawing motion

$$I_z \ddot{\theta} = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3} + F_{T4} \quad (3)$$

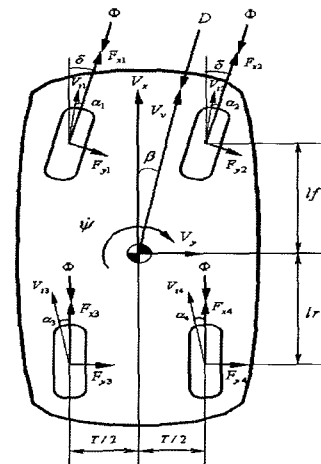


Fig. 3 Configuration of the system

2.3 운전자 제어 모듈

운전자 제어 시스템은 주행을 주관하는 운전자 에이전트를 생성하는 시스템이다. 운전자 에이전트는 간단한 규칙에 따라 주행하는 것만으로는 교통 시뮬레이션에 적용하는 것이 충분치 않다. 즉, 인간에 준하는 자율성, 성격 등 다양한 능력이 요구된다. 운전자 에이전트의 가장 큰 특징은 경로에 관한 자율성에 있다. 같은 출발점에서 같은 목적지를 가지고 있어도 그 경로는 다양하게 존재한다. 운전자는 경로를 결정할 때 반드시 최단거리나 최단시간의 경로를 선택하지는 않는다.

효용이나 경험에 따라 다른 경로가 선택 될 수 있다. 운전자 제어 시스템은 경로 선택 모듈, 차량 추종모듈 및 차선 변경 모듈로 구성되어 있다. 운전자 에이전트는 차량 추종 모듈로부터 도출된 목표 가속도를 차량 거동 제어 시스템에 전달하게 되고, 현재 위치와 주행 차선 등의 정보를 도로 생성 시스템과 통합제어 시스템에 제공한다.

경로 선택의 자율성은 운전자의 다양성을 나타내는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 본 시스템에서는 A* 알고리즘을 통하여 거시적인 경로를 선택하고, 이후 교통 상황 변화에 따라 운전자 에이전트의 판단에 따라 미시적인 경로를 선택한다. 차량 추종 모듈은 제한 속도 제어와 추종 제어로 구성된다. 제한 속도 제어는 선행하는 차량이 없을 경우 혹은 선행하는 차량이 안전거리 밖의 영역에 위치했을 경우 실행된다. 이 때 운전자 에이전트는 도로의 제한 속도를 목표 속도 설정하고 목표 가속도를 판단한 후 이를 차량 거동 제어 시스템에 전달한다. 추종 제어는 선행 차량이 안전거리 안의 영역에 있을 경우 선행하는 차량과의 차간 거리를 안전거리로 유지하는 것을 말한다.

차선 변경은 정적 차선 변경과 동적 차선 변경으로 나뉜다. 정적 차선 변경은 경로를 추종하기 위해, 즉 회피전이나 우회전을 위해 회전이 가능한 가상 주행 레인을 추종하기 위한 것이다. 이에 반하여 동적 차선 변경은 진행 차선의 정체를 회피하기 위해 이웃 차선으로 진행 경로를 변경하는 것이다. 정적 차선 변경은 주행 경로 선택 시 결정되지만, 동적 차선 변경은 전적으로 교통 상황과 운전자 에이전트

의 특성에 따라 결정된다. 운전자 제어 시스템과 차량 거동 제어 시스템의 관계는 Fig. 4와 같다.

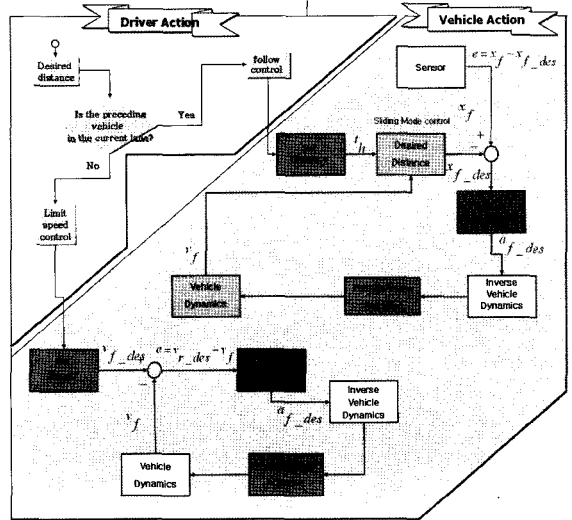


Fig. 4 Configuration of the system

2.4 통합 제어 모듈

통합 제어 시스템은 시뮬레이션 수행 중 세가지 역할을 수행한다. 즉, 차량 위치 감지, DB 인터페이스, 그리고 에이전트와 환경에 대한 규칙 실행이다. 통합 제어 시스템은 속도, 교차로 ID(identification), 도로 ID, 차선 ID 등과 같은 차량의 각종 정보를 수집하고, 이를 다른 차량 에이전트들에게 전파한다. 또한, GUI를 통해 전달되는 시뮬레이션 스텝 시간, 총 시뮬레이션 시간, 저장 데이터 형식 등에 관한 파라미터를 DB에 저장하고 평균 주행 시간, 평균 속도, 정체 차량 수, 총 주행 시간 등과 같은 결과를 DB에 저장한다. 규칙은 에이전트가 사고를 통해 결과를 도출하도록 유도하는 것으로 정의 된다.⁹⁾ 운전자 에이전트는 교통 환경과 교감하면서 규칙에 따라 적절한 판단을 내린다. 통합 제어의 구성은 Fig. 5와 같다.

운전자 에이전트는 어떤 대립된 상황에 직면했을 경우 운전자의 의사 결정 과정을 나타낼 수 있어야 한다. 본 연구에서는 운전자의 특성을 나타내기 위해 '양보지수'와 '추월지수'를 개발·적용하였다. 운전자 에이전트는 주어진 양보지수와 추월지수에 따라 주행 중 추월, 양보, 차선 변경 등의 행위를 결

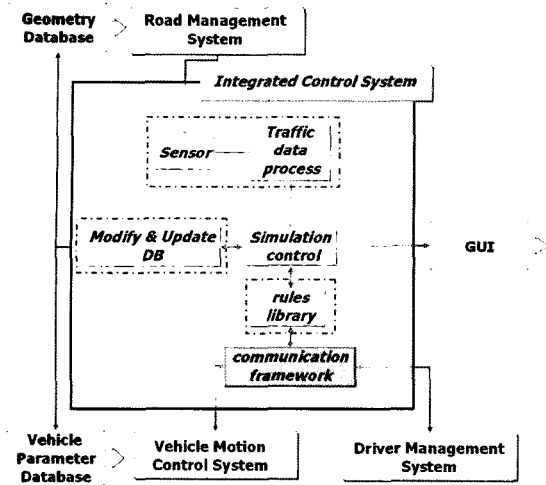


Fig. 5 Configuration of the system

정한다. 양보지수는 차선 변경에 대한 양보 경향을 나타내며, 높은 양보지수를 가진 운전자 에이전트는 그렇지 않은 운전자 에이전트에 비해 양보를 더 잘 하게 된다. 추월지수는 추월을 얼마나 자주 하는가에 대한 경향을 나타내며, 공격적인 운전자는 작은 추월지수를 가지고, 조심스런 운전자는 높은 추월지수를 가지게 된다.

3. 유고 상황 시뮬레이션 및 검증

개발된 멀티 에이전트 기반 교통시뮬레이션 모델을 이용하여 도로 기하구조, 통행수요, 제어방식의 변화에 따라 도시고속도로 본선과 램프의 교통류 상황을 동적으로 예측하였다. 또한, 개발된 시스템을 URFSIM¹⁰⁾과 비교하여 개발된 시스템을 검증하였다. 유고 상황 시뮬레이션은 연속류 도로 모델 중 단순 도시고속도로 모형을 샘플로 수행하였다. 그 결과 URFSIM과 본 시스템은 매우 유사하게 교통 정체 상황을 분석하였으며, 교통 해소 상황은 본 시스템이 보다 현실적으로 나타냄을 알 수 있었다.

3.1 검증 시뮬레이션 모델링

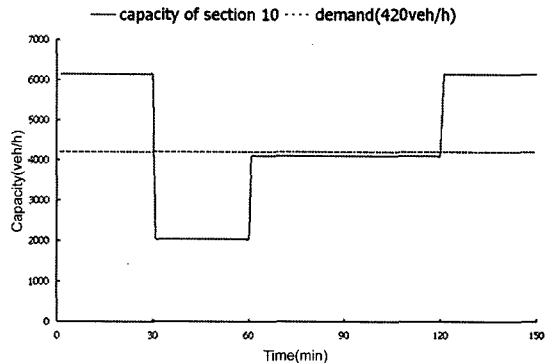
교통사고나 차량의 고장 등으로 발생한 유고는 통상 용량의 변화를 수반하며 시뮬레이션에서 재현하기가 상당히 까다로운 현상이다. Fig. 6은 진·출입램프가 없는 7.27km의 직선구간으로서 12개의 소구간(Δx)으로 나뉘어 있다. 각 소구간의 길이는

→Direction of travel

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | | | | | | | | 10 | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | 11 | 12 |

Length = 12·606 m = 7.27km, Capacity = 6150 veh/h

(a)



(b)

Fig. 6 Configure of uninterrupted flow model: (a) layout, (b) incoming traffic flows

606m로 균일하게 구획되어 있으며 각 소구간의 차선 수는 3개이다. 1개 차선 당 용량은 시간당 2,050 대로서 구간 당 용량은 6,150veh/hr이다. 총 시뮬레이션 시간은 150분이며 상류부에서 진입교통량은 4,200 veh/hr로 설정하였다. 시뮬레이션 시간 30분에 소구간 10에서 유고가 발생하여 60분까지는 차선 두 개가 폐쇄되어 소구간 용량이 2,150veh/hr이며, 60분부터 120분까지는 차선 한 개가 폐쇄되어 소구간 용량이 4,300veh/hr가 되는 것으로 유고상황을 설정하였다. 이와 같은 상황설정을 바탕으로 도로제한속도는 110km/hr, 혼잡밀도는 37.8veh/km/ lane로 설정하여 150분 동안 시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이션 결과를 URFSIM과 비교하였다. 본 논문에서 가정한 내용은 URFSIM의 논문과 비교 검증하기 위해 동일한 내용으로 가정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 비교 검증

연속류 도로 모델 중 단순 도시고속도로 모형을 샘플로 멀티 에이전트 기반 교통 시뮬레이션을 수행한 결과 Fig. 7과 8에서 볼 수 있듯이, 시뮬레이션 시간 30분에서 60분 동안 소구간 10의 상류부에서 혼잡이 시작되어 상류방향(소구간 8과 소구간 4 밀

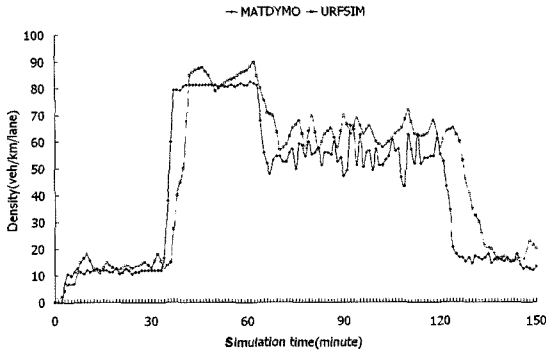


Fig. 7 Traffic state estimation at segment 8

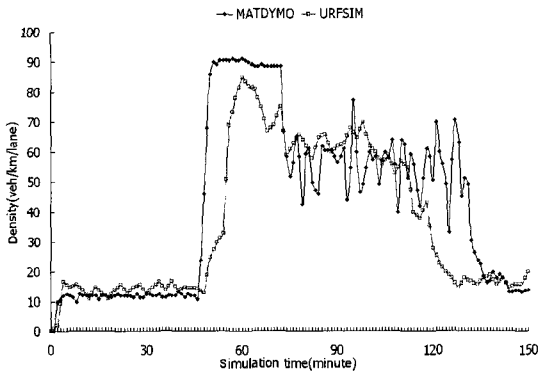


Fig. 8 Traffic state estimation at segment 4

도 변화)으로 혼잡이 전파되고 있다. 유고구간 상류 부에서 밀도변화를 보면 교통량-밀도 곡선 우측의 혼잡영역에 급속히 도달한 이후 그 지점에 머무르고 있다. 동 시간 동안 유고가 발생한 소구간 10에서의 밀도는 혼잡밀도인 $k_c = 37.8 \text{ veh/km/lane}$ 을 유지하였다.

Fig. 7은 시뮬레이션 기간 동안 유고발생지점의 상류부인 소구간 8에서의 교통량-밀도 변화를 나타낸 것이다. 유고발생이전에는 낮은 밀도상태(15 veh/km/lane)를 유지하면서 $4,200 \text{ veh/hr}$ 수준의 교통량을 처리하고 있다. 그러나 시뮬레이션 시간 30분에 소구간 10에서 유고가 발생하자 급속히 밀도가 높아지면서 교통량이 낮아지고 있다. 소구간 10에서 2개 차선이 폐쇄되는 동안 높은 밀도상태(85 veh/km/lane)를 유지하면서 $2,150 \text{ veh/hr}$ 수준의 제한된 교통량을 처리하고 있다. 이후 유고상황이 완화된에 따라 점차적으로 혼잡이 해소되며 용량이 회복되어 가고 있다. Fig. 7에서 소구간 8의 교통 밀도를 보면,

본 시스템에서는 34분 전후, URFSIM은 36분 전후로 교통 정체가 시작되는 것을 볼 수 있으며 정체교통밀도는 두 경우 유사하였다. Fig. 8에서 소구간 4의 교통 정체 시작 시간은 본 시스템과 URFSIM 각각 46분, 48분 전후로 비슷하였으며, 정체차량밀도 또한 각각 85 veh/km/lane 와 91 veh/km/lane 로 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. 아울러 소구간 8에서 정체가 나타나서 소구간 4까지 정체가 전파되는 시간은 12분으로 나타났으며 두 경우 모두 일치하였다. 이에 반해 유고 상황이 회복되는 경우에 정체 지속 시간은 본 시스템의 경우가 URFSIM보다 길었으며, 소구간 4에서 최대 11분의 차이를 보였다. 그 이유는 통상 정체가 풀리는 상황은 가속 또는 출발로 인한 손실이 발생하게 되고, 이로 인해 감속상태나 균형 상태에 있는 교통류보다 동일 밀도의 경우 교통량이 낮아지는 것이다. 이와 같은 현상을 CFD에 기반한 시뮬레이션에 반영하기 위해서는 별도의 관측 자료에 바탕을 둔 연구가 추가되어야 한다. 하지만 본 시스템은 차량 동역학에 근거한 차량 에이전트를 사용함으로써 유고 회복 상황을 잘 표현하고 있기 때문에 연속류에서의 교통 흐름을 잘 예측하는 것으로 나타났다. 이상에서 볼 때 본 시스템은 복잡한 유고상황의 진행과정을 합리적으로 구현해 내고 있는 것으로 판단된다.

4. 통합 제어 모형 모델링

본 연구에서는 램프 미터링과 신호주기 제어를 포함한 통합제어에 대하여 기존의 통합제어모형과는 다른 방법으로 최적화를 수행하였다. 즉, 실험계획법을 이용하여 실험점을 추출하고, MATDYMO를 통해 각각의 실험점에 대한 교통량, 지체차량밀도 등의 응답을 얻었다. MATDYMO를 통해 얻은 데이터를 인공지능망 이론¹¹⁾을 이용하여 목적함수 및 제한조건 식을 근사하여 최적설계 문제를 정식화하였고, 근사된 최적 설계 문제에 대하여 시뮬레이티드어닐링 기법¹²⁾을 이용하여 최적설계를 수행하였다. 대상 고속도로 모델은 Fig. 9와 같다. 여기서, FTT는 고속도로 지체 차량 수, ATT, ATT'는 간선도로 지체 차량 수, RD는 램프 지체 차량 수, S_j 는 고속도로 구간 j의 교통량, FC_j 는 고속도로 구간 j의 용

량, RC_j 는 램프 구간 j 의 용량을 나타낸다. 또한, Q_0 , c_1 , A_0 는 각 구간별 교통량으로 Fig. 10과 같다. 출입 램프에서 유출되는 교통량(E_j)은 상류부에 대한 도착 교통량(A_0)의 10%인 값으로 설정하였다. 또한 지체차량은 속도가 5km/hr보다 작은 경우로 정의하였다. 도시고속도로와 간선도로의 유입유량은 Fig. 11과 같고, 자세한 데이터는 Table 1에 나타내었다.

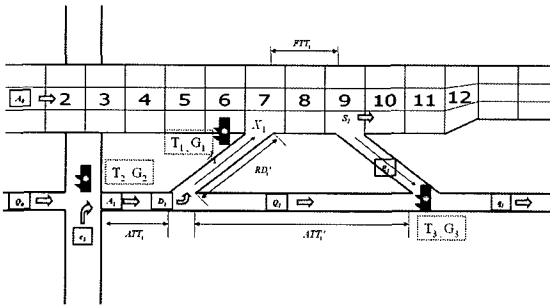


Fig. 9 Configuration of the system

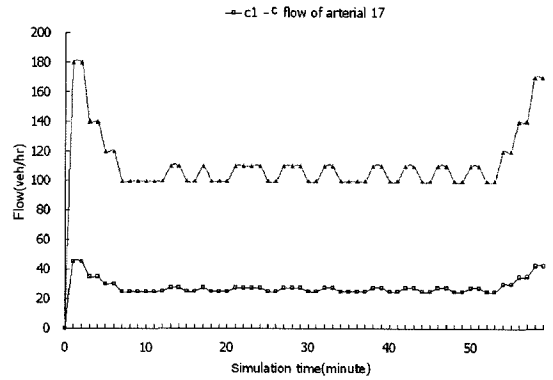


Fig. 11 Incoming traffic flows from arterials

Table 1 Incoming traffic flow

| Time (min.) | A_0 | Q_0 | c_1 | D_1 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1000 | 135 | 45 | 180 |
| 2 | 1000 | 135 | 45 | 180 |
| 3 | 1600 | 105 | 35 | 140 |
| 4 | 1600 | 105 | 35 | 140 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 60 | 3200 | 128 | 43 | 171 |

5. 결론

본 연구의 목적은 MATDYMO의 도시고속도로에 대한 교통 흐름 예측 결과를 바탕으로 도시고속도로 교통축에 대한 통합제어를 수행하는 것이다.

본 논문은 동역학을 이용한 MA 기반 교통 시뮬레이션을 개발하였고, 제한된 유효 정보에 대하여 도로 기하구조, 통행수요, 제어방식의 변화에 따라 도시고속도로 본선과 램프의 교통류 흐름을 동적으로 예측하고 이를 다른 기법과 비교·검증하였다. 또한 개발된 시뮬레이션 프로그램의 검증을 위하여 URSIM를 이용한 교통 예측 시뮬레이션과 비교하고, 가상의 기하구조와 통행 패턴을 바탕으로 유고 상황에 대한 정성분석을 시도하였다. 결과로 URSIM과 본 시스템은 매우 유사하게 교통 정체 상황을 분석하였으나, 교통 해소 상황은 차량 동역학에 근거한 차량 에이전트를 사용함으로써 차량 지체를 효과적으로 표현한 본 시스템이 보다 현실적으로 나타냄을 알 수 있었다.

마지막으로 본 논문은 통합제어를 위한 최적화 문제 정의 및 방법론을 모색하였다. 최적화 대상은

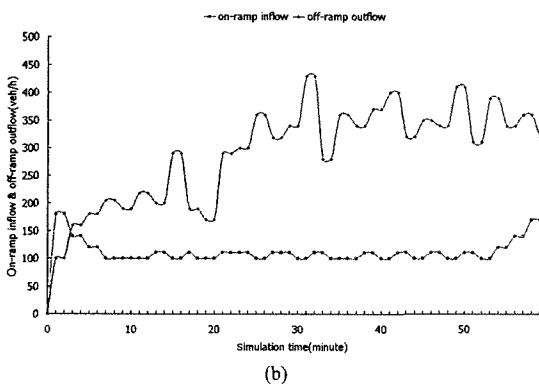
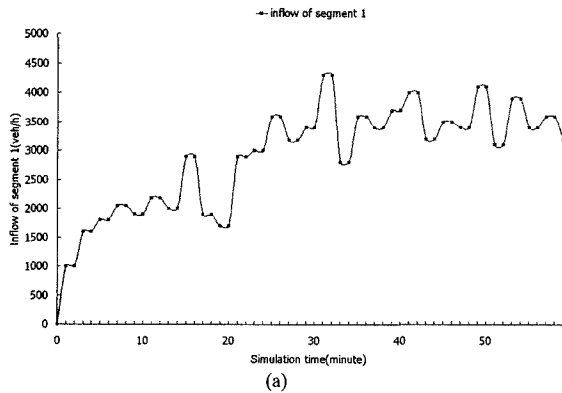


Fig. 10 Incoming traffic flows, (a) Inflow of segment 1, (b) On-ramp inflow & off-ramp outflow

램프 미터링과 간선 도로 신호 주기 제어를 통한 지체의 최소화, 도시고속도로 통행량의 최대화, 그리고 지체 및 통행량 최적화의 세 가지로 정하여, 각각에 대한 문제정의를 하였다. 이를 통하여 관련 논문 “멀티 에이전트를 이용한 도시고속도로 교통축에 대한 통합 제어. II: 최적화”에서 통합 제어 최적화를 수행하였다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10938-0)와 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수연구실 지원사업의 연구결과입니다.

References

- 1) R. B. Chandra and S. Sivaramakrishnan, “A Multidimensional Mixed Ordered-response Model for Analyzing Weekend Activity Participation,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.39, pp.255-278, 2005.
- 2) M. Papageoriou, “An integrated Control Approach for Traffic Corridors”, *Transportation Research*, Vol.3, pp.19-30, 1995.
- 3) E. S. Park, J. H. Lim, I. H. Suh and Z. Bien, “Hierarchical Optimal Control of Urban Traffic Networks,” *International Journal of Control*, Vol.40, pp.813-829, 1984.
- 4) K. Y. Cho and M. W. Suh, “Multi-Agent for Traffic Simulation with Vehicle Dynamic Model. I: Development of Traffic Environment,” *Transactions of KSAE*, Vol.12, No.5, pp.125-135, 2004.
- 5) K. Y. Cho and M. W. Suh, “Multi-Agent for Traffic Simulation with Vehicle Dynamic Model. II: Development of Agnet,” *Transactions of KSAE*, Vol.12, No.5, pp.136-145, 2004.
- 6) M. W. Suh, Y. J. Kim, C. S. Seok and T. G. Kim, “Development of Vehicle Model for Dynamic Analysis of ABS Vehicle,” *Transactions of KSAE*, Vol.7, No.2, pp.228-241, 1999.
- 7) S. J. Kwon, S. Jang, K. W. Yoon and M. W. Suh, “Development of the VR Simulation System for the Dynamic Characteristics of the Adaptive Cruise Controlled Vehicle,” *Transactions of KSAE*, Vol.12, Vol.4, pp.163-172, 2004.
- 8) M. W. Suh, T. W. Koo, Y. S. Shin, K. Y. Cho and D. Y. Park, “Development of the SVPG: System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground,” *Transactions of KSAE*, Vol.10, No.1, pp.195-202, 2002.
- 9) M. Patrick, A. V. Sebald, N. T. Smith and M. L. Quinn, “An Efficient AI based Algorithm for Validating Pulsatile Arterial Pressure Waveforms,” *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE*, pp.4-7, 1988.
- 10) J. G. Kang, “Development of Urban Freeway Traffic Simulation Model,” *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.15, No.1, pp. 85-103, 1997.
- 11) I. García-Fernández, J. D. Martín-Guerrero, M. Pla-Castells, E. Soria-Olivas, R. J. Martínez-Durá and J. Muñoz-Marí, “Crane Collision Modelling using a Neural Network Approach,” *Expert Systems with Applications*, Vol.27, pp.341-348, 2004.
- 12) S. L. Rosen and C. M. Harmonosky, “An Improved Simulated Annealing Simulation Optimization Method for Discrete Parameter Stochastic Systems,” *Computers & Operations Research*, Vol.32, pp.343-358, 2005.