

■ 論 文 ■

Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황검지 모형 개발

Development of An Automatic Incident Detection Model
Using Wilcoxon Rank Sum Test

이 상 민

(아주대학교 대학원 건설교통공학과)

이 승 환

(아주대학교 환경·도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 기존 돌발상황 검지모형의 검토
 - 1. 비교식 알고리즘
 - 2. 통계학적 알고리즘
 - 3. 시계열(Time Series) 알고리즘
 - 4. 교통류모델 알고리즘
 - 5. 인공지능망 알고리즘
 - 6. 주요 알고리즘의 장단점 분석
 - III. 돌발상황 검지모형 개발
 - 1. 돌발상황발생시 교통데이터의 특성 분석
 - 2. Wilcoxon Rank Sum Test를 이용한 돌발상황 검지모형
 - III. 모형의 검증
 - 1. 모형의 평가방법
 - 2. 모형의 평가결과
 - 3. 타모형과의 비교평가결과
 - IV. 결론 및 향후 연구방향
- 참고문헌

Key Words : 자동돌발상황검지 모형, 연속류 특성, 압축과, 비모수통계기법, Wilcoxon Rank Sum Test

요 약

본 연구는 Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동 돌발상황 검지 모형을 개발하는 것이다. 본 연구의 수행을 위하여 고속도로에 설치된 루프 차량 검지기(Loop Vehicle Detection System)에서 수집된 점유율 데이터를 사용하였다.

기존의 검지모형은 산정하기가 까다로운 임계치에 의하여 돌발상황을 검지하는 방식이었다. 반면 본 연구 모형은 위치와 시간대 교통 패턴에 관계없이 모형을 일정하게 적용하며, 지속적으로 돌발상황 지점과 상·하류의 교통패턴을 비교 검정 기법인 Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 사용하여 돌발상황 검지를 수행하도록 하였다.

연구모형의 검증을 위한 테스트 결과 시간과 위치에 관계없이 정확하고 빠른 검지시간(돌발상황 발생 후 2~3분)을 가짐을 알수 있었다.

또한 기존의 모형인 APID, DES, DELOS모형과 비교검증을 위하여 검지율 및 오보율 테스트를 수행한 결과 향상된 검지 능력(검지율 : 89.01%, 오보율 : 0.97%)을 나타남을 알수 있었다.

그러나 압축과와 같은 유사 돌발상황이 발생되면 제대로 검지를 하지 못하는 단점을 가지고 있으며 향후 이에 대한 연구가 추가된다면 더욱 신뢰성있는 검지모형으로 발전할 것이다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 도로교통은 폭발적인 자동차 증가에 따라 매우 중요한 교통수단으로 자리잡고 있으며, 특히 도시간의 중요한 연결체계인 고속도로(Freeway)는 점점 그 중요성이 부각되고 있다. 이러한 사회적인 추세에 따라 막대한 사회적 비용을 초래하는 고속도로 돌발상황의 발생시 이를 조기에 감지하여 신속히 해소할 수 있는 돌발상황관리체계(Incident Management System)의 필요성이 부각되고 있다.

이를 위하여 대부분의 고속도로에는 고속도로교통관리시스템(Freeway Traffic Management System, FTMS)을 도입되어 고속도로의 교통관리에 임하고 있으며, 특히 돌발상황의 자동검지를 위한 모형으로 APID, DES, DELOS, McMaster, Neural Network 등 다양한 모형이 활용되고 있다. 그러나 기존에 주로 쓰이고 있는 돌발상황검지모형들은 다양한 파라미터(parameter)의 입력이 필요하며 파라미터의 임계치(threshold value) 설정의 어려움과 복잡한 수정작업을 필요로 한다.

기존의 돌발상황 검지모형은 복잡하고 장시간이 소요되는 사전작업인 파라미터 조정작업이 필요하며, 이 작업에는 방대한 양의 교통데이터가 필요하다. 또한, 모형에 적용되는 파라미터가 제대로 설정이 되지 않으면 대부분의 모형들은 제 성능을 발휘하지 못하며, 이러한 특성 때문에 파라미터 조정작업에 투입되는 시간 및 비용에 따라 검지모형 성능에 큰 차이가 나는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 모형들의 단점을 보완하여 보다 간편하고 신속하게 돌발상황을 검지해 낼 수 있도록 하기 위하여, 임계치에 따라 돌발상황을 검지해 내는 기존 방식을 개선한 통계적인 방법으로 돌발상황을 검지해 낼 수 있는 모형을 개발하는 것을 연구의 목적으로 삼는다.

2. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 기존의 주요 돌발상황검지 모형들에 대한 이론적 고찰을 통하여 이들 모형들의 장점 및 단점들을 검토한 후 이러한 단점들을 개선한 새로운

돌발검지 모형을 개발하고자 하였다.

이를 위하여 돌발상황 발생지역의 데이터를 수집·분석하여 돌발상황시의 특성을 분류하였으며, 이러한 돌발상황시의 특성을 활용하여 돌발상황 검지모형의 개발을 위한 연구를 수행토록 하였다.

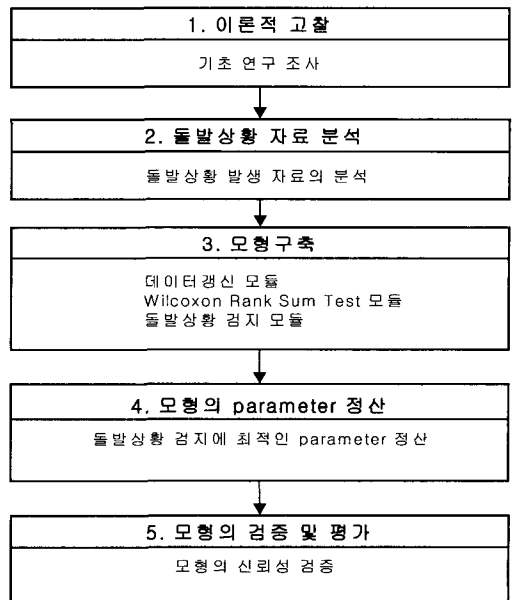
돌발상황의 패턴을 검지하기 위하여 비교통계기법을 이용하였으며, 그룹간의 동질성을 검사하는 대표적인 모형인 Paired t-test와 Wilcoxon Rank Sum Test 기법 중 고속도로의 특성에 적합한 통계기법을 선정토록 하였다. 신속한 돌발상황의 검지를 위하여 매 polling 주기(30초)마다 갱신되는 비교 데이터군의 동질성을 검사하여 돌발상황과 일반적인 상황의 구별이 가능토록 한다.

또한, 데이터의 임의적인 변동(Random Fluctuation)에 따른 돌발상황 검지의 오류를 줄이기 위하여 검지모형이 돌발상황의 검지시 서비스 수준을 계산하여 오류를 보정할 수 있도록 한다.

연구 모형의 파라미터 정산은 돌발상황 발생시 가장 빠르고 정확하게 검지하며, 반복적인 일반적 정제 및 데이터의 일시적인 변동에 의한 잘못된 돌발상황 검지를 하지 않는 최적의 값을 찾도록 하였다.

실험 및 검증은 고속도로교통관리시스템과 대상지역의 영업소에서 제공하는 돌발상황 데이터를 이용하여 모형의 신뢰성을 검토하였다.

2) 연구수행절차



〈그림 1〉 연구수행절차

II. 기존 돌발상황 검지모형의 검토

기존 알고리즘은 다음 5종류의 이론적 틀로서 구분될 수 있다. 여기에는 비교식(Comparative) 알고리즘, 통계학적(Statistical) 알고리즘, 시계열(Time-Series) 알고리즘, 교통류모델 알고리즘이 포함된다.

1. 비교식 알고리즘

비교식 알고리즘은 기존 모든 알고리즘 중에서 가장 단순한 형태이다. 이 알고리즘은 돌발상황이 상류의 루프검지기의 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 차이(즉, 2분전의 값과 현재값)를 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 목적으로 10개의 수정된 버전이 만들어졌다.

수정 버전의 특징은 지속성 분석(persistent check)과 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 버전(California #7, #8)이 가장 좋은 성능을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.

3) All Purpose 돌발상황검지 알고리즘(APID)

캐나다 토론토 대도시 권역의 첨단교통관리체계인 COMPASS에 적용할 목적으로 개발되었다.

이 알고리즘은 캘리포니아 알고리즘의 주요 요소를 단순구조로 병합시켰는데, 교통량에 따라 각기 다른 알고리즘을 이용하게 되어 있다. 즉, 점유율에 따라 Heavy Volume, Medium Volume, Light Volume 으로 구분하고 각각 다른 검지 알고리즘을 이용하도록 되어 있다.

교통상황이 Heavy로 정의되었을 때는 기본적인 캘리포니아 알고리즘을 이용한다. Medium일 경우에는 점유의 공간적 차이와 속도의 시간적 차이라는 변수를 사용하나, Light일 경우는 연구상으로 정의되지는 않았다. 물론 여기서도 경보가 울리기 전에 지속적인 체크(Persistence Check)와 압박파 테스트가 수행된다.

4) 패턴인식 알고리즘(PATREG)

TRRL(Transport & Road Research Laboratory)에 의해 개발되었다.

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

이 분야 대부분의 알고리즘 기본사상은 유고발생을 추론하기 위하여 대부분의 교통패턴이 통계적인 접근을 통하여 모형화 될 수 있다는 가정을 기초로 출발한다.

1) 정규분포 알고리즘(Standard Normal Deviate)

텍사스주 휴스턴의 걸프고속도로에 설치된 교통관

제센터에서 이용할 목적으로 70년대 초에 텍사스교통 연구소(Texas Transportation Institute)에 의해 개발되었다.

이 알고리즘은 돌발상황의 경우 교통변수의 급격한 변화를 가져온다는 가정을 기초로 과거자료에 근거한 평균차선 점유에 대한 기록과 SND(평균에서 구한 표준편차들의 수)를 비교한다.

최근의 측정경향으로부터 SND의 값이 클수록 급격한 변화가 있음을 의미한다. 3분 또는 5분마다 평균과 SND를 계산하는 전략에 의해 돌발상황을 검지하며 표준편차는 다음과 같이 계산한다.

$$SND = \frac{X - \xi}{S}$$

X : 평균차선 점유의 기록치

ξ : X 의 예측치

S : 표준편차

SND가 크면 최근 측정경향에서 갑작스런 변화를 의미하고 비정상적인 교통상황(돌발상황)을 나타낸다.

2) Bayesian 알고리즘

점유율의 상대적인 차이가 돌발상황으로 일어날 확률을 계산하기 위해 베이시안 통계를 적용한 것이다.

베이시안 이론은 돌발상황시와 비돌발상황시 동안 상류부와 하류부의 도수분포가 개발될 수 있다는 것을 가정한다. 이 알고리즘을 수행하기 위해서는 다음 3개의 데이터가 필요하다.

- 돌발상황동안의 점유율과 교통량 자료
- 평상시의 점유율과 교통량 자료
- 돌발상황의 형태, 위치, 영향에 대한 과거 자료

3. 시계열(Time Series) 알고리즘

이 알고리즘은 교통의 전개를 과거 도로 데이터로부터 직접적으로 모형화할 수 있다는 가정 하에서 출발하였다. 모형에서 처리된 실시간 데이터와 미리 정해진 임계값을 비교, 산정된 실측치와 예측치의 편차를 이용해 돌발상황을 검지한다.

1) The Box-Jenkins ARIMA Model Algorithm

ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average) 모델은 지점알고리즘으로서 관측된 점유율 값이 과거 자료로부터 예측한 값의 표준오차에 의해 범위가 한정되는 신뢰구간을 벗어나면 돌발상황으로 판정한다.

모델의 특성으로는 과거 다른 알고리즘은 오진율이 높고 임계값을 설정해 주어야 하는 문제점이 있었으나 교통변수내의 변동신뢰구간을 임계치로 하여 실시간 관측치와 비교함으로써 별도의 임계값 설정이 필요없는 장점이 있다.

2) The(Double)Exponential Smoothing 알고리즘

단일지점 알고리즘으로서 상류, 하류의 교통상태에 거의 영향을 받지 않고 돌발상황을 검지하여 하나의 교통변수 시계열내에서 불규칙성을 찾아내기 위하여 단기예측기법(Short-Term Forecasting Technique)을 사용한다.

속도, 교통량, 점유율을 추적신호(Tracking Signal) 변수로 채택하여 돌발상황을 검지하며 각 교통변수와 누적오차를 현재 상태의 표준오차로 나누어 하나의 추적신호 값을 얻으며 이 값이 지정한 임계값을 넘으면 돌발상황으로 식별한다.

기본 원리를 요약하면 한 지점에서 수집되는 교통변수의 과거자료들을 평활화(smoothing)하여 현재의 값을 예측한 후 이 값과 실제값을 비교하여 그 차이의 누적치와 평균 절대편차와의 비가 임계치를 넘으면 돌발상황으로 식별한다.

교통변수 중 적용가능한 변수만 추적신호 변수로 지정하여 APID와는 달리 잠정돌발상태의 개념이 없는 것이 특성이다.

장단점을 살펴보면 지점알고리즘으로 검지기 설치 간격에 영향을 받지 않으나 검지시간이 비교적 길며 한 지점의 시간적 변화를 고려하기 때문에 검지율이 낮다. 또한 압축파를 구분할 수 없으므로 교통량이 많은 경우 오보율이 높다.

3) DELOS(DEtection LOGic with Smoothing)

DELOS(DEtection LOGic with Smoothing) 모형은 짧은 지속시간을 가지는 다른 사건들을 돌발상황과 구별하기 위하여 점유율 측정치를 윤환(Moving

Block)하여 사용한다. 측정치의 블록화는 데이터 수집 주기마다 갱신된다. 예를들어 수집주기마다 새로운 데이터가 블록에 삽입이 되며, 그 수만큼 과거의 데이터는 블록에서 삭제가 된다.

여기서 두 개의 유효값 사용되는데 돌발상황의 발생시점을 t 로 하였을 때 현재의 교통상태를 나타내는 $OCC_i(t+k)$ 와 돌발상황이전의 교통상태를 나타내는 $OCC_i(t)$ 로서 된다. 여기서 k 는 유효시 사용될 데이터의 개수를 나타내게 되며, 과거의 교통상태는 n 개의 데이터를 유효하여 사용하게 된다.

이러한 방법은 표준편차(standard deviation), 중지수(double exponential), 또는 캘리포니아 모형과 비교하여 상당한 오경보율의 감소를 가져왔다.

4) Low-Pass Filter 알고리즘

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

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

Y_t : 보정된 교통변수

X_{t-k} : t 에서 k 까지의 간격동안 관찰된 교통변수

M : 데이터가 보정되는 간격의 최대치

4. 교통류모형 알고리즘

돌발상황 동안의 행태를 묘사하기 위해서 교통류이론을 이용한다. 여기에 속하는 모형들은 돌발상황 상황에서 교통류 상황을 예측하여 실제 관찰된 교통변수들과 비교하게 된다. 여기에 속하는 대표적인 모형들로는 Dynamic 모델과 McMaster 알고리즘이 있다.

1) Dynamic 모델

상당수 돌발상황감지 알고리즘은 교통류의 다양한 속성을 설명하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

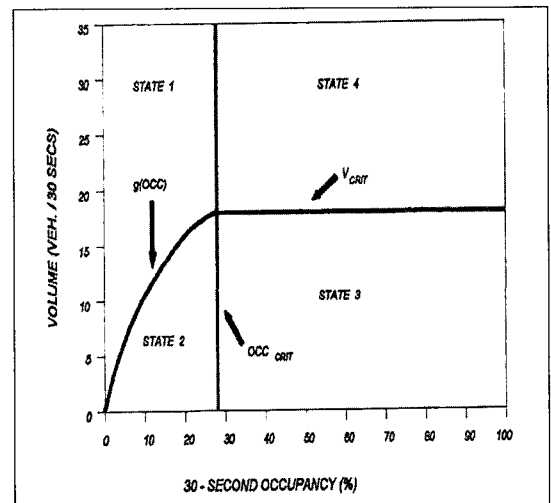
이러한 문제를 해결하기 위해 고속도로 교통류의 다양한 속성을 잡아낼 수 있는 거시적 교통류모형이 연구되었다. 이 모형들의 핵심이론은 기본적인 속도-밀도와 교통량-밀도간의 관계이며, 그 중 하나는 Multiple 모델로서 고속도로에서 교통류상황을 나타

내는 선형체계를 이용하며, 감지변수로 조건부 확률값(conditional probability)을 이용한다.

2) McMaster 알고리즘

이 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.

알고리즘은 먼저 1개의 검지기에서 혼잡여부를 확인하는데, <그림 2>에서 3주기의 알고리즘 실행간격 동안 연속으로 STATE2 또는 STATE3으로 분류되면 혼잡으로 구분된다. 현재상태가 혼잡으로 구분될 경우 하류부의 검지기의 상태를 체크하여 STATE1, 2이면 이 두개의 검지기 사이에는 돌발상황이 발생한 것으로 간주한다. STATE3이면 더 하류에 위치한 검지기를 점검하고 같은 과정을 거친다. STATE4이면 반복된 혼잡이다. 여기서 STATE1은 혼잡하지 않은 상태, STATE2는 혼잡상태, STATE3은 매우 혼잡된 상태, STATE4는 항상 병목이 발생하는 하류부를 나타낸다.



<그림 2> McMaster 알고리즘의 교통량-점유율 관계

3) Low-Volume 알고리즘

대부분의 검지 알고리즘은 교통량이 적은 경우 문제를 일으킨다. 이는 대부분의 알고리즘이 고속도로의 용량이 수요수준 아래로 감소될 때 나타나는 문제

인 교통류의 불연속성, 대기행렬, 혼잡에 초점을 맞추고 있기 때문이다. 그러나 새벽 1시에서 5시 사이와 같이 교통량이 낮은 시간대에 발생하는 돌발상황은 좀처럼 수요수준 아래로 용량을 감소시키지는 않는다.

이를 보완하기 위해 교통량이 적은 시간대에 적용할 수 있도록 개별차량의 Input-Output 분석을 이용하였다. 이 알고리즘은 특정구간의 차량의 유입시간과 유입시의 속도를 기초로 차량 유출시간을 예측한다. 유출시간은 다음과 같은 식을 이용하여 예측될 수 있다.

$$t_e = t_i + d/v$$

여기서,

t_e : 구간 유출시간

t_i : 유입 시간

d : 구간의 길이

v : 구간유입시 차량속도

이 알고리즘은 차량이 특정구간을 통과하는 동안에 는 속도를 일정하게 유지한다는 가정하에 실행된다. 그 구간으로 차량이 한 대 한 대 들어갈 때마다 t_e 가 계산되며, t_e 가 비슷한 것끼리 모아서 유출 차량수를 추정한다. 실제 유출시간이 되었을 때, 실제 차량대수와 추정된 차량대수를 비교하여 추정된 차량수에 못 미치면 돌발상황으로 판정한다.

5. 인공신경망 알고리즘

신경망 모형은 크게 선행신경망, 홉필드신경망, 코

호넨신경망으로 나눌 수 있다. 주로 선행신경망은 패턴인식이나 예측 등에 많이 적용되고 있으며, 홉필드 신경망은 최적화 이론에 많이 적용되며, 코호넨신경망은 클러스터링 등에 많이 적용되고 있다.

신경망에 의한 돌발상황검지 모형은 기존의 모형과는 달리 임계치를 결정할 필요가 없다. 즉, 학습에 의해서 돌발상황과 비돌발상황에 대해 인식하고 있으므로 각 지점간 교통변수의 상대적 차이값의 변화가 어느 정도일 때를 돌발상황으로 규정할 것인가하는 것을 고려할 필요가 없다.

일단 학습이 이루어지고 나면, 연결강도가 고정되어 있으므로 돌발상황에 대한 판단은 실시간으로 이루어질 수 있다. 또, 필요하다면 입력층의 시간대와 출력층의 상태(돌발상황, 정체, 정상)를 자유로이 조절하여 새로이 학습함으로써, 돌발상황검지를 행할 수 있다.

6. 주요 알고리즘의 장단점 분석

기존의 모형들의 돌발상황 검지방법들을 살펴보면 APID, DES, DELOS 모형들은 임계치를 설정하여 데이터가 임계치를 벗어나면 돌발상황으로 인지하고 있다. McMaster 모형은 LUD 곡선을 설정하여 설정곡선이 구분한 영역으로 교통상황이 변하면 돌발상황으로 인지하고 있다.

이러한 모형들은 주어진 교통조건하에 각 위치별로 도로의 기하구조가 상이하므로 이러한 도로의 특성에 따라 각 지역별로 상이한 특성에 맞춘 임계치의 설정이 필요하다.¹⁾ 또한, 시간대별로 변하는 교통패턴에

<표 1> 각 주요알고리즘의 장단점 분석²⁾

알고리즘	장점	단점
캘리포니아타입 APID변형	간단하고 특이한 지형 및 교통운영을 반영할 수 있음. 지속성 검사와 압축과 검사 수행	압축과 검사를 위해서 많은 감지지점이 필요
DES	시간적 차이에 의한 비교만 수행하므로, 구배의 변화 등에 의한 단절지점에 사용가능	감지시간이 길고 상대적으로 감지율이 낮음.
DELOS	단시간 변동에 의한 영향이 최소	평활화 시간간격에 따라 감지시간 길어짐.
McMaster 알고리즘	차로별 변이 고려가능, 악천후나 정체상황에서 돌발상황 감지 능력이 상대적으로 우월함.	현장검증 사례가 타 알고리즘에 비해 부족함.
인공 신경망 모형	병렬분산처리를 통한 빠른 처리, 비선형 모델에 적용가능 비모수통계 추론이나 패턴분류에 사용가능 Data Missing에 대한 적응이 뛰어남.	실제적으로 적용된 사례가 없어 효과를 검증 받지 못하고 있음.

1) 한국도로공사(2000.12), "교통관리시스템 S/W 기능개선용역 교통알고리즘 기능개선부문 최종보고서", p.86.

2) 서울시정개발연구원(1997), "도시고속도로 교통관리시스템 소프트웨어의 요구사항 분석".

따라 임계치의 조정도 불가피한 어려움이 있다.

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

III. 돌발상황 검지모형 개발

1. 돌발상황발생시 교통데이터의 특성 분석

1) 돌발상황의 일반적인 교통 특성

돌발상황 발생시의 교통데이터 특성은 차단 차로의 수, 구배, 선형, 램프 유입여부와 같은 기하구조 영향 외에도 교통량, 날씨, 사고정도 같은 변수에 많은 영향을 받는다. 이러한 복합적인 원인에 의하여 발생하는 데이터는 일반적으로 돌발상황발생 지점의 상류부(i-1 지점)에서는 정체(점유율의 증가, 속도의 감소 등)를 일으키며, 돌발상황발생 지점의 하류부(i+1 지점)에서는 교통상태의 유지 또는 원활(점유율의 감소 또는 유지, 속도의 증가 또는 유지)의 상태가 나타난다.

이러한 특성은 시간이 지날수록 상류부로 정체가 확산되며, 돌발상황의 종류와 기하구조의 특성에 따라 정체의 파급효과와 정체도가 달라진다. 또한 교통량이 매우 적을 경우에는 돌발상황으로 인한 영향이 거의 없을 수도 있다. 그럴 경우에는 돌발상황의 검지가 매우 어렵다. 또한 침두시 매우 혼잡한 때의 도로변 고장차량은 돌발상황으로 판정하기에는 교통흐름에 아무런 영향이 없을 수도 있다.

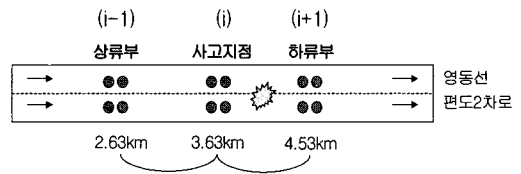
2) 조사 대상지의 교통특성 분석

돌발상황의 특성을 잘 파악하기 위하여 돌발상황이 발생되었을 때 차로의 폐쇄정도(lane blocking rate)가 심하며 교통량이 많으며 특별한 유출입 교통량이 없는 지역을 선정하였으며 조사 대상지의 사고시 교통상황은 다음과 같다.

- 사고지점 상·하류부 검지기 현황
 - 사고 일시 : 2000년 09월 28일 09시 38분
 - 교통제한시간 : 30분
 - 사고급수 : C급³⁾
 - 구배 : 0 %

사고지점에서 수집되는 데이터를 이용하여 사고 일 시인 2000년 09월 28일 09시 38분의 사고이전(09시 20분 01초~09시 38분 00초)과 사고이후(09시 38분 00초~09시 54분 30초)를 비교한 결과는 <표 2>와 같다.

이와 같은 유형은 전형적인 사고의 패턴을 나타내고 있으며 사고가 일어난 위치의 상류부와 하류부의 검지기의 데이터를 교통량, 점유율, 속도를 통하여 비교하면 더욱 명확하게 나타난다.

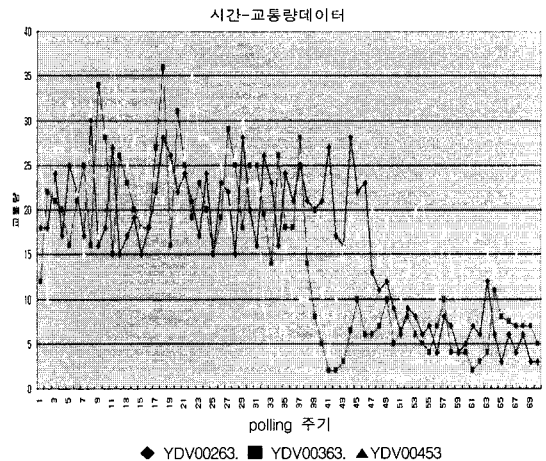


<그림 3> 돌발상황 지점 현황도

<표 2> 사고 전후 서비스 수준 비교

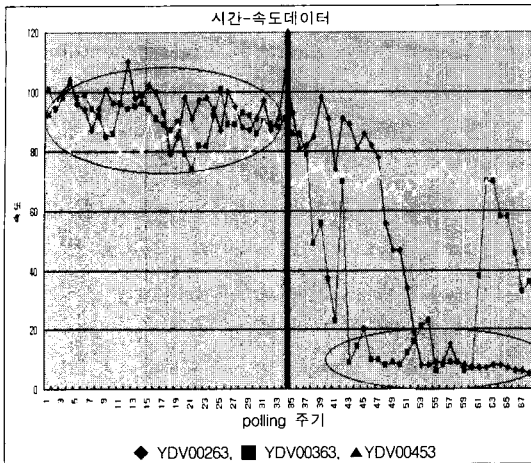
종류	사고전		사고후	
	평균	서비스수준	평균	서비스수준
VOL(대)	21	A	6	E
OCC(%)	4		19	
SPD(km/h)	90		28	

상류부	YDV00263
사고지점	YDV00363
하류부	YDV00453

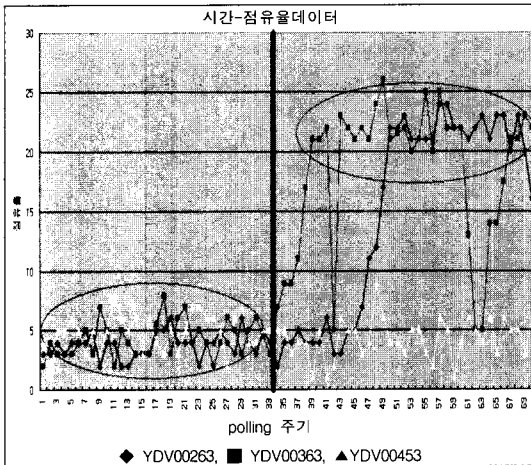


<그림 4> 돌발상황 발생지점의 교통량 그래프

3) 한국도로공사(2000.12), "한국도로공사 FTMS 운영관리 실무해설서", p.III-42.
한국도로공사에서는 돌발상황등급을 A, B, C급의 3등급으로 나누어 관리하고 있음. C급의 사고는 갓길차단의 유형임.



〈그림 5〉 돌발상황 발생지점의 속도관계 그래프



〈그림 6〉 돌발상황 발생지점의 점유율 관계 그래프

〈그림 6〉을 살펴보면 점유율이 교통량과 속도에 비해 확연한 사고패턴을 드러내고 있음을 알 수 있다. 또한 사고시점(2000년 09월 28일 09시 38분)인 polling 주기 36부터 사고의 패턴이 시작되며 polling 주기 46 시점부터는 정체여파가 상류부 검지기인 YDV00263으로 미치고 있음을 파악할 수 있다.

2. Wilcoxon Rank Sum Test를 이용한 돌발 상황 검지모형

1) 모형의 가정

가. 고속도로상의 정보수집을 위하여 설치된 검지기

로부터 30초의 자료수집주기(polling 주기)로 연속적으로 수집되며 이상치(검지기 고장, 통신불량 등, 예: -999)는 사전에 제거한다.

나. 램프(ramp)의 유출입부나 터널부와 같은 교통량 진출입이 없으며, 심한 구배나 곡선부가 없고 병목지점이 없는 일반적인 구간에 대한 돌발상황의 검지를 목적으로 모형을 개발한다.

다. 도로상에 연속적으로 배치된 i-1번째(상류부) 검지기, i번째(사고예상) 검지기, i+1번째(하류부) 검지기로부터 매 주기마다 수집되는 정보는 특별한 외부 요인이 발생되지 않는 한 항상 같은 패턴을 가지는 데이터로 가정한다.

라. 모형의 검증은 off-line test로 한다.

2) 모형의 구축방안

(1) 모형의 사용 데이터

일반적으로 연속류에서 데이터를 수집하는 검지기는 일정한 간격으로 배치되며 이렇게 설치된 각 검지기로부터 매 30초의 주기로 데이터가 수집이 된다.

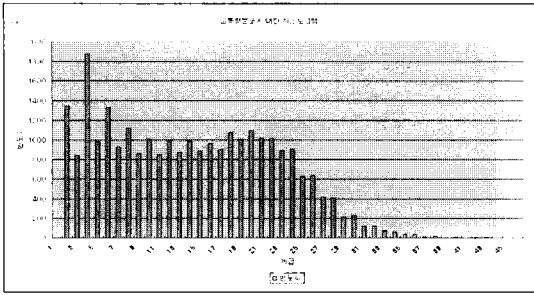
이렇게 30초 주기마다 검지기로부터 수집되는 점유율 정보를 바탕으로 돌발상황을 판정하는 모형을 구축하고자 한다. 그 이유는 데이터 분석결과 교통량, 속도에 비하여 데이터의 변동(fluctuation)이 적으며 돌발상황의 발생시 가장 뚜렷하게 패턴이 나타나기 때문이다. 또한, 대부분의 돌발상황 검지모형에서 가장 많이 쓰이는 변수로 점유율이 사용되고 있다.⁴⁾

(2) 연속류상의 일반적인 교통데이터의 분포

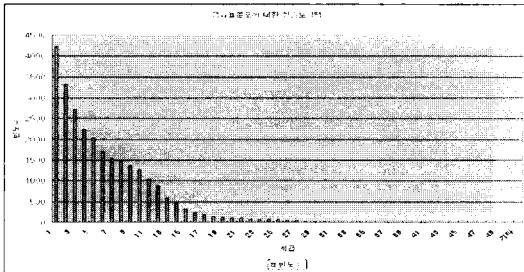
일반적으로 속도의 분포를 수학적인 분포로 표현하면 정규, 로그-정규, 혼합분포를 나타낸다. 연속류상의 대부분의 구간에서는 정규분포를 따르고 있지만 연속류 링크의 양끝단(진출입부 등)에서는 로그-정규나 혼합분포를 형성하고 있다.⁵⁾

그러나 이러한 현상은 교통량이나 점유율에는 적용이 되지 않는다. 본 연구에서는 경부고속도로의 10일간의 데이터 약 25,000개를 수집하여(2000년 08월 21일 11시 17분 30초~2000년 08월 31일 03시 03분 00초) 그 분포를 그래프로 나타내었다. 이 지점은 수집기간동안 돌발상황과 같은 특별상황이 발생

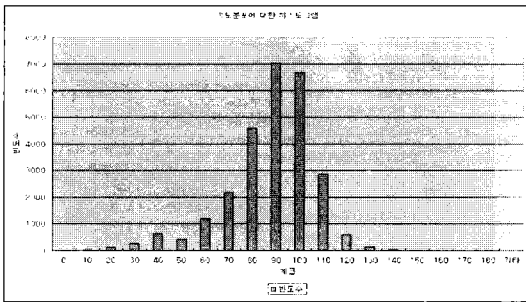
4) 한국도로공사(2000.12), "교통관리시스템 S/W 기능개선용역 교통알고리즘 기능개선부분 최종보고서", p.31.
5) Adolf D. May.(1996), "Traffic Flow Fundamentals", Prentice Hall, p.95.



〈그림 7〉 연속류상의 교통량 분포 히스토그램



〈그림 8〉 연속류상의 점유율 분포 히스토그램



〈그림 9〉 연속류상의 속도 분포 히스토그램

되지 않았으며 일상적인 교통패턴이 발생되었다.

〈그림 7, 8, 9〉를 보면 교통량과 점유율은 정규분포를 따르지 않고 있으나 속도는 정규분포 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

(3) 통계적인 기법의 결정

돌발상황이 의심되는 지점과 상, 하류부 검지기와의 패턴구분을 위하여 그룹간 동질성을 테스트하도록 하였다. 이러한 동질성 테스트를 위한 대표적인 기법으로는 Paired t-test와 비모수 통계기법인 Wilcoxon Rank Sum Test가 있다.

일반적으로 모집단이 정규성을 띠거나 샘플개수가

30개 이상일 경우 Paired t-test를 사용하는 것으로 알려져 있다.

고속도로상의 데이터의 특성을 분석한 결과 모수의 정규성 가정이 필요한 Paired t-test의 적용은 정규분포 형태를 보이는 속도에만 적용이 되며 교통량과 점유율에는 적합하지 않는 것으로 나타났다.

점유율은 정규분포를 따르지 않기 때문에 패턴을 구분하는 방법으로 Wilcoxon Rank Sum Test를 적용함이 타당하다.

일반적으로 검정의 우수성은 두 가지 기준에 의해 판정된다. 하나는 제 1종의 오류(誤謬)에 대한 제어이며, 다른 하나는 귀무가설이 참이 아닐 때 이를 기각시키는 검정력(power)이다. 일반적으로 비모수검정은 제 1종의 오류를 확실하게 제어하나 모수검정은 그렇지 못하다. 예를 들어 모집단이 정규분포를 갖는다는 가정하에 $\alpha=0.05$ 로 기각역을 결정했는데 실제로 모집단이 정규분포보다 두터운 꼬리를 갖는 분포를 갖는다면, 이와 같이 결정된 기각역의 크기는 0.05보다 훨씬 크거나 작을 수가 있다. 이러한 위험을 방지하기 위하여 비모수검정을 사용하게 되면, 실제로 모집단이 정규분포를 가질 때 검정력의 손실이 약간 있게 된다. 그러나 Wilcoxon 검정과 같은 것은 그 검정력의 손실이 작다. 예를 들어 모집단이 정규분포를 가질 때 $n1=n2=7$ 일 경우 t검정과 순위합검정의 검정력에 대한 비교는 〈표 3〉과 같다. 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 두 검정력의 차는 극히 작다.

〈표 3〉 정규모집단에 대한 검정력 비교⁶⁾

δ 값	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0
t 검정력	0.098	0.174	0.279	0.408	0.547	0.841	0.970	0.999
Wilcoxon 검정력	0.096	0.169	0.269	0.391	0.525	0.818	0.959	0.999

(단, $n1=n2=7$, $\alpha=0.05$, $\delta = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma}$, 한쪽검정)

(4) Wilcoxon Rank Sum Test에 대한 고찰

Wilcoxon Rank Sum Test는 만-위트니검정(Mann-Whitney test)이라고도 부르며, 두 모평균의 차에 대한 검정에 사용된다. 즉, 두 모평균의 차 Δ 의 검정에 사용된다. 분포에 대한 가정을 좀더 자세하게 설명하면 다음과 같다. 즉, X_1 은 연속분포 $F(x)$ 를 따르고, X_2 는 연속분포 $F(x-\Delta)$ 를 따른다고 하자. 따라서

6) 김철우 외(1996), "현대통계학", 영지문화사, p.305.

X_2 의 분포는 X_1 의 분포를 Δ 만큼 평행이동하여 얻은 것이며, 이 때 Δ 를 이동모수(shift 파라메터)라고 부른다. 검정하고자 하는 가설은 다음과 같다.

$H_0 : \Delta = 0$

$H_1 : \Delta > 0$ (또는 $\Delta < 0, \Delta \neq 0$)

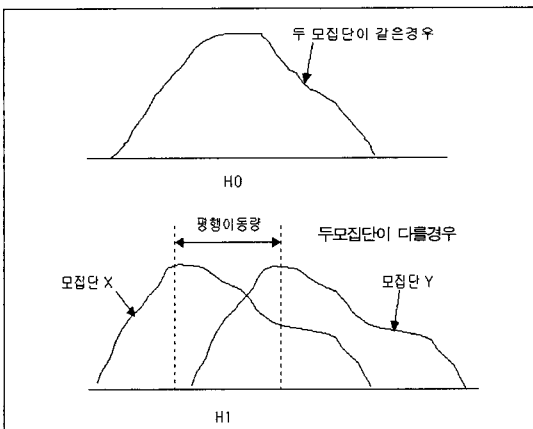
- 귀무가설 $H_0 : \Delta = 0$ 하에서(즉, H_0 가 참일 때) 두 분포는 같음을 뜻한다.
- 대립가설 $H_1 : \Delta > 0$ 하에서는 X_2 가 X_1 보다 큰 값을 가질 확률이 큼을 나타내며, 이 때 "X2는 X1보다 확률적으로 크다"라고 말한다. 앞의 모수적 방법에서 사용한 표현으로는 $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ 와 같다. 반대로 $H_1 : \Delta < 0$ 하에서는 "X2는 X1보다 확률적으로 작다"라고 한다.

이들을 요약하면 다음과 같다.

귀무가설 $H_0 : \Delta = 0$
 (두 모집단의 분포는 같다.)
 대립가설 $H_1 : \Delta > 0$
 (X_2 가 X_1 보다 확률적으로 크다.)
 $\Delta < 0$ (X_2 가 X_1 보다 확률적으로 작다.)
 $\Delta \neq 0$ (X_1 과 X_2 의 분포는 서로 다르다.)

H_0 와 H_1 하에서 두 분포함수의 모양은 <그림 10>과 같다.

두 모집단에서 관측값을 혼합하여 크기순으로 일직선상에 <그림 11>과 같이 점으로 표시하고 차례로 순



<그림 10> 모집단의 차이에 따른 데이터의 분포

	Y	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	X
순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	X	X	X	X	Y	X	Y	Y	Y	Y
순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<그림 11> 두 그룹의 순위에 따른 배열

위를 준다. 이러한 순위를 혼합표본순위(combined sample rank)라 한다.

H_0 하에서는 두 표본이 같은 모집단에서 얻어진 것과 같으므로, 두 모집단에서의 관측값이 잘 섞여 있어야 하며(두 모집단이 같은 경우), H_1 하에서는 모집단 Y가 모집단 X보다 크므로 모집단 Y에서의 관측값이 오른쪽에 나타나야 한다(두 모집단이 다를 경우). 이러한 Y에 대응되는 점들의 순위합을 구하면 모집단이 다를 경우의 순위합이 모집단이 같은 경우의 순위합보다 크게 된다.

즉 순위합검정은 혼합표본순위(combined sample rank)에서 Y의 순위합이 너무 클때 H_0 를 기각하고 H_1 을 채택하게 된다. 따라서 Wilcoxon Rank Sum Test의 검정통계량(W)을 다음과 같이 정의한다.

$W =$ 혼합표본에서 Y표본의 순위합.

이들을 정리하면 다음과 같다.

Wilcoxon Rank Sum Test
 귀무가설 $H_0 : \Delta = 0$
 검정통계량 $W = X_2$ 표본의 순위합
 기각역 (i) $H_1 : \Delta > 0$ 일 때, $W \geq c$
 (ii) $H_1 : \Delta < 0$ 일 때, $W \leq c$
 (iii) $H_1 : \Delta \neq 0$ 일 때, $W \geq c_1$ 또는 $W \leq c_2$
 * c: 유의수준 α 에 대응되는 상수값

상수 c들을 구하는 방법은 귀무가설 $H_0 : \Delta = 0$ 하에서 W-통계량의 분포는 모집단의 분포와 무관임이 알려져 있으며, 따라서 이와 같은 검정법을 분포무관 검정(distribution-free test)이라 한다.

즉, Wilcoxon Rank Sum Test는 분포무관 검정법이며, W-통계량의 분포표가 마련되어 있으므로 이를 이용하여 상수 c값을 구하여 검정을 수행한다.

(5) 모형 구축방안의 결정

상기의 과정을 통하여 기본적인 모형의 개발 방향이 설정되었으며 이를 바탕으로 다음과 같은 단계로 자동돌발상황검지 모형을 구축하였다.

[단계1] 데이터 갱신 모듈

현재 돌발상황판별을 검사하고자 하는 위치의 VDS를 i 번째 검지기라 정의하며 현재 위치의 검지기로부터 상류의 검지기를 $i-1$ 번째 검지기라 하고, 하류의 검지기를 $i+1$ 번째 검지기로 설정한다.

$i-1, i, i+1$ 번째 검지기로부터 30초의 polling 주기로 각각 수집되는 자료를 4~6개 단위의 검사 모듈(Moving Block)을 설정하여 i 번째 검지기, $i-1$ 번째 검지기, $i+1$ 검지기의 자료를 polling 주기마다 갱신하게 된다.

[단계2] Wilcoxon Rank Sum Test 모듈

i 번째 검지기 vs. $i-1$ 번째 검지기, i 번째 검지기 vs. $i+1$ 번째 검지기간 교통패턴의 동질성을 테스트하기 위하여 Wilcoxon Rank Sum Test를 수행한다. Test 결과 각 검지기의 패턴이 다른 특성을 가진다고 판정이 되면 다음의 단계 3의 과정을 수행한다.

[단계3] 돌발상황검지 모듈

단계 2의 i 번째 검지기 vs. $i-1$ 번째 검지기(상류부), i 번째 검지기 vs. $i+1$ (하류부)번째 검지기간의 동질성검정결과 상하류부 모두 일정주기 이상(4~6주기) 동일하지 않다는 결과가 나오면 돌발상황으로 판정한다.

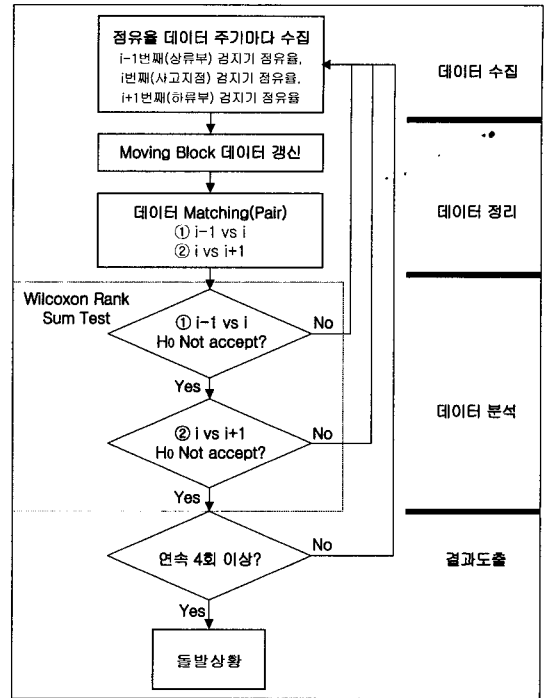
데이터의 임의적인 변동에 따른 돌발상황의 오판정을 줄이기 위하여 돌발상황의 판정시 서비스 수준을 구한 후 비교그룹의 서비스 수준이 차이가 생길 경우 오류로 처리한다. 이 절차들을 도시한 것이 <그림 12>이다.

3) 모형의 구조

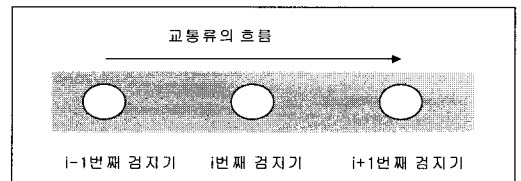
(1) 돌발상황의 검지

t 시점에서 수집되는 데이터를 X_t 라고 하자. 이러한 데이터는 i 번째 검지기 D_i 에 저장되며, 이러한 데이터 중에서 현재 시점부터 과거 polling 주기 n 번째까지의 데이터를 저장할 수 있는 $n \times 1$ 크기의 행렬 VD_i (Moving Block)를 형성하였다.

$$\text{mat } VD_i = [X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-n}]$$



<그림 12> 돌발상황 검지모형의 전체 흐름도



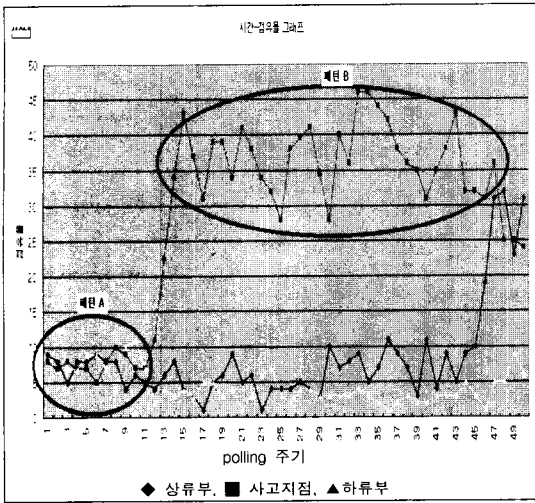
<그림 13> 모형상의 상하 검지기 위치도

일정한 n 개의 데이터를 가지는 VD_i 는 시간이 지남에 따라 새로운 데이터를 받아들여지게 되며 과거의 데이터는 삭제하게 되는 Queuing 구조(FIFO:First In First Out)를 가지도록 설정되어 있다.

돌발상황의 발생시 데이터의 패턴은 <그림 14>와 같이 일정한 패턴에서 다른 패턴으로 급격하게 전이되는 과정을 관찰할 수 있다.

<그림 14>에서 보듯이 돌발상황의 발생시 데이터는 패턴 A에서 패턴 B로 전이됨을 알 수 있으며 이렇게 전이된 시점을 돌발상황이 발생된 시기로 판정할 수 있다.

돌발상황 발생의 검지를 위하여 설정한 행렬 VD_i 와 VD_{i+1} 그리고 VD_i 와 VD_{i-1} 의 동질성을 검사하며 각각의 검지기에서 생성되는 데이터가 다른 패턴을 갖는 것을 기각역으로 한다.



〈그림 14〉 돌발상황시의 전형적인 패턴

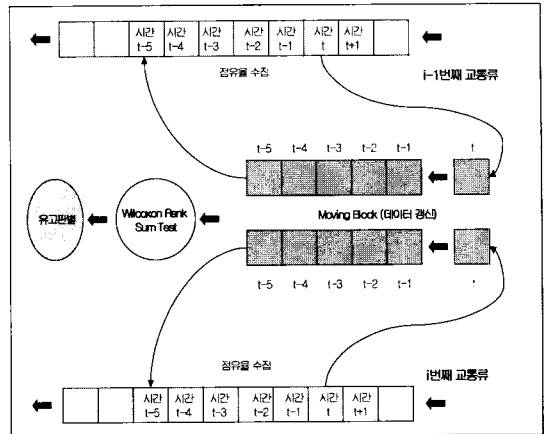
H_0 : VD_i 와 VD_{i-1} 의 데이터는 동일하지 않다고 할 수 없다.

H_1 : VD_i 와 VD_{i-1} 의 데이터는 동일하지 않다.

이러한 가정은 외부적인 요인이 없는 한 관심지점 상하류부 구간의 패턴은 동일하다는 가정하에 동질성을 검사하는 것이다.

일반적으로 2개의 패턴의 비교시 Paired t-test를 많이 수행하나 상기에서 논의되었던 바와 같이 점유율이 정규분포를 따르지 않음에 따라 비모수 통계기법인 Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 사용하여 수행하였다.

i 와 $i-1$ 번째 검지기에서 생성되는 데이터는 상호간에 독립이라는 가정하에 VD_i 와 VD_{i-1} 의 동질성을 시험하였으며, 이를 위하여 i 와 $i-1$ 번째 검지기에서 t



〈그림 15〉 Wilcoxon Rank Sum Test기법을 이용한 데이터 처리도

시점에 생성되는 VD_i 와 VD_{i-1} 의 혼합순위를 생성하기 위한 MD_i (VD_i 와 VD_{i-1} 를 병합한 행렬)를 만들어 테스트를 수행하였다. 이때, 행렬 MD_i 는 기존에 생성한 행렬 VD_i 와 VD_{i-1} 의 합과 같은 $n \times 2$ 의 크기를 가진다. (〈그림 15〉 참조)

Wilcoxon Rank Sum Test에 의하여 수행된 동질성 검사는 시간이 갱신(update) 될 때마다 지속적으로 수행이 되며 기각역 H_0 가 Not accept될 때 돌발상황 판정을 위한 모듈을 수행한다.

(2) 오류의 판별

돌발상황 판정모듈에서 돌발상황 판정이 이루어지면 서비스 수준 분석을 수행한다.

서비스 수준 분석 알고리즘은 데이터의 임의적인 변동에 따라 돌발상황으로 잘못 인식했을 경우 서비스 수준을 판정하여 정체가 발생되지 않는 범위(서비

〈표 4〉 고속도로 기본 구간의 서비스수준⁷⁾

서비스수준	밀도 (pcpkmpl)	설계 속도 120kph		설계 속도 100kph		설계 속도 80kph	
		교통량(pchpl)	v/c	교통량(pchpl)	v/c	교통량(pchpl)	v/c
A	≤6	≤700	≤0.3	≤600	≤0.27	≤500	≤0.25
B	≤10	≤1,150	≤0.5	≤1,000	≤0.45	≤800	≤0.40
C	≤14	≤1,500	≤0.65	≤1,350	≤0.61	≤1,150	≤0.58
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.8	≤1,500	≤0.75
E	≤28	≤2,300	≤1.00	≤2,200	≤1.00	≤2,000	≤1.00
F	>28	-	-	-	-	-	-

7) 대한교통학회(2000), "도로용량편람 개선연구 2단계 보고서", p.19.

스 수준 A 또는 B)로 판정되었을 때 오류로 판별하여 오보율을 최소로 줄이기 위한 모듈이다. 또한 본 연구에 주로 쓰이는 데이터인 점유율을 이용하여 손쉽게 정체를 판단할 수 있는 기준을 제시할 수 있기 때문에 오류판정 기준으로 삼았다.

최근 개정된 2001년도 도로용량편람의 고속도로 기본구간의 서비스 수준을 구하는 주요 척도는 밀도이다.

고속도로 기본 구간의 서비스수준은 밀도를 주 효과적으로 하여 판정한다.

그러나 밀도는 구간의 측정치이고 점유율은 지점의 측정치이므로 이를 적절히 변환하여 사용한다. 점유율과 밀도의 변환식⁸⁾은 다음과 같다.

$$k = R_t \times \frac{1000}{L_e} = \frac{1000 \sum t_0}{TL_e}$$

$$= \frac{10}{L_e} \left(\frac{\sum T_0}{T} \times 100 \right)$$

$$= \frac{10}{L_e} \times (OCC)$$

- k : 밀도(대/km)
 - R_t : 시간점유율(%)
 - L_e : 유효차량길이 (detection zone 길이(m) + 차량 평균 길이(m))
 - T : 총관측시간(sec)
 - t_0 : 차량의 검지기 점유시간(sec)
 - OCC : 차량의 검지기 점유율(%)
- $$\left(OCC = \frac{\sum T_0}{T} \times 100 \right)$$

이러한 변환식에 의하여 구해진 밀도에 의하여 각 각의 서비스 수준을 구할 수 있으며 비교그룹의 서비스 수준이 상이하게 구해지면 돌발상황으로 처리하

며, 동일하게 산정이 되면 데이터의 임의적인 변동에 따른 오류로 처리한다. 또한 비교그룹 모두 서비스 수준이 C보다 높은 경우로(서비스 수준 A 또는 B) 판정되는 경우는 돌발상황에 의한 정체라고 판정하기 곤란하므로 이러한 결과도 오류로 처리한다. 이러한 처리절차에 따라 임의적인 변동에 의한 잘못된 돌발 상황 검지를 방지할 수 있다.

III. 모형의 검증

1. 모형의 평가방법

모형의 평가를 위하여 3가지 실험지역을 선정하여 데이터를 조사하였으며 실험데이터는 <표 5>와 같다.

실험번호 1의 데이터는 돌발상황의 특성이 상세하게 가장 잘 나타난 자료이며 돌발상황 발생 후 몇 주기만에 돌발상황을 검지하는지 파악하기 위한 것이다. 실험번호 2는 반복적인 정체와 돌발상황의 구분을 위하여 설정하였으며, 실험번호 3은 데이터 패턴에 압축파에 의한 영향이 포함되어 있어 이를 돌발상황과 구별할 수 있는지를 실험하였다.

실험지역의 데이터의 특성을 잘 파악하기 위하여 점유율의 데이터를 그래프로 그려본 결과는 <그림 16>, <그림 17, 18>과 같다. 실험번호 2보다 실험번호 3의 경우가 데이터의 임의적인 변동이 심한 것으로 파악되었다.

2. 모형의 평가결과

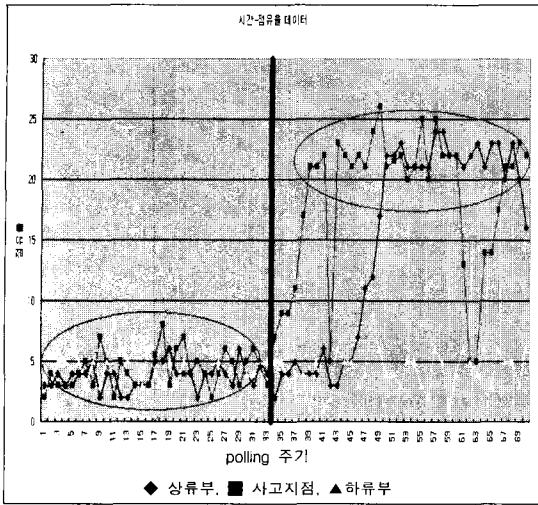
1) 실험 1의 실험결과 (검지시간)

실험 1의 자료는 돌발상황의 발생 후 몇 주기만에

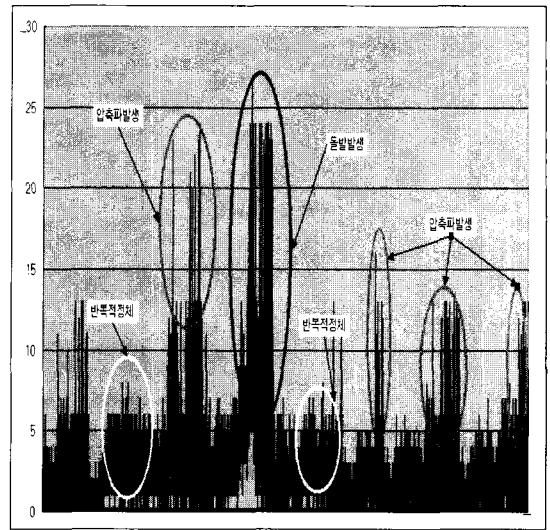
<표 5> 모형평가를 위한 실험지역의 설정

실험번호	조사지역	조사일시	데이터갯수	차로수	돌발상황 발생여부
1	영동고속도로기점 36.3km 지점 하행	2000년 9월 28일 9시20분~9시38분	70	2	돌발상황 발생
2	호남고속도로기점 62.1km 지점 상행	2000년 8월21일 ~ 2000년 8월31일	27129	4	돌발상황 발생
3	호남고속도로기점 541.3km 지점 상행	2000년 8월21일 ~ 2000년 8월31일	27129	4	돌발상황 발생

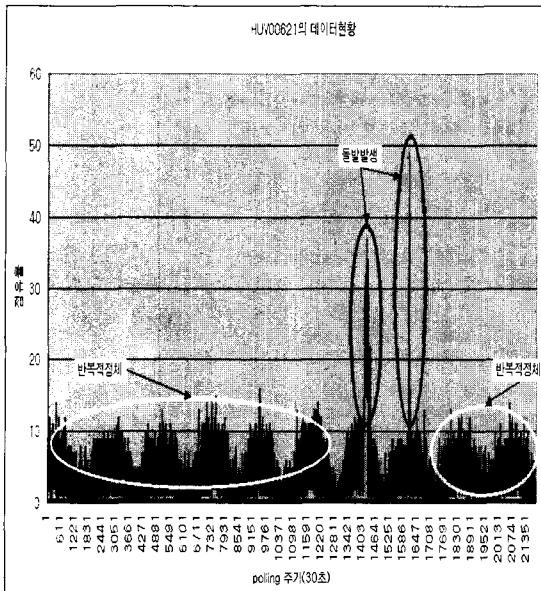
8) Texas Transportation Institute(1997), "Freeway Traffic Operations NHI Course No.13375", Federal Highway Administration, p.III-11.



〈그림 16〉 실험번호 1의 데이터 현황



〈그림 18〉 실험번호 3의 데이터 현황



〈그림 17〉 실험번호 2의 데이터 현황

모형이 돌발상황을 검지하는지 파악하기 위한 것으로 실험결과 돌발상황의 발생 후 4 polling주기인 2분 뒤에 돌발상황이 검지가 되었다.

2) 실험 2의 실험결과(반복지체와 돌발상황 구분)

실험 2의 자료는 반복적인 지체와 돌발상황의 패턴이 혼재되어 있는 자료이다. 실험 2의 목적은 반복적인 지체의 패턴을 검지하지 않고 돌발상황의 패턴이 발생되었을 때 제대로 이를 구분하는가를 파악하기

위한 것이다.

실험 2의 실험결과 반복적인 지체가 발생될 때는 검지가 이루어지지 않으며 돌발상황의 발생시 돌발상황이 발생된 시점보다 6주기 뒤인 3분 후에 발생되는 것으로 파악되었다. 이는 Wilcoxon Rank Sum Test 모듈에 의하여 H_0 의 결과가 4주기 연속적으로 Not Accept 발생되었을 경우 돌발상황으로 인지하는 것 이외에, 반복적인 지체를 돌발상황으로 검지하는 오류를 방지하기 위하여 비교 그룹 간의 현재 서비스 수준이 차이가 날 경우에 오류로 판정하기 때문에 더 오래 걸리는 것으로 분석된다.

3) 실험 3의 실험결과(압축파와 돌발상황의 구분)

실험3의 자료는 실험 1, 2의 자료에 비하여 데이터의 임의적인 변동이 심하며 반복적인 지체와 돌발상황의 패턴이 혼재되어 있는 자료이다. 이에 따라 돌발상황과 비슷한 패턴을 가지는 압축파가 자주 발생되고 있지만 실제 돌발상황은 Polling주기 15041에 나타났다.

연구의 모형을 적용한 결과 돌발상황 4주기 후인 2분 뒤에 돌발상황으로 검지 되었다. 그러나 압축파에 의한 갑작스러운 점유율 증가 및 파형상태를 이루면서 돌발상황과 비슷한 패턴이 발생하고 있으며, 이에 따라 압축파 검지모듈이 없는 본 모형에서는 돌발상황으로 인지되는 오류가 발생되었다.

실험3은 실험 2에 비하여 압축파가 발생되는 현상

에 의하여 돌발상황의 검지율이 실험 2에 비하여 떨어지는 것으로 나타났다.

3. 타모형과의 비교평가결과

기존 모형과의 비교 평가를 통하여 제안된 모형의 우수성 여부를 검증하였으며 실험 모형은 본 연구 모형 외에 현장에서 주로 쓰이고 있는 APID, DES, DELOS를 선정하여 비교평가 하였다.

1) 검지를 산정을 위한 돌발상황 표본 선정

1999년 8월~2000년 9월까지의 돌발상황 중 교통량 검지기가 설치된 구간에서 정체를 유발한 돌발상황 91건을 분류·선정하였다.

대상구간은 고속도로 경부선, 영동선, 호남선 등의 평지이며 유출입 구간이 포함되지 않는 지역을 선정하였으며 사고발생 10분전부터 사고종료 10분후까지의 수집주기 30초의 자료를 이용하였다.

2) 오보율 산정을 위한 표본선정

도로조건별로 산출한 교통사고가 발생했을때의 데이터를 이용하여 검지율 산출은 가능하나, 오보율 산출을 위한 실험에는 충분한 데이터 갯수를 가지며 수집시간동안 교통사고가 발생되지 않은 데이터를 이용하는 것이 합당하다. 오보율 산출을 위해서 연속구간 10일(30초, polling주기 27129개)의 시간범위를 가지는 데이터를 선정하였으며 공간적인 수집범위는 <표 6>과 같다.

3) 모형의 비교평가 결과

교통제한이 있는 사고만을 선별하였음에도 불구하고 APID, DES, DELOS는 60%를 넘지 못하는 검지율을 나타내었으나 오보율 측면에서는 만족스런 결과가 나타났다. 이러한 실험결과는 평균검지시간, 검지율과 오보율의 타협을 위한 거래(Trade-off)에 의한 것으로 오보율 최소화를 위한 임계치 및 파라미터 보정으로 인한것으로 나타났다.

Wilcoxon Rank Sum Test를 이용한 본 연구의 모형은 89.01%의 검지율과 0.97%의 오보율이 나타났다. 이러한 결과는 상대적으로 타 평가모형에 비해 검지율이 높은 것으로 나타났다. 오보율의 경우 향후

파라미터의 재조정에 의하여 오보율의 감소를 낮출수 있을 것이다. 또한 압축파에 의한 유사돌발상황의 발생시 다른 모형에 비하여 민감한 반응을 보여 오보율이 증가하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

<표 6> 오보율 산정을 위한 공간적인 수집범위

구간	구간연장(km)	차로 수	하행		상행		VDS 지점	
			시점	종점	시점	종점		
계	323.5						528	
경부선	소계	111.0						
	서초-천안	71.9	4	KDV 00533	KDV 07711	KUV 07711	KUV 00533	60개*2
	천안-남이	39.1	3	KDV 08492	KDV 12401	KUV 12401	KUV 08492	27개*2
호남선	회덕-집재	60.6	4	HDV 00421	HDV 06483	HUV 06483	HUV 00421	60개*2
영동선	소계	76.0						
	신갈-마성	2.7	3	YDV 00183	YDV 00453	YUV 00453	YUV 00183	4개*2
	마성-만중	73.3	2	YDV 00561	YDV 07781	YUV 07781	YUV 00561	60개*2
중앙선	호법-남이	75.9	2	JDV 04191	JDV 11781	JUV 11781	JUV 04191	53개*2

<표 7> 각 검지모형의 검지율 평가결과

검지모형	총돌발상황 갯수	검지갯수	미검지갯수	검지율
APID	91	54	37	59.34
DES		14	77	15.39
DELOS		44	47	48.35
본연구모형		81	10	89.01

<표 8> APID 검지모형의 오보율 평가결과

구간시점	검지기 갯수	총데이터 갯수	오보건수	오보율
Hdv00421	60	1626600	1980	0.121726
Huv00421	60	1626600	414	0.025452
Jdv04191	53	1436830	29422	2.047702
Juv04191	53	1436830	4636	0.322655
Kdv00533	60	1626600	39672	2.438952
Ydv00561	60	1626600	54235	3.334256
Yuv00183	4	108440	2413	2.225194
Yuv00561	60	1626600	6124	0.376491
평균				1.36

〈표 9〉 DES 검지모형의 오보율 평가결과

구간시점	검지기 갯수	총데이터 갯수	오보건수	오보율
Hdv00421	60	1626600	179	0.011005
Huv00421	60	1626600	65	0.003996
Jdv04191	53	1436830	0	0
Juv04191	53	1436830	0	0
Kdv00533	60	1626600	0	0
Ydv00561	60	1626600	74	0.004549
Yuv00183	4	108440	161	0.148469
Yuv00561	60	1626600	16	0.000984
평균				0.02

〈표 10〉 DELOS 검지모형의 오보율 평가결과

구간시점	검지기 갯수	총데이터 갯수	오보건수	오보율
Hdv00421	60	1626600	0	0
Huv00421	60	1626600	0	0
Jdv04191	53	1436830	0	0
Juv04191	53	1436830	0	0
Kdv00533	60	1626600	0	0
Ydv00561	60	1626600	0	0
Yuv00183	4	108440	0	0
Yuv00561	60	1626600	0	0
평균				0

〈표 11〉 본 연구모형의 오보율 평가결과

구간시점	검지기 갯수	총데이터 갯수	오보건수	오보율
Hdv00421	60	1627860	2760	0.169548
Huv00421	60	1627860	7221	0.443589
Jdv04191	53	1437943	5256	0.365522
Juv04191	53	1437943	6335	0.44056
Kdv00533	60	1627860	50068	3.075694
Ydv00561	60	1627860	6861	0.421474
Yuv00183	4	108524	1878	1.730493
Yuv00561	60	1627860	18276	1.122701
평균				0.97

〈표 12〉 각 검지모형의 비교 평가결과

평가항목	APID	DES	DELOS	본연구 모형
검지율	59.34	15.39	48.35	89.01
오보율	1.36	0.02	0.00	0.97

IV. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 고속도로교통관리 시스템에서 수집되는 기초 교통정보를 이용하여 고속도로의 돌발상황을 검지하는 모형을 개발하는 것이다.

본 연구의 모형은 현장에서 실시간으로 수집된 점유율을 이용하며, 기존의 산정하기가 까다로운 임계치에 의하여 돌발상황을 검지하는 방식이 아닌 위치와 시간패턴에 관계없이 모형을 일정하게 적용할 수 있도록 개발되었다.

본 연구는 사고지점 검지기와 상하류부 검지기 자료의 패턴을 비교하여 돌발상황으로 판단되는 패턴으로 변화를 검지하도록 구성하였다.

패턴의 비교방법으로는 두 그룹의 비교 검정 기법인 Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 사용하여 돌발상황을 검지하도록 하였다.

개발 모형의 신뢰성을 검토하기 위하여 반복적인 정체와 돌발상황 및 압축파가 발생하는 데이터를 수집하여 모형을 적용하였다.

본 연구의 연구를 통한 종합적인 결론은 다음과 같다.

첫째, 점유율은 속도, 교통량에 비하여 돌발상황의 패턴이 뚜렷하게 구분될 수 있도록 나타나고 있어 정확하고 빠른 돌발상황을 검지 할 수 있다.

둘째, 임계치에 의하여 돌발상황을 검지하는 방식이 아니기 때문에 기하구조와 시간대에 관계없이 모형을 동일하게 적용할 수 있으며 임계치를 설정하는 시간과 비용을 절감할 수 있다.

셋째, 대표적인 비교 검정기법인 Paired t-test의 경우 정규분포를 따라야 한다는 제약이 있다. 그러나 고속도로의 점유율의 분포는 비모수의 분포를 따르므로 비모수 통계기법인 Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 사용하여 패턴을 구분하였으며 우수한 검정결과를 도출하였다.

넷째, 반복적인 정체 및 임의적인 변동에 따른 검지의 오류를 해소하기 위하여 Wilcoxon Rank Sum Test 모듈에서 H_0 (두 패턴이 다르다.)의 수행결과가 4주기(2분)이상 반복적으로 Not Accept가 될 경우 돌발상황으로 검지하도록 하였다. 또한 임의적인 변동에 의한 검지의 오류를 방지하기 위하여 Wilcoxon Rank Sum Test 모듈의 검정 후 서비스 수준을 각각 구하여 비교 그룹의 서비스 수준이 다를 경우 오류로 판정하는 것으로 하였다.

다섯째, 파라미터의 산정결과 유의수준($1-\alpha$)은 0.064, Test Matrix의 개수는 6개가 최적인 것으로 나타났다.

여섯째, 실험지역에서 수집되는 데이터를 이용하여 모형의 적용 결과 돌발상황 발생 후 4주기(2분)후에 돌발상황을 인지하고 있으며 반복적인 정체 및 임의적인 변동의 검지는 이루어지지 않았다. 단, 돌발상황과 비슷한 패턴인 압축파의 발생시에는 이를 검지하는 오류를 나타내었다.

일곱째, APID, DES, DELOS와의 비교평가 결과 기존 모형에 비교하여 검지율과 오보율을 평가한 결과 Wilcoxon Rank Sum Test를 이용한 본 연구의 모형은 89.01%의 검지율과 0.97%의 오보율이 나타났다. 이러한 결과는 상대적으로 타 평가모형에 비해 높은 검지율을 가지는 것으로 나타났다. 오보율의 경우 향후 파라미터의 재조정에 의하여 오보율의 감소를 낮출수 있을 것이다. 또한 압축파에 의한 유사돌발상황의 발생시 다른 모형에 비하여 민감한 반응을 보여 오보율이 증가하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

본 연구와 관련되어 다음과 같은 향후연구가 요구된다.

첫째, 본 연구 모형을 발전시킨 압축파의 효과적 검지방안의 연구

APID 모형의 경우 압축파의 검지가 가능하지만 많은 시간의 소요가 필요하기 때문에 전체적으로 돌발상황의 검지시간이 늦어지는 결과가 나온다. 따라서 본 연구의 모형을 개선하여 좀더 효과적으로 빠른 시간에 검지할 수 있는 연구가 필요하다.

둘째, On-line test 수행의 필요

본 연구에서 수행한 것은 Off-line test로서 실제의 On-line test시의 검지상황은 다르게 나타날 수 있다. 모형의 현장 적용을 위해서는 실질적인 On-line test로 모형의 신뢰성의 검토가 필요하다.

셋째, 램프 유·출입부 및 터널 등의 적용

램프 유·출입부 및 터널 등과 같은 경우 상·하류부 검지기간의 데이터 흐름이 일정하지 않고 기하구조에 따라 변화가 심하기 때문에 대부분의 돌발상황 검지모형의 적용이 곤란한 경우가 많으며, 본 연구모형 역시 램프 유출입부 및 터널 등의 특수한 지점에 대한 연구가 결여되어 있으므로 향후 적용성 검토가 요구된다.

참고문헌

1. 구정욱(2000), "분류시스템을 이용한 돌발상황검지모형개발", 석사학위논문, 아주대학교 대학원.
2. 김남선(1998), "신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발", 공학석사학위논문, 아주대학교 대학원.
3. 김원경(1999), "시계열분석의 이해", 교우사.
4. 김철우 외(1996), "현대통계학", 영지문화사.
5. 대한교통학회(2000), "도로용량편람 개선연구 2단계 보고서".
6. 도철웅(1995), "교통공학원론(상)", 청문각.
7. 백용현(1999), "영상기반의 지능형 지동돌발상황검지모형개발", 공학석사학위논문, 아주대학교 대학원.
8. 이의은(1995), "고속도로 교통류의 특성분석과 그 응용에 관한 연구", 박사학위논문, 서울대학교 대학원.
9. 이종민 외(1986), "현대통계학", 법문사.
10. 한국도로공사(2000), "교통관리시스템 S/W 기능개선용역 교통알고리즘 기능개선부문 최종보고서".
11. 황준환(2000), "간선도로 돌발상황 검지기법 개발연구", 서울시립대학교 박사학위 논문.
12. Adolf D. May(1996), "Traffic Flow Fundamentals", Prentice Hall.
13. Bhagwant N. Persaud, Fred I. Hall & Lisa M. Hall(1990), "Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm," Transportation Research Report 1287.
14. Cheol Oh, Jun-seok Oh, Stephen G. Rotchie & Myungsoon Chang(2001), "Real Time Estimation of Freeway Accident Likelyhood," Transportation Research Board, 80th Annual Meeting No.01-3445.
15. Justin Black & Indu Sreedevi(2001), "Automatic Incident Detection Algorithms", <http://www.path.berkeley.edu>.
16. Kaan Ozbay & Pushkin Kachroo(1999), "Incident Management in Intelligent Transportation Systems", Artech House.
17. Marc Solomon(1991), "A Review of Automatic Incident Detection Techniques," ADVANCE

Program Technical Report NU-1d.1-1 NSF
Research Fellow Transportation Center.

18. Ostle, Turner, Hicks & McElrath.(1999).
"Engineering Statistics - The Industrial Ex-

perience", International Thomson Publishing.

19. Texas Transportation Institute(1997), "Free-
way Traffic Operations", NHI Course No.
13375. Federal Highway Administration.

♣ 주 작 성 자 : 이상민

♣ 논문투고일 : 2002. 1. 29

논문심사일 : 2002. 3. 14 (1차)

2002. 4. 8 (2차)

2002. 9. 2 (3차)

2002. 11. 12 (4차)

심사판정일 : 2002. 11. 12

♣ 반론접수기간 : 2003. 4. 30