

■ 論 文 ■

# 이력패턴데이터를 이용한 돌발상황 감지알고리즘 개발 Development of an Incident Detection Algorithm by Using Traffic Flow Pattern

허 민 국

(연세대학교 도시공학과 석사)

노 창 균

(연세대학교 도시공학과 박사과정)

김 원 길

(연세대학교 도시교통과학연구소 선임전임연구원)

손 봉 수

(연세대학교 도시공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 기존모형 고찰
    - 1. 기존 돌발상황 감지알고리즘 고찰
    - 2. 기존 돌발상황 감지알고리즘의 한계
  - III. 알고리즘 개발
    - 1. 알고리즘 프로세스 도출
    - 2. 돌발상황 감지알고리즘의 적용방안
  - IV. 모형의 적용결과 및 평가
    - 1. 분석자료
    - 2. 알고리즘의 적용결과
    - 3. 교통패턴을 이용한 돌발상황 감지알고리즘의 평가
  - V. 요약 및 결론
- 참고문헌

Key Words : 교통패턴, 돌발상황, 알고리즘, 유고감지, 실시간 교통류 데이터  
Traffic Flow Pattern, Incident, Algorithm, Incident Detection, Real-time Traffic Data

## 요 약

본 연구에서는 과거의 교통패턴과 실시간 교통데이터와의 차이값을 이용하여 돌발상황을 판정하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 통해 운영자의 측면에서 이해하기 쉽고 운영 및 수정·보완이 용이한 돌발상황 감지알고리즘을 개발하는 것이 목적이다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 교통패턴 구축을 위하여 30초 주기 원시데이터를 바탕으로 동일한 지점의 동일한 요일 및 시간대의 교통량과 속도를 이용한 가중이동평균법을 사용하였다. 모형은 오류자료 보정처리, 소통상황 판정, 패턴자료와의 비교, 돌발상황 판정, 지속성 검사의 단계로 이루어졌으며, 적정 파라메타 선정을 위하여 다양한 파라메타값을 적용하였다. 알고리즘의 적용 결과 검지율은 평균 94.7%, 오보율은 0.8%, 평균 검지시간은 1.6분으로 기존 모형과의 비교분석 결과에서도 우수한 편에 속하는 것을 확인할 수 있다. 교통패턴이라는 개념을 사용하여 복잡하지 않은 과정을 통해 우수한 결과를 얻었으며, 운영자의 측면에서 실제 운영자들이 돌발상황을 판단하는 과정을 알고리즘으로 완성하였다는 측면에서 본 연구의 의의가 있다.

Research of this paper focused on developing and demonstrating of algorithm with the figures of difference between historical traffic pattern data and real-time traffic data to decide on what the incident is. The aim of this dissertation is to develop incident detection algorithm which can be understood and modified easier to operate. To establish traffic pattern of this algorithm, weighted moving average method was applied. The basis of this method was traffic volume and speed of the same day and time at the same location based on 30-second raw data. The model was completed by a serious of steps of process-screening process of error data, decision of the traffic condition, comparison with pattern data, decision of incident circumstances, continuity test. A variety of parameter value was applied to select reasonable parameter. Results of application of the algorithm came out with figures of average detection rate 94.7 percent, 0.8 percent rate of misinformation and the average detection time 1.6 minutes. With these following results, the detection rate turned out to be superior compared with result of existing model. Applying the concept of traffic patterns was useful to gain excellent results of this study. Also, this study is significant in terms of making algorithm which theorized the decision process of actual operators.

※ 이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

I. 서론

교통정책으로 인해 이용자에게는 통행시간의 증가, 교통관리자에게는 도로운영의 비효율, 사회적으로는 대기오염과 소음 등 환경적인 비용을 초래한다. 이러한 정체 상황 중 돌발상황에 의한 정체상황은 사전에 예측이 불가능하다. 여기서 돌발상황은 일상적인 교통특성에 변화를 주는 상황으로 교통사고, 공사, 통제, 고장차량 등 차량소통을 방해하여 교통혼잡을 초래하는 모든 상황을 의미한다.

따라서 사전에 예측이 불가능한 돌발상황발생에 따른 교통문제를 완화시키기 위해서는 돌발상황의 정확하고 신속한 검지와 이에 대한 효율적인 대응이 무엇보다 중요하다. 이러한 목적을 위하여 국내·외 많은 연구자들은 돌발상황을 자동으로 감지하는 알고리즘은 패턴인식기법, 통계기법, 교통류 모델링 등의 방법을 활용하여 지속적으로 개발하고 있다. 그러나 현재 국내에서 사용하고 있는 알고리즘은 외국에서 기 적용되어 왔던 모형들을 기반으로 조합하여 적용되어 있어 이해하기가 어렵다는 한계가 있다. 또한 적용하고 있는 검지 알고리즘의 모수 또한 계속하여 재조정하여야 하는 등 운영자가 사용하기에 복잡할 뿐만 아니라 오보율이 높아 실제 운영자들은 알고리즘에 대한 의존도가 떨어진다.

이로 인하여 실제 교통관리센터의 운영자들은 오보율이 높은 알고리즘을 사용하기 보다 운영자 단말화면에 나타나는 실시간 교통상황을 보며 이전의 동일한 요일·시간대 및 지점의 패턴과 차이가 나는 구간을 다시 한 번 확인하는 형태로 돌발상황을 확인하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 운영자의 교통패턴 비교방식을 이용하여 돌발상황 자동감지 알고리즘을 개발하고자 한다.

II. 기존연구 고찰

1. 기존 돌발상황 감지알고리즘 고찰

기존 돌발상황감지알고리즘에 관한 연구는 검지기법의 특성에 따라 <표 1>과 같이 크게 5가지 유형으로 분류되고 있다. 상·하류부의 교통류 특성을 비교하는 패턴인식기법을 비롯하여, 검지데이터의 확률분포를 결정하고 이를 통해 돌발상황을 판정하는 통계적 기법의 알고리즘, 단기의 교통상황 예측을 통해 돌발상황을 판정하는 시계열 알고리즘, 교통류 모형을 이용한 알고리즘, 마

지막으로 신경망이론 등을 활용한 알고리즘으로 분류할 수 있다. 유형별 돌발상황감지알고리즘의 특성은 다음과 같다. 패턴인식기법은 교통변수의 관측값을 미리 설정된 임계값(Threshold)과 비교하여 돌발상황을 판별한다. 이는 초창기 개발기법으로 구간감지방법을 사용한다. 통계적기법은 관측값과 통계적인 방법을 이용하여 추정된 예측값과의 비교를 통하여 돌발상황을 판별하며, 시계열 분석 및 필터링기법은 관측값과 시계열 분석에 의한 예측값간의 오차 비교를 통하여 돌발상황을 판정한다. 교통류기법은 교통류상태를 표현하는 관계식을 설정하고 지속적인 튜닝을 통한 돌발 상황을 감지하게된다. 퍼지 및 신경망이론 등을 활용한 돌발감지방안은 교통류상태의 추정 없이 임의의 불확실한 과정상의 결과를 통한 임계치로 돌발상황을 판단하게 된다.

<표 1>과 같이 가장 많이 적용되고 있으며 국내 돌발상황 감지알고리즘으로 적용하고 있는 California 알고리즘 등은 점유율을 모두 기본변수로 채택하고 있다. 그러나 국내 차량검지기에 의하여 수집된 교통정보의 정확도 측면에서 점유율은 교통량 및 속도 수집정보의 정확도와 비교하여 볼 때 신뢰성이 낮다. 따라서 <표 1>에서 제시된 돌발상황 감지알고리즘의 정확도는 수집정보의 정확도 측면에서 한계점을 가진다고 할 수 있다.

<표 1> 돌발상황 감지알고리즘 특징

구분	알고리즘	점유율	교통량	속도
패턴인식기법	California	Basic	●	
		#7	●	
		#8	●	
		APID	●	●
	PATREG	●		
	Monica	●		
통계기법	Wave Analysis	●		
	Bayesian	●		
시계열 분석 및 필터링기법	SND	●	●	
	Time Series ARIMA	●	●	
	Double Exponential Smoothing	●		
	DELOS	●		
	Low-Pass Filer	●		
	Dutch	●		
교통류기법	Dynamic	●	●	
	Modified McMaster	●	●	
기타기법	Fuzzy Set	●	●	●
	Neural Network	●	●	●
	Automatic Vehicle Identification System	●	●	●

## 2. 기존 돌발상황 감지알고리즘의 한계

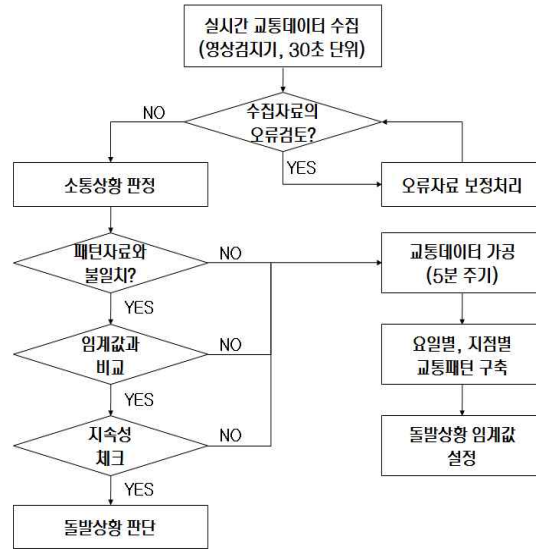
국내에서 운영 중에 있는 고속도로 교통관리시스템 (Freeway Traffic Management System, FTMS) 중 돌발상황 관리시스템은 교통량, 속도, 점유율 등의 검지기 데이터를 기초로 수행되는 외국의 자동검지 알고리즘을 단독으로 적용하거나 혹은 두 개 이상의 알고리즘을 보완적으로 적용하여 운영하고 있다.

이러한 알고리즘들은 알고리즘에 의해 돌발상황을 감지하고 최종적으로 운영자가 돌발상황에 대한 판단을 하도록 되어 있으며, 돌발상황관리측면에서 고속도로순찰차 및 일반운전자 등의 제보제공 등에 다양한 정보를 기초로 돌발상황감지기능을 수행하고 있다. 그러나 기존에 적용되고 있는 돌발상황 감지알고리즘은 수집데이터의 정확도를 보장하지 못하는 점유율을 기본 변수로 사용하고 있으며, 국내의 교통상황이나 운전자 통행특성이 적절히 반영되지 않아서 오보율이 높게 나타나고 있고, 운영자의 업무과중으로 이어져 실제 활용성이 떨어지는 등 돌발상황관리의 운영 측면에서 문제점이 제기되고 있다.

## III. 알고리즘 개발

### 1. 알고리즘 프로세스 도출

본 연구에서 적용한 교통패턴의 개념은 한 지점에서 동일한 요일 및 시간대를 기준으로 시간의 흐름에 따라 나타나는 소통상태 변화의 일정한 형태라고 할 수 있다. 기존 돌발검지 알고리즘에서 적용한 교통패턴은 시계열적으로 돌발상황이 발생한 시점을 기준으로 전/후 시간대의 교통특성을 교통패턴으로 정의하였다는 측면에서 본 연구에서 사용한 교통패턴과는 차이가 있다. 즉, 한 지점의 소통상태는 일정한 범위 내에서 패턴을 가지고 변화하게 되는데, 돌발상황이 발생할 경우 이전의 패턴은 상이한 패턴이 나타날 것이다. 본 연구에서는 이러한 과거의 소통자료를 이용하여 구축한 교통패턴과 실시간 교통데이터와의 차이값을 이용하여 돌발상황을 판정하는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘의 전체적인 흐름도는 <그림 1>와 같다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 오류자료 보정처리, 소통상황 판정, 패턴자료와의 비교, 돌발상황 판정, 지속성 검사, 교통패턴 구축 등의 일반적인 돌발상황 감지 알고리즘과 유사한 단계들로 구성하였다.



<그림 1> 돌발상황 감지알고리즘 프로세스

오류여부에 따라 오류자료 보정처리를 거친 후 소통상황을 판정하게 되며, 실시간 검지기데이터의 소통상황이 패턴자료와 불일치하게 되면 돌발상황을 판정하는 프로세스로 넘어간다. 설정된 임계값과의 비교를 통해서 돌발상황 여부를 체크하게 되고, 이 때 돌발상황으로 판정이 되면 지속성 검사를 통해서 최종적으로 돌발상황을 판정한다. 이상의 단계들에서 돌발상황이 아닌 것으로 판정이 되면 교통데이터의 가공을 거쳐 요일별, 지점별 교통패턴을 구축하고 돌발상황을 판정하기 위한 임계값을 설정한다.

### 2. 돌발상황 감지알고리즘의 적용방안

#### (1) 오류자료 보정처리

오류자료 보정처리 방안은 실시간으로 수집되는 검지기 데이터의 유효성을 판단하는 과정이다. 수집되는 자료의 유효범위를 설정하고 하나의 자료항목이라도 유효범위를 벗어난 경우 오류로 판단되어 보정처리 프로세스를 수행하게 된다. 본 연구에서는 알고리즘의 적용시에 <표 2>과 같이 유효범위를 설정하였다.

<표 2> 수집자료의 유효범위

자료	수집자료의 유효범위
교통량	0~20 (대/30초/차로)
속도	0~140 (km/h)
점유율	0~100 (%)

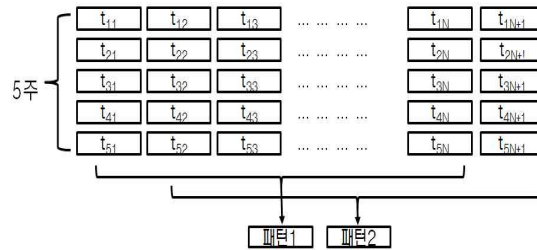
**(2) 소통상황 판정**

소통상황 판정은 일정한 범위 이내에서 구축되는 교통패턴과의 비교를 용이하게 하기 위한 것으로, 교통패턴의 임계범위 이내에서 벗어나더라도 소통상황이 크게 변하지 않은 상황을 우선 판단하기 위한 것이다. 최종적인 돌발상황 판정은 구축된 교통패턴의 임계범위와의 비교를 통해서 이루어진다. 즉, 교통패턴의 임계범위에서 벗어난 속도값이라도 소통원활인 상태에서 발생하는 오류를 사전에 판단하는 것이다.

따라서 소통상황을 어떻게 구분하느냐에 따라 알고리즘의 정확도에 영향을 미칠 수 있으나 소통상황을 많은 단계로 구분할수록 알고리즘의 정확도가 올라갈 수 있지만, 검지과정이 복잡해진다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 <표 3>과 같이 분석대상지인 서울시 도시고속도로에 적용되고 있는 3단계의 소통상황 판정기준을 적용하였다.

<표 3> 소통상황 판정기준

구분	속도 기준(km/h)
소통원활	50 이상
지체	30~50
정체	30 이하



<그림 2> 교통패턴자료 구축방안

**(3) 패턴자료 구축방안**

교통패턴을 구축하기 위한 자료는 동일한 지점, 동일한 요일 및 시간대별 5주간 데이터를 이용하여 교통량에 가중치를 둔 가중이동평균법으로 산출하였다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$v_{pat} = \frac{v_{11}q_{11} + v_{12}q_{12} + \dots + v_{1N}q_{1N} + \dots + v_{5N}q_{5N}}{q_{11} + q_{12} + \dots + q_{1N} + \dots + q_{5N}} \quad (1)$$

- 여기서,  $v_{pat}$  : 속도의 패턴자료
- $v_{1N}$  : 첫 번째 주의 N번째 분석단위시간의 속도
- $q_{1N}$  : 첫 번째 주의 N번째 분석단위시간의 교통량

기존 돌발상황을 판정하기 위한 패턴인식기법은 돌발상황 발생시점을 기준으로 돌발상황 발생이전과 발생이후의 속도, 교통량, 점유율 등 교통변수를 패턴자료로 구축하여 변화를 기준으로 돌발상황을 감지하는 방식이다. 시계열 분석기법은 돌발상황 발생시점 이전의 교통변수의 추세를 기준으로 속도, 교통량, 점유율의 변화 추세로부터 허용오차 이상의 변화량이 감지될 경우 돌발상황으로 판정하는 방식이다. 즉, 기존 패턴인식기법의 패턴자료 및 시계열 분석기법의 패턴자료는 돌발상황 발생시점의 이전 및 이후 교통변수의 변화량을 기준으로 산정되

나, 본 연구에서 구축한 패턴자료는 돌발상황이 발생하지 않은 평상시에 수집된 교통변수를 요일별, 시간대별, 날씨별 등 속도의 변화량을 기준으로 구축한다.

이에 따라 <그림 2>와 같이 각 지점별, 요일별, 시간대별 패턴자료를 구축한다. 실시간 수집데이터의 소통상황을 판정하게 되면, 기존 패턴의 소통상황과 비교를 하게 된다. 즉, 동일한 시간대 패턴자료의 소통상황과 실시간 수집데이터의 소통상황이 불일치하게 되면 돌발상황 판정단계로 넘어가게 된다.

이 과정을 통해서 소통원활임에도 불구하고 기존 패턴의 임계범위에서 벗어났기 때문에 발생하는 오류를 줄일 수 있다. 이동평균의 적정 분석단위 N을 선정하기 위하여 알고리즘의 적용단계에서는 각각 3(1분 30초), 5(2분 30초), 9(4분 30초), 17(8분 30초) 등 4개의 분석단위를 적용하였다.

**(4) 돌발상황 판정**

돌발상황 판정방안은 구축된 교통패턴자료값의 가중이동평균과 표준편차값 및 실시간 속도데이터를 표준정규화한 SND값을 이용하였다.

$$SND = \frac{(v - \bar{v})}{s} \quad (2)$$

- 여기서,  $v$  : 실시간 속도데이터
- $\bar{v}$  : 5주간, N개의 단위시간의 속도의 가중이동평균 (패턴값)
- $s$  : 패턴값의 표준편차

SND는 돌발상황을 판정하기 위하여 사용 가능한 통계기법 중 가장 간단한 수식으로 구성되어 있다. 본 연구의 목적은 국내 교통관리시스템의 한계로 지적되어 온 시스템 운영자의 조작의 어려움을 최소화 하고, 실질적으로 운용 가능한 돌발상황 감지를 위한 교통변수의 적용에 있으므로 SND값을 사용하였다. 국내 교통관리시스템의 돌발상황 감지알고리즘의 경우 파라메타 보정에 있어 운영자의 접근이 어려우며 이로 인하여 돌발상황 감지 오보율이 높아지는 결과를 초래하였다. SND를 산출하기 위하여 필요한 교통변수는 실시간 속도데이터와 패턴값 및 패턴값의 표준편차로, 교통관리시스템 구축 이후의 추가적인 파라메타 보정(패턴값 보정) 등에도 센터 운영자가 보다 쉽게 개선 및 적용이 가능하다.

돌발상황이 발생하게 되면 실시간 속도데이터값이 패턴값보다 작아지기 때문에 SND값이 음수 값이 나오게 된다. 따라서 표준정규변수 SND값이 설정된 임계값보다 작게 되면 돌발상황으로 판정되게 된다. 적정 임계값 설정을 위하여 알고리즘 적용시에 각각 1, 1.65, 1.96, 2.58 등 4개의 임계값을 적용하였다.

**(5) 지속성 검사**

돌발상황 판정단계에서 돌발상황으로 판정되었더라도 일시적인 불규칙적 변동값으로 인하여 발생된 것일 수 있다. 이러한 원인으로 발생하는 오보를 줄이기 위하여 지속성검사를 하게 된다.

즉, 돌발상황으로 판정되더라도 그것이 연속적으로 일정횟수 이상 반복되어야만 돌발상황으로 판정하는 것이다. 본 연구에서 알고리즘 적용시 각각 지속성 검사횟수를 기준으로 2회와 3회 두 가지의 경우로 분석하였다.

**IV. 모형의 적용결과 및 평가**

**1. 분석자료**

본 연구에서 제시한 알고리즘의 적용을 위하여 서울시 도시고속도로에서 평일 5일간 발생한 돌발상황 59건 중 38건의 자료를 이용하였다. 분석에서 제외된 21건의 경우는 정체상황에서 발생한 돌발상황으로 본 연구의 범위에서 제외되었다. 자료는 영상검지기에서 수집된 차로 별 30초 주기 원시데이터를 사용하였다. 돌발상황 발생 시간 전, 후 30분 총 1시간 자료를 대상으로 검지기 데

이터를 수집하였으며, 돌발상황을 판정하기 위하여 비교 대상이 되는 교통패턴 구축을 위해 동일한 지점, 동일한 요일 및 시간의 이전 5주간 자료를 함께 수집하였으며 수집된 데이터에서 돌발상황으로 인하여 교통패턴 구축에 적합하지 않은 자료를 제외하였다. 이를 위해 서울시 도시고속도로 교통관리센터에서 제공한 분석기간 동안의 돌발상황 상세 데이터를 활용하였다. <표 4>는 패턴구축을 위하여 수집한 분석 데이터 개요이며, <표 5>는 돌발상황 상세데이터이다.

**<표 4> 돌발상황 분석자료 개요**

날짜	발생구간	발생시간	소통상태
10/1(목)	동부간선도로 성수→성동	03:51	소통원활
	동부간선도로 수서→북정	05:57	소통원활
	올림픽대로 반포→한남	07:05	소통원활
	올림픽대로 동작→반포	09:45	소통원활
	올림픽대로 반포→한남	13:12	지체
	올림픽대로 가양→성산	13:57	소통원활
	내부순환로 연희→홍제	13:49	소통원활
	동부간선도로 노원→상계	16:04	소통원활
10/6(화)	올림픽대로 올림픽→천호	21:34	지체
	동부간선도로 월릉→중랑	08:10	소통원활
	강변북로 난지→성산	09:12	지체
	경부고속도로 서초→반포	11:14	소통원활
	올림픽대로 성수→영동	11:56	소통원활
	강변북로 청담→영동	14:29	소통원활
	강변북로 마포→원효	14:53	소통원활
	올림픽대로 가양→성산	19:05	소통원활
10/7(수)	강변북로 한강→동작	22:14	소통원활
	동부간선도로 청담→탄천	08:57	소통원활
	올림픽대로 강동→천호	09:23	소통원활
	경부고속도로 서초→양재	10:16	소통원활
	내부순환로 국민대→터널	11:13	소통원활
	내부순환로 길음→중앙	19:17	소통원활
	내부순환로 사근→마장	23:19	소통원활
	내부순환로 연희→성산	06:17	소통원활
10/27(화)	동부간선도로 성동→성수	06:42	지체
	내부순환로 홍제→연희	08:13	지체
	동부간선도로 청담남→탄천	08:54	소통원활
	경부고속도로 서초→양재	11:37	소통원활
	올림픽대로 한강→여의	14:02	소통원활
	북부간선도로 구리→신내	15:20	소통원활
	올림픽대로 잠실→청담	16:04	지체
	경부고속도로 경원→반포	18:53	지체
10/28(수)	올림픽대로 영동→청담	21:33	지체
	동부간선도로 수서→탄천	09:28	지체
	올림픽대로 성수→영동	09:58	지체
	강변북로 성수→영동	10:32	지체
	올림픽대로 행주→방화	10:48	소통원활
경부고속도로 서초→반포	14:25	소통원활	

<표 5> 돌발상황 상세 데이터

순번	사고유형	확인시간	종료시간	노선	차단	정체길이 (km)	지속시간 (분)
1	충돌사고	09.08.27 05:31	09.08.27 05:59	내부순환로 성수 JC방면 터널 → 정릉	2개차로	0.5	28
2	시설물보수	09.08.27 07:05	09.08.27 08:50	강변북로 일산방면 난지IC → 가양대교	5차로		105
3	추돌사고	09.08.27 07:53	09.08.27 08:07	강변북로 구리방면 동호대교 → 성수	2차로	0.5	14
4	추돌사고	09.08.27 08:29	09.08.27 08:39	올림픽대로 하남방면 여의상류 → 한강대교	2차로	5	10
5	충돌사고	09.08.27 08:39	09.08.27 08:45	올림픽대로 하남방면 잠실대교 → 잠실철교	2개차로	1	6
6	추돌사고	09.08.27 10:02	09.08.27 10:31	강변북로 일산방면 잠실대교 → 청담대교	4차로	1.5	29
7	추돌사고	09.08.27 10:25	09.08.27 10:39	강변북로 일산방면 동호대교 → 한남대교	2차로	2	14
8	시설물보수	09.08.27 11:17	09.08.27 11:34	내부순환로 성산방면 홍지문 → 터널출구	1차로	1.5	17
9	추돌사고	09.08.27 11:23	09.08.27 11:37	강변북로 구리방면 성수 → 영동대교	4차로	1	14
10	시설물보수	09.08.27 11:54	09.08.28 07:00	강변북로 일산방면 난지IC → 가양대교	5차로		1146
11	추돌사고	09.08.27 12:26	09.08.27 12:58	내부순환로 성산방면 연희 → 성산램프	3차로	1	32
12	추돌사고	09.08.27 13:25	09.08.27 13:33	강변북로 일산방면 반포대교 → 동작대교	1차로	2	8
13	시설물보수	09.08.27 14:36	09.08.27 14:41	강변북로 구리방면 한남대교 → 동호대교	2차로		5
14	추돌사고	09.08.27 14:49	09.08.27 15:13	올림픽대로 김포방면 가양대교 → 방화대교	3차로	1	24
15	시설물보수	09.08.27 15:33	09.08.27 16:00	내부순환로 성산방면 홍지문 → 터널입구	1차로		27
16	추돌사고	09.08.27 15:58	09.08.27 14:14	내부순환로 성수JC방면 터널입구 → 홍지문	2차로	2	16
17	고장차량	09.08.27 18:09	09.08.27 18:23	내부순환로 성수JC방면 터널입구 → 홍지문	1차로	6.1	14
18	고장차량	09.08.27 18:20	09.08.27 18:30	내부순환로 성수JC방면 터널입구 → 홍지문	3차로	7.5	10
19	고장차량	09.08.27 18:35	09.08.27 18:53	강변북로 구리방면 한강대교 → 동작대교	3차로	0.5	18
20	고장차량	09.08.27 18:39	09.08.27 19:05	내부순환로 성산방면 홍지문 → 터널입구	1차로	4.5	26
21	고장차량	09.08.27 18:50	09.08.27 18:53	강변북로 일산방면 난지IC → 가양대교	1차로	10	3
22	고장차량	09.08.27 18:51	09.08.27 18:54	올림픽대로 김포방면 여의상류 → 여의하류	4차로		3
23	추돌사고	09.08.27 19:08	09.08.27 19:26	올림픽대로 하남방면 반포대교 → 한남대교	1차로	2	18
24	시설물보수	09.08.27 19:15	09.08.27 20:02	북부간선도로 구리방면 중앙JC → 하월곡	2차로	0.5	47
25	추돌사고	09.08.27 19:54	09.08.27 20:03	내부순환로 성수JC방면 홍은 → 터널입구	1차로	5.5	9
26	추돌사고	09.08.27 19:59	09.08.27 20:08	내부순환로 성수JC방면 성산램프 → 연희	3차로	1	9
27	고장차량	09.08.27 20:05	09.08.27 20:29	올림픽대로 하남방면 성수대교 → 영동대교	4차로	0.5	24
28	고장차량	09.08.27 20:08	09.08.27 20:24	강변북로 구리방면 한강대교 → 동작대교	2차로	5	16
29	고장차량	09.08.27 20:12	09.08.27 20:16	강변북로 일산방면 성산 → 난지IC	1차로	7	4
30	추돌사고	09.08.27 20:48	09.08.27 21:44	내부순환로 성수JC방면 마장 → 사근	2차로		56
31	고장차량	09.08.27 21:34	09.08.27 21:59	올림픽대로 하남방면 영동대교 → 청담	2차로	5	25
32	시설물보수	09.08.27 22:12	09.08.27 22:59	노들길 한강대교방면 여의하류 → 여의상류	2차로	1	47
33	추돌사고	09.08.27 22:35	09.08.27 22:54	올림픽대로 하남방면 영동대교 → 청담	4차로	6.5	19
34	도로보수	09.08.27 22:41	09.08.27 05:56	강변북로 구리방면 가양대교 → 난지IC	2차로		435
35	고장차량	09.08.27 22:44	09.08.27 22:47	올림픽대로 하남방면 성수대교 → 영동대교	4차로	2.5	3
36	시설물보수	09.08.27 22:48	09.08.28 05:40	올림픽대로 하남방면 여의상류 → 한강대교	2개차로	0.5	412
37	고장차량	09.08.27 22:57	09.08.28 23:30	동부간선도로 의정부방면 창동교 → 상계교	1차로	0.5	33
38	시설물보수	09.08.27 23:01	09.08.27 05:22	북부간선도로 구리방면 하월곡 → 중앙JC	2차로	1	381
39	도로보수	09.08.27 23:42	09.08.27 05:40	동부간선도로 청담대교방면 탄천IC → 청담남단	2개차로	0.5	358
40	고장차량	09.09.01 00:34	09.09.01 00:58	강변북로 구리방면 성수 → 영동대교	2차로	0.5	24
41	고장차량	09.09.01 06:06	09.09.01 06:48	북부간선도로 중앙JC방면 월릉JC → 하월곡	2차로		42

2. 알고리즘의 적용결과

38건의 돌발상황에 대해서 이동평균분석단위 4가지, 돌발상황 판정 임계값 4가지, 지속성 2가지 총 32가지의 경우로 알고리즘을 적용·분석하였다. 동일한 요일 및 시

간대의 이전 5주간 자료를 이용해 구축된 교통패턴 자료를 구축하였다. 이를 바탕으로 지속성 검사를 2회만 시행한 경우에 5주간 동일한 시간대에 일정한 교통패턴을 나타낸 자료의 특성상 임계치나 이동평균 분석단위와는 상관 없이 오보건수가 0건이고, 검지율도 100%로 나타났다.

알고리즘의 적용 결과를 보면, 임계값을 낮추게 되면 검지율이 올라가지만 오보율 역시 올라가는 것을 확인할 수 있다. 또한 임계값을 1로 하였을 때 전체 돌발상황 38건 중 36건을 검지하여 검지율이 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한 임계값이 1.96일 때 검지시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있다.

그러나 돌발상황 감지알고리즘에서 가장 중요한 것은 검지율이다. 돌발판정 임계값이 커질수록 검지시간이 감소하는 추세를 보이지만, 검지시간 감소량이 작고 검지율은 크게 감소하였다. 따라서 본 연구에서 적정 임계값은 1로 적용하였다. 이동평균의 분석단위의 경우 본 연구에서는 검지율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 이동평균 분석단위가 17일 때, 나머지 조건이 동일한 상황에서 가장 오보율이 낮게 나타났다. 따라서 적정분석단위는 17로 판단된다.

마지막으로 지속성의 경우는 지속성검사 횟수를 늘릴수록 오보율이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 분석단위시간인 30초를 기다려야 하며 일반적으로 돌발상황을 검지하기 위한 적정 검지시간은 2분 이내가 적당하다고 알려져 있다. 따라서 지속성검사의 적정 시행횟수는 2회로 판단된다.

전체 38건 중 소통원활시 27건, 지체시 발생한 돌발상황이 11건을 기준으로 분석한 결과는 다음과 같다. 소통원활시의 경우 알고리즘의 적용결과를 보면 임계값에 상관없이 전반적으로 80% 이상의 검지율을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 지체시의 경우 40~50%의 낮은 검지율을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 지체가 발생하는 시간대의 교통패턴이 소통원활시에 비해 불규칙적으로 나타나기 때문에 표준편차 값이 크게 나타나기 때문이다. 즉, 표준편차 값이 커지면서 SND값이 작아져 검지율이 낮아지게 된다. <표 6> 및 <표 7>는 돌발상황알고리즘의 적용결과이다.

3. 교통패턴을 이용한 돌발상황 감지알고리즘의 평가

돌발상황 감지알고리즘의 평가는 기존 모형과의 성능평가 지표인 검지율과 오보율, 평균 검지시간을 기준으로 비교하였다.

$$\text{검지율(\%)} = \frac{\text{검지된 돌발상황건수}}{\text{돌발상황발생전체건수}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{오보율(\%)} = \frac{\text{오보의 갯수}}{\text{모형의 전체 판단횟수}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{검지시간(분)} = \text{검지시점} - \text{발생시점} \quad (5)$$

<표 6> 돌발상황 감지알고리즘 적용결과 (소통원활시 27건)

구분	이동평균(3)				이동평균(5)			
	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
임계치	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
검지건수(건)	26	23	22	22	26	23	22	22
검지율(%)	96.3	85.2	81.5	81.5	96.3	85.2	81.5	81.5
평균오보건수	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
전체판단건수	119	119	119	119	117	117	117	117
오보율(%)	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
검지시간(분)	1.6	1.5	1.3	1.5	1.6	1.4	1.4	1.6

구분	이동평균(9)				이동평균(17)			
	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
임계치	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
검지건수(건)	26	23	22	22	26	23	22	22
검지율(%)	96.3	85.2	81.5	81.5	96.3	85.2	81.5	81.5
평균오보건수	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4
전체판단건수	113	113	113	113	105	105	105	105
오보율(%)	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4
검지시간(분)	1.6	1.4	1.4	1.5	1.6	1.4	1.3	1.5

<표 7> 돌발상황 감지알고리즘 적용결과 (지체시 11건)

구분	이동평균(3)				이동평균(5)			
	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
임계치	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
검지건수(건)	10	5	5	5	10	5	5	5
검지율(%)	90.9	45.5	45.5	45.5	90.9	45.5	45.5	45.5
평균오보건수	1.9	0.9	0.5	0.5	1.9	1.0	0.5	0.4
전체판단건수	119	119	119	119	117	117	117	117
오보율(%)	1.6	0.8	0.5	0.4	1.6	0.9	0.5	0.3
검지시간(분)	1.7	1.3	1.8	2.0	1.7	1.3	1.8	2.1

구분	이동평균(9)				이동평균(17)			
	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
임계치	1	1.65	1.96	2.58	1	1.65	1.96	2.58
검지건수(건)	10	6	5	5	10	6	5	5
검지율(%)	90.9	54.5	45.5	45.5	90.9	54.5	45.5	45.5
평균오보건수	1.7	0.7	0.5	0.2	1.3	0.7	0.5	0.0
전체판단건수	113	113	113	113	105	105	105	105
오보율(%)	1.5	0.6	0.4	0.2	1.2	0.7	0.4	0.0
검지시간(분)	1.7	2.4	1.8	3.3	1.7	1.6	1.7	2.1

기존 모형의 성능평가 지표값은 김영준 외(2004)에서 제시한 값을 사용하였다. 서로 다른 데이터를 이용하였다는 점에서 비교의 한계가 있지만, 개발 모형의 성능이 기존 모형이 보이고 있는 성능수치와 비교하여 합리적 수준의 값을 갖는가를 체크하는 수준에서 의미가 있다고 볼 수 있다. 비교 결과는 <표 8>과 같다.

돌발상황 감지알고리즘은 평균 검지시간을 2분 이내로 유지하여 하며, 이러한 평균 검지시간 이내에서 검지율을 높이고, 오보율을 최소화 하는 것이 우수한 돌발상황 감지알고리즘의 척도라 할 수 있다. 본 돌발상황 감지알고리즘의 오보율은 0.8%로 낮은편이라고는 할 수는 없다. 그러나 검지율 및 검지시간은 오보율과 상호 trade-off

<표 8> 알고리즘의 비교분석 결과 (기존 모형과의 성능평가 지표 비교)

모형	검지율 (%)	오보율 (%)	평균 검지시간(분)
California	Basic	82	1.7
	Algorithm #7	67	0.134
	Algorithm #8	68	0.177
	APID	86	0.05
Time-Series ARIMA	100	1.5	0.4
Standard Normal Deviate	92	1.3	1.1
지수평활화	92	1.87	0.7
Low-Pass Filter	80	0.3	4
McMaster	68	0.0018	2.2
본 알고리즘	94.7	0.8	1.6

관계로 <표 8>과 같이 90% 이상의 검지율과 1% 미만의 오보율을 보이는 특성을 보이는 등 기존 돌발감지알고리즘의 보완적 차원에서 적용시에는 무리가 없다고 판단된다. 돌발상황 검지모형의 성능지표들은 서로 상관관계를 갖고 있다. 검지율 및 검지시간은 오보율과 상호 trade-off 관계에 있다고 할 수 있다. 즉, 검지율과 검지시간이 우수하면 오보율이 함께 높아지게 되고, 오보율이 낮게 되면 검지율과 검지시간이 상대적으로 좋지 않은 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 알고리즘의 경우 검지율이 매우 높은 편임에도 불구하고 오보율도 낮은 편에 속하기 때문에 기존 모형과 비교하여도 우수한 수준의 모형임을 확인할 수 있다.

그러나 본 연구의 특성상 분석대상에서 정체시에 발생한 돌발상황을 제외하였다는 점에서 본 연구의 한계가 존재한다고 볼 수 있다. 이는 실제 현장에 적용시 정체상황 때의 돌발상황을 감지할 수 있는 알고리즘을 정체시에 함께 적용함으로써 보완이 가능할 것으로 판단된다.

기존 돌발상황 감지알고리즘과의 비교를 위해서는 주요 변수로 점유율을 사용하여야 하나 서울도시고속도로 교통관리시스템의 수집데이터의 경우 점유율 정보수집이 어려워 비교분석 결과 산출에 문제가 있다. 따라서 <표 8>에서 제시된 기존 돌발상황 감지알고리즘의 성능평가를 위해서는 본 연구에서 사용한 실제 데이터를 적용하여야 함에도 불구하고 기존 연구결과를 차용한 결과를 제시하였다.

## V. 요약 및 결론

본 연구에서는 기존 모형의 문제점을 보완하고, 운영자의 측면에서 이해가 쉽고 수정 및 보완이 용이한 돌발상황감지알고리즘을 개발하였다. 이를 위해 요일별, 시

간별, 날씨 등으로 세분화된 교통패턴을 활용하여 시간에 따른 교통류의 특성을 고려한 모형을 제시함으로써 돌발상황과 반복정체와의 구분이 용이해질 수 있었다. 또한 기존 모형에서 주로 사용되는 교통량과 점유율 대신 운영자의 측면에서 이해하기 쉬운 속도를 주요 변수로써 사용하였다.

알고리즘에서 가장 중요한 교통패턴 구축을 위하여 30초 주기 원시데이터를 바탕으로 동일한 지점의 동일한 요일 및 시간대의 교통량과 속도를 이용한 가중이동 평균법을 사용하였다. 모형은 오류자료 보정처리, 소통상황 판정, 패턴자료와의 비교, 돌발상황 판정, 지속성 검사의 단계로 이루어졌으며, 적정 파라메타 선정을 위하여 다양한 파라메타값을 적용하였다.

알고리즘을 적용하고 평가하기 위하여 서울시 도시고속도로에서 발생한 돌발상황 38건의 돌발상황 발생시점의 전후 30분씩의 데이터를 이용하였으며, 교통패턴을 구축하기 위하여 동일한 지점의 동일한 요일 및 시간대의 돌발상황이 발생하지 않은 5주간 자료를 함께 수집하였다. 알고리즘의 적용 결과 검지율은 평균 94.7%, 오보율은 0.8%, 평균 검지시간은 1.6분으로 기존 모형과의 비교 분석 결과에서도 우수한 편에 속하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 정체상황에서 발생한 돌발상황을 분석대상에서 제외하였다는 점이 본 연구의 가장 큰 한계라고 할 수 있다.

따라서 향후 연구로써 정체상황에서 발생하는 돌발상황을 판단하는 다른 알고리즘과의 보완·적용방안, 일정한 패턴을 나타내지 않는 혼잡상황에서의 돌발상황에 대한 검지율을 향상시키기 위한 연구 등 추가적이 연구가 필요하다.

그러나 교통패턴이라는 개념을 사용하여 복잡하지 않은 과정을 통해 우수한 결과를 얻었으며, 운영자의 측면에서 실제 운영자들이 돌발상황을 판단하는 과정을 알고리즘으로 완성하였다는 측면에서 본 연구는 소기의 성과를 거두었다고 판단된다. 제한된 자료만을 사용하였기 때문에, 실제 현장에 적용할 경우 장기간 누적된 자료를 이용한 성능검증과 수정·보완 작업이 필요할 것이다. 또한 실제 적용성을 향상시키기 위해서는 교통관리시스템의 교통정보가공주기인 1분단위의 이동평균단위의 적용성을 검토 할 필요가 있다.

알림: 본 논문은 대한교통학회 제62회 학술대회(2010. 2.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.



참고문헌

1. 강수구·도철웅·손봉수·이시복(2001), “고속도로 돌발상황검지알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.105~118.
2. 김영준·장명순(2004), “교통정체상황 분류기법에 기초한 연속류 돌발상황 검지모형 개발 연구”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.175~196.
3. 김재우(2005), “도시고속도로 돌발상황 처리시간 예측모형의 개발 (서울도시고속도로 교통관리시스템을 중심으로)”, 서울시립대학교 석사학위논문.
4. 김진학(2000), “자동유고감지 알고리즘의 비교분석에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문.
5. 이경순(2009), “A Study of an incident detection algorithm based on headway characteristics of urban freeway traffic”, 연세대학교 박사학위논문.
6. 이선하·안우영·강희찬 (2006), “검지기간 속도-밀도의 관계를 활용한 돌발상황 감지기법”, 대한교통학회지, 제24권 제2호, 대한교통학회, pp.127~137.
7. 한국도로공사(2005), “ITS 구축·운영 편람”, 제1권 FTMS.
8. 홍남관(2007), “퍼지논리와 교통패턴을 이용한 유고검지 알고리즘”, 경원대학교 석사학위논문.
9. Dudek, C. L., Messer, C. J., Nuckles, N. B.(1974), “Incident Detection On Urban Freeways”, Transportation Research Record 495.

✉ 주 작 성 자 : 허민국  
 ✉ 교 신 저 자 : 노창균  
 ✉ 논문투고일 : 2010. 7. 5  
 ✉ 논문심사일 : 2010. 8. 13 (1차)  
                   2010. 11. 30 (2차)  
                   2010. 12. 10 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2010. 12. 10  
 ✉ 반론접수기한 : 2011. 4. 30  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필