

돌발상황 검지를 위한 Wavelet 기법의 적용성 평가

– 서울특별시 도시고속도로를 중심으로 –

Assessment of Wavelet Technique Applied to Incident Detection

– Case of Seoul Urban Freeway (Naebusunhwallo) –

김동선* · 백주현** · 송기한*** · 이성모****

Kim, Dong Sun · Baek, Joo Hyun · Song, Ki Han · Rhee, Sung Mo

Abstract

Incidents, which is unexpected unusual events such as traffic accidents, have increased on the most roads in Korea. The obstruction of a fluent traffic flow occurred by incidents causes the traffic congestion and decreases the capacity. The Wavelet technique was applied to detect the road section and the happening time of incidents on urban freeways in this study, and this technique has been widely used in many engineering fields such as an electrical engineering, etc. The availability and validity of the Wavelet technique to the detection of incidents was examined by the occupancy rate, the important element of traffic flows, which is extracted from the data of detectors installed on Seoul Urban freeways. Then, this result is compared to the California Algorithm and the Low-Pass Filtering Algorithm among basic present detection algorithms, which are based on the occupancy rate. As a result, the false alarm rate of this method was similar as that of the California algorithm and the Low-Pass Filtering algorithm, but the detection rate is higher.

Keywords : incident detection algorithm, wavelet technique, urban freeway, occupancy, detection rate

요 지

우리나라 대부분의 도로에서는 교통사고를 비롯한 기대하지 않았던 비반복적인 사건 즉, 돌발상황의 발생이 증가되고 있다. 돌발상황의 증가는 교통류의 정상적인 흐름을 방해하며 용량감소를 초래하여 교통혼잡을 야기시킨다. 본 연구에서는 도시고속도로 돌발상황을 검지하기 위한 방법으로 현재 전기공학을 비롯한 많은 공학분야에서 사용하고 있는 Wavelet 기법을 적용하였다. 이 기법을 적용하기 위한 실제자료는 서울시 도시고속도로(내부순환로)의 검지기를 통해 수집된 자료 중 교통류의 주요 변수인 점유율 자료를 이용하였다. Wavelet 기법의 적용성을 평가하기 위한 비교 알고리즘으로 기존 돌발상황 검지 알고리즘 중 점유율 기반의 California 알고리즘과 Low-Pass Filtering 알고리즘을 이용하여 모형의 유의성을 검토해 보았다. Wavelet 기법의 적용결과 오경보율(False Alarm Rate)은 California 알고리즘 및 Low-Pass Filtering 알고리즘과 비슷하였으나 검지율(Detection Rate) 측면에서는 다른 두 알고리즘보다 우수한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 돌발상황 검지 알고리즘, Wavelet 기법, 도시고속도로, 점유율, 검지율

1. 서 론

우리나라 대부분의 도로에서는 교통사고, 차량 고장, 도로 유지 및 보수작업 등과 같은 비반복적 사건 즉, 돌발상황의 발생이 증가하고 있다. 돌발상황 발생의 증가는 교통류의 정상적인 흐름을 방해하며 용량감소를 초래하여 교통혼잡을 야기시킨다. 이로 인한 교통혼잡과 대기오염 그리고 2차 사고의 위험성 유발을 포함하는 도로여건의 악화 등은 막대한 사회 및 경제적 비용을 발생시키고 있어 돌발상황의 악영향을 최소화하고 신속하게 처리하기 위한 자동돌발상황 검지

기법의 개발에 관심이 집중되고 있는 실정이다.

돌발상황 검지에 대한 연구는 이미 1960년대부터 본격적으로 진행되어져 왔으며, 대표적인 알고리즘 유형은 패턴인식(Pattern-recognition) 알고리즘, 통계적(Statistical) 알고리즘, 시계열(Time Series)과 필터링(Smoothing/Filtering)을 이용한 알고리즘, 교통류 모형과 이론을 이용한 알고리즘, Low Volume 돌발상황 검지 알고리즘, 첨단 돌발상황 검지 기법 알고리즘 등으로 구분할 수 있다.

최근에는 컴퓨터 기술의 발달로 퍼지(fuzzy) 이론이나 신경망(Neural Network) 이론, 유전자(Genetic) 알고리즘에 대

*정희원 · 대전대학교 도시공학과 교수 (E-mail : kimdns@daejin.ac.kr)

**서울대학교 지구환경시스템공학부 박사수료 (E-mail : transbaek@gmail.com)

***서울대학교 지구환경시스템공학부 박사수료 (E-mail : willkh@naver.com)

****정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 (E-mail : rheesm@snu.ac.kr)

한 연구가 활발하다. 이러한 이론을 기반으로 한 돌발상황 검지알고리즘은 알고리즘의 주요 변수인 점유율 기반의 알고리즘과 달리 임계값 설정이 필요하지 않아 많은 연구가 진행이 되고 있는 실정이다.

그러나 이러한 이론을 기반으로 한 돌발상황 검지모형은 알고리즘의 성능 평가지표인 검지율(Detection Rate)이나 오경보율(False Alarm Rate) 측면에서는 기존 점유율 기반의 알고리즘에 비해 우수한 것으로 판명이 되고 있지만 이는 시뮬레이션 상에서의 결과일 뿐 복잡한 알고리즘 구조로 인해 실제상황에는 아직 적용되지 못하고 있는 실정이다.

또한 내부순환로에서 현재 돌발상황 검지를 위해 사용하고 있는 APID, McMaster, AIDA 알고리즘은 낮은 검지율과 높은 오경보율로 인해 잦은 오경보를 발생시켜 운전자로 하여금 시스템 운영에 대한 불신을 초래하는 등 돌발상황 검지에 한계를 드러내고 있다.

따라서, 본 논문에서는 서울의 도시고속도로인 내부순환로의 검지기를 통해 수집된 자료 중 알고리즘의 주요 변수인 점유율 자료를 이용하여 Wavelet 기법에 적용해보았다. 또한 점유율 기반의 기존 알고리즘 중 가장 많이 사용되고 있는 캘리포니아(California) 알고리즘과 Low-Pass Filtering 알고리즘과의 비교를 통하여 모형의 유의성을 검증해 보았다.

본 논문은 기존 돌발상황 검지모형에서 사용하지 않았던 새로운 기법을 적용해 보는 것에도 초점을 두었던 만큼 소기의 성과를 얻었다고 판단되며, 향후 돌발상황 검지 알고리즘에 있어 새로운 이론적 방향을 제시하였다고 판단된다.

2. 문헌연구

2.1 기존 돌발상황 검지 알고리즘

2.1.1 패턴인식(Pattern-recognition) 알고리즘

돌발상황 인식기법으로서 가장 보편적으로 활용되는 기법은 패턴인식기법이다. 패턴인식 기법은 교통패턴의 차이를 직접 비교하여 돌발상황 발생여부를 판단한다. 대표적 패턴인식기법으로는 구조가 간단하여 현장 적용이 용이하고 안정적인 돌발상황 검지결과를 도출하고 있어 다른 알고리즘의 성능을 비교하는 기준으로 현재 가장 많이 사용되고 있는 캘리포니아 알고리즘이 있다.

2.1.2 통계적(Statistical) 알고리즘

통계적 알고리즘에는 검지 자료를 다양한 통계분석을 통해 가공하고, 그 결과를 이용하여 돌발상황을 파악하는 방법이다. 대표적인 통계적 알고리즘으로는 1970년대 초반 Texas Transportation Institute(TTI)에서 개발된 SND(Standard

Normal Deviate) 알고리즘과 베이시안(Bayesian)알고리즘이 있다.

2.1.3 시계열(Time Series)과 필터링(Smoothing/Filtering)을 이용한 알고리즘

대표적인 기법으로는 ARIMA(Autoregressive-moving average)모형과 HIOCC(High Occupancy) 알고리즘, DES(Double Exponential Smoothing)알고리즘 그리고 Low-Pass Filtering 알고리즘 등이 있다.

2.1.4 교통류 모형과 이론을 이용한 알고리즘

복잡한 교통류 이론을 이용하여 돌발상황시 교통 행태를 묘사하고 예측한 후 실제 교통 변수와 모형에서 예측한 변수들을 비교하는 방법으로 대표적인 알고리즘으로는 McMaster 알고리즘과 Dynamic 알고리즘이 있다.

2.1.5 Low Volume 돌발상황 검지 알고리즘

Texas Transportation Institute(TTI)에서 개발한 알고리즘은 낮은 교통량 상태에서 고속도로 구간의 개별 차량의 속도 입출력 분석을 이용한다. 이 알고리즘은 정해진 구간에서 차량은 일정한 속도로 주행한다는 가정하에 구간으로 들어오는 차량의 속도와 시간을 기반으로 출발시간을 예측한다. 예측과 실제의 출력결과를 이용하여 출력결과가 예측값보다 적으면 돌발상황 선언, 같으면 정상, 많으면 알 수 없음으로 분류한다.

2.1.6 첨단 돌발상황 검지기법

최근 컴퓨터 및 소프트웨어의 발달로 많은 연구가 이루어지고 있는 기법으로 대표적인 알고리즘으로는 Fuzzy Set 알고리즘, 신경망(Neural Network) 알고리즘, PNN(Probabilistic Neural Network) 알고리즘이 있다.

2.2 현재 적용 알고리즘

내부순환로에 구축된 돌발상황검지 알고리즘으로는 상류부와 하류부의 점유율의 누적차이를 비교하는 APID 알고리즘과 교통상태를 묘사할 수 있는 수학적 모델에 근거하여 지속적인 교통변수의 측정 및 보정과정을 이용하는 McMaster 알고리즘 그리고 영상검지기에 내장되어 수집되는 점유율과 지점속도를 이용하는 AIDA 알고리즘이 구축되어 있다.

2.2.1 APID 알고리즘

APID 알고리즘은 교통량, 속도, 점유율의 교통변수 중 속도 및 점유율의 변화 정도를 가지고, 교통량의 수준별로 돌

표 1. APID 알고리즘이 정의하는 교통상태

구분	정의	설 명
0	정상적인 교통상황	돌발상황이 아닌 정상적인 교통 상태
1	돌발상황 판정의 종료	돌발상황이 돌발상황종결검지모듈을 통해 정상적인 교통상태로 회복된 상태
2	압축파(Compression Wave) 존재	혼잡의 존재를 의미하는 압축파가 존재하는 상태
3	돌발상황 판정을 위한 임시상태	지속성 검사 모듈을 통해서 최종 돌발상황 판정을 내리기 위한 잠재적인 돌발상태
4	돌발상황	임시상태에서 지속성 검사 결과 최종적으로 돌발상황으로 판정된 상태
5	돌발상황의 지속	돌발상황으로 인한 영향이 지속되는 상태

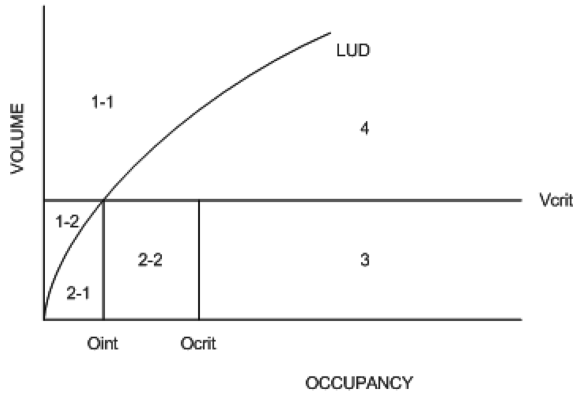


그림 1. 교통량-점유율 Template

발상향을 감지하며, 오보율을 줄이기 위해 압축과 검사 및 지속성 검사(30초 간격 4주기)를 통해 이를 보완한다.

2.2.2 McMaster 알고리즘

McMaster 알고리즘은 30초 주기별로 데이터를 수집하여, template 상의 영역 판정 후 해당 station의 상태를 결정하고, 각각의 혼잡 원인을 파악하여 돌발상황을 감지한다. 또한 각 상태를 결정된 후 해당 상태에서 30초 단위 4주기 이상 지속될 경우, 알고리즘은 이것을 돌발상황으로 선언하게 된다.

2.2.3 AIDA 알고리즘

AIDA 알고리즘은 속도, 점유율을 근거로 교통량 저하 감지 및 정지 차량을 감지하며, 현재의 속도 및 점유율의 변화가 내장된 임계값을 10초 간격으로 30초 이상 초과하면 이를 돌발상황으로 인한 용량저하로 감지하고 또한 속도가 돌발상황 이전 속도의 80%로 회복되면 경보를 해제한다.

2.3 Wavelet 기법

Wavelet은 비교적 최근에 개발된 시계열 및 신호 분석 도구이다. 이는 푸리에(Fourier) 변환의 단점을 극복하고자 제안된 도구로서 처음 Wavelet 이라는 용어가 학계에 등장한 것은 1909년 Harr의 논문이지만 본격적으로 이론으로 정립되기 시작한 것은 1980년 초부터이다. 지난 10여년동안 과학자, 공학자들간의 상호교류를 통해 'Wavelet'이라는 이름으로 통일되었다.

Wavelet은 쉽게 이야기해서, 푸리에 변환의 sinusoid(sine, cosine)과 같다. 즉, 신호(signal)를 표현하기 위한 기본적인

표 2. 교통량-점유율 template의 영역별 설명

구분	영역	설명
비혼잡	1-1	소통원활 속도 이상으로 운영되는 비혼잡상태
	1-2	
혼잡	2-1	일반적인 혼잡 상태
	2-2	비정상적인 혼잡 상태로서 사고나 돌발로 인한 혼잡 상태
	3	불안정류의 혼잡 상태
	4	용량에 근접한 교통량을 가진 혼잡 상태(주로 램프 합류부 전방 지점)

단위이다.

Wavelet을 푸리에 분석의 기본 함수인 sine 파와 비교를 해보면 Sinusoid는 무한히 주기적인 함수인데 반해 Wavelet은 제한된 시간 범위를 가진다. 또한 그 형태에 있어서 Sinusoid가 부드러운(미분가능한 함수) 모양을 땀에 비해, Wavelet은 불규칙하고, 대칭성이 없는 경우가 많다. 또한 시간영역에서 국소적인 파로서 정의된다.

Wavelet 분석은 푸리에 분석에서 signal을 다양한 진동수의 sine파로 쪼개듯이 signal의 기본이 되는 Wavelet(Mother Wavelet)의 확장(또는 축소) 또는 이동(shift)을 통해 만들어진 Wavelet(Daughter Wavelet)을 이용하여 signal을 쪼개어 표현하는 방식이다.

또한, Wavelet은 크기를 결정하는 압축계수(scale)와 시간 축으로의 이동에 관계되는 전이계수(translation)로 구성된 함수의 집합체로 정의할 수 있다.

$$\phi_{a,b}(t) = a^{-\frac{1}{2}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

여기서, a 는 압축계수, b 는 전이계수를 나타낸다.

나아가 Wavelet 변환 함수는 아래와 같다.

$$f(t) = \sum_{j,k \in Z} c_{j,k} \phi_{j,k}(t) \quad (2)$$

여기서, $c_{j,k}$ 는 Wavelet 계수이다.

3. 자료구축 및 분석

3.1 검지기 정보수집 체계

본 연구에서는 Wavelet 모형의 적용을 위해 서울시 도시고속도로 중의 하나인 내부순환로의 검지기 자료를 이용하였다. 검지기의 자료는 내부순환로 북부구간 내·외선, 강변북로 내·외선, 동부간선 구간 내·외선으로 구분되어 수집되며 2003년 2월 5일부터 11일까지 일주일 동안의 24시간 자료를 이용하였다. 수집된 자료는 30초 단위로 집계되며 검지기를 통해 수집되는 자료는 차로별 교통량, 속도, 점유율이다. 또한 검지기는 본선부는 평균 500m, 터널부는 250m 간격으로 설치되어 있다.

3.2 자료의 가공

수집된 자료는 연구의 목적에 맞게 가공되었다. 수집된 자료 중 본 연구에서는 내부순환로 북부구간 내·외선 자료만을 사용하였으며 진·출입 구간의 검지기 자료는 제외를 하였다. 따라서 북부구간 내선검지기 53개, 외선검지기 55개에서 수집되는 자료를 사용하였으며 위에서 밝힌 바와 같이 본 연구에서는 검지기를 통해 수집되는 자료 중 점유율 자료만을 사용하였다. 점유율 자료는 다시 차로별 평균을 구하여 모형에 적용하였다.

또한 수집된 점유율 자료 중에는 차량의 이동이 적은 새벽시간대에는 점유율이 0인 구간도 있는데 이러한 구간에는 0.1을 더하여 보정하였다. 그 이유는 모형의 비교를 위해 사용된 캘리포니아 알고리즘에서 점유율을 이용한 계산식 중에서 점유율이 분모로 사용되는 경우가 있기 때문이다.

표 3. 날짜별 돌발상황 발생 현황

	내선	외선	총합
2월 5일	5	2	7
2월 6일	1	4	5
2월 7일	4	4	8
2월 8일	0	4	4
2월 9일	2	1	3
2월 10일	5	3	8
2월 11일	3	2	5
총합	20	20	40

3.3 자료의 분석

본 연구의 공간적 범위인 내부순환로 북부구간의 경우 총 40건의 돌발상황이 발생하였는데 수집된 자료를 분석해 본 결과 가장 중요한 돌발상황 발생의 원인은 차량의 고장, 공사차량으로 인한 돌발상황 그리고 차량간 추돌사고 및 충돌 사고에 의한 돌발상황 등 네 가지로 요약할 수 있었는데, 이 중 고장차량에 의한 돌발상황이 가장 많았고, 다음으로 추돌사고에 의한 돌발상황, 공사차량에 의한 돌발상황, 충돌 사고에 의한 돌발상황의 순이었다.

그리고 총 40건의 돌발상황 발생 중 내·외선 각각 20건 씩의 돌발상황이 발생하였다. 날짜별 돌발상황 발생 현황을 살펴보면 2월 7일과 10일에 각각 8건씩 발생하여 가장 많이 발생하였고 다음으로 2월 5일의 7건이었다(표 3 참고).

마지막으로 돌발상황의 평균 지속시간은 28분으로 분석되었다.

4. Wavelet 기법을 적용한 돌발상황 검지모형 평가

4.1 돌발상황 검지를 위한 Wavelet 기법의 적용*

일반적으로 돌발상황이 발생하면 상류부의 점유율은 증가하고 하류부의 점유율은 감소할 것이다. 이러한 점유율의 변화를 기반으로 한 돌발상황 검지모형으로는 캘리포니아 알고리즘(Payne and Tignor, 1978)과 low-pass filtering 알고리즘(Stephanedes and Chassiakos, 1993)있다. 본 연구에서도 두 알고리즘과의 비교를 위해 상류부와 하류부의 점유율의 차이를 변수로 사용하였다. 구간에서의 상류부와 하류부의 점유율은 각각, 로 표시하였다. wavelet 기법을 적용하기 위해서는 각 구간에서의 점유율 개수가 필요한데 본 연구에서는 8분 자료(즉, 16개의 점유율 자료)를 사용하였다.

$$DWT\{[y_i^n - y_i^d]_{16}\}, \tag{3}$$

여기서, $[y_i^n - y_i^d]_{16} = [(y_i^n - y_i^d), \dots, (y_{i-15}^n - y_{i-15}^d)]$

또한, $n=16$ 이고 16개자료 집합 $X[n]$ 의 DWT는 다음과 같다.

$$DWT\{X[n]\} = [c_{1,1}, c_{1,2}, d_{1,1}, d_{1,2}, d_{2,1}, \dots, d_{2,4}, d_{3,1}, \dots, d_{3,8}]_{X[n]} \tag{4}$$

여기서, $c_{1,1}$ 및 $c_{1,2}$ =scale coefficient이고 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$c_1\{DWT\{X[n]\}\} = [c_{1,1}, c_{1,2}]_{X[n]} \tag{5}$$

그리고, 1,2,3 단계에서 DWT 계수는 다음과 같이 표현한다.

$$d_1\{DWT\{X[n]\}\} = [d_{1,1}, d_{1,2}]_{X[n]} \tag{6}$$

$$d_2\{DWT\{X[n]\}\} = [d_{2,1}, \dots, d_{2,4}]_{X[n]} \tag{7}$$

$$d_3\{DWT\{X[n]\}\} = [d_{3,1}, \dots, d_{3,8}]_{X[n]} \tag{8}$$

돌발상황을 검지하기 위한 첫 번째 단계는 DWT 계수의 변화를 통해 교통류의 현저한 변화를 검토하는 단계이며, 그 결정함수는 다음과 같이 표현한다.

$$\max\{d_3\{DWT\{[y_i^n - y_i^d]_{16}\}\}\} \max\{[d_{3,1}, \dots, d_{3,8}]_{[y_i^n - y_i^d]_{16}}\} \geq a \times T_{16} \tag{9}$$

여기서, $a \times T_{16}$ 은 임계값의 역할을 한다.

Wang(1995)은 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$T_n = \sigma(2\log n/n)^{1/2} \{1 + O(1/(\log n))\} \tag{10}$$

여기서, n 은 신호의 길이이고 σ 는 noise의 표준편차이다.

본 연구에서는 n 은 16으로 결정했는데 n 이 T_{16} 일 경우에 $\sigma(2\log 16/16)^{1/2}$ 은 이다.

σ 값을 추정하기 위해 본 연구에서는 Ogden(1997)이 제안한 추정식을 이용하여 추정하였다.

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{median}(\{d_3\{DWT\{X[n]\}\}) - \text{median}(d_3\{DWT\{X[n]\}\})}{0.6745} \tag{11}$$

두 번째 단계는 상류부와 하류부의 점유율의 차이를 확인하는 것이다. 두 번째 단계의 결정함수는 다음과 같이 표현된다.

$$c_{1,2}\{DWT\{[y_i^n - y_i^d]_{16}\} - c_{1,1}\{DWT\{[y_i^n - y_i^d]_{16}\}\} > b \tag{12}$$

위의 내용들을 요약해보면 식 (9)와 (12)가 모두 만족될 경우에만 경보를 울리는데 만약 경보가 사실일 경우에는 돌발상황이 끝난 후에 알고리즘이 수행되며 오경보일 경우에는 충분한 점유율 자료를 다시 구한다음 알고리즘을 재시작하여야 한다.

위에서 제시한 Wavelet 기법을 구현하기 위해 본 연구에서는 matlab 프로그램의 Wavelet toolbox를 이용하여 계산할 수 있었다.

4.2 돌발상황 검지 알고리즘의 효과척도(MOE)

돌발상황 검지 알고리즘의 효율성(수행성능)을 평가하는 효과척도(MOE)에는 검지율(DR : Detection Rate), 오경보율(FAR : False Alarm Rate), 평균 검지시간(TTD : Time to Detection) 등 세 가지를 들 수 있다.

먼저 검지율(DR)은 일정시간 동안의 총 돌발상황 발생 건수 중에서 돌발상황 검지 알고리즘에 의해 검지된 돌발상황 건수의 비율을 말하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

*Hualiang Teng, Yi Qi 의 논문(2003)에서 인용

$$\text{검지율}(DR) = \frac{\text{검지건수}}{\text{총발생건수}} \times 100(\%)$$

오경보율(FAR)은 총 경보횟수 중에서 오경보된 횟수의 비율로 나타내는 방법으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{오경보율}(FAR) = \frac{\text{오경보횟수}}{\text{총경보횟수}} \times 100(\%)$$

평균검지시간(TTD)은 돌발상황이 발생한 시간부터 알고리즘에 의해 돌발상황이 검지되는데 걸리는 시간을 의미한다.

본 연구에서는 실제 자료를 이용할 경우 성능평가 기준으로 사용하기 힘든 평균검지시간을 제외한 검지율과 오경보율을 돌발상황 검지 알고리즘 평가의 효과적으로 사용하였다.

4.3 기존 돌발상황 검지 알고리즘과의 비교 평가

4.3.1 비교 알고리즘

본 연구에서는 Wavelet 모형과의 비교를 위해 점유율 기반의 대표적인 알고리즘인 캘리포니아 알고리즘과 Low-pass filtering 알고리즘을 이용하였다.

(1) 캘리포니아 알고리즘

캘리포니아 알고리즘(Payne and Tignor, 1978)은 점유율 기반의 대표적인 알고리즘으로 가장 많이 사용되는 알고리즘의 하나이다. 캘리포니아 알고리즘은 총 3가지 test로 구성된다.

$$OCCDF \geq T1 \quad (13)$$

$$OCCRDF \geq T2 \quad (14)$$

$$DOCCTD \geq T3 \quad (15)$$

여기서, OCCDF, OCCRDF, DOCCTD는 각각 %점유율의 공간적 차이, 점유율의 공간적 상대 차이, 하류점유율의 시간적 상대차이를 나타내며, 오른쪽의 T1, T2, T3는 임계값을 의미한다.

(2) Low-pass filtering 알고리즘

Low-pass filtering 알고리즘(Stephanedes and Chassiakos, 1993)은 2개의 test로 구성되어 있다. 첫 번째는 돌발상황으로 인한 점유율의 급격한 변화를 3분 이동평균(또는 중앙값)을 이용하여 검사하는 것이고, 두 번째는 병목현상으로 인한 혼잡과 돌발상황을 구별하기 위하여 5분 이동평균(또는 중앙값)을 이용하여 검사하는 방법이다.

$$y_t^a = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^5 x_{t+k} = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^5 O_{t+k}^u - \frac{1}{6} \sum_{k=0}^5 O_{t+k}^d \quad (16)$$

$$y_t^b = \frac{1}{10} \sum_{k=0}^9 x_{t-j} = \frac{1}{10} \sum_{k=0}^9 O_{t-j}^u - \frac{1}{10} \sum_{k=0}^9 O_{t-j}^d \quad (17)$$

$$\Delta y = y_t^a - y_t^b \quad (18)$$

$$m_t = \frac{1}{10} \max \left(\sum_{k=0}^{10} O_{t-j}^u; \sum_{k=0}^{10} O_{t-j}^d \right) \quad (19)$$

$$\text{RAT1} = \frac{y_t^a}{m_t} > \text{Thr1} \quad (20)$$

표 4. 알고리즘 비교 결과

	Wavelet	캘리포니아	Low-pass filtering
DR	70%	63.6%	57.3%
FAR	3.5%	3.49%	3.53%

알고리즘별 비교결과

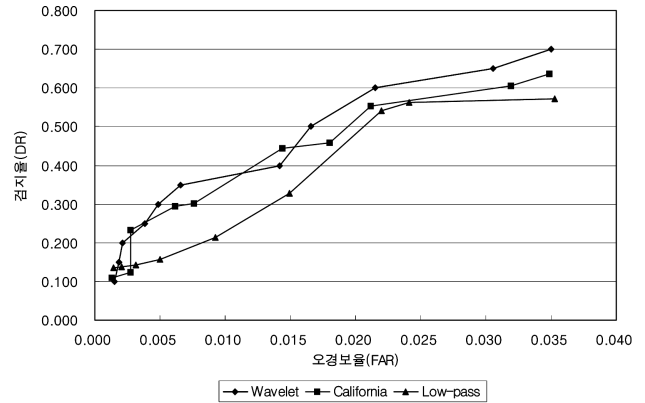


그림 3. 알고리즘별 비교결과

$$\text{RAT2} = \frac{\Delta x}{m_t} = \frac{y_t^a - y_t^b}{m_t} > \text{Thr2} \quad (21)$$

4.3.2 비교 결과

Wavelet 모형과 두 모형을 평가하기 위한 방법으로 일정 시간 동안의 총 돌발상황 발생 건수 중에서 돌발상황 검지 알고리즘에 의해 검지된 건수의 비율인 검지율(DR)과 알고리즘 총 수행횟수 중에서 오경보 수행횟수의 비율로 나타내는 오경보율(FAR)을 이용하였다.

자료 수집 기간동안 내부순환로 북부구간의 내·외선을 합친 돌발상황검지건수는 40건으로 나타났다. 이를 기준으로 알고리즘별 비교 결과 본 연구에서 적용해 본 Wavelet 기법은 오경보율은 다른 두 가지 알고리즘과 비슷한 결과를 보였지만 검지율은 70%로 다른 알고리즘에 비해 상대적으로 높음을 알 수 있다(표 4 및 그림 3 참조). 그리고 알고리즘 간의 결과를 살펴보면 검지율의 상승은 곧 오경보율의 상승을 가져오는 trade-off 관계임을 알 수 있다. <그림 3>에 표시된 눈금들은 임계값의 변화에 따른 알고리즘 수행의 결과, 다시 말해 임계값의 범위에 따른 검지율과 오경보율의 값이며 검지율이 최대가 되었을 경우의 임계값의 범위는 Wavelet 기법의 경우 $11 \leq T1 \leq 15$, $0.25 \leq T2 \leq 0.5$, $0.12 \leq T3 \leq 0.18$ 이며, Low-pass filtering 알고리즘은 $0.18 \leq \text{Thr1} \leq 0.25$, $0.08 \leq \text{Thr2} \leq 0.25$ 이었다. 임계값의 경우 기발표된 논문들의 연구 결과 범위를 참고하여 프로그램의 반복수행을 통해 얻어진 결과이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 돌발상황 검지를 위해 기존의 알고리즘이 아닌 Wavelet 기법을 적용해 보았다. 적용 결과 비교 알고리즘들인 캘리포니아 알고리즘과 Low-pass filtering 알고리즘보다

감사의 글

본 논문은 대진대학교의 연구지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

검지율 측면에서 우수한 것을 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구에서 적용해 본 모형들은 실제 자료를 가지고 모형에 적용을 해 보았기 때문에 이론적인 알고리즘 성능 평가시의 지표들보다는 값이 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션에 의한 알고리즘과 실제 자료를 이용한 알고리즘을 직접 비교하는 것은 무리가 있다고 사료된다.

본 연구에서는 교통류의 주요 변수인 교통량, 속도, 점유율 중에서 교통량, 속도를 제외한 점유율 자료만을 가지고 모형에 적용해보았기 때문에 향후 교통량, 속도, 점유율을 모두 고려한 모형에 대한 연구가 필요하다고 생각되며 진출입부의 검지기 자료는 이질적인 교통류로 분리하여 본 모형의 자료 구축과정에서 제외를 시켰는데 앞으로는 기본 구간 뿐만 아니라 진출입부 교통류의 영향도 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

마지막으로 본 연구에서 얻어진 임계값은 구간이 상이할 경우 달라질 수 있기 때문에 도로구간에 적합한 알고리즘에 대한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

하지만 본 연구는 기존 모형에서 사용하지 않았던 기법을 적용해 보는 것에도 초점을 두었던 만큼 소기의 성과를 얻었다고 판단되며, 향후 돌발상황 검지 알고리즘에 있어 새로운 이론적 방향을 제시하였다고 판단된다.

- 백용현 외(2001) 영상기반의 자동 유고검지 모형 개발, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제19권 제6호.
- 임성만(2003) 도시고속도로 돌발상황 검지 알고리즘 개발에 관한 연구-돌발상황시 도로의 혼잡상태 구분을 통한 자동 검지기법 개발을 중심으로, 박사학위논문, 서울시립대학교.
- 장세봉(1997) 인공신경망을 이용한 고속도로 자동 유고검지 모형의 개발, 박사학위논문, 서울대학교.
- 황준환(2000) 간선도로 돌발상황 검지기법 개발 연구, 박사학위논문, 서울시립대학교.
- Hualiang Teng et al. (2003) Application of wavelet technique to freeway incident detection, *Transportation Research Part C11*, pp. 289-308.
- Yazhen Wang (1995) Jump and sharp cusp detection by wavelets, *Biometrika*, Vol. 82, No. 2, pp. 385-397.
- Yorgos J. Stephanedes et. al. (1993) Application of filtering techniques for incident detection, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 119, No. 1, pp. 13-26.

(접수일: 2006.5.22/심사일: 2006.6.12/심사완료일: 2006.6.20)