

속도-점유율 관계도를 이용한 돌발상황 검지 알고리즘 개발

김 상 구* · 김 영 춘**

Development of Incident Detection Algorithm Using Speed-Occupancy Relationship

Sang Gu Kim* · Young Chun Kim**

요약 : 도시고속도로와 같은 연속류도로의 효율적인 교통관리를 위해서는 사전에 예측이 불가능한 돌발상황을 신속하게 검지하여 효율적으로 대응하는 것이 매우 중요하다. 이러한 목적을 위하여 국내외 많은 연구자들은 돌발상황을 신뢰성있게 검지하는 알고리즘을 지속적으로 개발하여 왔으나 각 알고리즘별로 검지율과 오보율 등의 성능지표 결과들이 만족스럽게 나오는 알고리즘은 아직 개발되지 못한 실정이고 이로 인해 현장에서 실질적으로 적용이 가능한 돌발상황 검지 알고리즘을 제공하지 못하고 있다. 본 연구에서는 속도-점유율 관계도를 이용하여 교통류 특성을 분석하고, 교통류 상태를 나타내는 영역을 4개로 구분하여 돌발상황을 검지하는 알고리즘을 개발하고 실제 고속도로 검지기 자료를 가지고 평가하는 것을 목적으로 한다. 속도-점유율 관계도를 이용한 영역구분은 기존 McMaster 알고리즘에서 보여주었던 파라메타 결정의 어려움과 부정확한 영역구분으로 인한 낮은 검지율과 높은 오보율의 단점을 개선할 수 있는 것으로 평가된다. 속도-점유율 관계도는 안정류를 나타내는 1영역과 정체류를 나타내는 4영역에 대한 정확한 구분과 정체류로 전이되는 과정과 안정류로 회복되는 전이과정에 대한 교통류 특성을 반영하여 2개의 영역으로 구분함으로써 돌발상황 검지의 신뢰성을 향상시켰으며 이력현상으로 발생되는 전이과정의 변화를 고려하였다는 특징이 있다. 본 연구에서는 개발된 알고리즘의 평가결과로서 검지율과 오보율 등의 성능지표 측면에서 기존 McMaster 알고리즘과 비교평가하여 제시한다.

주제어 : 돌발상황, 속도-점유율 관계도, McMaster 알고리즘, 전이과정, 검지율

ABSTRACT : This study aims to develop a new incident detection algorithm using the speed-occupancy relationship that can classify traffic states with a high reliability on the basis of the analysis of traffic flow characteristics. It was tried to newly classify the traffic states with the other flow relationship like speed-occupancy diagram because McMaster algorithm had been a tendency on not identifying the traffic states exactly using the flow-occupancy diagram. In the analysis the speed-occupancy relationship showed to identify the traffic states clearly with 4 areas, and it was necessary to determine three parameters such as Scrit, Sini, and Ocrit to correctly classify the areas representing the traffic states. The Ocrit parameter comes from McMaster algorithm and the other two parameters are newly introduced to classify the free and congested flows in this paper. This paper produces the performance indices such as the detection rate, the false alarm rate, and the time to detect and compares the new algorithm with the

* 전남대학교 교통물류학부 조교수(Assistant Professor, Division of Transportation and Logistics, Chonnam National University), 논문주작성자 및 교신저자임.
 ** 전남대학교 교통물류학과 석사과정(Student in Master Program, Department of Transportation and Logistics, Chonnam National University).

McMaster algorithm in terms of the performance indices. Finally, the new algorithm is evaluated to be superior to the McMaster algorithm in terms of the detection rate.

Key Words : incident, speed-occupancy relationship, McMaster algorithm, transition, detection rate

I. 서론

도시고속도로의 효율적인 교통관리를 위해서는 사전에 예측이 불가능한 돌발상황을 신속하게 감지하여 효율적으로 대응하는 것이 매우 중요하다. 이러한 목적을 위하여 국내외 많은 연구자들은 돌발상황을 신뢰성있게 감지하는 알고리즘을 지속적으로 개발하여 왔으나 각 알고리즘별로 감지율과 오보율 등의 성능 지표 결과들이 만족스럽게 나오는 알고리즘은 아직 개발되지 못한 실정이고 이로인해 현장에서 실질적으로 적용이 가능한 돌발상황 감지 알고리즘을 제공하지 못하고 있다.

본 연구에서는 속도-점유율 관계도를 이용하여 교통류 특성을 분석하고, 교통류 상태를 나타내는 영역을 4개로 구분하여 돌발상황을 감지하는 알고리즘을 개발하고 실제 연속류도로 감지기 자료를 가지고 평가하는 것을 목적으로 한다. 속도-점유율 관계도를 이용한 영역구분은 기존 McMaster 알고리즘에서 보여 주었던 파라메타 결정의 어려움과 부정확한 영역구분으로 인한 낮은 감지율과 높은 오보율의 단점을 개선할 수 있는 것으로 기존 연구에서 평가되었다(김상구·김영춘, 2006). 속도-점유율 관계도는 안정류를 나타내는 1영역과 정체류를 나타내는 4영역에 대한 정확한 구분

과 정체류로 전이되는 과정과 안정류로 회복되는 전이과정에 대한 교통류 특성을 반영하여 2개의 영역으로 구분함으로써 돌발상황 감지의 신뢰성을 향상시켰으며 이력현상으로 발생하는 전이과정의 변화를 고려하였다는 특징이 있다. 본 연구에서는 개발된 알고리즘의 평가결과로서 감지율과 오보율 등의 성능지표 측면에서 기존 McMaster 알고리즘과 비교평가하여 제시한다.

연구내용으로는 속도-점유율 관계에 대한 교통류 특성을 분석하고 정체류로 전이되고 안정류로 회복되는 전이과정에 대한 자세한 관찰을 통하여 영역구분에 필요한 파라메타를 결정하는 방법에 대하여 연구한다. 또한, 속도-점유율 관계도를 기본으로 파라메타를 적용하여 교통영역을 구분하여 돌발상황을 자동으로 감지하는 알고리즘을 개발하고 기존 McMaster 알고리즘과 감지율, 오보율, 감지시간 등 성능지표 측면에서 비교분석을 수행하여 개발된 알고리즘을 평가하는 것을 포함한다.

II. 돌발상황 감지알고리즘

기존에 개발된 돌발상황 감지 알고리즘들은 특성별로 크게 5가지로 구분 가능하고 각 특성별로 대표적인 알고리즘과 특징은 <표 1>과 같다.

현재까지 개발된 모든 돌발상황 검지 알고리즘들은 교통변수들(점유율, 교통량, 속도) 중 1개 이상을 사용하여 검지하고 있으며 교통류 모형 및 이론 알고리즘이 본 연구에서 분석하고자 하는 목적과 일치되는 알고리즘 범주에 해당된다.

<표 1> 돌발상황검지 알고리즘 분류 및 특징

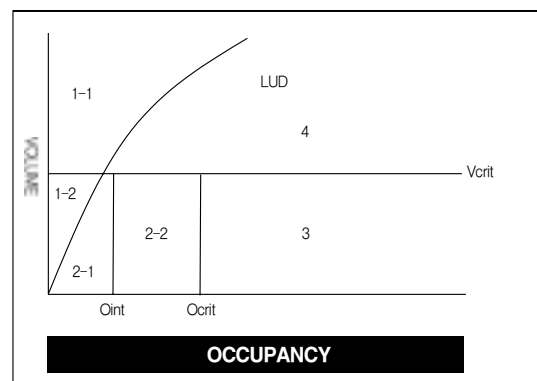
Category	Algorithm	점유율	교통량	속도	특징
비교 or 패턴 인식 알고리즘	Basic	○			교통변수의 관측값을 미리 설정된 임계값과 비교
	#7	○			
	#8	○			
	APID	○	○		
	PATREG	○			
	Monica	○			
통계적 알고리즘	Wave Analysis	○			관측값과 통계적 반응을 이용한 예측값 비교
	Bayesian	○			
	SND	○	○		
시계열 및 Smoothing/Filtering 알고리즘	Time Series ARIMA	○	○		관측값과 시계열분석에 의한 예측값간에 오차비교
	Exponential Smoothing	○			
	Low-pass Filter	○			
	Dutch	○			
교통류 모형 및 이론 알고리즘	Dynamic	○	○		교통상태를 분석할 수 있는 함수식을 설정하여 돌발상황 분석
	Modified McMaster	○	○		
고급 알고리즘	Neural Network	○	○	○	임계값 설정없이
	Fuzzy Set	○	○	○	돌발상황 검지

교통류 모형 및 이론 알고리즘은 교통상태를 묘사할 수 있는 수학적 모델에 근거하여 지속적인 교통변수의 측정 및 보정과정을 통해 돌발상황을 검지하는 알고리즘으로서, McMaster 알고리즘이 교통량-점유율 관계도를 이용하여 돌발상황을 검지하는 대표적인 모형이다.

McMaster 알고리즘은 우선 각 지점검지기 에 맞는 파라메타를 산정하여 영역을 4개로 구분하여 정체교통 상태를 판정한 후 하류부 지

점의 검지기 자료의 교통상태와 비교하여 정체원인을 결정하고 돌발상황을 검지하는 방식이다. 이 알고리즘은 관련 파라메타가 결정되어 교통상태 영역이 정확하게 구분된다면 타 알고리즘과 비교하여 검지율, 오경보율, 검지시간 등 수행지표 측면에서 우수한 검지 알고리즘이다. 또한, 각 차로별로 돌발상황을 검지할 수 있으며, 기후조건과 반복정체 상황에도 돌발상황을 검지하는 로직을 포함하고 있어 현실적으로 운용성이 뛰어난 알고리즘이다. 그러나 관련 파라메타들(LUD곡선, Ocrit, Vcrit, Oint) 결정하는데 있어 정확한 지표가 없어 직관적인 경향이 많이 나타나 정확한 값을 결정하는 데 어려움이 있고, 이 값의 결정에 따라 검지율, 오보율과 검지시간 등에 큰 영향을 끼치므로 그 값이 어떻게 변화하느냐에 따라 알고리즘의 신뢰도가 변하게 된다. 또한, 각 지점에서 나온 파라메타를 다른 지점에 적용할 수 없으므로 각 지점마다 파라메타를 추출해야하는 번거로움이 있다.

<그림 1>은 McMaster 알고리즘에서 사용하는 교통량-점유율에 따른 영역구분을 나타낸다.



<그림 1> McMaster 알고리즘의 교통영역 구분

<그림 1>에 나타난 각각의 영역은 LUD(혼잡교통류와 비혼잡교통류의 경계), Vcrit(대기행렬 풀림교통류의 최소교통량), Ocrit(임계점 유율), Oint에 의해 구분된다.

국내의 관련연구 논문 중에서 강수구 외(2001) 연구에서는 교통량, 속도, 점유율 등 세 교통변수간의 관계식에 근거하여 일차적으로 혼잡을 검지하고, 다음 단계에서 반복 혼잡 및 비반복 혼잡 구분을 하기 위해 McMaster 알고리즘을 응용하여 속도-교통량 교통상황판단 방법론을 구축하여 발표하였다.

또한, 이선하 외(2006) 논문에서는 돌발상황 발생장소를 기준으로 상, 하류부 검지기에서 나타나는 교통류 특성을 이용하여 검지기간 속도-밀도의 관계를 활용한 돌발상황 검지 기법을 연구하여 제시하였다.

III. 자료수집 및 처리과정

1. 자료처리과정

본 연구에서는 교통류 특성 파악과 McMaster 알고리즘의 검증을 위해서 검지기 자료와 돌발상황의 발생 위치, 시간 그리고 유형을 포함하는 기초 자료가 필요하다. 따라서 국내 고속도로의 본선구간의 검지기 자료 중 돌발상황의 영향이 가장 잘 나타나는 지점의 루프 검지기 자료를 수집하여 본 연구에 활용하였다. 자료 수집 기간은 국내 고속도로의 2004년 4월 14일부터 2004년 4월 20일까지 일주일간의 자료를 수집하였다.

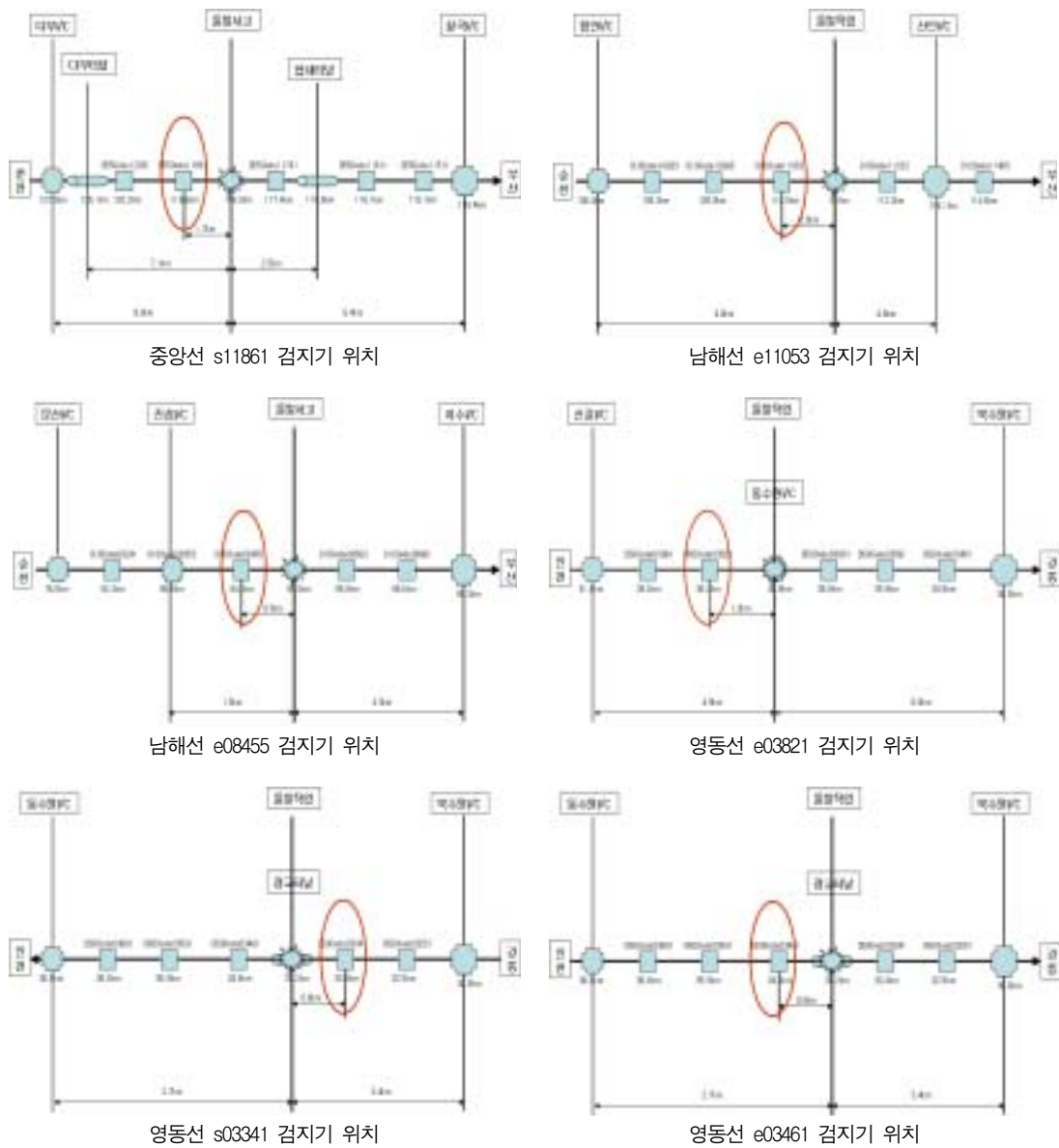
위의 기간에 나타난 돌발상황 중에 대표적

인 8개 지점을 정하였고 돌발상황 지점을 중심으로 연속된 5개 지점의 검지기 자료를 수집하였다. 돌발상황이 발생한 도로 위치, 발생 원인 별로 유형을 구분하였으며 일반구간과 반복정체 구간을 분석하기에 적합한 자료를 선택하기 위하여 적합성 검사를 실시하였다. 적합성 검사의 기준은 돌발상황의 영향이 나타나는지의 여부, 자료의 정확성, 돌발상황이 일어난 지점의 위치로 하였고 반복정체 구간은 반복정체가 나타나는지의 여부를 추가로 정하였다. 수집된 고속도로 돌발상황 관련 교통자료 내역은 <표 2>와 같다.

<표 2> 돌발상황 관련 교통자료 내역

돌발상황 유형	노선명	차로 수	돌발상황 일자	돌발상황 지속시간	대상 차도	검지기		방향	
						상류부	하류부		
사 고	일반 구간	중앙선 11861	2	4월18일	19:01-20:16	2	vds11861	vds11741	상행
		남해선1 08455	2	4월16일	16:54-17:15	1	vde08455	vde08563	하행
		남해선2 11053	2	4월20일	16:16-17:19	1	vde11053	vde11233	하행
작 업	반복 정체 구간	영동선1 S03341	3	4월16일	22:51-04:58	1,2	vds03341	vds03461	하행
		영동선2 03821	3	4월20일	13:15-14:29	갓길	vde03821	vde03681	하행
		영동선3 E03461	3	4월18일	09:25-10:30	3	vde03461	vde03341	하행

본 연구에서는 돌발상황 발생의 직접적 영향을 받는 상류부 검지기 자료만을 대상으로 돌발상황 검지의 가능성과 신속성을 분석하였다. 돌발상황 검지를 위하여 사용된 6개 지점의 위치와 주변 시설물과의 관계를 그림으로 나타내면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 돌발상황 발생과 검지기 위치

본 연구에서 사용한 자료의 집계시간 단위는 고속도로에서 수집된 검지기의 원시 집계간격인 30초를 그대로 사용하였는데 그 이유로서는 우선, 교통류 전이과정과 같이 신속하게 교통류 변화가 발생되어 정밀하게 분석할 필요성이 있었고, 또한 모든 돌발상황 검지 알고리즘

들은 고속도로 교통관리 시스템(FTMS)에서 polling cycle과 동일하게 실시간으로 수집되는 교통변수 자료들을 가지고 알고리즘이 운영되므로 FTMS 검지기 수집간격인 30초를 교통특성 분석에서 그대로 사용하였다. 수집된 원시 30초 검지기 자료의 차로별 속도, 교통량,

점유율 자료에서 오류가 나타난 자료(-999)를 공백으로 처리한 후 같은 시간의 속도, 교통량, 점유율 자료 중 하나라도 0이 나타나면 그 시간대의 속도, 교통량, 점유율 자료 모두 공백으로 처리하였다.

이러한 이유는 본 연구에서 교통량, 속도, 점유율의 세 변수 값들을 이용하여 분석하기 때문에 모든 변수 값들이 계측된 교통류 자료만을 수집하기 위함이다.

2. McMaster 알고리즘의 파라메타

McMaster 알고리즘은 지점 검지 알고리즘으로서 속도, 점유율, 교통량을 이용하여 교통상태의 변화를 체크하는 것이다. 이 알고리즘은 각각의 검지기 지점별 교통량과 점유율에 기반하여 영역을 구분하고 그 영역에 따라 교통류 상태를 판단하도록 되어 있다.

관련 파라메타는 McMaster 알고리즘에 제시되는 기준에 따라 결정하였고 각각의 파라메타는 사용된 검지기 지점에서 모두 구하여야 한다.

1) LUD 곡선

지점 검지기의 off-line 자료 중 안정류 자료만으로 회귀분석을 통하여 $y=ax^2+bx+c$ 형태의 표준이차함수로 나타낸다. 먼저 실제 검지기 자료에서 안정류와 불안정류를 구분하기 위한 기준으로 기준속도를 결정하였다. 기준속도의 결정 순서는 돌발상황이 발생하지 않은 2일 속도 자료의 평균과 표준편차를 구하고 2일 속도 자료 중 [평균-표준편차]와 [평균+표준

편차]사이의 자료만을 추출하고 이 순서를 반복적으로 수행하는데 [평균-표준편차]의 n번째 값과 n+1번째 값의 차이가 0.5km/h보다 작게 나오면 n+1번째 값을 기준속도로 결정한다. 기준속도로 구분한 안정류 자료 중 점유율이 3보다 작게 나온 값은 자료의 신뢰성을 높이기 위해서 제거한다. 남은 자료의 교통량-점유율을 가지고 회귀분석을 하여 표준이차함수식을 결정하고 이렇게 결정된 표준이차함수식을 남은 교통량-점유율 자료가 모두 포함될 수 있도록 오른쪽으로 평행이동시켜서 수정된 LUD 곡선을 만들게 된다.

2) Ocrit 산정

한 지점 검지기의 일주일 자료 중 교통량이 가장 높게 나타났을 때의 점유율로 결정한다.

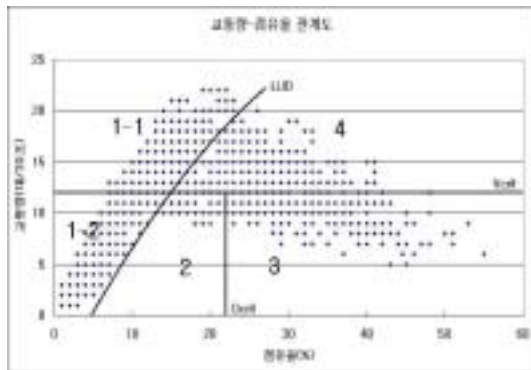
3) Vcrit 산정

한 지점에서 돌발상황이 일어나지 않은 교통류가 대기행렬 상태에 있다가 풀려났을 때 나타나는 교통량 중 가장 낮은 교통량으로 결정한다.

<표 3> McMaster 알고리즘의 파라메타 결과

노선	수정된 LUD 함수			Ocrit (%)	Vcrit (대/30초)
	함수식	Const	기준속도 (km/h)		
중앙선	$Y=-0.0266x^2+1.7096x-4.8947$	3.9	94	19	14
영동선1	$Y=-0.0295x^2+1.4604x-3.8108$	3.8	78	22	16
영동선2	$Y=-0.0051x^2+1.0119x-3.762$	4.1	82	17	15
영동선3	$Y=-0.0239x^2+1.6124x-3.8667$	4.8	80	19	16
남해선1	$Y=-0.0444x^2+1.1317x-3.0414$	3.2	85	19	13
남해선2	$Y=-0.0137x^2+0.841x-2.2527$	2.5	80	18	15

이상에서 결정한 파라메타를 이용하여 교통 관계도상에서 교통류영역을 표시하면 다음과 같다.



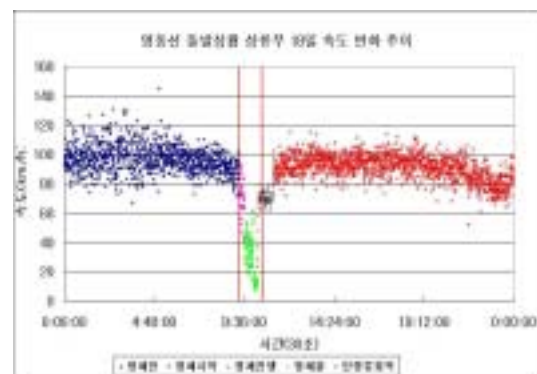
<그림 3> McMaster 알고리즘의 영역구분

4) 교통류 상태 분류 속도기준

해당 검지기의 일주일 자료 중 돌발상황이 일어난 1일 자료의 시간에 따른 속도 변화와 실제 돌발상황 시간을 기준으로 속도가 급격히 낮아지는 기준인 80km/h 이상을 정체전, 정체전 이후부터 60km/h 이하로 낮아지기 전을 정체시작, 정체시작 이후부터 60km/h 이상으로 회복되기 전을 정체진행, 정체진행 이후부터 80km/h 속도까지 회복하기 전을 정체끝, 정체끝 이후의 교통류를 안정류 회복으로 분류하였다.

이와같은 속도 분류기준에 의하여 영동고속도로 강릉방면 34.2km 지점에서 발생한 돌발상황을 대상으로 상류부 검지기에서 측정된 속도자료의 시간대별 변화추이는 <그림 4>와 같다. 그림에서 보는바와 같이, 돌발상황이 발생한 시간대와 속도자료의 변화가 일치하는 것을 알 수 있다.

속도가 떨어지는 시점과 돌발상황이 발생했다고 보고된 시점과는 약간의 차이가 있으며 돌발상황이 종료되는 시점과 속도가 증가되는 시점과도 약간의 시간차이가 존재한다. 이러한 시간차이는 개발된 알고리즘 평가에서 사용될 검지시간(DT)의 성능지표에 영향을 줄 것으로 예상된다.



<그림 4> 반복정체구간 돌발교통류 시간대별 속도변화 추이

IV. 속도-점유율 관계도

1. 영역구분 파라메타

속도-점유율 관계도를 이용한 알고리즘 개발은 교통류 상태를 결정하는 영역구분이 필요하고, 이러한 영역구분을 위한 파라메타 결정이 선행되어야 한다.

점유율 관련 파라메타는 McMaster 알고리즘에서 사용하고 있는 Ocrit가 정상류와 정체류를 구분하기위하여 사용되었다. 또한 속도 관련 파라메타는 정체시작과 정체진행을 구분하는 2개의 파라메타가 본 연구에서 사용되었다.

1) 속도임계치(Scrit)

속도임계치란 교통량이 높은 수준을 나타낼 때의 최저속도로서, 산정 방법은 돌발상황이나 혼잡이 발생하기 전의 안정류 자료에서 교통량이 가장 높게 나타났을 때의 속도 중 가장 낮은 값으로 결정한다. 단, 안정류 자료를 추출하는 과정에서 교통량의 빈도수를 측정하여 2 이하 값을 제외한 나머지 자료만으로 산정한다.

본 연구에서 사용된 6개 검지기 자료를 분석한 결과, Scrit는 69~78km/h 범위에 해당되고 이 파라메타는 안정류와 정체류의 경계에 해당되는 기준으로 이해되고 이 파라메타보다 낮은 교통류는 돌발상황이 발생할 확률이 매우 높아서 돌발상황 발생의 예고로서 사용될 것이다.

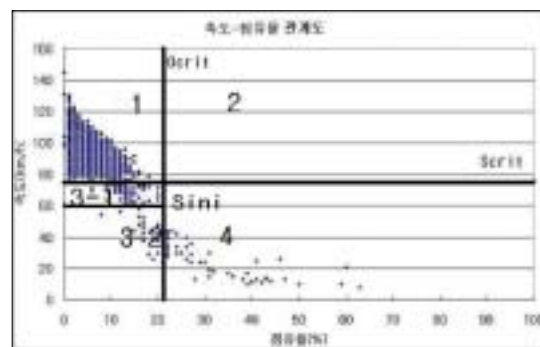
<표 4> 제안 알고리즘의 영역구분 파라메타

구 분	속도임계치 Scrit(km/h)	속도초기치 Sini(km/h)	Ocrit (%)
중앙선	69	60	19
영동선1	72	60	22
영동선2	76	60	17
영동선3	72	60	19
남해선1	75	60	19
남해선2	78	60	18

2) 속도초기치(Sini)

돌발상황 발생근처에서의 교통류 특성을 살펴보면, 정체시작에서 정체진행으로 급격하게 변화하는 경우도 있지만 일정시간 동안 어떤 교통류 상태를 유지하면서 정체류로 넘어가는 경우를 관측하게 된다. 특히, 정체류에서 안정류로 회복되는 전이과정에서는 이러한 교통류 진동영역이 자주 관측되고 이 영역을 구분하

기 위한 하나의 속도 파라메타가 필요하다. 속도초기치(Sini)는 이러한 영역의 하한값으로서 이 파라메타값보다 낮으면 거의 정체상태로 전이되는 것으로 분석된다. 본 연구에서는 이 파라메타값으로 모든 검지기 지점에서 60km/h로 동일하게 적용하여 알고리즘을 개발하고자 한다.

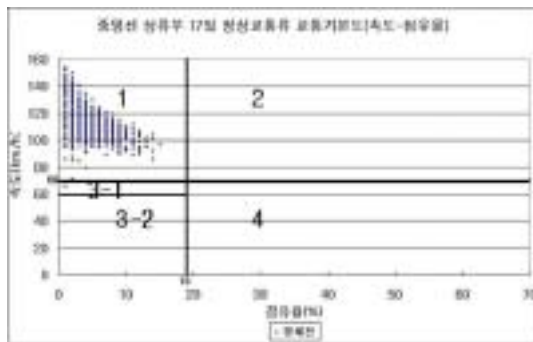


<그림 5> 제안 알고리즘의 영역구분

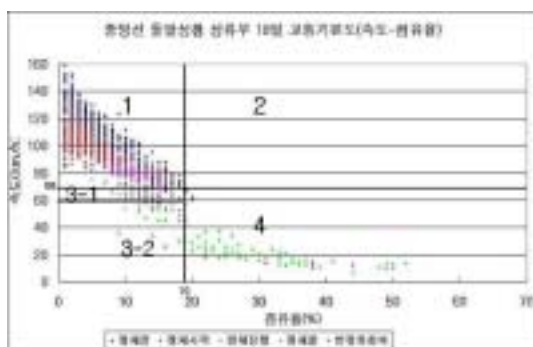
2. 교통상태 영역 및 특성

1) 일반구간

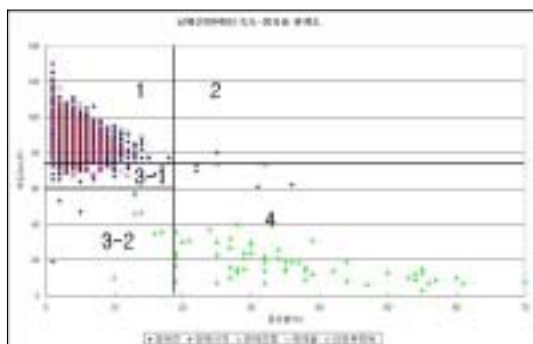
교통정체가 반복적으로 발생하지 않는 일반구간의 정상교통류는 1영역만 존재하고 돌발교통류는 2영역을 제외한 1, 3, 4영역에 모두 데이터가 존재하나 교통류 상태구분이 명확하게 구분된다. 즉, 1영역은 안정류 특성을 나타내고 3영역은 정체시작과 정체끝을 나타내는 교통류 상태, 4영역은 정체진행의 교통류 상태를 보이는 것으로 분석된다.



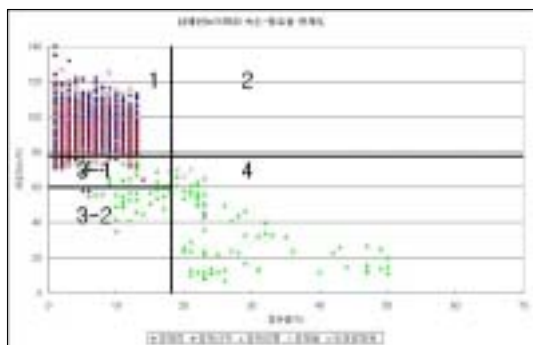
<그림 6> 중양선의 정상교통류



<그림 7> 중양선의 돌발상황교통류



<그림 8> 남해선1의 돌발상황 교통류

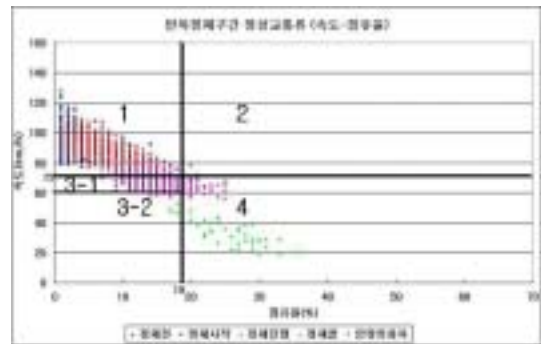


<그림 9> 남해선2의 돌발상황 교통류

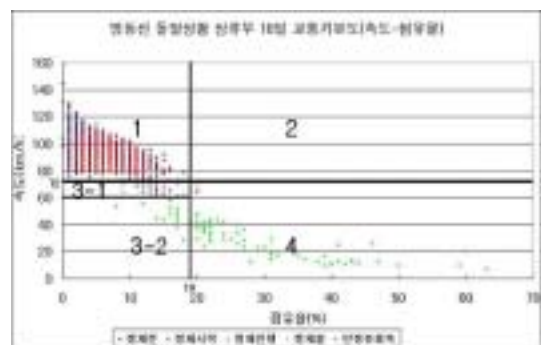
2) 반복정체 구간

반복정체구간의 경우 1, 3, 4 영역 모두 관측되고 일반구간 돌발상황 교통류와 비슷한 패턴을 보이거나 각 영역별 교통류 상태는 더 명확하게 분류됨을 알 수 있다. 정상교통류는 돌발교통류와 비교하여 4영역에 정체진행 교통류가 집중적으로 존재하여 더 명확한 교통류 특징을 가진다.

그러나, 정체시작과 정체끝의 교통류 상태와 정체진행의 교통류 상태를 명확하게 구분하기 위하여 새로운 속도 파라메타(Sini)를 도입하였다. 또한, 속도-점유율 관계도의 교통류 영역은 앞에서 살펴본 바와 같이 거의 2영역이 존재하지 않으므로 3개의 교통류 영역만으로 교통류 상태를 파악할 수 있을 것으로 생각되고 이로 인해 좀 더 간략화된 파라메타와 손쉬운 교통류 영역 결정이 가능하다는 장점을 가진다.



<그림 10> 영동선3의 정상교통류



<그림 11> 영동선3의 돌발상황 교통류

3. 돌발상황 교통류 전이과정

교통류 전이는 정체발생시 1영역→3영역→4영역으로 진행되고, 안정류로 회복은 역순으로 전이되는 패턴을 보인다. 교통류가 전이되는 순간의 데이터가 대부분 3영역에 존재하므로 3영역에 대한 결정이 매우 중요하고, 3영역에 존재하는 검지 데이터의 수가 지속성 검사의 판단기준에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

돌발상황으로 인해서 3영역에서 4영역으로 전이되는 교통류 전이는 다음과 같이 2가지로 구분된다.

▷ 돌발상황 3-1영역 → 4영역 전이

이러한 전이과정은 속도가 Sini보다 크고 낮은 점유율인 3-1영역에서 4영역으로 전이되는 것으로써 남해선2과 영동선3의 돌발상황 교통류가 이에 해당된다.

▷ 돌발상황 3-1영역→3-2영역→4영역 전이

Sini보다 낮은 속도와 낮은 점유율에 데이터가 존재하다가 정체진행인 4영역으로 전이되는 과정을 말한다.

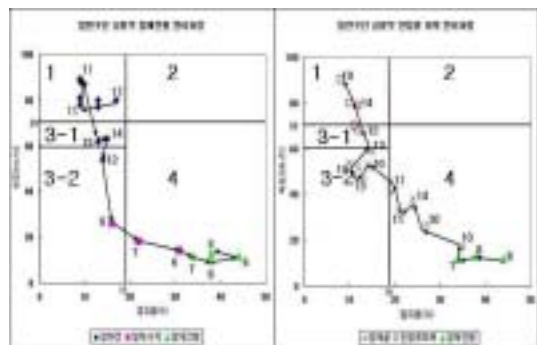
돌발상황 교통류 전이과정에서 보는 바와 같이 검지기 속도자료가 속도임계치(Scrit)보다 낮아지면 3영역에서 일부 데이터가 존재하다가 결국에는 4영역으로 전이되는 것을 알 수 있다.

1) 일반구간

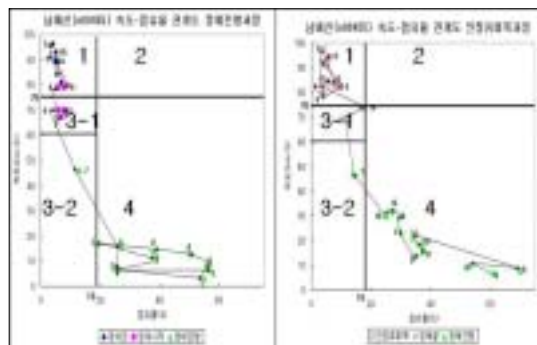
일반구간에서의 돌발상황 전이과정은 3-1영역에서 잠시 머무르다가 빠르게 3-2영역 또는 4영역으로 전이되는 것을 알 수 있다. 정체류에서 안정류로 회복되는 과정도 정체진행과

정과 거의 동일한 과정을 거치면서 전이된다.

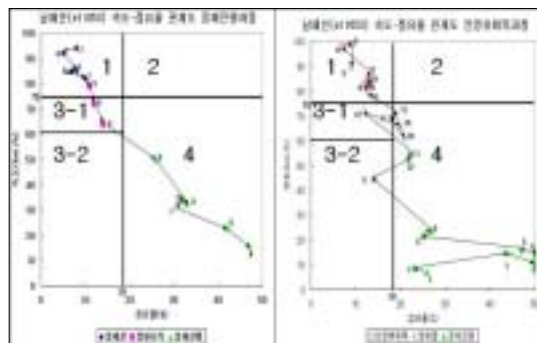
남해선2의 경우, 정체류 회복시 3영역과 4영역을 넘나들면서 진동하는 것으로 관측되어 매우 불안정한 교통류를 보였고 이러한 경우 알고리즘의 오보율로 작용하기 때문에 일정 횟수이상의 지속성 검사가 필요하다.



<그림 12> 중앙선의 정체진행/풀림 전이과정



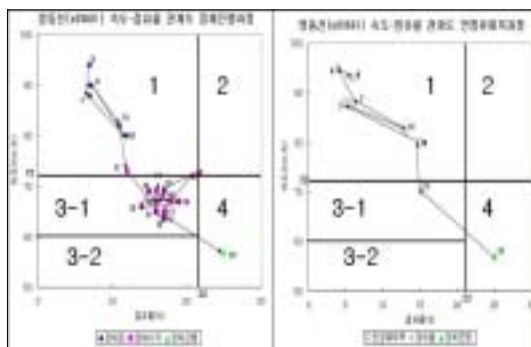
<그림 13> 남해선1의 정체진행/풀림 전이과정



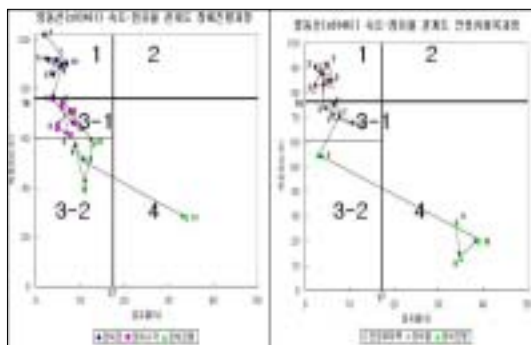
<그림 14> 남해선2의 정체진행/풀림 전이과정

2) 반복정체구간

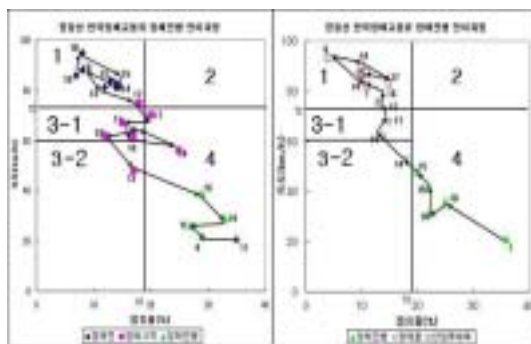
일반구간의 전이과정과는 다르게 반복정체 구간에서는 정체류로 넘어가면서 3영역에 많은 데이터 수가 관측되고 3영역에 머무르는 지속 시간도 그만큼 길게 나타난다. 회복되는 과정은 정체진행 과정과 경로 및 형태가 유사하게 관측된다.



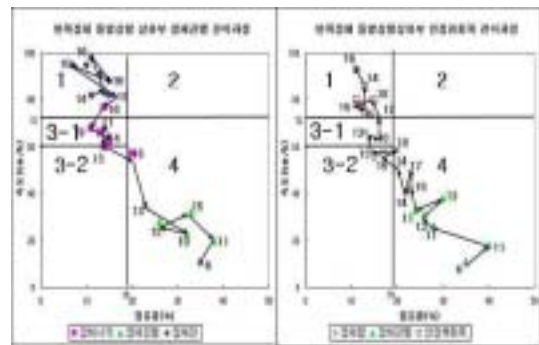
<그림 15> 영동선1의 정체진행/풀림 전이과정



<그림 16> 영동선2의 정체진행/풀림 전이과정



<그림 17> 영동선3의 정체진행/풀림 전이과정 (반복정체교통류)



<그림 18> 영동선3의 정체진행/풀림 전이과정 (돌발교통류)

V. 돌발상황 검지 알고리즘 개발

1. 알고리즘 구현

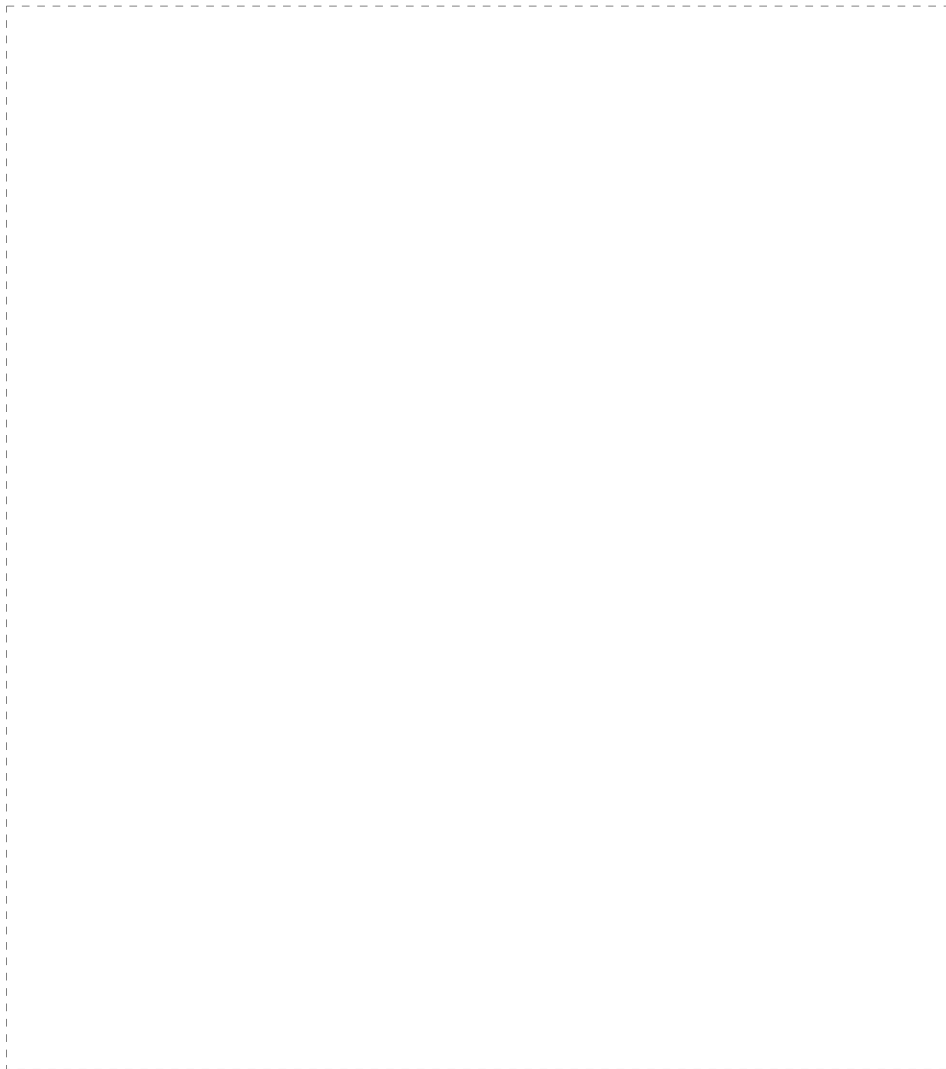
본 연구에서 개발된 알고리즘은 속도-점유율 관계도의 구분된 영역에 따라 교통류 상태를 결정하고 교통류 상태변화에 따라 돌발상황을 검지한 후 돌발상황 교통류가 다시 안정류로 회복되는 교통류를 검지하여 돌발상황을 종료한다.

먼저 수집된 자료의 속도, 점유율, 교통량을 가지고 파라메타를 추정하고 속도-점유율 관계도에서 이 파라메타들을 이용하여 영역을 구분한다. 속도, 점유율 자료 중에서 Scrit와 Ocrit의 두 파라메타를 기준으로 안정류와 정체류를 구분한다. 3개의 연속적인 속도데이터가(30초 단위일 때 1분 30초) 속도임계치(Scrit)보다 작게 나타나면 일반구간 돌발상황으로 판정한다.(단, 반복정체구간인 경우는 판단을 보류한다.) 일반구간에 돌발상황이 검지되면 돌발상황 교통류는 3-1영역에서 3-2영역 그리고 4영역으로 이동하거나 3-1영역에서 4

영역으로 이동하게 되고 회복될 때는 4영역 또는 3-2영역에서 3-1영역을 거쳐 1영역 즉, 안정류로 회복하게 되는데 이 때 지속성 검사를 하여 3-1영역에 5개의 자료(30초 단위일 때 2분 30분)동안의 속도-점유율 자료가 연속해서 나타나면 안정류 회복으로 판단한다. 본 연구에서 제안하는 돌발상황 검지알고리즘은 <그림 19>에서 보는 바와 같이 파라메타를 기준으로 교통상태를 결정하는 과정과 지속성 검사

를 통하여 돌발상황 판정 및 종결하는 과정을 보여주고 있다.

본 제안 알고리즘의 특징은 3영역을 속도초기치(Sini)를 가지고 2개의 영역으로 구분하였다는 점이다. 이러한 기준은 돌발상황을 최종 판정하는 지속성 검사에 해당되는 교통류 상태로서 3-1영역의 존재가 돌발상황 검지 알고리즘의 정확성 및 신뢰성을 좌우하는 척도가 될 것이다.



<그림 19> 제안 알고리즘 흐름도

2. 알고리즘 평가

본 연구에서 개발된 알고리즘의 성능을 평가하고자 다음의 수식을 이용하여 검지율(DR), 오보율(FAR), 검지시간(DT)의 성능지표를 산출하여 기존에 많이 사용하고 있는 McMaster 알고리즘과 비교하고자 한다.

$$\text{검지율}(\%) = \frac{\text{검지된 돌발상황 건수}}{\text{전체 돌발상황 건수}} \times 100$$

$$\text{오보율}(\%) =$$

$$\frac{\text{전체 알람건수} - \text{검지된 알람 건수}}{\text{알고리즘 수행건수}} \times 100$$

$$\text{검지시간(초)} =$$

$$\text{알고리즘 검지시간} - \text{돌발상황 발생시간}$$

오보율의 정의에서 알고리즘 수행건수는 각 검지기 지점별로 30초 단위의 전체 수행건수(1일 2,480번 횡수 수행)를 기준으로 알고리즘에 의해 검지된 전체알람건수에서 실제 돌발상황과 일치하는 알람건수를 뺀 값에 대한 백분율 값에 해당된다.

알고리즘 평가에 사용된 검지기 자료는 돌발상황이 발생한 6개 지점의 데이터로서 앞에서 결정한 각 검지기의 파라메타를 적용하여 평가, 수행하였다. 검지기별로 파라메터 Calibration을 수행한 자료를 활용하여 알고리즘 성능평가를 하였는데, 이는 충분한 양의 돌발상황 자료를 구하기가 현실적으로 어렵고, 또한 본 연구에서 개발한 알고리즘의 경우 같은 검지기 장소에서 2번이상의 돌발상황이 발생되어야 하므로 현실적으로 그러한 조건을 만족시킬 수가 없었다. 그러나, 동일한 자료를 가지고 알

고리즘 성능평가를 하는 경우에도 McMaster 알고리즘과 상대적인 성능비교를 하였기때문에 의미가 있다고 생각된다.

우선, 검지율 측면에서 McMaster 알고리즘이 총 6회의 돌발상황 발생경우에서 2회의 돌발상황을 검지하지 못한 반면, 제안된 알고리즘은 6회의 돌발상황을 모두 검지하는 우수한 검지능력을 보였다. 오보율은 두가지 알고리즘 모두 비슷한 성능을 보였으나 영동선1에서 발생한 돌발상황의 경우 두 알고리즘 모두 매우 높은 오보율을 나타낸 것을 제외하고는 5%이하의 양호한 성능을 보여주었다.

<표 5> 알고리즘 성능평가 결과

구 분		검지율 (%)	오보율 (%)	검지 시간
중앙선 11861	McMaster	McMaster 알고리즘 67%	0.985	-26분
	제안알고리즘		1.003	-27분
남해선1 08455	McMaster		1.025	-17분30초
	제안알고리즘		0.806	-18분
남해선2 11053	McMaster		2.065	27분
	제안알고리즘		2.051	27분
영동선1 03341	McMaster		25.55	-
	제안알고리즘		25.54	32분00초
영동선2 03821	McMaster		4.861	-
	제안알고리즘		5.046	2분30초
영동선3 03461	McMaster	제안 알고리즘 100%	1.927	1분30초
	제안알고리즘		1.424	0분0초

주: 검지시간 지표는 취득한 자료의 부정확성으로 인하여 성능평가가 무의미하므로 제외함.

검지시간(DT) 지표는 교통정보센타에 보고된 돌발상황 시간과 비교하여 나타낸 값으로서 실제 알고리즘 수행결과에 비교해보니 보고된 돌발상황 발생시간보다 더 빠르게 검지되는 것으로 나타났는데 이는 보고된 돌발상

황 발생시간이 실제 돌발상황 발생시간보다 늦게 접수되어 정확하게 발생시각을 알 수가 없기 때문인 것으로 이해된다. 따라서, 이 지표는 알고리즘 성능평가에서 사용하기는 어려울 것으로 생각되어 제외하였다.

종합적으로, 본 연구에서 제안된 알고리즘은 검지율과 오보율의 성능지표 측면에서 우수한 것으로 평가되고 특히 검지율 측면에서 아주 우수한 성능을 보였다.

VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 신뢰성있고 안정적인 돌발상황 검지를 위하여 속도-점유율 관계도에서 교통상태 영역을 구분하기 위한 파라메타를 결정하여 돌발상황을 검지하는 알고리즘 개발을 목적으로 수행되어졌다.

교통류 상태가 속도-점유율 관계도에서 변화하는 특징을 이용하여 교통상태 영역을 결정하고 이를 위한 3개의 파라메타를 산정하였다. 교통류 변화에 가장 밀접하게 변화하는 속도변수를 파라메타로 선정하여 속도임계치(Scrit)와 속도초기치(Sini)를 설정함으로써 전이과정에서 나타나는 교통류 경계영역을 규정할 수 있었으며 돌발상황 검지의 신뢰성을 높이는 결과를 가져왔다. 교통류 영역을 구분하기 위하여 기존 McMaster 알고리즘에서 사용하는 1개의 파라메타(Ocrit)를 이용하였고 추가로 본 연구에서는 속도에 의한 교통류 상태를 분류하고자 2개의 속도 파라메타(Scrit, Sini)를 정의하고 결정하였다.

속도-점유율 관계도와 관련 파라메타를 가지

고 돌발상황 검지 알고리즘을 구현하였고, 알고리즘을 수행하여 검지율, 오보율, 검지시간 등 성능지표를 산출하여 알고리즘을 평가하고, McMaster 알고리즘과 비교하였다. 알고리즘 수행결과, 우수한 검지능력을 보여주었고 오보율과 검지시간 측면에서도 기존 McMaster 알고리즘과 비교하여 더 성능이 우수한 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 속도-점유율 관계도에 의한 돌발상황 검지 알고리즘의 적용성을 제시하였고, 제시된 속도 파라메타(Scrit, Sini)의 사용으로 교통류 영역 구분에 의한 교통류 상태 결정이 기존 연구결과보다 용이하게 결정될 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 기존에 사용하지 않았던 속도변수를 새롭게 사용하였다는 점과 연속류 교통류의 가장 대표적인 교통류관계도를(교통량-점유율과 속도-점유율관계도) 이용하여 교통상태를 결정하였다는 것이 교통공학 적 원리에 의한 교통류이론의 재해석 및 적용 분야라고 생각한다.

향후 연구과제는 돌발상황 발생지점의 하류부 검지기 자료를 추가로 분석하여 반복정체 상황과 비반복정체상황에서 속도-점유율관계도가 어떤 차이를 보이는 지를 세밀하게 비교하고 이를 개발된 알고리즘에 포함시켜 성능을 확장하는 것이 필요하다. 또한, 속도초기치(Sini)를 포함하는 파라메타를 명확하게 산정할 수 있는 방법을 개선하는 연구와 개발된 알고리즘을 다양한 도로 및 교통조건하에서 수행하여 안정적인 돌발상황 검지 알고리즘이 될 수 있도록 지속적인 평가가 요구된다.

참고문헌

- 강수구 · 도철웅 · 손봉수 · 이시복, 2001, “고속도로 돌발상황검지알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구”, 『대한교통학회지』, 제19권 제6호, p. 107.
- 김상구 · 김영춘, 2006, “돌발상황 검지를 위한 교통류 영역 구분에 관한 연구”, 『대한교통학회지』, 제24권 제3호, 7~18.
- 이선하 · 안우영 · 강희찬, 2006, “검지기간 속도-밀도의 관계를 활용한 돌발상황 감지기법”, 『대한교통학회지』, 제24권 제2호, 127~137.
- Gall, A. and Hall, F. L., 1989, “Distinguishing Between Incident Congestion and Recurrent Congestion: A Proposed Logic”, *Transportation Research Record*, 1232: 1~8.
- Persaud, B. N. and Hall, F. L., 1989, “Catastrophe Theory and Patterns in 30-Second Freeway Traffic Data-Implications for Incident Detection”, *Transportation Research(A)*, 23A: 103~113.
- Persaud, B. N. and Hall, F. L., 1990, “Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm”, *TRR*, 1287: 167~175.
- Hall, F. L., Shi, Yong and Atala, George, 1991, “O-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion”, *TRR*, 1394: 1~7.
- Weil, R., Wootton, J. and García-Ortiz, A., 1998, “Traffic Incident Detection: Sensors and Algorithms”, *Mathematical and Computer Modelling* 27(9-11): 257~291.
- 원 고 접 수 일 : 2006년 6월 22일
1차심사완료일 : 2006년 7월 24일
최종원고채택일 : 2006년 8월 1일