

■ 論 文 ■

돌발상황 검지를 위한 교통류 영역 구분에 관한 연구

A Study on Traffic Flow Diagrams to Classify Traffic States of Incident Detection

김 상 구

(전남대학교 교통물류학부 조교수)

김 영 춘

(전남대학교 교통물류학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 방법
- II. 관련 연구고찰
- III. 자료수집 및 처리과정
- IV. 교통류 영역 및 특성
 - 1. 파라메타 결정
 - 2. 교통류 관계도
- V. 결론 및 향후 연구방향
참고문헌

Key Words : 돌발상황, 반복정체, 교통량, 속도, 점유율

요 약

본 연구에서는 반복정체와 돌발상황 교통류 특성을 분석하고 이에 따른 교통류 영역을 3개의 교통류 관계도를 가지고 구분하여 좀 더 안정적이고 신뢰성있는 돌발상황 검지 알고리즘의 개선을 위한 기초이론 정립을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 McMaster 알고리즘의 교통량-점유율 관계도에서 교통류 영역을 구분하는 각각의 파라메타 임계값의 경계에 위치한 교통류의 불확실한 영역 판단으로 인한 오경보를 해결하기 위하여 속도-교통량, 속도-점유율 관계도에 대해서도 새로운 영역 구분을 시도해 보았다. 그리고 구분한 영역에 따른 교통류 상태 판정도에 적합한 새로운 알고리즘의 프로토타입 및 구현방안을 제시하였다. 본 연구의 주안점이 기존의 McMaster 알고리즘의 기능을 개선하고 신뢰성을 갖는 새로운 돌발상황 검지 모형을 제시하는 것으로써 향후 고속도로 돌발상황 검지 체계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

This study aims to introduce a basic principle to improve the incident detection algorithm using traffic flow diagrams that can classify traffic states with a high reliability on the basis of the analysis of traffic flow characteristics under the recurrent or incident congestions. It is tried to newly classify the traffic states with the speed-flow and speed-occupancy diagrams. This is because McMaster algorithm has a tendency on not identifying the traffic states exactly using the flow-occupancy diagram. In this study it shows that the classification of traffic states is applicable to use speed-occupancy relationship. Therefore, it is necessary to determine some parameters to correctly classify the areas representing the traffic states and it may be possible to develop a new algorithm to detect the incident with a high reliability.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

도로상에서 발생하는 교통혼잡은 크게 반복적인 혼잡과 비반복적인 혼잡으로 분류할 수 있다. 반복적인 혼잡은 도로의 용량을 교통 수요가 초과하여 지체와 정체가 반복되는 혼잡을 의미하며 특정 시간, 특정구간에 주기적으로 발생한다. 이러한 혼잡은 시간이 지나면 점차 혼잡이 감소되어 자동적으로 혼잡이 해소가 되고 예측 또한 가능하다. 비반복적인 혼잡은 도로상에서 불규칙하게 발생하는 교통사고, 차량고장, 자연재해 그리고 도로 시설의 유지·보수작업 등으로 인한 혼잡을 말하며 반복적인 혼잡과 달리 임의적으로 발생하기 때문에 예측하기가 어렵다. 이러한 비반복적인 혼잡이 발생하면 교통류의 정상흐름이 와해되어 교통혼잡과 대기오염, 2차 사고 등 막대한 사회적·경제적 손실을 초래하게 된다. 이러한 손실을 최소화 하기 위해서는 비반복적인 혼잡에 대한 조속한 검지와 신속한 처리/대응이 절대적으로 필요하다.

현재 효율적인 교통관리를 위해서 다양한 돌발상황 검지 모형이 개발되어 왔으나 모형의 성능을 평가할 수 있는 3가지 지표인 검지율, 오보율, 검지시간을 모두 만족하기에는 부족한 점을 보이고 있다.

기존에 개발된 돌발상황 검지알고리즘들이 도로상에 매설된 검지기에서 생성된 교통변수 자료(교통량, 평균 속도, 점유율)를 이용하여 정상교통류 상태와 다른 패턴을 인식하여 검지하고 있다. 그러나, 도로상에 돌발상황 발생없이 비혼잡교통류가 혼잡교통류로 넘어가는 반복정체구간에서 정체원인이 돌발상황으로 인한 정체인지를 구별하는 것은 그리 쉬운 일이 아니다.

본 연구에서는 이러한 점을 극복하기 위해 돌발상황을 효율적으로 검지할 수 있도록 반복적인 혼잡과 돌발상황 교통류의 특성을 분석하고 이에 따른 교통류 영역을 3개의 교통류 관계도를 가지고 구체적으로 구분하여 안정적이고 신뢰성 있는 돌발상황검지 알고리즘의 개선을 위한 기초이론 확립을 그 목적으로 한다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 교통류 영역에 따른 교통류 상태를 파악하기 위하여 국내 고속도로의 본선 구간 루프 검지기의 30초 자료를 활용한다. 돌발상황이 발생되는 조

건을 고려하여 일반구간과 반복정체구간으로 구분하여 교통류 특성을 분석하고, 기존 알고리즘에서 많이 사용하고 있는 교통량-점유율 관계도를 기준으로 돌발상황으로 인한 혼잡과 반복정체로 인한 혼잡을 구분하기 위한 교통류 영역에 관련된 파라메타를 산정한다. 산정된 파라메타에 따라 교통량-점유율 교통류 영역을 구분하고 각 영역에 따른 교통류 특성과 영역 경계에 위치한 교통류 특성을 분석한다. 또한 속도-교통량, 속도-점유율에 대한 교통류 특성을 분석하고 이러한 3개의 관계도간의 비교분석을 수행하고, 교통류의 상태가 변하는 전이과정에 대한 정밀한 분석을 통하여 연구 결과 도출과 돌발상황 알고리즘 개발에 필요한 새로운 개념을 제안한다.

II. 관련연구 고찰

1. 교통상태 분류 연구

교통상태 분류와 교통류 전이과정에 대한 이해는 교통운영적인 측면에서 아주 중요한 사항이며, 특히 본 연구에서와 같이 돌발상황을 효율적으로 검지하기 위한 교통류 특성을 분석하는 과정에서는 기존 연구에 대한 선행 검토가 필수적이다.

현재까지 연구된 결과에 의하면, 연속교통류는 다양한 교통상태로 분류될 수 있으며 이러한 교통상태는 이론적으로 증명되고 실제적으로 관측된다고 기존 연구결과에서 밝히고 있다. (Kerner, Helbing et al., Lee et al.)

기존 연구자의 결과를 토대로 교통상태를 분류하여 보면 크게 5가지로 구분되며 이에 대한 설명은 다음과 같다.

1) Free Flow

매우 낮은 교통량이 관측될 때 나타나고 차량간의 상호작용(Interaction)이 없으며 차로간 속도차이도 없어서 다른 교통상태로 전이도 나타나지 않는다.

2) Impeded Free Flow

증가된 교통량으로 인한 차량간 상호작용이 더 강해지면서 발생되고, 여전히 차로간 속도차이는 별로 크지 않다. 아주 극단적인 운전행태를 보이는 경우를 제외하고는 교통류 혼란은 주로 하류부로 전파되고 혼란정도에 따라 다른 교통상태로 전이된다.

3) Congested Flow

교통량은 여전히 높은 수준을 유지하면서 크게 변화하지 않는 상태이고, 속도는 크게 변동하면서 낮은 속도를 보이는 교통상태를 말한다. 교통량과 속도의 상관관계는 매우 약해서 교통량-밀도 관계도에서 넓은 범위에 걸쳐서 불규칙적으로 흩어져 나타난다. 차로간 속도는 대략 같은 상태이다.

4) Jammed Flow

높은 교통수요와 하부류의 불량한 교통조건으로 인해서 충격파가 상류부로 전파되면 교통량은 정체교통류보다 더 낮아지게 되고 속도는 더 낮아질 필요는 없는 상태를 말한다. 이 상태는 속도와 교통량이 양의 상관관계를 가지며 하류부에서 정체로 인하여 막히는 상태가 되면 최대밀도를 보이는 정지상태에 도달하기도 한다. 차로간 속도는 거의 같은 상태이다.

5) Synchronized state

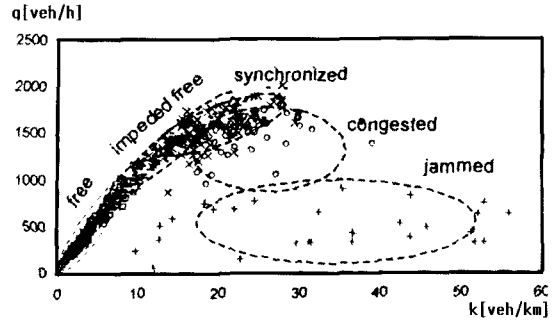
모든 차로의 속도는 동기화되어 같은 수준을 보이는 상태로서 Impeded Free Flow 속도보다는 약간 낮으나 여전히 높은 속도를 보인다. 이 상태의 평균교통량은 Impeded Free Flow 상태의 평균교통량 만큼 높으나 더 적은 교통량 분산을 가진다. 교통상황에 따라 교통류 혼란은 상하류부로 전파되고 정체교통류나 혼잡교통류로 전이될 수 있는 상태이다.

이러한 교통상태들은 도로 및 교통조건에 의해 모든 종류들이 실제적으로 관측되거나 일부 교통상태는 생략되기도 한다. <그림 1>은 김영호(2002) 논문에서 제시한 다양한 교통상태를 나타내는 교통량-밀도 관계도에 관한 그림이다.

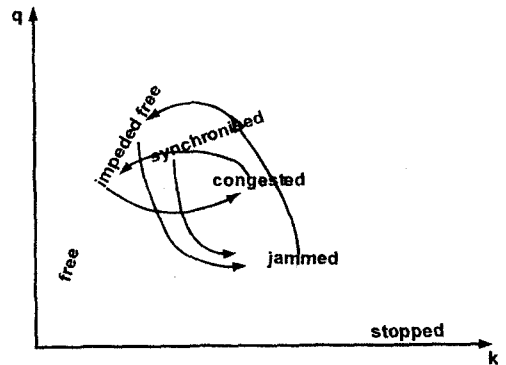
앞에서 살펴본 교통상태에서 교통류 전이과정이 발생하는 종류는 여러 가지 조합이 가능하나 <그림 2>에서 살펴보는 바와 같이 구분된다고 할 수 있다.

첫 번째로 Impeded 교통류에서 Jammed 교통류나 Congested 교통류로 전이되는 경우와 두 번째로 Synchronized 상태에서 Jammed 교통류로 전이되는 경우로 구분할 수 있다.

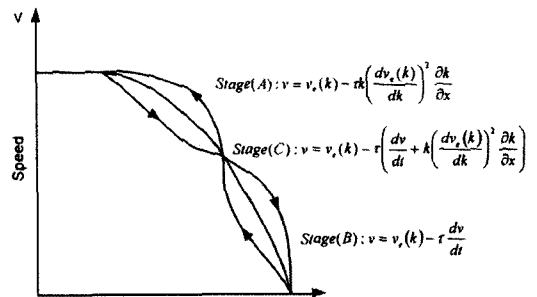
본 연구는 돌발상황 검지에 관한 교통류 특성을 살펴보는 것이므로 두 번째의 전이과정에 대한 내용은 해당되지 않는다. 또한 전이과정은 안정류에서 정체류로 전이되는 경우와 반대로 회복되어 전이되는 2가지 방



<그림 1> 교통류 상태 분류(김영호(2002))



<그림 2> 교통류 전이과정(김영호(2002))



<그림 3> 속도-밀도관계의 단계(Zhang(1999))

향의 전이과정으로 구분할 수 있으며 이러한 전이과정에서 이력현상(Hysteresis Phenomena)이 존재하는 것으로 알려져 있다.(Treiterer and Myers(1974), Zhang (1999))

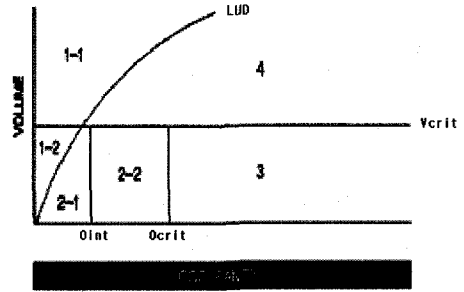
2. 기존 돌발상황 검지 알고리즘 연구

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

현재까지 개발된 모든 돌발상황 검지 알고리즘들은

〈표 1〉 돌발상황검지 알고리즘 분류 및 특징

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



〈그림 4〉 McMaster 알고리즘의 교통영역 구분

리즘의 신뢰도가 변하게 된다. 또한, 각 지점에서 나온 파라메타를 다른 지점에 적용할 수 없으므로 각 지점마다 파라메타를 추출해야하는 번거로움이 있다.

〈그림 4〉는 McMaster 알고리즘에서 사용하는 교통량-점유율에 따른 영역구분을 나타낸다.

〈그림 4〉에 나타난 각각의 영역은 LUD(혼잡교통류와 비혼잡교통류의 경계), Vcrit(대기행렬 풀림교통류의 최소교통량), Ocrit(임계점유율), Oint에 의해 구분된다.

국내의 기존 연구 논문 중에서 본 연구와 관련있는 강수구 등(2001) 연구에서는 교통량, 속도, 점유율 등 세 교통변수간의 관계식에 근거하여 일차적으로 혼잡을 검지하고, 다음단계에서 반복 혼잡 및 비반복 혼잡 구분을 하기 위해 McMaster 알고리즘을 응용하여 속도-교통량 교통상황판단 방법론을 구축하여 발표하였다.

III. 자료수집 및 처리과정

1. 자료수집

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 반복정체와 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 대표적인 8개 지점을 정하였고 돌발상황 지점을 중심으로 연속된 5개 지점의 검지기 자료를 수집하였다. 돌발상황이 발생한

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

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 지점검지기에 맞는 파라메타를 산정하여 영역을 4개로 구분하여 정체교통상태를 판정한 후 하류부 지점의 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 파라메타들을(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 미치므로 그 값이 어떻게 변화하느냐에 따라 알고

도로 위치, 발생 원인별로 유형을 구분하였으며 일반구간과 반복정체 구간의 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.

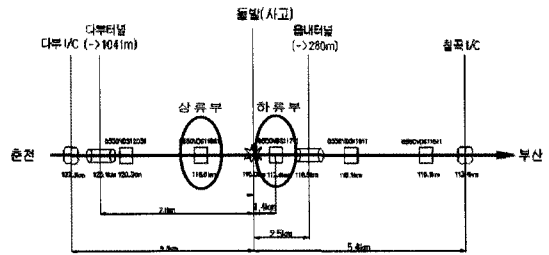
이중 서해안선 상행방향의 자료는 교통량이 적은 새벽에 돌발상황이 발생한 관계로 돌발상황 영향이 나타나지 않았으며 서해안선 하행방향 자료 역시 짧은 돌발상황 지속시간과 적은 교통량으로 인해 돌발상황 영향이 나타나지 않아서 분석 자료에서 제외하였다. 남해선 하행1방향의 자료는 기록된 돌발상황 외의 다른 돌발상황으로 인한 영향이 나타난 것으로 추측되어 정확성 문제로 부적합하다고 판단하였다.

남해선 하행2방향의 자료는 검지기 이상으로 보이는 자료의 오류가 장시간 나타나서 제외되었고 경부선 하행방향의 자료는 돌발상황 하류부의 검지기 자료가 장시간에 걸쳐 오류난 자료가 발견되어 자료의 정확성 문제로 선정되지 않았다. 영동선 상행방향의 자료 역시 돌발상황의 영향이 나타나지 않은 관계로 제외되었다. 중앙선 상행방향의 자료는 상·하류부 자료 모두 돌발상황의 영향이 비교적 잘 나타났으며 자료의 정확성도 좋았고 돌발상황이 일어난 위치가 일반구간에 이용하기에 적합하다고 판단되었다. 영동선 하행방향의 자료는 상·하류부 자료 모두 돌발상황의 영향이 잘 나타났으며 자료의 정확성도 좋았고 반복정체의 영향 또한 잘 나타나서 반복정체구간에 이용하기에 적합하였다.

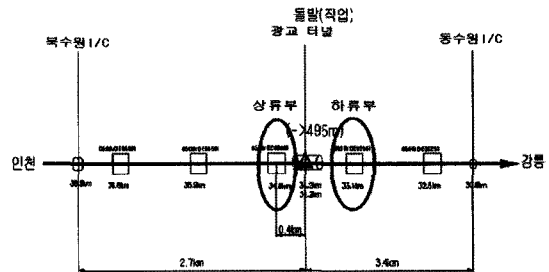
본 연구에서는 돌발상황 발생의 직접적 영향을 받는 상류부 검지기 자료만을 대상으로 분석하였다.

<표 2> 돌발상황 관련 교통자료 내역

돌발상황 유형	노선명	차로 수	돌발상황 일자	돌발상황 지속시간	대상 차로	검지기		방향	
						상류부	하류부		
사고	일반구간	중앙선	2	4월18일	19:01-20:16	2	vds11861	vds11741	상행
		서해안선	2	4월18일	02:23-03:37	모름	vds09051	vds08861	상행
		서해안선	2	4월18일	11:04-11:32	1	vde23351	vde11233	하행
		남해선	2	4월16일	16:54-17:15	2	vde08455	vde08563	하행1
작업	반복정체 구간	남해선	2	4월20일	16:16-17:47	1	vde11053	vde11233	하행2
		경부선	3	4월20일	15:17-17:47	3	vde26941	vde27021	하행
		영동선	3	4월16일	22:51-04:58	1,2	vds03341	vds03461	상행
		영동선	3	4월18일	09:25-10:30	3	vds03461	vds03341	하행



<그림 5> 중앙선 검지기 위치



<그림 6> 영동선_2 검지기 위치

2. 자료처리 과정

본 연구에서 사용한 자료의 집계시간 단위는 고속도로에서 수집된 검지기의 원시 집계간격인 30초를 그대로 사용하였는데 그 이유로 우선, 교통류 전이과정과 같이 신속하게 교통류 변화가 발생되어 정밀하게 분석할 필요성이 있었고, 또한 모든 돌발상황 검지 알고리즘들은 고속도로 교통관리 시스템(FTMS)에서 polling cycle과 동일하게 실시간으로 수집되는 교통변수 자료들을 가지고 알고리즘이 운영되므로 FTMS 검지기 수집간격인 30초를 교통특성 분석에서 그대로 사용하였다. 수집된 중앙선과 영동선_2의 원시 30초 자료의 차로별 속도, 교통량, 점유율 자료에서 오류가 나타난 자료(-999)를 공백으로 처리한 후 같은 시간의 속도, 교통량, 점유율 각각 100km/h, 0대, 0%로 나타내면 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.

IV. 교통류 영역 및 특성

1. 파라메타 결정

McMaster 알고리즘은 지점 검지 알고리즘으로서 속도, 점유율, 교통량을 이용하여 교통상태의 변화를 체크

하는 것이다. 이 알고리즘은 각각의 검지기 지점별 교통량과 점유율에 기반하여 영역을 구분하고 그 영역에 따라 교통류의 상태를 판단하도록 한다.

관련 파라메타는 McMaster 알고리즘에 제시되는 기준에 따라 결정되었고 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+표준편차]사이의 자료만을 추출하고 이 순서를 반복적으로 수행하는데 [평균-표준편차]의 n번째 값과 n+1번째 값의 차이가 0.5km/h 보다 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 자료를 모두 포함될 수 있도록 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.

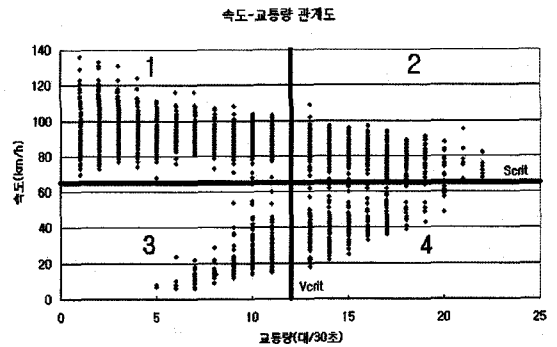
4) 최소 임계속도(Scrit)

최소임계속도란 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 2이하 값을 제외한 나머지 자료만으로 산정한다.

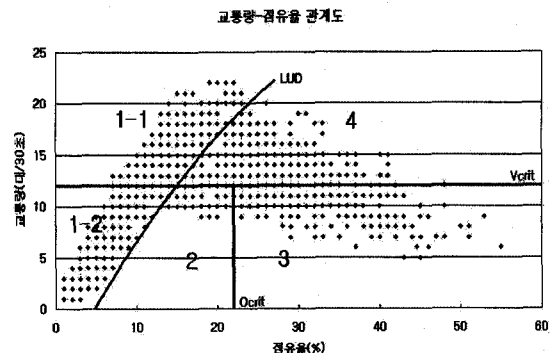
<표 3> 검지기별 산정된 파라메타 결과

노선	수정된 LUD 함수			Ocrit (%)	Vcrit (대/30초)	Scrit (km/h)
	함수식	CONST	기준속도 (km/h)			
중앙상류부	$y=-0.0266x^2+1.7096x-4.8947$	4.8	94	19	14	69
영동선상류부	$y=-0.0239x^2+1.124x-3.8667$	3.9	80	19	16	72

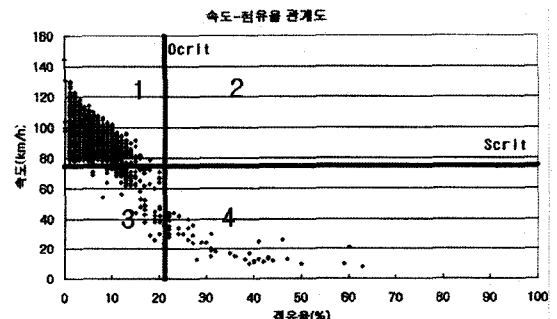
이상에서 결정된 파라메타를 이용하여 교통관계도상에서 교통류영역을 표시하면 다음과 같다.



<그림 8> 속도-교통량 관계의 파라메타



<그림 7> 교통량-점유율 관계의 파라메타



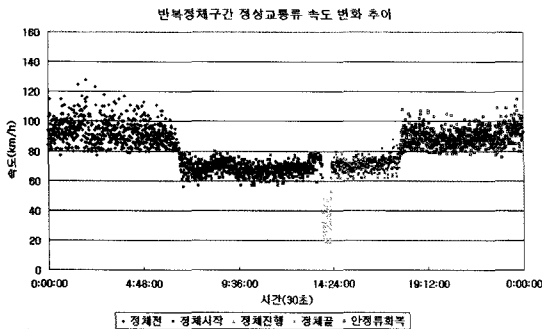
<그림 9> 속도-점유율 관계의 파라메타

5) 교통류 분류 기준

해당 검지기의 일주일 자료 중 돌발상황이 일어난 1 일 자료를 가지고 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, 정체 끝 이후의 교통류를 안정류 회복으로 분류하였다.

(1) 정상교통류 속도 변화 추이

반복정체 구간에서 시간대별 속도변화 추이를 살펴 보면, 일정 속도구간(60~80km/h)의 교통류 자료들이 관측되나 돌발상황 교통류에서는 관측되지 않는다. 이는 반복정체의 원인이 영동선의 광고터널로서 터널 기하구조의 영향으로 교통용량 감소가 일부 발생하여 속도가 떨어지는 것으로 이해된다. 그러나, 돌발상황이나 유입연결로 영향구간 같이 교통류의 직접적 영향이 발생되면 이러한 영역의 존재없이 즉각적으로 정체류로 전이되는 것으로 분석된다.

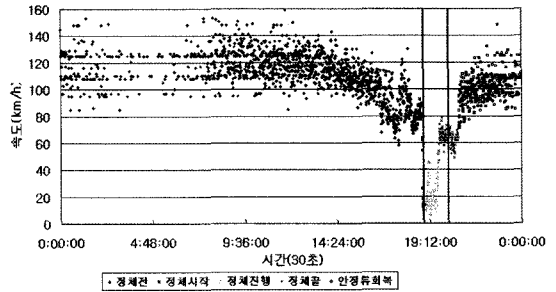


〈그림 10〉 반복정체구간 정상교통류 시간대별 속도변화 추이

(2) 돌발상황 교통류 속도 변화 추이

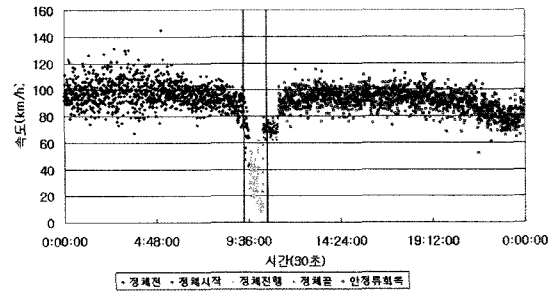
돌발상황이 발생하여 정체류로 전이된 후 다시 안정류로 회복되는 경우, 일반구간과 반복정체구간 모두 일정 속도수준(60~80km/h)의 교통류 자료가 존재하는 것으로 파악되었으며, 이러한 교통류가 synchronized flow state로 판단된다. 또한, 돌발상황 발생시간대와 일치하는 교통류 전이 상태(안정류↔정체류 전이 및 회복)를 나타냄으로써 돌발상황으로 인한 교통류 정체가 발생된 것으로 추정할 수 있다.

중영선 돌발상황 상류부 18일 속도 변화 추이



〈그림 11〉 일반구간 돌발교통류 시간대별 속도변화 추이

영동선 돌발상황 상류부 18일 속도 변화 추이



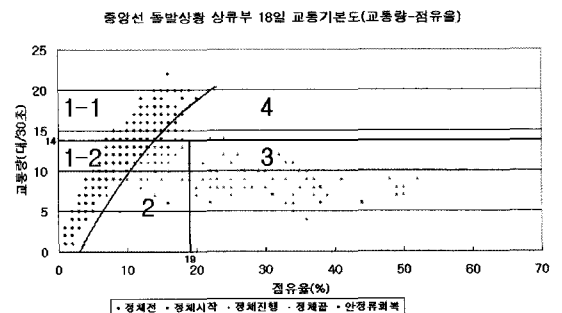
〈그림 12〉 반복정체구간 돌발교통류 시간대별 속도변화 추이

2. 교통류 관계도

1) 교통량-점유를 관계도

(1) 일반구간

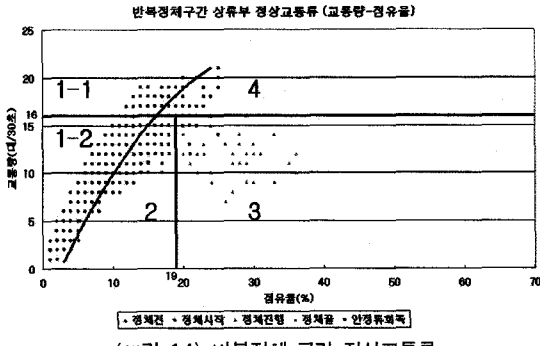
돌발상황이 발생되고 나서 2영역이나 3영역으로 전이되고 2영역을 통해서 안정류로 회복되는 것을 알 수 있다.



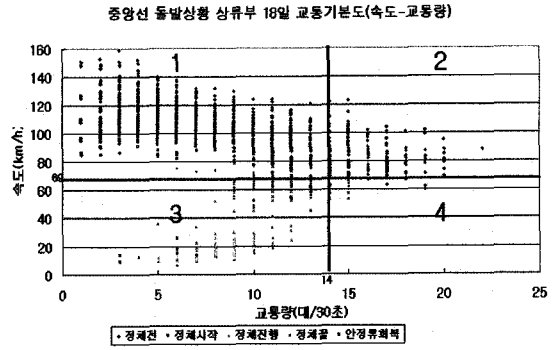
〈그림 13〉 일반구간 돌발상황

(2) 반복정체 구간

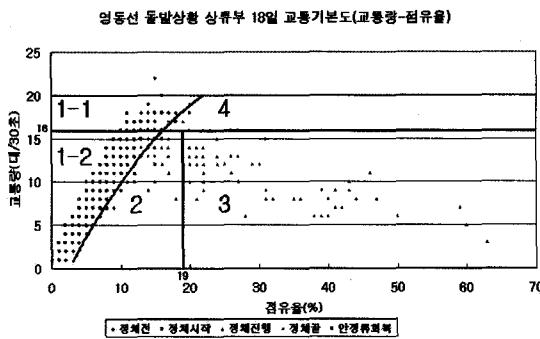
반복정체 구간에서는 돌발상황이 발생하지 않더라도 정체류를 보이거나 돌발상황이 발생될 때같이 2, 3영역보다는 4영역에 더 많은 데이터가 존재하고 정상교통류에



〈그림 14〉 반복정체 구간 정상교통류



〈그림 17〉 일반구간 돌발교통류



〈그림 15〉 반복정체 구간 돌발교통류

므로 다른 기준에 의해 새로운 Scrit을 결정할 필요가 있고 돌발교통류는 1, 2, 3영역에 데이터가 존재하나 각 영역별로 교통류 상태(정체전, 정체시작, 정체진행, 정체끝, 안정류회복) 모두가 혼재하여 영역에 따른 교통류 상태 분류가 어려운 것으로 판단된다.

(2) 반복정체 구간

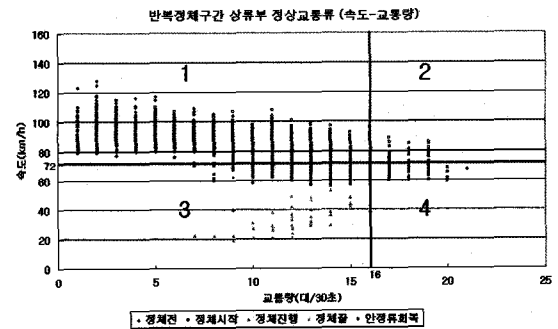
반복정체구간의 정상교통류는 모든 영역에서 데이터를 관측할 수 있고 특히 3영역에서는 정체시작의 교통류 상태가 주로 분포하는 것을 알 수 있으나 일반구간의 돌발교통류 같이 각 영역에서 교통류 상태가 혼재하

서는 LUD 곡선 아래에 많은 데이터가 존재하며 안정류와 정체류 사이에 많은 혼란 상태를 보이는 것으로 생각된다. 또한, 돌발상황교통류에서는 돌발상황 발생의 직접적 영향으로 4영역에서 넓은 분포를 가지고 데이터가 존재하는 것으로 분석된다.

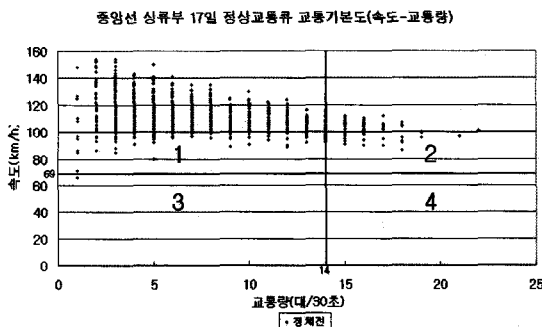
2) 속도-교통량 관계도

(1) 일반구간

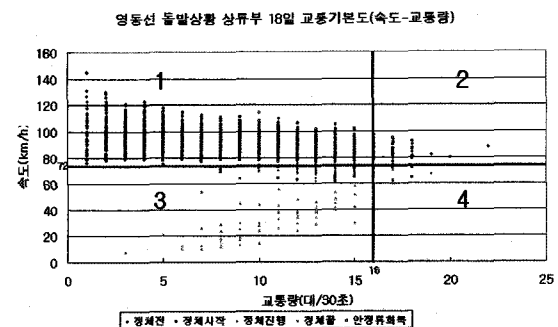
일반구간의 정상교통류는 1, 2 영역에 모두 분포하고 있으나 Scrit 기준선과 상당한 차이를 보이고 있



〈그림 18〉 반복정체구간 정상교통류



〈그림 16〉 일반구간 정상교통류



〈그림 19〉 반복정체구간 돌발교통류

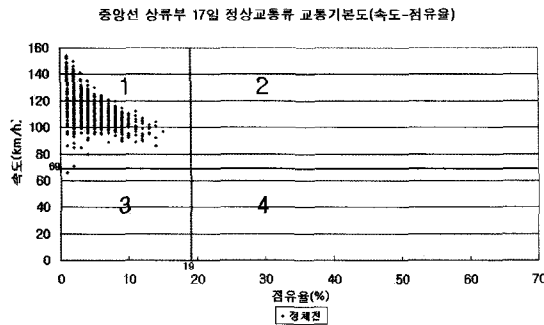
여 분포함으로써 교통류 영역표시가 어렵고 돌발교통류도 비슷한 경향을 보이는 것으로 분석된다.

따라서, 속도-교통량 관계도에 의해서 교통류 영역을 구분하여 교통류 상태를 판단하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단된다.

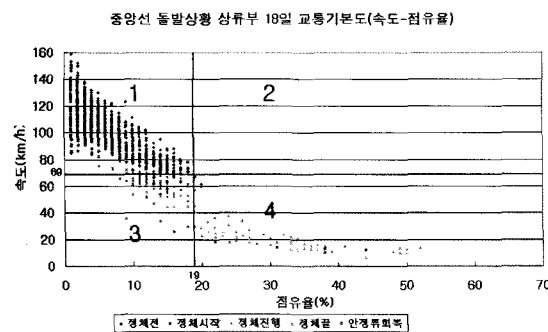
3) 속도-점유율 관계도

(1) 일반구간

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.



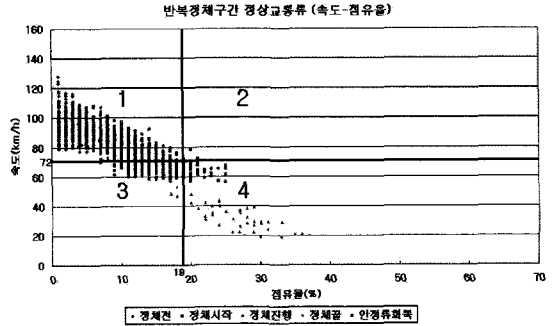
〈그림 20〉 일반구간 정상교통류



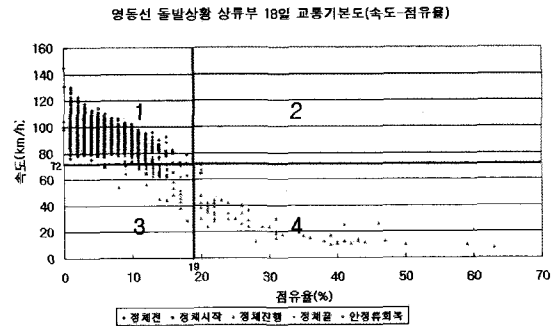
〈그림 21〉 일반구간 돌발상황교통류

(2) 반복정체 구간

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



〈그림 22〉 반복정체구간 정상교통류



〈그림 23〉 반복정체구간 돌발교통류

그러나, 정체시작과 정체끝의 교통류 상태와 정체진행의 교통류 상태를 명확하게 구분하기 위하여 새로운 속도 파라미터의 도입이 요구된다. 또한, 속도-점유율 관계도의 교통류 영역은 앞에서 살펴본 바와 같이 2영역이 존재하지 않으므로 3개의 교통류 영역만으로 교통류 상태를 파악할 수 있을 것으로 생각되고 이로 인해 좀더 간략화된 파라미터와 손쉬운 교통류 영역 결정이 가능하다는 장점을 가진다.

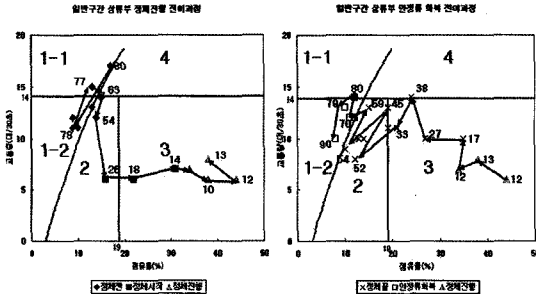
2) 교통류 전이과정

(1) 교통량-점유율 관계도

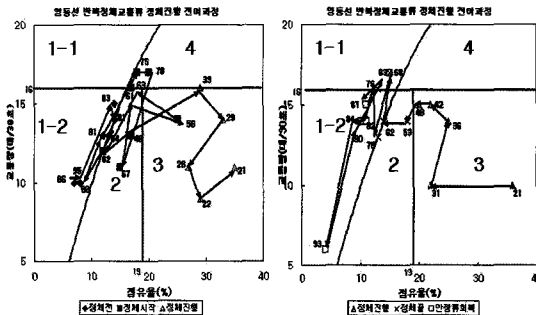
1영역인 안정류에서 정체류로 전이는 속도감소(54 → 26km/h)로 인해 거의 같은 점유율 수준에서 교통량이 감소되고 2영역을 거쳐서 같은 교통량 수준에서 속도가 감소하여 점유율이 증가하는 변화를 보여주면서 3영역에 위치하는 경향을 보인다.

2영역에서 연속적인 데이터 값들이 비슷한 속도를 유지할 경우 오랜 시간동안 교통량과 점유율이 진동되면서 산란하는 패턴을 보인다. 반면에 속도의 변화가 클 경우에는 2영역에서 3영역으로 빠르게 전이되는 것을 알 수 있다. 따라서, 정체를 판단하는데 있어서 속도변

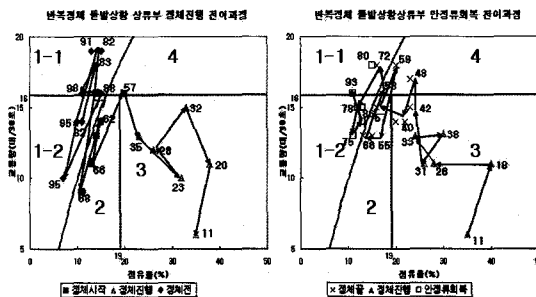
수 값의 파악이 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다. 정체류에서 안정류의 회복은 정체진행과 역방향으로 3영역→2영역→1영역 순으로 전이된다.



(그림 24) 일반구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)



(그림 25) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(정상교통류)



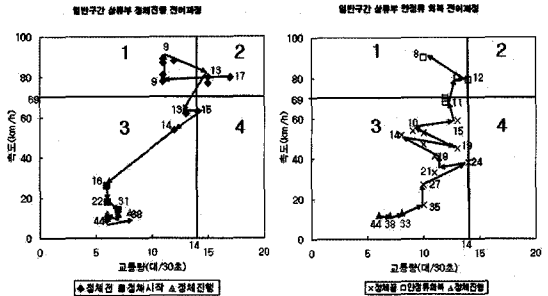
(그림 26) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)

(2) 속도-교통량 관계도

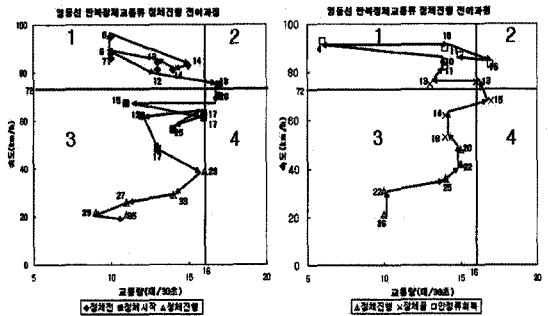
최소임계속도(Scrit)를 기준으로 안정류와 정체류가 분리되며, 교통량 변수인 Vcrit 파라메타가 가지는 의미는 없는 것으로 판단된다. 따라서, 속도-교통량 관계도에 의한 돌발상황 검지는 현실적으로 어려운 것으로 생각된다.

강수구 등(2001)의 연구논문에서 사용한 속도-교통량 관계도에 의한 돌발상황 검지 알고리즘의 교통류 영

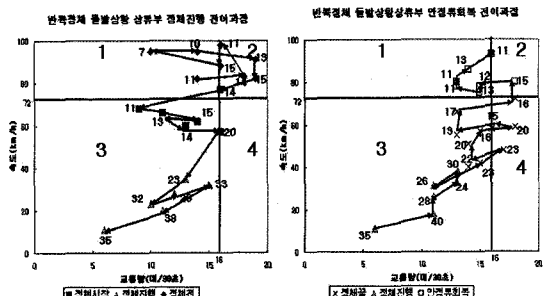
역구분은 본 논문에서는 뚜렷한 특징을 가지지 않는 것으로 분석된다.



(그림 27) 일반구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)



(그림 28) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(정상교통류)

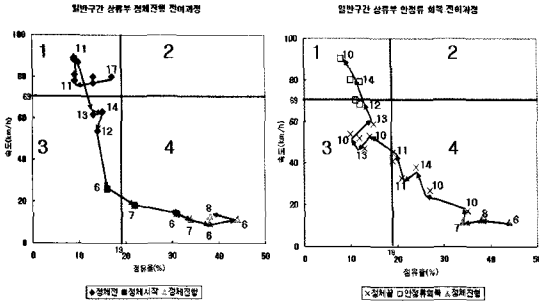


(그림 29) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)

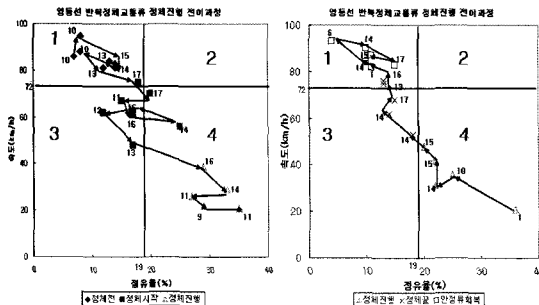
(3) 속도-점유율 관계도

교통류 전이는 정체발생시 1영역→3영역→4영역으로 진행되고, 안정류로 회복은 역순으로 전이되는 패턴을 보인다. 그러나, 전이되는 과정에서 안정류에서 정체류로 전이되는 것은 빠르게 진행되는 반면에 안정류로 회복하는 경우 상대적으로 오랜 시간동안 3영역에 머물면서 전이되는 것으로 관측된다.

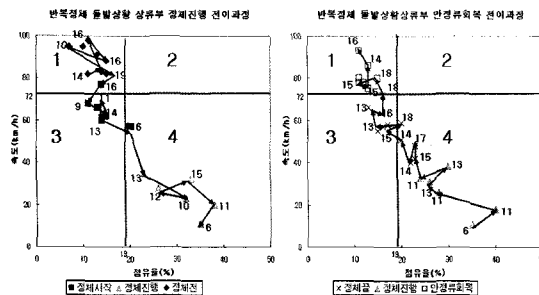
교통량-점유율 및 속도-교통량 관계도와 비교하여 속도-점유율 관계도는 교통류 영역 구분이 상대적으로



(그림 30) 일반구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)



(그림 31) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(정상교통류)



(그림 32) 반복정체구간 정체진행 및 풀림 전이과정(돌발교통류)

용이하고, 교통류 상태를 결정하기가 쉬어서 돌발상황 검지를 위한 새로운 알고리즘 개발에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

교통류가 전이되는 순간의 데이터가 대부분 3영역에 존재하므로 3영역에 대한 결정이 매우 중요하고, 3영역에 존재하는 검지 데이터의 수가 지속성 검사의 판단 기준에 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 돌발상황 검지시작에 필요한 지속성 사용 갯수는 3~5개이고, 돌발상황 종료에 필요한 갯수는 4~6개 정도로 파악된다. 이러한 갯수의 결정은 검지율, 오보율, 검지시간의 수행지표의 결과에 영향을 미치므로 신중히 결정하여야 하나 일반적으로 돌발상황 종료에 사용되는 갯수가 더 많아야 할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 돌발상황을 효율적으로 검지할 수 있도록 반복적인 혼잡과 돌발상황 교통류의 특성을 분석하고 이에 따른 교통류 영역을 3개의 교통류 관계도를 이용하여 구분하는 것을 목적으로 수행되었다.

교통류 영역을 구분하기 위하여 기존 McMaster 알고리즘에서 사용하는 3개의 파라메타(LUD 곡선, Ocrit, Vcrit)를 산정하여 결정하였고, 추가로 본 연구에서는 속도에 의한 교통류 상태를 분류하고자 1개의 속도 파라메타(Scrit)를 도입하였다. 강수구 등(2001) 논문에서 제시한 결과와 같이 속도에 대한 변수를 이용함으로써 기존의 교통량-점유율 관계도를 사용한 모형보다 교통류 상태 구분이 더 명확하게 나와서 선행연구의 결론과 부합됨을 알 수 있다.

시간대별 속도변화 추이분석을 통하여 돌발상황이 발생하여 정체류로 전이된 후 다시 안정류로 회복되는 경우, 일반구간과 반복정체구간 모두 일정 속도수준(60~80km/h)의 교통류 자료가 존재하는 특성을 가지는 것으로 분석되었다.

교통류 관계도 분석에서는 기존 교통량-점유율 관계도를 이용할 경우 교통류 상태 구분이 어느 정도 가능하였으나, 속도-교통량 관계도는 교통류 상태를 구분할 수가 없었다. 또한, 속도-점유율 관계도는 구분된 교통류 영역에 따라 명확하게 교통류 상태가 구분되었으며, 2영역에서는 교통류 데이터가 존재하지 않아서 Scrit와 Ocrit를 가지고 총 3개의 영역으로 구분하면 교통류 상태를 결정할 수 있는 것으로 분석되었다. 속도-점유율 관계도는 기존 교통량-점유율 관계도보다 교통류 영역이 간소화되고 더 명확하게 교통류 상태를 구분할 수 있다는 장점을 보였으며, 특히 3영역을 정확하게 구분한다면 정확하고 신뢰성 있는 돌발상황 검지가 가능한 것으로 판단된다.

교통류 전이 분석에서는 교통류 상태 전이과정에서 이력현상(Hysteresis Phenomena)이 뚜렷하게 보이는 않았고, 교통류 조건별로 약간 다른 전이 궤적을 나타냈다. 또한, 연속적인 데이터의 속도 변화값에 따라 교통류의 산란정도는 다르게 발생하였고, 돌발상황 알고리즘의 시작과 종료에 사용되는 지속성 검사의 기준도 제시하였다.

본 연구에서는 속도-점유율 관계도에 의한 돌발상황 검지 알고리즘의 개발 가능성을 제시하였고, 제시된 속

도 파라메타(Scrit)의 사용으로 교통류 영역 구분에 의한 교통류 상태 결정이 기존 연구결과보다 용이하게 결정될 수 있음을 알 수 있었다.

향후 연구방향은 돌발상황 발생지점의 하류부 검지기 자료를 추가로 분석할 필요성이 있으며, 속도-점유율 관계도를 이용한 새로운 돌발상황 알고리즘 개발과 검증에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 강수구·도철용·손봉수·이시복(2001), "고속도로 돌발상황검지알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구" 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.107.
2. A. Gall and F. L. Hall(1989), "Distinguishing Between Incident Congestion and Recurrent Congestion : A Proposed Logic" TRR, 1232, TRB, pp.1~8.
3. B. N. Persaud and F. L. Hall(1989), "Catastrophe Theory and Patterns in 30-Second Freeway Traffic Data-Implications for Incident Detection" Transpn. Res.-A, Vol. 23A, Great Britain, pp.103~113.
4. B. N. Persaud, F. L. Hall(1990), "Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm", TRR, 1287, TRB, pp.167~175.
5. F. L. Hall, Yong Shi, and George Atala (1991), "O-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion", TRR, 1394, TRB, pp.1~7.
6. Helbing D., Hennecke A. and Treiber M. (1999), "Phase Diagram of Traffic States in the Presence of Inhomogeneities" Phys. Rev. Letter, 82, p.4360-4363.
7. Kerner B. S. and Rehborn H.(1996), "Experimental Properties of Complexity in Traffic Flow" Phys. Rev. E, 53, pp.4275~4278.
8. Kim Y. (2002), "Online Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relation" Ph.D. Dissertation, Technische Universität München, pp.18~22.
9. Lee H. Y., Lee H. W. and Kim D. (1999), "Dynamic States of a Continuum Traffic Equation with On-ramp" Phys. Rev. E., 59, pp.5101~5111.
10. R. Weil et al.(1998), "Traffic Incident Detection: Sensors and Algorithms", Mathl. Comput. Modelling Vol 27, No. 9-11, pp.257~291.

✉ 주 작 성 자 : 김상구

✉ 교 신 저 자 : 김상구

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2006. 4. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 4. 24

✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30