

■ 論 文 ■

검지기간 속도-밀도의 관계를 활용한 돌발상황 감지기법

An Incident Detection Method for Using Speed-Density Relations

이 선 하

(국립공주대학교 건설환경공학부 교수)

안 우 영

(국립공주대학교 건설환경공학부 교수)

강 희 찬

(국토연구원 연구원)

목 차

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| I. 서론 | 1. 분석자료 |
| II. AID 알고리즘 고찰 | 2. 실증적 분석 |
| III. $\Delta(v-k)$ 기법 개념정립 | V. 결론 및 향후 연구과제 |
| IV. 실증자료 분석 | 참고문헌 |

Key Words : 돌발상황, 속도-밀도관계, 고속도로교통관리시스템(FTMS), 돌발감지기법(AID), 돌발발생장소

요 약

돌발상황이 발생하였을 경우 발생장소를 기준으로 상류부와 하류부에서는 교통류의 특성이 서로 다르게 나타난다. 즉, 상류부에는 저속으로 운행하는 높은 밀도의 교통류가 그리고, 하류부에는 고속으로 운행하는 낮은 밀도의 교통류가 형성되는 것이다. 본 연구에서는 이러한 특성을 이용하여 돌발발생 장소의 상·하류부 검지기 간의 속도와 밀도의 차이를 시간적, 공간적으로 동시에 고려한 돌발감지기법을 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 기존에 운영되고 있는 비교기법에 속하는 돌발감지기법들이 점유율 단독 또는 점유율과 운행속도의 추세를 별개로 분석한 후 두 개 지표의 변화추세를 고려한 것에 비하여 검지기 간의 거리 및 속도와 밀도를 동시에 고려 할 수 있는 개념을 제시하는데 그 의미가 있다.

천안-논산고속도로의 사고 상황 자료를 바탕으로 off-line 상에서 본 기법을 적용한 결과 인접 검지기 간의 속도-밀도관계를 분석함으로써 사고위치와 검지기간의 관계 등을 포함한 돌발상황을 감지할 수 있었다. 향후 본 기법이 고속도로교통관리시스템(FTMS)의 돌발감지기법(AID)으로 적용되기 위해서는 광범위한 자료를 바탕으로 돌발을 판정할 수 있는 임계치, 사고의 파장정도 및 돌발발생장소와 검지기 간의 위치에 따른 변화추이 등에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

This paper presents a novel incident detection method for using the speed-density difference between detectors. When a incident is happened, the downstream traffic condition is mostly lower speed and higher density and the upstream is higher speed and lower density. In respect of such characteristics, we can suggest a method for detecting an incident based on the speed-density information provided from detectors.

The incident detection method is tested by using the accident data collected from the Cheonan-Nonsan Highway. The results show that such an incident detection method can analyze the position of accident by comparing the speed-density difference between detectors. The work described in this paper is only at an early stage, in the sense that there are several areas to be further investigated in application of this method, such as setting a critical value for judging the incident, a level of accident wave, a varying pattern between the incident locations and detectors, etc.

I. 서론

고속도로교통관리시스템(FTMS)은 도로의 이용효율을 높이고 안전을 증대시키는 것이 목적으로서 매우 동적인 특성을 갖고 있는 교통류의 파장을 신속하게 감지하고 돌발 원인에 적합한 대응방안을 구사할 수 있어야 한다. 따라서 FTMS에 있어서 검지기의 교통자료를 바탕으로 지속적인 상황분석을 수행하는 돌발감지기법(AID: Automatic Incident Detection)은 매우 중요하다.

FTMS의 AID는 돌발로 인한 교통상황의 시간적, 공간적 변화추세를 임계치 비교, 통계기법이나 보다 지능화된 교통류모형 등 다양한 종류의 알고리즘에 의하여 운영된다. 현재 활용 중에 있는 알고리즘들 대부분은 하나 또는 두 세 개의 검지기로부터 측정되는 점유율이나 속도의 변화율을 임계치 또는 통계적으로 분석된 이력자료와 비교하여 돌발상황을 감지하는 원리로 운영되고 있다. 국내에서는 다중화방안이 그 추세로서 California 알고리즘에 기반 한 APID, McMaster와 영상검지기 자체 알고리즘 등 서로 다른 알고리즘에 의하여 돌발상황을 판정한 후 이들을 조합하여 예를 들어 2개 이상 알고리즘에서 돌발이 발생하였을 경우 돌발로 판정 하는 방식으로 운영하고 있다.

본 연구는 돌발발생 장소를 기준으로 상류부에는 낮은 속도와 높은 교통밀도를 갖는 교통류가, 하류부에는 높은 속도와 낮은 밀도의 교통류가 발생하는 교통특성을 이용하여 두 개 검지기 간의 속도(v)와 밀도(k)를 바탕으로 돌발을 감지할 수 있는 기법을 제시하는 것이다. 이 기법은 i 지점에서 t 시점의 속도 $v(i, t)$ 의 자유 속도 v_{free} 에 대한 손실속도($v_{free} - v(i, t)$)의 비율, 최대 밀도 k_{max} 에 대한 t 시점의 밀도 $k(i, t)$ 에 대한 비율을 하나의 값으로 표현하는 $vk(i, t)$ 를 구하고 하류부 검지기에서의 $vk(i, t)$ 과 상류부 검지기의 $t - \Delta t$ 시점의 $vk(i - 1, t - \Delta t)$ 값의 차이인 $\Delta(v - k)$ 를 산출하여 두 개 검지기 사이에서 발생한 돌발상황을 감지하게 된다. 따라서 $\Delta(v - k)$ 는 두 개 검지기 간의 공간적 간격과 시간적 간격을 고려하게 되며¹⁾, v_{free} 와 k_{max} 에 대한 상대적인 교통흐름을 반영함으로써 도로의 여건을 고려할 수도 있다는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 현재 국내에서 운영 중인

AID에 대하여 고찰을 한 후, 3장에서 $\Delta(v - k)$ 기법의 개념을 도출하고 4장에서는 국내 고속도로의 돌발 상황 발생자료를 토대로 $\Delta(v - k)$ 기법에 대한 적용 가능성을 분석하고, 마지막으로 결론 및 추후과제를 제시하였다.

II. AID 알고리즘 고찰

현재 운영되고 있는 AID는 이용되고 있는 검지기의 종류나 또는 돌발판정에 적용되는 알고리즘 종류 등 다양한 기준에 의하여 분류된다. 검지기 종류에 의한 경우 자기검지기, 영상검지, 자동차량인식, mobile phone 등으로 구분될 수 있다.

본 연구에서는 돌발판정의 알고리즘을 위주로 하여 <표 1>과 같이 그 기법들을 분류하고 각 알고리즘별로 그 원리와 함께 성능 등을 종합적으로 고찰하였다.

비교기법에 속하는 알고리즘들은 대부분 속도, 점유율 등의 지표를 이용하여 상·하류부 교통류 지표에 큰 변화가 발생한 경우 임계치와의 비교를 통하여 돌발을 감지하게 된다. California 알고리즘은 두 개의 검지기로부터 측정되는 점유율의 차이, 이 차이 값과 지점 점유율의 비율과 하류부 검지기 점유율의 시간적 변화율을 임계치와 비교하여 Decision Tree에 의해 돌발을 판정한다. California 알고리즘은 10개의 수정된 종류가 있으며 장점으로는 구조가 간단하여 현장 적용이 용이하다는 것이나 반면에 동적 교통류 특성을 반영하지 못하며, 오보율이 높고 임계치 설정이 어렵다는

<표 1> AID 알고리즘 분류

분류	알고리즘
비교기법	패턴인식
	Basic California
	Modified California
	All Purpose Incident Detection (APID)
통계적	표준분산
	Bayesian
시계열	ARIMA High Occupancy
평활화	지수평활화 Low-pass filtering
교통류 모형	Dynamic Model
	McMaster

1) v_{free} 와 k_{max} 를 통하여 도로교통여건을 반영 할 수 있다는 의미이며, 이 값들을 구하는 것 자체가 많은 데이터의 분석을 필요로 하고 있어 어려운 점은 사실이나, 이는 다른 AID 알고리즘의 운영에 있어서도 고려되어야 할 사항임.

것이 단점으로 지적되고 있다. APID 알고리즘은 두 개의 검지기에 대한 점유율의 크기에 따라 “많은 교통량”, “중간 교통량”과 “낮은 교통량”으로 구분한다. “많은 교통량”일 경우 기본적인 캘리포니아 알고리즘을 이용, “중간 교통량”일 경우 점유율의 공간적 차이와 속도의 시간적 차이를 이용하게 된다.

통계적 기법은 측정된 검지데이터를 정규분포 등의 통계학적 기법을 통해 임계값을 정한 뒤 신뢰범위를 벗어날 경우 돌발을 감지하는 방법이다. 이때 신뢰범위는 비돌발상황일 경우 교통자료의 dBase로부터 선정되며 임계값은 고정된 것이 아닌 교통제어변수의 변화율을 고려하여 결정된다. 표준분산알고리즘은 측정된 교통변수의 급격한 변화는 돌발발생을 암시한다는 가정에 기초하고 있으며 높은 감지율과 함께 오보율도 높으나 산출시간이 짧다는 장점이 있다. Bayesian 알고리즘은 도로용량 감소를 초래하는 이벤트의 빈도에 관한 이력 자료를 이용하여 돌발발생 확률을 산출한다.

시계열알고리즘은 한 지점에서 수집되는 교통변수의 1~2간격 이전의 자료들을 기반으로 현재 값을 예측한 후 이를 실측값과 시추적으로 계속 비교하여 임계값을 초과하면 돌발을 판정하는 것으로 단기에측용으로 개발된 Auto-Regressive Integrated Moving-Average Algorithm(ARIMA)가 대표적이다. High Occupancy는 개별 자기검지기의 점유율로부터 정체되거나 저속으로 운행하는 차량을 감지하여 돌발을 판정한다.

오보율을 낮추기 위하여 대부분의 알고리즘들은 돌발 임계치가 일정 기간 이상 경과할 때까지 경고음을 연장시키기 위하여 지속성과 압축과 검사를 수행하거나 이는 검지시간의 증가를 초래한다. 이러한 것을 고려하여 평활화와 필터링 알고리즘들이 일시적인 “sharp”한 현상을 제거하기 위하여 적용된다.

교통류 모형 알고리즘은 거시적·미시적 교통류 모형을 결합하여 돌발상황 하에서 속도는 매우 민감한 변화를 보여주는 반면 교통량과 점유율은 완만하게 변화한다는 것을 전제로 한다. 교통류 상황을 예측하여 실제 관찰된 교통량, 밀도(점유율), 속도 등의 교통변수들과 비교하여 돌발발생 여부를 판단한다. McMaster 알고리즘은 파국이론(Catastrophe Theory)을 근거로 독립적인 검지기별로 속도~교통량~점유율 간 관계를 이용하고 있다.

AID는 시스템을 구성하는 검지기의 종류, 수집자료의 특성과 보정 정도에 따라 검지율, 오보율, 검지시간

<표 2> AID알고리즘별 교통자료와 성능비교

알고리즘	교통량	점유율	검지율 (%)	오보율 (%)	검지시간 (분)
California #7		×	67	0.134	2.91
California #8		×	68	0.177	3.04
표준분산	×	×	92	1.3	1.1
Bayesian		×	100	0	3.9
ARIMA	×	×	100	1.5	0.4
지수평활화		×	92	1.87	0.7
McMaster	×	×	68	0.0018	2.2

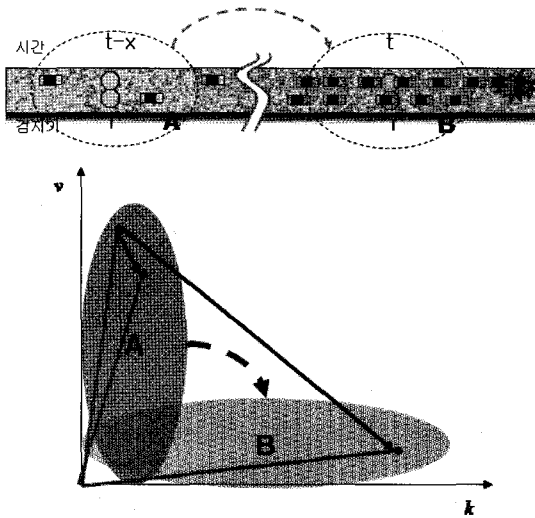
출처 : Review and evaluation of incident detection methods, Yi Wang

등의 성능 값이 다르게 나타난다. 고정된 임계값을 필요로 하는 대부분의 알고리즘은 도로기하구조, 기상상황, 교통량의 다양한 상황에 대한 매우 광범위한 이력 자료를 기반으로 하나 이것은 매우 어려운 작업이다. 사전에 정의된 임계값들은 동적으로 변화되는 교통상황에서는 효율적 알고리즘의 운영에 장애로 작용하므로 다양한 시간대나 교통조건별로 서로 다른 임계값을 적용하기도 한다. 그러나 이 경우 실시간 운영을 위한 계산의 효율성이 또 다른 관심사항이다. <표 2>는 앞에서 제시된 AID알고리즘별 이용하고 있는 교통변수와 검지 성능 등을 비교하여 제시하고 있다.

지금까지 설명된 유고감지기법 이외에 최근 들어 영상검지, 인공두뇌, 차량과 노변시설간의 통신방식에 의하여 돌발을 감지하는 방안이 적용되고 있다.

III. $\Delta(v-k)$ 기법 개념정립

돌발상황이 발생하였을 경우 발생 장소를 기준으로 상류부와 하류부에는 교통류의 특성이 서로 다르게 나타난다. 돌발발생 장소 상류부에는 정체로 인한 충격파가 전달되어 저속, 높은 밀도의 교통류로 바뀌게 되고 하류부에는 고속, 낮은 밀도의 교통류가 존재하게 된다. 두 개 검지기 간의 이러한 속도와 밀도 차이를 동시에 고려한 것이 $\Delta(v-k)$ 에 의한 돌발감지의 기본 개념이다. 이 개념을 교통기초도의 $v-k$ 간의 관계로부터 설명하면, 교통상황이 양호 할 경우 교통흐름은 높은 운행속도와 낮은 교통밀도 상황을 나타내는 A영역 내에서 조금씩 변화하게 되나 돌발상황의 발생으로 교통상황이 악화될 경우에는 낮은 운행속도와 높은 교통밀도인 B영역으로 급격히 전이하게 될 것이다. 즉 $v-k$ 간 변화의 정도가 A영역 내에서 적게 변화하다가



〈그림 1〉 교통상황에 따른 $\Delta(v-k)$ 변화

돌발상황이 발생하면 B영역으로 심한 기울기의 변화가 발생하게 된다.

앞에서의 개념을 (식 1)과 같이 i 검지기에서 t 시점에서의 속도와 밀도를 동시에 고려한 교통상황인 $vk_{(i,t)}$ 에 의하여 표현하며 그 배경은 다음과 같다.

$$vk_{(i,t)} = \sqrt{\left[\frac{v_{free} - v_m(i,t)}{v_{free}} \right]^2 + \left[\frac{k(i,t)}{k_{max}} \right]^2} \quad (1)$$

여기서,

v_{free} : 자유속도

k_{max} : 최대교통밀도,

v_{free}, k_{max} 값들은 검지기가 설치된 지점의 도로교통여건을 고려하여 결정된다²⁾. 교통밀도 $k(i,t)$ 는 i 검지기에서의 모든 개별 차량속도의 평균값인 $v_m(i,t)$ 와 교통량 k_{max} 를 바탕으로 $k(i,t) = \frac{q_{veh}(i,t)}{v_m(i,t)}$ 에 의하여 산출한다.

$vk_{(i,t)}$ 에서 $\frac{v_{free} - v_m(i,t)}{v_{free}}$ 항은 현재속도 $v_m(i,t)$ 의 자유속도 v_{free} 에 대한 손실속도($v_{free} - v_m(i,t)$)의 비율을 나타내고 있으며 $\frac{k(i,t)}{k_{max}}$ 은 최대 밀도(k_{max})에 대한 현재 밀도($k(i,t)$)의 비율을 나타낸다.

이 값들은 정체 발생시 v_{free} 와 k_{max} 일 경우에 대한 속도의 손실과 밀도의 증가분에 대한 연관성을 나타내게 된다.

따라서 본 모형은 비교기법에 속하는 AID알고리즘들이 하나의 교통지표만을 고려하거나 또는 두 개의 지표를 별도로 고려하여 그 변화추세를 반영하는 것에 비하여 교통류 이론에서 널리 인정받고 있는 교통기초도상의 $v-k$ 관계를 고려하여 신뢰도를 높일 수가 있으며, 상/하류부 검지기 간 구간 내에서 발생하는 돌발을 분석할 수 있다는 장점이 있다.

$\Delta(v-k)$ 는 두 개 검지기에서 각각 산출된 vk 값의 차이를 고려하여 i 검지기에서의 속도가 $(t-\Delta t)$ 시점의 상류부 검지기인 $(i-1)$ 검지기에서의 속도보다 높고, i 검지기의 밀도가 $(t-\Delta t)$ 시점의 $(i-1)$ 검지기에서의 밀도보다 작을 경우 그 값이 감소되도록 (식 2)와 같이 정의한다.

$$\Delta(v-k) = \sqrt{\left[\frac{v_{free} - v_m(i,t)}{v_{free}} \right]^2 + \left[\frac{k(i,t)}{k_{max}} \right]^2} - \sqrt{\left[\frac{v_{free} - v_m(i-1, t-\Delta t)}{v_{free}} \right]^2 + \left[\frac{k(i-1, t-\Delta t)}{k_{max}} \right]^2} \quad (2)$$

두 개 검지기에서 각각 산출된 $vk_{(i,t)}$ 값의 차이인 $\Delta(v-k)$ 는 돌발이 발생하였을 경우 정체행렬의 끝 부분에서 상반된 추세, 즉 $i, i-1$ 검지기에서 큰 차이를 나타내게 되므로 $\Delta(v-k)$ 를 돌발 발생을 확인 할 수 있는 지표로의 활용이 가능하다.

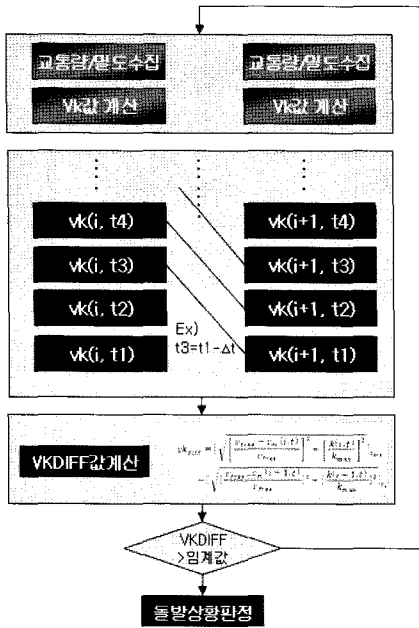
두 개 검지기 간의 공간과 시간을 반영한 $\Delta(v-k)$ 의 기본적인 개념은 다음 공식과 같다.

$$\Delta(v-k)(i,t) = vk(i,t) - vk(i-1, t-\Delta t) \quad (3)$$

이때 두 개 검지기 간의 간격 L 은 i 검지기에서의 t 시점과 $i-1$ 검지기에서 $(t-\Delta t)$ 시점의 교통상황을 고려한 $v \cdot \Delta t = L$ 로 결정되며, 본 연구에서는 국내 고속도로의 일반적인 검지기 설치간격을 고려하여, 1000m로 선정하였다.

〈그림 2〉는 $\Delta(v-k)$ 에 의한 돌발감지의 산출흐름을 나타내고 있다.

2) 모든 도로구간에서 v_{free} 와 k_{max} 를 구한다는 것 자체가 어려운 작업이나, 효율적인 검지기체계의 구축이 활발히 이루어지고 있는 추세에서 광범위한 실시간 자료에 의한 이들 값의 추정이 가능해 지고 있는 것으로 판단되며, 이러한 문제는 다른 알고리즘에서도 유사한 실정임. 본 연구에서는 이들의 값으로 $v_{free} = 145\text{km/h}$, $k_{max} = 100\text{대/차선}$ 을 적용하였다.



〈그림 2〉 $\Delta(v-k)$ 산출흐름

IV. 실증자료 분석

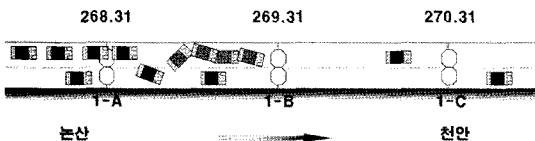
1. 분석 자료

$\Delta(v-k)$ 기법의 활용 가능성을 평가하기 위하여 2002년 개통되어 운영 중에 있는 천안~논산고속도로에서 발생한 3개의 교통사고 상황자료를 바탕으로 점유율, 교통량, 속도 시계열 분석과 본 연구에서 제안된 $\Delta(v-k)$ 값과 비교하였다.

1) 상황 1

본 연구에서 활용된 사고상황 1은 2003년 3월 30일 천안~논산고속도로의 서울 기점 논산 방향으로 269Km 지점에서 3중 추돌 사고로 16시07분에 발생하여 17시00분에 사고처리가 종료되었으며 1차로가 차단된 경우이다.

본 사고의 발생상황 전후 4시간에 대한 교통자료가 분석되었으며, 사고발생지점과 수집 검지기의 위치는 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 상황1의 사고상황 자료 수집 위치

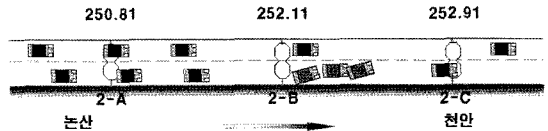
사고가 발생한 지점을 중심으로 상류부 검지기를 1A, 중간 검지기를 1B, 하류부 검지기를 1C로 각각 명칭하고 분석한다.

2) 상황 2

상황 2는 2003년 3월 27일 252Km 지점에서 3중 추돌로 인하여 발생한 사고로서 14시13분에 발생하여 14시45분에 종료되었으며, 2차로가 차단되었으나 정체길이는 500m로 비교적 사고과장이 작은 경우이다.

사고의 발생 전후 4시간에 대한 교통자료가 분석되었으며, 사고발생지점과 수집 검지기의 위치는 〈그림 4〉와 같다.

사고가 발생한 지점을 중심으로 상류부 검지기를 2A, 중간 검지기를 2B, 하류부 검지기를 2C로 각각 명칭하고 분석한다.



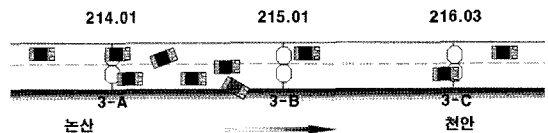
〈그림 4〉 상황2의 사고상황 자료 수집 위치

3) 상황 3

상황 3은 2003년 3월 28일 천안~논산고속도로의 서울 기점 논산 방향으로 215Km 지점에서 승용차가 단독으로 전복된 사고로서 11시48분에 접수되어 12시 19분에 사고처리가 종료된 경우이며 사고로 인해 2차로가 부분 점유되었다.

본 사고의 발생상황 전후 3시간에 대한 교통자료가 분석되었으며, 사고발생지점과 수집 검지기의 위치는 〈그림 5〉과 같다.

사고가 발생한 지점을 중심으로 상류부 검지기를 3A, 중간 검지기를 3B, 하류부 검지기를 3C로 각각 명칭하고 분석한다.



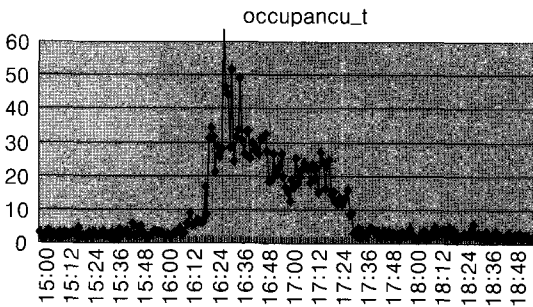
〈그림 5〉 상황3의 사고상황 자료 수집 위치

2. 실증적 분석

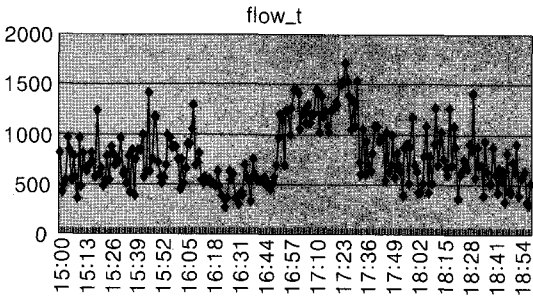
1) 상황1

(1) 교통자료 시계열 분석

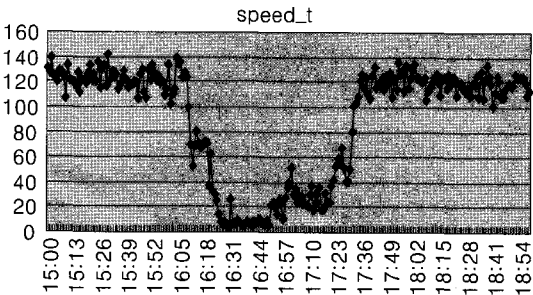
〈그림 6〉은 상황 1에 대한 1B 검지기에서의 점유



〈그림 6〉 상황 1의 점유율 시계열 분석



〈그림 7〉 상황 1의 교통량 시계열 분석



〈그림 8〉 상황 1의 속도 시계열 분석

율, 교통량, 속도의 시계열 추세이다. 16시07분에 사고가 발생 한 직후 6% 미만이던 점유율이 60%까지 급증하였으며, 이 때 평균속도는 110~140km/h 범위의 자유속도 수준에서 심한 정체인 10km/h 미만으로 급감하였다. 사고처리 완료 시간인 17시00분 이후 점유율은 다시 감소하기 시작하여 20~35% 범위 내에서 약 30분간에 걸쳐 조금씩 감소하였으며 17시40분 이후에 정상 수준으로 회복하는 것으로 나타났다. 전반적으로 점유율과 평균속도가 교통량에 비하여 교통상황을 잘 묘사하는 것으로 나타났다.

(2) $vk(i,t)$ 분석

$\Delta(v-k)$ 는 인접한 검지기의 $vk(i,t)$ 값을 바탕으로

사고지점 직전에 검지기가 있는 경우



사고지점 직후에 검지기가 있는 경우



〈그림 9〉 검지기 근처에서 돌발상황이 발생할 경우

돌발상황을 감지하는 것으로서 사고지점을 중심으로 상류부(고밀도, 저속도)와 하류부의 특징(저밀도, 고속도)이 명확히 나타나야 한다. 그러나 FTMS에서 구축되는 검지기 간의 간격이 500~1000m이며 〈그림 9〉와 같이 검지기와 사고위치에 따라 첫 번째 상황의 경우 상류부 검지기에서 돌발상황이 신속히 검지될 수 있으나, 두 번째의 경우에는 정체파장이 상류부 검지기에 미칠 때까지 비교적 오랜 시간이 지체된다. 이는 $\Delta(v-k)$ 의 값에도 영향을 미치게 되므로 본 분석에는 사고지점을 전/후로 한 3개 검지기 데이터를 이용토록 한다.

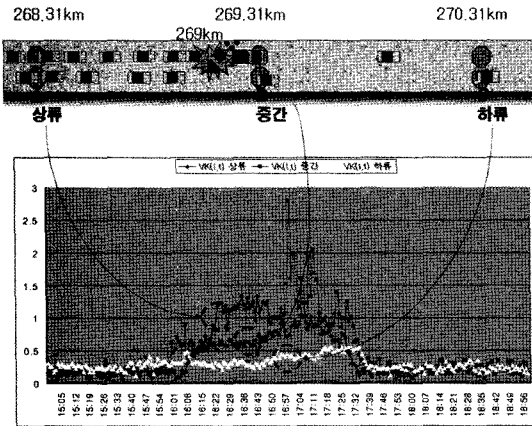
본 연구에서 $vk(i,t)$ 는 앞에서 제시된 식(1)에 의하여 산출된다.

$$vk(i,t) = \sqrt{\left[\frac{v_{free} - v_m(i,t)}{v_{free}} \right]^2 + \left[\frac{k(i,t)}{k_{max}} \right]^2} \quad (1)$$

여기서, v_{free} 는 천안~논산고속도로의 설계속도가 120km/h 이나 본 자료가 수집된 검지기가 위치한 도로의 선형이 양호하여 실질적인 운행속도가 120km/h를 상회하는 경우가 많았으며, 150km/h를 넘는 경우도 측정된 점을 감안할 때 v_{free} 를 145km/h로 가정하였다. k_{max} 의 경우 설계기준차량의 제원, 최소 차두 간격 등을 고려하여 구할 수 있으나, 본 연구에서는 실제 수집된 데이터를 분석하여 교통량/속도로 구한 밀도의 최대값에 가까운 100대/km로 가정하였다. Δt 는 1분으로 정의되었다.

3개 검지기의 $vk(i,t)$ 값을 분석한 결과 1C 검지기의 $vk(i,t)$ 값은 사고발생 이전의 낮은 교통량의 교통류 특성이 사고 이후에 큰 변화 없이 유지되어 거의 일정하게 나타났다. 이는 사고발생 지점보다 약 1.3km 전방에 위치하여 사고이전의 적은 교통량이 유지되던 수준에서 사고의 파장효과가 그리 크지 않은데 기인한 것이다.

1B 검지기의 경우 사고 이후 일정 시간 적은 증가폭을 유지하다가 사고처리가 본격적으로 이루어지는 시간대에서는 도로용량의 급격한 감소로 $vk(i,t)$ 값이 급



〈그림 10〉 1A, 1B, 1C 검지기의 $vk(i,t)$

격히 증가하는 형태를 나타내고 있다. 이는 1B 검지기 직전에서 사고가 발생하여 사고 처리와 관련된 교통용량의 변화가 직접적으로 영향을 미친 것으로 파악된다.

1A 검지기에서는 사고발생 이후 정체가 증가하는 추세에 맞추어 $vk(i,t)$ 값이 서서히 증가하였으며 사고처리 진행 시간 동안 비교적 일정하게 높은 값을 유지하는 추세를 나타내고 있다.

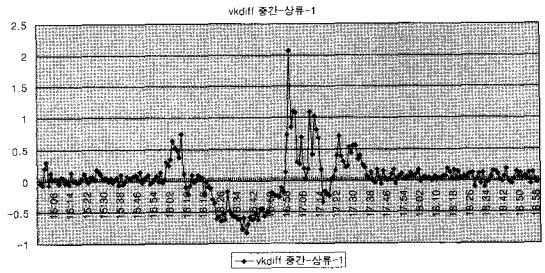
(3) $\Delta(v-k)$ 분석

앞에서 언급한 바와 같이 사고발생 위치와 검지기간의 관계가 중요하므로 돌발상황을 효율적으로 감지하기 위해서는 다양한 위치의 검지기간의 $\Delta(v-k)$ 값을 비교할 필요가 있다. 본 연구에서는 개별적인 검지기에서의 $vk(i,t)$ 값을 이용하여 1B~1C, 1A~1B와 1A~1C간 에 대한 $\Delta(v-k)$ 값을 산출하고 분석하였다.

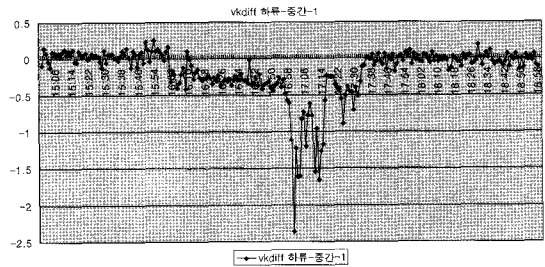
〈그림 11〉은 1B~1C간의 $\Delta(v-k)$ 로서 16시10분 사고 이후 데이터의 변화 폭이 크지 않고 불안정한 모습을 보이고 있으며 이는 1B, 1C지점 모두 사고지점 하류부에 위치하고 있기 때문인 것으로 보인다.

1A~1B간의 $\Delta(v-k)$ 의 경우 전반적인 사고 상황에 대한 교통자료의 변화여부를 서서히 반영하는 1A 검지기에서의 $vk(i,t)$ 값에 대하여 1B 검지기에서 발생한 사고처리에 따른 급격한 도로용량의 변화가 많이 반영되고 있다.

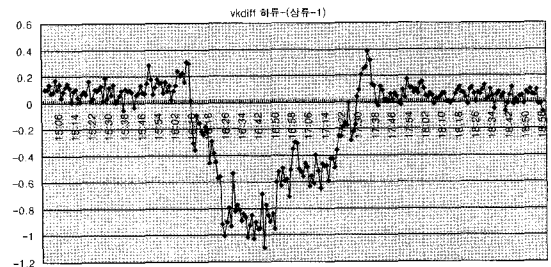
〈그림 13〉은 사고과장이 거의 없는 1C 검지기와 사고상황을 전반적으로 반영하고 있는 1A 검지기 간의 $\Delta(v-k)$ 값을 시계열로 분석한 것으로 1C 검지기에서의 속도가 1A 검지기에서의 속도보다 높고, 1C 검지기에서의 밀도가 1A 검지기에서의 밀도보다 작은 경우



〈그림 11〉 상황 1의 1B~1C 간 $\Delta(v-k)$



〈그림 12〉 상황 1의 1A~1B 간 $\Delta(v-k)$



〈그림 13〉 상황 1의 1A~1C 간 $\Delta(v-k)$

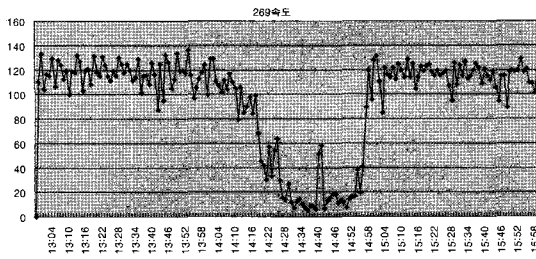
이므로 $\Delta(v-k)$ 값이 대부분 (-) 값을 나타내고 있다. 또한 사고발생 시점을 비교적 명확히 파악 할 수 있으며 사고처리에 따른 교통상황의 회복상태를 양호하게 추적할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 상황 2

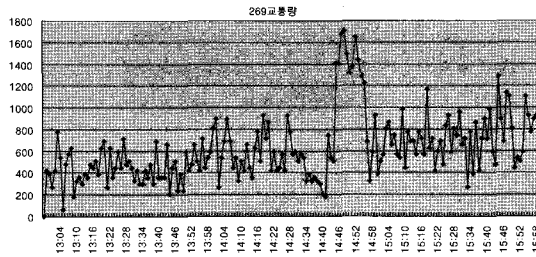
(1) 교통자료 시계열 분석

사고에 직접적인 영향을 받는 252.11km 지점에 위치한 2B검지기의 교통자료를 시계열 분석하였다.

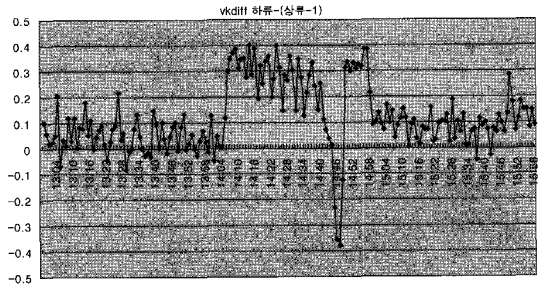
분석결과, 14시 17분까지 80~100km/h 수준의 속도를 유지하다가 14시 17분 이후에는 80km/h 이하의 저속상태가 약 41분 동안 유지되었다. 이때의 교통량변화는 800~200대/시 수준에서 14시 45분에 급격히 증가하여 1,400대/시 까지 증가한 후 1,200대/시 이상을 유지하였다.



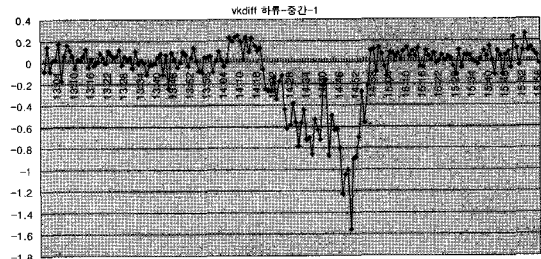
〈그림 14〉 상황 2의 속도 시계열 분석



〈그림 15〉 상황 2의 교통량 시계열 분석



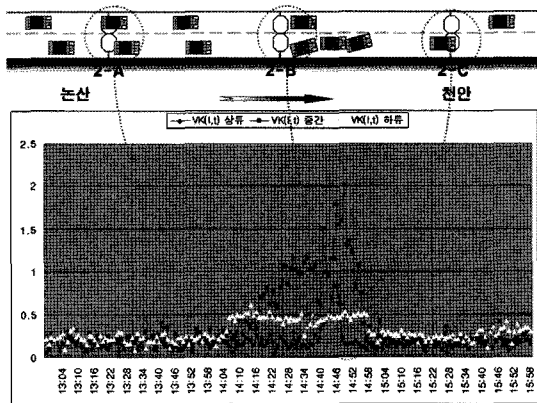
〈그림 17〉 2A~2C 간 $\Delta(v-k)$



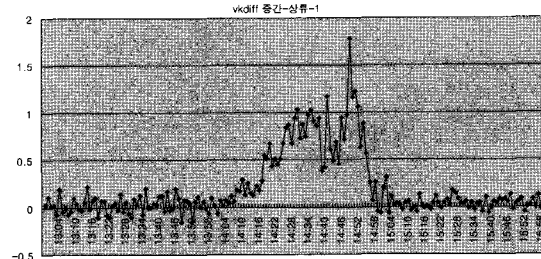
〈그림 18〉 2B~2C 간 $\Delta(v-k)$

(2) $vk(i, t)$ 분석

$vk(i, t)$ 값을 살펴보면 사고지점 직후 검지기인 2B 검지기의 변화폭이 매우 크나, 정체 길이가 짧아 2A 검지기의 $vk(i, t)$ 값은 영향을 많이 받지 않는 상황을 보여주고 있다. 또한 2B 검지기의 변화폭이 상황 1과 비교할 때 비교적 완만하여 사고 파장이 적은 것임을 알 수 있다.



〈그림 16〉 2A, 2B, 2C 검지기의 $vk(i, t)$



〈그림 19〉 2A~2B 간 $\Delta(v-k)$

2A와 2C의 검지기가 사고의 여파를 적게 받기 때문이다.

〈그림 17〉는 사고지점 2A와 2C 검지기 간의 $\Delta(v-k)$ 값을 나타낸 것으로 사고의 영향을 가장 크게 받는다. 천안-논산 고속도로 사고점수일지에 나타나 있는 14시 13분 경에 $\Delta(v-k)$ 값이 급격하게 하락하는 것을 볼 수 있다.

2A~2B 검지기간의 $\Delta(v-k)$ 값의 경우 2B~2C 간 $\Delta(v-k)$ 값과는 반대의 값을 보여준다. 2B~2C와 2A~2B의 $\Delta(v-k)$ 데이터가 방향은 반대이지만 크기와 형태가 비슷한 것은 2A~2C의 검지기는 사고의 영향을 거의 받지 않지만 상대적으로 2B에서는 사고의 영향을 많이 받았기 때문이다.

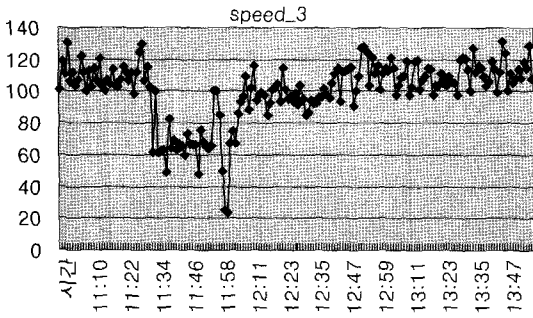
(3) $\Delta(v-k)$ 분석

사고지점 상하류부 2A~2C간의 $\Delta(v-k)$ 지표를 분석하면, 사고발생 시간에 $\Delta(v-k)$ 값이 평소보다 큰 (+) 값으로 급증하는 것으로 돌발상황의 발생여부를 추정할 수 있다. 사고로 인한 정체 기간 동안 $\Delta(v-k)$ 는 평소보다 높은 (+) 값을 유지하지만 그 값이 매우 작은 편인데 이는

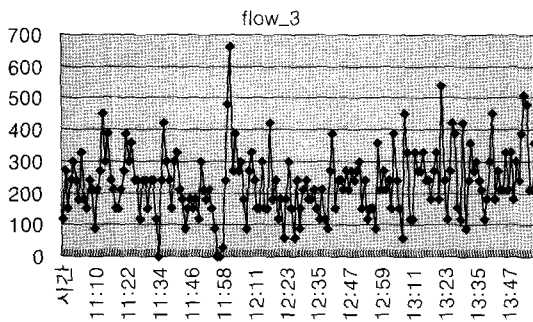
3) 상황 3

(1) 교통자료 시계열 분석

사고의 여파를 가장 많이 받은 215km 지점에 위치



〈그림 20〉 상황 3의 속도 시계열 분석



〈그림 21〉 상황 3의 교통량 시계열 분석

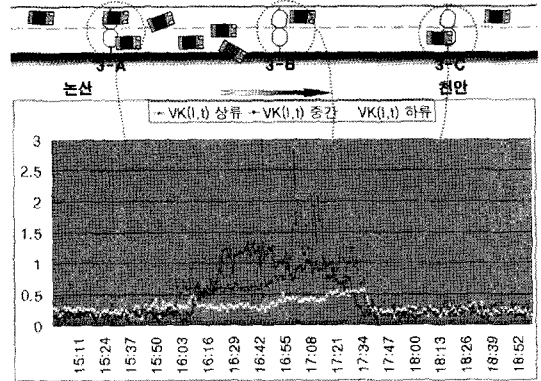
한 3B 검지기의 데이터를 시계열로 분석하였다.

검지기 데이터를 보면 접수시간인 11시 48분 보다 많이 앞선 11시 35분에 속도가 80km/h로 감소하기 시작하였으나, 사고가 교통류에 미치는 영향이 크지 않아 60~80km/h의 속도를 12시 10분 까지 유지하다가, 사고 처리가 완료된 12시 15분 이후에는 정상적인 상황으로 되돌아가는 것을 볼 수 있다.

교통량은 100~300대/시로 상당히 적었으며 사고 발생을 기점으로 약간 줄어들었고 사고 처리 즈음에 교통량이 잠시 400대/시 이상까지 증가하는 양상을 나타냈으나 사고가 교통상황에 주는 영향이 적기 때문에 교통량에서 큰 변화를 볼 수는 없었다.

(2) $vk(i, t)$ 분석

$vk(i, t)$ 값을 살펴보면 사고지점 상류부에 위치한 3A 검지기의 경우 사고의 영향을 직접 받아 사고발생 즉시 $vk(i, t)$ 값이 증가하는 것을 볼 수 있으며 3B 검지기는 사고 이후 통과차량수의 급감으로 인하여 $vk(i, t)$ 값의 변화가 크게 나타나고 있다. 3B 검지기에서 $vk(i, t)$ 값이 급격히 증가하는 것은 상황 1, 2와 같이 사고 해소 이후 교통량의 급증에 따른 것이다.



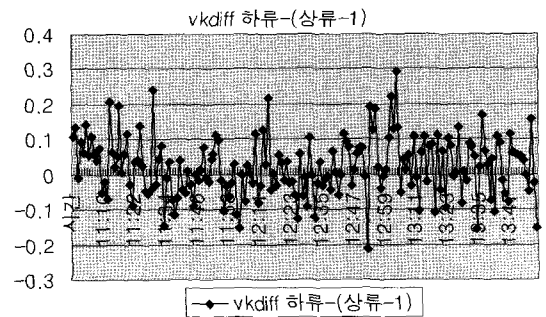
〈그림 22〉 3A, 3B, 3C 검지기의 $vk(i, t)$

(3) $\Delta(v-k)$ 분석

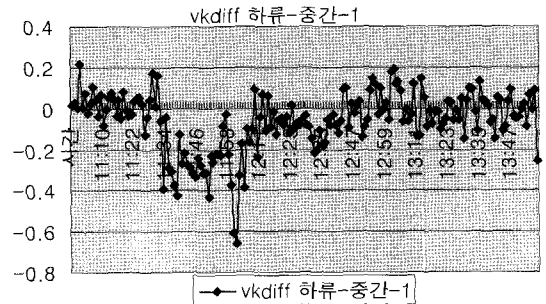
3A와 3C간 $\Delta(v-k)$ 값의 경우 상하류부에 미치는 사고여파가 작아 이 두 개의 검지기 자료로서는 돌발상황의 발생 여부를 파악하기 어려운 것으로 나타났다.

3B와 3C 검지기 간 $\Delta(v-k)$ 에서는 3B 검지기가 사고에 민감한 반응을 보이거나 3C 검지기의 경우 사고여파가 늦게 도착함으로 $\Delta(v-k)$ 값을 통해 11시35분 경의 사고 발생 여부를 용이하게 파악할 수 있다.

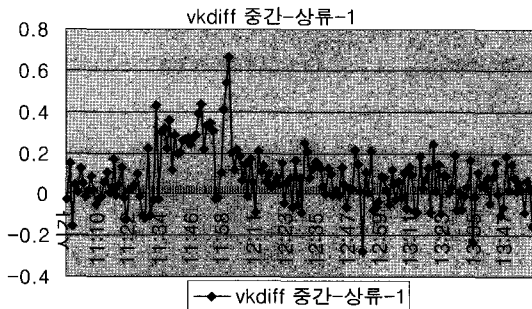
3A와 3B 검지기 간 $\Delta(v-k)$ 의 경우에는 3A가 사고의 여파를 약간 받았고 3B 역시 사고에 민감한 지점



〈그림 23〉 3A~3C 간 $\Delta(v-k)$



〈그림 24〉 3B~3C 간 $\Delta(v-k)$



(그림 25) 3A~3B 간 $\Delta(v-k)$

이므로 돌발 발생의 여부를 어느 정도 파악 할 수 있는 것으로 나타났다.

앞에서의 3개 상황에 대한 $\Delta(v-k)$ 를 분석해 보면, 사고 발생 지점과 사고 파장의 길이에 따라 상류와 하류의 최 근접 데이터가 사고의 여파를 잘 반영하거나, 또는 한 개의 검지기를 건너 데이터가 더욱 효율적일 수도 있음을 알 수 있다.

따라서 사고발생 위치와 검지기간의 관계를 고려한 다양한 검지기로 부터의 $\Delta(v-k)$ 값을 추정하여 사고 위치와 관련하여 어떤 검지기 간의 추세를 분석하는 것이 바람직한지 등을 종합적으로 판단할 필요성이 있는 것으로 나타났다.

일반적으로 돌발상황 검지 시 3개 검지기 정도의 $\Delta(v-k)$ 값을 종합적으로 비교하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 돌발상황이 발생하였을 경우 발생 장소를 기준으로 상류부에는 낮은 속도로 운행하는 높은 밀도의 교통류가, 하류부에는 고속으로 운행하는 낮은 밀도의 교통류가 형성되는 교통특성을 이용하여 돌발상황 발생 지점 상류부, 하류부 검지기 간의 속도와 밀도의 차이를 시간과 공간적으로 동시에 고려하는 $\Delta(v-k)$ 기법을 제시하고 고속도로의 실제 데이터를 바탕으로 성능을 검증하였다.

$\Delta(v-k)$ 기법 적용 결과 돌발상황 이후의 점유율과 속도의 급격한 시계열적 추세가 $\Delta(v-k)$ 지표에 의하여 잘 반영되는 것으로 나타났다.

또한 검지기에서 멀리 떨어진 지점에서 돌발상황이 발생할 경우 기존 대부분의 돌발상황 감지 방법으로는 돌발상황의 충격파가 상류부검지기에 도착해야 비로소

사고의 발생 여부를 알 수 있었지만 $\Delta(v-k)$ 의 경우는 상류부로 향하는 낮은 속도와 높은 교통량의 충격파 뿐만 아니라 하류부로 향하는 높은 속도의 낮은 교통량의 충격파를 모두 고려하기 때문에 상/하류부 중 한쪽에라도 충격파가 도착하면 돌발상황을 감지할 수 있다. 검지기 바로 후방에서 돌발상황이 발생하거나, 사고의 여파가 작은 경우 등을 고려하여 인접 검지기와의 비교 뿐만 아니라 앞/뒤 검지기를 포함하여 3개 정도 검지기의 데이터를 이용하여 $\Delta(v-k)$ 를 적용 한다면 돌발상황을 더욱 신속하고 정확하게 검지할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 비교기법에 속하는 AID 기법들이 점유율 단독 또는 점유율과 운행속도의 추세를 별개로 분석한 후 두 개 지표의 변화추세를 고려한 것에 비하여 교통류 이론에서 입증된 $v-k$ 간의 상관관계를 두 개의 검지기 간의 거리를 고려한 시계열 적 분석에 의하여 돌발상황을 감지할 수 있는 원리를 제시하였는데 그 의의가 있다.

그러나 본 연구는 기 수집된 돌발상황에 대한 교통 자료를 바탕으로 모형을 적용한 것으로 돌발감지 기법의 성능을 판단하는 기준이 되는 검지율, 감지시간과 오보율에 대한 분석자료가 제시되지 못한 것이 그 한계로 지적될 수 있다.

또한 $\Delta(v-k)$ 의 변화추세가 돌발상황에 따른 교통류의 변화추세를 반영한다는 것을 보여주고는 있으나 실질적인 AID 운영 시 중요한 돌발판단 기준 값은 제시하지 못하고 있다.

향후 FTMS의 AID로서 본 모형이 구현 될 경우 다양한 도로교통 여건에 대한 광범위한 자료를 바탕으로 신뢰할 만한 수준의 임계값의 설정 및 모형성능에 대한 부분이 기존에 운영 중인 기법들과의 비교를 통하여 제시될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Baher Abdulhai and S.G. Ritchie. (1996) : "Performance of artificial Networks for Incident Detection in ITS" Transportation Congress.
2. Busch, F. (1986) : "Automatische Störungserkennung auf Schnellverkehrsstraßen-ein Verfahrenensvergleich"(Dissertation).
3. Busch, F. and Zhang, X. (1995) : "Guidelines

- for Implementation of Automatic Incident Detection Systems”, Projekt Drive.
4. Kerner, B.S. and Konhäuser, P. (1993) : “Cluster Effect in initially homogeneous traffic flow”, Phys.Rev. E48, 2335.
 5. Kim Y. (2002): Online Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relations. PhD Thesis, Technische Universitaet Muenchen,
 - Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung.
 6. Lee J. (1997) : “Incident Detection Algorithm Development on Signalized Urban” Arterial Streets. Dissertation for the Degree of Ph.D. Michigan State University.
 7. 임재혁 (2003) : 검지기 데이터를 활용한 연속교통류 특성분석, 목원대학교 대학원, 석사학위논문.

- ✉ 주 작 성 자 : 이선하
- ✉ 교 신 저 자 : 이선하
- ✉ 논문투고일 : 2005. 5. 23
- ✉ 논문심사일 : 2005. 7. 13 (1차)
2005. 10. 31 (2차)
2005. 12. 19 (3차)
- ✉ 심사판정일 : 2005. 12. 19
- ✉ 반론접수기한 : 2006. 8. 31