

■ 論 文 ■

고속도로 돌발상황검지알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구

A Study of Improving Methods for The Performance of Freeway Incident Detection Algorithm

강 수 구
(LG-EDS)

도 철 응
(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

손 봉 수
(서울시정개발연구원 연구위원)

이 시 복
(도로교통안전관리공단 연구위원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존 돌발상황검지알고리즘 고찰
- III. 모형구축
 - 1. 알고리즘 구성체계
 - 2. 돌발상황검지알고리즘
 - 3. 정체검지알고리즘
- IV. 자료수집
 - 1. 대상 Site의 현황
 - 2. 수집된 자료종류
- V. 모형검증
- VI. 결론 및 향후연구
- 참고문헌

Key Words : Incident Detection Algorithm, Non-recurrent Congestion, Recurrent Congestion, Freeway, Incident, Congestion

요 약

혼잡은 반복정체와 비반복(돌발상황)정체로 나눌 수 있다. 고속도로의 효율적인 교통관리를 위해서는 사전 예측이 불가능한 돌발상황으로 인한 비반복정체를 신속·정확하게 검지하여 대응함이 매우 중요하다. 이러한 목적으로 국내외적으로 많은 노력을 기울여왔으나, 기존에 개발된 많은 돌발상황검지알고리즘들은 검지율 증가시 수반되는 오보율증가에 대한 문제점을 극복하는데 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이로 인해 고속도로 운영자에게 실질적으로 적용이 가능한 돌발상황검지알고리즘을 제공하지 못하고 있다. 이와 같은 현 여건을 감안하여 본 연구에서는 돌발상황 검지율과 오보율을 모두 향상시킬 수 있는 기존에 개발된 방법론을 응용하고, 운영자측면에서 돌발상황검지의 효용성을 증대할 수 있는 기법을 개발하는데 주안점을 두고 있다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 교통량, 속도, 점유율 등 세 교통변수간 관계식에 근거하여 일차적으로 돌발상황을 검지하고, 다음 단계에서 검지된 교통상황의 돌발상황 여부를 McMaster 알고리즘에서 적용한 반복 및 비반복정체 구분을 위한 교통상황판단 방법론을 응용하여 구축하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘의 구성체계와 연구에 적용된 방법론의 적합성 평가를 위해 미국 캘리포니아에 위치한 I-880 고속도로에서 수집된 교통자료를 이용하였다. 평가결과, 돌발상황 검지율과 오보율 측면에서 본 연구에서 제시한 알고리즘의 적용가능성이 매우 긍정적으로 판단된다. 본 연구에서는 캘리포니아 알고리즘에 대한 평가결과도 참고적으로 제시하였다.

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과임.

1. 서론

고속도로 교통관리에 있어서 가장 어려운 부분은 교통사고, 고장차량, 낙하물 등 돌발적으로 발생하는 예측이 불가능한 비반복정체에 신속하게 대응하는 것이다. 이에 대한 해결방안으로 돌발상황을 현장에서 수집된 실시간 및 과거 이력 교통자료를 이용하여 자동적으로 신속하게 검지할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위한 연구가 국내외에서 지난 20여년 동안 수행된 바 있다. 최근 국내에서는 터널구간에서 발생하는 돌발상황을 관리할 목적으로 이 부분에 대한 관심이 더욱 높아지고 있는 추세이다.

이러한 연구노력에도 불구하고 고속도로와 같은 연속류를 대상으로 범용적이며 신뢰성있는 돌발상황검지알고리즘이 정립되지 못한 이유는 크게 두 가지를 생각할 수 있다. 첫째, 돌발상황검지알고리즘의 성능을 평가할 수 있는 두 가지 지표인 검지율과 오보율 모두 만족할 수준을 유지할 수 있는 알고리즘 구성에 한계가 있다는 사실이다. 둘째, 대상도로에 설치된 검지기체계에 따라 현장에서 수집할 수 있는 교통자료가 한정되고, 수집이 가능한 교통자료만을 이용하여 신뢰성 있는 알고리즘을 구성하는데 제약이 있다는 사실이다. 최근 국내외 교통관리시스템 구축동향을 감안하면, 검지기체제로 인한 교통자료수집의 어려움은 점차 해결되는 추세이다. 즉, 교통량, 속도, 점유율 등 알고리즘 개발에 필요한 세 가지 주요 교통변수의 수집이 가능하다는 의미이다. 따라서, 두 번째 알고리즘 개발의 제약조건은 어느 정도 해결될 수 있으므로, 본 연구에서는 첫 번째 문제점을 극복하고, 돌발상황검지알고리즘 운영의 용이성 및 효율성에 주안점을 두고 연구에 주력하였다.

위에서 언급한 연구배경에 근거하여 본 연구에서는 돌발상황검지알고리즘의 검지율과 오보율을 개선할 목적으로 기존 알고리즘에 적용되었던 방법론을 응용하여 새로운 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 교통량, 속도, 점유율 등 세 교통변수간 관계식에 근거하여 일차적으로 돌발상황을 검지하고, 다음 단계에서 검지된 교통상황의 돌발상황 여부를 McMaster 알고리즘에서 적용한 반복 및 비반복정체 구분을 위한 교통상황판단 방법론을 응용하여 구축하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘의 구성체계와 연구에

적용된 방법론의 적합성 평가를 위해 미국 캘리포니아에 위치한 I-880 고속도로에서 수집된 교통자료를 이용하였다. 평가결과, 돌발상황 검지율과 오보율 측면에서 본 연구에서 제시한 알고리즘의 적용가능성이 매우 긍정적으로 판단된다. 또한 운전자측면에서 기 개발된 돌발상황알고리즘은 주로 점유율에 의존도가 큰 반면 속도와 교통량자료를 사용함으로써 반복 및 비반복정체 구분을 위한 교통상황판단, 운영 및 해석이 용이하고 동시에 알고리즘 정산작업(Calibration)이 용이한 장점이 있다. 본 연구에서 제시한 알고리즘의 부가적인 특징으로는, 운연자가 CCTV 등 영상자료수집체계를 통한 돌발상황 확인이 불가능한 지점에서 발생한 돌발상황에 대응할 수 있도록 돌발상황 심각도(혼잡수반 여부)를 제공할 수 있는 잠재력을 지니고 있다는 사실이다.

II. 기존 돌발상황검지알고리즘 고찰

기존에 개발된 돌발상황검지알고리즘은 특성별로 크게 5가지로 구분이 가능하다. 특징을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

- Comparative/Pattern Recognition
- Statistical Algorithms
- Time Series and Smoothing/Filtering
- Traffic Model and Theoretical Algorithms
- Advanced Incident Detection Algorithms

Comparative Type Algorithms/Pattern Recognition은 교통변수들의 임계값(Thresholds)을 기준으로 돌발상황을 구분한다. 이 부류에 속하는 알고리즘은 첫째, 의사결정수(Decision Trees)에 따라 돌발상황여부를 결정하는 California Algorithms

둘째, 상류와 하류 점유율의 누적차이를 비교하는 Wave Analysis Algorithm 셋째, California Algorithms에 압축과검사 및 지속성검사를 수행하는 The All Purpose of Incident Detection Algorithm (APID), The Pattern Recognition Algorithm (PATREG), Monica Algorithm 등 이다.

Statistical Algorithms은 과거 돌발상황발생시 수집된 자료와 비돌발상황시 자료를 비교/분석하여, 변수들의 확률분포와 임계값을 기준으로 돌발상황을

〈표 1〉 Category별 돌발상황검지알고리즘 특징

Category	Algorithm	점유율	교통량	속도	특징	
Comparative or Pattern Recognition Algorithms	California	Basic	●		교통변수의 관측값을 미리 설정된 임계값 (Threshold)과 비교	
		# 7	●			
		# 8	●			
		APID	●	●		
	PATREG		●			
	Monica		●			
Wave Analysis		●				
Statistical Algorithms	Bayesian	●			관측값과 통계적 방법을 이용한 예측값 비교	
	SND	●	●			
Time Series and Smoothing/Filtering Algorithms	Time Series ARIMA	●	●		관측값과 시계열분석에 의한 예측값 간에 오차비교	
	Exponential Smoothing	●				
	Low - pass Filer	●				
	Dutch	●				
Traffic Model and Theoretical Algorithms	Dynamic	●	●		교통상황을 분석할수 있는 함수식을 설정하여 돌발상황분석	
	Modified McMaster	●	●			
Advanced Algorithms	Neural Network	●	●	●	임계값 설정없이 돌발상황검지	
	Fuzzy Set	●	●	●		

판단한다. 이 부류에 속하는 알고리즘에는 Bayesian Algorithm과 Standard Normal Deviation(SND) Algorithm이 있다.

Time Series and Smoothing/Filtering Algorithms은 교통변수들의 과거 상태를 분석하여, 다음 시간대의 교통상황을 예측하여, 검지체계로부터 수집된 관측자료와 시계열분석에 의한 예측값간 큰 오차가 발생할 경우 돌발상황으로 판단한다. 여기에는 Time Series ARIMA Algorithm, Double Exponential Smoothing Algorithm, HIOCC Algorithm, Dutch Algorithm 등이 있다.

Traffic Model and Theoretical Algorithms은 교통상태를 묘사할 수 있는 수학적 모델에 근거하여 지속적인 교통변수의 측정 및 보정과정을 통해 돌발상황을 검지한다. Dynamic Algorithm과 McMaster Algorithm 이 여기에 속한다.

Advanced Incident Detection Algorithms는 퍼지이론 또는 인간의 두뇌구조를 모방한 신경망이론을 이용하여 돌발상황을 검지한다. 돌발상황검지에 적용된 신경망이론은 MLF(Multi-Layer Feedforward Networks), ART(Adaptive Response Theory), SOFM 등이 있으며, 퍼지기법을 도입한 연구에는 Fuzzy ART, Fuzzy ARTMAP등이 적용된바 있다. 예로써

Ritchie와 Cheu(1993)는 MLF를, Chang과 Wong (1994)은 퍼지이론을 적용한 사례 등이 있다. 최근에는 퍼지 및 신경망을 적용한 연구가 많은 관심을 모으고 있는 추세다. 이는 다른 분류의 알고리즘을 적용할 경우, 돌발상황을 판단하는 기준인 임계값 결정의 어려움과 다양한 돌발상황을 검지하기에 한계가 있기 때문이다. 이외에도 정보통신기술을 이용하여, Bruce (1998)은 개인 이동통신수단을 이용한 돌발상황검지, Bruce와 Geoff(1999)는 AVI(Automatic Vehicle Identification)을 적용하여 각 차량의 통행시간을 적용하는 등 다양한 방법으로 돌발상황검지연구가 진행되었다.

국내의 경우, 장세봉은 "인공신경망을 이용한 자동 유고감지 모형", 이영인과 황준환은 "간선도로 돌발상황 검지기법 개발연구", 변환희와 김대호는 "돌발상황 발생에 따른 대응의 체계화 방안 연구", 박성룡 "신경망이론을 이용한 도시고속도로 돌발상황감지모형의 적용에 관한 연구" 등의 관련 연구가 진행된바 있다. 가장 최근에는, 대전, 전주와 제주 등 「첨단교통모델 도시」 건설사업의 일환으로 도시고속도로와 주요 간선도로를 중심으로 돌발상황관리 등 다양한 ITS시스템이 종합적으로 구축되고, 서울시 내부순환로 및 강변북로에서 McMaster, APID, DES Algorithm 등

을 이용한 돌발상황관리체계 시스템이 구축 중이다.
 참고적으로, 앞에서 제시한 Category로 본 연구에서 제시한 알고리즘을 구분하면, 일차적인 돌발상황 검지는 알고리즘은 Traffic Model and Theoretical Algorithms 범주에, 오보율을 줄이기 위한 보조적 역할을 수행하는 알고리즘은 Statistical Algorithms 범주에 속한다.

III. 모형 구축

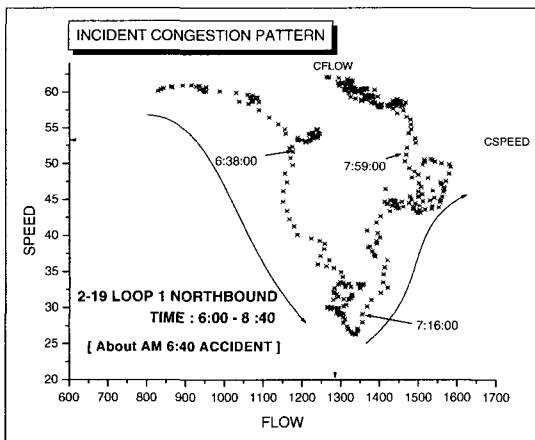
본 연구에서 제안한 모형은 두 가지 알고리즘으로 구성되었다. 돌발상황검지알고리즘과 정체검지알고리즘 등이다. 알고리즘의 명칭은 편의상 저자에 의해 임의적으로 지칭된 바, 각 알고리즘의 구현기능을 한정하지는 않으므로, 독자의 판단과는 다소 차이가 있을 수 있음을 밝히는 바이다. 돌발상황검지알고리즘은 교통량-속도함수식을 이용한 「Module1」과 속도와 점유율 데이터의 평균과 표준편차를 이용한 「Module 2」로 구성되었으며, 정체검지알고리즘은 정체를 유발한 실제원인을 보다 정확히 파악할 목적으로 돌발상황검지알고리즘의 신뢰성을 향상시키기 위해 보조적으로 구성되었다. 알고리즘(이하 본 논문에서는 "모형"으로 지칭하는 경우도 있음)의 구성체계와 수행과정에 대해서는 아래에 기술하였다.

1. 알고리즘 구성체계

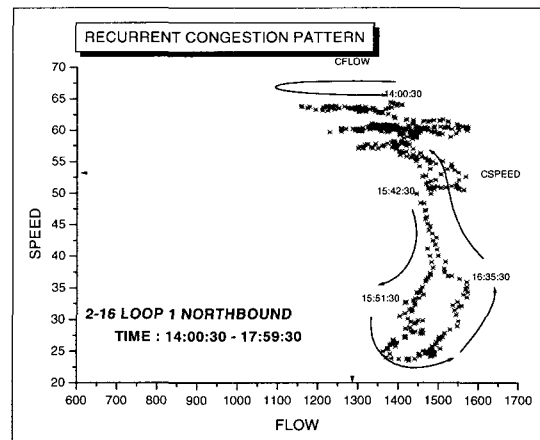
일반적인 반복정체와 돌발상황정체의 진행패턴을

「교통량-속도」 관계에서 살펴보면, <그림 1>, <그림 2>와 같다. 즉, 두 교통상황 모두 속도수준에는 거의 차이가 없으나, 교통량 수준은 거의 대부분의 경우 서로 심한 차이를 보이는 것이 일반적 사례이다. 반복정체는 교통량수준이 도로용량수준에서 발생하는 반면에, 돌발상황정체는 비교적 낮은 교통량 수준에서 발생하는 경우가 빈번하다. 따라서, 속도만을 기준으로 두 상황을 구분하는데는 한계가 있으므로, 교통량과 속도를 모두 이용하여 두 상황을 구분함이 효과적이라 판단한다. 참고적으로, 이러함에도 불구하고 기존 알고리즘이 교통량과 점유율 데이터에 근거하여 개발된 것은, 기존 검지기체계가 단일루프(Single-Loop)로 구성되어 있어서, 속도 데이터 수집이 불가하거나 한정되어 있었기 때문이다. 국내외 고속도로의 검지기체계를 살펴보면, 거의 대부분 단일루프로 구성되어 있으며, 주요 구간에 한정되어 속도측정이 가능한 이중루프(Pair-Loop)가 설치되어 있다. 그러나, 본 연구에서는 최근 국내 고속도로 교통관리시스템의 검지기체계가 영상검지기과 같은 속도측정이 가능한 검지기로 구성되는 추세를 감안하여, 속도데이터를 이용한 알고리즘을 아래와 같이 제안하였다.

본 연구에서는 <그림 1>과 <그림 2>를 반복정체와 비반복적인 돌발상황정체의 일반적인 진행패턴으로 제시하였으나, 고속도로의 모든 지점에서 이와 같은 패턴으로 두 교통정체가 반드시 구분된다는 것을 의미하지는 않는다. 단, 서울시 올림픽대로와 강변북로, 그리고 캐나다 Queen Elizabeth Expressway에서 관측된 자료와 저자의 경험에 근거하여 위와 같은 교



<그림 1> 돌발상황정체 발생 및 형성패턴



<그림 2> 반복정체 발생 및 형성패턴

통상황 진행패턴을 제안하였다. 따라서, 고속도로의 기하구조와 지점에 따라 두 그림에서 제시한 진행패턴과 다소 차이가 있을 수 있으나, 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 신뢰성은 이러한 진행패턴에 절대적으로 좌우되지 않음을 밝히는 바이다. 이에 대한 사실 여부는 본 논문에서 기술한 알고리즘의 구성체계와 수행과정을 참조하여 확인이 가능하다.

〈그림 1〉과 〈그림 2〉를 기준으로 반복정체와 돌발상황정체를 구분하기 위해서는 일차적으로 두 정체상황을 교통량과 속도 데이터를 이용하여 구분할 수 있는 임계교통량(CFLOW) 및 임계속도(CSPEED)를 정의해야 한다. 이를 위해, McMaster 알고리즘에서 교통량과 점유율을 이용하여 두 정체상황을 구분하도록 제시한 Traffic State 구분방법론에 근거하여 본 연구에서는 교통량과 속도를 이용하여 구분할 수 있도록 〈그림 3〉과 같이 응용하였다. 단, 이 응용과정에서 McMaster 알고리즘에서는 교통상황을 4 가지로 구분하였으나, 본 연구에서는 5가지로 세분하였다. 즉, 〈그림 3〉에서, 돌발상황정체는 「STATE 5」 또는 「STATE 1」에서 「STATE 4」로 진행하고, 반복정체는 「STATE 1」에서 「STATE 3」으로 진행되는 것으로 위에서 언급한 사실에 근거하여 가정하였다. 「STATE 1」과 「STATE 5」는 돌발상황이 발생하는 교통량 수준에 따라 구분이 되는데, 본 연구에서는 돌발상황은 용량보다는 비교적 낮은 교통량 수준에서 빈번히 발생하는 사례를 효과적으로 검지하기 위해 돌발상황 발생전의 교통량과 속도수준을 세분한

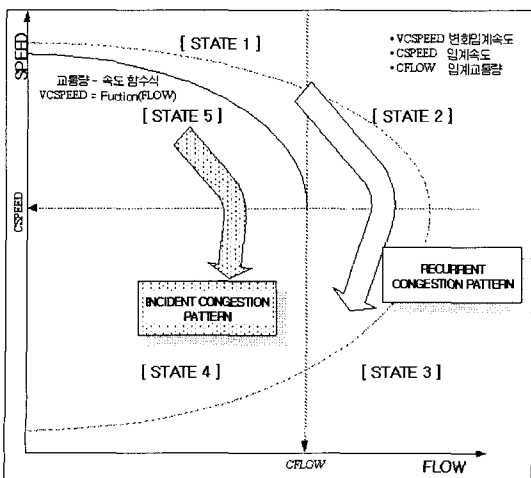
것이다. 본 알고리즘은 수행초기에는 「STATE 1」과 「STATE 5」가 구분되지만, 알고리즘 수행과정에서 두 State의 경계선은 자동적으로 보정되어 두 State가 일치하는 경우도 발생할 수 있다. 이러한 자동보정과정은 「Module 1」에서 기술되어 있다.

2. 돌발상황검지알고리즘

본 연구에서 제안한 돌발상황검지알고리즘 부분은 앞 절에서 간략하게 언급한 McMaster 알고리즘에서 제시한 교통상황 구분방법론을 응용한 「Module 1」과 속도와 점유율자료의 평균과 표준편차를 이용한 「Module 2」로 구성된다.

1) Module 1

「Module 1」은 교통상황을 판별할 수 있는 함수식을 설정하여 일차적으로 돌발상황을 판단한다. 판단 방법은 다음과 같다. 혼잡상황 및 비돌발상황에서 교통량과 속도 데이터를 수집하여 이를 근거로 교통량-속도함수식을 도출((STEP1)~(STEP2))하고, 신뢰구간을 설정((STEP 3))한다. 즉, 설정된 신뢰구간을 벗어나는 교통상황이 발생하는 경우 돌발상황으로 판단한다. 즉, 돌발상황의 판단기준인 교통량-속도함수식과 신뢰구간 설정((STEP 1)~(STEP 3))이 선행되어야 한다. 다음 단계에서 교통상황에 따라 변화 임계속도를 자동보정하는 과정을 수행하면서 돌발상황을 판단((STEP 4)~(STEP 6))한다.



〈그림 3〉 돌발상황정체와 반복정체 형성패턴

[STEP 1] 교통량과 속도 데이터 추출

아래 [STEP 2]의 교통량-속도함수식을 설정하기 위한 준비단계로써, 정상적인 교통상황의 데이터를 구분하기 위해, 과거 축적된 데이터베이스에서 혼잡상태 또는 돌발상황이 발생한 시간대의 교통량과 속도 자료를 제거한다. 여기서, 혼잡상태의 기준은 앞 절에서 제시한 임계교통량과 임계속도를 기준으로 판단한다.

[STEP 2] 교통량-속도함수식 설정

교통량과 속도관계식은 2차 함수식의 포물선형으로 가정하고, [STEP 1]에서 수집된 교통량과 속도 데이터로 회귀분석을 실시한다. 다음의 함수식은 [STEP 4]에서 이용된다.

$$RSPEED = a + b \cdot FLOW + c \cdot FLOW^2$$

여기서, a, b, c는 각 지점별 교통특성에 나타내는 변수이다.

[STEP 3] 비돌발상황 범위(CONST) 설정

[STEP 2] 회귀분석으로 교통량-속도함수식의 95% 신뢰구간의 상위값(Upper-Bound)과 하위값(Low-Bound)을 설정하고, 신뢰구간의 하위값(a_low)과 교통량-속도함수식의 상수값(a)의 범위를 비돌발상황범위로 설정한다. 이는 유사한 교통량수준에서 돌발상황으로 인한 급격한 속도저하를 판단할 수 있도록 구성하였다. 즉, 설정범위(CONST)를 벗어난 교통상황은 돌발상황 잠재력이 존재하는 것으로 판단한다.

$$CONST = a - a_{low}$$

[STEP 2]에서 설정한 RSPEED값은 시시각각 변화하는 교통상황에 민감하게 반응할 수 없다. 따라서, 「Module 1」수행과정에서 RSPEED값과 검지기체계에서 수집된 교통량 수준에 따라 돌발상황 판단기준인 속도를 자동적으로 보정할 수 있는 기능이 필요하다. 본 연구에서는 자동적으로 보정된 속도를 저자의 임의로 "변화임계속도(VCSPEED)"라 지칭하기로 한다. 단, 서두에서 제시한 혼잡판단 기준인 각 구간별로 고정된 임계속도와는 상이하다. 변화임계속도 산정은 McMaster Algorithm에서 이용된 교통량 보정방법을 응용하며, 알고리즘 수행과정은 다음과 같다.

[STEP 4] 변화임계속도(VCSPEED) 계산

- Frist Time Slice(t)에서 보정값(R_now), 각 지점별 비돌발상황 범위값(CONST)과 교통량-속도함수식에서 교통량수준에 따라 도출된 RSPEED으로부터 변화임계속도(VCSPEED)를 산출한다.

$$VCSPEED(t) = R_{now} \cdot (RSPEED - CONST)$$

여기서, R_now의 초기값은 1로 설정한다.

- Next Time Slice(t+1)에서는 아래 [STEP 5] 보정과정을 거쳐 다음과 같이 산출식이 변환 된다.

$$VCSPEED(t+1) = R_{new} \cdot (RSPEED - CONST)$$

[STEP 5] Updating Factor(R) 보정

- 검지기체계에서 수집된 속도(SPEED)와 교통량-속도함수식에서 도출된 RSPEED의 절대차이가 CONST보다 작을 경우, 아래와 같이 R_new로 보정된다. 즉, 현재 Time Slice의 교통상황이 돌발상황 판단 기준 범위안에 속하지 않으므로 현재 교통수준을 Next Time Slice에 자동적으로 반영하는 과정이다.

$$\begin{aligned} & \text{IF } |SPEED - RSPEED| < CONST \\ & \text{THEN } R_{new} = (1 - Z) \cdot R_{now} + \\ & \quad Z \cdot (SPEED / RSPEED) \end{aligned}$$

여기서, Z는 과거자료의 반영비율을 나타내는 값으로 0.95로 설정한다.

- 만약 돌발상황으로 판단될 경우는 [STEP 5] 보정 과정은 수행되지 않는다.

[STEP 6] 돌발상황 판단기준 및 검지

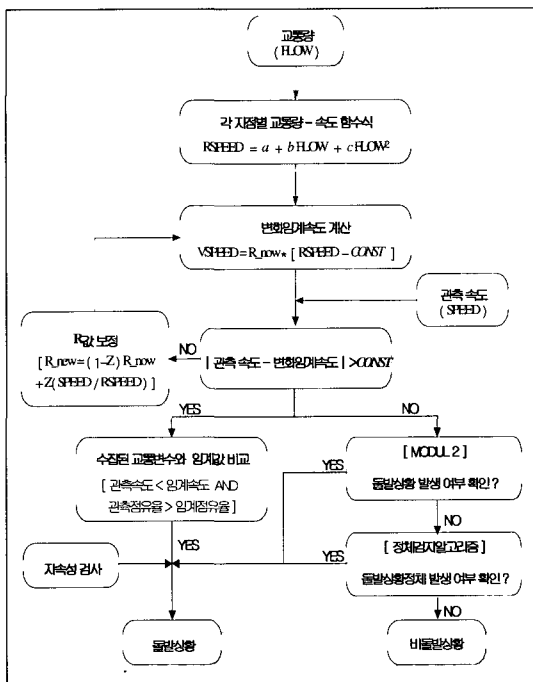
일차적으로 돌발상황이 판단되는 경우, 최종결정을 위해 사전에 임의로 설정된 기간동안 지속성검사를 (Persistence Check)를 설정하는데, 지속성검사동안 아래 세 가지 조건을 모두 만족할 경우, 돌발상황으로 판단하고 R(Updating Factor)값의 보정을 중단한다. 단, 세 번째 조건은 오보율을 감소하기 위한 추가적인 판단기준으로 만약 검지기체계에서 점유율자료 수집이 불가능한 경우 또는 신뢰성에 문제가 있을 경우에는 판단기준에서 제외할 수 있다.

위의 조건을 모두 만족하지 않을 경우, 돌발상황의 가능성이 여전히 존재하는 것으로 가정고 아래 「Module 2」로 넘어간다.

- 변화임계속도(VCSPEED)보다 교통량-속도함수식에서 얻어진 속도(RSPEED)가 작을 경우 - 관측 속도(SPEED)가 임계속도(CSPEED) 보다 작을 경우
- 검지기체계에서 수집된 점유율이 임계점유율보다 큰 상태가 지속될 경우
- 「Module 2」에서 돌발상황으로 판단될 경우, 돌발상황으로 판단하고, 「Module 2」에서 비돌발상황일

경우, 다음 절에 소개할 정체검지알고리즘에서 돌발상황정체발생여부에 따라 돌발상황과 비돌발상황을 판단한다.

이상의 과정을 종합하면 <그림 4>와 같이 돌발상황검지 「Module 1」은 [STEP 1]에서 [STEP 3]까지 미리 설정되고, 다음 단계인 [STEP 4]부터 [STEP 6]까지는 교통상황에 따라 자동보정과정의 수행된다.



(그림 4) Module 1의 수행도

2) Module 2

「Module 2」의 주요기능은 「Module 1」의 오보율을 감소시키기 위한 보조적 역할을 수행함과 동시에 검지기체계에서 교통량이 수집되지 않을 경우, 속도와 점유율 데이터로 돌발상황검지알고리즘이 수행될 수 있도록 지원하는 역할을 수행한다. 본 알고리즘은 돌발상황이 발생되면 과거 교통패턴과 상이한 패턴을 보인다는 가정으로, 통계적기법을 응용하여 수행된다. 현재(t)시점과 과거 N분(t-N)동안의 교통상황을 비교/분석하여 돌발상황을 판단한다. 여기서, 적용대상 구간의 교통특성 및 검지기체계의 수집주기에 따라 N값은 상이할 수도 있다. 단, 「Module 1」수행후, 「Module 2」를 수행되는 것이 아니라 병렬처리된다.

[STEP 1] 속도(SPEED), 점유율(OCC) 데이터 파악

과거 N분(t-N)동안 검지기체계에서 수집된 속도 및 점유율 데이터를 SPEED_N과 OCC_N 변수에 저장한다. 예로써, 30초 간격으로 교통자료가 갱신되고 3분전 데이터까지 이용할 경우에는 다음과 같이 각 변수에 자료를 입력한다. 이후 STEP 과정은 이를 기준으로 기술된다.

- SPEED_3=[SPEED(t-6), SPEED(t-5), ... , SPEED(t-1)]
- OCC_3=[OCC(t-6) , OCC(t-5), ... , OCC(t-1)]

[STEP 2] 속도와 점유율 데이터의 평균(MEAN) 및 표준편차(STD) 계산

과거 3분동안 수집된 SPEED_3과 OCC_3의 평균값(M_SPEED, M_OCC)과 표준편차값(STD_SPEED, STD_OCC)을 계산한다.

- M_SPEED=MEAN(SPEED_3)
- STD_SPEED=STD(SPEED_3)
- M_OCC=MEAN(OCC_3)
- STD_OCC=STD(OCC_3)

[STEP 3] 돌발상황검지

지속성검사동안 관측된 점유율과 속도가 표준편차의 a배수 범위를 벗어는 상태가 지속되면, 돌발상황의 잠재력이 존재한다고 판단한다.

```
IF (OCC > M_OCC + a * STD_OCC)
AND (SPEED < M_SPEED + a * STD_SPEED)
THEN Incident
```

여기서, a값은 알고리즘정산과정을 통해 최적의 값으로 설정한다.

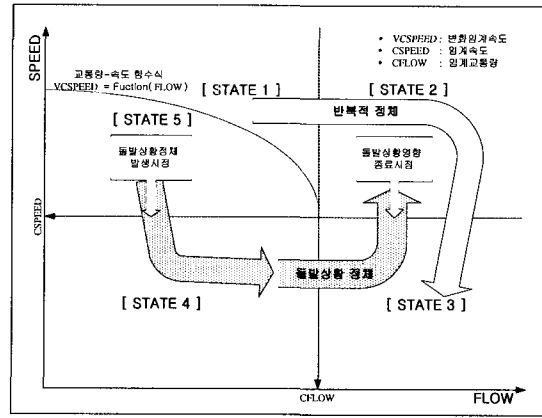
- 본 과정은 「Module 1」과 달리 기존 돌발상황발생 자료를 통해 a값의 정산과정이 요구된다. 따라서, 해당 알고리즘 성능평가시 학습자료(Training Data)와 평가자료(Validation Data)를 구분하여 수행하는 것이 타당하다. 그러나, 본 연구에서는 돌발상황 종류에 따라 충분한 데이터가 제공되지 않고,

기타/긴급전화로 접수된 돌발상황건수가 전체 돌발상황의 41%((표 5) 참조)를 차지하여 독립된 자료로 분류하기가 어렵고, 「Module 1」의 보조적 역할(오보를 감소)을 수행하는 「Module 2」를 위해 불충분한 돌발상황자료를 나누어 평가하는 것이 무리라는 판단하에 독립된 자료로 평가하지 못했다. 단, 본 연구에서 「Module 1」은 돌발상황자료가 제거된 상태에서 구성체계가 설정되었으므로 학습 및 평가 데이터가 구분되어 평가되었다.

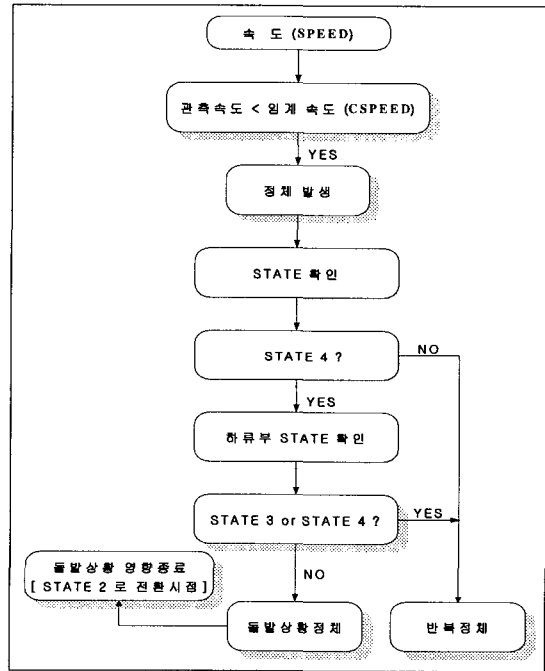
3. 정체검지알고리즘

정체검지알고리즘은 일차적으로 임계속도를 기준으로 혼잡을 판단한다. 지속성검사동안 관측된 속도가 임계속도보다 낮은 상태를 지속될 경우, 혼잡으로 판단한다. 이와 동시에 혼잡발생시점전의 교통상황(STATE)을 파악하여, 혼잡발생의 원인(반복정체, 돌발상황)을 판단함과 동시에 혼잡발생 및 해소여부를 지속적으로 모니터링한다. 이를 기반으로 다양한 용도로 알고리즘을 활용할 수 있다. 즉, 운영자 측면에서 첫째, 돌발상황검지알고리즘에서 검지하지 못한 돌발상황이 발생한 경우에도, 해당지점의 돌발상황정체 경보를 제공함으로써 돌발상황검지알고리즘을 지원(「Module 1」 수행과정 참조)하고, 운영자가 신속히 수동확인(CCTV 이용) 및 대응할 수 있도록 정보를 제공한다. 따라서, 신속한 돌발상황검지는 불가능하지만 돌발상황으로 인한 영향을 완화할 수 있다. 둘째, 혼잡발생 원인에 따른 혼잡의 시작과 종료시점이 제공되며 셋째, 영상 수집체계(CCTV)로 돌발상황 확인이 어려운 구간에 적용시 급격한 대기행렬 증가를 유발하는 심각한 돌발상황발생 여부를 판단할 수 있는 객관적 판단기준을 제시할 수 있다. 예를 들어, 일정수준 이상의 교통량 수준에서 심각한 돌발상황(사고 등)이 발생한 경우, 경미한 돌발상황(접촉사고 등)보다 돌발상황검지알고리즘에서 검지된 시간과 정체발생 검지시간의 차이가 작다는 가정을 기초로 하였다.

알고리즘 수행과정은 <그림 5>과 같이 혼잡형성 패턴이 「STATE 2」에서 「STATE 3」으로 이동할 경우 반복정체로 판단한다. 또한 돌발상황으로 인한 정체 판단은 「STATE 1 또는 5」에서 「STATE 4」로 이동하는 패턴을 나타낼 경우, 해당지점의 하류부 교통상황(STATE)을 확인한다. 만약, 비혼잡상태일 경우에는



<그림 5> 반복 및 비반복정체 형성 및 해소



<그림 6> 정체검지알고리즘 수행도

돌발상황으로 인한 정체로 판단한다. 또한, 돌발상황의 영향이 종료된 시점은 「STATE 3」에서 「STATE 2」로 전환되는 시점으로 판단한다.

IV. 자료수집

본 연구에서 제시한 모형의 평가를 위해 California Alameda County Hayward에 위치한 I-880 고속도로로 교통자료를 이용하였다. 국내 고속도로의 경우, 데이터베이스화된 돌발상황정보(발생시간 및 위치,

종료시간, 발생위치, 심각도 등)의 자료량이 알고리즘 구축 및 평가에 활용하기에 부족하고, 교통량, 점유율, 속도자료를 확보하는데 한계가 있다. 반면에 I-880 고속도로의 자료는 FSP(Freeway Service Patrol) 프로젝트를 평가하기 위해 다양한 돌발상황 자료, 루프검지기 자료와 탐지차량(Probe Vehicle)정보가 구축되어 있으며, 국내 고속도로 실정에 비해 검지기 설치간격도 비교적 짧은 장점이 있기 때문에 외국의 자료를 이용하여 연구를 수행했다.

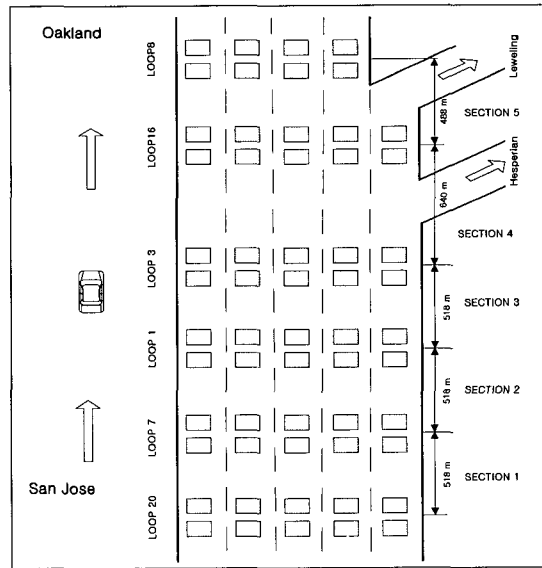
1. 대상 Site의 현황

I-880 고속도로는 샌프란시스코 해안지역에 위치한 사고다발지역으로 대상구간의 AADT는 약 160,000~200,000vpd이며, 첨두시 교통량은 1,400~1,800vphpl (vehicles per hour per lane)수준이다. 본 연구에서는 대상 고속도로의 본선구간 중 돌발상황 발생빈도가 높은 2.68km구간 자료를 모형검증에 사용하였다.

해당구간의 기하구조는 <그림 7>와 같고, 루프검지기를 기준으로 Section을 구분하였다. 「Section 5」를 제외한 구간은 편도 5차로이며, 검지기 설치간격은 평균 536m이다. 또한 다인승전용차로가 운영되고 「Section 4」와 「Section 5」에는 유출램프가 있다.

2. 수집된 자료종류

대상구간에서 수집된 정보는 돌발상황관리 시행전·후를 구분하여 수집되었다. 참고적으로 조사에 이용된 차량에는 Transmission Speedometer, GPS장치, Magnetic Compass, Rate of Turn Indicator가 장착되어 자동적으로 거리, 속도, GPS 정보가 차량 내의 컴퓨터에 저장되며 운전자가 직접 입력할 수 있도록 설계되었다. 수집된 자료는 다음과 같다.



<그림 7> 대상구간의 기하구조 및 검지기 위치

- 30초 간격으로 수집된 교통량, 점유율, 속도 자료 (전체 차량의 평균값)
- CAD 시스템(Computer-Aided Dispatch System) 과 FSP(Freeway Service Patrol) 기록으로부터 취합되어진 돌발상황자료
- 탐지차량(Probe Vehicle)자료
- 탐지차량운전자 관측자료
- 견인차량회사 기록자료

본 연구에서는 돌발상황관리 미진한 시점인 Before Study(1993년 2월16일~3월19일)기간이 상대적으로 국내현실과 유사하다는 판단되는바, 해당 기간동안 교통변수와 총 129건의 돌발상황자료(사고 : 12건, 차량고장 : 13건, Ticketing : 37건, Flat Tire : 1건, GAS : 1건, 기타 : 54건, CHP(California Highway Patrol) 돌발상황 : 9건, 보행자/도로상의

<표 2> 자료수집 기간 및 종류

기 간	자료 종류	수집시간	수집정보
Before Study* (1993. 2. 16 ~ 3. 19)	루프검지기 자 료	AM 5:00 ~ 10:00 PM 2:00 ~ 8:00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 교통량 ▪ 점유율 ▪ 속 도
After Study** (1993. 9. 27 ~ 10. 29)	탐지차량 (Probe Vehicle) 자 료	AM 6:30 ~ 9:30 PM 3:30 ~ 6:30	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 돌발상황정보 ▪ 거리, 속도 ▪ GPS정보

주) * : FSP(Freeway Service Patrol) 프로젝트가 시행되기 전 시점.
 ** : FSP(Freeway Service Patrol) 프로젝트가 시행된 후 시점.

장애물관련 : 2건)를 이용하여 모형을 평가하였다.

V. 모형검증

앞에서 제시한 알고리즘의 구성체계 및 수행과정을 평가하기 위해 다음과 같은 사항이 선행되었다. 첫째, 혼잡과 비혼잡을 구분할 수 있는 각 교통변수의 임계값 설정, 둘째, 돌발상황검지 「Module1」의 교통상황을 묘사할 수 있는 교통량-속도함수식을 설정하였다.

임계값 설정방법은 다음과 같다. 표본의 크기가 충분히 클 경우, 근사적으로 정규분포에 가깝게 되는 중심극한 이론에 근거하여, 검지기체계에서 수집된 교통변수(교통량, 속도, 점유율)의 평균과 표준편차를 산출하였다. 다음 단계에서 일정범위(표준편차의 3 배수이하)를 벗어나는 교통변수를 제거하고 남은 교통변수의 평균과 표준편차를 산정하는 과정을 반복수행하였다. 반복수행과정 중 연속된 평균값이 동일할 때, 반복수행과정을 중단하고, 해당 값을 각 교통변수의 임계값으로 결정하였다. 이상에서 산정된 각 지점별 임계값을 정리하면 <표 3>와 같다.

교통량-속도함수식 및 CONST 값은 알고리즘 수행체계에서 설명한 방법에 따라 해당구간에 적용하였다. <표 4>와 같이 각 Section별 함수식과 전체구간(Section 1~Section 5)에 대해서는 통합 교통량-

속도 함수식을 병행 적용하여 평가를 수행하였다. 이유는 다음 절에서 자세히 기술되겠지만, 미시적인 접근방법(각 지점별 함수식으로 알고리즘을 운영할 경우)와 거시적 접근방법(전체구간의 1개 함수식으로 알고리즘을 운영할 경우)을 비교하기 위함이다.

이상으로 자료수집 대상지역에 대해 알고리즘 수행에 필요한 작업을 기술하였다.

지속성검사시간과 「Module 2」의 a값을 조합한 결과, 돌발상황검지 「Module 1」과 「Module 2」에서 지속성검사는 각 1분과 1분 30초가 적정하며, 「Module 2」에서 a값은 1.95로 설정할 경우 <표 5>와 같은 결과가 도출되었다. 여기서, 간략히 전술한바와 같이 Case A는 각 구간별 특성이 반영되도록 각 Section별 교통량-속도함수식과 임계값을 적용한 결과이며, Case B는 해당구간 전체를 하나의 함수식과 평균임계값을 적용한 결과이다. 이는 돌발상황검지 알고리즘의 현장운영측면에서 단순한 모형일수록 운영 및 관리에 용이하므로 상대적으로 복잡한 적용한 사례(Case A)와 전체구간에 대해 수행한 결과(Case B)를 비교/분석하였다.

평가결과, 돌발상황검지알고리즘 성능평가지표인 검지율(Detection Rate:DR)¹⁾은 약 73%, 오검지율(Off-line False-alarm Rate:FAR)²⁾은 약 0.27%로 제시한 모형의 적용가능성이 긍정적으로 판단된다.

<표 3> Section별 임계값

Section	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	평균
임계교통량(veh/h)	1322	1255	1281	1317	1281	1292
임계속도(mile/h)	56	55	53	50	48	52
임계점유율(%)	11	12	17	12	15	13

<표 4> Section별 교통량-속도함수식

지점	교통량-속도함수식	CONST
Section 1	64.42 - 0.00309 FLOW + 9.78617 e-8 FLOW ²	2.00
Section 2	61.83 + 0.00395 FLOW - 3.16056 e-6 FLOW ²	1.98
Section 3	63.15 + 0.00151 FLOW - 2.27811 e-6 FLOW ²	2.01
Section 4	63.65 + 0.00323 FLOW - 4.49272 e-6 FLOW ²	3.24
Section 5	56.44 + 0.00725 FLOW - 6.77011 e-6 FLOW ²	2.00
전체 구간	63.38 + 0.00133 FLOW - 1.7890 e-6 FLOW ²	2.93

1) 실제 발생한 돌발상황 중, 모형에서 검지된 돌발상황의 비율(ratio).
 2) 모형에서 잘못된 돌발상황경보를 울린 시간간격의 수를 실제 비돌발상황 시간간격의 총 수로 나눈 값.

〈표 5〉 모형운영 결과

돌발상황 종류	발생 건수	Case A		Case B	
		검지 건수	누락 건수	검지 건수	누락 건수
보행자/Debris	2	1	1	1	1
차량 고장	13	11	2	10	3
Flat Tire	1	0	1	0	1
GAS	1	0	1	0	1
사 고	12	12	0	9	3
Ticketing	37	29	8	22	15
CHP 돌발상황	9	7	2	4	5
기타/긴급전화로 접수	54	34	20	31	23
총 계	129	94	35	77	52
검지율 (DR)		72.9%		59.7%	
오검지율 (Off-line FAR)		0.27%		0.28%	

※ Case A : 각 지점별 교통량-속도합수식과 임계값 적용時
Case B : 전체 구간의 교통량-속도합수식과 평균임계값 적용時

심각한 돌발상황인 교통사고는 모두 검지한 반면 상대적으로 돌발상황영향과 지속시간이 작을수록 모형의 검지능력이 다소 불안정함을 보이나, 모형에서 검지하지 못한 돌발상황은 중앙분리대 부근(4건), 4차로(1건)와 길어깨에서 발생한 경미한 돌발상황이다. 참고적으로, 기존 돌발상황검지에 관한 연구는 일반적으로 차로를 차단하는 심각한 돌발상황 위주로 모형을 평가한 것이 일반적이다. 만약 제안한 모형의 평가를 심각한 돌발상황 위주로 시행된다면 검지율은 향상될 것으로 판단된다.

돌발상황검지알고리즘 운영 및 관리측면에서 보면, 지점별 교통특성이 반영된 「Case A」에 비해 「Case B」는 검지율은 약 60%, 오검지율 0.28%로 모형의 돌발상황검지능력이 상대적으로 저하되었고, 특히 3건의 교통사고를 검지하지 못하였다. 이는 평균값의 적용으로, 모형의 정밀성이 저하된 결과로 판단된다. 각 지점별 돌발상황검지 결과를 살펴보면 〈표 6〉와 같다.

Section별 돌발상황검지 평가결과를 살펴보면, Section

〈표 6〉 지점별 돌발상황검지 결과

		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	총 계
Case A	검지 건수	1	16	37	35	5	94
	미검지 건수	2	4	13	9	7	223
Case B	검지 건수	1	11	34	27	4	77
	미검지 건수	2	9	16	17	8	52

※ Case A : 각 지점별 교통량-속도합수식과 임계값 적용時
Case B : 전체 구간의 교통량-속도합수식과 평균임계값 적용時

1과 Section 5에서 검지율이 낮지만 Section 1의 2건은 기타와 Flat Tire로 경미한 돌발상황이다. 또한 Section 5의 경우, 대부분 길어깨에서 발생한 기타로 분류된 돌발상황이다. 이는 I-880 고속도로 DB에서 루프검지기자료가 각 차로별로 제공되지 않고, 전체 차로의 평균값으로 제공되기 때문에 경미한 돌발상황에 대한 검지율이 낮은 것으로 판단되며, 특히 Section 5는 유출램프의 영향이 큰 지점으로 전체차로의 평균값을 적용함으로써 램프영향을 충분히 반영되지 않은 이유로 낮은 검지율을 보이는 것으로 판단된다.

〈표 6〉의 결과와 같이, 고속도로 돌발상황검지에 있어서 구간별 교통환경을 감안하여 구간을 설정하여 모형을 단순화하고, 교통류가 변화하는 지점은 별도의 분석으로 적절한 임계값을 적용해야 할 것으로 판단된다.

이상의 평가결과는 다음과 같은 한계점을 내포하고 있음을 밝힌다. 첫째, 모형의 객관적 평가를 위해, 정산작업과 평가작업에 이용되는 데이터는 분리하여 평가되어야 한다. 제시한 알고리즘의 핵심부분인 돌발상황검지알고리즘(Module 1)은 혼잡상태 및 돌발상황상태의 데이터를 제거한 상태에서 교통량-속도합수식을 설정하여 수행되므로 문제가 없으나 이와 달리, 돌발상황검지알고리즘 「Module 2」는 과거 발생한 돌발상황자료를 이용하여 α 값의 정산과정이 필요하다. 따라서, 「Module 2」는 독립된 Data Set으로 평가하는 것이 타당하나, 첫째, 돌발상황의 종류 및 시간대가 다양하며 둘째, 기타/긴급전화로 접수된 돌발상황건수가 전체 돌발상황의 41%를 차지하여 독립된 자료로 분류하기가 어렵고 셋째, 「Module 1」의 보조적 역할(오보율 감소)을 수행하는 「Module 2」를 위해, 불충분한 돌발상황자료를 나누어 평가하는 것이 무리라는 판단하에 독립된 자료로 평가하지 못했다. 단, 「Module 1」은 돌발상황자료가 제거된 상태에서 구성체계가 설정되므로 학습 및 평가 데이터가 구분

되어 평가되며, 수집된 돌발상황자료에 근거하여 제시한 알고리즘을 평가하였다.

둘째, 알고리즘의 평가에서 평균검지시간은 제외하였다. 돌발상황 발생시간은 평균차두간격 7분으로 운행된 탐지차량(Probe Vehicle) 운전자의 관측자료를 기초로 작성되고, 이를 보정하여 제공된다. 보정작업은 탐지차량의 속도, 위치 등의 정보를 위주로 보안되었다. 단, 보정작업은 필자가 수행한 것이 아니고, 해당 구간의 FSP(Freeway Service Patrol) 프로젝트를 수행하기 위해 보정되어 돌발상황자료가 제공된다. 즉, 탐지차량에서 관측된 돌발상황시점과 실제 발생시점은 상이할 가능성이 크다. 따라서, 본 연구에서는 돌발상황 발생시간과 7분이하의 오차는 수용하였다. 즉, 오차 잠재력을 포함한 돌발상황발생시간과 검지시간과 비교하는 것은 의미가 없을 것이라는 판단하에 제외했다.

셋째, 기타/긴급전화로 접수된 돌발상황의 낮은 검지율은 다음에 제시한 원인 때문인 것으로 판단된다. 기타로 분류된 돌발상황을 분석한 결과 중복된 자료가 일부 존재하고, 교통량-속도 및 교통량-점유율관계를 추적해본 결과, 오보로 기록된 돌발상황이 다수 존재하는 것으로 추정된다. 이 부분이 연구수행 중 모호한 부분으로 자료처리 및 분석에서 제시되었듯이, 다양한 수단으로 돌발상황 자료가 수집된 장점도 있지만, 중복 및 오보로 기록된 돌발상황이 존재한다. 이로 인해 참고로 제시할 캘리포니아알고리즘의 성능 또한 기존 문헌에서 제시한 수준에 미치지 못하는 것으로 판단된다. 이러한 돌발상황이 제거된 후 평가가 실시되어야 하지만, 필자의 판단으로 중복여부 및 오

보를 객관적으로 판단할 수 없다.

넷째, 본 연구에서 사용된 교통자료는 전 차로의 평균값으로 제공되어, 각 차로별 특성을 모형에 적용할 수 없다는 점이다. 따라서, 본 연구의 객관적인 평가에 다소 한계점이 존재한다.

참고적으로 기존 돌발상황검지알고리즘 중 California Basic과 California #7 Algorithm를 이용한 결과를 제시한다. 이는 본 연구대상지역의 교통자료는 전 차로 평균값을 제공하므로, 각 차로별 자료를 이용하는 McMaster Algorithm과 비교는 객관성이 결여된다고 판단되기 때문이다. 캘리포니아알고리즘보다 우수한 돌발상황검지알고리즘이 있지만 이는 돌발상황검지알고리즘의 우수성을 제시하기 위함이 아니라 독자의 이해를 돕기 위한 참고자료일 뿐이다.

California Algorithm에서 사용되는 임계값을 많은 정산과정을 통하여 수행한 결과 중 우수한 결과를 정리하면 <표 7>과 같다. 단 도출된 결과는 본 연구에서 제시한 돌발상황검지알고리즘과 동일한 기준으로 수행되었으며, 실제 타 지역에서 실시된 결과와 상이할 수 있다. 따라서, California Algorithm에 사용되는 임계값 조합을 정산과정(Calibration)이 심도있게 이루어지고, 동일한 임계값의 적용이 아닌 지역별 특성에 적합한 임계값을 적용한다면 <표 7>의 결과보다 좀더 우수한 결과가 도출되겠지만, 적절한 임계값을 설정하기에는 상당한 시간이 소요되므로 많은 정산과정 중에 도출된 우수한 결과를 참고자료로 제시한다. 단, <표 7>에서 제시한 Case보다 많은 임계값의 조합으로 정산과정을 수행하였음을 밝히는 바이다.

<표 7> California Basic과 California #7 Algorithm 수행 결과

	Case	임계값_1	임계값_2	임계값_3	검지율	오검지율
California Basic	1	2.2	0.22	0.0491	35.2	0.60
	2	3.5	0.2	0.075	6.8	0.93
	3	4	0.208	0.051	41.1	1.37
	4	5.3	0.308	0.061	27.1	0.44
	5	6	0.308	0.15	17.8	0.36
California #7	1	8	0.31	17	30.0	3.20
	2	10	0.31	17	16.3	2.24
	3	11	0.4	16	14.7	1.60
	4	12	0.31	13	8.5	1.00
	5	12	0.38	15	9.9	6.98
	6	13	0.41	14	10.0	0.64
	7	14	0.31	15	9.3	0.40

VI. 결론 및 향후연구

이상의 연구에서 돌발상황검지측면에서 제한한 모형의 성능을 살펴보면, 심각한 돌발상황의 경우, 돌발상황검지알고리즘에서 완벽한 검지능력을 보이나 상대적으로 경미한 돌발상황은 다소 검지능력이 불안정함을 보인다. 이는 모형검증에서 충분히 설명되었다. 돌발상황검지알고리즘 성능지표인 검지율(DR)은 73%, 오검지율(Off-line FAR)은 0.27%로 돌발상황 검지율과 오보율 측면에서 제시한 돌발상황검지알고리즘의 적용가능성이 긍정적으로 판단된다. 운전자측면에서 기 개발된 돌발상황알고리즘은 주로 점유율에 의존도가 큰 반면 속도와 교통량자료를 사용함으로써 반복 및 비반복정체 구분을 위한 교통상황판단, 운영 및 해석이 용이함과 동시에 기초적인 교통지식으로 알고리즘 정산작업(Calibration)이 가능할 것으로 판단된다. 또한 혼잡발생 원인에 따른 혼잡의 시작과 종료시점이 제공되며, 영상수집체계(CCTV)로 돌발상황 확인이 어려운 구간에 적용시 급격한 대기행렬을 유발하는 심각한 돌발상황발생 여부를 객관적 판단기준을 제시할 수 있다.

정체검지측면에서 살펴보면, 자료수집기간동안 3월 9일 돌발상황경보(7:41:00 a.m.)후에 정체경보(7:42:30 a.m.)가 발생된 경우가 있을 뿐, 대부분 혼잡상태에서 돌발상황이 발생된다. 또한, 자료수집시간이 오전과 오후 사이에 4시간 공백이 있는 관계로, 오후 시간대의 혼잡시작시점이 명확하지 않다. 따라서, 서두에 제시한 정체검지알고리즘의 활용도에 대한 검증이 미비하나, 교통상태에 따라 돌발상황검지알고리즘과 정체검지알고리즘을 적절하게 운영한다면, 운전자에게 고속도로혼잡관리에 요구되는 정보를 제공할 것으로 예상된다. 또한 전체 차로의 평균값으로 돌발상황 검지모형을 운영하는 것은 각 지점별 특성을 반영하지 못함을 알 수 있다. 교통환경변화로 인한 교통류가 변화되는 지점, 특히 램프영향을 받는 지점 및 구간은 본선과 구분하여 분석이 필요하다. 따라서 정밀한 돌발상황검지를 위해 각 차로별 교통변수를 이용한 돌발상황검지가 필요하며 본선구간과 램프구간 영향구간을 구분하여 각 구간별 특성을 고려한 돌발상황검지가 필요하다. 향후 연구과제는 다음과 같다.

- 교통량, 점유율, 속도자료 중 한 자료이상 수집 불가능한 경우에, 돌발상황검지의 신뢰성을 유지할

수 있는 방안

- 전 차로 평균값이 아닌 각 차로별 교통데이터가 제공되는 구간에서 알고리즘 성능 평가 및 수정 보안 사항 등에 대한 연구
- 돌발상황검지알고리즘 성능평가기준중 평균검지시간에 대한 평가 및 분석
- 국내 고속도로 및 도시고속도로에 적용 및 평가
- 본 연구에서 한계점으로 제시한 사항들에 대한 연구
- California Basic, California #7 Algorithm 보다 우수한 California #8이나, APID, DELOS 등의 알고리즘 비교

참고문헌

1. James D. Carvell, Jr., Kevin Balke, Jerry Ullman, Katherine Fitzpatrick, Lewis Nowlin, and Christopher Brehmer, *Freeway Incident Management Handbook*, Report No. FHWA-SA-97-064. FHWA, U.S Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
2. Marc Solomon, *A Review of Automatic Incident Detection Techniques*, Report No. NU-1d. 1-1, ADVANCE Program Technical Report, 1991.
3. Bongsoo Son, *A Comparison of Incident Detection Performance of The Left-Most Lane and The Adjacent Lane of a Freeway*, Master's Thesis, Department of Civil Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 1990.
4. Allen R. Cokk & Donald E. Cleveland, *Detection of Freeway Capacity-Reducing Incidents By Traffic-stream Measurements*, Transportation Research Record 495, pp.1~11, 1974.
5. Alexander Skabardonis, Kal Retty, Hisham Noeimi, Daniel Rydzewski, and Pravin P. Vraiya, *I-880 field Experiment : Data-Base Development and Incident Delay Estimation Procedures*, Transportation Research Record 1554, pp.204~212, 1996.
6. Alexander Skabardonis, Kal Retty, Robert L. Bertini, Pravin P. Vraiya, Hisham Noeimi,

- and Daniel Rydzewski, *I-880 Field Experiment : Analysis of Incident Data*, Transportation Research Record 1603, pp.72~79, 1997.
7. Alexander Skabardonis, Ted Chira Chavala, *The I-880 Field Experiment : Effectiveness of Incident Detection Using Cellular Phones*, Pre-print Paper, 77th Transportation research Board Annual Meeting, Washington, DC, 1997.
 8. Hall, L. and Hall, F. L., *Calibration and Refinement of The McMaster Incident Detection Algorithm*, Working Paper 2, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 1989.
 9. Karl Frazier Petty, *FSP 1.1 the Analysis Software for The FSP Project*, FSP Project, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California at Berkeley, 1995.
 10. Yorgos J. Stephanedes and John Hourdarkis, *Transferability of Freeway Incident Detection Algorithms*, Transportation Research Record 1554, pp.184~195, 1996
 11. 李義殷. 高速道路 交通流의 特性 分析과 그 應用에 關한 研究, 博士學位 論文, 서울大學校, 1995.
 12. 張世奉. 人工信經網을 利用한 高速道路 自動有故 感知 模型의 開發, 博士學位 論文, 서울大學校, 1997.
 13. 박은미의. 幹線道路 知能化 方案 研究 -서울市 都市 高速道路를 中心으로-, 시정연 95-R-15, 서울市政開發研究員, 1995.

✉ 주 작 성 자 : 강수구

✉ 논문투고일 : 2001. 3. 26

논문심사일 : 2001. 5. 23 (1차)

2001. 6. 5 (2차)

2001. 9. 17 (3차)

2001. 10. 17 (4차)

2001. 12. 2 (5차)

심사판정일 : 2001. 12. 2