

지능형교통시스템에서의 시뮬레이션 모델 개발연구
- 고속도로 요금소 및 유고관리 적용사례를 중심으로 -

Case study on the Applications of Simulation on ITS
- Focused on Management of Tollgate and Incident in Freeway -

김호중^{1*}, 조용성², 백승걸³, 안병하¹

¹광주과학기술원 기전공학과 시스템통합 연구실, ²ITS Korea, ³도로교통기술원 ,
snoopykim@gmail.com*

요약문

지능형교통시스템(Intelligent Transportation System: ITS)의 기술발전에 따라 고속도로 상에도 각종 검지 센서가 설치되고 교통정보가 다양한 형태로 제공되고 있으며, 전자요금징수시스템(Electronic Toll Collection System: ETCS) 또한 시범운영단계를 마치고 모든 고속도로를 대상으로 확대적용을 준비 중에 있다.

본 논문에서는 ITS 관련시스템 중 고속도로를 대상으로 적용되는 전자요금징수시스템과 유고관리 시스템을 대상으로 수행되었던 시뮬레이션 사례를 소개하고, ITS 분야에서의 시뮬레이션 적용 필요성에 대해서 논의하고자 한다.

전자요금징수시스템을 대상으로 한 시뮬레이션의 경우 현재 시범운영중인 영업소를 대상으로 향후 다양한 요금지불수단 도입에 따른 효과적인 영업소 운영방안을 도출하는 것을 목적으로 개발되었으며, 운전자들의 영업소 차로선택모형 등에 대한 사전연구를 통하여 모델링에 반영하였다. 또한, 고속도로 유고관리시스템의 경우 사고 직후 사고영향에 대한 실시간 시뮬레이션을 수행하여 지체지속시간 및 지체영향구간을 예측하여, 향후 교통정보제공에 활용

하는 것을 목적으로 개발되었다. 개발된 시뮬레이션 모델을 통하여 각종운영방안에 대한 평가를 수행하였으며, 실제 유고상황에서의 검지자료와의 비교를 통하여 성능평가를 수행하였다.

1. 서론

우리나라 고속도로의 건설현황은 2004 년도를 기준으로 20 여개 노선에 걸쳐 총연장 약 3,000km에 이르며, 향후 7x9 국가간선도로망계획이 완료되면, 약 6,000km에 이르게 된다. 하지만, 고속도로 이용차량대수 역시 매년 20% 정도의 증가추세를 보이고 있으며, 주 5 일제의 시행 등으로 그 증가추세는 더욱 가속화될 전망이다. 이러한 급속한 통행 수요의 증가로 인해 발생된 만성적인 교통혼잡으로 개인적 손실은 물론 사회적으로 막대한 비용을 지불하고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해, 기존 교통시설의 효율을 극대화하고, 소규모의 재원으로 단기간에 교통운영을 개선시키기 위한 노력들이 활발히 진행되어 왔다. 이러한 노력의 하나로 ITS에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행 중이며, 우리나라도 “ITS 국가기본계획”을 수립하여, 관련 연

구 및 사업을 추진하고 있는 중이다.

ITS 분야 중 고속도로를 대상으로 진행되고 있는 대표적인 사업으로는 한국도로공사의 주관으로 고속도로 교통관리시스템(Freeway Transportation Management System: FTMS) 사업과 전자통행료징수시스템(Hi-pass) 사업이 있으며, 2004년 기준 차량검지기 2,000여대, CCTV 600여대, 도로전광표지 300여대가 고속도로 상에 설치되어 있으며, 청계, 성남, 판교 등 영업소를 대상으로 전자통행료징수시스템을 시범운영하고 있다.

ITS 분야는 시설의 설치 및 운영에 많은 예산과 시간이 투입되는 만큼, 관련시설의 도입 및 운영과 관련하여 사전에 그 타당성을 시뮬레이션 하고자 하는 시도가 갈수록 많아지고 있으며, 나아가서는 날로 복잡해지는 도로상황과 교통상황을 복합적으로 고려하여 운영자의 의사결정을 지원하기 위한 의사결정지원 시뮬레이션 시스템의 연구개발도 활발하다.

본 논문에서는 ETCS의 본격적인 도입에 따른 영업소의 설계 및 운영방안의 효과적 제시를 위해서 개발된 “고속도로 영업소 시뮬레이션 시스템”과 FTMS의 핵심기능 중의 하나인 유고관리기능을 보다 효율적으로 수행하기 위해 개발된 “고속도로 유고구간 시뮬레이션 시스템”에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

2. 고속도로 영업소 시뮬레이션 시스템

2.1 개요

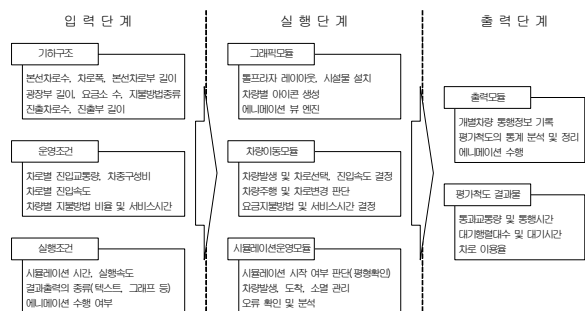
현재 우리나라 고속도로에는 통행요금을 징수하기 위하여 영업소(Toll Booth)를 설치하고 있으며, 이로 인해 발생하는 대기차량을 위한 공간인 톨프라자를 확보하고 있다. 이러한 톨프라자의 계획과 설계를 위한 일반적인 기술기준 및 설계방법 등을 도로 설계요령에 정의하고 있으나, 현재의 교통조건과 새로운 요금징수체계에 대한 고려가 미흡하여 부적절한 계획 및 설계를 유도하고 있는 실정이다. 본

시스템은 톨프라자 주변에서의 운전자의 차로선택행태를 근거로 다양한 통행료징수체계에서의 톨프라자 설계안 및 운영방안 평가를 위해 개발되었으며, 앞으로 다양해지는 요금징수방법이 적용가능하다.

2.2 기본구조

일반적으로 교통상황을 묘사하기 위해 사용되는 시뮬레이터는 노드-링크체계를 기반으로 한 지체, 대기이론 등의 모형식을 이용하여 교통현상을 표현해 왔다. 그러나, 본 연구에서 사용한 객체지향형 개발도구인 SIMPLUS는 개별차량을 하나의 객체로 인식하고 해당 차량의 움직임을 기반으로 현장에서의 교통현상을 표현할 수 있기 때문에 램프구간, 철도건널목, 비신호교차로 등 미시적 교통상황을 시뮬레이션 하는데 적합하다.

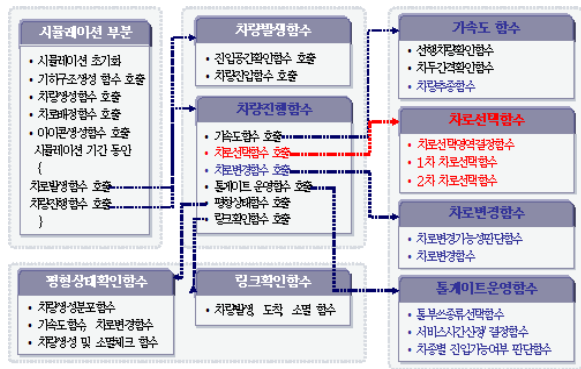
시뮬레이션은 기본적으로 입력, 시뮬레이션 실행, 출력의 3단계로 구성되며, 톨프라자 시뮬레이션도 마찬가지로 3단계로 구성하였다. 먼저, 입력단계에서는 톨프라자의 기하구조와 운영조건 및 기타 실행조건에 대한 정보를 분석자가 직접 입력하도록 구성하였고, 실행단계에서는 입력된 정보들을 기초로 차량발생 및 차로배정, 차로선택, 차량주행 및 차로변경 등의 세부모듈에 의해 톨프라자에서의 차량의 움직임을 표현하게 된다. 마지막으로 주어진 조건에 따라 시뮬레이션 실행이 완료되면 차량도착대수, 대기행렬길이, 평균통행시간 등의 평가척도를 파일형태로 출력하도록 구성하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 시뮬레이터의 기본구조는 아래 [그림 1]과 같다.



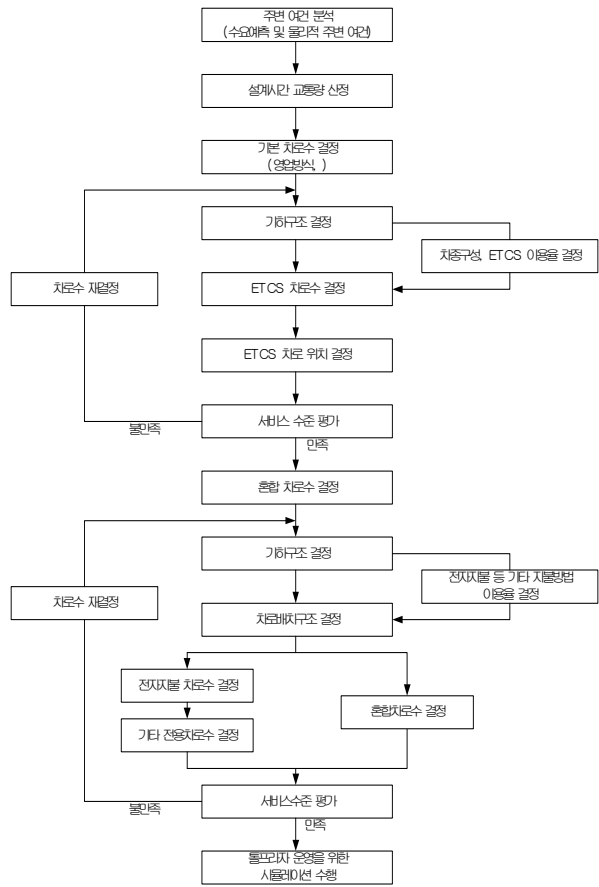
[그림 1] 고속도로 영업소 시뮬레이터 기본구조

2.3 실행모듈구성 및 실행단계

시물레이션 모형의 핵심인 실행단계에 대한 설명으로 기본골격은 정해진 시간 간격, 또는 특정 사건이 발생하였을 때마다 일련의 모듈함수를 반복 수행하는 것으로 이루어지며 입력단계에서 기록된 정보를 기반으로 시물레이션 파라미터의 결정, 레이아웃 표현, 그리고 시나리오 정의의 순으로 진행된다. [그림 2]는 시물레이션 초기설정부터 기하구조 및 차량 생성부터 차량발생 및 주행과 관련된 모든 모듈 및 함수들간의 관계를 보여준다.



[그림 2] 고속도로 영업소 시물레이터 실행모듈



[그림 3] 고속도로 영업소 설계 및 운영 기본절차

본 시물레이터는 영업소에 대한 새로운 운영방안(톨게이트 요금소의 증감, 승용차 전용 차로수 조정, 차로수 등 기하구조 변경)이나 지불방법에 대한 효과 등을 시물레이션 할 수 있으며, 그 절차는 [그림 3]과 같다. 특히, 서비스 수준평가 단계에서는 차로별 대기행렬수, 차량별 대기시간, 차로이용률 등 다양한 정량적 평가척도값을 제시해 줌으로써, 다양한 대안들의 상호비교평가에 효과적으로 사용할 수 있다.

2.4 수행사례

개발된 시스템을 이용하여 다양한 규모의 영업소를 대상으로 향후 개선안 및 운영안을 도출해 보았으며, 본 논문에서는 서울외곽순환고속도로 구리 영업소를 대상으로 한 수행사례를 소개하기로 한다. 구리 영업소 상행방향의 현재 차로수는 13 차로이며,

본선은 4 차로로 구성되어 있다. 첨두시 교통량은 약 6,000 대 정도로 현재는 대기행렬이 차로당 약 21 대 정도로 쌓이고 있어 서비스수준 F 의 교통서비스를 제공하고 있다. 실험은 기본차로수 결정, ETCS 이용률 변동에 따른 적정차로수 결정, 차로수에 따른 최적이용률 결정, 교통상황에 따른 영업소 운영방법 결정 등에 대해서 수행되었으며, 본 논문에서는 기본차로수 결정 및 ETCS 이용률 변동에 따른 적정차로수 결정에 대한 결과를 제시하였다.

1) 기본차로수 결정

구리영업소의 서비스수준을 개선하기 위해서 필요한 기본 차로수를 산정하기 위해서 차로수를 1 차로씩 늘려가면서 시뮬레이션을 수행하였다.

[표 1] 영업소 기본차로수 시뮬레이션 결과

차로수	13	14	15	16	17
평균통행시간(초)	442.59	313.69	272.93	146.06	89.34
대기행렬대수(전체)	280.00	201.80	179.40	73.90	24.00
대기행렬대수(평균)	21.54	14.41	11.96	4.62	1.41

그 결과, 현재 조건보다 1 차로 증가한 14 차로에서는 평균 14 대, 15 차로에서는 12 대로 감소하다가 16 차로에서는 서비스수준 C 의 조건인 대기행렬 5 대이하인 4.6 대의 대기행렬 대수를 나타냈다. 또한, 17 차로로 구성할 경우에는 서비스수준 B 인 2 대보다 작은 1.4 대로 감소하는 것으로 예상되었다.

2) ETCS 이용률에 따른 적정차로수 결정

기본차로수인 16 차로를 대상으로 ETCS 이용률 변동에 따른 톨프라자 적정차로수를 산정하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 [표 2]와 같다.

[표 2] ETCS 이용률에 따른 적정차로수 결정

차로수	10%		20%				30%		
	15	16	13	14	15	16	12	13	14
평균통행시간(초)	189.27	110.97	261.51	124.29	80.78	74.38	164.07	89.77	77.99
대기행렬대수(전체)	115.90	46.80	177.60	58.20	20.70	14.40	94.20	26.30	13.50
대기행렬대수(평균)	7.73	2.93	13.66	4.16	1.38	0.90	7.85	2.02	0.96

수행결과, 10%의 이용률일 때는 기본차로수와 같은 16 차로를 유지하는 것이 바람직한 것으로 분석되었으며, 20%로 이용률이 증가하면 14 개 차로

로도 서비스수준 C 를 충분히 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 마지막으로 30%의 이용률일 경우 13 개 차로가 필요한 것으로 분석되었다. 이는 현재 구리영업소에서 운영하고 있는 서비스차로수에 해당하는 값으로서 현재 구리영업소의 지체문제를 해결하기 위해서는 ETCS 단말기를 30%이상 보급하는 방법이 해법이 될 수 있음을 의미한다.

3. 고속도로 유고구간 시뮬레이션 시스템 (Freeway Incident Analysis System: FIAS)

3.1 개요

고속도로와 같이 제한된 진출입 시설을 가지고 있는 도로에서의 유고는 심각한 정체를 유발시킬 수 있기 때문에 교통류의 상태관정(원활, 서행, 정체 등)과 함께 혼잡상황이 앞으로 어떻게 전개될 것인지 또 어느 시점에 종료될 것인지를 예측하는 것은 운전자 입장에서 정확한 교통정보제공 및 효과적인 정체관리에 있어 매우 중요하다. 고속도로 이용객 입장에서도 적절한 우회지점에서의 정체구간 회피 등 최선의 노선선택을 할 수 있다.

고속도로는 통행시간이 비교적 급격하게 변동하지 않기 때문에 실시간 교통정보보다는 예측 교통정보가 필요하다. 특히 최근에는 교통정보 수집장비의 구축과 기술발달로 인해 평상시 교통상황에 대한 실시간 정보는 상당히 양호하게 수집, 제공되기 때문에, 돌발적인 유고시 급변하는 교통상황에 대한 예측정보는 더욱 중요하다. 그러나 현재 FTMS 에서는 VDS(Vehicle Detection System), CCTV 와 관련정보 등을 통해 유고를 확인하고 있을 뿐, 유고상황이 장래 어떻게 전개될 것인가는 운영자의 직관에 의존하고 있다.

따라서 유고 발생시 유고지속시간을 파악하고 우회정보 제공 또는 유출입 통제를 통해 추가적으로 발생할 수 있는 정체를 최소화하며, 고속도로 이용객들에게 더욱 정확하고 유용한 정보를 제공하기 위

해서는 현재 교통상황에 대한 단순한 정보뿐만 아니라, 유고(공사, 사고 등)로 인한 도로용량의 변화나 통행시간의 변화 그리고 정체길이에 대한 예측과 혼잡상태 판정 등 이후의 교통영향을 예측하여야 한다.

보다 효율적인 고속도로 교통관리를 위해서는 유고상황의 즉각적인 검지기술뿐만 아니라 우회정보 제공 등 효과적인 유고대응전략을 시행하여 혼잡을 경감시키는 것이 필수적이다. 유고의 영향을 미리 예측할 수 있다면, 유고 종료 시점에서 교통영향권 및 정상류 회복시간을 산정할 수 있으며, 그에 따른 교통정보 제공범위 및 우회전략 등의 세부적인 교통관리전략을 수립할 수 있다. 본 시물레이션 시스템은 유고 발생시 진행될 정체상황에 대한 정보를 예측함으로써 보다 효과적으로 유고상황에 대응할 수 있도록 하는 것을 목적으로 TCS(Toll Collection System)와 VDS 등 기존 시스템에서 검지한 자료들을 이용하여 장래 교통류 상황을 실시간으로 구현하는 고속도로 교통류 예측 시스템을 구축하였다.

3.2 기본구조

FIAS 는 『실시간 자료수집 모듈』과 『네트워크 구축 모듈』, 『고속도로 교통분석 시물레이터(FRETASIM: FREeway Traffic Analysis SIMulator)』 3 개 기본모듈로 구성되며, 추가로 『운영자 인터페이스』를 이용하여 운영자는 FIAS 를 운영한다. 각 세부 시스템의 역할은 다음과 같다.

1) 운영자 인터페이스

고속도로 운영자가 FIAS 에 접근하여 각종 정보를 입력하고, 가공된 정보를 볼 수 있도록 해 주는 역할을 담당한다. 운영자가 이러한 과정을 쉽고, 직관적으로 수행할 수 있도록 입력정보의 단계화, 시물레이션의 간편화 등을 추구하였으며, 예측된 결과정보도 운영자가 원하는 다양한 형태로 제공함으로써 가능한 빠른 시간 내에 추후 고속도로 교통상황을 파악할 수 있도록 하는 역할을 한다.

2) 실시간 자료수집 모듈

FTMS 서버에 수집되어 있는 VDS, TCS I/O, VDS O/D 정보 등을 실시간으로 접속하여, FIAS 에서 사용할 수 있는 형태로 재가공하는 역할을 담당하며, 시물레이터가 필요로 하는 정보만을 추출하여 자체 DB 에 가공, 저장하는 역할을 한다.

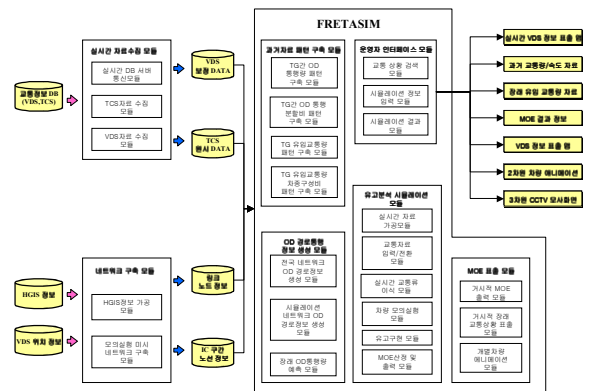
3) 네트워크 구축 모듈

도로공사에서 기 구축한 HGIS 정보로부터 시범 구간 내 도로구간의 기하구조 정보와 IC, JC 정보를 추출하고, 시물레이션에서 사용할 수 있는 링크, 노드정보로 변환해 주는 역할을 하며, 구간에 속하는 링크와 노드를 통합하여 관리할 수 있도록 네트워크 DB 를 생성하는 역할을 한다.

4) 고속도로 교통분석 시물레이터(FRETASIM)

『실시간 자료수집 모듈』을 통해 수집, 가공된 각종 정보와, 운영자를 통해서 입력된 유고정보를 입력자료로 하여, 구축된 시물레이션 네트워크 상에서 시물레이션을 수행한다. 내부적으로는 수집된 실시간 소통정보 표출, 시물레이션 수행, 수행된 결과를 각종 MOE 형태로 가공하는 역할 등을 담당한다.

시스템을 구성하기 위해서는 첫째, 실시간 데이터를 수집하는 기능, 둘째, 시물레이션을 수행할 수 있는 전국 네트워크의 정보, 셋째, 위의 정보들을 이용하여 시물레이션을 수행 할 수 있는 시물레이터가 있어야 한다. [그림 4]는 FIAS 의 전체 시스템 모듈 구성도를 나타낸 것으로 크게 3 개의 모듈로 구성되어 있다.

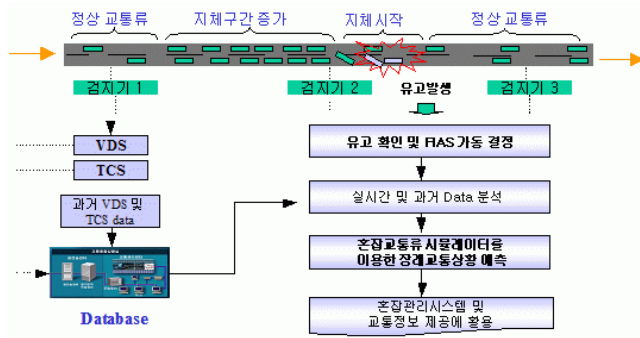


[그림 4] FIAS 전체 시스템 모듈 구성도

3.3 수행단계

FIAS의 주요 수행과정은 아래와 같으며, [그림 5]에 나타내었다.

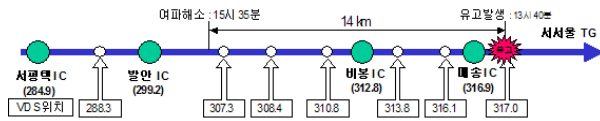
- ① 유고 발생시 유고확인을 통해 FIAS의 가동 결정이 내려지면 FTMS 운영자가 유고의 발생지점, 유고 형태 등을 시스템에 입력
- ② 시스템은 입력된 사항을 근거로 교통 DB로부터 유고 발생지점의 TCS, VDS 자료를 추출한 후 장래 교통상황에 대한 시뮬레이션 수행
- ③ 시뮬레이션 완료시 예상되는 정체길이 및 정체 종료시간 등의 정보를 2차원, 3차원 시각정보 등으로 FTMS 운영자에게 제공



[그림 5] FIAS 수행과정

3.4 수행사례

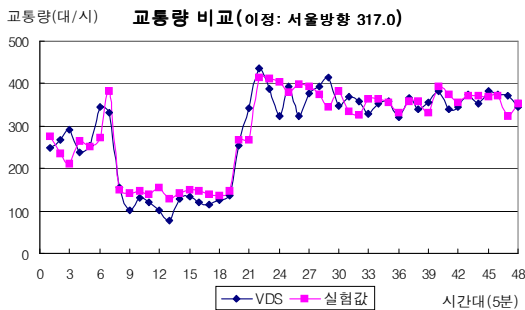
서해안 고속도로 상행선을 대상으로 실제 유고 상황 시 수집된 자료와 시뮬레이션 수행 결과자료를 비교하는 실험이 수행되었으며, 유고는 2003년 11월 21일 13시 40분에 발생하여, 유고처리에는 70분이 소요되었다. 유고의 여파가 완전히 해소된 시각은 15시 35분이고, 유고여파의 해소지점은 유고 발생위치에서 약 14km 후방이다.



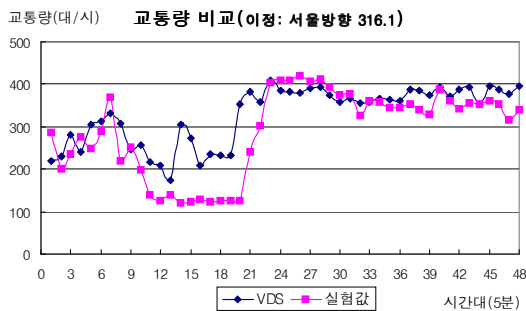
[그림 6] 장유고 사례의 시공간적 정보

1) 지점 교통량 비교

[그림 7,8]은 장유고의 지점별 교통량을 보여주고 있다. 교통량 시계열자료 오차분석 결과는 유고 지속 시간이 긴 장유고로 인한 교통량의 시공간적 정보를 보여주고 있으며, 유고의 혼잡전과과정을 어느 정도 오차를 수반하면서 합리적으로 설명한다.



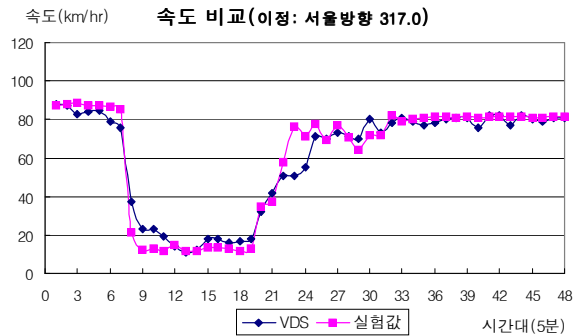
[그림 7] 장유고 발생지점의 교통량 비교



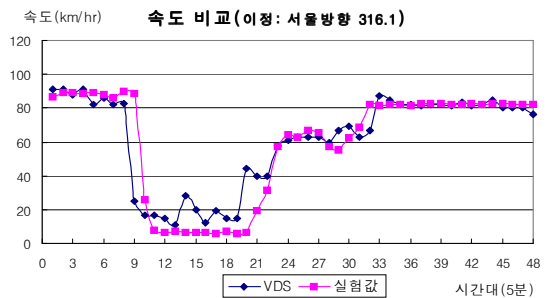
[그림 8] 장유고 1번째 검지기 교통량 비교

2) 지점 속도 비교

[그림 9,10]은 장유고의 지점별 속도를 보여주고 있다. 속도 시계열자료 오차분석 결과는 유고 지속 시간이 긴 장유고로 인한 속도의 시공간적 정보를 보여주고 있으며, 유고의 혼잡전과과정을 어느 정도 오차를 수반하면서 합리적으로 설명하고 있다.



[그림 9] 장유고 발생지점의 속도 비교



[그림 10] 장유고 1번째 검지기 속도 비교

3) 평가 결과 종합

[표 3]은 유고발생 지점에서 유고 여파가 해소된 지점까지의 거리인 유고영향길이와 유고여파해소 시각을 보여주고 있다. 단유고의 경우 실제값보다 유고해소시각은 8.12%, 영향길이는 8.24% 높게 예측되었으며, 장유고의 경우 8.57%, 5.16%로 나타났다. 장유고의 경우 단유고에 비하여 교통량이 적기 때문에 영향길이의 오차는 단유고에 비하여 작게 나타나고 있으며, 유고해소시각 및 유고영향의 길이가 90% 이상의 정확도를 보이고 있다.

[표 3] 유고형태별 유고전개과정 비교

유고형태	단유고 (지속시간 30분)		장유고 (지속시간 70분)	
	해소시간	영향길이	해소시간	영향길이
실제값	17시 40분	약 16km	15시 35분	약 14km
실험값	17시 47분	17.3km	15시 43분	15.2km
오차(%)	8.12	8.24	8.57	5.16

4. 결론

본 논문에서는 ITS 관련시스템 중 고속도로를 대상으로 적용되는 전자요금징수시스템과 유고관리시스템을 대상으로 수행되었던 시뮬레이션 사례를 소개하였다. 전자요금징수시스템의 경우 영업소의 설계단계에서부터 기본차로 운영 및 ETCS 차로 운영 등의 다양한 상황에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 시스템이 구축되었으며, 이러한 다양한 상황에 대한 시뮬레이션 수행결과를 제시하였다. 유고관리시스템과 관련한 시뮬레이션에서는 유고상황 발생시 유고로 인해 야기되는 교통정체의 여파를 미리 예측해 줌으로써 교통관제센터(Traffic Management Center: TMC)의 의사결정을 지원하는 의사결정시스템으로써의 역할을 목적으로 개발되었으며, 서해안고속도로를 대상으로 성능평가를 실시하였다.

본 사례에서 알 수 있듯이, ITS 분야에서의 시뮬레이션의 역할은 종전의 교통분야에서의 시뮬레이션과 같이 정적인 상황에서의 단편적 대안평가 수준에서 더욱 발전하여, 동적으로 변화하는 교통상황이나 교통환경에 따라 수시로 수행되어 의사결정자의 판단을 지원하는 의사결정시스템으로 발전하고 있다.

특히, ITS 기술발전과 더불어 실시간으로 수집된 교통자료 DB와 연동하여 진행될 필요성이 더욱 커지고 있다.

앞으로의 연구방향은 기존에 한국도로공사에서

구축한 FTMS와의 효율적인 통합 및 연동을 위하여 시스템의 확대에 따른 성능 향상과 통합방안 연구가 필요하며, TMC 의사결정자를 대상으로 한 지원정보에서 보다 발전하여 고속도로 운전자를 위한 예측정보 제공방안에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

[참고문헌]

1. 도로교통기술원, "고속도로 유고구간 정체길이 예측모형 개발", 결과보고서, 2003.
2. 조용성, "운전자 차로선택형태에 근거한 톨프라자 설계 및 운영모형: 전자요금징수시스템의 적용을 중심으로", 박사학위논문, 2005.
3. ㈜심테크시스템, "3차원 그래픽을 통한 ITS용 시뮬레이션 기술에 관한 시뮬레이터 및 애니메이션 개발", 1999.
4. Hojung Kim, S. Akhtar Ali Shah, Seungkirl Baek, Ahn Byung Ha, "Architecture of decision support system for incident management-A case study of Republic Korea", Proc. Of the 11th World Congress on ITS, 2004.