

도시고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 개발에 관한 연구 및 평가

Study and Evaluation of an Incident Detection Algorithm for Urban Freeways

서정호* 임성만** 김영찬***
(Jeong-ho, Seo) (Sung-man, Im) (Young-chan, Kim)

요약

도로에서 발생하는 비반복적이며 예측불가능한 일련의 사건을 돌발상황(incident)이라고 하며 이러한 돌발상황이 발생하게 되면 교통류의 정상 흐름이 와해되고 이로써 도로의 용량감소를 일으키며 교통혼잡과 대기오염 등 막대한 사회·경제적 손실을 초래한다. 돌발상황으로 인한 피해를 최소화하고자 국내외 각종 교통관리센터에서는 자동 돌발감지 알고리즘에 의한 자동감지 방법을 사용하고 있다. 그러나 현재 운영중인 돌발상황 감지 알고리즘들은 어느 정도의 감지율은 확보하고 있으나 오경보율이 높아 대체적인 성능은 낮은 것으로 판단된다.

유출입램프 수요과다로 인해 도로용량이 다른 구간에 비해 현저히 떨어지는 병목(bottleneck)구간의 경우, 돌발상황이 빈번하게 발생함에도 불구하고 진출입차량으로 인한 대기행렬과 차로변경등의 유사 돌발상황이 발생하여 자동 돌발상황 감지가 더욱 어려운 실정이다.

본 연구에서는 진출입영향권내에서 발생하는 돌발상황을 정확히 감지하기 위해 돌발상황시 혼잡상황 구분을 통한 자동감지 알고리즘을 바탕으로 램프구간의 혼잡 감지시 인접한 본선의 차로를 돌발상황 판단모듈에서 제외함으로써 모형의 성능을 향상시킬 수 있음을 살펴보았다.

Abstract

A series of accidents, which are non-recurrent and non-anticipated, are called incidents. These incidents make standard traffic flows interrupt, which result in the decrease of road capacity and a number of social and economic costs, such as the traffic congestion and air pollution. In order to prevent the hazard of incidents, domestic and foreign traffic management center are likely to opt auto-sense system with algorithms of auto-incident sense. However, it is evaluated that the algorithms have a low function with frequent wrong alarms, even if they accurately try to speculate the incidents.

In the case of bottleneck which has lack of road capacity, compared with other roads, due to inefficient road structure and over-capacity of the demand of on-off ramp, the incidents regularly take place. Nonetheless, it can be more difficult to speculate the auto-incidents sense owing to similar incidents, such as the queue of in-out flows of cars and the change of road line.

Throughout this research, the function of the model has improved excluding near road line in the module of the incidents which is based on the auto-incidents algorithms during the sense of the congestion of ramp areas.

Key Words : Incident, Detection Algorithm, Ramp influence area

* 회원 : 서울시립대학교 교통공학과 석사졸업

** 비회원 : 서울시립대학교 교통공학과 박사졸업

*** 회원 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2004년 2월 22일

I. 서 론

고속도로에서의 정체는 크게 반복정체(recurrent congestion)와 비반복정체(nonrecurrent congestion)로 분류할 수 있으며, 반복정체란 병목지점과 같이 수요가 용량을 초과하는 지점 또는 구간에서 특정 시간대에 반복적으로 발생하는 정체로 예측이 가능하여 사전 교통류 관리 및 정보제공으로 혼잡을 완화시킬수 있다. 그러나 각종 교통사고, 공사, 천재지변 등 비반복정체로 인한 혼잡은 불특정 시간대 및 불특정 장소에서 발생하므로 예측이 불가능하여 신속하고 정확한 감지와 적극적인 대응을 통해서만 정체를 해소할 수 있다. 도로에서 발생하는 비반복적이며 예측불가능한 일련의 사건을 돌발상황(incident)이라고 하며 이러한 돌발상황이 발생하게 되면 교통류의 정상 흐름이 와해되고 이로써 도로의 용량 감소를 일으키며 교통혼잡과 대기오염 등 막대한 사회,경제적 손실을 초래한다.

돌발상황으로 인한 피해를 최소화하고자 국내의 각종 교통관리센터에서는 자동 돌발감지 알고리즘에 의한 자동감지 방법을 활용하고 있다. 서울시의 경우에도 주요한 도시고속도로인 내부순환로, 강변북로, 올림픽대로등에 체계적인 돌발상황 관리시스템이 구축되어 운영중이다. 그러나 현재 운영중인 돌발상황 감지 알고리즘들은 어느정도의 감지율은 확보하고 있으나 오경보율이 높아 대체적인 성능은 낮은 것으로 판단된다. 이러한 잦은 오경보는 운영자로 하여금 돌발상황 자동감지 알고리즘에 대한 불신을 초래하여 시스템의 역효과를 일으키고 있다.

돌발상황중 상당수가 차량의 상충이 빈번하게 발생하는 진출입부 주변에서 발생하고 있다. 실제로 북부구간에서 일어난 돌발상황을 구간별로 살펴본 결과 과반수가 넘는 돌발상황이 진출입부 주변에서 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 기존의 알고리즘은 빈번한 교통변수의 변화로 돌발상황을 정확히 감지하지 못하고 있다. 진출부의 경우, 진출교통량 과다로 인해 대기행렬이 본선으로 역류하였을 때 실제 돌발상황과 구분이 불가능하며, 진입부의 경우에도 빈번한 차로변경 및 가감속으로 인해 교

통변수가 변하게 되어 돌발상황 감지가 어려운 실정이다.

본 연구에서는 혼잡상황 구분을 통한 고속도로 돌발상황 자동감지 알고리즘¹⁾을 바탕으로 진출입 영향권내에 적용가능한 알고리즘을 개발하고 돌발상황 판단에 가장 중요한 임계변수를 구간별로 정산하여 신뢰성 있고 적용가능한 알고리즘 개발을 목적으로 한다. 이와 더불어 실제자료와 모의실험(Paramics)을 통해 구축된 돌발상황 자료를 토대로 다양한 상황에서 모형의 성능을 검증하고 비교평가를 한다.

II. 기존문헌 고찰

자동 돌발상황 감지(AID, Automatic Incident Detection) 알고리즘은 1960년대 후반부터 미국의 고속도로에 사용하기 위해 개발된 California 알고리즘을 시작으로 지난 30여년 동안 수많은 알고리즘이 개발되었다. 이러한 알고리즘은 그 특성에 따라 크게 4가지 범주로 구분할 수 있다.

1. 기존 알고리즘의 분류

돌발상황 자동감지 알고리즘은 그 특성에 따라 크게 4가지 범주로 구분할 수 있다. 첫째, 패턴인식(Pattern-recognition) 기법은 상,하류부 검지기 자료에서 수집되는 교통패턴을 인식하여 미리 설정한 임계값과 비교하여 비정상적인 교통패턴을 자동으로 인식하는 구간 감지기법이다. 현장 적용이 쉽고 모형의 성능이 검증되어 있지만, 비혼잡시에는 모형의 성능이 떨어지며 개개 지점마다 설정해야 하는 많은 임계값으로 인해 모형 정산에 어려움이 있다. 대표적인 알고리즘으로 California, APID 알고리즘 등이 있다.

둘째, 통계적(Statistical) 기법은 관측된 검지기 자료에서 비정상적인 변동을 구분하기 위해 수집된 자료와 추정 또는 예측된 값과 유의한 차이를 가지는가를 판단하여 돌발상황을 감지하는 기법이다.

1) 임성만, "도시고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 개발에 관한 연구", 2003, 서울시립대학교 박사학위 논문

주로 하나의 검지점에서 수집되는 교통자료를 이용하여 돌발상황을 감지하는 감지기법을 적용하기 때문에 사용하는 자료의 양이 적다는 장점이 있지만, 진출입램프가 접속되어 있는 구간과 같은 병목 구간에서는 그 성능이 떨어진다. 대표적인 알고리즘으로 SND, Bayesian, ARIMA, HIOCC, DES 알고리즘 등이 있다.

셋째, 교통류 모형 적용(Traffic Model and Theoretical)기법은 교통류 이론을 토대로 돌발상황 발생시의 교통류 행태와 정상상태에서의 교통류 행태를 비교하여 돌발상황을 감지하는 기법이다. 대표적인 알고리즘으로는 Dynamic, McMaster 알고리즘 등이 있다.

넷째, 인공지능(Artificial Intelligence)기법은 인간의 학습능력과 추론능력을 돌발감지에 이용한 것으로 퍼지이론의 퍼지추론이나 신경망이론을 통하여 교통자료의 비정상적인 패턴을 구분하여 돌발상황을 감지하는 기법이다. 최근에 이러한 인공지능 기법을 이용한 돌발감지 알고리즘 개발이 활발하게 연구되고 있는 추세이다. 대표적인 알고리즘으로는 신경망 알고리즘과 퍼지셀 알고리즘 등이 있다.

2. 기존 알고리즘의 돌발상황 판단변수

앞서 살펴본 알고리즘은 “주로 상, 하류부 검지점간의 평균 점유율 차이값을 이용하여 돌발상황을 감지하고 있다. 즉, 검지점의 모든 차로의 평균값을 이용하여 돌발상황을 감지함으로써 비혼잡시나 진출입구간과 같은 병목구간에는 자동감지가 어렵다는 문제를 안고 있다. 기존의 알고리즘에서 요구되는 입력자료들을 정리해 보면 아래 <표 1>와 같다.

<표 3> 기존 돌발상황 감지 알고리즘의 입력자료

구분	점유율	교통량	속도
California	○		
APID	○	○	
SND	○	○	
Bayesian	○		
ARIMA	○		
McMaster	○	○	
Neural Network	○	○	○
Fuzzy Set	○	○	○

3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘²⁾은 1975년 Jhon Holland의 “Adaptation in Natural and Artificial System” 논문에서 처음 소개되었으며, Darwin이 제안한 ‘자연 선택(natural selection)’과 ‘적자 생존(survival of the fittest)’ 이론을 바탕으로 한 탐색 알고리즘이다. 즉, 유전자 알고리즘은 자연생태계의 유전법칙에 모방한 휴리스틱(heuristic)한 탐색기법으로, 주어진 문제의 탐색 공간 내에서 최적화를 수행할 목적 함수에 대한 후보 해들로 구성된 집단을 가지고 선택, 유전자 연산을 적용하고 이를 반복 수행하면서 공간을 탐색해 나가는 알고리즘이다. 유전자 알고리즘의 특징은 언덕오름기법, 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing), 타부서치(tabu search) 등 다른 탐색기법은 하나의 해를 이용하는 데 반하여, 복수개의 잠재해로 이루어진 해의 집단을 이용한다는 것이다. 따라서, 유전자 알고리즘은 이러한 해의 집단에 자연 선택과 적자 생존과 같은 유전법칙을 반복적으로 적용하여 탐색하므로, 공간적 탐색능력이 매우 우수하다.

유전자 알고리즘의 일반적인 절차를 살펴보면, 먼저 문제의 잠재해를 표현한 개체들로 이루어진 개체집단을 발생하여 시작한다. 개체집단은 매 세대마다 일정수의 개체를 유지하고 매 세대에 대한 각 개체의 적합도를 평가하여 이에 따라 다음 세대에 생존할 우수한 개체를 결정하는 선택과정을 수행한다. 선택된 개체들은 임의로 짝을 지어 교배 과정을 통해 새로운 자손을 생성한다. 마지막으로 개체는 돌연변이 연산을 수행하여 전혀 다른 개체를 발생한다. 이러한 일련의 과정을 수행하게 되면 다음 세대의 개체들은 평균적 전 세대보다 더 우수해진다. 이러한 과정은 종료조건을 만족할 때까지 반복 수행한다. 일반적인 유전자 알고리즘의 절차는 아래 <그림 1>과 같다.

2) 조영임, 1999, “최신 인공지능”, 학문사
공성곤, 김인택, 박대회, 박주영, 신요안, 1996 “유전자 알고리즘”, 그린문화사

```

begin
t=0
P(t)의 초기화 (초기 개체집단의 생성)
while (종료조건이 만족되지 않으면) do
begin
t = t + 1
P(t-1)로부터 P(t)의 선택 수행
P(t)의 교배 수행
P(t)의 돌연변이 수행
end
end
※ 여기서, t : 세대수
P(t) : 세대 t의 개체집단
    
```

<그림 1> 유전자 알고리즘의 일반적인 절차

4. 효과척도

돌발상황 감지 알고리즘의 성능을 평가하는 효과척도로는 감지율(DR, Detection Rate), 오경보율(FAR, False Alarm Rate), 평균 감지시간(TTD, Time to Detection)등이 있다. 이들 3가지 효과척도는 알고리즘이 얼마나 효율적인가를 검증하는 지표로 사용할 수 있다.

감지율은 일정시간 동안 발생한 총 돌발상황 발생건수 중에서 돌발상황 감지 알고리즘에 의해 감지된 건수의 비율이다.

$$DR = \frac{\text{감지건수}}{\text{총 발생건수}} \times 100(\%)$$

오경보율은 알고리즘 총 수행횟수 중에서 오경보 수행횟수의 비율로 나타내는 방법(FAR1)과 총 경보건수 중에서 오경보된 건수의 비율로 나타내는 방법(FAR2)으로 구분할 수 있다. 전자의 오경보율(FAR1)은 교통관리센터에서 모형 평가시 널리 사용되지만 값이 작아 오경보율의 수준을 판단하기 어려운 반면, 후자의 오경보율(FAR2)은 분석자가 오경보의 수준을 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 오경보율 평가시 후자의 오경보율(FAR2)을 사용하기로 한다.

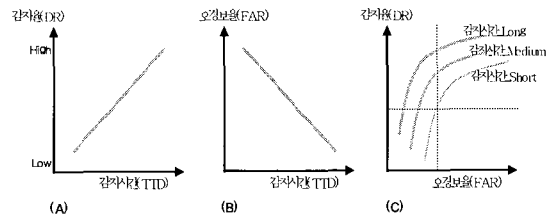
$$FAR_1 = \frac{\text{오경보수행횟수}}{\text{총 알고리즘 수행횟수}} \times 100(\%)$$

$$FAR_2 = \frac{\text{오경보 건수}}{\text{총 경보 건수}} \times 100(\%)$$

평균감지시간은 돌발상황이 발생한 시간으로부터 알고리즘에 의해 돌발이 감지되는데 걸리는 시간을 의미한다. 정확한 평균감지시간을 구하기 위해서는 돌발상황이 일어난 정확한 시간을 파악해야 하나 실제로 현장에서 발생하는 돌발상황은 정확한 발생시간을 알기 어렵기 때문에 효과척도로 사용하기 힘든 단점이 있다. 돌발상황의 정확한 발생시간을 파악할 수 있는 모의실험시에는 효과척도로 사용이 가능하다.

$$TTD = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{\text{경보},i} - T_{\text{발생},i})}{N}$$

아래 <그림 2>은 앞서 살펴본 3가지 효과척도들 간의 관계를 보여주고 있다. 감지율이 올라가면 평균 감지시간이 길어지고, 평균 감지시간이 길어질수록 오경보율이 높아지게 됨을 알 수 있다. 또, 감지율이 올라갈수록 오경보율이 올라가게 됨을 알 수 있다. 즉, 3가지 척도 모두 서로 상호상쇄(trade-off) 관계에 있기 때문에 어느 한가지 효과척도를 높게 되면 다른 효과척도가 떨어지게 된다. 따라서 효과척도간 적절한 수준의 배분이 중요하다고 할 수 있다.



<그림 2> 감지율, 오경보율, 평균 감지시간 간의 관계

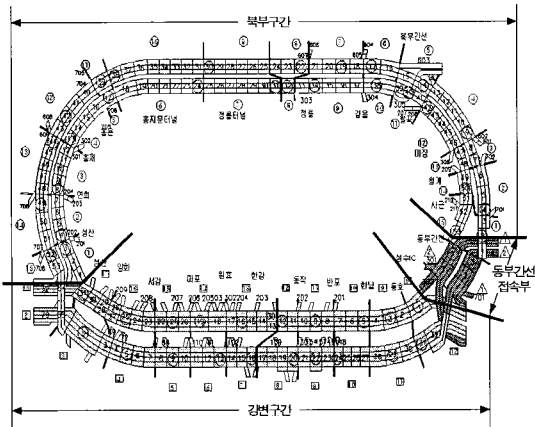
III. 램프영향권 교통특성 분석

1. 실제 돌발상황 발생자료 분석

램프영향권을 설정하기에 앞서 실제 도시고속도

로의 여러 구간(기본구간, 진출입구간, 터널구간, 기타구간)중에서 어느 구간에서 돌발상황이 빈번하게 발생하는지를 알아보기 위해 내부순환로에서 2003년 2월 5일~11일(1주일)간 발생한 총 61건의 돌발상황을 대상으로 구간별 돌발상황 구성비를 살펴보았다.

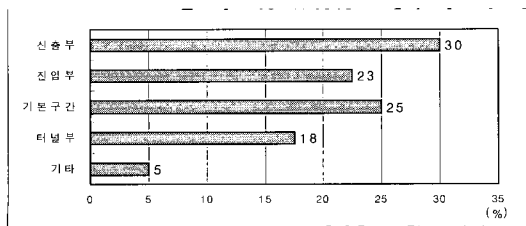
아래 <그림 3>은 현재 운영중인 내부순환로의 Cell Map 이다. 그림을 살펴보면 강변구간과 동부간선 접속부의 경우 진출입램프가 하나의 Cell에 여러개 접속하여 있는 구간이 대다수이며, 이로 인해 구간별 돌발상황 구분이 무의미하다고 판단된다. 따라서 본연구에서는 북부구간만을 대상으로 구간별 돌발상황 구성비를 파악하였다.



<그림 3> 내부순환로 Cell Map

아래 <그림 4>은 내부순환로 북부구간의 실제 돌발상황이 발생한 구간별 구성비를 보여주고 있다.

전체 돌발상황 중에서 기본구간에서 발생한 비율은 25% 이며, 이에 반해 진입부와 진출부 영향권에서 발생한 비율은 각각 23%, 30%로 나타났다.



<그림 4> 내부순환로 북부구간 구간별 돌발상황 구성비

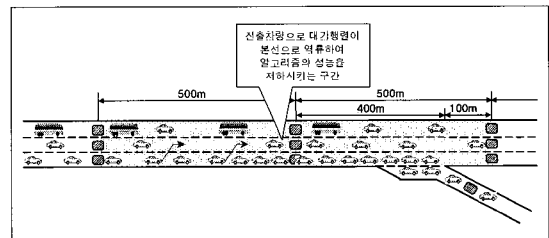
도로연장에 비해 진출입부에서 발생하는 돌발상황 구성비가 총 53%를 차지하여 상당히 높음을 알 수 있다. 진출입램프가 조밀하게 인접하여 있는 강변구간을 포함하여 내부순환로 전체구간을 대상으로 조사하였을 경우, 진출입부에서 발생하는 돌발상황의 구성비는 더 높아지리라 예상된다.

2. 램프영향권 설정

본 연구의 범위인 램프영향권은 내부순환로 실시 설계보고서³⁾상의 실제 교통상황을 반영하여 분류구간과 합류구간을 다르게 설정한다.

1) 분류구간

진출차량의 과다 및 램프 하류부 교차로의 신호 불합리등의 문제로 인해 침두시 대기행렬이 본선으로 역류하는 현상이 자주 발생한다. 따라서 합류구간에 비해 램프가 본선에 미치는 영향이 높다. 본 연구에서는 아래 <그림 5>와 같이 램프접속부에서 상류부 2번째 검지기로부터 하류부 1번째 검지기까지를 분류구간 램프 영향권으로 설정한다.



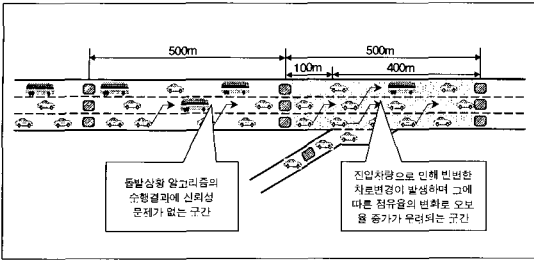
<그림 5> 분류구간 램프영향권 설정

2) 합류구간

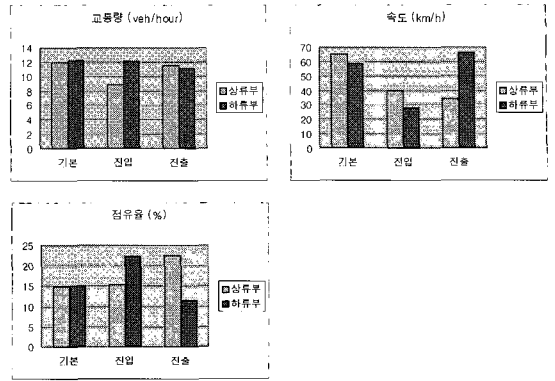
합류구간의 경우, 분류구간과 달리 램프에 의해 직접적인 대기행렬이 발생하지 않는다. 단, 진입교통량이 높아질 경우 차로변경으로 인한 차량간 상충이 발생하며 이로 인해 교통변수의 변화를 초래한다. 본 연구에서는 아래 <그림 6>과 같이 램프접속

3) 내부순환로 교통관리시스템 설치공사 실시설계 보고서, SK씨엔씨(주) 콘소시엄, 4-2-15,16

부에서 상류부 1번째 검지기로부터 하류부 1번째 검지기 까지를 합류구간 램프 영향권으로 설정한다.



<그림 6> 합류구간 램프영향권 설정



<그림 7> 정상상황시 교통변수 변화(3차로 모두 포함)

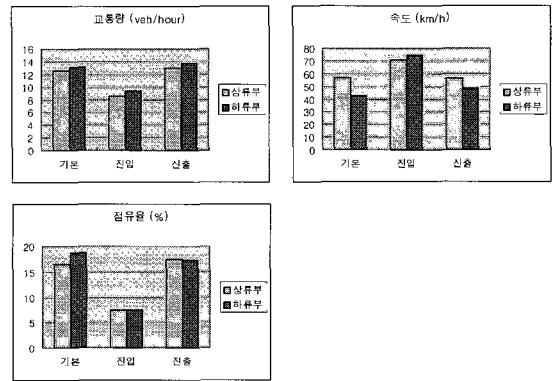
2. 정상상황시 진출입영향권 교통특성 분석

진출입램프가 인접한 구간의 교통특성은 기본구간과 다를 수 있으므로 이를 알아보기 위해 실제 내부순환로 북부구간의 자료중 돌발상황이 발생하지 않은 정상상황시의 교통변수 변화를 살펴보았다. 첨두시 3차로 검지기 자료의 평균값 비교하였다. 아울러 모의실험(Paramics)을 이용한 정상상황시 진출입구간 자료를 구축하고 특성 분석을 실시하였다.

1) 실제자료를 이용한 정상상황시 교통특성 분석

아래 <그림 7>는 첨두시 1시간동안의 구간별 교통변수의 변화를 살펴본 그래프이다. 기본구간의 경우 교통량, 속도, 점유율 3가지 교통변수 모두 정상상황시 상,하류부간 변동이 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 진출입부가 인접한 램프영향권의 경우, 정상상황시에도 불구하고 상,하류부간 속도와 점유율이 상이하게 나타난다. 이는 램프를 이용하는 차량으로 인해 차량간 상충 및 대기행렬이 발생하는데서 그 원인을 찾을 수 있다. 따라서 램프 영향권내의 돌발상황을 판정할 경우 검지지점의 모든 차로 평균값을 사용한다면 잘못된 값을 도출할 수 있다.

아래 <그림 8>는 <그림 7>와 같은 조건에서 램프에 인접한 본선 1개차로를 제외한 나머지 차로의 평균값을 나타낸 그래프이다. <그림 7>에서 나타난 정상상황시 상,하류부간 교통변수의 차이가 확연하게 줄어들었음을 알 수 있다.



<그림 8> 정상상황시 교통변수 변화(본선 1개 차로 제외)

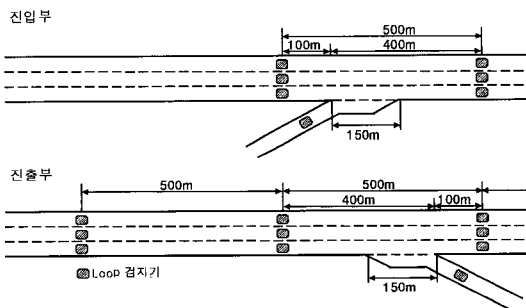
비첨두시에도 위의 과정을 거쳐 교통변수의 변화를 살펴보았으나 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 비첨두시에는 모든차로의 평균값을 이용하여 돌발상황을 판단하여도 램프의 영향으로 인한 오경보율이 크게 상승하지 않을 것으로 판단된다.

2) 모의실험자료를 이용한 정상상황시 교통특성 분석

정상상황시에 발생하는 진출입영향권내 교통변수의 변화를 알아보기 위해 Paramics 2002를 이용하여 모의실험을 실시하였다. 실험에 이용한 Paramics 2002는 도심과 고속도로 network에서 개별차량의 이동과 행태를 modeling하여 사업시행으로 인한 편익과 효과를 정량적으로 측정하기 위한 microscopic 교통시뮬레이션 프로그램으로 타 시뮬레이션 프로그램과 다른 특징을 살펴보면 아래와 같다.

- 3D 표현이 가능하여 정교하고 현실적인 화면 재현
- 대규모 Network 표현 가능 (최대 노드수 백만 개, 최대 링크수 4백만개)
- 이용자 중심의 편리한 코딩
- 공인된 기관(TRL)에서 인정한 차량추종모형, 간격수락모형, 차로변경모형을 이용하여 현실과 유사한 운전자와 차량의 행태를 추정함.
- 보다 세부적인 교차로의 기하구조 및 신호운영 방식의 코딩이 가능함.(Roundabouts, 감응신호)
- 도로의 여러 가지 실제상황을 동일하게 모사 (정지선, 연석, 버스정거장, 횡단보도등)
- 최대 128가지의 다양한 교통수단 표현 가능 (보행자, 자전거 포함)
- 시간대별 OD 조정 가능
- 네트워크에 관한 운전자의 친숙도 적용 가능
- 다양한 종류의 Output (전체 요약, 링크, 교차로, 검지기, 대기오염 자료등)

아래 <그림 9>에서 보는 바와 같이 모의실험용 도로의 기하구조는 본선 3차로, 램프 1차로로 구성하였으며 진출입 차량에 의한 교통변수의 변화를 제외한 다른 영향을 배제하고자 직선 구간으로 구성하였다.



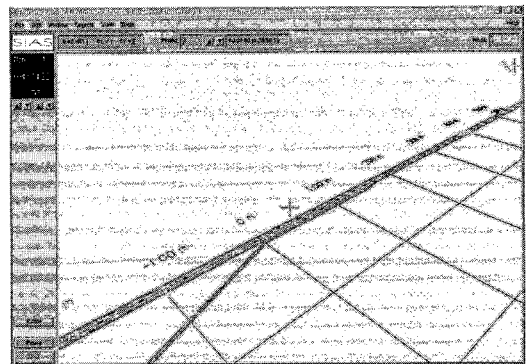
<그림 9> 모의실험용 도로의 기하구조

검지기의 위치는 실제 내부순환로에 설계되어 있는 위치와 동일하게 500m 간격으로 설계하였으며 램프가 접속한 구간의 검지기 위치는 진입전 100m, 진입후 100m 로 구성하였다.

본선과 램프의 교통량을 변화시켜 각각의 시나리오별 교통변수의 변화를 살펴보았다. 각 시나리오별 세부 입력 사항은 아래 <표 2>와 같다.

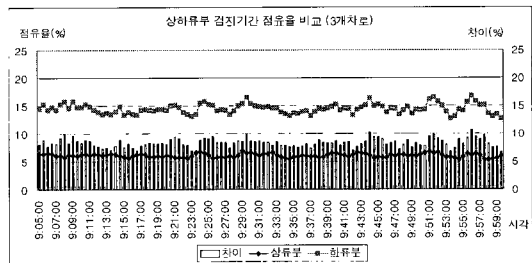
<표 2> 시나리오별 시뮬레이션 입력자료

구분	ID	교통량(v/c)		기타
		본선 (통과교통량)	램프 (유출입교통량)	
진입	1	1.0	1.0	- 승용차로만 구성 - 제한 속도 본선 : 80 km/h 램프 : 40 km/h
	2		0.6	
	3		0.2	
	4	0.5	1.0	
	5		0.6	
	6		0.2	
진출	7	1.0	1.0	- 초기화 시간 : 5분 - 총 시뮬레이션 : 60분 - 자료 수집 주기 : 30초
	8		0.6	
	9		0.2	
	10	0.5	1.0	
	11		0.6	
	12		0.2	

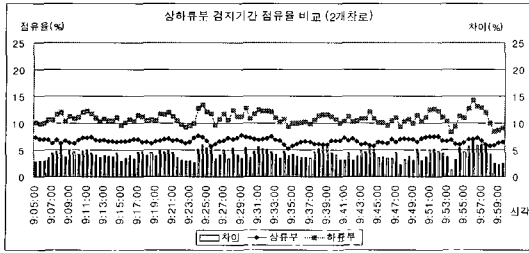


<그림 10> Paramics를 이용한 모의실험(진입)

자료간의 오차를 보정하기 위해 이동평균법을 이용하여 2분단위로 평활화하였으며 아래 <그림 11>, <그림 12>은 시나리오1의 점유율값의 변화를 나타낸 그래프이다.



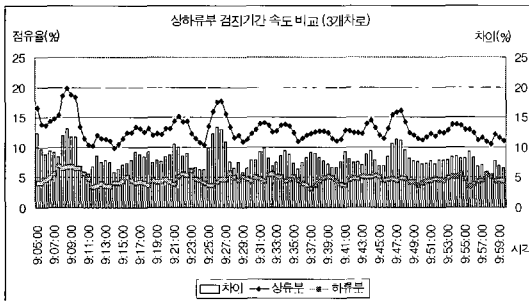
<그림 11> 본선3차로 모두 포함시 점유율 비교 (시나리오1)



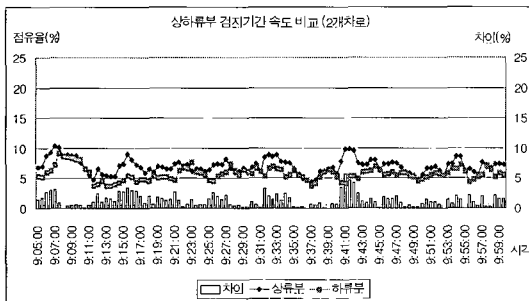
〈그림 12〉 램프인접 1차로 제외시 점유율 비교 (시나리오1)

실제자료에서와 결과값과 마찬가지로 정상상황임에도 불구하고 램프의 차량으로 인해 본선 3차로 모두 포함시 점유율의 차이가 7~10%정도 발생함을 알 수 있다. 이는 정상상황임에도 불구하고 돌발상황으로 판정할 수 있는 오류의 가능성을 내포하고 있다.

아래 <그림 13>과 <그림 14>은 시나리오7의 점유율값의 변화를 나타낸 그래프이다.



〈그림 13〉 본선3차로 모두 포함시 점유율 비교 (시나리오7)



〈그림 14〉 램프인접 1차로 제외시 점유율 비교 (시나리오7)

시나리오7는 진출램프의 경우로 진출교통량의 파다로 인해 본선에 대기행렬이 발생하였다. 따라서 본선3차로를 모두 포함하였을 경우 시나리오1의 경우와 마찬가지로 오경보율의 우려를 내포하고 있다. 램프인접 1차로를 제외했을때 시나리오1에 비해 더욱 안정된 값을 나타냄을 알 수 있다.

3) 정상상황시 진출입영향권내 교통특성 분석 종합

앞의 소절에서 진출입영향권내 교통변동은 기본 구간과 다음을 살펴보기 위해서 다양한 실제자료와 모의실험을 실시하였다. 진출입 영향권내 교통특성을 종합하여 보면 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 진출입영향권내의 교통변동은 기본구간과 다르다. (실제자료, 모의실험)
- 진출입영향권내의 상하류부간 교통변동은 첨두시기가 비첨두시에 비해 높게 나타난다. (실제자료 분석)
- 램프부가 혼잡할 경우 상하류부간 검지기 차이가 정상상황임에도 불구하고 높게 나타난다. (모의실험 시나리오1, 시나리오7)
- 비첨두시와 같이 램프 교통량이 많지 않을 경우, 램프에 인접한 본선차로를 제외하면 오경보율을 높힐 가능성이 있다. (모의실험 시나리오3)
- 램프가 혼잡할 경우, 즉 램프 교통량으로 인해 본선의 교통흐름이 방해를 받는 경우에 램프에 인접한 본선차로의 결과값을 돌발상황 판단모듈에서 제외하면 돌발상황 감지 알고리즘의 성능을 향상 시킬 수 있다.

위의 결과를 종합하여 램프영향권내 적용가능한 돌발상황 감지 알고리즘을 다음장에서 제시하였다.

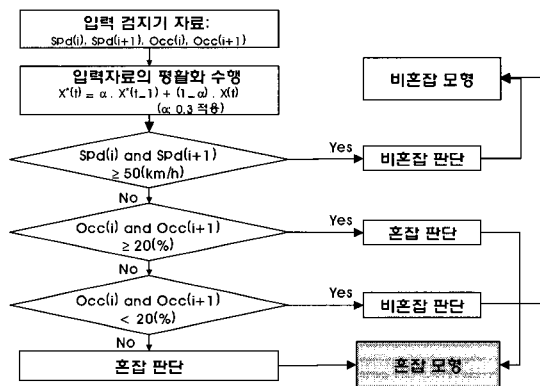
IV. 램프영향권 돌발상황 감지 알고리즘

발생상황별로 돌발상황 판단 모듈을 다르게 하여 각각의 발생상황에 따라 적용한 임성만의 도시고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 개발에 관한 연구(2003)를 바탕으로 하여 본선구간중 램프영향권내에 적합한 돌발상황 감지 알고리즘을 개발한다.

1) 발생상황 구분을 통한 돌발상황 감지 알고리즘 고찰

임성만의 연구는 기존의 돌발상황 감지 알고리즘이 돌발상황으로 인한 용량감소가 교통류에 미치는 영향이 크지 않은 상황(교통량 한산시, 정체시)에서도 감지가 가능할 뿐만 아니라 모형정산을 쉽게 하여 실제 도시고속도로 교통관리센터에서 쉽게 적용할 수 있는 알고리즘 개발을 목적으로 하고 있다.

이를 위해 돌발상황이 발생하였을때의 교통상황을 교통류 이론에 따라 4가지로 구분하고 각각의 상황에 따라 적합한 판단모듈을 사용하여 돌발상황 판단변수의 변화가 작은 비혼잡시나 정체시에도 적용이 가능하도록 하였다.



〈그림 15〉 발생상황 구분을 통한 돌발상황 자동감지 알고리즘(임성만)

2) 돌발상황 판단변수 선정

전통적인 점유율 차이 기법에 사용하는 돌발상황 판단 변수로는 크게 상,하류부 점유율차이(Occupancy Difference; OCCDF), 상류부 기준 상대점유율차이(Occupancy Relative Difference; OCCRDF), 그리고 시간의 변화에 따른 하류부 상대점유율 차이(Downstream Occupancy Time Difference; DOCCTD)가 있다. 이 중에서 돌발상황을 직접적으로 판정하는데 사용하는 변수는 상대점유율차이(OCCRDF)이다.

앞서 살펴본 바와 같이 기존 알고리즘은 주로 상,하류부 검지지점간의 평균 점유율 차이값을 이용하여 돌발상황을 감지하는데 이는 알고리즘이

개발된 초창기에 단일 루프 검지기를 이용하였기 때문이며 따라서 차로별 자료가 아닌 지점 평균 자료를 이용하고 있다. 이로 인해 기존의 알고리즘으로는 비혼잡시나 진,출입구간과 같이 특수한 상황에는 자동감지가 어렵다. 혼잡시와 비혼잡시의 구분을 통한 돌발상황 판단모듈을 달리한 임성만의 연구(2003)에 따르면 비혼잡시에는 점유율값보다 상,하류부 차로별 속도자료와 차로별 교통량 자료의 변동이 크게 나타났다. 본 연구에서는 임성만의 연구를 바탕으로 상류부 혼잡시와 상,하류부 모두 혼잡시의 돌발판단 변수를 다르게 설정 하였다.

돌발상황 발생으로 인해 상류부만 혼잡시는 차로별 검지기 자료가 아닌 지점평균 자료를 사용한 비교가 가능하기 때문에, 기존 점유율 차이를 이용한 기법으로도 감지가 가능하며, 기존 점유율 차이 기법의 판단식을 적용하여 돌발상황을 판단된다.

알고리즘 수행시 발생상황이 미리 구분되어, 각각의 상황에 따라 판단모듈을 다르게 하는 경우는 상,하류부 검지기의 상대점유율 차이(OCCRDF)만 가지고도 돌발상황과 정상상황의 구분이 가능하다. 따라서 기존 점유율차이 기법에 사용하는 3개의 돌발 판단식을 하나로 줄여서 돌발상황을 판정하며, 2회의 지속성 검사를 실시하여 최종적으로 돌발상황을 감지한다.

$$OCCRDF = \frac{OCC(i, t) - OCC(i+1, t)}{OCC(i, t)}$$

여기서, OCC(i,t) : 상류부 검지지점(i)의 지점평균 점유율 돌발상황이 발생하기 전부터 정체가 심한 상태에서 돌발상황이 발생하는 경우에는 통과교통량이 도로용량보다 작기 때문에 상,하류부 교통상황이 크게 변하지 않는다. 따라서 상,하류부 검지기 자료는 거의 차이가 없다.

혼잡의 증가에 상관없이 돌발상황으로 인한 점유율 차이가 큰 값을 가지게 하기 위해 상,하류부 점유율차이(OCCDF)를 현재 교통량에 대한 용량비로 나누어줌으로써 상,하류부 검지기의 상대점유율 변화율을 계산한다. 즉, 혼잡한 상황에서 상,하류부간의 작은 점유율 차이는 상대적으로 덜 혼잡한 상황에서

의 큰 상,하류부 점유율 차이와 같은 값을 갖도록 하였다.

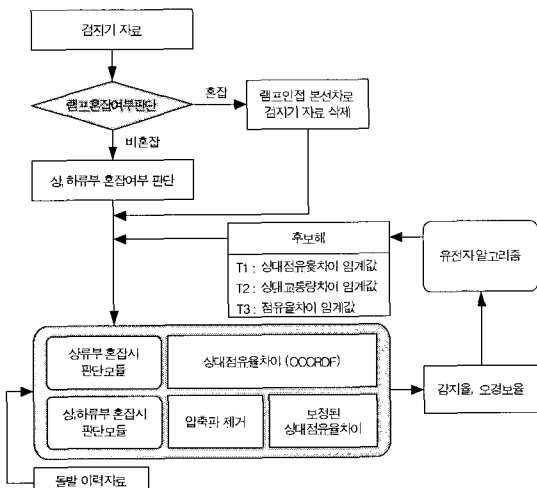
$$\text{판단변수} = \frac{OCC(i, t) - OCC(i+1, t)}{Vol(i, t) / Capacity}$$

여기서, Vol(i,t) : t시간대 상류부(i) 검지지점에서
의 지점평균교통량(대/30초)

3) 램프영향권 돌발상황 감지 알고리즘

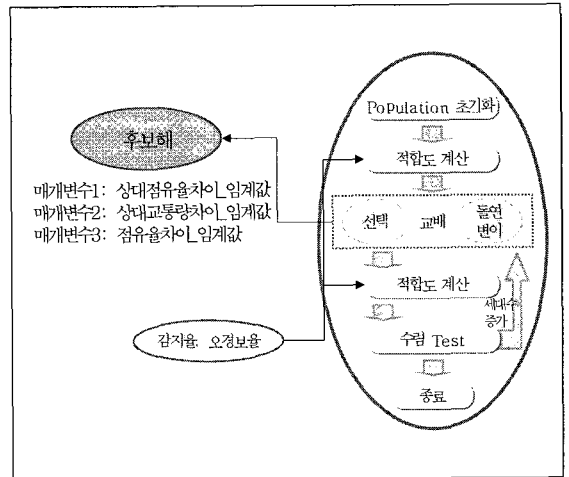
앞 절에서 살펴본 바와 같이 램프구간에 교통량이 증가하여 본선에서 이동하는 차량들과 상충이 발생할 경우 상,하류부 검지기 자료가 변화하여 오경보를 증가시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 램프의 혼잡여부를 판단하여 혼잡시 인접한 본선 1개 차로를 판단 모듈에서 제외하고 나머지 차로의 자료만을 이용하여 돌발상황을 판정한다.

즉, 램프에 설치된 검지기의 속도 및 점유율을 이용하여 램프구간 혼잡발견시 램프의 직접적인 영향을 받는 본선의 1개차로의 자료는 램프구간에 존재하는 차량으로 인해 정확한 돌발상황을 감지하는데 방해요인으로 작용하므로 돌발상황 판단 알고리즘에서 제외시키고 나머지 차로의 자료를 이용하여 돌발상황을 판단한다. 램프구간의 혼잡이 해소되면 최초의 판단모듈로 복귀한다.



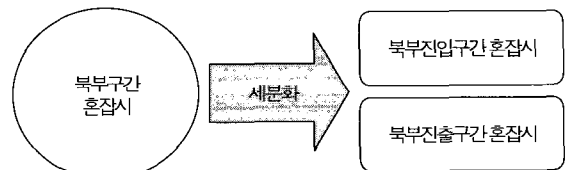
〈그림 16〉 제안된 돌발상황 자동감지 알고리즘의 구성

모형의 검증에 필요한 매개변수값은 유전자 알고리즘을 이용하여 산출하였다. 동질의 구간별로 세분하여 정산을 실시하여 보다 정확한 매개변수값을 도출하였다. 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 정산 과정은 아래 <그림 17>와 같다.



〈그림 17〉 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 자동정산

유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 정산 과정에 있어서 보다 정확한 임계값을 구하기 위해 동질의 구간별로 정산을 실시하도록 한다. 즉, 기존의 연구에서는 혼잡구분만을 통한 정산만을 실시하였으나 본 연구에서는 구간별 정산을 추가하여 모형의 성능을 향상 시키도록 한다.



〈그림 18〉 매개변수 정산과정의 세분화

V. 모형의 적용결과

모형의 성능평가를 위해 사용한 실제 돌발상황 자료는 2003년 2월 5일~11일까지 내부순환로 북부 구간에서 발생한 돌발상황 이력자료이다. 차로도색

과 같은 공사로 인한 돌발상황과 발생위치를 정확히 파악할 수 없는 돌발상황 자료는 대상에서 제외하였다. 더불어 구간 구분이 모호한 자료도 제외하였다.

아래 <표 3>는 실제 돌발상황시 이력자료를 이용하여 발생추정시간을 추정하고 종료시간을 사용하여 사고지속시간을 계산한 결과를 보여주고 있다. 진입램프와 진출램프영향권내에서 발생한 돌발상황은 각각 9건, 12건으로 조사되었다. 평균 돌발상황 지속시간은 30분내외로 조사되었으며 최소, 최대 지속시간의 편차는 높게 나타났다.

<표 3> 내부순환로 복부구간 돌발상황 자료

구분	날짜	평균사고 지속시간(분)	최소 지속시간(분)	최대 지속시간(분)
진입	9	26	7	57
진출	12	34	8	105

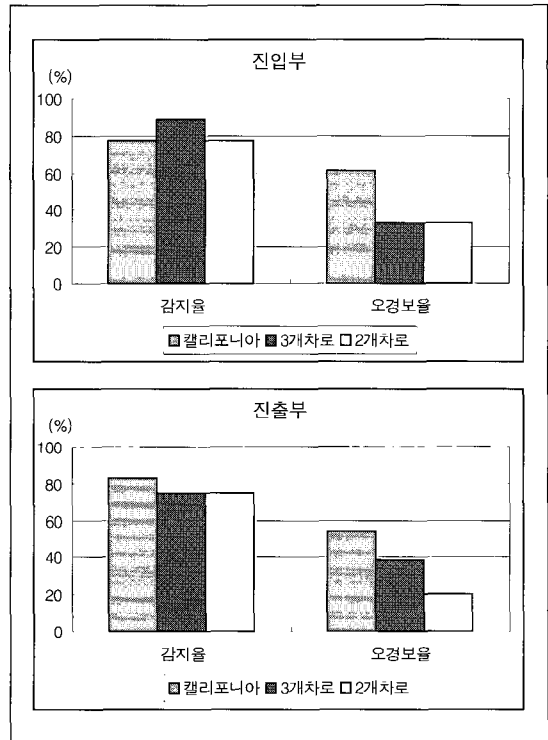
구축된 실제 돌발상황 자료를 본 연구에서 설계한 자동감지 알고리즘에 적용하여 모형의 성능을 평가 하였다. 비교대상으로는 대표적인 점유율 기반 돌발상황 감지 알고리즘인 California 모형, 3차로를 모두 포함한 경우의 알고리즘을 이용하였다.

아래 <표 4>와 <그림 19>에서 알 수 있듯이 3가지 모형 모두 기본적으로 점유율 기반으로 돌발상황을 감지하기 때문에 감지율의 경우 3가지 모형 모두 75%~88%정도로 매우 높게 나타났다. 그러나 오경보율은 구간별로 정산을 실시한 모형(3차로포함, 제안모형)이 California 알고리즘에 비해 우수한 결과를 나타내었다.

진입부에 비해 진출부의 경우에 제안모형의 오경보율이 상당히 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 진출램프로 인한 대기행렬이 발생하여 본선의 모든 차로의 자료를 평균하여 돌발상황을 판단하는 것보다 램프에 인접한 본선 1개 차로를 제외시킴으로써 오경보율을 낮출 수 있음을 알 수 있다.

<표 4> 실제자료를 이용한 모형의 성능평가 결과

구분	감지율 (%)	오경보율 (%)	총돌발 건수	감지 건수	총경보 건수	오경보 건수	
진입	California	77.77	61.53	9	7	13	8
	3차로포함	88.88	33.33	9	8	9	3
	제안모형	77.77	33.33	9	7	9	3
진출	California	83.33	53.85	12	10	13	7
	3차로포함	75.00	38.46	12	9	13	5
	제안모형	75.00	20.00	12	9	10	2



<그림 19> 모형 성능평가 결과

California 알고리즘에 비해 제안된 모형의 성능이 전반적으로 우수한 이유는 크게 두 가지 이유에서 원인을 찾을 수 있다. 첫 번째는 정상상황시에도 돌발상황으로 판정할 수 있는 램프 인접 1개 차로를 판단 모듈에서 제외하였기 때문이며, 두 번째 이유는 돌발상황을 판단함에 있어 구간별로 보다 정확한 매개변수 값이 도출되었기 때문이다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

현재 서울시는 도시고속도로에서 일어나는 각종 돌발상황으로 인한 피해를 최소화하고자 돌발상황 자동감지 알고리즘을 활용하고 있다. 서울시의 대표적인 도시고속도로라고 할 수 있는 내부순환로에도 체계적인 돌발상황 관리시스템이 구축되어 운영 중이다. 그러나 현재 운영중인 알고리즘을 통한 자동감지는 높은 오경보율로 인해 운영자로 하여금 자동감지에 대한 불신을 초래하여 시스템의 역효과를 불러 일으키고 있는 실정이다.

실제 돌발상황중 상당수가 차량간의 상충이 빈번하게 발생하는 진출입영향권내에서 발생함에도 불구하고 기존의 돌발상황 감지 알고리즘들은 주로 지점평균 점유율을 이용하여 돌발상황을 판정하므로 진출입구간이 인접한 구간과 같은 병목구간에서 발생하는 유사 돌발상황과 실제 돌발상황을 구분하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 진출입영향권내에서 발생하는 돌발상황을 정확히 감지하기 위해 돌발상황시 혼잡상황 구분을 통한 자동감지 알고리즘을 바탕으로 정상상황시에도 차로변경이 빈번하게 발생하는 고속도로 램프 영향권내 적용가능한 돌발상황 감지 알고리즘을 개발하고 모형의 성능을 평가하였다.

램프 영향권내 혼잡 발생시 기존의 알고리즘의 성능을 저하시키는 주요인인 램프에 인접한 본선 1개 차로를 돌발상황 판단 모듈에서 제외시킴으로써 오경보율을 상당히 줄일 수 있었다.

이와 더불어 모형의 성능평가에 필요한 여러 가지 매개변수 정산시 기존의 연구에서는 혼잡구분을 통한 정산만을 실시하였으나 동질의 도로구간별로 세분화하여 정산함으로써 모형의 성능을 향상시킬 수 있었다.

본 연구는 돌발상황이 빈번하게 발생함에도 불구하고 기존 알고리즘으로 돌발상황 자동 감지가 어려운 진출입램프가 인접한 진출입영향권내 적용가능한 알고리즘에 대해 고찰해 보았다. 본 연구의 보완점과 향후 연구과제를 제시하면 다음과 같다.

첫째, 실제 현장에 모형을 적용하기 위해서는 보

다 광범위하고 다양한 구간의 돌발상황 자료를 통한 검증이 필요하다. 이를 위해 모의실험을 통한 자료에 대한 모형의 성능평가가 필요하다. 이와 더불어 모형의 검증을 보다 정확하게 하기 위해 돌발상황의 발생지점, 시간등의 통계값 구축이 필요하다.

둘째, 램프 혼잡 발생시 기준 설정에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 현재 내부순환로에서 이용중인 램프부 속도기준에 준하여 램프의 혼잡여부를 판단하였다. 하지만 실제로는 각각의 지역상황에 따라 그 수치가 상이하게 나타나므로 이에대한 추가적인 연구가 필요하다.

셋째, 본 논문에서는 램프에 인접한 차로에서 발생하는 돌발상황을 배제하고 연구를 진행하였다. 따라서 3차로에서 발생하는 돌발상황에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

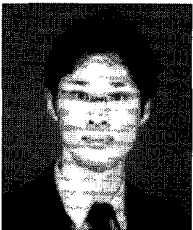
참 고 문 헌

- [1] 임성만, 2003, "도시고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 개발에 관한 연구", 서울시립대학교 박사학위 논문
- [2] 최태섭, 2001, "KS-SIGNAL의 신호연동화 기법을 이용한 네트워크형 간선도로 신호시간 최적화 모형의 개발", 서울시립대학교 석사학위 논문
- [3] 김진학, 2000, "자동유고감지 알고리즘의 비교 분석에 관한 연구", 서울대학교 석사학위 논문
- [4] 임승국, 2002, "Hibrid Fuzzy-Genetic Model을 이용한 단속류 통행시간 추정용 Data Fusion 기술 개발", 서울시립대학교 석사학위 논문
- [5] 유충식, 2002, "유전자 알고리즘을 이용한 신호최적화에 관한 연구", 서울시립대학교 석사학위 논문
- [6] 이시복, 1996, "퍼지이론을 이용한 유고감지 알고리즘", 대한교통학회지, 제14권 제2호
- [7] 서울시, SK C&C, 2000, "내부순환로 교통관리시스템 설치공사 실시설계 보고서"
- [8] 서울시, SK C&C, 2002, "돌발감지 알고리즘 감지 한계 및 적용 방안(내부순환로 교통관리

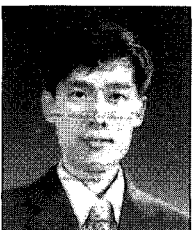
시스템 설치공사)"

- [9] 조영입, 1999, "최신 인공지능", 학문사
- [10] Karl Frazier Petty, 1997, "Incident on the Freeway : Detection and Management", California PATH Research Report
- [11] Stephen G. Ritchie, Rucy L. Cheu, 1993, "Neral Network Models for Automated Detection of Non-Recurring Congestion
- [12] Baher Abdulhai et al, 1999, "Implementation of Advanced Techniques for Automated Freeway Incident Detection", California PATH Research Report
- [13] Booz Allen et al, 1998, "Incident Management: Detection, Verification, and Traffic Management", FHWA
- [14] Bruce, H., Geoff, K., 1999, "AVI Based Freeway Incident Detection", TRB Annual Meeting
- [15] Cheol Oh et al, 2001, "Real-Time Estimation of Freeway Accident Likelihood", TRB 80th Annual Meeting
- [16] Gall, A. and Hall, F.L., 1989, "Distinguishing Between Incident Congestion and Recurrent Congestion: A Proposed Logic", Transportation Research Record 1232, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1-8.

〈저자 소개〉



서 정 호(Jeong-ho, Seo)
2002년 : 홍익대학교 도시공학과 학사
2004년 : 서울시립대학교 교통공학과 석사
현재 : ITS Korea 근무



임 성 만(Sung-man, Im)
1994년 : 중앙대 토목공학과 학사
1996년 : 중앙대 토목공학과 석사
2003년 : 서울시립대학교 교통공학과 박사
현재 : 경기도 광역교통기획단 교통정책 팀장



김 영 찬(Young-chan, Kim)
1983년 : 서울대학교 학사
1985년 : 서울대학교 석사
1990년 : 미국 TEXAS A&M 대학교 박사
현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수