

■ 論 文 ■

수정교통량-점유율 관계도를 이용한 돌발상황 자동검지알고리즘 개발 및 평가

Development and Evaluation of Automatic Incident Detection Algorithm using Modified
Flow-Occupancy Diagram

김 상 구

(전남대학교 교통물류학부 교수)

김 영 춘

(전남대학교 교통물류연구소 연구원)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구배경 및 목적</p> <p>2. McMaster 알고리즘</p> <p>II. 자료수집 및 처리과정</p> <p>III. 수정교통량-점유율 관계도</p> <p>1. 교통류 분류 기준</p> <p>2. 낮은 교통량 상태의 돌발상황 특성 분석</p> | <p>3. 새로운 교통량-점유율 관계도</p> <p>4. 교통상태 영역 및 특성</p> <p>IV. 돌발상황 검지 알고리즘 개발</p> <p>1. 알고리즘 구현</p> <p>2. 알고리즘 평가</p> <p>V. 결론 및 향후 연구방향</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 돌발상황, 수정교통량, McMaster 알고리즘, 검지율, 오보율
Incident, Modified Flow, McMaster Algorithm, Detection Rate, False Alarm Rate

요 약

기존의 고속도로 돌발상황 검지 알고리즘들은 돌발상황 발생시 혼잡이 발생하는 교통류상황을 전제로 하여 개발된 것으로 교통량이 낮아 혼잡이 발생하지 않은 경우에는 모형의 성능이 유지된다고 보기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 3가지 교통류 유형 특성을 우선적으로 분석하고 속도변수를 기준으로 수정교통량-점유율 관계도를 생성한다. 또한, 제안된 새로운 관계도를 이용하여 교통류 상태를 5개 영역으로 구분하고 돌발상황을 검지하는 알고리즘을 개발하고 실제 고속도로 검지기 자료를 가지고 평가하는 것을 목적으로 한다. 수정교통량-점유율 관계도를 이용한 영역구분은 기존 McMaster 알고리즘에서 보여주었던 부정확한 영역구분으로 인해 낮은 교통량 상태에서 돌발상황 검지가 어렵다는 단점을 개선할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 개발된 알고리즘의 평가결과로서 검지율과 오보율 등의 성능지표 측면에서 기존 McMaster 알고리즘과 비교평가하여 제시하고자 한다.

Most algorithms for detecting incidents have been developed under the premise that congestion must happen whenever an incident occurs. For that reason, the performance of these algorithms could not be guaranteed in cases where congestion did not happen due to traffic operations with low flows despite the occurrence of an incident. The objective of this paper is to develop an automatic incident detection algorithm using a new diagram that can reliably detect the incident under various conditions of traffic operations including a low volume state. Compared with the McMaster Algorithm, the proposed algorithm in this paper was evaluated with three different cases in which the incidents occur in traffic operations with a low volume state, a relatively high volume state, and a recurrent congestion state. It is shown that the new algorithm has a capability to identify the flow characteristics of incidents for all the three cases and is much better than McMaster algorithm in terms of detection rate and false alarm rate.

본 연구는 건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 현재 수행중인 "u-연속류 운영관리 알고리즘 개발"의 지원을 받아 수행되었습니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로의 효율적인 교통관리를 위해서는 사전에 예측이 불가능한 돌발상황을 신속하게 검지하여 효율적으로 대응하는 것이 매우 중요하다. 이러한 목적을 위하여 국내외 많은 연구자들은 돌발상황을 신뢰성 있게 검지하는 알고리즘을 지속적으로 개발하여 왔으나 각 알고리즘 별로 검지율과 오보율 등의 성능지표 결과들이 만족스럽게 나오는 알고리즘은 아직 개발되지 못한 실정이다.

기존의 고속도로 돌발상황 검지 알고리즘들은 돌발상황 발생시 상류부에 혼잡이 발생하는 교통상황을 전제로 개발되었기 때문에, 돌발상황 발생시 교통량이 적어 혼잡이 나타나지 않는 경우에는 돌발상황의 검지가 어렵다. 교통량이 적은 경우 돌발상황 발생시 차량의 주행속도가 높아 2차사고가 발생할 위험이 크기 때문에 안정성 측면에서 신뢰성 있는 돌발상황 관리가 필요하다. 하지만 돌발상황 상류부에 혼잡이 발생하지 않아 검지기로부터 수집되는 자료의 변동이 나타나지 않는 기존의 교통량, 점유율 기반 알고리즘들은 돌발상황을 검지하는데 한계가 있다.

이러한 점을 극복하기 위해 본 연구에서는 돌발상황을 효율적으로 검지할 수 있도록 교통량에 따라 돌발상황 교통류를 세가지로 분류하여 각각의 특성을 분석하고, 속도변수를 기준으로 수정교통량-점유율 관계도를 만들어 영역을 구분하고 돌발상황을 검지하는 알고리즘을 개발하여 실제 고속도로 검지기 자료를 가지고 평가하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서는 교통류 영역에 따른 교통류 상태를 파악하기 위하여 국내 고속도로의 본선 구간 루프 검지기의 30초 자료(교통량, 속도, 점유율)를 활용한다. 돌발상황이 진행되는 상태에 따라 교통류 상태를 구분하고 돌발상황이 발생하는 조건을 고려하여 낮은 교통량을 나타내는 일반구간과 높은 교통량을 나타내는 일반구간 그리고 반복정체구간 등 3가지 상황으로 구분하여 교통류 특성을 분석한다. 이를 토대로 새로운 변형된 교통량-점유율 관계도를 도출한다. 새롭게 수정된 관계도를 교통류 상태에 따라 교통류 특성을 분석하여 이에 따른 파라미터를 산정하여 영역을 구분한다. 구분된 영역의 교통류 특성을 토대로 돌발상황 검지 알고리즘을 개발하고

기존의 McMaster 알고리즘과 비교를 하여 새로운 돌발상황 검지 알고리즘을 평가한다.

2. McMaster 알고리즘

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

McMaster 알고리즘은 우선 각 지점검지기에 맞는 파라미터를 산정하여 영역을 4개로 구분하여 정체교통상태를 판정한 후 하류부 지점의 검지기 자료의 교통상태와 비교하여 정체원인을 결정하고 돌발상황을 검지하는 방식이다.

이 알고리즘은 관련 파라미터가 결정되어 교통상태 영역이 정확하게 구분된다면 타 알고리즘과 비교하여 검지율, 오경보율, 검지시간 등 성능지표 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 파라미터들(LUD 곡선, 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 파라미터를 다른 지점에 적용할 수 없으므로 각 지점마다 파라미터를 추출해야하는 번거로움이 있다.

1) LUD 곡선

LUD 곡선은 혼잡교통류와 비혼잡교통류의 경계로 지점 검지기의 off-line 자료 중 안정류 자료만으로 회귀 분석을 통하여 $y=ax^2+bx+c$ 형태의 표준이차함수로 나타낸다. 먼저 실제 검지기 자료에서 안정류와 불안정류를 구분하기 위한 기준으로 기준속도를 결정한다. 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-표준편

차]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 이동된 LUD 곡선을 만들게 된다.

2) Ocrit 산정

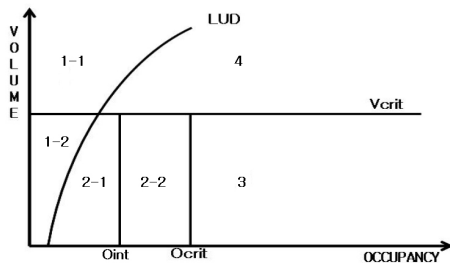
Ocrit는 임계점유율로 한 지점 검지기의 일주일 자료 중 교통량이 가장 높게 나타났을 때의 점유율로 결정한다.

3) Vcrit 산정

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

4) Oint 산정

Ocrit의 값에서 10을 뺀 값으로 결정한다.



〈그림 1〉 McMaster 알고리즘에서 사용된 교통량 점유율 관계도

II. 자료수집 및 처리과정

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 4월 20일

까지 1주일간 자료이며 총 32개 구간 자료를 수집하였다.

위의 기간에 나타난 돌발상황 중에 대표적인 11개 구간을 정하였고 돌발상황 지점을 중심으로 연속된 5개 지점의 검지기 자료를 수집하였다. 수집한 자료 중 교통상태분석에 가장 적합한 3개 지점의 돌발상황 상·하류부 검지기 자료를 따로 수집하여 분석자료로 활용하였으며 알고리즘 평가에 사용된 자료는 11개 지점 모두 활용하였다. 〈표 1〉에서와 같이 돌발상황 유형을 교통량 수준과 반복정체를 기준으로 3개의 유형으로 분류하였다.

〈표 1〉 돌발상황 관련 교통자료 내역

| 유형 | 노선명 | 차로 수 | 돌발상황 일자 | 돌발상황 지속시간 | 대상 검지기 | | 방향 | 교통량 (대/30초) | 비고 (대/30초) |
|-----------|-----|------|---------|-------------|-----------|-----------|----|-------------|------------------------|
| | | | | | 상류부 | 하류부 | | | |
| 돌발상황 유형 1 | 서해선 | 2 | 4월 18일 | 11:04~11:32 | vde2 3351 | vde2 3601 | 하행 | 5.98 | 돌발상황 발생전 교통량 ≤ 10 |
| | 남해선 | 2 | 4월 19일 | 09:10~17:33 | vds0 1621 | vds0 1531 | 상행 | 3.19 | |
| | 중앙선 | 2 | 4월 16일 | 09:04~10:31 | vds3 7741 | vds3 7651 | 상행 | 3.56 | |
| | 경부선 | 3 | 4월 18일 | 13:15~13:34 | vds2 6611 | vds2 6851 | 상행 | 4.97 | |
| | 호남선 | 2 | 4월 14일 | 08:13~19:06 | vde0 5891 | vde0 5981 | 하행 | 2.72 | |
| 돌발상황 유형 2 | 호남선 | 2 | 4월 20일 | 07:48~19:29 | vds0 6081 | vds0 5983 | 상행 | 5.54 | 10 < 돌발상황 발생전 교통량 ≤ 18 |
| | 경부선 | 3 | 4월 20일 | 15:17~17:47 | vde2 7021 | vde2 7181 | 하행 | 14.16 | |
| | 남해선 | 2 | 4월 20일 | 16:16~17:19 | vde1 1053 | vde1 1233 | 하행 | 13.57 | |
| | 영동선 | 3 | 4월 18일 | 09:25~10:30 | vde0 3461 | vde0 3341 | 하행 | 11.87 | |
| 돌발상황 유형 3 | 중앙선 | 2 | 4월 18일 | 19:01~20:16 | vds1 1861 | vds1 1741 | 상행 | 13.05 | 반복정체 내의 돌발상황 발생 |
| | 남해선 | 2 | 4월 16일 | 16:54~17:15 | vde0 8455 | vde0 8565 | 하행 | 6.84 | |

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 알고리즘들은 고속도로 교통관리 시스템(FTMS)에서 수집주기(polling cycle)와 동일하게 실시간으로 수집되는 교통변수 자료들을 가지고 알고리즘이 운영되므로 FTMS 검지기 수집간격인 30초를 교통특성 분석에서도 그대로 사용하였다. 수집된 검지기 자료의 원시 30초 자료의 차

로별 속도, 교통량, 점유율 자료에서 오류가 나타난 자료 (-999)를 공백으로 처리한 후 같은 시간의 교통량이 0 이면서 속도가 100으로 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 계속된 교통류 자료만을 수집하기 위함이다.

III. 수정교통량-점유율 관계도

1. 교통류 분류 기준

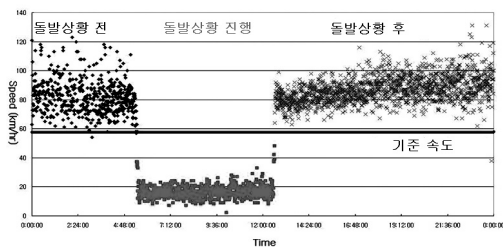
본 연구에서는 돌발상황 교통류의 특성을 분석하기위해 기준속도를 설정하여 3가지 상태의 교통류로 구분하였다. 식(1)과 같이 돌발상황이 발생하지 않은 날짜의 안정류 속도 데이터의 평균에서 표준편차를 뺀 값을 기준속도로 설정하고 돌발상황 교통류를 (속도≥기준속도)=돌발상황 전, (속도<기준속도)=돌발상황 진행, (속도≥기준속도)=돌발상황 끝으로 분류하였다.

$$CS = a - b \tag{1}$$

여기서, CS : 기준속도

a : 돌발상황 발생 전 속도의 평균

b : 돌발상황 발생 전 속도의 표준편차



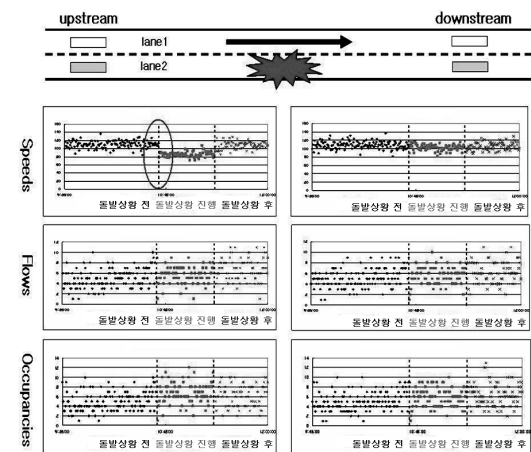
〈그림 2〉 기준속도를 이용한 교통상태 분류

2. 낮은 교통량 상태의 돌발상황 특성분석

일반적으로 대부분의 돌발상황 검지 알고리즘은 교통량이 높은 상태에서의 돌발상황 발생 시에는 비교적 좋은 성능지표를 보이지만 교통량이 낮은 상태의 돌발상황 발생 시에는 좋지 않은 성능지표를 보이므로 본 연구에

서는 검지하기에 어려움이 있는 교통량이 낮은 상태의 돌발상황 교통류에 중점을 두어 교통류특성을 분석하고자 한다.

〈그림 3〉의 낮은 교통량 상태의 돌발상황 발생시 2차로 상류부의 속도변화추이를 보면 돌발상황 진행 시간동안 속도가 소폭 감소하였다가 돌발상황 후에는 다시 증가하는 것을 볼 수 있는 반면, 하류부 2차로의 속도변화추이에서는 돌발상황 전, 돌발상황 진행, 돌발상황 후 구간 모두 일정한 속도를 유지하며 속도변화가 나타나지 않았다. 또한, 교통량, 점유율 변화추이의 상·하류부에서도 돌발상황 전, 돌발상황 진행, 돌발상황 후구간 모두 돌발상황에 따른 데이터의 변화는 나타나지 않았다. 이러한 특성으로 보아 낮은 교통류 상태에서 돌발상황이 발생했을 경우 이를 검지하기 위해서는 속도변수가 유용하게 쓰일 것으로 보여진다.



〈그림 3〉 돌발상황 발생시 상·하류부 교통변수 변화추이

3. 새로운 교통량-점유율 관계도

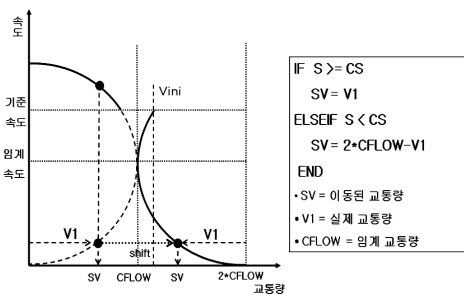
낮은 교통량 상태에서 돌발상황이 발생했을 경우 유일하게 속도변화만이 미세하게 나타났으므로 이러한 특성이 잘 나타날 수 있는 새로운 관계도를 제시하고자 한다.

기존 속도-교통량 관계도에서는 같은 교통량 수준이라도 2개의 속도를 나타내기 때문에 기존 교통량-점유율 관계도에서는 낮은 속도의 교통량과 높은 속도의 교통량을 구분하지 못한다.

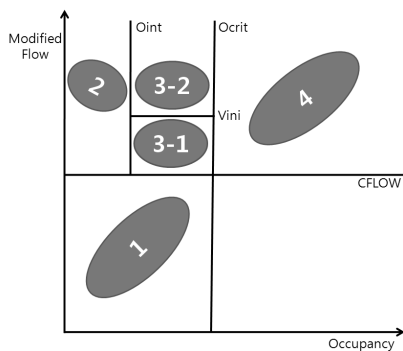
본 연구에서는 교통량-점유율 관계도에 속도 변수를 반영할 수 있도록 기준속도에 따라 교통량 값에 변화를 주었다. 속도-교통량 관계도를 기준속도와 임계교통량에

따라 관계도 상의 교통량을 이동시켰다. 기준속도를 기준으로 같은 시간대의 교통량, 속도 자료 중 속도자료가 기준속도보다 크면 교통량자료를 그대로 사용하고 속도자료가 기준속도보다 작으면 $[CFLOW * 2 - \text{교통량}]$ 값으로 수정하였다. 즉, 기준속도와 임계교통량을 기준으로 그래프를 대칭시키면 <그림 4>와 같은 형태의 속도-교통량 관계도가 만들어 진다. 이와 같이 수정교통량을 산정한 이유는 실제 검지기의 속도 패턴을 이용하여 교통량이 낮은 상황에서의 돌발상황 특성을 반영하기 위함이다.

이렇게 산출된 교통량과 점유율자료를 기반으로 <그림 5>와 같이 새로운 관계도를 정립하였다.



<그림 4> 기준속도를 이용한 수정교통량(SV) 산정방법



<그림 5> 수정교통량-점유율 관계도 영역 구분

새롭게 정립된 수정교통량-점유율 관계도에서 교통류 특성을 구분하는 파라메타에 따라 영역을 구분하였다. 영역을 구분하는 4개의 파라메타는 McMaster 알고리즘에서 사용되는 Ocrit와 Oint 파라메타와 본 연구에서 제시한 CFLOW와 Vini 파라메타가 있다.

1) CFLOW

CFLOW는 정체류를 포함한 일주일 검지기 데이터

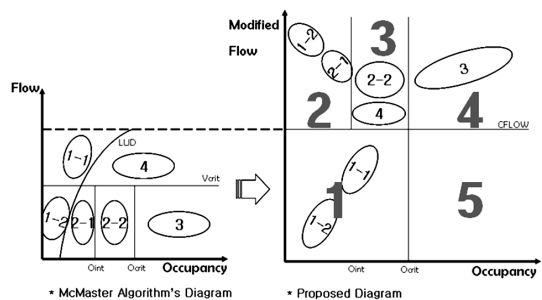
중 가장 높은 교통량으로 결정하고 정체류가 나타나지 않은 구간에서는 고속도로 용량인 18대/30초로 결정한다. CFLOW 파라메타는 안정류와 정체류의 경계에 해당되는 기준으로 이해되고 이 파라메타보다 높은 교통류는 돌발상황 발생할 확률이 매우 높아서 돌발상황 발생의 예고로써 사용될 것이다.

2) Vini

Vini는 CFLOW*2에서 일주일간의 안정류 데이터 중 가장 높은 교통량값을 뺀 값으로 결정하며 돌발상황으로 인한 정체와 반복정체를 구분하는 파라메타로써 3영역을 3-1과 3-2영역으로 구분하게 된다.

본 연구에서 제시한 수정교통량-점유율 관계도의 영역을 정의하면 1영역은 수정교통량이 CFLOW 보다 작고 점유율이 Ocrit보다 작은 영역으로 자유교통류(Free Flow) 영역으로 판단되며 2영역은 수정교통량이 CFLOW 보다 크고 점유율이 Oint보다 작은 영역으로 교통량이 낮은 상태의 돌발상황 교통류와 반복정체시 돌발상황 하류부의 교통류에서 나타나는 불안정(unstable) 영역으로 판단된다. 3영역은 수정교통량이 CFLOW 보다 크고 점유율이 Ocrit보다 작고 Oint보다 큰 영역으로 안정류에서 정체류로 또는 정체류에서 안정류로 전이 과정에서 나타나는 동기(synchronized) 영역이며 3-1영역은 안정류에서 반복정체로 전이할 때 나타나며 3-2영역은 안정류에서 돌발상황으로 인한 정체류로 전이될 때 나타나는 영역으로 분석된다. 4영역은 수정교통량이 CFLOW보다 크고 점유율이 Ocrit보다 큰 영역으로 혼잡이 극심한 정체(congested) 영역이다. 5영역은 어떠한 자료도 나타나지 않는 영역이다. 수정교통량-점유율 관계도에서는 1~4영역만으로 교통류 상태를 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

McMaster 알고리즘의 교통량-점유율 관계도의 영역과 본 연구에서 제안한 수정교통량-점유율 관계도의 영



<그림 6> McMaster 알고리즘 영역과 새로운 관계도 영역의 비교

역을 비교하면 McMaster 알고리즘의 1-1영역은 수정 교통량-점유율 관계도의 1영역에 포함되며 1-2영역은 1 영역과 2영역, 2-1영역은 2영역, 2-2영역은 3영역, 3 영역은 4영역, 4영역은 3영역에 포함된다.

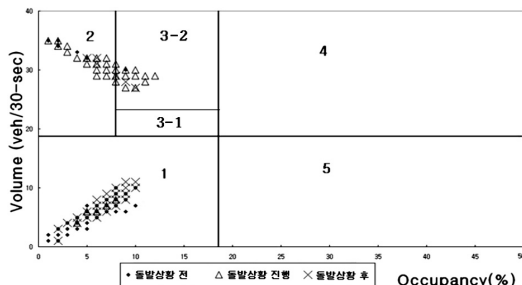
McMaster 알고리즘과 본 연구에서 제시한 수정교통량-점유율 관계도를 이용한 알고리즘을 비교분석하기 위하여 각각의 지점 검지기에서 얻은 자료를 기초로 각각의 관계도에 해당하는 파라메타를 <표 2>와 같이 산출하였다.

McMaster 알고리즘에서는 LUD, Ocrit, Oint, Vcrit파라메타가 사용되며 본 연구에서는 Ocrit, Oint, 기준속도, CFLOW, Vini 파라메타가 사용된다.

4. 교통상태 영역 및 특성

1) 돌발상황 유형 1

돌발상황 유형1의 서해안고속도로는 낮은 교통량 상태에서 돌발상황이 발생한 경우로 <그림 7>의 수정교통량-점유율 관계도에서는 돌발상황 전과 돌발상황 후 데이터가 대부분 1영역에 있고 돌발상황 진행 데이터만 2 영역과 3-2영역에 있는 것으로 보아 낮은 교통량 상태의 돌발상황 교통류 특성을 잘 반영하는 것으로 판단되며 돌발상황을 검지함에 있어서 매우 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.



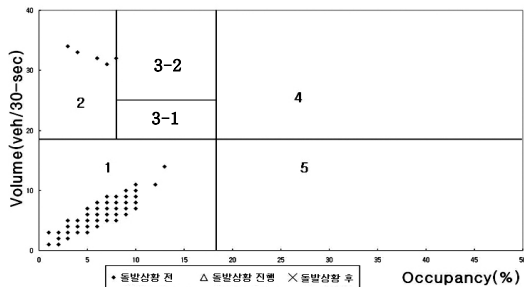
<그림 7> 돌발상황 유형1의 상류부 수정교통량-점유율 관계도

돌발상황 발생 지점의 하류부 데이터에서는 <그림 8>의 수정교통량-점유율 관계도에서 돌발상황의 영향이 나타나지 않는 이유로 돌발상황 진행과 돌발상황 후 데이터가 없고 돌발상황 전 데이터 대부분이 1영역에 존재하는 것을 알 수 있다. 수정교통량-점유율 관계도에서 2영역에 몇 개의 데이터가 존재하는데 이는 30초 집계단위

<표 2> 지점별 산정된 파라메타

| 구분 | LUD 함수 | Ocrit (%) | Oint (%) | Vcrit (대/30초) | 기준 속도 (km/h) | CFLOW (대/30초) | Vini (대/30초) | | |
|------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----|----|
| 유형 1 | 서해안선 상 | $y = -0.0098X^2 + 1.0337X - 3.8819$ | 18 | 8 | 14 | 95 | 18 | 22 | |
| | 서해안선 하 | $y = -0.0063X^2 + 1.01X - 4.726$ | 18 | 8 | 13 | 89 | 18 | 21 | |
| | 남해선 상 | $y = -0.0012X^2 + 0.6669X - 3.2921$ | 23 | 13 | 12 | 86 | 18 | 20 | |
| | 남해선 하 | $y = -0.0218X^2 + 1.0491X - 4.303$ | 20 | 10 | 10 | 81 | 18 | 23 | |
| | 중앙선 상 | $y = -0.0314X^2 + 1.3885X - 4.6142$ | 16 | 6 | 10 | 87 | 18 | 22 | |
| | 중앙선 하 | $y = -0.0307X^2 + 1.3664X - 4.5474$ | 16 | 6 | 10 | 86 | 18 | 20 | |
| | 경부선 상 | $y = -0.0232X^2 + 1.5924X - 6.7919$ | 18 | 8 | 11 | 77 | 18 | 21 | |
| | 경부선 하 | $y = -0.0367X^2 + 1.7439X - 7.6268$ | 18 | 8 | 12 | 75 | 18 | 21 | |
| | 호남선 상 | $y = -0.0267X^2 + 1.3526X - 8.0069$ | 15 | 5 | 13 | 78 | 18 | 22 | |
| | 호남선 하 | $y = -0.019X^2 + 1.1593X - 6.3311$ | 20 | 10 | 14 | 84 | 18 | 20 | |
| | 호남선 2 상 | $y = -0.0442X^2 + 1.7347X - 9.9562$ | 19 | 9 | 14 | 78 | 18 | 20 | |
| | 호남선 2 하 | $y = -0.0456X^2 + 1.6802X - 8.9899$ | 18 | 8 | 14 | 72 | 18 | 20 | |
| 유형 2 | 경부선 상 | $y = -0.0078X^2 + 0.7518X - 2.4433$ | 18 | 8 | 12 | 71 | 18 | 21 | |
| | 경부선 하 | $y = -0.0017X^2 + 1.2293X - 6.2827$ | 21 | 11 | 14 | 75 | 20 | 24 | |
| | 남해선 상 | $y = -0.009X^2 + 1.2942X - 6.0529$ | 22 | 12 | 16 | 87 | 26 | 32 | |
| | 남해선 하 | $y = -0.0031X^2 + 1.1388X - 6.48$ | 23 | 13 | 15 | 85 | 26 | 30 | |
| | 영동선 상 | $y = -0.0239X^2 + 1.1317X - 3.0414$ | 23 | 13 | 16 | 70 | 24 | 29 | |
| | 영동선 하 | $y = -0.0146X^2 + 1.4461X - 8.1897$ | 18 | 8 | 15 | 74 | 21 | 25 | |
| | 중앙선 상 | $y = -0.0266X^2 + 1.7096X - 4.8947$ | 19 | 9 | 14 | 79 | 17 | 20 | |
| | 중앙선 하 | $y = -0.0218X^2 + 1.299X - 3.5517$ | 22 | 12 | 11 | 82 | 18 | 20 | |
| | 유형 3 | 남해선 상 | $y = -0.0058X^2 + 1.2831X - 3.9057$ | 22 | 12 | 13 | 74 | 22 | 25 |
| | | 남해선 하 | $y = -0.0089X^2 + 0.745X - 2.2199$ | 21 | 11 | 13 | 82 | 19 | 25 |

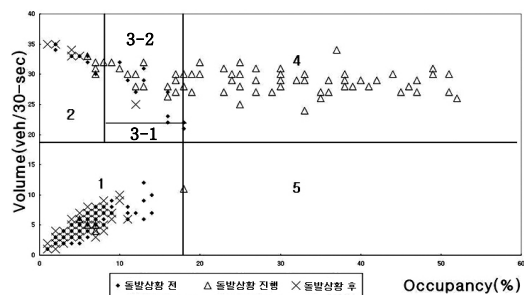
자료의 지속성 검사를 수행한 결과 연속적이지 않은 데이터로 분석되었다. 지속성 검사는 연속하는 3개의 데이터가 같은 영역에 존재하는가를 검사하여 같은 영역에 존재하지 않으면 연속적이지 않은 데이터로 간주한다. 예로 들면 연속된 데이터 a, b, c가 a=1영역, b=2영역, c=1영역이면 데이터 b는 연속적이지 않은 데이터가 된다.



〈그림 8〉 돌발상황 유형1의 하류부 수정교통량-점유율 관계도

2) 돌발상황 유형 2

돌발상황 유형2의 경부선은 1,200대/h~2,200대/h로 높은 교통량 수준에서 발생한 돌발상황인 경우로 〈그림 9〉의 돌발상황 상류부의 수정교통량-점유율 관계도의 상류부 데이터를 보면 돌발상황 전과 돌발상황 후 데이터 중 일부를 제외하고 대부분의 데이터는 1영역에 존재하고 돌발상황 진행 데이터는 2, 3-2, 4영역에 존재하는 것으로 나타났으며 돌발상황 전과 돌발상황 진행 데이터가 비교적 명확하게 구분되는 것으로 판단된다. 돌발상황 유형2의 수정교통량-점유율 관계도에서는 돌발상황의 영향이 나타나 돌발상황의 검지가 가능할 것으로 판단된다.



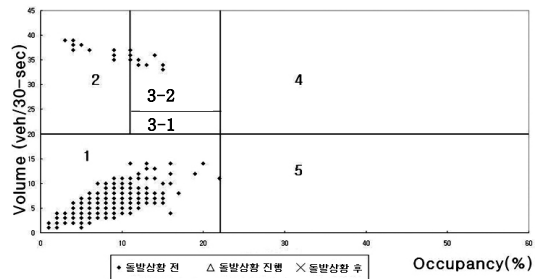
〈그림 9〉 돌발상황 유형2의 상류부 수정교통량-점유율 관계도

〈그림 10〉의 돌발상황 하류부의 수정교통량-점유율 관계도 데이터를 보면 일부 데이터를 제외한 대부분이 1영역에 존재하는 것을 볼 수 있다.

돌발상황 유형 2의 하류부는 돌발상황 전 데이터만 나타났으며 돌발상황으로 인한 정체류는 나타나지 않았다.

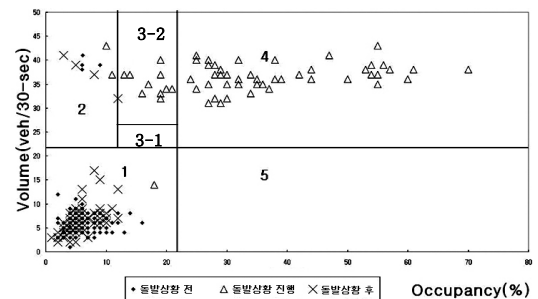
3) 돌발상황 유형 3

돌발상황 유형3의 남해고속도로는 반복정체 내에서



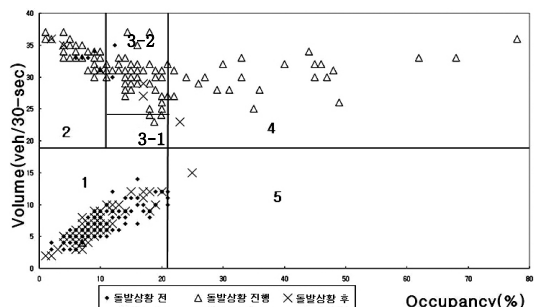
〈그림 10〉 돌발상황 유형2의 하류부 수정교통량-점유율 관계도

돌발상황이 발생한 경우로 돌발상황 상류부 데이터인 〈그림 11〉의 수정교통량-점유율 관계도를 보면 돌발상황 전과 돌발상황 후 데이터가 대부분 1영역에 존재하고 돌발상황 진행 데이터가 2, 3-2, 4영역에 존재하여 돌발상황 유형 2와 유사한 형태를 나타내었다.



〈그림 11〉 돌발상황 유형3의 상류부 수정교통량-점유율 관계도

〈그림 12〉의 돌발상황 하류부의 수정교통량-점유율 관계도를 보면 돌발상황 전과 돌발상황 후 데이터는 대부분 1영역에 존재하는 것으로 나타났다. 돌발상황 진행 데이터는 2, 3-1, 3-2, 4영역에 걸쳐 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 돌발상황 유형 1과 유형 2의 하류부에서 나타나지 않았던 3-1영역의 데이터가 반복정체 상황에서의 돌발

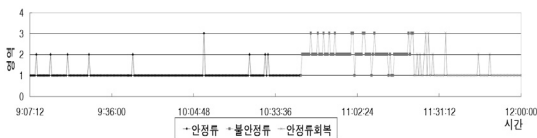


〈그림 12〉 돌발상황 유형3의 하류부 수정교통량-점유율 관계도

상황 유형 3에서 존재한 것을 볼 수 있으며 이러한 현상으로 보아 3-1영역에 나타난 데이터는 반복정체시에 생성되는 데이터로 판단되며 반복정체와 돌발상황으로 인한 정체를 구분하는데 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

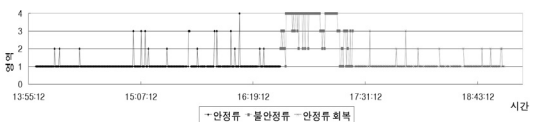
5. 돌발상황 교통류 발생과정

돌발상황 유형1 서해안선의 수정교통량-점유율 관계도의 영역간 전이과정을 보면 돌발상황 진행시 1영역에서 2영역으로 전이하며 돌발상황 진행에서 돌발상황 후 데이터로 전이시 3영역에서 2영역, 1영역으로 이동하는 패턴을 보이며 전이하는 것을 볼 수 있다. 2, 3영역에 있는 돌발상황 전 데이터는 연속적이지 않은 데이터로 <그림 13>을 통해 확인할 수 있다.



<그림 13> 돌발상황 유형1의 영역간 교통류 전이과정(상류부)

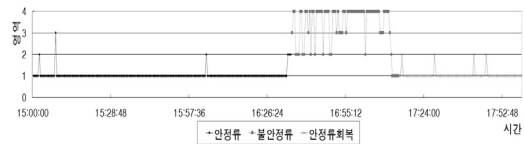
교통량이 많은 돌발상황 유형2 경부선의 수정교통량-점유율 관계도의 영역간 전이과정을 보면 돌발상황 진행시 1영역에서 2영역과 3영역을 거쳐 4영역으로 전이하며 돌발상황 진행에서 돌발상황 후 데이터로 전이시 3영역, 2영역, 1영역으로 이동하는 패턴을 나타내며 1영역으로 전이하는 것을 볼 수 있다.



<그림 14> 돌발상황 유형2의 영역간 교통류 전이과정(상류부)

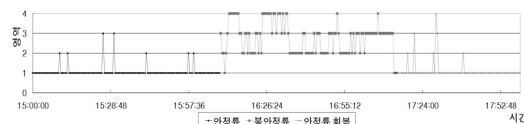
반복정체시 돌발상황 유형3 남해선 상류부의 수정교통량-점유율 관계도 전이과정을 보면 돌발상황 진행시 1영역에서 2, 3영역을 거쳐 4영역으로 이동하는 패턴을 보이면서 정체류로 전이되며 돌발상황 진행에서 돌발상황 후 데이터로 전이시 돌발상황 유형 2, 3과는 다르게 4영역에서 3영역, 2영역, 1영역으로 급격히 전이하는 것을 알 수 있다.

반복정체시 돌발상황 유형3 남해선 하류부의 수정교



<그림 15> 돌발상황 유형3의 영역간 교통류 전이과정(상류부)

통량-점유율 관계도 전이과정을 보면 돌발상황 진행시 1영역에서 2영역, 3영역을 거쳐 4영역으로 빠르게 전이되지만 상류부 데이터와 비교하여 상류부의 돌발상황보다 먼저 돌발상황으로 전이되는 것으로 보아 돌발상황으로 인한 정체가 아닌 반복정체 진행시 전이과정으로 판단되며 돌발상황 진행 데이터에서 돌발상황 후 데이터로 전이시 3영역에서 1영역으로 빠르게 회복하는 특성을 보였다. 또한 상류부의 돌발상황 진행시 하류부의 돌발상황 진행 데이터를 보면 주로 3영역과 4영역을 이동하다가 상류부의 돌발상황 진행시 2영역과 3영역으로 이동하는 특성을 보였으며 이러한 특성은 반복정체로 인해 4영역으로 정체가 진행되었다가 돌발상황으로 인해 하류부의 정체가 완화되어 나타난 현상으로 판단되고 반복정체 구간의 상류부와 하류부의 수정교통량-점유율 관계도의 구분된 영역비교를 통하여 반복정체 내에서 돌발상황을 판단할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 16> 돌발상황 유형4의 영역간 교통류 전이과정(하류부)

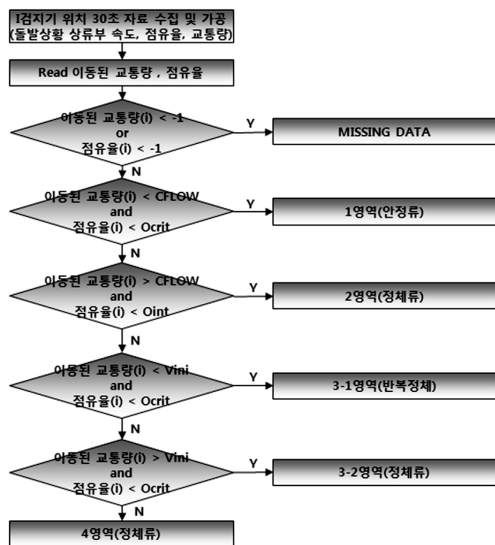
IV. 돌발상황 자동검지 알고리즘 개발

1. 알고리즘 구현

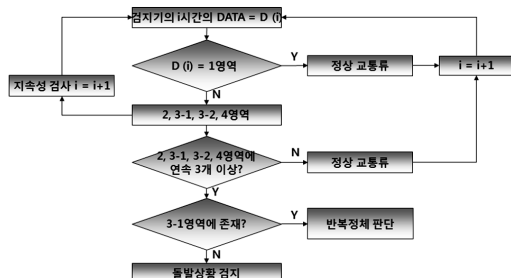
본 연구에서 개발된 알고리즘은 수정교통량-점유율 관계도의 구분된 영역에 따라 교통류 상태를 결정하고 교통류 상태변화에 따라 돌발상황을 검지한 후 돌발상황 교통류가 다시 안정류로 회복되는 교통류를 검지하여 돌발상황을 종료한다.

먼저 수집된 자료의 속도, 점유율, 교통량을 가지고 파라미터를 추정하고 수정교통량-점유율 관계도에서 이 파라미터들을 이용하여 영역을 구분한다. 교통량자료 중에서 기준속도 파라미터를 기준으로 이동된 교통량자료

를 생성하고 CFLOW를 이용하여 안정류와 정체류를 구분한다. 3개의 연속적인 이동된 교통량데이터가(30초 단위일 때 1분 30초) CFLOW와 Vini사이에 존재하면 반복정체로 판단하고 Vini보다 크게 나타나면 돌발상황으로 인한 정체로 판정한다. 돌발상황이 검지되면 돌발상황 교통류는 2영역에서 3-2영역 그리고 4영역으로 이동하거나 3-2영역에서 4영역으로 이동하게 되고 회복될 때는 4영역에서 3-2영역을 거쳐 1영역 또는 4영역에서 3-2영역과 2영역을 거쳐 1영역으로 즉, 안정류로 회복하게 되는데 이 때 지속성 검사를 하여 1영역에 3개의 자료(30초 단위일 때 1분 30분)동안의 수정교통량-점유율 자료가 연속해서 나타나면 안정류 회복으로 판단한다. 본 연구에서 제안하는 돌발상황 검지알고리즘은 <그림 17>과 <그림 18>에서 보는 바와 같이 파라미터를 기준으로 교통상태를 판정하는 과정과 지속성 검사를 통하여 돌발상황을 판정하는 과정을 보여주고 있다.



<그림 17> 돌발상황 자동검지 알고리즘 로직1



<그림 18> 돌발상황 자동검지 알고리즘 로직2

본 제안 알고리즘의 특징은 속도변화를 고려한 교통량을 산정하여 파라미터를 기준으로 안정류와 정체류로 구분을 하였으며 3영역을 Vini 파라미터를 가지고 2개의 영역으로 구분하였다는 점이다. 이러한 기준은 돌발상황으로 인한 정체와 반복정체를 판정하는 기준이 되므로 돌발상황 검지 알고리즘의 정확성 및 신뢰성을 좌우하는 척도가 된다.

2. 알고리즘 평가

본 연구에서 개발된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 아래의 수식을 이용하여 검지율(DR), 오보율(FAR), 검지시간(DT)의 성능지표를 산출하고 기존에 많이 사용하고 있는 McMaster 알고리즘과 비교하고자 한다.

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

$$\text{오보율}(\%) = \frac{\text{전체 알람 건수} - \text{검지된 알람 건수}}{\text{알고리즘 수행 건수}} \times 100$$

$$\text{검지시간(초)} = \text{알고리즘 검지시간} - \text{돌발상황 발생시간}$$

오보율의 정의에서 알고리즘 수행건수는 각 검지기 지점별로 30초 단위의 전체 수행건수(1일 2,880번 횟수 수행)를 기준으로 알고리즘에 의해 검지된 전체 알람 건수에서 실제 돌발상황과 일치하는 알람건수를 뺀 값에 대한 백분율 값에 해당된다.

알고리즘 평가에 사용된 검지기 자료는 돌발상황이 발생한 11개 지점의 데이터로서 유형1이 6개 지점, 유형2가 4개 지점, 유형3이 1개 지점으로 앞에서 결정한 각 검지기의 파라미터를 적용하여 평가, 수행하였다. 검지기별로 파라미터 Calibration을 수행한 자료를 활용하여 알고리즘 성능평가를 하였는데, 이는 충분한 양의 돌발상황 자료를 구하기가 현실적으로 어려워 다양한 자료 조건을 만족시킬 수가 없었다. 그러나, 같은 자료를 가지고 알고리즘 성능평가를 하는 경우에도 McMaster 알고리즘과 상대적인 성능비교를 하였기 때문에 의미가 충분히 있다고 생각한다.

우선, 검지율 측면에서 McMaster 알고리즘이 총 11회의 돌발상황이 발생한 경우에서 6회의 돌발상황을 검지하지 못한 반면, 제안된 알고리즘은 10회의 돌발상황 모두를 검지하였다. 특히, McMaster 알고리즘은 낮은

교통량 상태에서 발생한 돌발상황 유형1의 경우 총 6회 중 6회 모두 검지하지 못한 반면 제안 알고리즘은 총 6회 중 5회를 검지하여 우수한 검지능력을 보였다.

오보율은 유형1의 남해선을 제외하고 2가지 알고리즘 모두 비슷한 성능을 보였으나 유형1의 호남선1, 2에서 두 알고리즘 모두 매우 높은 오보율을 나타낸 것을 제외하고는 유형1에서는 10%이내의 오보율을 보였고, 특히 유형2와 유형3에서는 5%이하의 양호한 성능을 보여주었다.

〈표 3〉 알고리즘 성능평가 결과

| 구분 | | 검지율 (%) | 오보율 (%) | 검지시간 |
|------|----------|----------|-----------|--------|
| 유형 1 | 서해안선 | McMaster | 9.61 | - |
| | | 제안 알고리즘 | 9.2 | 4분 |
| | 남해선 | McMaster | 34.96 | - |
| | | 제안 알고리즘 | 4.86 | 5분 |
| | 중앙선 | McMaster | 6.07 | - |
| | | 제안 알고리즘 | 2.98 | 16분30초 |
| | 경부선 | McMaster | 7.88 | - |
| | | 제안 알고리즘 | 3.89 | 9분30초 |
| | 호남선1 | McMaster | 45.83 | - |
| | | 제안 알고리즘 | 41.19 | - |
| 호남선2 | McMaster | 40.38 | - | |
| | 제안 알고리즘 | 29.28 | 1시간11분30초 | |
| 유형 2 | 경부선 | McMaster | 1.85 | 1분30초 |
| | | 제안 알고리즘 | 1.96 | 1분30초 |
| | 남해선 | McMaster | 4.51 | 0초 |
| | | 제안 알고리즘 | 1.42 | 0초 |
| | 영동선 | McMaster | 1.92 | 1분30초 |
| | | 제안 알고리즘 | 1.04 | 2분 |
| 중앙선 | McMaster | 4.82 | 2분 | |
| | 제안 알고리즘 | 4.65 | 1분 | |
| 유형 3 | 남해선 | McMaster | 2.43 | 0초 |
| | | 제안 알고리즘 | 0.52 | 2분 |

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

검지시간(DT) 지표는 교통정보센터에 보고된 돌발상황 시간과 비교하여 나타낸 값으로서 유형2와 유형3은 검지시간이 모두 2분 이내로 우수한 성능을 보였지만 유형1에서 McMaster 알고리즘은 돌발상황을 검지하지 못한 관계로 검지시간이 나타나지 않았으며 제안 알고리즘은 검지시간이 서해안선과 남해선을 제외하면 9분에서 1시간 11분까지 광범위하게 분포하여 양호한 성능을 보여주지 못하였다.

종합적으로, 본 연구에서 제안된 알고리즘은 유형2와 유형3의 경우 검지율, 오보율 그리고 검지시간의 성능지표

측면에서 McMaster 알고리즘보다 우수한 것으로 평가되고 특히, 유형1은 검지율 측면에서 아주 우수한 성능을 보였다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 교통량이 낮은 상태에서 발생하는 돌발상황의 교통특성을 반영하여 속도변수를 고려한 수정교통량-점유율 관계도를 도출하고 교통상태 영역을 구분하기 위한 파라메타를 결정하여 돌발상황을 보다 신뢰성있고 안정적으로 검지하는 알고리즘 개발을 목적으로 수행되어졌다.

교통류 상태가 수정교통량-점유율 관계도에서 변화하는 특징을 이용하여 교통상태 영역을 결정하고 이를 위한 4개의 파라메타를 산정하였다. 교통류 변화에 가장 밀접하게 변화하는 속도변수를 파라메타로 선정하여 교통량을 이동시킴으로써 CFLOW 파라메타를 이용하여 안정류와 정체류의 경계영역을 규정할 수 있었으며 돌발상황 검지의 신뢰성을 높이는 결과를 가져왔다. 교통류 영역을 구분하기 위하여 기존 McMaster 알고리즘에서 사용하는 2개의 파라메타(Ocrit과 Oint)를 이용하였고 추가로 본 연구에서는 반복정체를 구분하고자 2개의 교통량 파라메타(Vcrit, Vini)를 정의하고 결정하였다.

수정교통량-점유율 관계도와 관련 파라메타를 가지고 돌발상황 검지 알고리즘을 구현하였고, 알고리즘을 수행하여 검지율, 오보율, 검지시간 등 성능지표를 산출하여 McMaster 알고리즘과 비교·평가 하였다. 알고리즘 수행결과, 우수한 검지능력을 보여주었고 오보율과 검지시간 측면에서도 기존 McMaster 알고리즘과 비교하여 더 성능이 우수한 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 수정교통량-점유율 관계도에 의한 돌발상황 검지 알고리즘의 적용성을 제시하였고, 제시된 교통량 파라메타(CFLOW, Vini)의 사용으로 교통류 영역 구분에 의한 교통류 상태 결정이 기존 연구결과보다 용이하게 결정될 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 기존 알고리즘에서 사용하지 않았던 속도변수를 교통량 데이터에 적용하였다는 것이 교통공학적 원리에 의한 교통류 이론의 재해석 및 적용분야라고 생각한다.

향후 연구내용으로는 교통량이 낮은 상태의 조건에서도 검지시간 성능지표가 향상될 수 있는 방안을 모색하고 McMaster 알고리즘의 Oint 파라메타를 명확하게

결정할 수 있는 방법을 개선하는 연구와 개발된 알고리즘을 다양한 도로 및 교통조건하에서 발생하는 돌발상황 자료를 토대로 성능평가를 수행하여 안정적인 돌발상황 자동검지 알고리즘이 될 수 있도록 지속적인 평가가 요구된다.

참고문헌

1. 강수구·도철웅·손봉수·이시복(2001), “고속도로 돌발상황검지알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.105~118.
2. 김상구·김영춘(2006), “돌발상황 검지를 위한 교통류 영역 구분에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제24권 제3호, 대한교통학회, pp.39~50.
3. 김영찬·임성만(2004), “도시고속도로 비혼잡상황에서의 자동 돌발상황 감지 알고리즘 개발”, 대한토목학회논문집, 제24권, pp.168.
4. 이영인·황준환(2001), “간선도로 돌발상황 검지방법 개발연구”, 대한교통학회지, 제19권 제2호, 대한교통학회, pp.73~87.
5. A. Gall and F. L. Hall(1989), “Distinguishing Between Incident Congestion and Recurrent Congestion : A Proposed Logic” TRR, 1232, TRB, pp.1~8.
6. B. N. Persaud and F. L. Hall, “Catastrophe Theory and Patterns in 30-Second Freeway Traffic Data-Implications for Incident Detection” Transpn. Res.-A, Vol. 23A, Great Britain, pp. 103~113, 1989.
7. B. N. Persaud, F. L. Hall(1990), “Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm”, TRR, 1287, TRB, pp.167~175.
8. F. L. Hall, Yong Shi, and George Atala(1991), “On-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion”, TRR, 1394, TRB, pp.1~7.

- ✎ 주 작 성 자 : 김상구
- ✎ 교 신 저 자 : 김상구
- ✎ 논문투고일 : 2008. 2. 23
- ✎ 논문심사일 : 2008. 4. 30 (1차)
2008. 6. 11 (2차)
- ✎ 심사판정일 : 2008. 6. 11
- ✎ 반론접수기한 : 2008. 12. 31
- ✎ 3인 익명 심사필
- ✎ 1인 abstract 교정필