

■ 論 文 ■

압축파 검사 모듈을 이용한 돌발상황 검지 모형의 개발

Development of Incident Detection Model Using Compression Wave Test Module

이 환 필

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

김 남 선

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

오 영 태

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

김 수 희

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

목 차

I. 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적
- 2. 연구의 범위 및 방법

II. 이론적 고찰

- 1. 돌발상황의 일반적인 특성
- 2. 기존 돌발상황 검지 모형의 검토
- 3. 주요 돌발상황 검지 모형의 장단점 비교

III. 돌발상황 검지 모형의 개발

- 1. APID 모형의 압축파 검사 과정
- 2. 압축파 검사 과정의 모듈화

IV. 모형의 검증 및 평가

- 1. 평가 사전 작업 환경
- 2. 평가 결과

V. 결론 및 향후 연구 과제

참고문헌

Key Words : 돌발상황, 돌발상황 검지, 압축파, 자동돌발상황검지, 다목적돌발상황검지모형

요 약

본 연구는 고속도로 구간의 돌발상황 검지 모형에서 돌발상황과 비슷한 특성으로 오경보를 일으키게 되는 유사 돌발상황의 하나인 압축파 상태를 검지하기 위한 모형의 개발에 있다.

연구는 현재 고속도로 교통관리시스템(FTMS)에 사용되는 다목적 돌발상황 검지 모형(APID)의 압축파 검사를 기반으로 이를 압축파 검사를 수행하지 않는 타 모형(DES, DELOS)에 적용가능하도록 모듈화시켜 오경보 발생 건수가 감소하는지 확인하는 과정으로 수행되었다.

평가에 있어서는 모형의 민감도 측면에 초점을 두고 polling cycle별로 분석을 수행하였으며 각 polling cycle 별로 모형이 교통상황을 얼마나 반영하는지에 대하여 평가하였다. 또한 기존, 개발 모형들에 대한 전반적인 검지율 와 오검지율, 평균 검지시간을 산정 하도록 하였다.

개발 모형을 적용한 결과 혼잡상태에서 발생하는 오경보 횟수가 상당부분 감소하여 오검지율이 개선되었으며 검지율, 평균검지시간에는 큰 변화가 없었다. 따라서 본 모형을 이용하여 실제 고속도로 교통 관리 시스템에도 적용 시 개선효과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 도로 교통은 자동차의 폭발적인 증가에 따라 교통 수요가 급증하고 있고 수요에 대한 공급의 불균형으로 평형상태에 도달하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 불균형을 해소하기 위하여 과학적인 교통 관리 기법의 도입이 이루어지고 있다.

과학적인 교통관리의 일환으로 고속도로상에는 고속도로 교통관리시스템(FTMS)이 적용되어 이용 효율과 이용객의 편의를 증진시키고 있으며 이러한 고속도로 교통관리시스템내에서도 발생시 막대한 사회적 비용 손실을 초래하게 되는 돌발 상황을 감지, 대응하기 위한 돌발상황 관리 시스템의 중요성이 부각되고 있다.

돌발상황 감지는 수동감지(Non-Automatic Incident Detection)와 자동감지(Automatic Incident Detection)의 방법으로 구성되어 운영되고 있으며 수동감지는 사람의 관측과 보고, 제보에 의하여 돌발상황 발생을 감지하게 되는데 비해서 자동감지는 고속도로 교통관리시스템상에서 실시간으로 현장에서 수집되는 교통자료의 분석을 통해서 돌발상황 발생의 유무를 감지하게 된다.

자동 돌발상황 감지모형에는 많은 종류가 있으며 현재 국내에서 사용 중인 모형에는 APID, DES, DELOS, McMaster 등이 있다. 이러한 감지 모형은 감지 방식, 최적 감지 형태에 따라 다양한 특징을 지니며 감지율, 오검지율, 평균 감지시간에서도 많은 차이를 나타내게 된다.

본 연구에서는 자동 돌발상황 감지에서 돌발상황과 비슷한 특성으로 오경보를 일으키게 되는 유사돌발상황, 그 중에서도 교통류의 혼잡상태로 표현되는 압축파(Compression Wave) 상태를 감지하기 위해 현재 사용되고 있는 APID 모형의 압축파 검사 과정을 모듈화하고 기존 DES, DELOS 모형에 적용하여 오검지율의 감소 효과를 가져올 수 있는 돌발상황 감지 모형의 개발을 그 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 기존의 주요 돌발 상황 감지 모형들

에 대한 이론적 고찰을 통해 이들 모형들의 장점과 단점들을 검토하고 이러한 단점들을 보완시켜 돌발상황 감지 모형을 개발하고자 하였다.

이를 위하여 기존에 압축파 검사를 수행하고 있는 APID모형에 대한 연구를 통해 압축파 검사 과정을 타 모형에 적용시킬 수 있도록 모듈화하였다. 이와 함께 돌발상황 발생지역에 대한 데이터를 수집, 분석하여 돌발상황 감지 모형의 개발을 위한 연구 자료로 이용하였다.

본 연구의 적용 대상은 현재 한국도로공사 고속도로 교통관리시스템에서 사용되고 있는 APID, DES, DELOS 모형만을 대상으로 하였다.

개선 효과를 확인하기 위해 현재 운영되고 있는 교통관리시스템내의 돌발상황 감지시스템을 PC에 설치하고 기 획득된 현장 운영 데이터를 이용, 실제 운영상태와 동일한 조건하에서 기존 모형과 개발된 모형을 비교 검토하였다. 개선 효과의 확인은 각 모형에 대하여 기존 모형과 개발 모형의 성능지표를 비교하는 방식으로 수행하였으며 오검지율을 위주로 하였고 감지율의 경우 감지 능력 평가를 위해 polling cycle별 분석을 실시하였다. 이외에 추가적으로 각 성능척도별 일반론적 적용을 통하여 개략적인 모형의 성능을 측정하였다.

II. 이론적 고찰

1. 돌발상황의 일반적인 특성

1) 고속도로 교통류 정체 유형 및 요인

일반적으로 고속도로 교통류의 정체현상은 돌발상황으로 인한 비반복적정체(Non-recurrent congestion)와 압축파(Compression wave), Traffic Pulse 등과 같은 교통방해요소에 의한 유사돌발상황(Similar-to-Incidents)으로 인한 정체, 그리고 교통수요 증가 및 병목으로 인한 용량부족에 따른 반복적 정체(Recurrent congestion)의 3가지 유형으로 구분된다.¹⁾ 이중 반복적 정체는 예측이 가능하나 그 외의 경우는 예측이 불가능하다.

교통류 정체를 일으키며 돌발상황과 비슷한 특성을 나타내는 요인들에는 병목현상(Bottle-neck), Traffic pulse, 압축파(Compression wave) 등이 있다.

압축파는 교통량이 많은 교통상태에서 저속으로 운

1) 김진학(2000), "자동 유도 감지알고리즘의 비교분석에 관한 연구", 석사학위 논문, 서울대학교 대학원, pp.3~5.

행되거나 정지된 차량들과 같은 작은 방해 요인에 의해 발생하는 교통류의 파장으로 정의된다. 이러한 파장은 갑작스럽게 점유율의 큰 증가를 가져오게 되고, 이는 교통류 흐름 방향의 반대로 전파되어 간다.

압축파가 발생하는 교통상태에서는 교통흐름의 서행-속도증가(stop and go) 현상이 발생하게 되며 차량 간의 간격은 감소되게 된다. 접근 차량의 전방에 형성된 대기행렬이 사라짐에 따라 차량들은 가속을 하게 되고 차량간격은 넓어지게 된다. 이러한 현상은 돌발상황과 비슷한 양상을 띠고 있다.

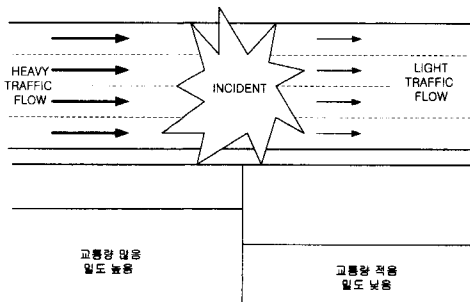
2) 고속도로 돌발상황의 정의와 특징

돌발상황이란 "도로상에서 불규칙하게 일어나는 사건으로 교통사고(accident), 차량 고장 및 정지(disable vehicle), 낙하물(spilled loads), 유지 및 보수작업(maintenance), 기타 사건 및 행사(other event) 등을 포함한다."²⁾ 즉, 돌발상황이란 교통사고 등의 비반복적이며 예측되지 못한 요인에 의해 도로상의 한 지점에서 용량 또는 속도가 감소하는 것이라 정의할 수 있다.

돌발상황 발생시에는 돌발상황 발생 지점 상류에서 차량 밀도가 증가되고 이에 따라 하류 지점은 밀도가 감소하는 상태가 발생하게 된다. 돌발상황에 대한 이러한 특성으로 교통류 패턴 변화를 이용한 돌발상황 검지 모형이 설계될 수 있다.

3) 자동 돌발상황 검지

자동돌발상황 검지(Automatic Incident Detection : AID)는 도로상에 설치된 다양한 종류의 차량검지 장



〈그림 1〉 돌발상황 발생시의 교통류 변동

치를 통하여 수집되는 교통자료를 처리, 분석하여 돌발상황을 자동으로 검지하는 것이다. 이러한 자동돌발상황 검지는 돌발상황 검지 모형을 이용하며 각 모형의 성능을 측정하기 위한 성능 측정 요소는 다음과 같다.

(1) 검지율(Detection Rate, DR)

특정시간대에 발생하는 돌발상황을 자동돌발상황 검지시스템에 의해서 검지한 비율, 즉 돌발상황 발생횟수 중 돌발상황을 인식한 비율이다.

(2) 오검지율(False Alarm Rate, FAR)

돌발상황검지 모형이 검지한 돌발상황 중 잘못된 정보의 비율 또는 검지는 되었지만 기록상에 나타나지 않은 돌발상황의 비율이며, 시스템이 오프-라인(Off-Line) 혹은 온-라인(On-Line)이냐에 따라 각각 다르게 정의된다.

- 오프라인 오검지율(Off-Line FAR): 허위경보를 울린 비돌발상황의 시간 간격(polling cycle)의 갯수를 비돌발상황의 총 시간간격의 갯수로 나눈 값
- 온라인 오검지율(On-Line FAR): 허위경보를 울린 비돌발상황시간 간격(polling cycle)의 갯수를 전체 데이터군의 갯수로 나눈 값

(3) 평균 검지시간(Mean Time to Detect, MTD)

실제 돌발상황 발생시간과 모형에 의해 돌발상황이 선언되는 시간과의 차이로서 실시간 교통관리 체계에 있어서 매우 중요한 요소이다. 대개의 경우 돌발상황 발생시간은 정확하게 알 수 없으므로 검지기 자료, 경찰, 교통 관제센터, 견인 차량 회사의 기록으로부터 측정하는 것이 일반적이다.

이러한 성능 지표 산정방법은 모형의 효율성을 최대한 반영할 수 있는 방법으로 선정되어진다. 즉, 분석의 초점에 따라서 station별, section별이나 time period별로 분석의 의도에 맞게 여러 가지 분석방법에 따라 분석되어 질 수 있다.

2. 기존 돌발상황 검지 모형의 검토

기존 모형은 4종류의 이론적 틀로서 구분³⁾될 수 있

2) U.S Department of Transportation, FHWA(1991), "Freeway Incident Management Handbook", Report No. FHWA-SA-91-056
 3) 이상민(2002), "Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황 검지모형의 개발", 대한교통학회지, 제20권 제6호, 대한교통학회, pp.83~86.

으며 비교식 알고리즘, 통계알고리즘, Smoothing/Filtering 알고리즘, 교통류모델 알고리즘이 있다.

1) 비교식 알고리즘(Comparative Algorithms)

비교식 알고리즘은 기존 모든 알고리즘 중에서 가장 단순한 형태이다. 이 알고리즘은 돌발상황이 상류의 루프점지기의 점유율을 증가시키고, 하류의 점유율을 감소시키는 것을 가정하고 있다. 검지원리는 미리 설정된 임계값에 측정된 값(교통량, 점유율, 속도 등)을 비교하며, 이 임계치를 넘어서면 돌발상황이 검지된다.

대부분의 비교식 알고리즘은 다음과 같은 테스트를 수행하게 된다.

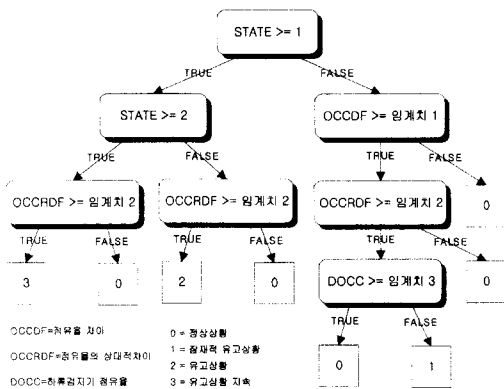
- 돌발상황과 병목으로 인한 혼잡의 구별
- 교통데이터의 압축파(compression wave)의 유무
- 돌발상황 교통패턴의 존속성
- 돌발상황의 종료여부

(1) California 알고리즘

가장 널리 알려진 알고리즘으로 1960년대 LA고속도로 관제센터에서 사용을 목적으로 개발되었다. 알고리즘의 기본 구조는 2개의 인접한 검지기의 교통상황을 비교하는 것으로 상·하류 검지기간의 점유율의 절대값의 차이나 상대적 차이를 비교하고, 하류 검지기에서 점유율의 시간상 차이를 비교함으로써 이루어진다. 이후 3개 변수의 모두 임계값을 초과할 경우, 돌발상황이 선언되는 형태이다.

(2) 수정된(Modified) California 알고리즘

기존의 교통관제센터에서 사용되어온 캘리포니아 알고리즘이 높은 오보율을 가지고 있어, 이를 보완할 목



<그림 2> California 알고리즘 #7의 구조

적으로 10개의 수정된 버전이 만들어졌다. 수정 버전의 특징은 지속성 검사와 압축파 테스트를 수행한다는 것이다. 즉, 실제 돌발상황이 아닌 돌발상황과 비슷한 상황이 발생했을 때, 오보가 내려지는 것을 방지하기 위해서 좀 더 오랜시간 관찰함으로써 오보를 줄일 수 있는 것이다. 10개의 수정버전의 알고리즘 중에서는 7번째와 8번째 버전이 가장 좋은 성능을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

(3) All Purpose 돌발상황검지 알고리즘(APID)

캐나다 토론토 대도시 권역의 침단체통관리체계인 COMPASS에 적용할 목적으로 개발하였으며 캘리포니아 알고리즘의 주요 요소를 단순구조로 모듈화 시켜 병합시켰는데, 교통량에 따라 각기 다른 모듈을 이용하게 되어 있다. 즉, 점유율에 따라 Heavy Volume, Medium Volume, Light Volume으로 구분하고 각각 다른 검지 알고리즘을 이용하도록 되어 있다.

(4) 패턴인식 알고리즘 (PATREG)

TRRL(Transport & Road Research Laboratory)에 의해 개발되었으며 두 개의 검지기에서의 속도의 갑작스런 변화를 기준으로 한다. 즉, 첫 번째 검지기를 지나는 차량의 속도패턴이 다음 검지기에서도 비슷하다고 가정했을 때 두 번째 검지기의 예측된 속도가 일정 임계값과 비교하여 벗어나는 경우 돌발상황을 검지하는 방식이다.

2) 통계학적 알고리즘

측정된 검지데이터와 통계학적으로 예측된 값을 비교하여 돌발상황을 검지한다.

(1) 정규분포 알고리즘(Standard Normal Deviate)

텍사스주 휴스턴에 설치된 교통관제센터에서 이용할 목적으로 70년대 초에 텍사스교통연구소에 의해 개발되었으며 측정된 교통변수의 갑작스런 변화는 돌발상황에 의해 초래된 것이라는 가정을 전제로 한다.

알고리즘은 측정된 데이터를 가지고 정규분포를 계산하며, 정규분포에 따른 임계값을 초과하면 돌발상황을 선언하게 된다.

(2) Bayesian 알고리즘

점유율의 상대적인 차이가 돌발상황으로 일어날 확

를 계산하기 위해 베이시안 통계를 적용한 것으로서 베이시안 이론은 돌발상황시와 비돌발상황시 동안 상류부와 하류부의 도수분포가 개발될 수 있다는 것을 가정한다.

3) Smoothing & Filtering 알고리즘

루프검지기 데이터는 대체로 일정하지 않고 시간에 따라 많은 변화를 나타내는 경향이 있다. 이러한 경향은 루프검지데이터가 짧은 시간동안(1분 미만) 수집될 때 특히 심하며, 이는 곧 잘못된 돌발상황검지의 원인이 되기도 한다. 이를 걸러내기 위해 Smoothing & Filtering 알고리즘이 개발되었다.

(1) Exponential Smoothing 알고리즘

장래 교통상황의 예측은 과거데이터를 기초로 하며 오래된 관찰데이터보다 가장 최근에 받은 데이터에 더 큰 비중을 부여한다. 수집된 교통데이터의 가중평균을 사용함으로써 데이터의 동요를 감소시킬 수 있다. 수학적으로 돌발상황검지를 목적으로 사용된 가장 안정적인 알고리즘은 1차나 2차 지수함수로 나타낼 수 있다. 미국 디트로이트에서 실험결과, 다른 알고리즘보다 검지율이나 오보를 측면에서 보다 우수한 것으로 평가되고 있다.

(2) DELOS 모형

DELOS 알고리즘은 짧은 지속시간을 가지는 다른 사건들을 유고와 구별하기 위하여 점유율 측정치를 유효하여 사용한다. 이는 표준편차, DES, 캘리포니아 알고리즘과 비교하여 상당한 오경보율의 감소를 가져왔다.

(3) Low-Pass Filter 알고리즘

수집된 교통변수를 가공하여 smooth하게 만들기 위해 검지된 데이터의 비동질성을 수학적으로 제거한 것이다.

$$Y_t = \sum_{k=0}^M \frac{1}{M+1} X_{t-k} \quad (1)$$

Y_t : 보정된 교통변수

X_{t-k} : t에서 k까지의 간격동안 관찰된 교통변수

X : 데이터가 보정되는 간격의 최대치

4) 교통류모델 알고리즘

교통류 모델 알고리즘은 돌발상황상황 동안의 행태를 묘사하기 위해서 교통류 이론을 이용한다. 여기에 속하는 모형들은 돌발상황상황하에서 교통류 상황을 예측하여 실제 관찰된 교통변수들과 비교하게 되며 대표적인 모형들로는 Dynamic 모형과 McMaster 알고리즘이 있다.

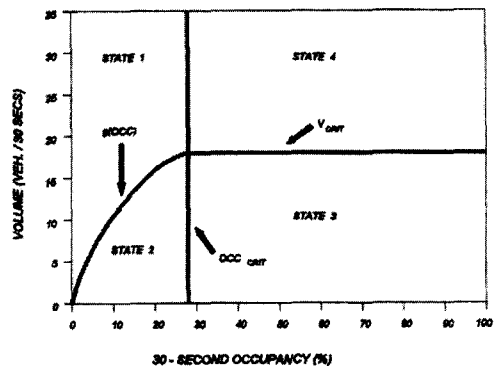
(1) Dynamic 모델

상당수 돌발상황검지 알고리즘은 교통류의 다양한 속성을 설명하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고속도로 교통류의 다양한 속성을 잡아낼 수 있는 거시적 교통류모형이 연구되었다.

이러한 모형들의 핵심이론은 기본적인 속도-밀도와 교통량-밀도간의 관계이며, 그 중 하나는 Multiple 모델로서 교통류상황을 나타내는 선형체계를 이용하며, 검지변수로 조건부 확률값을 이용한다.

(2) McMaster 알고리즘

McMaster 알고리즘은 각각의 검지지점별로 실행되며 각 검지지점에서 교통상황이 변화하는 것을 검지하기 위해 속도-교통량-점유율간 관계를 이용한다. 교통상황이 정상에서 혼잡상태로 변화했을 때, 속도는 매우 민감한 변화를 보여주는 반면에 교통량과 점유율은 완만하게 변화한다는 것을 전제로 하고 있다.



〈그림 3〉 McMaster 알고리즘의 교통량-점유율 관계

(3) Low-Volume 알고리즘

대부분의 검지 알고리즘은 교통량이 적은 경우 문제를 일으킨다. 이는 고속도로의 용량이 수요수준 아래로 감소될 때 나타나는 문제인 교통류의 불연속성, 대기행

렬, 혼잡에 초점을 맞추고 있기 때문이다. 그러나 교통량이 낮은 시간대의 돌발상황은 좀처럼 수요수준 아래로 용량을 감소시키지는 않는다. 이를 보완하기 위해 교통량이 적은 시간대에 적용할 수 있도록 개별차량의 Input-Output 분석을 이용, 특정구간의 차량의 유입 시간과 유입시의 속도를 기초로 차량 유출시간을 예측한다.

3. 주요 돌발상황 검지 모형의 장단점 비교

본 연구에서 대상으로 하는 기존 돌발상황 검지 모형의 특징을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

1) APID 모형

- 하류, 상류 지점의 점유율 및 속도를 비교
- 캘리포니아 모형의 의사결정 트리를 기초로 함.
- 추가로 압축과, 지속성 검사를 수행.
- 교통량에 따라 구별하여 돌발상황 검지.
- 오검지율이 비교적 낮고 검지율은 비교적 높아 모형의 성능이 우수한 편임.

2) DES 모형

- 속도, 점유율, 교통량을 통한 단기에측기법을 사용.
- 검지시간이 다른 모형에 다소 긴 편임.
- 단지점만을 고려하기 때문에 압축과 검사가 불가능.
- 기하구조의 급격한 변화가 있는 구간에 적합하며 교통량이 많은 경우 오경보 발생이 많음

3) DELOS 모형

- 돌발상황 전, 후의 평활화된 점유율 자료를 이용, 교통류상태를 판단.
- 과거와 현재 일정시간의 이동평균, 중앙치, 지수를 이용, 가장 적합하게 돌발상황 판단.
- 점유율만을 이용하며 검지시간이 길어짐.

이외에 전체 돌발상황 모형에 대한 문제를 다음과 같이 제시할 수 있다.

돌발상황 모형은 일반적으로 검지기 자료를 가공하지 않고 직접 이용하기 때문에 자료의 누락이나 손실시 돌발상황을 검지하는데 비효율적이며 돌발상황과 비슷한 특성을 보이는 유사돌발상황을 돌발상황으로 오검지

하는 경우가 많다. 따라서 돌발상황과 유사돌발상황을 구별하기 위하여 여러 가지 제약조건을 가지고 있으며 매우 혼잡해진 상태에서 발생한 돌발상황 또는 모형의 모든 검지 조건을 만족하는 상태에만 돌발상황 패턴을 감지할 수 있는 한계점을 가지고 있다.

통계적 기법을 이용한 모형과 자료의 가공(smoothing 또는 filtering)을 수행하는 모형은 지나치게 간단한 모형만을 가정하여 측정하거나 지나친 계수 추정에 의존하기 때문에 낮은 전이성을 갖게 된다.

이러한 모형들은 돌발상황과 비슷한 패턴을 갖는 다른 교통 패턴을 구별하지 못하는 단점을 지니고 있다. 특히 교통류 정체의 원인을 분류하여 보다 특수한 검사를 포함하지 않고 교통류에서 정체발생에만 초점을 맞추고 있기 때문에 혼잡을 구별하기 어렵다. 즉, 통계적 기법을 주로 이용하는 단지점 검지 모형들은 해당 지점에 대하여 돌발상황 발생으로 검지했을때 교통 이상상태의 원인에 대한 원인 규명없이 바로 돌발상황 발생을 선언하기 때문에 모형의 검지율로 표현되는 민감도는 높은 수준이지만 오검지율로 표현되는 정확도는 떨어지게 되는 단점이 있다.

임계치를 설정하여 데이터가 임계치를 벗어나면 돌발상황으로 인지하는 모형의 경우, 주어진 교통조건하에 각 위치별로 도로의 기하구조가 상이하며 이러한 도로의 특성에 따라 각 지역별, 시간대별, 요일별로 상이한 특성에 맞춘 임계치의 설정이 필요하다.

이러한 특성들로 인해 전체적인 돌발상황 검지모형 세팅에 전문가의 상당한 시간과 노력을 요구하고 있다.

III. 돌발상황 검지 모형의 개발

1. APID 모형의 압축과 검사 과정

APID 모형에서는 교통정보를 모형에 적용하여 해당 지점에 대한 돌발상황 발생 유무를 판단하게 된다. 교통량에 따라 나누어서 적용되어진 해당 지점의 교통상태가 정상상태가 아니라는 결론이 나오게 되면 모형상에서는 곧바로 돌발상황 발생을 선언하지 않고 잠재적 돌발상태(Tentative Incident)로 선언하고 해당 지점의 이상상태의 원인을 찾게 된다.

APID 모형상에서 혼잡에 의한 교통류의 압축과 상태를 검사하기 위한 개념은 아래와 같다.

- 이상상태 발생지점의 하류부인 $i+1$ 지점의 점유율이 임계치를 넘어서지만 $i+1$ 의 시간대별 점유율의 변화비가 임계치를 초과하지 않으면 압축과 상태로 파악.

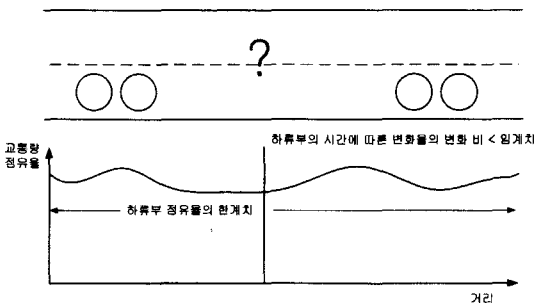
일반적인 돌발상황 발생시는 상황 발생지점의 상류부와 하류부의 교통패턴이 크게 차이가 나는데 비해서 혼잡상황의 압축과 상태는 하류부와 상류부 모두 높은 교통량과 밀도로 인한 정체상태이기 때문에 상호간의 교통패턴의 차이가 많이 발생하지 않는 특징을 통해서 판별하게 된다. 또한 압축과 검사 과정에 점유율을 사용하는 이유는 교통량, 속도에 비하여 변동(fluctuation)이 적으며 돌발상황 발생시 가장 뚜렷하게 패턴을 나타내기 때문이다. 이러한 이유로 대부분의 돌발상황 검지 모형에서 가장 많이 쓰이고 있는 변수는 점유율이다.

2. 압축과 검사 과정의 모듈화

APID 모형을 제외한 타 모형에서는 교통정보를 모형에 적용한 후, 해당 결과가 교통류의 이상상태로 산출되었을 때 이상상태의 원인을 찾지 않고 곧바로 돌발상황으로 판정하였다. 따라서 이상상태의 원인인 압축과 상태를 검지하기 위해서는 모형 산출 결과에 대한 확인 과정이 필요하다.

모듈화 작업을 수행하기 위해서 <그림 3>과 같이 각 모형의 최종적 단계인 Incident Confirm 단계를 개념적으로 Tentative Incident 단계로 수정하였다. 그리고 APID 모형의 압축과 검사과정을 삽입하고 최종적으로 이상상태의 원인에 대한 결과가 Incident Free (압축과 상태)와 Incident 상태로 표출되도록 하였다.

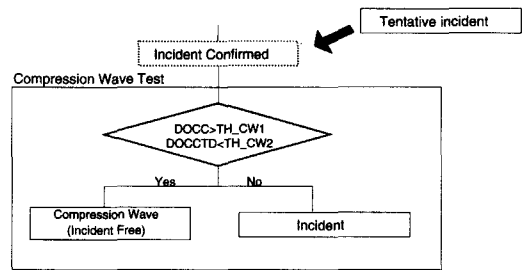
단지점 검지 방식인 DES, DELOS 모형에 압축과 검사 모듈을 적용하기 위해 현재 대상 위치의 검지기를



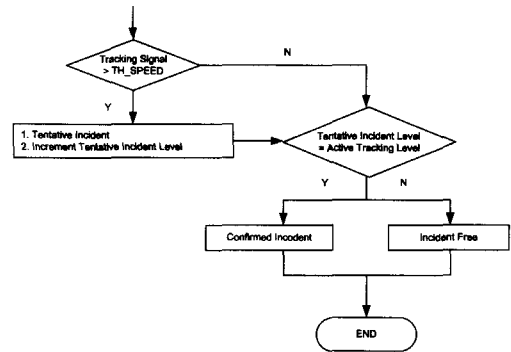
<그림 4> 압축과 상태의 교통류의 패턴

i, 하류의 검지기를 $i+1$ 로 설정하였으며 이를 위해 상하류부 검지기의 인식시 필수 항목인 VDS configuration(실제 FTMS 시스템상에서 상하류부 검지기 인식을 위한 고유 코드)을 설정하여 단지점 검지 자료의 입력이 가능하도록 하였다.

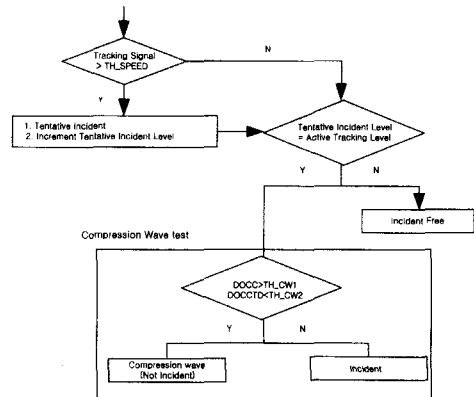
타 모형에 적용시 DOCC(하류지점의 점유율), DOCCTD(하류 지점의 시간에 따른 점유율 변화)이외의 모든 변수는 각 모형의 기존변수를 사용하며 polling cycle 및 수집되는 교통자료의 변화는 없도록 하였다.



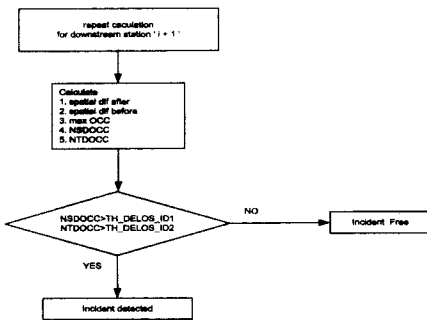
<그림 5> 압축과 검사 과정의 모듈화



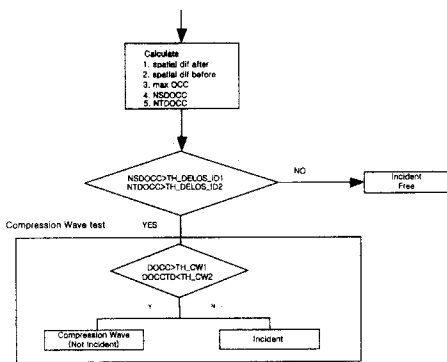
<그림 6> DES 기본 모형



<그림 7> DES 수정 모형



〈그림 8〉 DELOS 기존 모형



〈그림 9〉 DELOS 수정 모형

모듈의 추가로 모형상에서 압축과 검사가 종료될때 까지 돌발상황에 대한 판단값을 표출하지 않도록 로직이 변경되었으며 이상발생의 원인을 찾는 압축과 검사 모듈이 추가된 점을 제외하고는 기존 모형과 동일하다.

모형 실행에 필수적인 변수인 DOCC, DOCCTD는 자체적인 로직을 통하여 해당 변수값이 생성될 수 있도록 처리하였으며 임계치인 TH_CW1, TH_CW2는 APID 모형과 동일한 임계치를 사용하도록 하였다.

IV. 모형의 검증 및 평가

1. 평가 사전 작업 환경

구축된 모형을 평가하기 위한 교통 자료는 가공 및 보정처리 되지 않은 데이터이기 때문에 사전에 검지기 bad data는 제거하였다.

- 평가를 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.
- 본 모형의 polling cycle은 실제 운영중인 시스템의 자료 수집주기인 30초와 동일하게 한다.

- 연구 대상 구간의 검지기 설치간격은 동일하다고 가정한다.
- 도로상에 연속적으로 배치된 i-1, i, i+1번째 검지기는 동일한 종류의 검지기로서 수집되는 정보는 특별한 외부 요인이 발생되지 않는 한 항상 같은 패턴을 가지는 데이터로 가정한다.
- 평가는 on-line test가 아닌 pc 운영체제하의 off-line test에만 국한한다.

각 모형별 임계치의 적용시 요일, 시간대, 기하구조, 교통상태 등 각 상황에 따라 수많은 조합이 가능하지만 본 연구를 위해서 별도의 임계치 튜닝 작업은 현실적으로 불가능하다고 판단되었다. 따라서 기존에 평가된 돌발상황 검지 모형의 임계치 set⁴⁾중에서 가장 나은 성능을 나타내는 임계치 데이터 set을 이용하였다.

2. 평가 결과

본 연구에서는 과도한 오경보를 나타내는 돌발상황 검지 모형에 압축과 검사 과정을 적용하여 유사돌발상황에 의한 오경보 감소를 확인하는데 그 목적이 있다. 따라서 평가시에는 검지율, 오검지율, 평균 검지시간을 모두 산정하지만 오검지율의 변화에 초점을 두고 평가를 실시하였다. 그리고 실제 현장 데이터를 이용한 평가에서 평균 검지시간의 경우 현재의 돌발상황 검지 및 관리체제에서 정확한 발생시간의 확인이 불가능하기 때문에 사고 기록카드를 이용, 평균 검지시간에 관한 평가를 실시, 참고 자료로 이용하였다.

기존 모형과 개발 모형의 평가를 위해서 검지율, 오검지율의 판단 테이블은 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 검지모형 성능지표 산정을 위한 판단 테이블

구분	실제상황	
	돌발상황 미발생	돌발상황 발생
모형	돌발상황 미발생	검지 못함
검지	돌발상황 발생	오검지 / 정확한 검지

1) 오검지율

본 연구를 위해서 획득된 자료는 검지기 데이터 및 사고데이터로서 교통관제센터에 보고 되지 않은 돌발상황에 관해서는 확인할 수 없으며 순찰이나 보고에 의하

4) 한국도로공사(2000), "교통관리시스템 S/W 기능개선 용역 교통알고리즘 기능개선 부문 최종보고서", p.87.

여 기록된 사고데이터라고 할지라도 그 시점에 관해서는 불명확하다. 따라서 사고데이터에 기록되지 않은 돌발상황으로 인하여 교통류의 혼잡상황이 일어났다면 이에 대한 검지율 및 오검지율의 산정은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 수집시간동안 교통사고가 발생하지 않은 데이터를 이용하여 분석하는 것이 타당하다.

이를 위하여 오검지율 산정을 실시하였으며 산정식은 다음과 같다.

$$Far = \frac{\text{오경보발생 비돌발상황 } P.C \text{ 갯수}}{\text{비돌발상황의 전체 } P.C \text{ 갯수}} \quad (2)$$

(1) 대상구간

대상구간 선정시 각 모형의 특징을 고려하여 상반된 Site를 선정하였다.

첫 번째로 기하구조의 변화가 있으며 교통류 집중으로 인한 혼잡 및 상승 정체가 빈번한 도시부 고속도로를 선정하여 각 검지 모형의 오검지율 및 오검지의 원인이 혼잡에 기인한 유사돌발상황인지를 분석하였다.

두 번째로 기하구조의 변화가 없으며 교통류 집중현상이 발생하지 않는 지방부 고속도로를 선정하여 모형의 오검지율을 분석하였다.

- 2000년 8월 21일 ~ 31일, 영동선 하행 신갈 JC ~ 마성구간(2차로) : 도시부
- 2000년 8월 26일 ~ 31일, 호남선 하행 회덕 ~ 김제구간 : 지방부

(2) 모형의 적용

모형의 적용시 임계치는 가장 나은 성능을 나타내는 임계치 set을 동일하게 적용하였으며 미리 획득되어진 검지기 자료를 이용하여 DES, DELOS 모형의 기존 모형과 개발 모형을 비교하도록 하였다.

off-line test 오검지율 산정법을 이용하여 오검지율을 산정 및 분석하였다.

① 영동선 하행 적용 결과

영동선 하행 실행 결과는 <표 2>와 같다.

분석 결과 DES 모형의 경우 기존모형의 54%,

<표 2> 영동선 하행 오검지 횟수 및 오검지율

	DES	DELOS
기존 모형	139회(0.128%)	278회(0.256%)
개발 모형	65회(0.060%)	95회(0.088%)

DELOS 모형의 경우 66% 수준으로 나타났다. 감소된 오검지 횟수가 어떤 교통류 상태에서 감소되었는지 확인하기 위하여 해당 검지기 자료를 토대로 교통상태를 분석하였다.

<그림 6>, <그림 7>에서 확인할 수 있듯이 상, 하류부의 속도 및 점유율 차이가 나타나는 돌발상황 흔적은 보이지 않으며 상, 하류부 모두 속도가 낮고 점유율이 높은 교통류 혼잡 상황이 발생하고 있다.

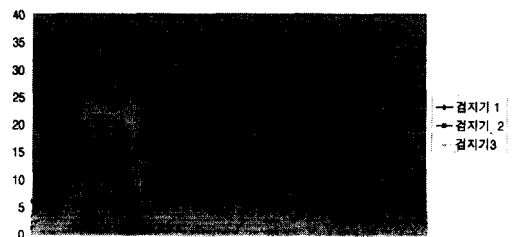
이 시간대의 오검지 발생횟수를 살펴본 결과 기존 모형에서 DES 모형의 경우 139회, DELOS 모형의 경우 206회가 발생하였으며 개발 모형을 적용하였을때 DES 모형의 경우 65회, DELOS 모형의 경우 23회로 오경보 횟수가 감소하였다.

이러한 결과는 도시부 고속도로의 일반적인 특성인 첨두시 교통량의 집중과 혼잡으로 인한 오검지에 대하여 개선효과를 나타낼 수 있으며 비첨두시의 교통상황에 대한 오검지에 대해서도 돌발상황 판단 절차를 이중화하여 보다 정확한 검지 결과를 산출해 낼 수 있다고 분석할 수 있다.

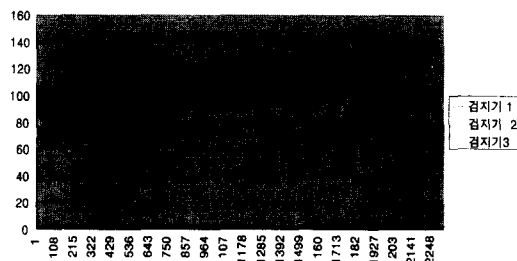
<표 3> 혼잡시간대 오검지횟수의 변화

	DES	DELOS
기존 모형	139회	206회
개발 모형	65회	23회

DES 모형의 경우 감소한 전체 74회의 오검지 횟수



<그림 10> 혼잡상태의 점유율 데이터



<그림 11> 혼잡상태의 속도 데이터

가 모두 혼잡상태에서 오경보 감소 효과가 나타났고 DELOS 모형의 경우도 전체 오검지 횟수가 183회의 오검지 횟수가 모두 혼잡상태에서 감소하였다. 이러한 오검지 횟수 감소 효과는 압축과 검사 모듈을 추가한 모형이 혼잡 교통류의 압축과 상태를 상당 부분 검지하여 오검지율을 감소시킨 것으로 판단되어진다.

② 호남선 하행

지방부 고속도로인 호남선 하행구간의 모형 실행결과는 <표 4>와 같다.

DES 모형의 경우 교통상황에 대한 낮은 민감도로 인하여 잘 반응하지 않았으며 DELOS 모형의 경우 기존 모형의 절반수준으로 오검지 횟수가 감소한 것으로 나타났다.

이는 DELOS 모형에서 압축과 검사 모듈이 교통상황에 예민하게 반응하는 모형의 민감도를 적정한 수준의 민감도로 감소시키는 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 분석할 수 있다.

도시부 및 지방부 고속도로의 모형 적용 결과에서 살펴볼 수 있듯이 DES 모형은 기하구조의 변화가 심한 곳에서 검지가 용이하지만 그에 따른 오검지율도 높은 것으로 나타났다. 또한 압축과 검사 모듈의 적용시 DELOS 모형에 비하여 오검지 감소 효과가 낮은 것으로 분석되었다.

<표 4> 호남선 하행 오검지율 결과

	DES	DELOS
기존 모형	172회(0.299%)	20407회(35.5%)
개발 모형	172회(0.299%)	12721회(22.1%)

2) 검지율

검지율 산정율은 <표 1>의 판단 테이블을 이용하였으며 산정식은 식(3)과 같다.

$$DR = \frac{\text{모형상으로 검지한 돌발상황 횟수}}{\text{특정시간대에 발생하는 돌발상황횟수}} \quad (3)$$

검지율 산정시에는 돌발상황이 1회 발생하여 15 polling cycle동안 지속되었을 때 모형이 1개의 polling cycle에서만 돌발상황을 검지하더라도 식(3)을 이용하여 계산하게 되면 검지율은 100%가 되는 문제점을 나타내게 된다. 또한 DELOS 모형의 경우 1개의 돌발상황에 관하여 여러개의 돌발상황 발생으로 인식하는 오류를 범하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 검지율 산정시 돌발상황의 발생의 빈도수가 아닌 돌발상황 발생부터 지속시간동안 모형이 얼마나 교통류의 상태를 반영하는지에 초점을 두어 polling cycle별 분석을 실시하였다. 전체 횟수와 검지시간에 대한 분석은 이후에 추가적으로 분석하였고 참고자료로 활용하였다.

(1) 대상구간

한국 도로공사 사고데이터를 이용하여 다음과 같은 지점을 선정하였다.

- 2000년 6월 17일 영동선 상행 107.7km 지점 사고자료
- 2000년 9월 28일 영동선 하행 3.6km 지점 사고자료

(2) 모형의 적용

모형의 적용시의 사항은 오검지율 산정시와 동일하다.

(3) 실행결과

① 영동선 상행

영동선 상행 실행 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 영동선 상행 검지율 산정 결과

	DES	DELOS
기존 모형	0(0%)	298(26.2%)
개발 모형	0(0%)	298(26.2%)

② 영동선 하행

영동선 하행 실행 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 영동선 하행 검지율 산정 결과

	DES	DELOS
기존 모형	30회(24.59016%)	50회(40.984%)
개발 모형	30회(24.59016%)	50회(40.984%)

영동선 상·하행의 사고데이터를 기존, 개발 모형에 적용한 결과 검지율의 변화는 일어나지 않았다. 이는 압축과 검사 모듈이 로직상으로 교통류의 이상상황에 대한 확인과정을 거치게 되어 돌발상황과 유사돌발상황에 대한 분류가 명확히 이루어지며, 유사돌발상황으로 인한 오검지에 대한 필터링 효과를 나타내고 있다는 것으로 해석할 수 있다.

3) 검지율, 오검지율, 검지시간의 일반론적 적용

기 획득된 교통데이터를 이용하여 개괄적인 검지율,

오검지율, 검지시간의 분석을 실시하였다. 분석에 이용된 자료는 한국도로공사 고속도로 각 구간별(경부선, 영동선, 서해안선, 중부선, 호남선)의 다양한 유형의 사고 데이터 29개를 이용하여 돌발상황 발생횟수에 따른 검지율, polling cycle의 갯수에 따른 검지율, 평균 검지시간, on-line/off-line test 오검지율을 산정하였으며 결과는 <표 7>과 같다. 모형 실행상의 모든 조건은 이전과 동일하다.

분석결과 DES 모형의 경우 polling cycle 별 검지횟수는 2회, DELOS 모형의 경우 4회 감소한 것으로 나타났다. 오검지 횟수는 DES 모형의 경우 13회, DELOS 모형의 경우 64회 감소한 것으로 나타났다. 평균 검지시간의 경우 변화가 없는 것으로 나타났으며 이는 압축과 검사 모듈이 교통 자료 최소 수집 주기인 30초안에 모든 과정을 종료하는 것으로 분석된다.

<표 7> 검지율, 오검지율, 평균 검지시간 분석 결과

항목	모형	기존모형	제안모형
돌발상황발생횟수에 따른 검지율(%)	APID	10.34	
	DES	6.90	6.90
	DELOS	65.52	65.52
polling cycle에 따른 검지율(%)	APID	4.03	
	DES	1.46	1.42
	DELOS	15.88	15.81
평균 검지 시간(분)	APID	15분 41초	
	DES	40분15초	40분15초
	DELOS	3분22초	3분22초
on-line 오검지율(%)	APID	0.50	
	DES	0.48	0.33
	DELOS	7.22	6.41

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 돌발상황 검지 모형인 APID의 압축과 검사 과정을 모듈화시켜 타 모형에 적용, 오검지의 감소를 통한 향상된 검지 성능을 가지는 돌발상황 검지 모형을 개발하는 것이다.

기존 모형의 경우 압축과 상태로 표현되는 교통류의 혼잡상태 발생시 오검지의 원인에 대한 분석 없이 경보를 발생시키게 되는데 기존 모형과 비교하여 개발 모형은 혼잡시 오검지에 대한 원인을 찾을 수 있도록 설계하였다.

개발 모형의 적용을 위하여 혼잡 상황이 발생하는 구간을 선정, 교통데이터를 이용하여 모형을 적용하여

개선효과를 확인하도록 하였다.

본 논문의 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

첫째, 오검지의 원인에 대한 분석 과정 없이 경보를 발생시키는 DES, DELOS 모형에 압축과 검사 모듈을 적용한 결과 혼잡상태에서 오검지 횟수가 상당부분 감소하는 효과를 가져오게 되었다. 이는 압축과 검사 모듈이 교통류의 혼잡상태에서 검지 결과에 대한 정보발생 요인을 파악하여 돌발상황 이외의 요인에 대한 필터링 효과를 하기 때문이다.

둘째, 압축과 검사 모듈을 적용한 결과 검지율의 변화는 오검지율의 변화에 비하여 매우 적은 것으로 나타났다.

압축과 검사 모듈이 압축과 상태와 돌발상황 발생상태에 대한 패턴을 분류, 검지율의 감소를 가져올 수도 있다. 하지만 실제 다양한 형태의 교통상황에 적용한 결과 오검지율은 큰 폭으로 감소하였지만 검지율은 매우 적은 폭으로 감소하였다.

셋째, 평균 검지시간은 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 압축과 검사 모듈이 해당 polling cycle내에서 모든 과정을 종료하기 때문에 polling cycle별 실행에서는 검지시간의 변화가 없는 것으로 분석되었다.

본 연구와 관련되어 필요한 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫째, on-line test를 통한 모형의 적용이 필요하다.

본 연구에서는 off-line test를 수행하였는데 다음과 같은 제약이 있었다. 검지기 자료의 낮은 신뢰도로 인하여 기 획득된 검지기 자료를 이용, 모형을 적용하기에는 검지기 자료 자체의 신뢰도가 낮았다. 즉, 과도한 bad-data로 인하여 모형 적용이 어려웠으며 실제 FTMS상에서는 bad-data 발생시 L/C(Local Controller)나 시스템 내에서 보정처리를 하기 때문에 현재보다 교통류 패턴을 신뢰성 있게 반영할 수 있는 검지기 자료를 이용할 수 있다. 또한 시스템 내에 미리 설정되어진 교통조건, 제약조건 등을 이용할 수 있으므로 보다 정확한 비교가 가능하다.

여기에 추가적으로 본 연구에서는 PC 기반으로 모형의 적용을 실시하였으나 모형 실행상에서 많은 문제점을 나타내었다. 시스템 상의 UNIX 기반으로 모형을 실행한다면 보다 안정적인 모형의 실행이 가능하다.

이러한 이유로 보다 정확하고 실제적인 개선 효과를 확인하기 위해서는 on-line test의 수행이 반드시 필

요하다.

둘째, 해당 구간의 특징을 반영할 수 있는 임계치 정산 과정이 필요하다. 본 연구에서는 동일한 임계치를 이용하여 다른 특성을 나타내는 구간에 적용하였으나 검지 대상 구간의 특징을 반영할 수 있는 임계치 정산 과정을 거친 후 적용하면 보다 나은 개선 효과를 나타내리라 판단된다.

셋째, 압축과 현상에 대한 보다 원론적이고 개량적인 연구와 유사돌발상황을 검지하기 위한 새로운 기법에 관한 연구가 필요하다. 고속도로 교통류의 혼잡과 혼잡시 발생하는 압축파에 대하여 보다 원론적인 연구가 요구되어지고 또한 충격파의 전파속도나 혼잡의 개념 등에 대한 체계적이고 과학적인 돌발상황 검지 기법의 연구를 통하여 돌발상황 검지에 이용한다면 보다 좋은 결과를 이끌어 낼 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 구정욱(2000), "분류 시스템을 이용한 유고검지모형의 개발", 석사학위논문, 아주대학교 대학원.
 2. 김진학(2000), "자동 유고 감지알고리즘의 비교분석에 관한 연구", 석사학위 논문, 서울대학교 대학원.
 3. 백용현(1999), "영상기반의 지능형 자동유고검지모형개발", 석사학위논문, 아주대학교 대학원.
 4. 이의은(1995), "고속도로 교통류의 특성분석과 그 응용에 관한 연구", 박사학위 논문, 서울대학교 대학원.
 5. 이상민(2002), "Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황 검지모형의 개발", 대한교통학회지, 제20권 제6호, 대한교통학회, pp.81~98.
 6. 장세봉(1997), "인공신경망을 이용한 고속도로 자동 유고 감지 모형의 개발", 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
 7. 한국도로공사(2000), "교통관리시스템 S/W 기능 개선용역 교통알고리즘 기능개선부문 최종보고서".
 8. 황준환(2000), "간선도로 돌발상황 검지기법 개발 연구", 박사학위 논문, 서울시립대학교 대학원.
 9. Bhagwant N. Persaud, Fred I. Hall & Lisa M. Hall(1990), "Development and Setting of the McMaster Incident Detection Algorithms", 69th Annual Meeting No. 89-0389, Transportation Research Board.
 10. Bhagwant N. Persaud, Fred I. Hall & Lisa M. Hall(1990), "Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm", Transportation Research Report 1287.
 11. Solomon M.(1991), "A Review of Automatic Incident Detection Techniques", ADVANCE Program Technical Report, NU-1d.1-1, NSF Research Fellow Transportation Center.
 12. Summer, R. et al.(1983), "Freeway Management Handbook", FHWA.
 13. U.S Department of Transportation(1991), FHWA, "Freeway Incident Management Handbook", Report No. FHWA-SA-91-056.
 14. Texas Transportation Institute(1997), "Freeway Traffic Operations", NHI Course, No. 13375, Federal Highway Administration.
- ♣ 주 작 성 자 : 이환필
 ♣ 논문투고일 : 2004. 6. 1
 논문심사일 : 2004. 7. 19 (1차)
 2004. 11. 3 (2차)
 심사판정일 : 2004. 11. 3
 ♣ 반론접수기한 : 2005. 4. 30